

目录

导 言	2
第一章 矿物与岩石	8
第一节 地球的概述	9
第二节 矿物	17
第三节 岩石	34
第四节 岩石的工程分类	66
第二章 地质构造	75
第一节 地质年代	75
第二节 地质构造	80
第三章 地貌与第四纪地质	104
第一节 地貌概述	104
第二节 山地地貌	108
第三节 平原地貌	115
第四节 河谷地貌	118
第五节 第四纪地质	123
第四章 认识地下水	130
第五章 土的工程分类和特殊性土	150
第一节 土的分类和野外鉴别	150
第二节 特殊土	155
第六章 常见的不良地质现象	171
第一节 崩塌与岩堆	171
第二节 滑坡	176
第三节 岩溶	187
第四节 沙漠	193
第七章 公路工程地质勘察	202
第一节 概述	203
第二节 公路工程地质问题与勘察	215
第三节 桥梁工程地质问题与勘察	219
第四节 隧道工程地质问题与勘察	222
第五节 不良地质现象的勘察与评价	225

导 言

一、地质学与工程地质学

地质学 (geology) 是一门关于地球的科学。它研究的对象主要是固体地球的上层, 主要有以下方面内容:

1. 研究组成地球的物质。由矿物学、岩石学、地球化学等分支学科承担这方面的研究。
2. 阐明地壳及地球的构造特征, 即研究岩石或岩石组合的空间分布。这方面的分支学科有构造地质学、区域地质学、地球物理学等。
3. 研究地球的历史以及栖居在地质时期的生物及其演变。研究这方面问题的有古生物学、地史学、岩相古地理学等。
4. 地质学的研究方法手段, 如同位素地质学、数学地质学及遥感地质学等。
5. 研究应用地质学以解决资源探寻、环境地质分析和工程防灾问题。从应用方面来说, 地质学对人类社会担负着重大的使命, 主要有两方面: 一是以地质学理论和方法指导人们寻找各种矿产资源, 这是矿床学、煤田地质学、石油地质学、铀矿地质学等研究的主要内容; 二是运用地质学理论和方法研究地质环境, 查明地质灾害的规律和防治对策, 以确保工程建设安全、经济和正常运行。

工程地质学(engineering geology)研究与人类工程建筑等活动有关的地质问题的科学。地质学的一个分支学科。

它被广泛应用于各类工程, 如公路工程、铁路工程、水电工程、工业与民用建筑工程、矿山工程、港口工程等, 随着生产的发展和研究的深入, 又出现一些新的分支科学, 如环境工程地质、海洋工程地质、地震工程地质等, 工程地质学的特点是始终与工程实践精密相连。

二、工程地质学发展简介

工程地质学产生于地质学的发展和人类工程活动经验的积累中。17 世纪之前, 许多国家成功地建成仍享有盛名的伟大建筑物, 可是人们在建筑实践中对地质环境的考虑, 完全依赖于建筑者个人工程地质学的感性认识。

17 世纪以后, 由于产业革命和建设事业的发展, 出现并逐渐积累了关于地质环境对建筑物影响的文献资料。第一次世界大战结束后, 整个世界开始了大规模建设时期。1929 年, 奥地利的太沙基出版了世界上第一部《工程地质学》; 1937 年苏联的萨瓦连斯基的《工程地质学》一书问世。50 年代以来, 工程地质学逐渐吸收土力学、岩石力学与计算数学中的某些理论和方法, 完善和发展了本身的内容和体系。

20 世纪初, 我国的工程地质工作仅限于对少量工程项目的勘察, 没有系统的理论指导。建国后, 随着国家建设的发展, 尤其是大量基础设施的兴建, 一系列大型工程场址的勘察、评估及工程建设, 促进了工程地质学在我国的发展。例如 1957 年的武汉长江大桥及大量的工业与民用建筑、铁路、公路、桥梁、隧道、水利水电工程等的兴建。尤其是三峡等巨型水利水电工程的勘察、规划、设计和施工, 促进了我国自 60 年代以来工程地质学科的飞速发展, 逐渐形成具有自己特色的学科, 如水利水电、铁路、矿山、公路、地下工程、地震等工程地质分支学科。形成了许多新的具有指导作用的工程地质思想和理论, 如: 1976 年陶振宇编著了《水工建设中的岩石力学问题》, 谷德振先生提出了岩体结构的概念, 为研究工程岩体变形破坏机理提供了重要的理论依据, 刘国昌先生从区域工程地质条件出发, 指出了区域稳定性的研究方向; 胡海涛先生继承和发展了李四光先

生的地质力学理论,结合大型工程的选址,坚持在活动区寻找相对稳定地块—“安全岛”的思想。建立了一套比较完整的工程地质勘察规程规范。例如:《岩土工程勘察规范》(DGJ08-37-2012);《公路工程地质勘察规范》(JTG C20-2016);《堤防工程地质勘察规范》(SL188-2005);《港口工程地质勘察规范》(JTJ240-97);《铁路工程地质勘察规范》(TB10012-2007 J124-2007);《市政工程勘察规范》(CJJ 56-2012)。

三、工程地质学的任务和研究方法

(一) 工程地质学的任务

工程地质学的主要任务是查明建设地区或建筑场地的工程地质条件、分析、预测和评价存在和发生的工程地质问题及其对建筑物和地质环境的影响和危害,提出防治不良地质现象的措施,为保证工程建设的合理规划以及建筑物的正确设计、顺利施工和正常使用,提供可靠的地质科学依据。

工程地质学的具体任务是:

- 1.评价工程地质条件,阐明地上和地下建筑工程兴建和运行的有利和不利因素,选定建筑场地和适宜的建筑型式,保证规划、设计、施工、使用、维修顺利进行;
- 2.从地质条件与工程建筑相互作用的角度出发,论证和预测有关工程地质问题发生的可能性、发生的规模和发展趋势;
- 3.提出及建议改善、防治或利用有关工程地质条件的措施。加固岩土体和防治地下水的方案;
- 4.研究岩体、土体分类和分区及区域性特点;
- 5.研究人类工程活动与地质环境之间的相互作用与影响。

(二) 工程地质学的研究方法

工程地质勘察是工程地质学的重要研究方法和技术手段。工程地质学在工程规划、设计以及在解决各类工程建筑物的具体问题时必须开展详细的工程地质勘察工作。工程地质勘察的目的是为了取得有关场地工程地质条件的基本资料 and 进行工程地质论证。

工程地质学的研究对象是复杂的地质体,所以其研究方法是地质分析法与力学分析法、工程类比法与实验法等密切结合。即通常所说的定性分析与定量分析相结合的综合研究方法。

要查明建筑区工程地质条件的形成和发展,以及它在工程建筑物作用下的发展变化,首先必须以地质学和自然历史的观点分析研究周围其它自然因素和条件,了解在历史过程中对它的影响和制约程度,这样才有可能认识它形成的原因和预测其发展趋势和变化。这就是地质分析法,它是工程地质学基本研究方法,也是进一步定量分析评价的基础。

对工程建筑物的设计和运用的要求来说光有定性的论证是不够的,还要求对一些工程地质问题进行定量预测和评价。在阐明主要工程地质问题形成机制的基础上,建立模型进行计算和预测,例如地基稳定性分析,地面沉降量计算,地震液化可能性计算等。当地质条件十分复杂时,还可根据条件类似地区已有资料对研究区的问题进行定量预测,这就是采用类比法进行评价。

采用定量分析方法论证地质问题时都需要采用实验测试方法,即通过室内或野外现场试验,取得所需要的岩土的物理性质、水理性质、力学性质数据。通过长期观测地质现象的发展速度也是常用的试验方法。

综合应用上述定性分析和定量分析方法,才能取得可靠的结论对可能发生的工程地质问题制定出合理的防治对策。

四、工程地质条件和工程地质问题

(一) 工程地质条件

工程地质条件是指工程建筑物所在地区地质环境各项因素的综合。

这些因素包括：

- 1.地层岩性：是最基本的工程地质因素，包括它们的成因、时代、岩性、产状、成岩作用特点、变质程度、风化特征、软弱夹层和接触带以及物理力学性质等；
- 2.地质构造：也是工程地质工作研究的基本对象，包括褶皱、断层、节理构造的分布和特征。地质构造，特别是形成时代新、规模大的优势断裂，对地震等灾害具有控制作用，因而对建筑物的安全稳定、沉降变形等具有重要意义；
- 3.水文地质条件：是重要的工程地质因素，包括地下水的成因、埋藏、分布、动态和化学成分等；
- 4.地表地质作用：是现代地表地质作用的反映，与建筑区地形、气候、岩性、构造、地下水和地表水作用密切相关，主要包括滑坡、崩塌、岩溶、泥石流、风沙移动、河流冲刷与沉积等等，对评价建筑物的稳定性和预测工程地质条件的变化意义重大；
- 5.地形地貌：地形是指地表高低起伏状况、山坡陡缓程度与沟谷宽窄及形态特征等，地貌则说明地形形成的原因、过程和时代。平原区、丘陵区 and 山岳地区的地形起伏、土层厚薄和基岩出露情况、地下水埋藏特征和地表地质作用现象都具有不同的特征，这些因素都直接影响到建筑场地和线路的选择。

(二) 工程地质问题

已有的工程地质条件在工程建筑和运行期间会产生一些新的变化和发展，构成威胁影响工程建筑安全的地质问题称为工程地质问题。

由于工程地质条件复杂多变，不同类型的工程对工程地质条件的要求又不尽相同，所以工程地质问题是多种多样的。

就土木工程而言，主要的工程地质问题包括：

- 1.地基稳定性问题：是工业与民用建筑工程常遇到的主要工程地质问题，它包括强度和变形两个方面。此外岩溶、土洞等不良地质作用和现象都会影响地基稳定。铁路、公路等工程建筑则会遇到路基稳定性问题；
- 2.斜坡稳定性问题：自然界的天然斜坡是经受长期地表地质作用达到相对协调平衡的产物，人类工程活动尤其是道路工程需开挖和填筑人工边坡(路堑、路堤、堤坝、基坑等)，斜坡稳定对防止地质灾害发生及保证地基稳定十分重要。斜坡地层岩性、地质构造特征是影响其稳定性的物质基础，风化作用、地应力、地震、地表水和地下水等对斜坡软弱结构面的作用往往破坏斜坡稳定，而地形地貌和气候条件是影响其稳定的重要因素；
- 3.洞室围岩稳定性问题：地下洞室被包围于岩土体介质(围岩)中，在洞室开挖和建设过程中破坏了地下岩体原始平衡条件，便会出现一系列不稳定现象，常遇到围岩塌方、地下水涌水等。一般在工程建设规划和选址时要进行区域稳定性评价，研究地质体在地质历史中受力状况和变形过程，做好山体稳定性评价，研究岩体结构特性，预测岩体变形破坏规律，进行岩体稳定性评价以及考虑建筑物和岩体结构的相互作用。这些都是防止工程失误和事故、保证洞室围岩稳定所必要和必需的工作。
- 4.区域稳定性问题：地震、震陷和液化以及活断层对工程稳定性的影响，自 1976 年唐山地震后越来越引起土木工程界的注意。对于大型水电工程、地下工程以及建筑群密布的城市地区，区域稳定性问题应该是需要首先论证的问题。

工程案例

大量的国内外工程建设实践证明,工程地质勘察做得好,设计、施工就能顺利进行,建筑物的安全运营就有保证。相反对工程地质工作忽视或重视不够,使一些严重的地质问题未被发现或发现了而未进行可靠的处理,都会给工程带来不同程度的影响,轻则修改设计方案、增加投资、延误工期,重则使建筑物完全不能使用或埋下隐患。

一、加拿大特朗斯康谷仓的地基失稳倾倒事故

(一) 工程事故概况

加拿大特朗斯康谷仓于 1911 年开始施工,1913 年秋完工。平面形状为矩形,长是 59.44m,宽是 23.47m,高是 31.00m,容积是 36368m³。谷仓为圆筒仓,每排 13 个圆筒仓,共 5 排 65 个圆筒仓组成。谷仓的基础为钢筋混凝土筏基,厚 61cm,基础埋深 3.66m。谷仓自重 20 000t,相当于装满谷物后满载总重量的 42.5%。1913 年 9 月起往谷仓装谷物,10 月当谷仓装了 31822m³ 谷物时,发现 1 小时内垂直沉降达 30.5 cm(如图 0-1 所示)。并在 24 小时谷仓向西倾斜达 26° 53'。谷仓西端下沉 7.32m,东端上抬 1.52m。1913 年 10 月 18 日谷仓倾倒后,上部钢筋混凝土筒仓坚如磐石,仅有极少的表面裂缝。

(二) 事故原因分析

- 1.对谷仓地基土层事先未作勘察、试验与研究,采用的设计荷载超过地基土的抗剪强度,导致这一严重事故的发生。
- 2.谷仓发生地基滑动强度破坏是事故的主要原因。由于谷仓整体刚度较高,地基破坏后,筒仓仍保持完整,无明显裂缝,是地基发生强度破坏而整体失稳。

(三) 事故处理

为修复筒仓,在基础下设置了 70 多个支承于深 16m 基岩上的混凝土墩,使用了 388 只 50t 的千斤顶,逐渐将倾斜的筒仓纠正。补救工作是在倾斜谷仓底部水平巷



图 0-1 加拿大特朗斯康谷仓倾倒前后图

道中进行,新的基础在地表下深 10.36m。经过纠倾处理后,谷仓于 1916 年起恢复使用。修复后,谷仓标高比原来降低了 4m。

二、意大利瓦伊昂拱坝事故

（一）工程事故概况

意大利瓦伊昂拱坝建于 1956 年，坝高 262m，是当时世界上最高的拱坝（如图 0-2）。1957 年施工时即发现岸坡不稳定。1960 年 2 月水库蓄水，同年 10 月当库水位高程为 635m 时，左岸坡地面出现长达 1800~2000m“M”形张开裂缝，并发生了 70 万立方米的局部崩塌。当即采取了一些措施，例如，限制水库蓄水位；在右岸开挖一条排水洞，洞径 4.5m，长 2km。1963 年 10 月 9 日，晚上 22 时 41 分岸坡发生了大面积整体滑坡，范围长 2km、宽约 1.6km 滑坡体积达 2.4 亿立方米。滑坡体将坝前 1.8km 长的库段全部填满，淤积体高出库水面 150m。致使水库报废（当时的库容为 1.2 亿立方米）。涌浪高达 250m，漫过坝顶，漫顶水深约 150m。涌水淹没了对岸高出库水面 259m 的凯索村。涌浪还向水库上游回溯到拉瓦佐镇，波高仍有近 5m。滑坡时，约有 300 万立方米水注入深 200 多米的下游河谷，涌浪前锋到达下游距坝 1400m 的瓦依昂峡谷出口处，立波还高达 70m，在汇口处，涌入皮亚韦河，使汇口对岸的兰加隆镇和附近 5 个村庄大部分被冲毁，共计死亡 1925 人。



图 0-2 意大利瓦伊昂拱坝

（二）事故原因分析

意大利政府组织了对事故原因的大量调查研究，1977~1988 年又由美国专家进行了重新评估。

- 1.地质勘察不充分;地质人员的素质不高，判断失误。
- 2.河谷两岸的 2 组卸荷节理，加上倾向河床的岩石层面，构造断层和古滑坡面等组合在一起，在左岸山体内形面一个大范围的不稳定岩体，其中有些软弱岩层，尤其是粘土夹层成为主要滑动面，对水库失事起了重要作用;长期多次岩溶活动使地下孔洞发育。山顶地面岩溶地区成为补给地下水的集水区;地下的节理、断层和溶洞形成的储水网络，使岩石软化、胶结松散，内部扬压力增大，降低了重力摩阻力;1963 年 10 月 9 日前的 2 周内大雨，库水位达到最高，同时滑动区和上部山坡有大量雨水补充地下水，地下水位升高，扬压力增大，以及粘土夹层、泥灰岩和裂隙中泥质充填物中的粘土颗粒受水饱和膨胀形成附加上托力，使滑坡区椅状地形的椅背部分所承受的向下推力增加，椅座部分抗滑阻力则减小，最终导致古滑坡面失去平衡而重新活动，缓慢的蠕动立即转变为瞬时高速滑动。

三、国内事例

成（都）昆（明）铁路沿线的新构造运动十分强烈，其中约 200km 的地段位于

八九度地震烈度区，因此地质构造极为复杂。沿线区域内地形险峻，大断裂纵横分布，岩层破碎严重，加之雨量充沛，山体不稳，各种不良地质现象十分发育。



图 0-3 成（都）昆（明）铁路

中央和铁道部对成昆铁路的工程地质勘察十分重视，提出了地质选线的原则，动员和组织全国的工程地质专家和技术人员进行大会战，并多次组织相关的专家学者及技术人员进行现场考察和研究，解决了许多工程地质难题，保证了成昆铁路顺利建成通车。（如图 0-3）

相反，建国初期修建的宝（鸡）成（都）铁路，受限于 20 世纪 50 年代初期的设计水平，对工程地质条件认识不足，致使线路的某些地段质量不高，给施工和运营带来了很大的困难。宝成铁路上存在路基冲刷、滑坡和泥石流问题给人们留下了深刻教训（如图 0-4）。又如新中国成立前修建的宝（鸡）天（水）铁路，由于当时根本不重视工程地质工作，开挖了许多高陡路堑，导致了大量崩塌、滑坡、泥石流现象的发生，使线路无法正常运营，该线路也因此被称为西北铁路线上的“盲肠”。



图 0-4 宝（鸡）成（都）铁路沿线崩塌

由此可见，为保证工程的正常施工、运行和生命财产的安全，工程地质的任务使非常重要的，它已成为工程建设中不可缺少的一个重要组成部分。随着我国建设的日益发展和科学技术的进步，工程建设的规模越来越大，数量也越来越多，如数十千米长的隧道、数百米高的高楼大厦、数百米高的露天采矿场边坡、复杂如二滩和三峡水利枢纽工程等所谓“长隧道、深基坑、高边坡”巨型重大工程，它们的建设与工程地质的关系更趋密切。鉴于工程地质对工程建设的重要作用，我国规定任何工程建设必须进行相应的地质工作提出必要的地质工作、提出必要的地质资料的基础上，才能进行工程设计和施工作业。

思考题

1. 试说明工程地质学与地质学相互间的关系。
2. 试说明工程地质学的主要任务与研究方法。
3. 什么是工程地质条件和工程地质问题？它们具体包括哪些因素和内容？

第一章 矿物与岩石

学习目标：

- （1）了解地球圈层。
- （2）掌握地质作用的分类。
- （3）了解矿物概念及分类，并能认识常见矿物。
- （4）了解岩浆岩、沉积岩、变质岩三大岩类的一般特征，了解成因、分类，并能区别大类，认识石灰岩、花岗岩等常见岩石。

(5) 掌握岩石的工程分类。

第一节 地球的概述

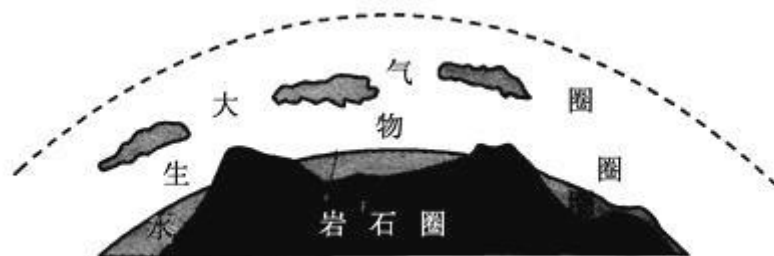
地球是宇宙中的一个运动着的球状体，太阳系的一颗行星，地球一面绕太阳公转，一面绕轴自传。

地球最初形成时，是一个温度非常高的火球，地球上的物质处于熔融状态。随着地球逐渐冷却，较重的物质沉到中心，形成地核；较轻的物质浮在上面，冷却后形成了地壳；地核和地壳中间的物质我们称为地幔。大约在 45 亿年以前，原始的地球就有现在的大小。原始的地球既无大气，又无海洋。在最初的数亿年里，小天体不断撞击地球，地球内部的熔融岩浆不断上涌，地震、火山喷发随处可见。蕴藏在地球内部的水合物，在火山喷发的过程中变成水汽升到空中，又通过降雨回到地面。降落到地球表面的水，在洼地连成一片，形成原始的海洋。

原始地球形成后，在重力分异和化学分异等作用下，经历了大约 45.5 亿年的演化过程。从均匀混合的物质状态逐渐分化成为今天这样的由不同状态和不同物质组成的非均质圈层构造的椭球体。地球是扁率不大的梨状三轴旋转椭球体，由于地球椭球体的扁率很小，故在一般计算时，常视地球为一圆球体，取其平均半径值为 6371km。

一、地球圈层

地球的圈层构造以地表为界分为外部圈层(如图 1-1)和内部圈层(如图 1-2)。内部圈层由地壳、地幔和地核构成，体积约 10830 亿立方千米。地球的外部被气体包围，称为大气圈。



地球外部圈层示意图

图 1-1 地球的外部圈层

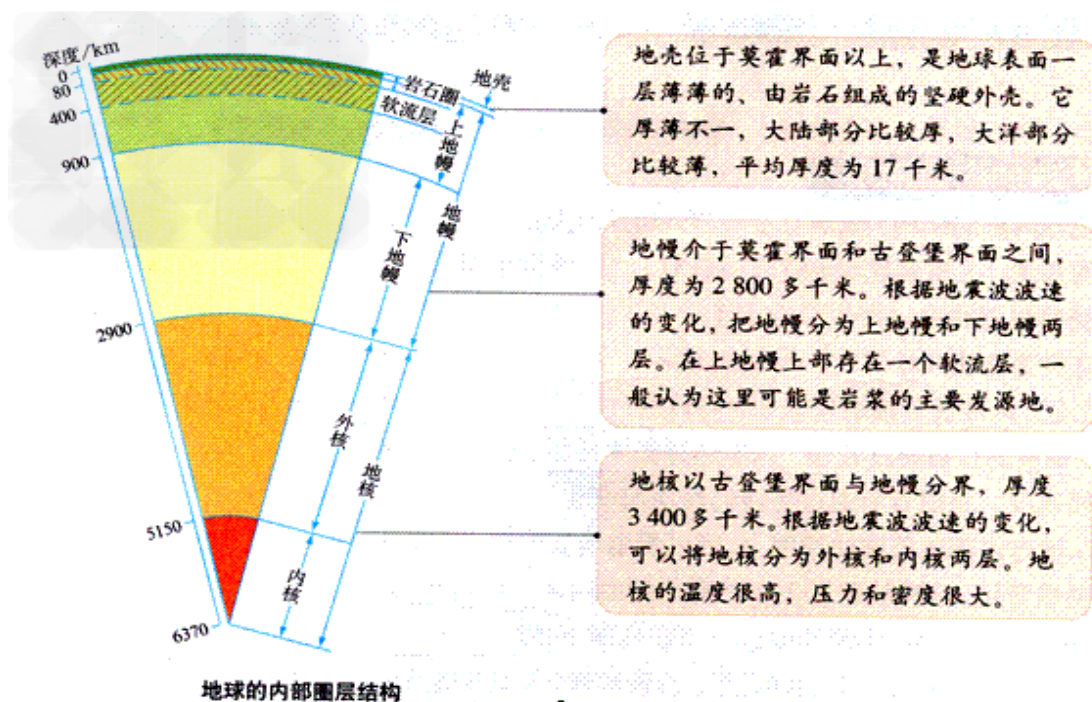


图 1-2 地球的内部圈层

(一) 外部圈层

1. 大气圈

大气圈是环绕地球的空气层，一般以海陆表面为其下限。随着高度的增加大气密度逐渐稀薄，无明显上限。其质量为 $5.136 \times 10^{21} \text{g}$ ，约为地球总质量的百万分之一。

大气圈按物理性质自下而上分为四层：对流层、平流层、电离层、扩散层。大气圈主要是由氮气、氧气、二氧化碳和少量的水汽、尘埃等组成的混合物。氮气和氧气约占 98.2%，由于受地心引力作用，四分之三大气质量集中在对流层。

对流层是大气圈的最底层，其厚度不均，在赤道为 17km，两极约为 9km，中纬度地区 10.5km。氮是植物制造蛋白质的主要原料；氧是生物生命活动的重要条件，也是促进岩石等氧化分解的重要成分；位于大气圈最底部的二氧化碳(约占 0.03%)主要来自有机物的氧化和生物的呼吸，它强烈吸收地面长波辐射并放出热量，因而对地表起着一种保温的作用，同时也是促使岩石风化分解的重要因素之一；水汽的含量变化很大，一般为 0~4%，主要来自水圈的蒸发。它润湿空气，保持空气的湿度，并能吸收地面长波辐射的热能。水汽在物态变化过程中要放热或吸热，从而使地面附近昼夜温差减小，保持土壤中的温度。水汽还以固态杂质为核心，凝聚成云、雾、雨、雪等，对气候变化起着重要作用。对流层中

的各种组成都直接或间接影响着外动力地质作用的进行。

对流层的温度主要来自太阳地面辐射热，故气温随高度而递减，平均每升高 100m 降低 0.6℃。地表辐射热不均匀还是各种气候变化的主要原因。

平流层中存在大量臭氧，它对太阳辐射紫外线的强烈吸收构成了对生物的有效天然保护层，使生物免受强烈紫外线的伤害。

2.水圈

水圈由地球表面的水体组成。水大部分在海洋里，其余分布在大陆上的河流、湖泊、以及近地表的岩石和土壤的空隙中，或以固体的形式（冰川）分布在两极和高山地区。其总体积为 $1.37 \times 10^9 \text{ km}^3$ ，其中海水占总体积的 97.2%，大陆水体占 2.8%。在大陆水体中极地和高山地区的冰体约占其总体积的 78.6%。

地球表面上的海洋面积占 70.78%，通常人们把地球表面的海洋、河流、湖泊及地下水看成是包围地球表面的闭合圈。在自然界水分的循环过程中，大陆降水量只占总降水量 20.6%，然而这一水量却是改变地貌的强大动力因素。河流、冰川、地下水等水体在其流过程中，不断改造地表，塑造出各种地表形态。同时水圈对生命的生存、演化提供了必不可少条件，因此水圈是外动力地质作用的主要动力来源。

3.生物圈

地球表面凡是有生命活动的范围称为生物圈。生物圈与水圈、大气圈、地壳直接并没有严格的界限。大量生物集中在地表和水圈中。

生物包括动物、植物和微生物。自地球上出现生物以来，其通过生命活动不断直接和间接地改造大气圈和水圈，并产生复杂的化学循环，并改造地壳表层的物质成分和结构。生物还直接参与风化、成岩等一系列地质作用。生物活动成为改造大自然的一个积极因素。同时生物的繁殖活动和生物遗体的堆积，为形成有用矿产提供物质基础。

（二）内部圈层

根据对地震资料的研究，发现地球内部地震波的传播速度在两个深度上作显著跳式变化的界面，这两个面即莫霍面和古登堡面。莫霍面位于地表以下平均深度 33km 处，古登堡面位于地表以下平均深度 2900km 处。根据这两个面，把地壳分为地壳、地幔和地核。

1.地壳

地壳指地球外表的一层薄壳，大陆地壳平均厚度为 33km，大洋地壳较薄，平均 5-6km，平均厚度 16km，大致为地球半径的 1/400，主要由固体岩石组成。其地震波波速一般为 5-7km/s，最高不超过 7.6 km/s，密度一般为 2.6-2.9g/cm³ 的固态物质组成。

根据岩石的物质组成，地壳可分上、下两层。上部地壳平均密度 2.65 g/cm³ 该层仅在大陆上才有，而在大洋底基本缺失。该层岩石的成分，密度等与以硅、铝为主的花岗岩近似，又称花岗岩质层或硅铝层；下部地壳平均密度 2.9 g/cm³ 左右，该层地壳直接出露于洋底，其密度、波速均与由硅、铁、铝、镁组成的玄武岩相当，又称玄武岩质层或硅镁层。地壳按分布状态分为大陆地壳和大洋地壳，大陆壳厚度大且呈双层结构，上层为花岗岩质层，下层为玄武岩质层；大洋壳厚度小，呈单层结构，以玄武岩质层为主。

组成地壳的化学元素有百余种，但各元素的含量极不均匀，其中最主要的是下列几种，它们占地壳总质量的 99.96%。氧(O)：46.95%；硅(Si)：27.88%；铝(Al)：8.13%；铁(Fe)5.17%；钙(Ca)：3.65%；钠(Na)：2.78%；钾(K)：2.58%；镁(Mg)：2.06%；钛(Ti)：0.62%；氢(H)：0.14%。

2.地幔

地幔是在莫霍面以下，古登堡面以上部分，其体积约占地球体积的 83%，质量占 68.1%，是地球的主体部分，主要由固态物质组成。以 984km 为界分为上地幔和下地幔两个次级圈层。上地幔的物质成分是由含铁、镁的硅酸盐矿物组成，与超基性岩类似，上地幔的平均密度为 3.5g/cm³。下地幔一般认为其物质成分以铁、镁的硅酸盐为主，硅酸盐结构类似致密氧化物的紧密堆积结构，下地幔的平均密度为 5.1g/cm³。需要指出的是指出的是，地壳下部、地幔、地核的物质是推测得出的。

3.地核

地幔下界至地心部分称为地核，占地球总质量的 31.5%，占地球总体积的 16%。按地震波波速分布，分为外核、过渡层和内核三层。内核一般认为由铁、镍等成分为主的固态物质组成。

(三) 地质作用

地壳是地球外部的坚硬外壳，自形成以来其表面形态、结构和物质成分在不断变化和发展。这种由自然动力促使地壳的物质组成、结构和地表形态变化和发

展的作用，称地质作用。引起地质作用的能量，有的来自地球内部，有的来自地球以外，据此可以把地质作用分为内动力地质作用和外动力地质作用(见表 1-1)。

表 1-1 地质作用分类表

地质作用	外动力地质作用	风化作用	物理风化作用、化学风化作用、生物风化作用
		剥蚀作用	风的吹蚀作用、河流的侵蚀作用、地下水的潜蚀作用、湖泊和海洋的剥蚀作用、冰川的刨蚀作用
		搬运作用	风的搬运作用、河流的搬运作用、地下水的搬运作用、湖泊和海洋的搬运作用、冰川的搬运作用
		沉积作用	风的沉积作用、河流的沉积作用、地下水的沉积作用、湖泊和海洋的沉积作用、冰川的沉积作用
		成岩作用	压实作用、胶结作用、结晶作用
	内动力地质作用	构造运动	水平运动、垂直运动
		岩浆作用	侵入作用、喷出作用
		变质作用	
		地震作用	构造地震、火山地震、陷落地震

1.内动力地质作用

主要由地球内部的能源如旋转能、重力能、放射性元素衰变产生的热能等引起，作用于整个地壳甚至整个岩石圈的地质作用，称内动力地质作用，简称内力地质作用。内动力地质作用按其表现形式主要有四个方面：地壳运动、岩浆作用、变质作用和地震作用。

(1) 地壳运动

由地球内部能源引起的地壳结构和面貌发生改变或相对位移的运动，称地壳运动。按地壳运动的方向，分为垂直运动和水平运动。实际上地壳的运动远比我们想象的复杂。所谓垂直运动和水平运动是相对而言，某一时期以垂直运动或水平运动为主。目前，我国地势西部总体相对上升，而东部相对下降。同一地区构造运动的方向随着时间推移而不断变化，某一时期以水平运动为主，另一则以垂直运动为主，且水平运动的方向和垂直运动的方向也会发生更替。

地壳运动不断地改变地壳的原始状态，当地壳受到挤压、拉张、扭转等应力时，便形成各种各样的构造形态。在内力地质作用中地壳运动是诱发地震作用，影响岩浆作用和变质作用的重要条件，也影响外动力地质作用的强度和变化。因此，地壳运动在地质作用的总概念中是带有全球性的主导因素。

(2) 岩浆作用

岩浆，通常是指地壳下面呈高温粘稠状的、富含挥发组分、成分复杂的硅酸

盐物质。岩浆在高温高压下常处于相对平衡状态,当地壳运动使地壳出现破裂带,或其上覆受外力地质作用发生物质转移时,造成局部压力降低,打破了岩浆的平衡环境,岩浆就会低压方向运动,这种现象称为岩浆活动。当其侵入地壳上部或喷出地表冷凝而成的岩石称岩浆岩。岩浆活动还使围岩发生变质现象,同时引起地形改变。

(3) 变质作用

由于地壳运动、岩浆作用等引起地壳物理和化学条件发生变化,促使岩石在固体状态下改变其成分、结构和构造的作用。变质作用形成各种不同的变质岩。

(4) 地震

地震是由内动力地质作用引起岩石圈的快速振动的现象,地壳运动和岩浆作用都能引起地震。

2.外动力地质作用

外动力地质作用,简称外力作用,是由来自外部能源所引起的地质作用,主要有太阳辐射能、天体引力、其它行星、恒星对地球的辐射等。其具体表现方式有风化、剥蚀、搬运、沉积和成岩作用。

(1) 风化作用

在太阳辐射、大气、水和生物等风化营力的作用,地壳表层的岩石在原地发生崩解、破碎以至逐渐分解等物理和化学的变化则称为风化作用。风化过程破坏原有在较高温度和压力下形成的矿物、岩石,又形成一些在常温常压下稳定的新矿物。风化作用在地表最显著,随着深度的增加,其逐渐减弱以至消失。风化作用是普遍、持续和及其缓慢的,它形成的产物基本上残留在原地。风化作用使岩石逐渐破裂,转变为碎石、砂和粘土。

风化作用使坚硬致密的岩石松散破坏,改变了岩石原有的矿物组成和化学成分,使岩石强度和稳定性大为降低,对工程建筑条件起着不良的影响。此外,像滑坡、崩塌、碎落、泥石流等不良地质现象,大部分都是在风化作用的基础上逐渐形成和发展起来的。所以了解风化作用,认识风化现象,分析岩石的风化程度,对评价工程建筑条件是十分必要的。风化作用按其占优势的营力及岩石变化的性质的不同,可分为物理风化、化学风化及生物风化三个联系的类型。

①物理风化作用

在地表或接近地表条件下，岩石、矿物在原地发生机械破碎而不改变其化学成分的过程称为物理风化作用。引起物理风化作用的主要因素是岩石释重和温度的变化。

岩石释重也称释荷作用，形成于地壳较深的岩石，因上覆岩石的重量而受到较高的围岩压力。当上覆岩石被剥蚀后压力减少或消失，岩石体积膨胀，出现平行地面的膨胀裂隙。在温度变化、水和生物等风化营力的作用下，形成岩石表层的层层脱落现象，称为鳞片剥落。

此外，由于温度剧烈变化，使岩石迅速热胀冷缩，使岩石裂隙中水的冻结与融化、盐类的结晶与潮解等，也能促使岩石发生物理风化作用。如地表岩石的裂隙中，常有水分充填，当温度下降到 0°C 时会冻结成冰。水结成冰时，体积可比原来增大 9% 左右，由于体积的增大，对岩石的裂隙产生很大的压力，使岩石裂隙加宽、加深，当气温回升至 0°C 以上，冰体融化，水沿扩大的裂缝更深地渗入岩石内部，充填在岩石裂隙中的水分时而冻结，时而融化，岩石在这样反复地作用下，裂隙可不断扩大、加深，从而使岩石崩裂成碎块。

②化学风化作用

化学风化作用主要是水溶液与地表附近的岩石进行化学反应，使岩石逐渐分解的过程。引起化学风化作用的主要因素是水和氧等。自然界的水无论是雨水、地面水或地下水，都溶解有多种气体和化合物，因此自然界的水都是水溶液。水溶液可通过溶解、水化、水解、碳酸化、氧化等方式促使岩石发生化学风化。并形成一些新的矿物。如正长石可以水解形成高岭石，黄铁矿氧化形成褐铁矿等。

③生物风化作用

岩石在动植物及微生物影响下发生的破坏作用，称为生物风化作用。生物风化作用既有机械的破坏作用，也有化学的风化作用。

地壳表层的岩石经长期风化作用后，残留原地的松散堆积物，称为残积物。残积物覆盖地壳表面的风化基岩上，具有一定厚度的风化岩石层即为风化壳，它是原来岩石在一定的地历史时期各种因素综合作用的产物。岩石的风化由表及里，地表部分受风化作用的影响最显著，由地表往下风化作用的影响逐渐减弱以至消失。因此从工程地质的角度出发，一般把风化岩层自下而上分为四个带：整石带、块石带、碎石带、粉碎带。对整个风化壳剖面按照岩石风化程度的不同进行分带，

对建筑场地的选择、工程设计、施工和地基处理等都是十分必要的。

（2）剥蚀作用

剥蚀作用是将岩石风化破坏的产物从原地剥离下来的作用。通过风力、地面流水、地下水、湖泊、海洋和生物等各种外动力因素，把风化后的松散物从岩石表面搬离原地，并以风化物为工具参与对岩石、矿物进行风化破坏的过程，统称为剥蚀作用。按引起剥蚀作用的动能性质不同，可以分为风的吹蚀作用、流水的侵蚀作用、地下水的潜蚀和溶蚀作用，湖、海水的冲蚀作用、冰川的刨蚀作用等

（3）搬运作用

风化剥蚀的产物，通过风力、流水、冰川、湖水、海水以及生物的动力，被搬离母岩后，随着动能力量的大小而转移空间的过程，称为搬运作用。搬运与剥蚀往往是在同一种动力下进行的。

（4）沉积作用

被搬运的物质，由于搬运能力减弱、搬运介质的物理化学条件发生变化或由于生物的作用，从搬运的介质中分离出来，形成沉积物的过程，称为沉积作用。按其沉积方式可以分为：机械沉积、化学沉积和生物沉积。按其沉积环境又可分为：风的沉积、河流沉积、冰川沉积、洞穴沉积和海洋沉积等。如山区洪水，随着流速减慢，大的物质比如大的卵石首先沉积下来，依次卵石、粗砂、中砂、细沙、粘土等逐步沉积。山区河流越往上游，河中可见颗粒越大。

（5）成岩作用

使松散堆积物固结为岩石的过程，称为成岩作用。在固结过程中，要经历物理的压实作用和化学胶结作用。当沉积物达到一定厚度时，上覆沉积物的静压力使矿物颗粒互相靠紧，发生脱水，孔隙减小，体积压缩，密度增大，再通过孔隙中水溶胶结物质的化学沉淀，将松散碎屑凝聚起来；同时，随着沉积物的埋深而升温、加压，使其中细粒矿物发生化学反应进行结晶而固化成岩。

外力作用，一方面通过风化和剥蚀作用不断地破坏出露地面的岩石；另一方面又把高处剥蚀下来的风化产物通过流水等介质搬运到低洼的地方沉积下来，重新形成新的岩石。外力趋势是切削地壳表面隆起的部分，填平地壳表面低洼的部分，不断使地壳的面貌发生变化。

各种内力作用和外力作用，尽管能源、部位不同，但在促使地壳演化中所起

的作用，是相互联系、紧密配合的。在地壳演化过程中，内力起着主导作用，通过岩浆作用、变质作用和构造运动不断改造地壳，并使地表产生大陆、海洋、山脉、平原等巨型地形起伏，即内力作用总的趋势是形成地壳表层的基本构造形态和地壳表面大型的高低起伏；而外力作用则是破坏内力作用形成的地形或产物，即总的趋势是削低高地、填平低洼，力求使地表夷平，并形成新的沉积物。

第二节 矿物

地壳是由岩石组成的。岩石是千差万别多种多样的，有的岩石由比较单一的化合物组成，如石灰岩，由方解石（碳酸钙）组成；有的岩石由多种化合物组成，如花岗岩主要由石英（成分二氧化硅）、长石（钾、钠、钙等的铝硅酸盐）、云母、角闪石（钙、镁、铁等的铝硅酸盐）等组成。

一、矿物的概念

关于矿物的命名和分类，古籍中皆有记载。《山海经》载岩矿名称 73 种；以金、石、玉、珉四类为众，暗示矿物的原始分类；文石、白珉、碧玉、慈石等名称沿用至今；描述了某些金属矿物的共生现象及矿物的物理性质；其中以“石涅”

（有人考证为石油或煤、石墨）引人注目。《管子地数》中写道：“山，上有赭者，其下有铁；上有铅者，其下有银；上有丹者，其下有黄金；上有慈石者，其下有银金；此山之见荣者也。”已经进行岩矿分布规律的探讨。

认识矿物可以从以下几个方面理解：

首先，矿物是天然产出的地质作用的产物。人造的金刚石、人造水晶等叫人造矿物，不属于地质矿物的讨论范畴。

其次，矿物具有一定的化学成分，按一定的比例组合。绝大多数矿物是化合物，如石英（ SiO_2 ）、钾长石（ $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ ）、岩盐（即食盐 NaCl ）等；少数为单质元素，如石墨（ C ）、金刚石（ C ）、自然金（ Au ）、自然铜（ Cu ）等。

第三，矿物绝大多数具有一定的内部构造。结晶矿物内部质点均按一定规律排列。

第四，矿物具有一定的形状及物理化学性质。如食盐颗粒外形呈立方体，破碎后呈小立方体，性质不变。

第五，矿物是相对稳定的，环境改变时，其成分、结构可以改变，形成新的矿物。如钾长石风化为高岭石，黄铁矿风化为褐铁矿。

第六，矿物可以是固态，也可以是气态（如火山蒸汽中的 CO_2 、 H_2O ）或液态水（ H_2O ）。

第七，矿物可以是无机物，也可以是有有机物。如甲烷等。

矿物是组成地壳的基本物质，它是在各种地质作用下形成的具有一定的化学成分和物理性质的单质体或化合物。其中构成岩石的主要矿物称为造岩矿物。

二、矿物的一般知识

矿物是构成岩石的基本单元，目前自然界已被发现的矿物约 3300 多种（种及亚种），其中常见的 30 余种，即组成常见岩石的“造岩矿物”。它们占地壳重量约 99%。其余矿物虽然种类很多，但数量很少，总共只占地壳重量 1% 左右。造岩矿物主要以硅酸盐为主。

矿物绝大部分是结晶质的，结晶质的基本特点是组成矿物的元素质点(离子、原子或分子)在矿物内部按一定的规律重复排列，形成稳定的格子构造。矿物形成时冷却缓慢，有条件充分结晶。我们把凡是天然产出的具有一定几何形态的固体均称为晶体。如石英晶体，岩盐（食盐）晶体，方解石晶体等。少部分矿物是非晶质体，是指矿物内部不是质点规则排列，也不形成几何多面体外形的固体。如玻璃质，液体和气体不包括在内。火山作用常形成玻璃质。

矿物的形态是指矿物的单体及化合物而言。在自然界矿物多呈集合体出现，少数呈单晶体出现。矿物晶体的形态特征是其结晶结构和化学成分的外在反映，具有一定成分和结晶结构的矿物具有一定的晶体形态特征。在矿物鉴定上具有鉴定意义，矿物形态受生成环境的影响。

除晶体外，自然界还有隐晶质和胶态集合体。所谓隐晶质就是肉眼看不到结晶体。

自然界有分泌体如玛瑙，是胶体或晶体矿物由空洞洞壁向中心分泌逐层沉淀充填而成，中间常有空洞或长有晶簇；结核体，是围绕某一中心自内而外逐渐生长的球状体，内部呈致密状、同心层状或放射状构造，小于 2mm 的球状结核体称鲕状体，2-5mm 称豆状体；钟乳状集合体，由同一基底逐层向外生长而成，呈圆锥形或圆柱形等形状的集合体，如钟乳石等。

三、自然界的矿物分类

按其成因可分为三大类型：

（一）原生矿物

也称内生矿物，在成岩或成矿的时期内，由岩浆熔融体中经冷凝结晶过程中形成的矿物。如花岗岩中的长石、石英、角闪石等，辉长岩中的辉石，橄榄岩中的橄榄石等，都是常见原生矿物；在后期热液成矿过程中的形成的黄铁矿、方铅矿等，也是原生矿物。

（二）次生矿物

也称外生矿物。原生矿物遭受化学风化而形成的新矿物，如正长石经水解后形成的高岭石，高岭石再经水解后形成铝土矿。

（三）变质矿物

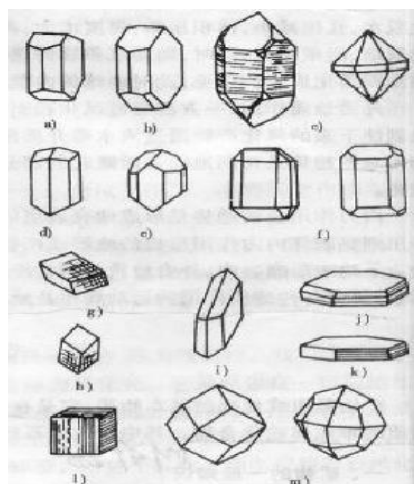
在变质作用过程中形成的矿物，如硅灰石、石榴子石、蛇纹石、滑石等。

四、矿物的物理性质

矿物的物理性质主要决定于它的内部构造和化学成分。学习矿物的物理性质主要是为了鉴定矿物。矿物的鉴定有两种主要方法，一般用肉眼观察并借助简单的工具和试剂，这是野外观察常用的方法；另一种是把岩石切片，在偏光显微镜镜下进行专业鉴定。前一种方法鉴定简单，对常见矿物分类和野外命名很有帮助，但对部分矿物鉴定准确性差，必须借助偏光显微镜镜进行准确鉴定，本书只要求进行简单的鉴定。

（一）矿物的形状

在液态或气态物质中的离子或原子互相结合形成晶体的过程称为结晶。晶体内部质点的排列方式称晶体结构。不同的离子或原子可构成不同晶体结构，相同的离子或原子在不同的地质条件下也形成不同的晶体结构。晶质矿物因内部结构固定，因此，具有特定的外形。常见形状有柱状、粒状、纤维状、板状、片状、结核状等。矿物在生长条件合适时(有充分的物质来源、足够的空间和时间等)能按其晶体结构特征长成有规则的几何多面体外形，呈现出该矿物特有的晶体形态。矿物的外形特征是其内部构造的反映，是鉴别矿物的重要依据。



a) 正长石；b) 斜长石；c) 石英；d) 角闪石 e) 辉石；
b) f) 橄榄石；g) 方解石；h) 白云石；I) 石膏；
c) j) 绿泥石；k) 云母；l) 黄铁矿；m) 石榴子石

图 1-3 矿物单体形状

(二) 矿物的光学性质

矿物的光学性质是指矿物对自然光的吸收、反射和折射所表现出的各种性质。包括颜色、条痕、光泽和透明度。

1. 颜色

矿物的颜色是指矿物对可见光中不同光波选择吸收和反射后映入人眼视觉的现象。它是矿物最明显、最直观的物理性质。常以标准色谱的红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫以及白、灰、黑来说明矿物颜色。也可以最常见的实物颜色来描述矿物的颜色，根据矿物颜色产生的原因分为自色、他色和假色。

自色 矿物本身所固有的颜色，是由矿物中的色素离子所引起的，自色对矿物具有重要的鉴定意义，对同一种矿物，自色具有固定性。如黄铁矿多呈浅铜黄色等。

他色 矿物含有杂质等机械混入物所引起的，无鉴定意义。如水晶是无色透明的，所含杂质使之呈现各种颜色。

假色 矿物内的某些物理原因所引起的颜色，比如光的干涉、内散射等。如方解石内部有细微裂隙面呈“晕色”等。假色只对某些矿物具有鉴定意义。

矿物的颜色往往是原生矿物本身化学特性的直接反映。原生矿物按颜色将其分为浅色矿物和深色矿物两类。浅色矿物有石英、长石、白云母等含硅铝质为主的矿物；深色矿物有橄榄石、黑云母、角闪石、辉石等含铁镁质为主的矿物。

2. 条痕

矿物的条痕色是矿物粉末的颜色，一般是指矿物在白色无釉磁板上擦划所留下的痕迹的颜色。条痕色比颜色更为固定，因其去掉了矿物反射所造成的色差，增加了吸收率，消除假色的干扰，减弱了他色的影响，保留和突出了矿物的自色。

硬度小于白色无釉磁板硬度的矿物，可以直接观察条痕；硬度大于磁板硬度的矿物，可以碾成粉末在白纸上观察。条痕可以深于、等于、小于矿物的自色，常与矿物的光泽、透明度有密切联系。透明、玻璃光泽的矿物，条痕是白色或近于白色，对鉴定意义不大；对金属、半金属光泽的矿物鉴定很重要。如赤铁矿可呈红、钢灰等色，条痕是樱桃红色，辰砂是鲜红色，条痕也是鲜红色，自然金条痕是金黄色。

3. 光泽

光泽是矿物新鲜面对可见光的反射能力。一般来说，矿物表面反射出的光线愈多，则透射到矿物内部的光线愈少，矿物就愈不透明，光泽也愈强。反之，光泽就愈弱。根据反光强弱用类比方法分为金属光泽、半金属光泽、金刚光泽、和玻璃光泽。或只采用二分法，分为金属光泽（金属光泽、半金属光泽）和非金属光泽（金刚光泽、玻璃光泽）。绝大多数矿物呈非金属光泽。

还有一些特殊的光泽如丝绢光泽、油脂光泽、蜡状光泽、土状光泽等。

矿物遭受风化后，光泽强度就会有不同程度的降低，如玻璃光泽变为油脂光泽等。

4. 透明度

透明度是指矿物透过可见光波的能力，即光线透过矿物的程度，一般规定以0.03mm的厚度作为标准进行鉴定。肉眼鉴定矿物时，根据透明度的差异分为透明矿物、半透明矿物和不透明矿物。

（三） 矿物的力学性质

矿物的力学性质是指矿物在受力后所表现的物理性质。

1. 硬度

硬度是矿物抵抗刻划的能力，即刻划硬度，它是组成矿物的原子间连接力强弱的表现。一般用肉眼鉴定矿物时常用两种矿物对划的方法确定矿物的相对硬度。

在野外鉴别矿物硬度时，还可采用简易鉴定方法来测试其相对硬度，即利用指甲(2-2.5)、小刀(5—5.5)、玻璃片(5.5-6)和钢刀(6-7)等粗略判定。矿物的硬度是

指单个晶体的硬度，而纤维状、放射状等集合方式对矿物硬度有影响，难以测定矿物的真实硬度。

国际公认的摩氏硬度计以常见的 10 种矿物作为标准，从低到高分为 10 级(见表 1-2)，是一种相对硬度。

表 1-2 摩氏硬度计

硬度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
标准矿物	滑石	石膏	方解石	萤石	磷灰石	长石	石英	黄玉	刚玉	金刚石

2. 解理与断口

矿物受到超过质点间的外力作用时，往往发生破裂现象。解理是矿物受打击后，能沿一定晶面裂开成光滑平面的性质。解理是结晶物质所固有的特征之一，是鉴定矿物的一个重要标志。其裂开的面为解理面。

矿物晶体并非都有解理，而且不同矿物其解理等级也不相同。与矿物结晶结构和化学键有密切关系。由于晶体具有格子状构造，矿物某方向具有解理，在该方向就有一系列解理面，这些解理面称为一组解理。

根据其解理发育的程度分为极完全解理、完全解理、中等解理和不完全解理。具有解理的矿物严格受其内部格子构造的控制，根据解理出现方向数目，有的沿着一组平行方向发育的称为一组解理，沿两个方向发育的为二组解理，沿三个方向发育的为三组解理等。

矿物在外力打击下，沿任意方向发生的不规则裂口称为断口，也称无解理或不完全解理。如黄铁矿，石榴石等。对于某种矿物来说，解理与断口的发生常互为消长的关系，越容易出现解理的方向越不易发生断口。

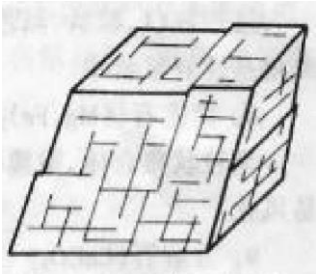


图 1-4 方解石的三组解理

(四) 其它性质

有些矿物还具有独特的性质，如磁性、放射性、发光性、弹性、挠性、发光性、人的感官感觉等。简介如下：

矿物的磁性是指矿物晶体在外磁场中被磁化时所表现出来的能被外磁场吸引或排斥或对外界产生磁场的性质。主要是矿物含有铁、钴、镍、钛、钒等元素所致。

矿物的放射性是指矿物中的放射性元素（铀、钍、镭等）自发地从原子核内部放出粒子或射线，同时释放出能量的现象。这一过程叫放射性衰变。有些地热的产生就是放射性衰变的结果。利用矿物的放射性可以寻找放射性矿产，根据放射性元素及其衰变物可以计算矿物和岩石的年龄。

矿物的发光性是指矿物在外来能量的激发下发出可见光的现象。激发因素有加热、摩擦、紫外线、阴极射线、X射线等。矿物在激发期间发光，激发中止发光也中止的现象叫萤光，如白钨矿在紫外线照射下发浅蓝色萤光；当激发因素中止后，矿物尚维持一段时间者称磷光，如磷灰石，可发磷光。矿物的发光性在找矿、选矿和矿物的应用等方面具有一定的意义。

五、常见的造岩矿物

目前已知的矿物近 3300 种。目前矿物学中是以化学成分和结晶结构为依据的“晶体化学分类”。即先以化学成分为基础划分出大类和类；再按结晶结构的型式，把同类中具有相同结晶结构的矿物归为一个族；最后按具有一定结晶结构和一定化学成分的独立单位划分种。基于以上原则将矿物划分为五大类：

第一大类是自然元素 指组成元素以中性状态存在的矿物，可呈单质形式出现，也可以由两种或两种以上元素按被比关系呈金属互化物产出。如自然金 Au、石墨 C、金刚石 C、银金矿(Au、Ag)、金银矿（Au 、Ag）等。该类已知矿物 90 种。

第二大类是硫化物及其类似化合物 指金属阳离子与硫、硒、碲、砷化合成的一系列化合物，约 350 种，如黄铁矿（FeS₂）、黄铜矿（CuFeS₂）等。

第三大类是氧化物和氢氧化物 是一系列金属和非金属阳离子和阴离子氧或氢氧根结合而成的化合物，包括水的氧化物矿种。氧化物约 280 种左右，氢氧化物约 100 种左右，占地壳重量的 17%。其中硅的氧化物，如石英、蛋白石等分布最广，占地壳重量的 12%。刚玉（Al₂O₃）、赤铁矿（Fe₂O₃）属于该类。

第四大类是含氧盐 本大类矿物种类繁多，约 1500 种，占矿物总数的一半左右。是主要造岩矿物，也是构成地壳的最主要成分，占地壳重量的 80%以上。

由硅酸盐、磷酸盐、硫酸盐、碳酸盐和钨酸盐类等矿物组成。其中长石、橄榄石、辉石、角闪石、白云母、黑云母、滑石、高岭石、蒙脱石等属于硅酸盐类矿物；磷灰石等属于磷酸盐类矿物；石膏等属于硫酸盐类矿物；方解石、白云石等属于碳酸盐类矿物；白钨矿、黑钨矿等属于钨酸盐类矿物。

第五大类是卤化物 本大类是以卤族元素氟、氯、溴、碘为唯一的阴离子或主要阴离子，与金属离子结合形成的矿物，约有 100 种。萤石、岩盐（即食盐）是常见矿物。

一种矿物之所以不同于别的矿物，是由于在化学成分、内部构造和物理性质三个方面有别于其它矿物，而矿物的物理性质主要取决于其内部构造和化学成分。由于物理性质测试简单，常是鉴定和分类的主要依据。

下面介绍几种重要造岩矿物以及它的物理性质。

1. 石英(SiO_2)



图 1-5 石英

石英(SiO_2)属于氧化物，是以 SiO_2 为成分的一族矿物的统称。无色，因含杂质等可呈各种颜色，玻璃光泽，无解理，断口贝壳状，断口处为油脂光泽，硬度 7，相对密度 2.65 左右，透明度较好，晶形为六方柱状、锥状，集合体为晶簇状。化学性质稳定，抗风化能力强，含石英越多的岩石，岩性越坚硬。石英广泛分布在各种岩石和土层中，是主要的造岩矿物。

玛瑙的矿物名称玉髓，也称石髓，成分也为 SiO_2 的另一种矿物，是隐晶质二氧化硅纤维状异种的统称。具有不同颜色的条带或花纹相间分布的玉髓称玛瑙。

2. 正长石(KAlSi_3O_8)



图 1-6 正长石

正长石属于含氧盐大类，硅酸盐类。长石族矿物（碱性长石和斜长石亚族）是地壳中分布很广的造岩矿物之一，在岩浆岩中出现 60%，变质岩中出现 30%，沉积岩中出现 10%。正长石是碱性长石亚族代表性的矿物，颜色为肉红色、黄褐色、褐黄色及白色等，透明，玻璃光泽，硬度 6，两组解理正交，一组完全，一组中等，相对密度 2.56—2.58，呈短柱状或厚板状。易于风化，完全风化后形成高岭石、绢云母、铝土矿等次生矿物。

3. 斜长石{ $m\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)-a(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ }

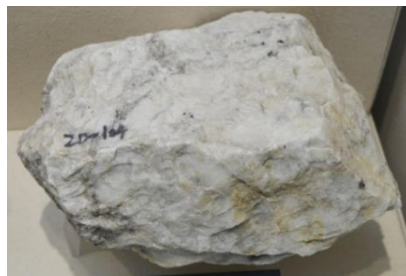


图 1-7 斜长石

属于含氧盐大类，硅酸盐类。一般为白色，或带灰、浅红、浅绿、浅黄等色调，玻璃光泽，硬度 6-6.5，两组完全解理，两组解理面呈 86° 左右斜交，相对密度 2.55—2.76，晶体呈板状及板柱状，在岩石中呈板状或不规则粒状。易于风化，解理面上有细条纹。成分中以 Na^+ 为主的是酸性斜长石，以 Ca^{2+} 为主的是基性斜长石，二者之间的为中性斜长石。斜长石是构成岩浆岩最主要的矿物之一。在岩石中的斜长石，根据双晶、有无解理、硬度及透明度，可与石英区别。

4. 白云母{ $\text{K}(\text{Al}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2)$ }



图 1-8 白云母

属于含氧盐大类，硅酸盐类。一般无色透明，因含有杂质，带不同色调。玻璃光泽，解理面呈珍珠光泽，一组极完全解理，薄片具弹性，硬度 2.5-3，相对密度 2.76—3.10，晶体一般呈片状、鳞片状集合体，也有板状集合体，具有丝绢光泽，呈细小鳞片状产出的白云母称绢云母。具有高的电绝缘性。在自然界分布很广，为花岗岩及花岗伟晶岩等酸性岩浆岩的主要造岩矿物，抗风化能力较强。可根据一组极完全解理和薄片具弹性及较浅的颜色，与其它矿物区别。

5. 黑云母{K (Mg、Fe)₃[AlSi₃AlO₁₀](OH、H)₂}

属于含氧盐大类，硅酸盐类。成分不稳定，Mg—Fe 之间为完全类质同象，成分中一般为 Mg: Fe<2。当 Mg: Fe>2 时，称金云母，含铁量特别高者为铁黑云母。黑云母是金云母与铁黑云母的中间类型。黑云母一般颜色较深，颜色深褐和黑色，有时带有红或绿色调；金云母通常呈黄棕—褐红色，有时无色。黑云母和金云母均透明，玻璃光泽，硬度 2.5-3，相对密度 2.70—3.30，形态特征和白云母相同。呈片状或板状。易风化，风化后可变成蛭石，薄片弹性。当岩石含云母较多时，强度降低。黑云母广泛分布于岩浆岩和变质岩中。金云母主要产于变质岩中。

6. 普通角闪石{NaCa₂(Mg、Fe、Al)₅[(Si、Al)₄O₁₁]₂(OH)₂}



图 1-9 角闪石

属于含氧盐大类，硅酸盐类。颜色暗绿至绿黑色，有时为褐色，玻璃光泽，

透明至半透明，硬度 5—6，中等解理，两组解理交角 56° ，相对密度 3.02—3.45，角闪石族矿物晶体多为长柱状，横截面为近菱形的六边形。集合体呈纤维状、针状等。易风化，风化后可形成粘土矿物、碳酸盐及褐铁矿等。多产于中、酸性岩浆岩和某些变质岩中。

7. 普通辉石 $\{(Ca, Mg, Fe, Al)[(Si, Al)_2O_6]\}$

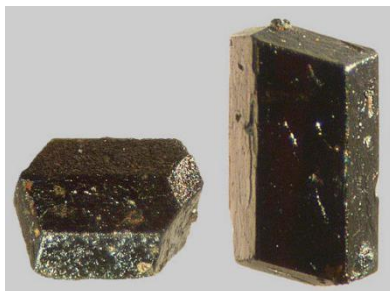


图 1-10 辉石

属于含氧盐大类，硅酸盐类。颜色为黑色、绿黑色或褐黑色，少数为褐、灰褐色，玻璃光泽，中等解理，两组解理面交角 87° ，硬度 5—6，相对密度 3.43—3.6，矿物晶体呈短柱状、粒状，横截面为近正方形的八角形。较易风化。多产于超基性岩浆岩中，在变质岩中也有产出，是主要造岩矿物。根据晶型、颜色和解理，与普通角闪石区别。

8. 橄榄石 $\{(Mg, Fe)_2[SiO_4]\}$

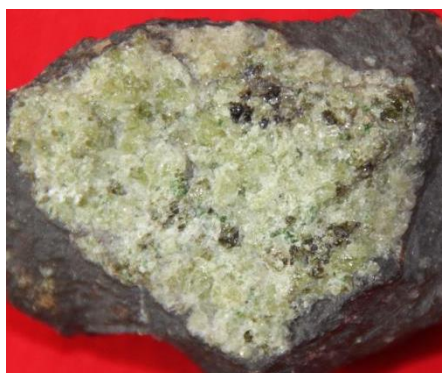


图 1-11 橄榄石

属于含氧盐大类，硅酸盐类。颜色浅黄、黄绿至黑绿色，随含铁量增加而颜色变深，透明，玻璃光泽，含铁多时近金刚光泽，硬度 6.5-7，贝壳状断口，为

油脂光泽，相对密度 3.22—4.39，晶型完好者少见，呈短柱状、后板状，一般呈它形粒状晶体。主要产于基性、超基性岩浆岩中。一般不与石英共生（除铁橄榄石外）。色彩鲜艳的橄榄石巨晶可作宝石。易风化。根据粒状外形和特殊的光泽和断口，并结合产状来识别。

9. 方解石(CaCO_3)



图 1-12 方解石

属于含氧盐大类，碳酸盐类。质纯者无色透明或白色，含杂质呈浅黄、浅红、紫、蓝、绿和黑色，玻璃光泽，三组完全解理，硬度 3，相对密度 2.6—2.9，晶型呈菱面体或六方柱等多种。与稀盐酸有剧烈起泡反应。方解石是组成石灰岩的主要成分，用于制造水泥和石灰等建筑材料，也可作电气及炼钢的溶剂等。根据晶型、解理、硬度以及遇盐酸起泡等特征，与石英等矿物区别。

10. 白云石[$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$]



图 1-13 白云石

属于含氧盐大类，碳酸盐类。纯者为无色或乳白色，含铁者为灰色，微带浅黄、浅褐、浅绿色调，玻璃光泽，硬度 3.5—4，三组完全解理，解理面常弯曲，

相对密度 2.85，集合体呈粒状、致密块状、肾状、多孔状。遇稀盐酸时微弱起泡。

白云石主要作为冶金工业用耐火材料、熔剂，并可作建筑材料和玻璃，陶瓷的配料以及化工原料。

11. 石膏[CaSO₄ • 2H₂O]



图 1-14 石膏

属于含氧盐大类，硫酸盐类，产于湖海化学沉积岩中以及硫化矿床氧化带。一般为白色及无色，也呈灰、浅黄、浅褐等色，条痕白色，硬度为 2，玻璃光泽，一组极完全解理和两组中等解理，相对密度 2.317。集合体呈致密块状或纤维状，广泛用于建筑、医学、化肥方面。

12. 黏土矿物，泛指各种形成粘土的矿物。

(1) 高岭石[Al₄(Si₄O₁₀)(OH)₈]



图 1-15 高岭石

属于含氧盐大类，硅酸盐类，由富含铝硅酸盐的岩浆岩和变质岩风化形成。名称来自江西省景德镇的高岭（山名）。白色，含杂质时呈浅黄、浅褐、红、绿、蓝等色调，土状光泽，干燥的土状块体易碾成粉末，硬度 2—3，相对密度 2.62—2.68，常呈致密块状、土状，干燥时有吸水性（粘舌），湿润后具有可塑性，

但不膨胀。是陶瓷的主要原料，在造纸、橡胶工业中作充填原料。

(2) 蒙脱石 $\{(A12Mg3)[Si4O10](OH)_2 \cdot 2H_2O\}$



图 1-16 蒙脱石

属于含氧盐大类，硅酸盐类。白色，有时为浅灰、粉红、浅绿色。呈土状、块状，土状光泽，致密块状者显蜡状光泽，硬度为 2—2.5，柔软，有滑感。吸水性很强，吸水后体积可膨胀几倍至十几倍，具有很强的吸附力和阳离子交换性能。是基性的火山凝灰岩和火山灰风化形成。蒙脱石是膨润土和漂白土中最主要的矿物。

(3) 伊利石 $\{K \langle 1Al_2[(Al, Si)_3O_{10}](OH)_2 \cdot 2H_2O \rangle\}$



图 1-17 伊利石

属于含氧盐大类，硅酸盐类。白色，呈块状，不具膨胀性和可塑性，因产于美国伊利诺斯州而得名。

13. 绿泥石 $\{(Mg, Fe, Al)_6[(Si, Al)_4O_{10}][OH]_8\}$



图 1-18 绿泥石

属于含氧盐大类，硅酸盐类。是含镁或铁的泥质岩石受低温热液作用或浅变质作用生成。绿泥石多呈各种不同深浅的绿色，从浅绿到深绿色，含铁多者色深，

透明。玻璃光泽，解理面呈油脂光泽，一组极完全解理，硬度 2—2.5，相对密度 2.68—3.40，薄片有挠性无弹性，集合体为隐晶质片状和隐晶质块状。强度较低，在变质岩中分布最多。根据形态、颜色和较低的硬度，与云母等矿物区别。

14. 滑石[$\text{Mg}_3(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2$]



图 1-19 滑石

属于含氧盐大类，硅酸盐类。为富镁质超基性岩、白云岩等变质后形成的主要变质矿物。质纯者为无色透明、白色或灰白色，有时带淡黄、淡绿、浅褐、粉红等色调的白色。硬度 1，一组极完全解理，解理面呈珍珠光泽晕彩，富有滑腻感（由此得名），贝壳状断口，相对密度 2.58—2.83，呈致密块状。耐酸、耐热，工业上常用原料。根据低硬度、滑腻感、片状滑石具极完全解理与其它矿物区别。

15. 石榴子石[$\text{A}_3\text{B}_2(\text{SiO}_4)_3$]



图 1-20 石榴子石

属于含氧盐大类，硅酸盐类。以变质岩的造岩矿物产出。颜色随成分而异，多数是黄褐、褐至褐黑色，也有绿黄、红褐色，玻璃光泽，断口为油脂光泽，硬度 6.5-8.5，无解理，断口不平坦，相对密度 3.68—4.32，多呈晶形完好的晶体，晶型有菱形十二面体或四角三八面体等，集合体为粒状及致密块状。主要用作研

磨材料，耐火砖的原料等。根据晶型、断口的光泽、高硬度、无解理与其它矿物区别。

表 1-3 主要造岩矿物标本鉴定特征表

矿物名称 及化学成分	晶体形 状	颜 色	条 痕	光 泽	硬度	比重	解理与断 口	其 它	主要鉴定 特征
黄 铜 矿 CuFeS ₂	四面块 体	铜黄色	绿 黑	金属	3~4	4.1~ 4.3	不平整断 口	能溶于硝酸 析出硫	晶形，颜 色，光泽
黄 铁 矿 FeS ₂	立方体	浅铜黄色	绿 黑	金属	6~ 6.5	4.9~ 5.2	锯齿，参 差，贝壳 状断口	性脆，晶面 上有条纹， 可制硫酸	晶形，光 泽，颜色， 条痕
萤 石 CaF ₂	立方体， 八面体， 菱形十二 面体	绿色，紫 色，黄色	无	玻璃	4	3.18	三向完全 解理，完 全 八面体解 理	制取氟，氢氟 酸无色透明 晶体可作光 学材料	晶体，颜 色，硬度， 解理
赤 铁 矿 Fe ₂ O ₃	致密块 状	红褐，铁 黑色	樱 红	半金 属	5.5~ 7	5~5.3	土状断口	多呈鲕状，肾 状，块状，层 状	颜色，条痕
石 英 SiO ₂	六棱柱， 双锥体	无色， 乳白色	无	晶面 玻 璃， 油 脂断 口	7	2.6	贝壳状断 口	晶面上有横 条纹化学性 质稳定，不易 风化	晶形，光 泽，断口， 硬度
磁 铁 矿 Fe ₃ O ₄	八面体， 常呈块 状	金属黑色	灰 黑	金 属， 半金 属	5.5~ 6	4.9~ 5.2	无	风化后成褐 铁矿，具磁性	颜色，光 泽，磁性
磷 灰 石 (Cl,F)Ca ₅ [P O ₄] ₃	针状六 面 柱体	白，绿， 黄褐色	无	油脂	5	3.17~ 3.23	不完全解 理，贝壳 状断口	加热发磷光	晶形，颜 色，光泽
橄 榄 石 (Mg,Fe) ₂ (SiO ₄)	八面柱 体，通常 为粒状	橄榄绿， 浅黄绿， 绿黑色	无	玻璃	6.5~ 7	3.2~ 4.1	贝壳状断 口	脆性，易风化 成蛇纹石	颜色，晶形
石 榴 子 石 Fe ₃ Al ₂ (SiO ₄) ₃	菱形十 二面体， 二十四 面体	紫红，深 褐，黑色	无	玻璃	6.5~ 7	3.5~ 4.2	不平整， 不规则断 口	风化后变为 褐铁矿	晶形，颜 色，比重

表 1-3 主要造岩矿物标本鉴定特征表（续）

矿物名称	晶体形	颜 色	条	光	硬度	比重	解理与	其 它	主要鉴定
------	-----	-----	---	---	----	----	-----	-----	------

及化学成分	状		痕	泽			断口		特征
蓝晶石 $\text{Al}_2[\text{SiO}_4]\text{O}$	刀片状	蓝色	无	玻璃	4~7	3.53~3.65	完全解理	又称二硬石	颜色硬度 异向性
普通辉石 $(\text{Na,Ca})(\text{Mg,Fe,Al})[(\text{Al,Si})_2\text{O}_6]$	八面短柱体	深黑, 褐黑色	灰绿	玻璃	5~6	3.2~3.6	两向完全正交解理	受水热变质成绿泥石或蛇纹石	颜色, 晶形, 解理
普通角闪石 $(\text{Na,Ca})(\text{Mg,Fe})_4(\text{Al,Fe})[\text{SiAl}_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH}]_2$	六面长柱体	深绿, 暗黑色	浅绿	玻璃	5.5~6	3.1~3.4	两向完全解理交角近56°, 锯齿状断口	受水热变质成绿泥石或蛇纹石性疏松	颜色, 晶形
滑石 $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_2$	片状, 鳞片状, 板状, 块状, 板状, 致密粒状	白, 浅灰, 浅绿, 浅黄, 浅红色	白	油脂, 珍珠	1	2.7~2.8	单向完全解理	性软, 具滑感	硬度, 滑感
黑云母 $\text{K}(\text{Mg,Fe})_3(\text{OH})_2\text{AlSi}_3\text{O}_{16}$	片状, 鳞片状	黑褐色, 黑绿至黑色	浅绿	玻璃, 珍珠	2~3	3~3.1	单向极完全解理	薄片具有弹性, 绝缘性	晶形, 解理, 弹性
白云母 $\text{KAl}_2(\text{OH})_2\text{AlSi}_3\text{O}_{10}$	片状, 鳞片状	灰白, 浅红, 浅黄, 无色	无	玻璃, 珍珠	2~3	2.7~3.1	单向极完全解理	薄片具有弹性, 绝缘性	晶形, 解理, 弹性
绿泥石 $(\text{Mg,Fe})_3\text{Al}[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}][\text{OH}]_8$	片状, 鳞片状, 板状, 块状	浅绿, 浅绿, 暗绿色	浅绿	玻璃, 珍珠	2~2.5	2.6~2.85	单向完全解理	薄片具有挠性, 有滑感	颜色, 晶形, 挠性

表 1-3 主要造岩矿物标本鉴定特征表 (续)

矿物名称及化学成分	晶体形状	颜色	条痕	光泽	硬度	比重	解理与断口	其它	主要鉴定特征
-----------	------	----	----	----	----	----	-------	----	--------

高岭石 $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_8$	疏松鳞片状，致密细粒状	白，浅灰，浅绿，浅黄，浅红色	白	土状	1	2.58~2.63	单向完全解理	具吸水性，可塑性，有滑感，粘舌	光泽，硬度，吸水性，可塑性
蛇纹石 $\text{Mg}_6[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_6$	致密块状，片状，纤维状	浅黄绿，暗绿色	灰绿	油脂，丝绢蜡状	3~3.5	2.6~2.9	贝壳状断口	由橄榄石，辉石变质而成，能溶于盐酸	颜色，光泽
正长石 KAlSi_3O_8	短柱状，厚板状，粒状	肉红色，浅玫瑰色，浅黄（白）色，红色	白	玻璃	6	2.5~2.7	两向完全正交解理，具卡氏双晶	易风化成高岭土	颜色，晶形，解理，光泽
斜长石 $(\text{Na,Ca})\text{AlSi}_3\text{O}_8$	柱状，板状，粒状	白色，灰白色	白	玻璃	6	2.5~2.7	两向完全斜交解理断口参差状，具聚片双晶	易风化成高岭土，解理面上有平行条纹	颜色，晶形，解理，双晶
方解石 CaCO_3	菱形六面体	白，灰白，黄白，红棕，黑色	白	玻璃	3	2.7~2.8	三向完全解理	性脆，遇稀盐酸剧烈起泡无色透明者为冰洲石	晶形，硬度，遇稀盐酸起泡
白云石 $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$	菱面体，粒状，块状	白，灰白，浅红色，浅黄，浅褐，灰绿色	白	玻璃	3.5~4	2.8~2.9	三向完全解理	遇稀盐酸起泡不明显，粉末遇稀盐酸起泡	晶形，硬度，解理
重晶石 $\text{Ba}[\text{SO}_4]$	板状	无色或白色	无	玻璃	3~3.5	4.3~4.5	完全、中等解理	集合体钟乳状结核状	比重较大，板状晶形
石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	片状，块状，板状，纤维状	白，灰白色	白	玻璃，丝绢，珍珠	1.5~2	2.3	单向完全解理，锯齿状断口	具滑感，挠性，性脆	晶形，硬度，解理

第三节 岩石

岩石是矿物（部分为火山玻璃或生物遗骸）的自然集合体。它是在地质作用下由一种或多种矿物组成的、具有一定的结构和构造的自然集合体。根据成因和形成过程，岩石可分为三大类，既由岩浆活动所形成的岩浆岩（火成岩）、由外

力作用形成的沉积岩（水成岩）和由变质作用形成的变质岩。

通常用结构和构造来描述岩石的外貌特征，它们的含义是：①岩石的结构，是指岩石中物的结晶程度、颗粒大小、形状及彼此间的组合方式；②岩石的构造，是指岩石中矿物集合体之间或矿物合体与岩石其它组成部分之间的排列和充填方式。火成岩大多具有块状构造；沉积岩是由外力作用将风化蚀的物质搬运后逐层沉积形成，所以具层状构造；变质岩在变质作用中岩石受到较高的温度和具有一定方的挤压力作用，其组成矿物则依一定方向平行排列，因而具有片理构造。矿物成分和结构、构造特征是识别石类型的主要依据。

一、岩浆岩

岩浆岩又称火成岩，是由岩浆凝固结而成的岩石。

岩浆岩按其生成环境可分为侵入岩和喷出岩。岩浆侵入地壳内部缓慢冷却结晶而成的岩浆岩称为侵入岩。岩浆在岩浆源附近凝结而成的岩浆岩称深成岩；如果在接近地表不远的地段，但未上升至地表面而凝结的岩浆岩称浅成岩。喷出地表在常压下迅速冷凝而成的岩石称喷出岩。

岩浆岩在地壳中分布十分广泛，按质量计算，约占地壳总质量的 65%，在大陆地表出露普通。世界上的一些著名高原，像印度的德干高原。美国的哥伦比亚高原，均为巨厚的玄武岩所覆盖，整个北美洲上玄武岩约占其总面积的五分之一。在世界各大洲，花岗岩也广泛出露，如北美的巨大岩基等。此外，约占地球表面四分之三的洋底地壳几乎全部由玄武岩构成。在我国的大兴安岭、阴山、祁连山、秦岭、南岭诸山脉及东南沿海和西南诸省均有各种岩浆岩出露。据 1980 年统计资料，我国花岗岩出露的总面积约 86 万 Km^2 ，约占全国面积的 9%。在南岭地区，花岗岩出露面积占湘、粤、赣三省面积的 30%，西南地区的“峨眉山玄武岩”遍布云、贵、川三省，其面积约 50 万 Km^2 。

（一）岩浆岩的产状

岩浆岩生成的空间位置和形状、大小称岩浆岩的产状，如图 1-21。按形态分述如下：

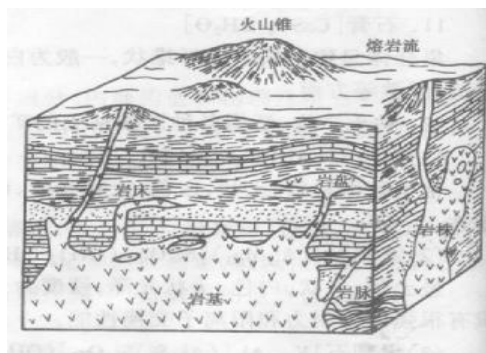


图 1-21 岩浆岩体的产状

1. 深成岩的产状——岩基和岩株

岩基是一种规模庞大的岩体，分布面积一般大于 60km²，构成岩基的岩石多是花岗岩或花岗闪长岩等，岩性均匀稳定，是良好的建筑地基。如三峡坝址区就是选定在面积约 200 多平方公里的花岗岩—闪长岩岩基的南部。岩株是一种形体较岩基小的岩体，分布面积一般小于 60km²，也是岩性均一的良好地基。

2. 浅成岩产状——岩盘、岩床、岩脉等

岩盘是一种中心厚度较大，底部较平，顶部穹隆状的层间侵入体，分布范围可达数平方公里，多由酸性、中性岩石组成；岩床是一种沿原有岩层层面侵入、延伸分布且厚度稳定的层状侵入体，常见的厚度多为几十厘米至几米，延伸长度多为几百米至几千米，组成岩床的岩石以基性岩为主；岩脉是沿岩层裂隙侵入形成的狭长形的岩浆岩体，与围岩层理或片理斜交。

喷出岩产状——火山锥、岩溶流

岩浆沿火山劲喷出地表，其喷发方式主要有两种；一是岩浆沿管状通道上涌，从火山口喷发或溢出，称为中心式喷发；而是岩浆沿地壳中狭长的裂隙或断裂带溢出，称为裂隙式喷溢。

喷出岩的产状受其岩浆的成分、黏性、上涌通道的特征、围岩的构造以及地表形态的控制和影响。常见的喷出岩的产状有火山锥、熔岩流和熔岩台地等。

(1) 火山锥、黏性较大的岩浆岩火山口喷出地表，猛烈地爆炸喷发火山角砾、火山弹及火山渣。这些较粗的固体喷发物在火山口附近常堆积成火山锥，锥体高达数十至数百米，锥体坡角可达 30°，锥顶有明显的火山口，如图 所示。

(2) 熔岩流和熔岩台地。熔岩流由黏性小、易流动的岩浆沿火山口或断裂喷出或溢出地表形成，厚度较小的熔岩流也称熔岩席或熔岩被。岩浆长时间、缓慢地溢出地表堆积形成的台状高地称为熔岩台地。

（二）岩浆岩的化学成分和矿物成分

1. 岩浆岩的化学成分

绝大多数岩浆以硅酸盐类为主，其中 O、Si、Al、Fe、Ca、Na、K、Mg、H 等九种元素占地壳量的 98.13%，以 O、Si 的含量为最多，占 75.13%，这些元素一般都以氧化物的形式存在。

岩浆岩中的各种氧化物之间有明显的变化规律：当 SiO_2 含量较低时， FeO 、 MgO 等铁镁质矿物增多；当 SiO_2 和 Al_2O_3 的含量较高时， Na_2O 、 K_2O 等硅铝质矿物增加。由此据 SiO_2 的含量把岩浆岩分为四大类，见表 1-4 所示。

表 1-4 岩浆岩的分类

类 型	酸 性	中 性	基 性	超基性
SiO_2 含量(%)	75-65	65-55	55-45	<45

2. 岩浆岩的矿物成分

组成岩浆岩的矿物有 30 多种，但分布最广泛的只有 8 种。这 8 种矿物按颜色深浅分为浅色矿物和深色矿物两类。浅色矿物富含硅、铝，有钾长石、斜长石、石英和白云母等；深色矿物富含铁、镁，有橄榄石、辉石、角闪石和黑云母等。其中长石占全部岩浆岩矿物总量的 63%，其次是石英，故长石和石英是岩浆岩分类和鉴定的重要依据。

对具体岩石来讲，并不是这些矿物都同时存在，通常仅是由其中的两三种主要矿物组成。例如，花岗岩的主要矿物是石英、正长石和黑云母，辉长岩的主要矿物是基性斜长石和辉石。

岩浆岩的矿物组成与其化学成分（硅、铝、铁、镁含量）密切相关，而岩浆岩的颜色则与其矿物组成（浅色矿物、暗色矿物含量）密切相关。从基性岩到中性岩再到酸性岩，岩石中硅、铝含量逐渐增高，铁、镁含量逐渐降低；浅色矿物含量逐渐增多，而暗色矿物含量逐渐减少。所以，从基性岩到中性岩再到酸性岩，岩石的颜色逐渐变浅。

（三）岩浆岩的结构和构造

1. 岩浆岩的结构

岩浆岩的结构指组成矿物的结晶程度、晶粒大小、形态及晶粒之间或晶粒与玻璃质间的相结合的方式。它的结构特征是岩浆冷凝时所处物理化学环境的综合反映。

(1)按晶粒的绝对大小分

①显晶质结构 岩石中的矿物颗粒较大，用肉眼可以分辨并鉴定其特征。一般为深成侵入岩所具有的结构。

②隐晶质结构 岩石中矿物颗粒细小，只有在偏光显微镜下方可识别。这种结构比较致密，一般无玻璃光泽和贝壳状断口，常有瓷状断面。

③玻璃质结构 岩石由非晶质的玻璃质组成，各种矿物成分混沌成一个整体，在喷出岩可见。

(2)按晶粒的相对大小分

①等粒结构 岩石中同种矿物颗粒大小相近。

②不等粒结构 组成岩石的主要矿物结晶颗粒大小不等，相差悬殊。其中晶形完好，颗粒粗大的称斑晶，细粒的微小晶粒或隐晶质、玻璃质叫石基。不等粒结构又分为斑状及似斑状结构。斑状结构是石基为隐晶质或玻璃质的结构，是浅成岩或喷出岩的重要特征。似斑状结构为石基为显晶质者的结构，多见于深成岩的边缘或浅成岩中。

2. 岩浆岩的构造

岩石中各种矿物集合体在空间排列及充填方式上所表现出来的特征。常见的构造形式有以下几种。

(1)块状构造 矿物在岩石中的排列无一定次序、无一定方向，不具有任何特殊形象的均匀块体，大部分侵入岩所具有的构造。

(2)流纹状构造 在喷出岩中由不同颜色的矿物、玻璃质和拉长气孔等沿一定方向排列，表现出熔岩流动的状态。

(3)气孔及杏仁状构造 当熔岩喷出时，由于温度和压力骤然降低，岩浆中大量挥发性气体被包裹于冷凝的玻璃质中，气体逐渐逸出，形成各种大小和数量不同的孔洞，称气孔构造。有的岩石气孔极多，以至岩石呈泡沫状块体，如浮岩。如果孔洞中被后期次生方解石、蛋白石等矿物充填，形如杏仁则称为杏仁状构造。

(四) 常见的岩浆岩类型

通常根据岩浆岩的成因、矿物成分、化学成分、结构、构造及产状等方面的综合特征分类，见表 1-5。

表 1-5 岩浆岩分类简表

类 型			酸 性		中 性		基 性	超基性	
SiO2 含量(%)			75～65	65～55			55～45	<45	
化学成分			以 Si、Al 为主					以 Fe、Mg 为主	
颜色(色率%)			0～30	30～60			60～90	90～100	
成因	产状	矿物成份	含长石			含斜长石			不含长石
		代表岩属	石英>20%	石英 0~20%			极少石英	无石英	
		结构构造	云母 角闪石	黑云母 角闪石 辉石			角闪石 辉石 黑云母	橄榄石 辉石	
喷出岩	喷出堆积	玻璃状或碎屑状	黑耀岩、浮石、火山凝灰岩、火山碎屑岩、火山玻璃						少见
	火山锥 岩流 岩被	微粒、斑状、玻璃质结构，块状、气孔状、杏仁状、流纹状等构造	流纹岩	粗面岩	安山岩		玄武岩	苦橄岩	
侵入岩	浅成岩	岩基、岩株、岩脉、岩床、岩盘等	半晶质、全晶质、斑状等结构，块状构造	花岗斑岩	正长斑岩	闪长玢岩		辉绿岩	橄玢岩
	深成岩		全晶质、显晶质、粒状等结构、块状构造	花岗岩	正长岩	闪长岩		辉长岩	橄榄岩

(1) 酸性岩类

花岗岩 属深成岩。多呈肉红色、灰白色，主要矿物（含量≥20%）为石英、正长石和酸性斜长石，次要矿物（含量<20%）有黑云母和角闪石等。全晶质等粒结构，块状构造。花岗岩分布广泛，抗压强度大，质地均匀坚实，颜色美观，是优质的建材。产状多为岩基、岩株，是良好的建筑物地基。



图 1-22 花岗岩

花岗斑岩 成分与花岗岩相似，斑状结构，斑晶主要有钾长石、石英或斜长石，块状构造。

流纹岩 呈灰白色、紫红色，斑状结构，斑晶多为斜长石、石英或正长石，流纹状构造，抗压强度略低于花岗岩。



图 1-23 流纹岩

(2) 中性岩类

正长岩 呈肉红色、浅灰色，全晶质等粒结构或似斑状结构，块状构造。主要矿物为正长石，次要矿物有黑云母、角闪石，含极少量石英，较易风化。极少单独产出，主要与花岗岩等共生。

正长斑岩 斑状结构，斑晶为正长石，块状构造。



图 1-24 正长斑岩

粗面岩 斑状结构，斑晶为正长石，块状构造，表面具有细小孔隙，表面粗糙。



图 1-25 粗面岩

闪长岩 呈灰色或浅绿灰色，主要矿物为中性斜长石和角闪石，次要矿物有黑云母、辉石等，全晶质等粒结构，块状构造。闪长岩结构致密强度高，且具有较高的韧性和抗风化能力，是优质建筑石料。



图 1-26 闪长岩

闪长玢岩 斑状结构，斑晶为中性斜长石，有时为角闪石，块状构造。常为灰色，如有次生变化，则多为灰绿色。

安山岩 呈灰绿色、灰紫色，斑状结构，斑晶为角闪石或基性斜长石，块状构造，有时为气孔构造或杏仁构造，是分布较广的中性喷出岩。



图 1-27 安山岩

(3) 基性岩类

辉长岩 呈灰黑、黑色，主要矿物为基性斜长石和辉石，次要的矿物成分有橄榄石和角闪石，全晶质等粒结构，块状构造。辉长岩强度很高，抗风化能力强。



图 1-28 辉长岩

辉绿岩 呈灰绿色，辉绿结构，块状构造，强度较高，是优良的建筑材料。



图 1-29 辉绿岩

玄武岩 呈灰黑色、黑色，隐晶质结构或斑状结构，斑晶为橄榄石、辉石或斜长石，常见气孔状构造、杏仁状构造。玄武岩致密坚硬，性脆、强度较高。但是多孔时强度较低，较易风化。



图 1-30 杏仁橄榄玄武岩

(4) 超基性岩类

橄榄岩 灰黑、褐至绿色，中、粗粒等结构，块状构造，主要由橄榄石、镁质辉石等组成，一般无浅色矿物，橄榄石和镁质辉石常因后期变化，部分或全部变为蛇纹石等，使岩石成为石化橄榄岩或蛇纹岩，易于辨认，新鲜的橄榄岩很少见。



图 1-31 橄榄岩

一般深成岩常形成岩基等大型侵入体，岩性一般较均一，以中、粗粒结构为主，致密坚硬，空隙率小，透水性弱，抗水性强，故深成岩体常被选为理想的建筑场地。但有些岩体风化层很厚，须采取处理措施。此外深成岩经过多期地壳变动影响，其完整性和均一性受到破坏，且有些节理被粘土矿物充填形成软弱夹层或泥化夹层。

浅成岩以岩床、岩墙、岩脉等状态产出，有时相互穿插。颗粒较细的岩石强度高，不易风化。这些小型侵入体与围岩接触部位岩性不均一，节理发育，岩石破碎，风化蚀变严重，透水性增大。

喷出岩一般原生节理发育，产状不规则，厚度变化大，岩性很不均一，因此强度较低，透水性强，抗风化能力差。但对于节理不发育、颗粒细或呈致密状的喷出岩，则强度高，抗风化能力强，也属于良好建筑物地基，需注意的是喷出岩覆盖在其它岩层之上。

表 1-6 常见岩浆岩标本鉴定特征表

分类	岩石名称	颜色	矿物成分	结构	构造	鉴别特征	产状	其它地质特征
酸性岩类	花岗岩	肉红色，浅红色，浅黄色，灰白色等	主要为钾长石、石英、斜长石，次要为黑云母、角闪石	全晶粒等粒(粗中细)结构	块状	矿物成分结构	深成岩：岩基	岩性坚硬，强度高是良好地基和建筑材料，注意节理发育风化
	花岗斑岩	淡红，灰红，肉红，浅红，灰白等色	主要为钾长石、石英、斜长石，次要为黑云母、闪长石	斑状结构：斑晶为正长石，石英基质是细小的石英，长石，云母	块状	结构上可与花岗岩区别	浅成岩：岩脉，岩墙	野外注意风化厚度
	流纹岩	浅红，浅黄，灰红，褐色或棕色等	主要为钾长石、石英、斜长石，次要为黑云母、闪长石	斑状结构：斑晶为细小的石英长石，基质为玻璃质	流纹气孔	流纹结构	喷出岩：熔岩流，岩钟	拉长的气孔不均，大小不等，被沸石填充
中性岩类	正长岩	浅红，浅黄，灰白色	主要为钾长石和斜长石，次要为角闪石	全晶质等粒(粗、中)结构	块状	与花岗岩的区别含少量石英或不含	深成岩：岩基，岩株	钾长石具卡氏双晶 斜长石具聚片双晶
	正长斑岩	浅肉红色，灰褐色	主要为钾长石和斜长石，次要为角闪石、黑云母	斑状结构：斑晶为正长石，晶体长板状，卡氏双晶发育，基质为细~微粒结晶或隐晶质	块状	斑状结构	浅成岩：岩墙，岩脉	斑晶自形程度一般较好
	粗面岩	浅灰色，粉红色，淡黄色	主要为钾长石和斜长石，次要为角闪石	斑状结构：斑晶以正长石为主，少量角闪石、黑云	块状	表面粗糙为其特征	喷出岩：岩钟，熔岩流	表面粗糙

		色等	石、黑云母	母，基 质为隐晶、玻璃质				
--	--	----	-------	-----------------	--	--	--	--

续表 1-6 常见岩浆岩标本鉴定特征表

分 类	岩石 名称	颜 色	矿物成分	结 构	构 造	鉴别特征	产 状	其它地 质特征
中 性 岩 类	闪长岩	浅灰色， 灰色，灰绿 色，灰黑 色	主要为斜长 石、角闪石， 次要为黑云 母、辉石	全晶质等粒(粗、中)结构	块 状	斜长石灰白色，微 带绿，淡红色，多 为板状，粒状，角 闪石黑色，墨绿色， 长柱状或针状	深成岩： 岩基，岩 株	有些带 白色斑 点为方 解石加 稀盐酸 起泡
	闪长玢 岩	灰色，灰 绿色，灰褐 色	主要为斜长 石、角闪石， 次要为黑云 母、辉石	斑状结构；斑晶斜长石，角 闪石，有时是辉石或黑云母， 故称为玢岩，基质为细晶质 或隐晶质	块 状	斑状结构而成分与 闪长岩相当	浅成岩： 岩脉，岩 墙	带白色 斑点
	安山岩	灰色，红 色，紫 色，棕 色，灰绿 色	主要为斜长 石、角闪石， 次要为黑云 母、辉石	斑状结构：斑晶多为斜长石， 有时为角闪石，基质为隐晶 质半晶质，玻璃质	块 状 气 孔 杏 仁	斑晶主要为角闪石 或黑云母，宽板状 斜长石斑晶	喷出岩： 熔岩流， 岩钟	柱状节 理发育
基 性 岩 类	辉长 岩	灰色，灰 黑色，暗 灰，绿 色，黑色	主要为斜长 石、辉石，次 要为橄榄石、 角闪石、黑云 母	全晶质中，粗粒结构	块 状	斜长石呈厚板状及 等轴粒状，聚片双 晶发育	深成岩： 岩株，岩 基	辉石斜 长石 经常发 生蚀变
	辉绿 岩	深灰色， 灰绿色， 暗绿色， 紫灰绿 色	主要为斜长 石、辉石，次 要为橄榄石、 角闪石、黑云 母	中、细粒结构，隐晶质结构 或辉绿结构(岩石由较自形 的长条状斜长石微晶和他形 粒状微晶的辉石等暗色矿物 组成，辉石等暗色矿物充填 于杂乱交错的长条状斜长石 微晶所组成的空隙中)	块 状	辉绿结构，斑状结 构	浅成岩： 岩床，岩 脉，岩墙	具斑状 结构的 辉绿岩 称辉绿 玢岩
	玄武 岩	灰绿、绿 黑或暗 紫色	斜长石、辉石 和橄榄石	斑状或致密状隐晶结构	气 孔、 杏 仁 状 构 造	密状隐晶结构，气 孔、杏仁状构造	喷出岩： 熔岩流， 岩钟	

续表 1-6 常见岩浆岩标本鉴定特征表

分	岩石	颜 色	矿物成分	结 构	构造	鉴别特征	产 状	其它与地质特
---	----	-----	------	-----	----	------	-----	--------

类	名称							征
超基性岩类	辉岩	黑色、灰黑色、灰褐色、紫褐色	主要为辉石，少量橄榄石	全晶质中、粗粒结构	块状	结构和矿物成分	深成岩：褶皱带岩株	辉石等的含量占90%~100%
	橄榄岩	黑色、橄榄绿色，暗绿色，浅黄、黄绿色	主要为橄榄石，含有不定量的辉石、角闪石	全晶质中、粗粒结构	块状	特有的颜色，常风化蚀变、蛇纹岩化	深成岩：岩基、岩株	新鲜少见，常蚀变为蛇纹岩、滑石菱镁(片)岩、绿色片岩
	黑曜岩	黑色或黑灰色	矿物成分在镜下才能观察到，通常以酸性矿物为多见	非晶质(玻璃质)结构	块状	具玻璃光泽，贝壳状断口	喷出岩：熔岩流	玻璃光泽贝壳状断口

二、沉积岩

沉积岩是地表及地表以下不太深的地方形成的地质体，它是在长文常压条件下，由风化作用、生物作用和火山作用的产物经过介质的搬运、沉积作用所形成的松散沉积物压实、胶结等作用而成。该定义表明沉积岩主要是外动力地质作用的结果，其物质来源、固结成岩方式、形成的物理化学条件（温度、压力、介质）均与岩浆岩截然不同。

据统计，沉积岩在地壳表层分布最广，占陆地面积 75%，但体积只占地壳的 5%（岩浆岩和变质岩共占 95%）。分布的厚度各处不一，且深度有限，一般不过几百米，仅在局部地区才有数千米甚至上万米的巨厚沉积。

沉积岩记录这地壳演变的漫长过程，地壳最老的岩石年龄 46 亿年，而沉积岩最老的就达 36 亿年（位于原苏联的科拉半岛）。在沉积岩中蕴藏着大量矿产，不仅矿种多而且储量大，如煤、铝土矿、石灰岩等，具有重要的工业价值。另外，各种工程建筑（如道路、桥梁、水坝、矿山等）几乎都以沉积岩为地基。因此，研究沉积的形成条件、组成成分、结构和构造特征有着很重要的是意义。

（一）沉积岩的形成

沉积岩的形成过程是一个长期而复杂的外力地质作用过程，一般可分为四个阶段。

1. 松散破碎阶段

地表或接近于地表的各种先成岩石，在温度变化、大气、水及生物长期的作用下逐步破碎成大小不同的随喜，有时原来岩石的矿物成分和化学成分也会发生

改变，形成一种新的风化产物。

2. 搬运作用阶段

岩石经风化作用产生的产物，除少数部分残留在原地堆积外，大部分被剥离原地，经流水、风及重力等作用搬运到低地。在搬运过程中，岩石的不稳定成分继续风化破碎，破碎物质经受磨蚀，其棱角被不断磨圆、颗粒逐渐变细。

3. 沉积作用阶段

当搬运力逐渐减弱时，被携带的物质便陆续沉积下来。在沉积过程中，大的、重的颗粒先沉积，小的、轻的颗粒后沉积。因此，沉积物具有明显的分选性。最初沉积的物质呈松散状态，称为松散沉积物。

4. 固结成岩阶段

松散沉积物转变成坚硬沉积岩的阶段即为固结成岩阶段。固结成岩作用主要有压实、胶结、重结晶三种。

(二) 沉积岩的物质组成

1. 沉积岩的化学成分

由表可知，沉积岩和岩浆岩两类岩石的化学成分十分相似，其原因主要在于沉积岩物质来自岩浆岩的风化产物。但由于两者成因迥然不同，所以在化学成分方面也有一些重大差异。（如表 1-7）这些差异主要表现为：

（1）在 Fe_2O_3 和 FeO 的对比关系上，沉积岩和岩浆岩中铁的总量大致相同，但沉积岩中 Fe_2O_3 的含量高于 FeO ，而岩浆岩中则 FeO 略高于 Fe_2O_3 。这显然是沉积岩形成于地表，是在富含自由氧化的条件下使大部分 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} 所致。

（2）在 Na_2O 和 K_2O 的对比关系上，沉积岩中 K_2O 的含量多于 Na_2O ；而岩浆岩中则相反，其主要原因是由于岩浆岩风化分解后产生的 Na_2O 常形成易溶盐类（氧化物、硫酸盐类）被带进海水当中。而含钾矿物如白云母在表生条件下较稳定，粘土矿物又易于吸附钾离子，故母岩中的 K_2O 大部分含在白云母碎屑和粘土吸附物中进入沉积岩。

（3）沉积岩中富含 H_2O 和 CO_2 ，这显然是由于沉积岩形成于表生条件下所致。

表 1-7 沉积岩和岩浆岩平均化学成份

氧 化 物	沉 积 岩	岩 浆 岩
(按华盛顿和克拉克, 1924)		
SiO ₂	57.95	59.14
TiO ₂	0.57	1.05
Al ₂ O ₃	13.39	15.34
Fe ₂ O ₃	3.47	3.08
FeO	2.08	3.80
MnO	—	0.12
MgO	2.65	3.49
CaO	5.89	5.08
Na ₂ O	1.13	3.84
K ₂ O	2.86	3.13
P ₂ O ₅	0.13	0.30
CO ₂	5.38	0.10
H ₂ O	3.23	1.15
其 他	1.27	0.38
总 计	100.00	100.00

2. 沉积岩的矿物组成

沉积岩是一种次生岩石，其物质成分除了岩浆岩等原来的岩石、矿物的碎屑外，还有一些外生条件下形成的矿物，如粘土和一些胶体矿物、易容盐类、来自生物遗体的硬体（骨骼、甲壳等）和有机质等。（如表 1-8）这些都是沉积岩所特有的。

表 1-8 沉积岩和岩浆岩平均矿物成份

矿 物	沉 积 岩	岩 浆 岩	备 注
粘土矿物	11.51	—	沉积岩的特有矿物
白云石及部分菱铁矿	9.07	—	
方解石	4.25	—	
沉积铁质矿物	4.00	—	
石膏及硬石膏	0.97	—	
磷酸盐矿物	0.15	—	
有机质	0.73	—	沉积岩和岩浆岩共有矿物
石英	34.80	20.40	
白云母	15.11	3.85	
正长石	11.02	14.85	
钠长石	4.55	25.60	
钙长石	—	9.80	
磁铁矿	0.07	3.15	
榍石和钛铁矿	0.02	1.45	岩浆岩特有矿物
辉石	—	12.10	
黑云母	—	3.85	
橄榄石	—	2.55	
角闪石	—	1.66	占 51% 以上

(1) 碎屑物质 原岩经风化破碎而生成的呈碎屑状态的物质。其中主要有矿物碎屑(石英、长石、白云母等)、岩石碎块、火山碎屑等。形成于高温高压环境的橄榄石、辉石、角闪石、黑云母、基性斜长石等，在沉积岩中含量为零。岩浆岩中的石英在表生条件下稳定性较大，一般以碎屑物形式出现于沉积岩中。

(2) 粘土矿物 主要是一些原生矿物经化学风化作用所形成的次生矿物。它们是在常温常压下，富含二氧化碳和水的表生环境下形成的。主要有高岭石、伊利石、蒙脱石等，这些矿物粒径小于 0.002mm，具有很大的亲水性、可塑性及膨胀性。

(3) 化学沉积矿物 由化学作用从溶液中沉淀结晶产生的沉积矿物如方解石、白云石、石膏、铁锰的氧化物及氢氧化物等。

(4) 有机质及生物残骸 由生物残骸或有机化学变化而成的物质，如贝壳、珊瑚礁、泥炭及其它有机质等。

(5) 胶结物 常见的有硅质(SiO_2)、铁质(Fe_2O_3)、钙质(CaCO_3)、泥质(粘土矿物)等，不同的胶结物对沉积岩的颜色和岩石强度有很大影响。

①硅质胶结。胶结物主要是隐晶质石英或非晶质 SiO_2 ，多呈灰白或浅黄色，质坚，抗压强度高，耐风化能力强。

②钙质胶结。胶结物主要是方解石、白云石，多呈灰色、青灰色、灰黄色。岩石的强度和坚固性高，但具可溶性，遇稀盐酸作用及发生起泡反应。

③泥质胶结。胶结物主要为粘土矿物，呈黄褐色、灰黄色，胶结松散、易碎抗风化能力弱，岩石强度低，遇水易软化。

④铁质胶结。胶结物主要组分为铁的氧化物和氢氧化物，多呈棕、红、褐、黄褐等色，胶结紧密，强度高，但抗风化能力弱。

⑤石膏质胶结。胶结物成分为 CaSO_4 ，硬度小，胶结不紧密。

胶结物在沉积岩中的含量一般为 25%左右，若其含量超过 25%，即可参与岩石的命名，例如，钙质长石石英砂岩，即是长石石英砂岩中钙质胶结物超过了 25%。

(三) 沉积岩的结构

沉积岩的结构是指组成岩石的物质颗粒大小、形状及其组合关系，它是沉积岩分类命名的重要依据。

1. 碎屑结构

由原岩经机械破碎和搬运的碎屑物质（包括矿物碎屑和岩石碎屑），在沉积成岩过程中被胶结面成的结构，称为碎屑结构。碎屑结构是碎屑岩特有的结构。

(1) 按碎屑粒径的大小可分为砾状结构、砂质结构和粉砂质结构见表 1-9 。

表 1-9 碎屑结构类型及碎屑岩

结构名称		体质颗粒大小/mm	碎屑岩名称
砾状结构	砾状结构	>2.0	砾岩
	角砾状结构		角砾岩
砂质结构	粗砂结构	0.5~2.0	粗粒砂岩
	中砂结构	0.25~0.5	中粒砂岩

	细砂结构	0.05~0.25	细粒砂岩
	粉砂质结构	0.005~0.05	粉砂岩

(2) 根据颗粒外形分为棱角状结构、次棱角状结构。次圆状结构和滚圆状结构,如图 所示。碎屑颗粒磨圆程度受颗粒硬度、相对密度及搬运距离等因素影响。

(3) 按胶结类型可分为基底胶结、孔隙胶结和接触胶结,如图 1-32 所示。当胶结物含量较大时,碎屑颗粒孤立地分散于胶结物之中,互不接触,且距离较大,此时碎屑颗粒散布在胶结物的基底之上,故称基底式胶结。当胶结物含量不大时,碎屑颗粒互相接触,胶结物充填在颗粒之间的孔隙中,则称为孔隙式胶结。当只在颗粒接触才有胶结物,并且颗粒间的孔隙大都是空洞时,则称为接触式胶结。



图 1-32 碎屑岩的胶结类型

2. 粘土结构(泥质结构)

它是由粒径 $d < 0.005\text{mm}$ 的陆源碎屑和粘土矿物经过机械沉积而成。外观呈均匀致密的泥质状态,特点是手摸有滑感,用刀切呈平滑面,断口平坦。

3. 化学结晶结构

是溶液中沉淀或重结晶,纯化学成因所形成的结构,它是溶液中溶质达到饱和后逐渐积聚生成的。石灰岩、白云岩多具有该结构。

4. 生物结构

岩石以大部分或全部生物遗体或碎片所组成的结构。

(四) 沉积岩的构造

沉积岩的构造指岩石各组成部分的空间分布和排列方式所呈现的宏观特征。只有在野外沉积岩露头可以观察。

1. 层理构造 由于季节、沉积环境的改变使先后沉积的物质在颗粒大小、颜色和成分上发生相应的变化,从而显示出来的成层现象。层理分为平行层理、斜

交层理、交错层理，如图 1-33 所示。不同类型的层理反映了沉积岩形成时的古地理环境的变化。

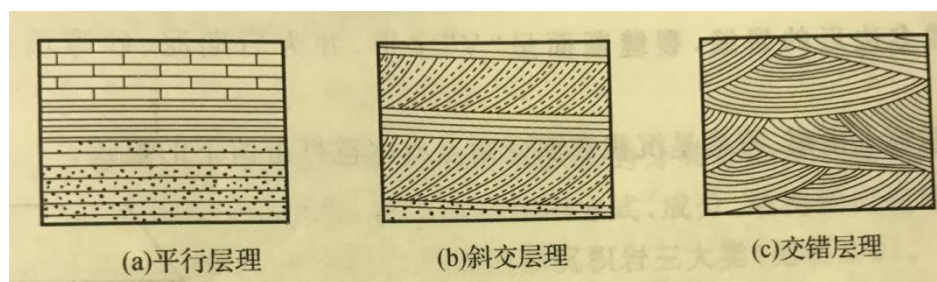


图 1-33 沉积岩层理形态示意图

(1) 平行层理。平行层理的层理面与层面相互平行。这种层理主要见于细粒岩石（粘土岩、粉细砂岩等）中。平行层理是在沉积环境比较稳定的条件下（如广阔的海洋和湖底、河流的堤岸带等），从悬浮物或溶液中缓慢沉积而形成的。



图 1-34 平行层理

(2) 斜交层理。斜交层理的层理面向一个方向与层面斜交。这种层理在河流及滨海三角洲的沉积物中均可见到，主要是由单向水流所造成的。

(3) 交错层理。交错层理的层理面以多组不同方向与层面斜交。交错层理经常出现在风沉积物（如沙丘）或浅海沉积物中，是由于风向或水流动方向变化而形成的。



图 1-35 浪成交错层理

2. 层间构造 指不同厚度、不同岩性的层状岩石之间层位上发生变化的现象，层间构造有尖灭、透镜体、夹层等类型。性质不同的岩石之间的接触面称为层面，上下层面间成分基本一致的岩石称岩层。

有些岩层一端厚，另一端逐渐变薄以至消失，这种现象称为尖灭层。若岩层

中间厚，而在两端不远处的距离内尖灭，则称为透镜体，如图 1-36 所示。

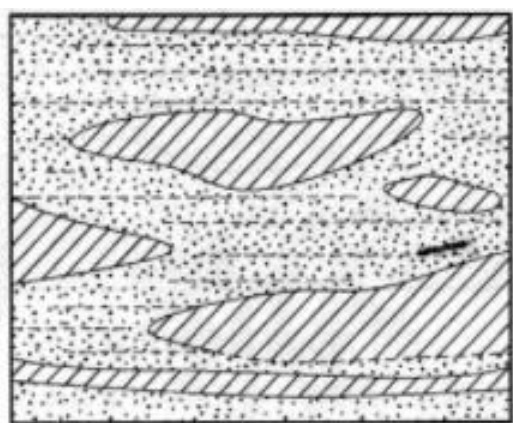


图 1-36 透镜体及尖灭层示意图

3. 层面构造

指未固结的沉积物，由于搬运介质的机械原因或自然条件的变化及生物活动，在层面上留下痕迹并被保存下来，如波痕、泥裂、雨痕、恐龙脚印等。

(1) 波痕。波痕是指沉积物在沉积过程中，由于风力、流水或海浪等的作用，在沉积岩层面保留下来的波浪痕迹，它是沉积介质动荡的标志，见于岩层顶面，如图 1-37 所示。



图 1-37 波痕

(2) 泥裂。滨海或滨湖地带沉积物未固结时露出地表，由于气候干燥、日晒，沉积物表面干裂，发育成多边形的裂缝，裂缝断面呈“V”字形，并为后期泥、砂等填充，如图 1-38 所示。



图 1-38 泥裂

(3) 雨痕、雹痕。雨痕、雹痕是沉积表面受雨点或冰雹打击留下的痕迹。

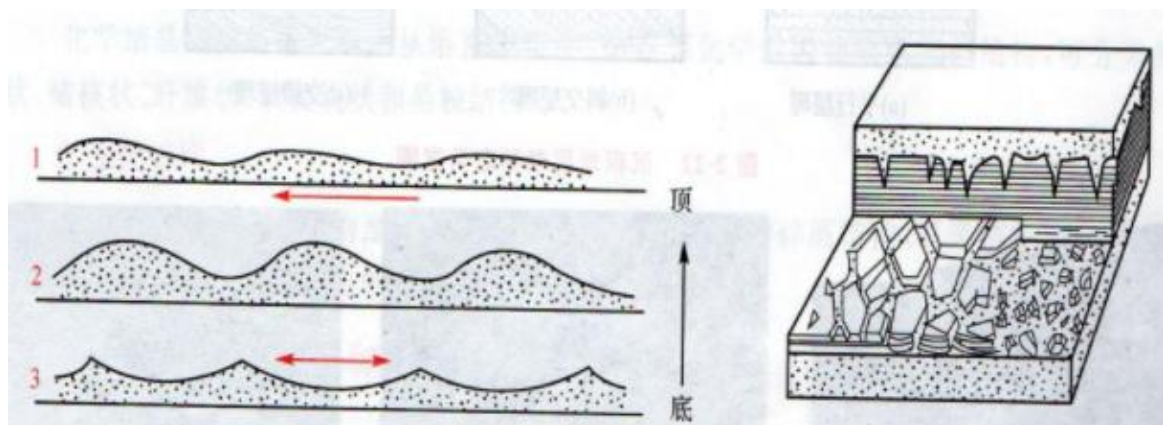


图 1-39 不同成因的波痕

图 1-40 泥裂生成，掩埋示意图

4. 结核

结核是指岩体中成分、结构、构造和颜色等不同于周围岩石的某些集合体的团块，结核常为圆球形、椭球形、透镜状及不规则形态，常见有硅质、钙质、磷质、铁锰质和黄铁矿结核等。例如，石灰岩中的燧石结核，主要是 SiO_2 在沉积物沉积的同时以胶体凝聚方式形成的；黄土中的钙质结核，是地下水从沉积物中溶解 CaCO_2 后在适当地点再结晶凝聚形成的。

5. 生物构造是指生物遗体、生物活动痕迹和生态特征等在沉积过程中被埋藏固结成岩而保留的构造，如化石、虫迹、虫孔、生物礁体、叠层构造等。

在沉积过程中，若有各种生物遗体或遗迹（如动物的骨骼、甲壳、蛋卵、粪便、足迹植物的根、茎、叶等）埋藏于沉积物中，后经石化交代作用保留在岩石中，则称为化石

（五）常见沉积岩类型

由于沉积岩的形成过程比较复杂，目前对沉积岩的分类方法尚不统一。但是通常主要是依据岩石的成因、结构、构造等方面的特征进行分类的，见表 1-10 所示。

表 1-10 沉积岩分类简表

岩类		结 构		岩石分类名称	主要亚类及其组成物质
碎屑岩类	火山碎屑岩	碎屑结构	粒径>100mm	火山集块岩	主要由大于 100mm 的熔岩碎块、火山灰尘等经压密胶结而成
			粒径 100~2mm	火山角砾岩	主要由 100~2mm 的熔岩碎屑、晶屑、玻屑及其他碎屑混入物组成
			粒径<2mm	凝灰岩	由 50%以上粒径<2mm 的火山灰组成，其中有岩屑、晶屑、玻屑等细粒碎屑物质

	沉积碎屑岩	砾状结构 (2.000~0.074 mm)	砾岩	角砾岩由带棱角的角砾经胶结而成; 砾岩由浑圆的砾石经胶结而成
		砂质结构 (粒径 2.000~0.074mm)	砂岩	石英砂岩 石英(含量>90%)、长石和岩屑(<10%) 长石砂岩 石英(含量<75%)、长石(>25%)、岩屑(<10%) 岩屑砂岩 石英(含量<75%)、长石(<10%)、岩屑(>25%)
		粉砂结构(粒径 0.074~0.002mm)	粉砂岩	主要由石英、长石及粘土矿物组成
粘土岩类	泥质结构(粒径 <0.002mm)	泥岩	泥岩	主要由高岭石、微晶高岭石及水云母等粘土矿物组成
		页岩	页岩	粘土质页岩 由粘土矿物组成 碳质页岩 由粘土矿物及有机质组成
化学及生物化学岩类	结晶结构及生物结构	石灰岩	石灰岩	石灰岩 方解石(含量>90%)、粘土矿物(<10%) 泥灰岩 方解石(含量 75%~50%)、粘土矿物(25%~50%)
		白云岩	白云岩	白云岩 白云石(含量 90%~100%)、方解石(<10%) 灰质白云岩 白云石(含量 50%~75%)、方解石(50%~25%)

1. 碎屑岩类

(1) 火山碎屑岩

火山集块岩 由 50%以上粒径大于 100mm 的火山碎块及细小的火山碎屑和火山灰充填胶结而成，集块结构，岩块坚硬。



图 1-41 火山集块岩

火山角砾岩 粒径 2~100mm 的碎屑占 50%以上，胶结物为火山灰，火山角砾结构，块状构造。

凝灰岩 由粒径小于 2mm 的火山灰组成，凝灰结构，块状构造。容重小，易风化。

(2) 沉积碎屑岩

砾岩及角砾岩 50%以上粒径大于 2mm 的砾或角砾胶结而成，砾状结构，块状构造。硅质胶结的石英砾岩，非常坚硬，开采加工较困难，泥质胶结的则相反。



图 1-42 砾岩

砂岩 由 50%以上粒径在 0.074~2mm 的砂粒胶结而成，砂粒主要成分为石英、长石及岩屑等，砂状结构，层理构造。

砂岩为多孔岩石，孔隙愈多，透水性和蓄水性愈好。砂岩强度主要取决于砂粒成分和胶结物的成分、胶结类型等。其抗压强度差异较大，由于多数砂岩岩性坚硬而脆，在地质构造作用下张裂隙发育，所以，常具有较强的透水性。

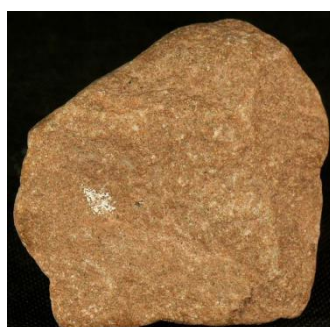


图 1-43 砂岩

粉砂岩 由 50%以上粒径在 0.002~0.074mm 的粉砂粒胶结而成的。粉砂质结构，层理构造，结构疏松，强度和稳定性不高。成分主要是石英，其次白云母、长石和粘土矿物等，胶结物多为泥质，因颗粒细小，肉眼难于区分成分及胶结物。未固结的沉积物具代表性的有黄土等。



图 1-44 红色薄层细粉砂岩

2. 粘土岩类

泥岩 主要由粘土矿物经脱水固结而形成的，具粘土结构，层理不明显呈块

状构造。固结不紧密、不牢固。强度较低，一般干试样的抗压强度约在 5~30MPa 之间，遇水易软化，强度显著降低，饱水试样的抗压强度可降低 50% 左右。



图 1-45 泥岩

页岩 主要由粘土矿物经脱水固结而形成的，粘土结构，页理构造，富含化石。一般情况下，页岩岩性松软，易于风化呈碎片状，强度低，遇水易软化而丧失其稳定性。



图 1-46 页岩

3. 化学岩及生物化学岩类

石灰岩，简称灰岩，化学结晶结构，生物结构，块状构造。主要由方解石组成，次要矿物有白云石、粘土矿物等。质纯者为浅色，若含有机质及杂质则色深。石灰岩致密、性脆，一般抗压强度较差。石灰岩分布很广，是烧制石灰和水泥的重要原材料，也是用途很广的建筑石材。



图 1-47 深灰色微晶灰岩



图 1-48 竹叶状灰岩

白云岩 主要由白云石和方解石组成，颜色灰白，略带淡黄、淡红色。化学结晶结构，块状构造，可作高级耐火材料和建筑石料。

泥灰岩 主要由方解石和粘土矿物(含量在 25%~50%)组成, 化学结晶结构, 块状构造。抗压强度低, 遇水易软化, 可做水泥原料。

鉴别这类岩石要特别注意对盐酸试剂的反应, 石灰岩在常温下遇稀盐酸剧烈起泡; 泥灰岩遇稀盐酸起泡后留有泥点; 白云岩在常温下遇稀盐酸不起泡, 但加热或研成粉末后则起泡。多数岩石结构致密, 性质坚硬, 强度较高。但是它具有可溶性, 在水流的作用下形成溶蚀裂隙、洞穴、地下河等, 对基础工程影响很大。

表 1-11 常见沉积岩标本鉴定特征表

分类	岩石名称	颜色	胶结物	结构	构造	物质成分	其它特征
火山碎屑岩	凝灰岩	紫红、灰绿等色	凝灰质或泥质	火山碎屑结构(粒径<2mm)	块状层状	熔岩及围岩块其中常含: 石英、长石、云母等矿物晶体	岩石外貌特征很象细砂岩, 但颗粒不均颜色不同, 是很好的建筑材料, 也可用作水泥原料, 具有吸水性, 强度取决于胶结物
	火山角砾岩	灰、黄、绿、红、灰绿等色	凝灰质	火山碎屑结构(粒径2~100mm)	层状块状	熔岩, 角砾岩	具棱角状, 颜色杂, 强度取决于胶结物, 具有孔隙透水性
	火山集块岩	灰、黄、绿	火山灰及熔岩	火山碎屑结构(粒径100mm)	层状块状	火山碎屑	火山碎屑物常为纺锤形, 椭球形火山弹以及熔岩碎块, 围岩角砾, 强度取决于胶结物, 具有孔隙透水性
正常碎屑岩	砾岩, 角砾岩	由胶结物及岩屑色决定	钙质、铁质、硅质、泥质	碎屑结构(粒径>2mm)	层状块状	石英、岩屑	磨圆度较好为砾岩; 岩屑未经磨圆而带棱角的为角砾岩
	砂岩, 石英砂岩, 铁质砂岩	白色, 灰白色、黄白色、浅红色、浅灰色、浅绿色	硅质、钙质、铁质、泥质	粗砂状 中砂状 细砂状 粉砂状	层理	石英、长石	(1)石英砂岩: 基质少、石英含量>95%, 一般为硅质胶结, 色白而硬, 磨圆度和分选性较好 (2)长石砂岩: 长石含量>25%, 呈浅红色或浅灰色, 磨圆度和分选性较差, 主要为钙质或铁质胶结物 (3)杂砂岩: 石英含量25~50%, 长石15~25%, 并有大量暗色矿物, 胶结物主要为粘土矿物, 颜色为灰色、深灰色、浅红色、浅绿色 (4)粉砂岩: 碎屑成分以石英为主, 其次为长石、云母、绿泥石和粘土物质, 颜色为褐黄、粉红、浅绿等色, 胶结物以钙质、泥质为主, 也可见铁质、硅质

续表 1-11 常见沉积岩标本鉴定特征表

分类	岩石名称	颜色	胶结物	结构	构造	物质成分	其它特征
粘土岩	页岩	黑色、灰色、浅绿、浅黄、紫红、褐色、浅红等色	泥质	泥质结构	页理	粘土矿物，石英，云母，绿泥石	呈薄片状，表面发暗无光，易风化，遇水软化，可塑性、工程地质性质较差。按混入成分有： (1)钙质页岩：富含 CaCO_3 ，遇稀盐酸起泡 (2)硅质页岩：富含 SiO_2 ，小刀刻不动 (3)碳质页岩：含有大量植物碎片，易污手 (4)黑色页岩：富含硫化铁和有机质 (5)油页岩：含沥青质，用小刀划之有连续的刨花状薄片
	泥岩	浅红、褐色、浅黄色、灰色等	泥质	泥质结构	块状	粘土矿物，石英，云母，绿泥石	固结程度高，较坚硬，遇水不变软，不具页理，呈块状，摸之有滑感
化学岩	石灰岩	颜色多样，多为浅灰、深灰、咖啡色等	无	结晶粒状隐晶质、生物碎屑、鲕状、竹叶状结构	层状块状	主要为方解石，少量白云石等	遇冷稀盐酸起泡，与含 CO_2 的水作用时被溶蚀，易岩溶化，使工程地质性质变坏
	白云岩	浅黄色、淡红色、灰白色、灰褐色等	无	隐晶质、结晶质、生物或碎屑结构	层状块状	主要为白云石，少量方解石	岩石表面形似刀砍状，遇冷稀盐酸不起泡或起泡不剧烈，粉末遇热稀盐酸起泡剧烈
	泥灰岩	浅黄、浅灰、浅绿、红、棕黄褐等色	泥质	隐晶质或微粒结构	层状块状	方解石，粘土矿物	与盐酸反应后，有泥质残留物出现，易风化破碎，强度低，工程地质性质较差

三、变质岩

地壳中原岩（岩浆岩、沉积岩和变质岩）受到温度、压力及化学活动性流体的影响，在固体状态下（或局部重融）发生剧烈变化后形成的岩石称变质岩。变质岩中蕴藏着丰富的矿产资源，同时部分变质岩也是良好的建筑材料。

变质岩分布很广，前寒武纪地层中广泛发育着古老的变质岩，约占大陆面积的 18%。大洋底也有分布。我国广泛出露各种变质岩，在秦岭、天山、阴山、

燕山及山东、辽宁、山西、河北等地。

（一）变质作用

变质作用是指先已存在的岩石受物理条件和化学条件变化的影响，改变其结构、构造和矿物成分，成为一种新的岩石的转变过程。

1. 变质作用的影响因素

主要是温度、压力和具化变质作用与变质岩学活动性的流体等。温度的改变一般是引起变质作用的主要因素。热能主要有两种来源：地壳中放射性同位素衰变释放

的和深部重力分异产生的

引起岩石变质的压力包括上覆岩石重量引起的静压力、侵入岩体空隙中的流体所形成的压力及地壳运动或岩浆活动产生的定向压力。化学活动性流体则是以岩浆、 H_2O 、 CO_2 为主，其次还包括一些易挥发、易流动物质的流体。

2. 变质作用的类型

根据变质作用的地质成因和变质作用因素，可将变质作用分为以下几种类型，

（1）接触变质作用

接触变质作用是指当岩浆侵入围岩时，在侵入体与围岩的接触带，受到岩浆高温及其分异出来的挥发成分及热液的影响而发生的一种变质作用。根据变质过程中侵入体与围岩间有无化学成分的相互交代，接触变质作用可分为热接触变质作用和接触交代变质作用两种类型。

①热接触变质作用。热接触变质作用也称热力变质作用，是指由于岩浆侵入人体释放的热能使接触带附近围岩的矿物成分、结构和构造等发生变化的一种变质作用。这种作用主要表现为原岩成分经重结晶产生新的矿物组合和新的结构、构造，而化学成分基本上没有发生变化，如石灰岩变为大理岩，砂岩变为石英砂岩等。

②接触交代变质作用。接触交代变质作用是指由于岩浆成分结晶晚期析出的大量挥发得一种变质作用。这种作用与热接触变质作用的区别在于，围岩温度升高的同时还有化学成分的进入和带出。接触交代变质作用主要发生在酸性、中性侵入体与石灰岩的接触带，而且往往产生矽卡岩。

（2）动力变质作用

在构造运动过程中，岩石在定向压力作用下而发生的变形、破碎甚至重结晶的作用，称为动力变质作用。动力变质作用主要发生在地壳较浅的部位、构造变形强烈的断裂带附近，多呈狭长带状分布。

（3）区域变质作用

在一个范围较大的区域内，由于区域性的地壳运动和岩浆活动影响而引起岩石发生变质的作用，称为区域变质作用。区域变质作用一般分布范围广，延续时间长，具有区域性。在山东泰山、山西五台山、河南嵩山等地分布的古老变质岩都是由区域变质作用形成的。区域变质岩的岩性在很大范围内比较均一，其强度决定于岩石本身的结构、构造和矿物成分。

由于变质作用一般不改起原生岩石的产状，因此产状不能作为变质岩的特征。但是如果受到强烈的挤压，原生岩石的产状也可能发生某些变化，如原生岩体在压力作用方向上受到强烈的压缩等。

（二）变质岩的物质成分

岩石变质后，化学成分和矿物组成都发生了变化。

变质岩的化学成分一方面取决于原岩成分，另一方面受变质过程的影响。在变质过程中若无明显的物质交换，则变质前后的化学成分变化不大，变质岩的化学成分可以反映原岩的化学成分特征。如粘土岩变质而成的千枚岩、白云母片岩和含夕线石的片麻岩，其化学成分和粘土岩基本相同。若变质过程中发生明显的物质交换，则变质岩的化学成分除受原岩的化学成分决定外，还受变质过程带入和带出组分的限制。

变质岩的矿物成分，有一定的继承性，也经过变质作用产生了一系列新矿物。变质作用后仍保留的部分矿物称残留矿物，如石英、长石、角闪石、辉石等。原岩经变质后出现某些具有自身特征的矿物称变质矿物，都是变质岩所特有的矿物。如石墨、滑石、蛇纹石、绿泥石、石榴子石、硅灰石、十字石、红柱石、蓝晶石、夕线石、堇青石等。这些变质矿物多为纤维状、鳞片状、柱状，其延长性较大，如岩浆岩中的云母，其长宽比为 1.5 左右，在变质岩中达 7-10。因此，其工程性质较差。

（三）变质岩的结构

1. 变质岩的结构

变质岩的结构是指组成变质岩的矿物的结晶程度、形状、大小及其相互之间的关系。一般变质岩结构按成因可分为变晶结构、变余结构、碎裂结构、交代结构。

(1) 变晶结构

是指岩石在固态条件下，岩石中的各种矿物重结晶或重组合作用形成的结晶质结构。该类结构中无玻璃质，矿物多呈定向排列。按变晶矿物颗粒的形状分为粒状变晶结构、鳞片变晶结构、纤维状变晶结构等，这是变质岩中最常见的结构。

(2) 变余结构（残留结构）

由于变质程度低，重结晶作用不完全，仍残留原来的一些结构特征。在变质程度较低的变质岩中常见。如变余砂状结构、变余砾状结构、变余火山碎屑结构等。这种结构在低级变质岩中较常见。

(3) 碎裂结构（压碎结构）

是动力变质作用所造成的一种结构。在定向压力影响下，使岩石中的矿物颗粒发生弯曲、破裂、断开，甚至研磨成细小的碎屑或而成的结构。

(4) 交代结构

是交代作用形成的结构，一般在显微镜下才能观察到，矿物的一些物质成分被另外的物质替代。

（四）变质岩的构造

变质岩的构造指岩石中矿物在空间排列关系上的外貌特征。变质岩的构造特征常见的有：片理构造、变余构造和块状构造等。其中片理构造是变质岩区别其它岩类的重要特征，也是变质岩分类在外观上的显著标志。

1. 片理构造 指岩石中片状、针状、柱状或板状矿物受定向压力作用重新组合，呈相互平行排列的现象。能顺着矿物定向排列方向剥裂开的面称片理面。根据片理构造的形态可分为以下几类：

(1) 板状构造 在温度不高而以压力为主的变质作用下，由显微片状矿物平行排列成密集的板状劈理面（板理面），以隐晶质为主。岩石结构致密，所含矿物肉眼不能分辨，板理面上有弱丝绢光泽。能沿一定方向分裂成均一厚度的薄板。

(2) 千枚状构造 岩石中矿物重结晶程度比板岩高，其中各组分基本已重结晶并定向排列，结晶程度较低而使肉眼尚不能分辨矿物，仅在岩石的自然破裂面上见有较强的丝绢光泽，是绢云母、绿泥石小鳞片造成。

(3) 片状构造 原岩经区域变质、重结晶作用，使片状、柱状、板状矿物平行排列成连续的薄片状，岩石中各组分全部重结晶，而且肉眼可以看出矿物颗粒，片理面上光泽很强。

(4) 片麻状构造 这是一种变质程度很深的构造，不同矿物(粒状、片状相间)定向排列，呈致平行的断续条带状，沿片理面不易劈开，它们的结晶程度都比较高。

2. 块状构造

岩石由粒状结晶矿物组成，无定向排列，也不能定向裂开。

(五) 常见的变质岩

变质岩根据其构造特征分为片理状岩石类和块状岩石类，见表 1-12 所示

表 1-12 主要变质岩分类简表

岩类	构造	岩石名称	主要矿物成分	原岩
片理状岩类	板状构造	板岩	粘土矿物、绢云母、绿泥石、石英等	粘土岩、粘土质粉砂岩
	千枚状构造	千枚岩	绢云母、绿泥石、石英等	粘土岩、粉砂岩、凝灰岩
	片状构造	片岩	云母、滑石、绿泥石、石英等	粘土岩、砂岩、岩浆岩、凝灰岩
	片麻状构造	片麻岩	石英、长石、云母、角闪石等	中、酸性岩浆岩、砂岩、粉砂岩、粘土岩
块状岩类	块状构造	石英岩 大理岩	以石英为主，含长石，有时含云母 方解石、白云石	砂岩 硅质岩 石灰岩、白云岩

1. 片理状岩类

板岩 浅变质岩。颜色多种，击之发出清脆的石板声，变余结构，板状构造。矿物颗粒细小，呈致密状。板岩是低级变质作用的产物，原岩为泥质岩（泥岩、页岩）、粉砂岩、中酸性凝灰岩等，由浅变质而形成的。以颜色和杂质命名，如红色板岩、炭质板岩、钙质板岩等。沿劈理易于裂开成薄板状，能加工成各种尺寸的石板，用作建筑材料。但在水的长期作用下可能软化，形成软弱夹层。板岩

透水性很弱，可作隔水层。



图 1-49 板岩

千枚岩 浅变质岩。变晶结构，千枚状构造。常见矿物有绢云母、绿泥石、石英等。其原岩和板岩相同，变质程度较板岩略高，仍属低级变质岩。千枚岩按颜色和特征矿物命名，如绿色千枚岩、绿泥石千枚岩。矿物大部分重结晶，新生矿物颗粒较板岩粗大，有时部分绢云母有渐变为白云母的趋势。岩石中片状矿物形成细而薄的连续的片理，沿片理面呈定向排列，致使这类岩石具有明显的丝绢光泽。该岩石的质地松软，强度低，易风化剥落，沿片理面滑塌。

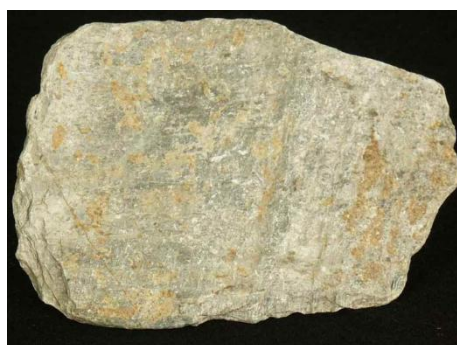


图 1-50 千枚岩

片岩 属中深变质岩，分布广泛。鳞片状或纤维状变晶结构，片理构造。常见矿物有云母、滑石、绿泥石、石英等，片岩中不含或很少含长石。原岩类型比较复杂，可以是超基性岩、基性岩、火山凝灰岩、砂岩、粘土岩等。根据片岩中片状矿物种类不同命名，如云母片岩、滑石片岩等。因其片理发育，片状矿物含量高，岩石强度低，抗风化能力差，极易风化剥落，甚至发生滑塌。



图 1-51 角闪石片岩



图 1-52 白云母石英片岩

片麻岩 属深变质岩，在前寒武纪古老结晶基底上及以后的造山带中大面积分布。粒状变晶结构，晶粒粗大。片麻状构造，其主要矿物是石英、长石等，其次是云母、角闪石、辉石等。片麻岩强度较高，可用作各种建筑材料，使用时注意其云母含量对强度产生的影响。

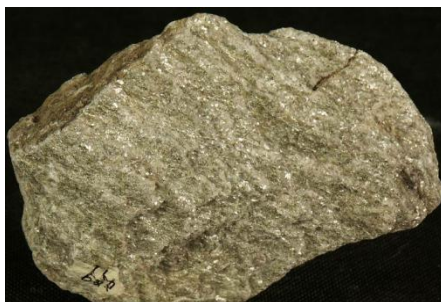


图 1-53 白云钾长片麻岩

2. 块状岩类

大理岩 由钙、镁碳酸盐类（石灰岩、白云岩等）沉积岩变质形成，具粒状变晶结构，块状构造，也有条带状构造。主要矿物成分为方解石、白云石，其总量大于 50%。大理岩以云南大理市盛产优质的此种岩石而得名。洁白的细粒大理岩（汉白玉）和带有各种花纹的大理岩常用作建筑材料和各种装饰石料等。大理岩与盐酸作用起泡，具有可溶性。

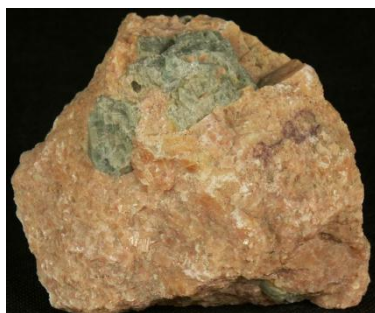


图 1-54 红色大理岩

石英岩 由石英砂岩和硅质岩经变质而成。一般呈粒状变晶结构,块状构造。变质以后石英颗粒和硅质胶结物合为一体,因此,石英岩的强度和结晶程度均较原岩高。它主要由石英组成(>85%),其次含少量白云母、长石等。石英岩在区域变质作用和接触变质作用下均可形成,岩石坚硬,抗风化能力强,可作良好的建筑物地基。但其开采加工较困难,且因性脆,较易产生密集性裂隙,属于酸性石料。另外,石英岩中常夹有薄层板岩,风化后变为泥化夹层。

表 1-13 常见变质岩标本鉴定特征表

类型	岩石名称	原岩	颜色	主要矿物成分	结构	构造	其它与工程地质特征
接触变质	大理岩	石灰岩 白云岩	白色、灰色、浅红色、浅绿色以及各种颜色	方解石,白云石(不纯者含有橄榄石、蛇纹石、石榴子石、辉石、角闪石、云母、绿帘石等)	等粒变晶结构	块状构造	常具有美丽条纹、遇稀盐酸起泡,强度高,稳定,是较好的建筑材料及装璜材料
	石英岩	石英砂岩	白色、灰色、褐色,红褐色等	石英(次要要有长石、云母、绿泥石、蓝晶石、石墨、绿帘石等)	等粒变晶结构	块状构造	坚硬,强度高,稳定,具有玻璃油脂光泽
区域变质	板岩	粘土岩类	灰色、灰绿色、红色、黄色黑色等	粘土、云母、绿泥石、石英、长石	变余泥质结构或致密隐晶质结构	板状构造	页岩浅变质而来,敲之有清脆声音,强度较页岩好,板面平滑,有时可见不同的颜色条带
	千枚岩	页岩,长石砂岩,中酸性凝灰岩	棕红色、绿色、灰色、黄色、黑色等	绢云母、绿泥石、石英、长石、方解石	细粒变晶结构或呈隐鳞片变晶结构	千枚状构造	具明显的丝绸光泽,面上看呈细丝状,从断面看呈极薄层状,强度比板岩差
	绿泥石片岩	中性,基性超基性岩	绿至绿黑色	绿泥石、绿帘石、阳起石、蛇纹石	鳞片变晶结构	片状构造	具滑感,是浅变质带生成的,易沿片理剥开,强度比千枚岩差
	绢云母片岩	粘土岩或中酸性喷出岩	灰白色、灰绿色	绢云母,石英,绿泥石等	鳞片变晶结构	片状构造	易沿片理剥开,强度比千枚岩差

	白云母片岩	粘土岩或中酸性喷出岩	灰绿色,灰白色	白云母、石英、绿泥石	鳞片变晶结构	片状构造	易沿片理剥开,强度比千枚岩差
	角闪石片岩	中性、基性岩	黑绿色,灰黑色	角闪石、石英、斜长石	鳞片变晶结构	片状构造	易沿片理剥开,强度比千枚岩差

续表 1-13 常见变质岩标本鉴定特征表

类型	岩石名称	原岩	颜色	主要矿物成分	结构	构造	其它与工程地质特征
区域性变质	石榴子石云母片岩	酸性火山凝灰岩,粘土岩,粉砂质岩石	灰白、灰褐色、灰绿色	白云母、黑云母、石榴子石、辉石	鳞片变晶结构	片状构造	易沿片理剥开强度比千枚岩差
	黑云母片麻岩	酸性岩浆岩	灰白色、深灰色	黑云母、石英、长石,角闪石	等粒变晶结构或斑状变晶结构	片麻状构造	矿物呈水平定向排列,浅色暗色矿物相间排列,带状断续分布
	花岗岩片麻岩	花岗岩类	肉红色、红黄色	石英、长石、黑云母、角闪石	等粒变晶结构或斑状变晶结构	片麻状、条带构造	矿物呈水平定向排列,浅色暗色矿物相间排列,带状断续分布
接触交代变质	云英岩	酸性岩浆及相应成分的沉积岩	灰白色、灰绿色、灰黄色、粉红色	白云母、石英	等粒、斑状变晶结构或鳞片变晶结构	块状构造	强度较高,工程地质性质较好
	蛇纹岩	超基性岩类白云质大理石	黄绿色、暗绿色、黑色	蛇纹石、滑石、菱镁矿等	致密隐晶质结构,斑状变晶结构	块状构造	具蜡状光泽,有滑感,强度较高,工程地质性质较好

动力变质	糜棱岩	各种岩石	视原岩风化而定,通常为各种浅色	各种矿物	压碎结构 糜棱结构	致密块状构造	似块状细砂岩,强度低、工程地质性质极差,分布在断层带两侧
	构造角砾岩	动力变形而成的岩石	各种不同的颜色	各种矿物	角砾状结构 或压碎结构	块状构造	似角砾岩、强度低,工程地质性质差,通常见于断裂错动带

第四节 岩石的工程分类

一、岩石的风化程度

(一) 岩石按风化程度分类, 如表 1-14。

根据岩石的颜色、矿物成分、破碎程度、强度的变化来判断岩石的风化程度强弱。

表 1-14 岩石按风化程度分类

风化程度	野外特征
未风化	岩质新鲜, 偶见风化痕迹
微风化	结构基本未变, 仅节理面有渲染或略有变色, 有少量风化裂隙
中等风化	结构部分破坏, 沿节理面有次生矿物、风化裂隙发育, 岩体被切割成岩块。用稿难挖, 岩芯钻方可钻进
强风化	结构大部分破坏, 矿物成分显著变化, 风化裂隙很发育, 岩体破碎, 用稿可挖, 干钻不易钻进
全风化	结构基本破坏, 但尚可辨认, 有残余结构强度, 可用稿挖, 干钻可钻进
残积土	组织结构全部破坏, 已风化成土块, 揪稿易挖掘出, 干钻易钻进, 具可塑性

(二) 岩石风化程度分带

岩石的风化是由表及里, 地表部分受风化作用的影响最显著, 由地表往下风化作用的影响逐渐减弱以至消失, 直至过渡到不受风化影响的新鲜岩石, 因此从工程地质的角度, 在风化剖面的不同深度上, 一般把风化岩层自下而上相应于风化程度分级划分 5 个带: 未经风化带、轻微风化带、中等风化带、严重风化带、

极严重风化带。

二、按饱和单轴抗压强度分类，如表 1-15。

表 1-15 岩石按坚硬程度分类

坚硬程度	坚硬岩	软硬岩	较软岩	软岩	极软岩
饱和单轴抗强度 (Mpa)	$f_r > 60$	$60 \geq f_r > 30$	$30 \geq f_r > 15$	$15 \geq f_r > 5$	$f_r \leq 5$

三、岩石坚硬程度定性划分，如表 1-16。

表 1-16 岩石按坚硬程度的定性分类

坚硬程度		定性鉴定	代表性岩石
硬 岩 石	坚硬岩	锤击声清脆，有回弹，震手，难击碎，基本无吸水反应	未风华~微风化的花岗岩、闪长岩、辉绿岩、玄武岩、安山岩、片麻岩、石英岩、石英砂岩、硅质砾岩、硅质石灰岩等
	较硬岩	锤击声较清脆，有轻微回弹，稍震手，较难击碎，有轻微吸水反应	1.微风化的坚硬岩； 2.未风华~微风化的大理岩、板岩、石英岩、白云岩、钙质砂岩等
软 质 岩	较软岩	锤击声不清脆、，无回弹，较易击碎，浸水后指甲可刻出印痕	1.中等风化~强风化的坚硬岩或较坚硬 2.未风华~微风化的凝灰岩、千枚岩、泥灰岩、砂质泥岩等
	软岩	锤击声哑，无回弹，有凹痕，易击碎，浸水后手可掰开	1.强风化的坚硬岩或较硬岩； 2.中等风华~强风化的较软岩 3.未风华~微风化的页岩、泥岩、泥质砂岩等
极软岩		锤击声哑，无回弹，有较深凹痕，手可捏碎，浸水后可捏成团	1.全风化的各种岩石 2.各种半成岩

工程案例

千河大桥桥墩所在的地貌单元属于千河河床及漫滩，地形较平缓，分布的桥基土主要为第四系全新统现代河床冲洪积淤泥、软塑状粉质粘土、细砂、卵石土，第四系上更新统冲洪积砂砾石及奥陶系下统强-中风化灰岩，其中：①淤泥：灰黑色，饱和，流塑，土质较均匀，可见水平层理，最大揭露厚度 2.1 米，属软基，工程岩土性质很差；②粉质粘土：褐红色，饱和，软塑，土质较均匀，可见水平层理，揭露厚度为 3.0-6.1，属软基，工程岩土性质很差；③细砂：褐黄色，饱和，稍密，砂质较纯净，矿物成分主要为石英、长石等，该层为透镜体夹层，揭露厚度 1.7 米，工程岩土性质较差；④卵石：杂色，饱和，中密，卵石含量 50%-70%，成分以石英砂岩为主，其次有灰岩、石英岩和花岗岩等，磨圆较好，分选差，泥

砂质充填，揭露厚度 2.1-2.3 米，工程岩土性质一般；⑨砂砾石，杂色，中密-密实，砾石含量约占 40%，粗砾砂充填，磨圆一般，分选较好，揭露厚度 6.6-13.9 米，层位较稳定，工程岩土性质较好；⑩强风化灰岩：灰黄色，岩体较破碎，节理裂隙发育，岩芯呈碎块或短柱状，揭露厚度 3.0-4.0 米，工程岩土性质较好；(11)中风化灰岩，灰白色，岩体较完整，节理裂隙较发育，岩芯呈柱状，层位稳定，厚度大，工程岩土性质良好，是较好的桩端持力层。详见图千河大桥桥墩部分纵断面图。

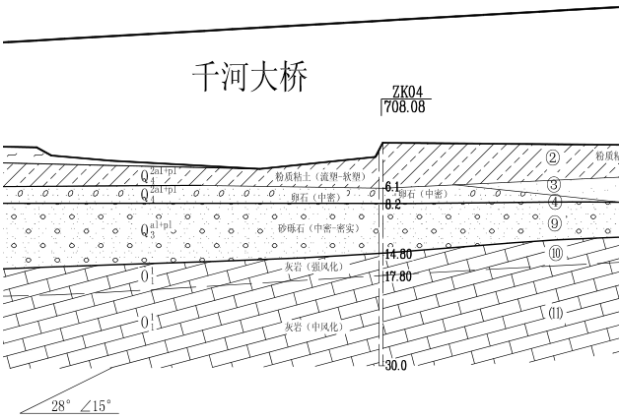


图 1-55 千河大桥桥墩部分纵断面图

技能训练 1 矿物的鉴别

一、目的要求

通过本次技能训练，要求同学们学会使用一些简单的工具来确定矿物的一般物理性质，最后达到能够用肉眼鉴别主要造岩矿物的目的。正确鉴别矿物是为下一步鉴别各类岩石打下基础。

二、内容与方法

1.掌握主要造岩矿物的鉴定特征。一种矿物与其他矿物相比较，该矿物所特有的某些物理性质称为它的鉴定特征。例如，白云母的弹性，绿泥石的挠性，自然金的延展性，磁铁矿的磁性，滑石的滑感，岩盐的咸味，重晶石的大比重，硫磺的臭味，方解石、白云石与冷稀盐酸发生化学反应而产生气泡等。

2.使用简单的工具(小刀、指甲、瓷板、放大镜、稀盐酸等)认识矿物的一般物理性质，如硬度、解理、颜色、形态、条痕、比重、磁性、断口、光泽、透明度及与稀盐酸、镁试剂的反应特征等。

三、观察矿物步骤

1. 辨别矿物，描述特征。一块标本往往有几种矿物共生在一起，从中辨别矿物的形态和物理性质，边看边记录，描述其特征。

单矿物描述其形态、晶面条纹等；集合体的描述；观察矿物的光学性质：先描述其颜色，若为深色，硬度小于 5 的矿物，再用条痕板试其条痕色后选择矿物的新鲜面，仔细观察描述矿物的光泽和透明度；描述矿物的力学性质：解理、断口、硬度；还要描述矿物的其他特征；有些矿物，如碳酸盐类需要用简易化学方法，观察与稀盐酸的反应加以区别。

2.仔细对比，找共性。

3.找个性。对矿物进行类比，找出对比矿物的各项特征即从共性中求得个性，并从本质上（成分、结构、成因条件等）寻求其个性根源，以便在理解的基础上记忆，同时注意矿物的共生组合关系。

注意区别：黄铁矿与黄铜矿；方解石与萤石；辉石与角闪石；正长石与斜长石。

四、训练要求

要求课堂单独完成，按标本盒里的标本顺序，依次描述各矿物的物理性质并完成 12 种主要造岩矿物的认识与鉴定记录表(见表 1-17)。最后经过对比掌握常见矿物的鉴定特征。

表 1-17 主要造岩矿物的认识与鉴定记录表

标本号	主要鉴定特征									矿物名称
	颜色	形态	条痕	光泽	硬度	解理	断口	比重	其他	
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										

技能训练 2 岩浆岩的鉴别

一、目的要求

通过标本肉眼鉴定方法，根据矿物成分、结构和构造来认识各种主要的岩浆岩，牢记主要岩浆岩的鉴定特征。

二、内容方法

1.鉴别岩浆岩中的各种矿物成分。岩浆岩中的矿物成分反映了该岩浆岩的化学性质，其中二氧化硅的含量具有决定性的作用。

当二氧化硅的含量大于 65%时，为酸性岩浆岩，其主要特征是富含石英；当二氧化硅的含量饱和，即为 52%~65%时，为中性岩浆岩，其特征为少含或不含石英，而富含长石；当二氧化硅的含量较少，即为 40%~52%时，为基性岩浆岩，其特征为不含或少含石英，除长石外，开始出现大量深色铁镁矿物；当二氧化硅的含量极少，即少于 40%时，则为超基性岩浆岩，其特征为既不含石英，也不含长石，以大量深色铁镁矿物为主。因此，我们可以按照顺序观察石英、长石和铁镁矿物的含量，大致确定岩石属于哪一类岩浆岩，且熟记各类岩浆岩中常见的几种矿物成分。

2.鉴别岩浆岩的结构和构造。由于岩浆岩生成条件的不同，因此反映这种生成条件的结构和构造也不相同。用肉眼鉴别岩石的结构时主要观察其结晶程度、晶粒大小及晶粒间的组合方式。

结晶程度可分为全晶质(分显晶质、隐晶质)、半晶质、非晶质(玻璃质)三种。全晶质(指显晶质)的岩石又可根据晶粒大小分为粗粒(晶粒直径大于 5 mm)、中粒(1~5 mm)、细粒(晶粒直径小于 1 mm)三种；按晶粒间的组合方式可分为等粒和斑状结构两种。

岩浆岩的构造大多数为致密块状，少数为气孔状、杏仁状和流纹状。

3.认识岩浆岩的颜色特点。对于结晶不好或没有结晶的岩浆岩，应当根据其颜色来判断它所含的矿物成分和化学成分。酸性岩浆岩的主要成分是石英和长石，颜色较浅，包括浅灰、玫瑰、红、黄色等；基性岩浆岩的主要成分为铁镁矿物，颜色较深，如深灰、深黄、棕、深绿、黑色等。标本盒里的岩浆岩的主要矿物成分、结构和构造见表 1-17。

三、训练要求

根据标本盒中的标本，仔细观察，依次描述每块岩浆岩的矿物成分、结构和构造并完成主要岩浆岩认识与鉴定记录表(见表 1-18)，最后经过对比掌握每种岩

浆岩的鉴定特征。

表 1-18 主要岩浆岩认识与鉴定记录表

标本号	岩石名称					岩石名称
	颜色	主要矿物成分	结构	构造	其他	

技能训练 3 沉积岩的鉴别

一、目的要求

通过对标本的肉眼鉴定，根据矿物成分、结构和构造来认识各种主要的沉积岩，牢记主要沉积岩的鉴定特征。

二、内容方法

（一）认识沉积岩的结构。由于沉积岩多为碎屑或隐晶结构，故沉积岩的结构侧重于它的颗粒大小和形状。颗粒直径大于 0. 005 mm 的为碎屑岩类，小于 0. 005 mm 的为黏土岩类。在碎屑岩中，颗粒直径大于 2 mm 的为砾状结构，根据颗粒形状又可分为磨圆度较好的圆砾状结构和磨圆度不好的角砾状结构；直径为 0. 005~2 mm 的是砂状结构，按直径大小又可分为粗、中、细、粉砂状结构；直径小于 0. 005 mm 的为泥状结构。颗粒的大小及形状对碎屑岩及黏土岩的定名及性质起决定性作用，而对化学岩的重要性影响则小得多。化学岩多为隐晶结构。

（二）认识沉积岩的构造。沉积岩的构造特征可从宏观(大构造)和微观(小构造)两个方面来看：大构造主要指层状构造，除非是薄层的沉积岩，一般不易在手标本上观察到，多在野外进行观察；小构造则指层理构造、尖灭或透镜构造、层面构造及均匀块状构造等。总体来说，构造特征是区别三大类岩石中沉积岩的最重要的特征之一，但对于鉴别具体沉积岩的名称及性质作用较小。

（三）认识沉积岩的主要矿物成分和胶结物。沉积岩的矿物成分和胶结物是决定沉积岩的名称和性质的另一个重要特征。

对于碎屑岩来说，颗粒的矿物成分和胶结物的矿物成分是同等重要的。例如，某种粗砂颗粒主要由长石组成，胶结物为碳质，则定名为碳质粗粒长石砂岩，胶

胶结物为硅质，则定名为硅质粗粒长石砂岩。两者工程性质相差较大。对于泥质页岩及泥岩来说，由于其颗粒直径多在 0.005 mm 以下，颗粒矿物多为黏土类矿物(如高岭石等)，故其命名和性质在很大程度上取决于胶结物。按鉴别矿物的方法对各种常见的胶结物进行鉴别，特征见表 1-19。对于化学岩及生物化学岩来讲，矿物成分是最重要的鉴别特征。

表 1-19 胶结物的主要特征

胶结物类型	颜色	硬度	其他特征
硅质	色浅（灰白等）	坚硬，小刀划不动	-
钙质	色浅（灰白等）	较硬，小刀可划动	滴盐酸气泡
铁质	色浅（紫红等）	较硬，小刀可划动	-
泥质	色浅（紫红等）	软，易刻划，易碎	-

三、训练要求

按标本盒里的标本编号顺序，依次描述每块沉积岩的矿物成分、胶结物、结构和构造特征，并完成主要沉积岩的认识与鉴定记录表(见表 1-20)，最后经过对比找出每种沉积岩的鉴定特征。

表 1-20 主要沉积岩认识与鉴定记录表

标本号	主要鉴定特征					岩石名称
	颜色	主要矿物成分	结构	构造	其他	

技能训练 4 变质岩的鉴别

一、目的要求

通过对标本的肉眼鉴定，根据矿物成分、结构和构造来认识各种主要的变质岩，牢记主要变质岩的鉴定特征。

二、内容方法

(1)认识变质岩的常见矿物。浅色的有石英、长石、白云母、绢云母、方解

石及滑石等，深色的有角闪石、辉石、黑云母、绿泥石等。其中除绢云母、滑石及绿泥石等为变质作用生成的变质岩所特有的矿物外，其余的为原岩所具有的矿物。

(2)认识变质岩的结构。变质岩中除少数岩石(如板岩、千枚岩等轻变质岩)具有隐晶结构外，其余大多数变质岩均为显晶结构。故可根据矿物鉴别特征把每种岩石中的主要矿物成分鉴别出来。结晶程度的好坏反映了岩石变质程度的深浅。

(3)认识变质岩的构造。变质岩的构造特征是变质岩区别于其他岩石的最重要的特征。除石英、大理岩为块状构造外，其余均以片理构造为特征。具片理构造的称片岩，具片麻状构造的称片麻岩，具千枚状构造的称千枚岩，具板状构造的称板岩。这四种片理构造的特征对比如下。

①片岩多为一种主要矿物(呈片状、针状、柱状)占绝对优势，并以此矿物命名，可有少量粒状矿物。岩石中的片状、针状、柱状矿物平行定向排列，一般颜色较杂，硬度较低。

②片麻岩多由两种以上既有深色又有浅色的矿物组成，其中粒状矿物占多数，常为浅色。片状、针状、柱状矿物平行定向排列，一般颜色较深，岩石硬度较高。

在片麻岩中，若个别浅色矿物颗粒聚集呈眼球状(两眼球角的连线方向与变质作用的受力方向垂直)，则称眼球状构造。若片麻岩中矿物沿受力垂直的方向平行延伸排列，矿物颗粒深浅颜色有较明显的变化，呈相间排列，则称为条带状构造。

③千枚岩和板岩为轻变质岩石，因原岩中的矿物成分未能全部结晶出来，故其矿物成分不易辨认，但千枚状构造及板状构造则能把它们与其他岩石区别开来。

对于变质岩的鉴定，通过仔细观察可以正确地鉴别岩石的矿物成分、结构和构造，其主要鉴定特征见表 1-20。

(4)在室内实习中，按标本盒里的标本编号顺序，依次描述每块变质岩的矿物成分、结构和构造特征，并完成主要变质岩认识与鉴定记录表(见表 1-21)，最

后经过对比找出每种变质岩的鉴定特征。

三、训练要求

按标本盒里的标本编号顺序，依次描述每块变质岩的颜色、矿物成分、结构和构造特征，并完成主要变质岩的认识与鉴定记录表(见表 1-21)，最后经过对比找出每种变质岩的鉴定特征。

表 1-21 主要沉积岩认识与鉴定记录表

标本号	主要鉴定特征					岩石名称
	颜色	主要矿物成分	结构	构造	其他	

思考题

1. 地球的外部圈层结构和内部圈层结构分别由哪几部分组成？
2. 地球的主要圈层的特点及其划分依据是什么？
3. 简述地质作用的概念及其含义。
4. 简述内力地质作用与外力地质作用的概念及其主要类型。
5. 怎样区分石英和方解石、正长石和斜长石、方解石和白云石？
6. 矿物的主要物理性质有哪些？
7. 变质岩构造和变质程度有关吗？
8. 如何区分石灰岩、大理岩？
9. 沉积岩构造有何特点？
10. 岩浆岩如何分类？
11. 为什么说岩浆岩的结构特征是其生成环境的综合反映？
12. 沉积岩区别于岩浆岩重要特征有哪些？为什么？
13. 分析变质岩在其矿物成分和结构上有何特性？

第二章 地质构造

学习目标:

- (1) 了解地质年代的含义, 熟悉相对地质年代的判别, 了解地质年代表。
- (2) 了解岩层产状及其要素的含义, 掌握岩层产状的测定方法和表示方法。
- (3) 熟悉地质构造的类型及其特点, 掌握各种地质构造与工程建设的关系。

地质构造是指岩层或岩体在地壳运动中, 由于构造应力长期作用使之发生永久性变形、变位的现象。地质构造的规模有大有小, 大的可以纵横数千公里如褶皱带、断裂带等等; 小的只有几厘米, 如片理构造等。但它们都是地壳运动造成的, 因而它们的形成、发展和空间分布上, 都存在着一定的内部联系。在地质历史过程中, 地壳经历了长期、多次复杂的构造运动。在同一区域往往会有先后不同规模和不同类型的构造体系形成, 它们互相干扰, 互相穿插, 使区域地质构造显得十分复杂, 但大型的复杂的地质构造, 总是由一些较小的简单的基本构造形态按一定方式组合而成的。地质构造类型常见的有水平构造、倾斜构造、直立构造、褶皱构造和断裂构造。研究地质构造对工程建筑有重要的意义。

第一节 地质年代

地壳发展演变的历史叫做地质历史, 简称地史。据科学推算, 地球的年龄至少有 45.5 亿年。在这漫长的地质历史中, 地壳经历了许多强烈的构造运动、岩浆活动、海陆变迁、剥蚀和沉积作用等各种地质事件, 形成了不同的地质体。因此查明地质事件发生或地质体形成的时代和先后顺序是十分重要的。

一、地质年代单位和地层单位

地质年代是指一个地层单位的形成时代或年代。

地层是在地壳发展过程中形成的, 具有一定的层位的一层或一组岩层(包括沉积岩、火成岩和变质岩), 并具有时代的概念。

划分地质年代单位和地层单位的主要依据是地壳运动和生物演变。地质学家们根据几次大的地壳运动和生物界大的演变, 把地质历史划分为宙, 每个宙中分为若干“代”, 每个代又分为若干“纪”, “纪”内再分为世、期等。宙、代、纪、世是国际通用地质时间单位, 期的划分和名称, 则适用于一个生物地理区, 其下尚可再分时, 均称为区域性年代单位。与地质年代相对应的地层单位是宇、界、系、统、阶, 如中生代三叠纪代表地质年代单位, 相应地在这一时代形成地层称

为中生界三叠系。地质年代表反映了地壳历史阶段的划分和生物的演化阶段，见表 2-1。

图 2-1 地质年代表

相对年代			绝对年龄 (百万年)	生物演化		地壳运动	我国地质历史主要特点
宙(宇)代(界)	纪(系)	世(统)		植物	动物		
显生宙	新生 K _z	第四 Q	全新世 Q ₁ 上更新世 Q ₃ 中更新世 Q ₂ 下更新世 Q ₁	2~3 25 70 135 195 230 285 350 400 440 500 600 700 1000 1400±50 1700± 2050± 4600 约 6000	被子植物 哺乳类 裸子植物 <		

二、相对地质年代的确定

地层的上下或新老关系称为地层层序。确定地层的地质年代有两种：一种是

绝对地质年代，用距今多少年以前来表示，它是根据放射性同位素的蜕变规律，来测定岩石和矿物的年龄。另一种是相对地质年代，由该岩石地层单位与相邻已知岩石地层单位的相对层位的关系来决定的。在地质工作中，一般以相对地质年代为主。

（一）沉积岩相对地质年代的确定

沉积岩相对地质年代，是通过层序、岩性、接触关系和古生物化石来确定的。

1. 地层层序法

沉积岩在形成过程中，下面的总是先沉积的地层，上覆的总是后沉积的地层，形成自然层序。若这种自然层序没有被褶皱或断层打乱，那么岩层的相对地质年代可以由其在层序的位置来确定；若构造变动复杂的地区，岩层自然层位发生了变化，就难以用这种方法确定了。

2. 岩性对比法

用已知地质时代的地层的岩性特征与未知地质时代的地层的岩性特征进行对比，用以确定未知地层的时代。在同一地质时代、环境相似的情况下所形成的地层，在岩石成分、结构、构造等方面具有一定的相似性。但此方法具有一定的局限性和可靠性。

3. 岩层接触关系法

由于地壳运动的性质和特点不同，岩层接触的形式也不同，分为以下几种。

（1）整合接触 是指同一地区上、下两套沉积地层在沉积层序上是连续的，且产状一致，即没有出现间断现象。

（2）不整合接触 是指上下两套地层之间发生沉积间断，分为以下两种。

（3）平行不整合（又称假整合） 是指上下两套岩层之间有一明显的沉积间断，但产状基本一致或一致。

（4）角度不整合 是指上下两套岩层之间有明显的沉积间断面，且两套岩层呈一定角度相交，如图 2-2 所示。

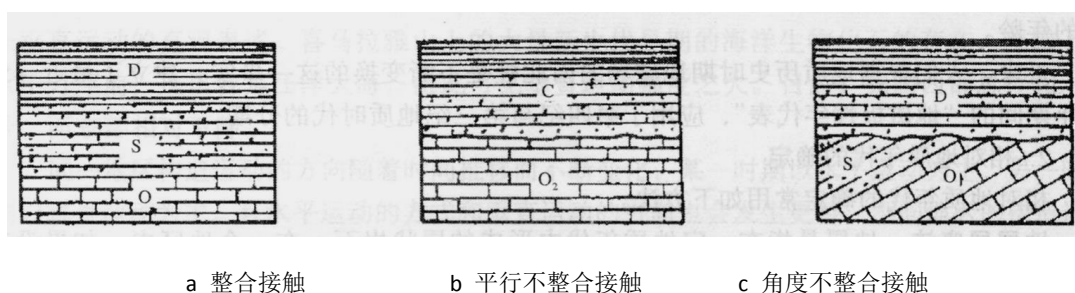


图 2-2 岩层接触关系

(5) 古生物法

利用地层中所含化石确定地层的时代 地球上生物的演化具有阶段性和不可逆性，一定种属的生物生活在一定的地质时代。相同地质时代的地层里，必定保存着相同或相近种属的化石。所以，只要确定出岩层中所含标准化石的地质年代，那么也就可以随之确定岩层的地质年代了。

(二) 岩浆岩相对地质年代的确定

岩浆岩的相对地质年代，是通过它与沉积岩的接触关系以及它本身的穿插关系来确定的。

1. 侵入接触

沉积岩形成后，岩浆岩侵入沉积岩层之中，使围岩发生变质现象。它说明岩浆侵入体的形成年代晚于发生变质的沉积岩层的地质年代，如图 2-3 所示。如果多次侵入，侵入体往往相互穿插。此时穿插其它岩体的侵入岩的时代较新，被穿插的侵入岩的时代较老，如图 2-4 所示，I 时代最老；II 时代较新；III 时代最新。

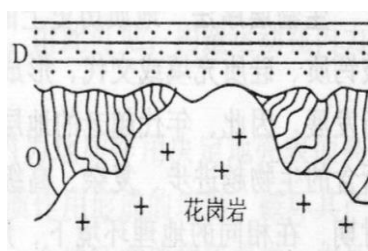


图 2-3 花岗岩与围岩的侵入

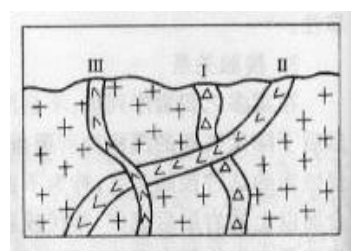


图 2-4 岩脉的穿插关系

2. 沉积接触

岩浆岩形成之后，经长期风化剥蚀，后来在侵蚀面上又有新的沉积。侵蚀面上部的沉积岩层无变质现象，而在沉积岩的底部往往有由岩浆岩组成的砾岩或岩浆岩风化剥蚀的痕迹，见图 2-3 所示。这说明岩浆岩的形成年代早于沉积岩的地质年代。

三、岩层的产状

岩层是指由两个平行或近于平行的界面所限制的同一岩性组成的层状岩石。岩层的产状是指岩层在空间的位置。

岩层产状三要素：地质学上用走向、倾向和倾角三要素来确定岩层的产状。

1. 走向 岩层的走向表示岩层在空间的水平延伸方向。岩层面与水平面相

交的线叫走向线。走向线两端所指的方向即为岩层的走向，如图 2-5 中的 CA 和 CB。岩层走向都有两个方位角数值，数值相差 180°。

2. 倾向 指岩层倾斜的方向。在岩层的层面上与走向垂直并指向下方的直线称为倾斜线，它的水平投影所指的方位角即为倾向，如图 2-5 中的 CD 线。同一岩层只有一个倾向，倾向的方位角值与走向的方位角值相差 90°。

3. 倾角 岩层的层面与水平面所夹的锐角。如图 2-5 中的 α 角。岩层的倾角表示岩层在空间倾斜角度的大小。

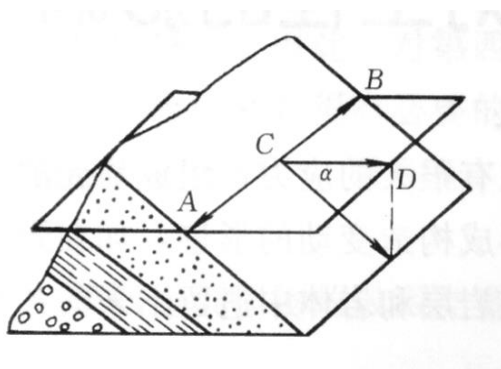


图 2-5 岩层的产状要素

岩层的倾斜线及其在水平面上的投影线之间的夹角就是岩层的倾角，又叫真倾角（图中的 α 角）。视倾斜线和它在水平面上的投影线之间的夹角，叫视倾角或假倾角（图中的 β 、 β' 角），真倾角 α 与视倾角 β 的关系可表示为：

$$\tan \beta = \tan \alpha * \cos \omega$$

式中， ω 为真倾向与视倾向之间的夹角，如图 2-6 所示。

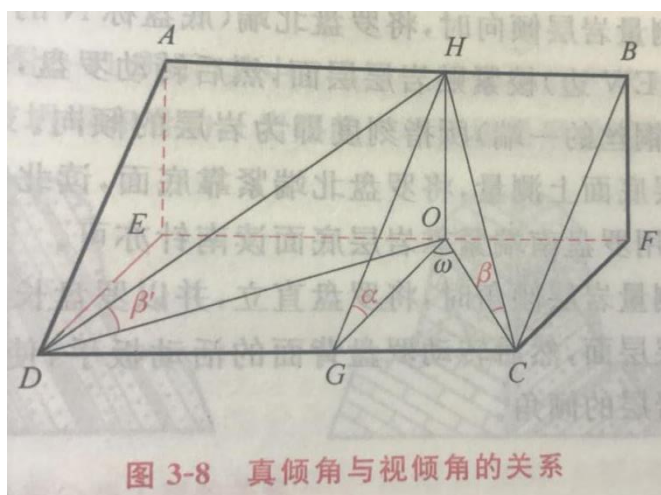


图 3-8 真倾角与视倾角的关系

图 2-6 真倾角与视倾角的关系

从式可以看出，视倾向越接近真倾向、其视倾角度也越大，最后趋近于真倾角值；视倾向偏离真倾向越远，即越靠近岩层走向，则其视倾角就越小，以至趋

近于零。野外测量时，通常需要测量真倾向和真倾角，有时也需要测量视倾角，然后根据上述关系换算真倾角。

岩层呈水平产出时，其倾角为零，没有走向与倾向。岩层呈直立产出时，它的空间位置取决于层面的走向。

第二节 地质构造

一、水平构造、倾斜构造与直立构造

（一）水平构造（又称水平岩层）

是指岩层产状近于水平（一般倾角小于 5° ）的构造。水平岩层出现在地壳运动较为轻微的地区或大范围均匀抬升或下降的地区，一般在平原、高原或盆地中部，其岩层未见明显变形。对于水平岩层，一般岩层时代越老，出露位置越低，越新则位置越高。水平岩层在地面上的露头宽度及形状主要与地形特征和岩层厚度有关，在地面坡度相同的情况下，厚度越大，露头宽度越大，反之越小。当岩层厚度相同时，坡度越缓，露头宽度越大，反之越小，若坡度接近 90° 度，出露宽度为 0，如图 2-7 所示。

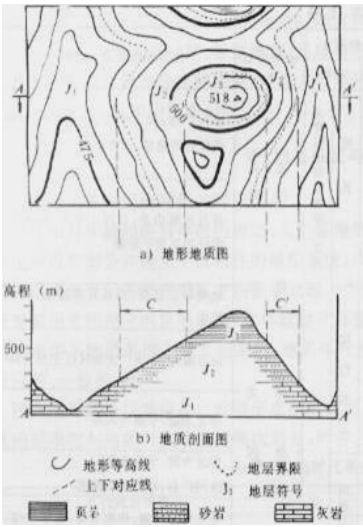


图 2-7 水平岩层与地形

（二）倾斜构造

水平岩层受地壳运动的影响后发生倾斜，使岩层层面和大地水平面之间具有一定的夹角时，称为倾斜构造（又称倾斜岩层或称单斜构造）

构造是层状岩层中最常见的一种产状，它可以是断层的一盘，褶曲的一翼或岩浆岩体的围岩，也可能是因岩层受到不均匀的上升或下降所引起的。岩层层序正常时，岩层是下老上新的地层；若岩层受到强烈变位，形成上老下新地层时，

则是倒转层序。岩层的正常与倒转主要依据化石确定，也可根据岩层面特征以及沉积岩岩性和构造特征来判断确定。（如图 2-8）

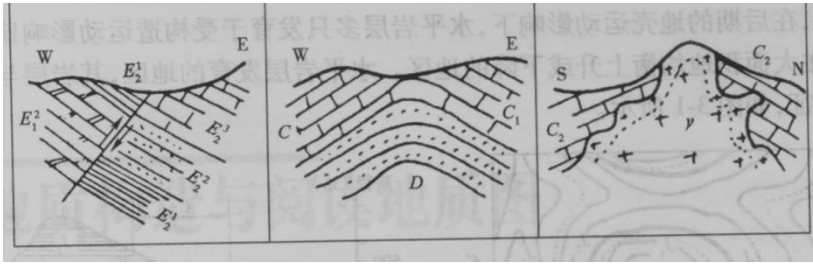


图 2-8 不同成因的倾斜岩层（据《地质矿产基础》长春地质学院编）

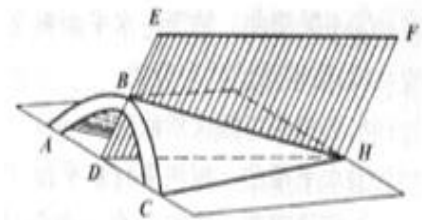
（三）直立构造 岩层面与水平面相垂直时，称直立构造（又称直立岩层）。其露头宽度与岩层厚度相等，与地形特征无关。

二、褶皱构造

褶皱构造是指岩层受构造应力的强烈作用后形成的一系列波状弯曲而未丧失其连续性的构造。褶皱构造是岩层产生的永久性变形，是地壳表层广泛发育的基本构造之一。

（一）褶曲要素

褶曲是褶皱构造中的一个弯曲，是褶皱构造的组成单位。每一个褶曲，都有核部、翼部、轴面、轴及枢纽等几个组成部分，如图 2-9 所示。



ABC 所包围的岩层-核 ABH、 CBH-翼部
DEFH-轴面 DH-轴 BH-枢纽

图 2-9 褶曲要素

核部 褶曲中心部位的岩层。

翼部 位于核部两侧向不同方向倾斜的岩层。 **轴面** 平分褶曲两翼的假想面。它可以是平面，亦可以是曲面；它可以是直立的、倾斜的或近似于水平的。轴面与水平面的交线。轴的长度，表示褶曲在轴线上延伸的规模大小。

枢纽 是褶曲中同一层面与轴面的交线，也是褶曲中同一层面最大弯曲点的

连线。它可以是水平的，也可以是倾斜的或波状起伏的。

（二）褶曲类型

1. 褶曲的基本类型

背斜褶曲 岩层向上拱起的弯曲，核部岩层较老，从核部向两翼，依次出现的较新的岩层。

向斜褶曲 岩层向下凹陷的弯曲，核部岩层较新，从核部向两翼，依次出现的较老的岩层。

当地面受到剥蚀，造成背斜在地面上的特征是，从中心到两侧，岩层由老到新对称重复出露；而向斜从中心到两侧，岩层由新到老对称重复出露。如图 2-10 所示。

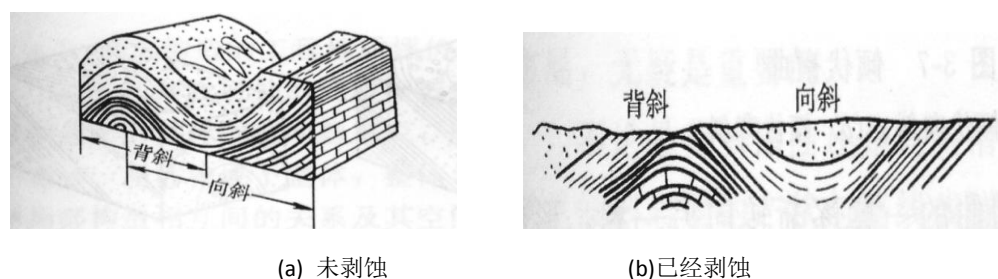


图 2-10 背斜与向斜

2. 褶曲分类

（1）根据轴面产状分类

直立褶曲 轴面近于直立，两翼岩层倾向相反，倾角大致相等。

倾斜褶曲 轴面倾斜，两翼岩层倾向相反，倾角不等。

倒转褶曲 轴面倾斜，两翼岩层倾向相同，其中一翼地层层序正常，另一翼地层层序发生倒转。

平卧褶曲 轴面水平或近似水平，两翼岩层产状也近于水平，一翼地层层序正常，另一翼地层层序发生倒转。

扇形褶曲 轴面直立，两翼岩层倾向相反，倾角大致相等，两翼地层层序均发生倒转。

在褶皱构造中，褶曲的轴面产状和两翼的倾斜程度，常与岩层的受力性质及褶曲的强烈程度有关。在褶曲不太剧烈和受力性质比较简单的地区，一般多形成直立或倾斜褶曲；在褶曲强烈和受力性质比较复杂的地区，一般常形成倒转、平卧等褶曲。（如图 2-11）

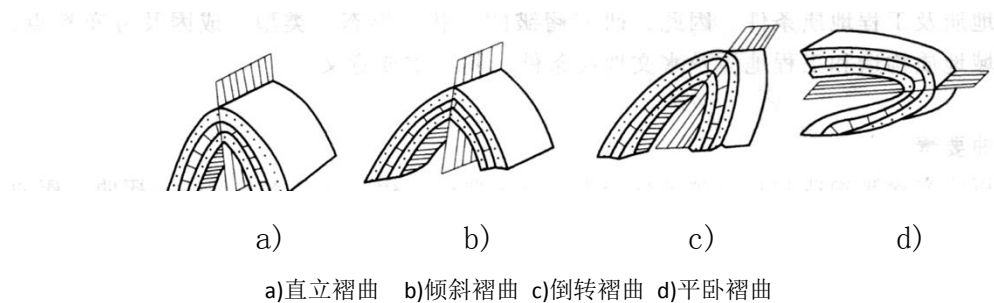


图 2-11 按轴面产状分类示意图

(2) 根据枢纽产状分类 (如图 2-12)

水平褶曲 枢纽近似水平，两翼岩层走向大致平行并对称分布。

倾伏褶曲 枢纽向一端倾伏两翼岩层在转折端闭合。

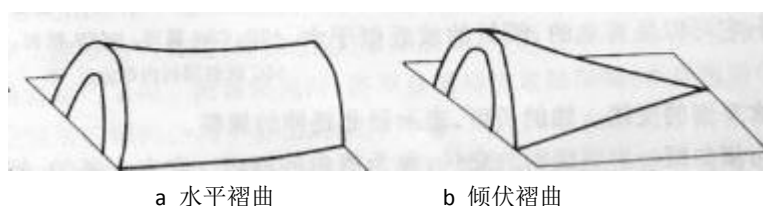


图 2-12 按枢纽产状分类示意图

(3) 按平面上的形态分类 (如图 2-13)

线性褶曲 褶曲向一定方向延伸很远，一般长度超过宽度 10 倍以上；

短轴褶曲 褶曲两端延伸不远即倾伏，长度为宽度的 3~10 倍；

穹隆构造 褶曲的长度不超过宽度的 3 倍。若为背斜就叫做穹隆构造；

构造盆地 褶曲的长度不超过宽度的 3 倍，若为向斜就叫做构造盆地。

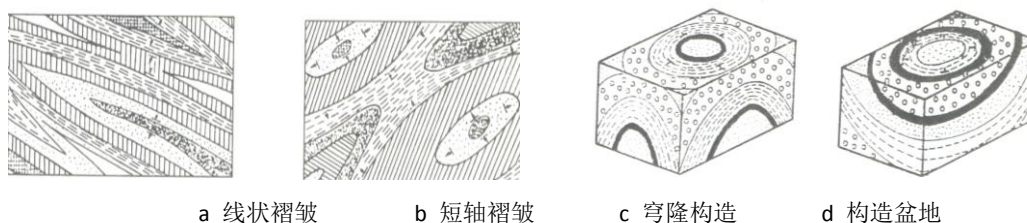


图 2-13 平面上分类示意图

(4) 按横剖面上的组合形态分类 (如图 2-14)

复背斜 是一个巨大的背斜，两翼为与轴面延伸近一致的次一级褶皱所复杂化。如秦岭为复背斜构造。

复向斜 是一个巨大的向斜，两翼亦为与轴面延伸近一致的次一级褶皱所复杂化。如茂县太平以北的岷江河谷两侧为复向斜构造。

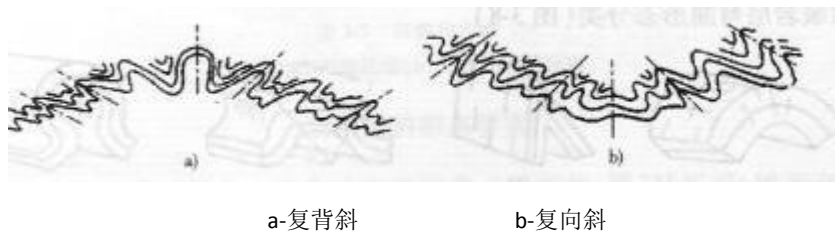
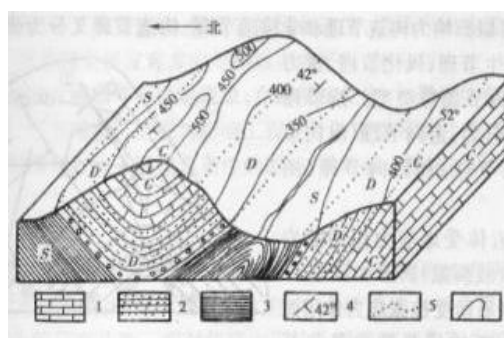


图 2-14 褶皱在剖面上的形态

(三) 褶皱构造的识别

在野外识别褶皱时，首先判断褶皱的基本形态是背斜还是向斜，然后确定其形态特征。一般情况下人们认为背斜山，向斜谷，有这种情况，但实际情况要复杂的多。因为背斜遭受长期轴部裂隙发育，岩层较破碎且地形突出，剥蚀作用进行的较快，使背斜山被夷为平地，甚至形成谷地，成为背斜谷；与此相反，向斜轴部岩层较为完整，并有剥蚀产物在此堆积，故其剥蚀速度较慢，最终导致向斜地形较相邻背斜高，形成向斜山，如图 4-15 所示。因此，不能完全以地形的起伏情况作为识别褶皱构造的主要标志。



1-石炭系 2-泥盆系 3-志留系 4-岩层产状
5-岩层界线 6-地形等高线

图 2-15 褶皱构造立体图

褶皱的规模有大有小，小的褶皱可以在小范围内，通过几个出露在地面的露头进行观察，大的褶皱，由于分布范围广，又常受到地形的影响，不可能通过几个露头窥其全貌。所以，在野外识别褶皱时，常采用下面方法进行判别。

1. 穿越法 即垂直于岩层走向的方向进行观察。

(1)当地层出现对称重复分布时，便可判断存在褶皱构造。如图 2-13 所示，区内岩层走向近东西，从南北方向观察，有志留系及石炭系地层两个对称中心，

其两侧地层重复对称出现，所以该地区有两个褶曲构造。

(2) 分析地层新老组成关系，左侧褶曲构造，中间是新地层 C，两侧依次为老地层 D 和 S，故为向斜；右侧褶曲构造，中间是老地层 S，两侧依次为新地层 D 和 C，故为背斜。

(3) 观察轴面产状和两翼情况，图中左侧向斜褶曲中，轴面直立，两翼岩层倾向相反、倾角近似相等，应为直立向斜；而右侧背斜轴面倾斜，两翼岩层倾向均向北倾斜，一翼层序正常，另一翼发生倒转，故为倒转背斜。

2. 追索法 即平行于岩层的走向（沿褶曲轴延伸方向）进行平面分析，了解褶曲轴的起伏及其平面形态的变化。若褶曲轴是水平的呈直线状，或在地质图上两翼岩层对称重复，并平行延伸，则为水平褶曲，如图 2-13 所示。若在地质图上两翼岩层对称重复，但彼此不平行，且逐渐折转汇合，呈“S”形，则为倾伏褶曲。

在野外识别褶皱时，往往以穿越法为主，追索法为辅，根据不同情况，穿插进行。穿越法和追索法，不仅是野外观察识别褶曲的主要方法，同时也是野外观察和研究其它地质构造的一种基本方法。

三、断裂构造

断裂构造是指岩石受地应力作用发生变形，当变形达到一定程度后，岩石的连续性和完整性遭到破坏，产生各种大小不一的断裂。它是地壳中常见的地质构造，而且分布也很广，特别是在一些断裂构造发育地带，常成群分布，形成断裂建筑区岩体稳定性起控制作用。根据岩体断裂后两侧岩块相对位移的情况，构造分为节理（裂隙）和断层两类。

（一）节理

又称裂隙，是指断裂面两侧的岩石仅因开裂而分开，未发生明显相对位移的断裂构造。

1. 节理的类型（如图 2-16）

（1）节理的几何分类

根据节理与所在岩层产状之间的关系分为：

走向节理 节理的走向与所在岩层的走向大致平行；

倾向节理 节理的走向与所在岩层的走向大致垂直；

斜节理 节理的走向与所在岩层的走向斜较；

顺层节理 节理面大致平行于岩层面。

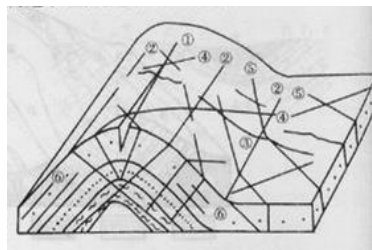
根据节理走向与所在褶皱的枢纽、主要断层走向或其他线状构造延伸方向的关系分为：

纵节理 两者大致平行；

横节理 两者大致垂直；

斜节理 两者斜交。

对枢纽水平的褶皱，以上两种分类可以吻合，即走向节理相当于纵节理，倾向节理相当于横节理。



①②-走向节理或纵节理③-倾向节理或横节理

④⑤斜节理⑥-顺层节理

图 2-16 节理几何形态分类

(2) 节理的成因分类

按照成因可以分为构造节理和非构造节理两类。

① 构造节理 是岩体受地应力作用随岩体变形而产生的节理（裂缝）。这种节理规模较大，分布较广，延伸较长、较深，方向较稳定，且有一定的规律性，往往成群、成组出现。按其力学性质可分为张节理和剪节理两种。

张节理 是岩石受张应力作用产生的节理。其特点是裂隙张开较宽，断裂面粗糙，一般很少有擦痕，裂缝宽窄变化较大，沿走向和倾向方向延伸不远。在砂岩和砾岩中，裂隙面往往绕过砂粒和砾石，出现凸凹不平状。在褶皱构造中，张节理主要发育在背斜或向斜的轴部。

剪节理 是岩石受剪应力的作用产生的节理。其特点是节理面平直而闭合，分布较密，走向稳定，延伸较深；断裂面光滑，常有擦痕、镜面等现象；若发生在砾岩中，可切破砾石；常有等间距分布，成对出现，呈两组共轭剪节理，又称X节理，将岩体切割成菱形块体。剪节理常出现在褶皱的翼部和断层附近。

除上述两种构造节理外。在强烈褶皱岩层、变质岩和断层两侧的岩层中，可

见有一种大致平行、微细而密集的构造节理，称为劈理。劈理是一种小型构造，按其成因分为流劈理和破劈理。流劈理是岩石在强烈构造应力作用下发生塑性流动，其内部片状、板状和长条状矿物沿垂直于压应力方向呈定向排列，并由此产生易于裂开的软弱面，多发育于塑性较大的较软弱岩层中，如页岩、板岩、片岩等。破劈理是指岩石中一组密集的平行破裂面，沿这些面上一般不产生矿物定向排列。劈理间距为数毫米至 1 厘米。如果间距超过 1 厘米，应称做剪节理。多发育在薄层的脆硬岩石中或在脆硬岩层内的软弱岩层中。

② 非构造节理 是由成岩作用、外动力、重力等非构造因素形成的节理。分为原生节理和次生节理。

原生节理 是岩石在成岩过程中形成的节理。如玄武岩中的柱状节理、沉积岩中的龟裂现象等等。

次生节理 是由岩石风化、岩坡变形破坏、河谷边坡卸荷作用及人工爆破等外力而形成的节理。一般仅限于地表，规模不大，分布也不规则。

2. 节理调查、统计及表示方法

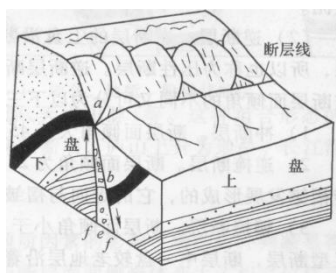
为了了解工程场地节理分布规律及其对工程岩体稳定性的影响，在进行工程地质勘察时，都要对节理进行野外调查和室内资料整理工作，并用统计图表形式把岩体节理的分布情况表示出来。

（二） 断层

断层指岩体受构造应力作用断裂后，两侧岩体发生了显著位移的断裂构造。它包含了断裂和位移两种含义。断层规模有大有小，大的可达到上千公里，小的几米，相对位移从几厘米到几十公里。断层不仅对岩体的稳定性和渗透性、地震活动和区域稳定有重大的影响，而且是地下水运动的良好通道和汇聚的场所。在规模较大的断层附近或断层发育地区，常赋存有丰富的地下水资源。

1. 断层要素

断层由以下几个部分组成，如图 2-17 所示。



ab-总断距；e-断层破碎带

图 2-17 断层要素图

断层面 是指两侧岩块发生相对位移的断裂面。断层面可以是平面、曲面，也可以是波状起伏面，其上常有擦痕。

断层破碎带 有时断层两侧的岩石不是沿着一个简单的面运动，而是沿着一个由许多密集的破裂面组成的错动带进行的，这个错动带称为断层破碎带，断层破碎带中常形成糜棱岩、断层角砾岩、断层泥等。

断层线 是指断层面（带）与地面的交线。断层线的方向表示断层的延伸方向，它的形状取决于断层面的形状和地面起伏情况。

断盘是指断层面两侧的岩块。若断层面是倾斜的，位于断层面上侧的岩块叫上盘；位于断层面下侧的岩块，称下盘。若断层面是直立的，可用方位来表示，东盘、西盘、南盘、北盘。

断距 是指两盘沿断层面相对错开的距离，称为总断距。总断距在水平方向的分量为水平断距，铅（垂）直分量为铅（垂）直断距。

2. 断层的类型（如图 2-18）

（1）根据两盘相对位移划分

根据断层两盘相对位移分为正断层、逆断层和平移断层，如图 2-16 所示。

正断层 上盘沿断层面相对下降、下盘相对上升的断层。正断层一般是岩体由于受到水平张力作用使岩层产生断裂，进而在重力作用下产生错动而成。这种断层一般规模不大，断层面倾角较陡，常大于 45° 。

逆断层 上盘沿断层面相对上升，下盘相对下降的断层。逆断层一般是岩体受到水平挤压作用的结果，所以也称为压性断层。逆断层规模一般较大，断层面呈舒缓波状，断层线方向常与岩层走向或褶皱轴方向一致，与压应力方向垂直。逆断层按断层面倾角的不同又可分为：冲断层，断层面倾角大于 45° ；逆掩断

层，断层面倾角在 $25^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 之间；辗掩断层，断层面倾角小于 25° 。逆掩断层和辗掩断层的规模一般都较大。

平移断层 两盘沿断层面走向在水平方向发生相对位移的断层。一般认为平移断层是地壳岩体受到水平扭动力作用而形成的。

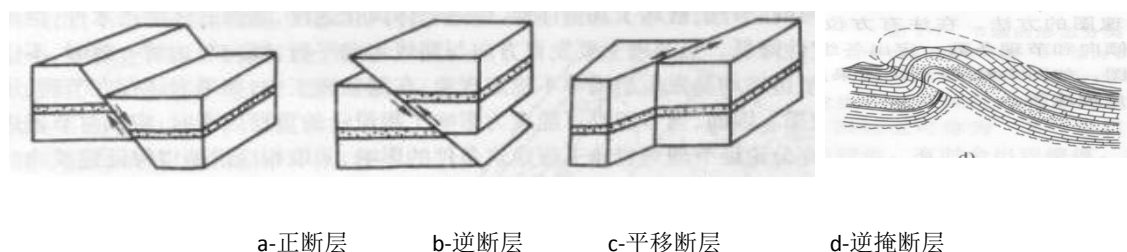


图 2-18 断层类型示意图

(2) 根据断层走向和褶皱轴走向关系分为

纵断层 断层走向和褶皱轴（或区域构造线）方向一致或近于平行的断层；

横断层 断层走向和褶皱轴（或区域构造线）方向大致垂直的断层；

斜断层 断层走向和褶皱轴（或区域构造线）方向斜交的断层。

(3) 根据断层走向和岩层产状的关系分为

走向断层 断层走向和岩层走向一致；

倾向断层 断层走向和岩层倾向一致；

斜交断层 断层走向和岩层走向（或倾向）斜交。

(4) 根据断层的力学性质分为

压性断层 由压应力作用形成的断层，多呈逆断层形式。

张性断层 在张应力作用下形成的断层，多呈正断层形式。

扭性断层 在剪应力作用下形成的断层。

压扭性断层 压扭性断层具有压性断层兼扭性断层的力学特征，如部分平移逆断层。

张扭性断层 张扭性断层具有张性断层兼扭性断层的力学特征，如部分平移正断层。

(5) 断层的组合形式

在自然界中，断层很少孤立存在，往往由许多断层排列在一起形成一定的组合形态。主要有以下几种。

阶梯状断层 由数条倾向一致、大致平行的正断层组合而成，在地貌上呈阶

梯状，如图 2-19 所示。

地堑和地垒 由两条倾向相向的正断层组成，其间相对下降的岩块为地堑；由两条倾向相背的正断层组成，其间相对上升的岩块为地垒。如图 2-19 所示。

叠瓦式构造 由数条倾向一致、相互平行的逆断层组合而成，呈叠瓦状。如图 2-20 所示。

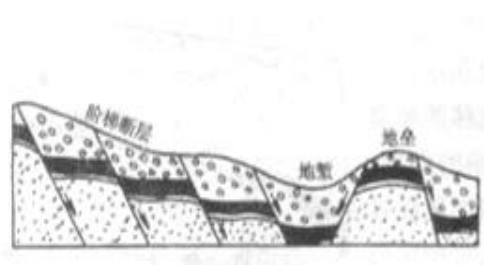


图 2-19 阶梯状断层、地垒和地堑

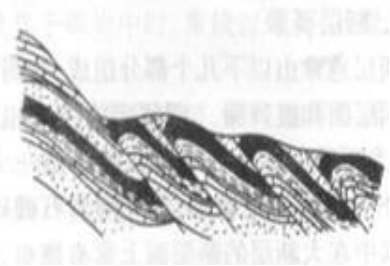


图 2-20 叠瓦状构造

3. 断层的野外识别

断层的存在，说明岩层受到了强烈的断裂变动，使岩体的强度和稳定性降低，对工程建筑是不利的，为了预防断层对工程建筑的危害，首先必须识别断层的存在。野外调查时可从以下几方面进行判断。

构造上的标志

断层的存在常造成构造上的不连续，如岩层、岩脉等的错动，岩层产状的突然变化；断层面两侧的岩石发生塑性变形，产生牵引弯曲；在断层面上由于两盘错动出项断层擦痕、磨擦镜面和阶步；断层破碎带中存在断层角砾岩、糜棱岩和断层泥。如图 2-21 所示。

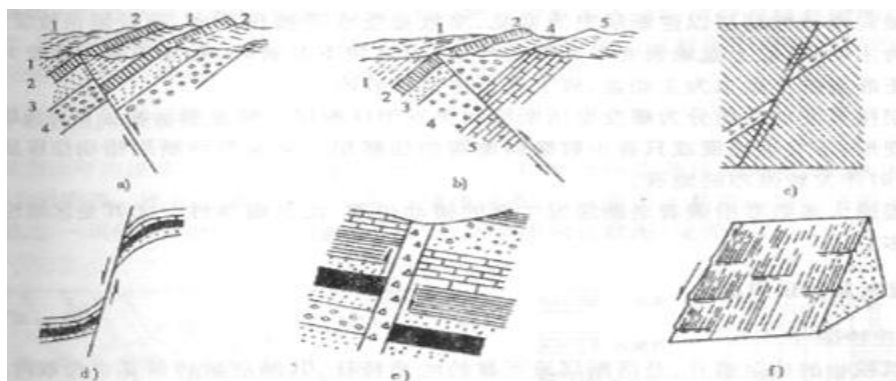
地层上的标志

造成地层的重复与缺失、岩层中断等现象。在单斜岩层地区，沿岩层走向观察，若岩层突然中断，交错的不连续状态，或改变了地层的正常层序，使地层产生不对称的重复或缺失，则往往是断层的标志。断层造成地层的重复与褶皱造成的地层重复不同，断层只是单向重复，褶皱为对称重复；断层造成地层的缺失与不整合造成的地层缺失也不同，断层造成地层的缺失只限于断层两侧，而不整合造成的地层缺失有区域性特点。地层的重复与缺失所出现的断层，可能有六种情况如表 2-1 所示。

表 2-1 走向断层造成地层重复与缺失情况

断层性质	断层倾向与岩层倾向关系	
		相同

	相反	断层倾角 $>$ 岩层倾角	断层倾角 $<$ 岩层倾角
正断层	重复	缺失	重复
逆断层	缺失	重复	缺失



a) 地层重复 b)-地层缺失 c)-岩脉错动 d)-牵引褶曲 e)-断层角砾 f)-断层擦痕

图 2-21 断层现象

(3) 地形地貌上的特征

地形地貌特征主要有断层崖、断层三角面、河流纵坡的突变、河流及山脊的改向等。

断层上升盘突露于地表形成的悬崖，称为断层崖；一些比较平直的断层崖，经过流水的侵蚀作用，形成一系列横穿崖壁的“V”形谷，谷与谷 之间的三角面，则称为断层三角面(如图 2-22)；



a-断层崖剥蚀成冲沟 b-冲沟扩大形成三角面 c-继续侵蚀，三角面消失

图 2-22 断层三角面形成示意图

当断层横穿河谷时，可能使河流纵坡发生突变，造成河流纵坡的不连续现象。但河流纵坡的突变，不一定是由于断层形成的，也可能是河床底部岩石抗侵蚀能力不同所致；水平方向相对位移显著的断层，可将河流或山脊错开，使河流流向或山脊走向发生急剧变化；断陷盆地是断层围限的陷落盆地，由不同方向断层所围或一边以断层为界，多呈长条菱形或楔形，盆地内有厚的松散物质。

(4) 水文地质标志

在断层带附近湖泊、洼地、温泉和冷泉呈串状排列，某些喜湿植物呈带状分布。

以上是野外识别断层的主要标志。但是，由于自然界的复杂性，其他因素也可能造成上面的某些特征，所以不能孤立地看问题，要全面观察，综合分析，才能得出可靠地结论。

4. 活断层

活断层又称活动断裂，是指现今仍在活动或者近期有过活动，不久的将来还可能活动的断层。在国家标准《岩土工程勘察规范》（GB 50021—2001）中将在全新世以来有过地震活动或正在活动，或将来可能继续活动的断裂叫做全新活动断裂。

(1) 活断层对工程建筑的影响及设计原则

活断层对工程建筑影响很大，主要表现在两个方面：一是跨越断层的建筑物，因其活动导致建筑物的开裂、变形、甚至破坏；二是活断层的快速滑动引起地震。例如，2008年5月12日四川汶川大地震，这次地震是龙门山断裂带内映秀—北川断裂活动的结果，其最大垂直错距和水平错距分别达到5米和4.8米，沿整个破裂带的平均错距可达2米左右。在地表破裂带经过之处，所有的山脊水系和人类建筑均被错断毁坏，并形成大量的滑坡、山崩、泥石流等地质灾害。因此，在选择建筑物场地时，注意避开活断层。当不能避让活断层时，必须在场地选择、建筑物类型选择、结构设计等方面采取措施，以保证建筑物的安全性。

(2) 识别活断层的标志

- 1) 新生代地层被错断、拉裂或扭动；
- 2) 地面出现地裂缝，且裂缝呈大面积有规律的分布，其总体延伸方向与地下断裂的方向一致。
- 3) 地形上发生突然变化，形成断崖、断谷；或河床纵断面发生突然变化，在突变处出现瀑布或湖泊；
- 4) 古建筑物（如古城堡、庙宇、古墓等）被断层错开；
- 5) 根据仪器观测，岩断层带有新的地形变化或新的地应力集中现象；
- 6) 地震活动、火山爆发等。

四、地质构造与公路工程的关系

地质构造一般包括水平构造、倾斜构造、直立构造、褶皱构造和断裂构造等。公路工程主要指道路、桥涵、隧道及其辅助工程建筑物，这些公路工程与地质构造有着密切地关系。

（一）地质构造与路基工程的关系

1. 当岩层水平、直立，或单斜层面及节理面背向路基时，对边坡稳定有利，如图 2-23a、b、c 所示。如夹有软弱岩层时，应抹面护壁以防止风化。

2. 单斜层面及节理面倾向路基，且结构面的倾角 $>10^\circ$ ，其走向又与路线平行或交角较小，易形成边坡的坍塌；当有软弱岩层或不整合面存在时，则易形成边坡滑动，如图 2-23e、d 所示。

3. 断层破碎带的岩体松散，节理也很发育，常是地下水活动的通道，加之断层面倾向路基所以当挖方边坡与断层带平行时，极易产生滑塌，如图 2-23 所示。

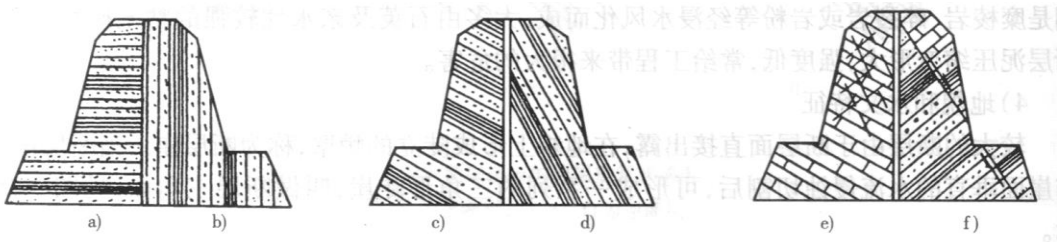


图 2-23 地质构造与路基工程之间的关系

4. 堆积层下伏基岩坡体较陡且倾向路基，在其接触面处常有地下水活动，当路堑开挖超过接触面的深度时，堆积层极易失去平衡发生滑塌，尤以基岩属软弱层为最严重，如图 2-24 所示。

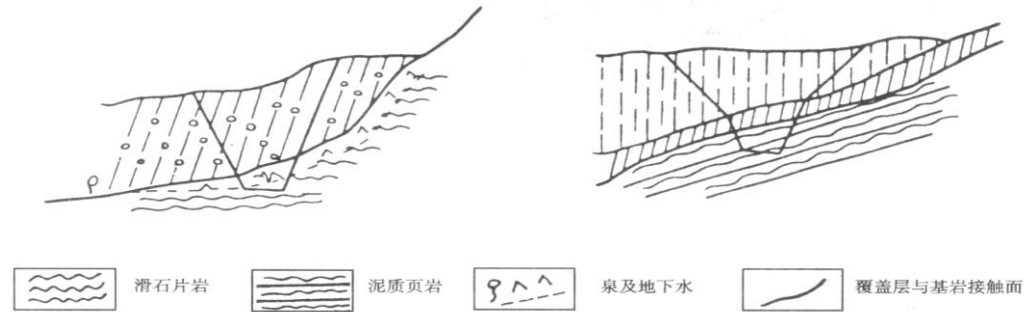


图 2-24 路堑边坡不稳定情况示意图

(引自《工程地质基础知识》，铁道部第一勘察设计院编)

5. 节理特别发育的陡坡地段，当有一组或几组节理倾向路基时，开挖后常

造成边坡崩塌、落石等病害，而且构造节理中为张节理，对路堑边坡也是极不稳定的因素。

（二）地质构造与桥基工程的关系

1. 在确定桥位之前,首要任务是勘察桥位可能穿越的地层、岩性、地质构造,尤其要分析桥位与大的构造线、断层破碎带的关系。

2. 桥位选定后,对桥墩位置的布置,应做具体探测,墩位应避开软弱层面。因为一个桥址的不同地段可能会遇到复杂的构造现象,可因地制宜作小的调整。

3. 桥基的稳定性与岩层产状、软弱面等都有直接影响。当岩层层面向下游游,其中又有软弱夹层时,会因水的冲蚀作用而影响基础的稳定性。如果软弱夹层较厚,会使基础产生差异沉降导致墩身歪斜或倾覆,如图 2-25 所示。

当两种不同岩层接触,其接触面较陡时,会造成桥基不稳,因为接触面一般都是软弱结构面,故最好是将桥基设计在单一岩层之上。在定桥位时,应尽可能的避开断层破碎带,如图 2-26 所示,从图中可以看出,因桥基岩体破碎,易风化

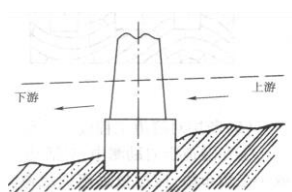


图 2-25 桥基不稳定图示

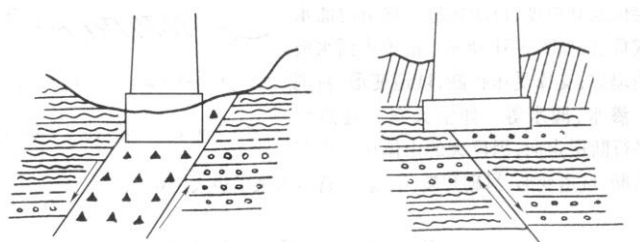


图 2-26 断层对桥基影响示意图

渗水,受桥基和桥体荷载后出现沉陷,或沿断层破裂面错动的方向,使桥墩发生滑移或倾斜。

（三）地质构造与隧道工程的关系

1. 隧道穿过硬质厚层状的水平构造时,一般都是较为稳定的。如果是松软的薄层岩层,则开挖后可能会有顺层剥落或坍塌的危险,尤其是极易风化的软质岩石或含水的松软岩层,会给施工造成极大的困难,如图 2-27a 所示。

2. 隧道穿过直立构造且少地下水的岩层,一般是稳定的。如果岩层较薄,并有软弱夹层存在,加上有少量的地下水活动时,则会产生较大的地层压力,有掉块和坍塌冒顶的可能。如图 2-27b 所示。

3. 在单斜构造地区,岩层倾角的大小和岩性对隧道的稳定性有极大的影响。若倾角平缓且岩质坚硬,则较稳定;若倾角大,夹有软弱层,且有地下水活动,

则地层侧压力较大。如在塑性强的粘性土中，可能引起隧道边墙的坍塌和顺层滑动，如图 2-27c 所示。

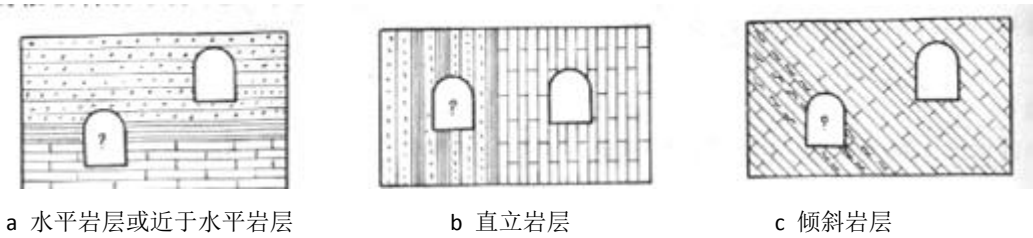


图 2-27 岩层产状与隧道工程关系

（四）褶皱与隧道工程的关系

1. 如果隧道从向斜轴部穿过，则因两侧岩层向轴部挤压和核部向下坠落，产生较大的压力。
2. 如果隧道从背斜轴部穿过，则常因轴部张节理向上呈辐射状发育、顶部受水面积大，地下水向核部汇集，对隧道工程不利。

在褶皱地区开挖隧道，通常选择翼部通过，如图 2-28 所示。

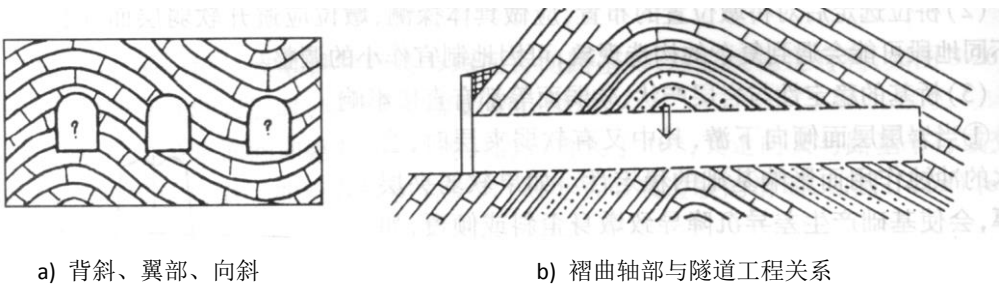


图 2-28 褶皱与隧道工程

（五）断层与隧道工程的关系

1. 在隧道定向勘测中，对活动性断层或宽度较大的断层破碎地段，切忌与断层构造线平行或小交角布线，应尽量远离或绕避。若必须穿越时，则应使隧道中线与断层构造线呈直交或近于直交穿越，以减小对隧道工程的影响范围，如图 2-29 所示。
2. 隧道穿越走向逆断层时，应查清上盘岩体含水层的层位及其厚度，以防掘进中隧道内涌水给工程造成危害，如图 2-30 所示。隧道内涌水极易引起洞内塌方，支撑受压折断，坑道变形，衬砌严重开裂、渗水、漏水等。给施工、营运带来极大的困难。



图 2-29 断层与隧道工程图

图 2-30 隧道内涌水情况

3. 当隧道通过几组断层时(图 2-31), 还应考虑围岩压力沿隧道轴线可能重新分布, 断层形成上大下小的楔体, 可能将其自重传给相邻岩体, 使它们的地层压力增加。



1-减小; 2、3-增加

图 2-31 断层引起的围岩压力变化

工程案例

某公路路线在 K22+500 处与断层以 76° 夹角斜交, 该为逆断层, 倾向 335° , 倾角 50° 。断层上、下盘均为寒武系下统石牌组页岩, 破碎带宽约 0.5-1m, 岩性为构造碎裂岩。如照片 15。该断层为非全新世活动断层, 属较稳定的断层, 对路线无影响。

照片 15 F7 逆断层露头照片



技能训练 5 使用地质罗盘测定岩层产状

一、目的要求

认识罗盘，能熟练使用罗盘测定岩层产状，并能用文字和符号正确记录岩层产状要素。

二、内容方法

1. 地质罗盘的结构

地质罗盘式样很多，但结构基本是一致的，我们常用的是圆盆式地质罗盘仪。由磁针、刻度盘、测斜仪、瞄准觇板、水准器等几部分安装在一铜、铝或木制的圆盆内组成，如实图 2-32 所示。



图 2-32 地质罗盘

(1) 磁针 一般为中间宽两边尖的菱形钢针，按装在底盘中央的顶针上，可自由转动，不用时应旋紧制动螺丝，将磁针抬起压在盖玻璃上避免磁针帽与顶针尖的碰撞，以保护顶针尖，延长罗盘使用时间。在进行测量时放松固动螺丝，使磁针自由摆动，最后静止时磁针的指向就是磁针子午线方向。由于我国位于北半球磁针两端所受磁力不等，使磁针失去平衡。为了使磁针保持平衡常在磁针南端绕上几圈铜丝，用此也便于区分磁针的南北两端。

(2) 水平刻度盘 水平刻度盘的刻度是从零度开始按逆时针方向每 10 度一记，连续刻至 360 度，0 度和 180 度分别为 N 和 S，90 度和 270 度分别为 E 和 W，利用它可以直接测得地面两点间直线的磁方位角。

当刻度盘上的南北方向和地面南北方向一致时，刻度盘上的东西方向和地面实际方向相反，这是因为磁针永远指向南北。转动罗盘测量方向时，只有刻度盘转动而磁针不动，即当刻度盘向东转时，磁针则相对地向西转动，所以，只有将刻度盘上地东西方向刻的与实际地面东西方向相反，测得的方向才恰好与实际情况相一致。

(3) 竖直刻度盘 专门用来读倾角和坡角读数，以 E 或 W 位置为 0 度，以 S 或 N 为 90 度，每隔 10 度标记相应数字。

(4) 悬锥 是测斜器的重要组成部分，悬挂在磁针的轴下方，通过底盘处的觇板手可使悬锥转动，悬锥中央的尖端所指刻度即为倾角或坡角的度数。

(5) 水准器 通常有两个，分别装在圆形玻璃管中，圆形水准器固定在底盘上，长形水准器固定在测斜仪上。

(6) 瞄准器 包括接物和接目觇板，反光镜中间有细线，下部有透明小孔，使眼睛、细线、目的物三者成一线，作瞄准之用。

2. 地质罗盘的使用方法

(1) 在使用前必须进行磁偏角的校正。

因为地磁的南、北两极与地理上的南北两极位置不完全相符，即磁子午线与地理子午线不相重合，地球上任一点的磁北方向与该点的正北方向不一致，这两方向间的夹角叫磁偏角。

地球上某点磁针北端偏于正北方向的东边叫做东偏，偏于西边称西偏。东偏为(+)西偏为(-)。

地球上各地的磁偏角都按期计算，公布以备查用。若某点的磁偏角已知，则一测线的磁方位角 $A_{\text{磁}}$ 和正北方位角 A 的关系为 A 等于 $A_{\text{磁}}$ 加减磁偏角。应用这一原理可进行磁偏角的校正，校正时可旋动罗盘的刻度螺旋，使水平刻度盘向左或向右转动，(磁偏角东偏则向右，西偏则向左)，使罗盘底盘南北刻度线与水平刻度盘 $0\sim 180$ 度连线间夹角等于磁偏角。经校正后测量时的读数就为真方位角。

3. 岩层产状要素的测定

岩层产状三要素是指岩层的走向、倾向和倾角。

(1) 岩层走向的测定 岩层走向是岩层面与水平面交线的方向也就是岩层任一高度上水平线的延伸方向。测量时将罗盘长边与层面紧贴，然后转动罗盘，使底盘水准器的水泡居中，读出指针所指刻度即为岩层之走向。

因为走向是代表一条直线的方向，它可以两边延伸，指南针或指北针所读数正是该直线之两端延伸方向。

(2) 岩层倾向的测定 岩层倾向是指岩层向下最大倾斜方向线在水平面上的投影，与岩层走向垂直。测量时，将罗盘短边紧靠着层面并转动罗盘，使底盘水准器水泡居中，读指北针所指刻度即为岩层的倾向。

(3) 岩层倾角的测定

岩层倾角是岩层面与假想水平面间的最大夹角，即真倾角，它是沿着岩层的真倾斜方向测量得到的，沿其它方向所测得的倾角是视倾角。视倾角恒小于真倾角，也就是说岩层层面上的真倾斜线与水平面的夹角为真倾角，层面上视倾斜线与水平面之夹角为视倾角。野外分辨层面之真倾斜方向甚为重要，它恒与走向

垂直，此外可用小石子使之在层面上滚动或滴水使之在层面上流动，此滚动或流动之方向即为层面之真倾斜方向。

测量时将罗盘直立，并以长边靠着岩层的真倾斜线，沿着层面左右移动罗盘，并用中指搬动罗盘底部之活动扳手，使测斜水准器水泡居中，读出悬锥中尖所指最大读数，即为岩层之真倾角。

岩层产状的记录文字表示法多用于野外记录和文字报告中，书写方式有两种：

①象限角表示法 象限角是以南、北方向为 0° ，东西方向为 90° 。用象限角表示产状要素时，一般记走向、倾角和倾向象限。如 $N60^{\circ}W/30^{\circ}SW$ ，即走向为北偏西 60° ，倾向南西，倾角为 30° 。

②方位角表示法 方位角是以正北为 0° 和 360° ，正东为 90° ，正南为 180° ，正西为 270° 。表示岩层产状要素时，只记录倾向和倾角。如 $NW300^{\circ}\angle 15^{\circ}$ （或记为 $300^{\circ}\angle 15^{\circ}$ ），前者表示倾向的方位角是北西 300° ，后者表示倾角为 15° 。方位角表示法较简便，为目前广泛采用的方法。

在地质图上常用符号“ $\swarrow 35^{\circ}$ ”表示，长线表示在图纸上走向线的实际方向，短线为倾向，数字表示倾角。

野外测量岩层产状时需要在岩层露头测量，不能在转石（滚石）上测量，因此要区分露头和滚石。测量岩层面的产状时，如果岩层凹凸不平，可把记录本平放在岩层上当作层面进行测量。（如图 2-33）

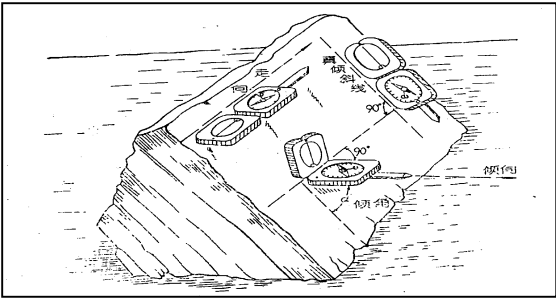


图 2-33 岩层产状及其测量方法

三、训练成果

用岩层模型随机摆放，利用罗盘测量 8 组岩层产状要素，并用方位角表示法记录在表 2-2 中。

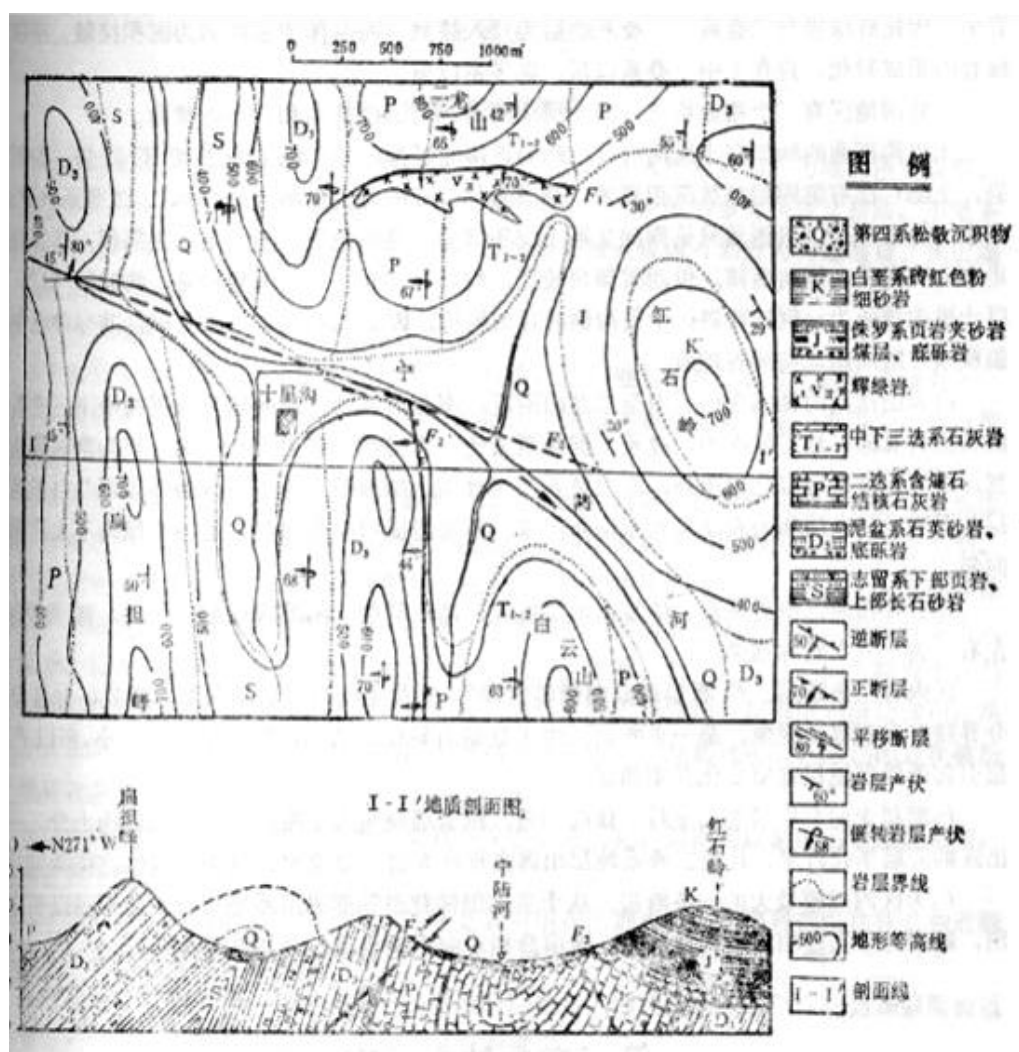
表 2-2 岩层产状记录表

序号	走向	倾向	倾角	方位角表示法
1				

2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

技能训练6 阅读地质图

现以宁陆河地区地质图为例，阅读、分析地质图。



实图 2-34 宁陆河地区地质图

上部有第四纪松散沉积覆盖，两翼对称分布的是泥盆系上统(D₃)、二叠系、下中三叠系地层，但西翼只见到泥盆系上统和部分二叠系地层，三叠系已出图幅。两翼

走向大致南北，均向西倾，但西翼倾角较缓，约 45° ~50° ，东翼倾角较陡，约 63° ~71° 所以十里沟褶曲为一倒转背斜。十里沟倒转背斜构造，因受 F3 断裂构造的影响，其轴部已向北偏移至宁陆河南北向河谷地段。

白云山褶曲的轴部在白云山至二龙山附近，南北向延伸。褶曲轴部地层为中下三叠系，由轴部向翼部，地层依次为二叠系、泥盆系上统，志留系，其中西翼为十里沟倒转背斜东翼，东翼志留系地层已出图外，而二叠系与泥盆系上统因受上覆不整合的侏罗系与白垩系地层的影响，只在图幅的东北角和东南角出露。两翼岩层均向西倾斜，是一个倾角不大的倒转向斜。

红石岭褶曲，由白垩系，侏罗系地层组成，褶曲舒缓，两翼岩层相向倾斜，倾角约 30° 左右，为一直立对称褶曲。

区内有三条断层。F₁断层面面向南倾斜约 70° ，断层走向与岩层走向基本垂直，北盘岩层分界线有向西移动现象，是一正断层。由于倾斜向斜轴部紧闭，断层位移幅度小，所以 F₁断层引起的轴部地层宽窄变化并不明显。

F₂断层走向与岩层走向平行，倾向一致，但岩层倾角大于断层倾角。西盘为上盘，一则出露的岩层年代较老，且使二叠系地层出露宽度在东盘明显变窄，故为一压性逆掩断层。

F₃为区内规模最大的一条断层。从十里沟倒转背斜轴部志留系地层分布位置可以明显看出，断层的东北盘相对向西北错动，西南盘相对向东南错动，是扭性平推断层。

思考题

1. 绘图表示地层的整合接触、假整合接触和角度不整合接触，并作简要说明。
2. 简述岩层产状要素及其测定方法。
3. 怎样认识褶曲的基本形态?对公路建设有何影响?
4. 绘图说明断层的基本类型及其组合形式的特征。在野外如何识别断层的存在?
5. 断裂构造对工程有何影响?

第三章 地貌与第四纪地质

学习目标:

- (2) 理解地貌形成过程和地貌形成影响因素。
- (3) 掌握地貌的分类方法和分类类型。
- (4) 掌握山岭地貌和平原地貌的主要特征。
- (5) 了解第四纪地层的类型和特点。

第一节 地貌概述

地貌是指在内、外动力地质作用的长期进行下，在地壳表面形成各种不同成因、不同类型、不同规模的起伏形态。地形是指地球表面起伏形态的外部特征。所以地貌不同于地形。地貌学是专门研究地壳表面各种起伏形态、发展和空间分布规律的科学。

地貌条件与公路工程建设有着密切的关系，公路是建在地壳表面的线型建筑物，它常常穿越不同的地貌单元，在公路勘测设计、桥隧位置选择等方面，经常会遇到各种不同的地貌问题。因此，地貌条件便成为评价公路工程地质条件的重要内容之一。为了处理好工程建设与地貌条件之间的关系，提高公路的勘测设计

质量，就必须学习和掌握一定的地貌知识。

一、地貌的形成与发展

（一）地貌形成过程

地球内部时刻都在发生着剧烈的变化，影响着地球表面的地貌不停的发生变化，地球表面的各种外动力地质作用也在影响着地球表面的形态。所以说在内、外力地质共同作用下，形成了各种形形色色复杂的地貌。

内动力地质作用中的地壳运动和岩浆活动，特别是地壳运动，不仅使地壳岩层受到强烈的挤压、拉伸或扭转，形成一系列褶皱带和断裂带，而且还在地壳表面造成大规模的隆起区和沉降区，使地表变得高低不平。隆起区形成大陆、高原、山岭，沉降区形成海洋、平原、盆地。另外，地下岩浆的喷发活动，对地貌的形成和发展也有一定的影响。内力作用形成了地壳表面的基本起伏形态，对地貌的形成和发展起着决定性的作用，而且还对外动力地质作用的条件、方式和过程产生深刻的影响。

外动力地质作用总在把内力地质作用所造成的隆起部分进行剥蚀破坏，同时把破坏了的碎屑物质搬运堆积到由内力地质作用所造成的低地和海洋中去。外力作用对内力地质作用形成的基本地貌形态不断地进行雕塑、加工，使之复杂化。

总之，地貌的形成和发展是内、外力地质作用不断斗争的结果。由于内、外力地质作用始终处于对立统一的发展过程之中，因而在地壳表面便形成了各种各样的地貌形态。

（二）影响地貌形成发展的因素

影响地貌形成和发展变化的因素的物质基础是岩石性质和地质构造。

1.岩性对地貌的形成的影响 不同性质的岩石抵抗风化的能力不同，因而在地貌反映上也不同。一般来说，砂岩、石英岩、玄武岩及干旱地区的石灰岩等属于坚硬岩石，页岩及热湿地区的石灰岩等属于软弱岩石，坚硬岩石抗风化剥蚀能力大于软弱岩石。特别是硬软岩层交替出露的地区，在外力条件基本相似的情况下，呈现差异风化所形成的地貌形态尤为显著，这也是形成地面较小起伏的重要原因。同一岩性、在不同气候条件下，抗风化能力也不相同。例如，石灰岩，在湿热地区易于风化溶蚀，而在干旱地区抗风化能力较强。

2.地质构造 地质构造的形态对地貌发育有着重要影响。在地壳上升伴随剥

蚀作用的影响下，多数地质构造（褶皱、断裂）才能显示出地貌意义，它是地质构造形态在地貌上的反映，如大地质构造体系控制着山脉水系的格局；如单面山和方山，分别是单斜和水平构造在地貌上的反映。

3.地貌的形成和发展受上述因素制约外，还受气候、植被、土壤和人类活动等因素的影响。气候条件对地貌形成和发展的影响也是显著的，例如，高寒的气候地带常常形成冰川地貌，干旱地带则形成风砂地貌等。植被和土壤对地面起着固土和防护作用，能减弱或扼制地貌的发展。若植被被破坏、土壤流失，就会加速地貌的发展。人类活动可以促进或拟制地貌的发展过程。如水系改造、拦河筑坝、河湾取直、开垦荒地等。

二、地貌的分级与分类

（一）地貌的分级

不同等级的地貌，其成因不同，形成的主导因素也不同。地貌等级一般划分为巨型地貌、大型地貌、中型地貌和小型地貌四个等级。

1.巨型地貌 即地球上的大陆与海洋。巨型地貌几乎完全由内动力地质作用形成，所以又称为大地构造地貌。

2.大型地貌 即大陆和海洋中的山地和平原等。基本上由内动力地质作用形成。

3.中型地貌 中型地貌是大型地貌的一部分，如山岭与谷地。内动力地质作用产生的基本构造形态是中型地貌形成和发展的基础，而地貌的外部形态则取决于外动力地质作用的特点。

4.小型地貌 主要是各种外动力作用形成的多种多样的小型剥蚀地貌和堆积地貌。也有很少一部分是内动力作用形成的，如活动断层崖、地震裂缝和火山等。

（二）地貌的分类

地貌按照成因不同可分为：构造剥蚀地貌、山麓斜坡堆积地貌、河流侵蚀堆积地貌、河流堆积地貌、大陆停滞水堆积地貌、大陆构造侵蚀地貌、海成地貌、岩溶（喀斯特）地貌、冰川地貌、风成地貌。具体分类见表 3-1。

表 3-1 地貌单元分类

成因	地貌单元		主导地质作用
构造、剥蚀	山 地	高 山	构造作用为主，强烈的冰川刨蚀作用
		中 山	构造作用为主，强烈的剥蚀切割作用和部分的冰川刨蚀作用

		低 山	构造作用为主，长期强烈的剥蚀切割作用
	丘 陵		中等强度的构造作用，长期剥蚀切割作用
	剥蚀残丘		构造作用微弱，长期剥蚀切割作用
	剥蚀准平原		构造作用微弱，长期剥蚀和堆积作用
山麓斜坡堆积	堆积扇		山谷洪流洪积作用
	坡积裙		山坡面流坡积作用
	山前平原		山谷洪流洪积作用为主，夹有山坡面流坡积作用
	山间凹地		周围的山谷洪流洪积作用和山坡面流坡积作用
河流侵蚀堆积	河 谷	河 床	河流的侵蚀切割作用或冲积作用
		河漫滩	河流的冲积作用
		牛轭湖	河流的冲积作用或转变为沼泽堆积作用
		阶 地	河流的侵蚀切割作用或冲积作用
	河间地块		河流的侵蚀作用
河流堆积	冲积平原		河流的冲积作用
	河口三角洲		河流的冲积作用，间由滨海堆积或湖泊堆积
大陆停滞水堆积	湖泊平原		湖泊堆积作用
	沼泽地		沼泽堆积作用
大陆构造-侵蚀	构造平原		中等构造作用，长期堆积和侵蚀作用
	黄土塬、黄土梁、黄土峁		中等构造作用，长期黄土堆积或湖泊堆积
海 成	海 岸		海水冲蚀或堆积作用
	海岸阶地		海水冲蚀或堆积作用
	海岸平原		海水堆积作用
岩 溶 (喀斯特)	岩溶盆地		地表水、地下水强烈的溶蚀作用
	峰林地形		地表水强烈的溶蚀作用
	石芽残丘		地表水的溶蚀作用
	溶蚀准平原		地表水的长期溶蚀作用及河流的堆积作用
冰 川	冰 斗		冰川刨蚀作用
	幽 谷		冰川刨蚀作用
	冰蚀凹地		冰川刨蚀作用
	冰碛丘陵、冰碛平原		冰川堆积作用
	终碛堤		冰川堆积作用
	冰前扇地		冰川堆积作用
	冰水阶地		冰川侵蚀作用
	蛇 堤		冰川接触堆积作用
	冰碛阜		冰川接触堆积作用
风 成	沙 漠	石 漠	风的吹蚀作用
		沙 漠	风的吹蚀和堆积作用
		泥 漠	风的吹蚀作用 and 水的再次堆积作用
	风蚀盆地		风的吹蚀作用
	砂 丘		风的堆积作用

第二节 山地地貌

一、山地地貌的类型

（一）从形态方面分类

山地地貌最突出的特点是它具有一定的海拔高度、相对高度和坡度，故形态分类

表 3-2 山地按地貌形态分类

山地名称		绝对高度 (m)	相对高度 (m)	主要特征
最高山		>5000	>5000	其界线大致与现代冰川位置和雪线相符
高山	高山	3500~5000	>1000	以构造作用为主，具有强烈的冰川刨蚀切割作用
	中高山		500~1000	
	低高山		200~500	
中山	高中山	1000~3500	>1000	以构造作用为主，具有强烈的剥蚀切割作用和部分的冰川刨蚀作用
	中山		500~1000	
	低中山		200~500	
低山	中低山	500~1000	500~1000	以构造为主，受长期强烈的剥蚀切割作用
	低山		200~500	

一般多是根据这些特点进行划分,见表 3-2 所示。

（二）成因分类

根据地貌成因分类，山地地貌的成因类型划分如下：

1.构造变动形成的山岭

（1）平顶山 是由水平岩层构成的一种山地，如图 3-1 所示。多分布在顶部岩层坚硬（如石灰岩、胶结紧密的砂岩和砾岩）和下卧层软弱（如页岩）的相互层发育地区，在侵蚀、溶蚀和重力崩塌作用下，使四周形成陡崖或深谷，由于顶面坚硬抗风化力强而兀立如桌面。由水平硬岩层覆盖的分水岭，有可能成为平坦的高原。

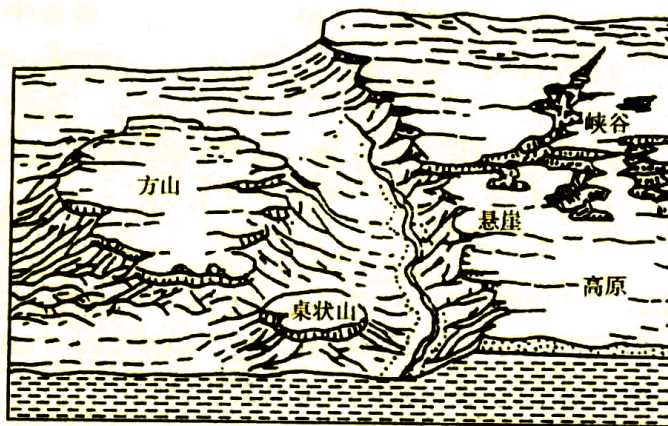


图 4-2 方山和桌状山

图 3-1 方山和桌状山

(2) 单面山 是由单斜岩层构成的沿岩层走向延伸的一种山岭，如图 4—3 所示。它常常出现在构造盆地的边缘和舒缓的穹窿，背斜和向斜构造的翼部，其两坡一般不对称。与岩层倾向相反的一坡短而陡，称为前坡。前坡由于多是经外力的剥蚀作用所形成，故又称为剥蚀坡，与岩层倾向一致的一坡长而缓，称为后坡或构造坡。如果岩层倾角超过 40° ，则两坡的坡度和长均相差不大，其所形成的山岭外形很象猪背，所以又称猪背岭。

单面山的前坡（剥蚀坡），由于地形陡峻，若岩层裂隙发育，风化强烈，则容易产生崩塌，且其坡脚常分布有较厚的坡积物和倒石堆，稳定性差，故对敷设线路不利。后坡（构造坡）由于山坡平缓，坡积物较薄，故常常是敷设线路的理想部位。不过在岩层倾角大的后坡上深挖路堑时，应注意边坡的稳定问题，因为开挖路堑后，与岩层倾向一致的一侧，会因坡脚开挖而失去支撑，特别是当地下水沿着其中的软弱岩层渗透时，容易产生顺层滑坡。

(3) 断块山 是由断裂变动所形成的山地。它可能只在一侧有断裂，也可能两侧均为断裂所控制。断块山在形成的初期有完整的断层面及明显的断层线，断层面构成了山前的陡崖，断层线控制了山脚的轮廓，使山地与平原或山地与河谷间的界线相当明显而且比较顺直。以后由于长期强烈的剥蚀作用，断层面遭到破坏而模糊不清。另外由断层面所构成的断层崖，常受垂直于断层面的流水侵蚀，因而在谷与谷之间就形成一系列断层三角面，它常是野外识别断层的一种地貌证据。（如图 3-2）



图 4-5 断块山
a-断层面；b-断层三角面

图 3-2 断块山

(4) 褶皱山 是由褶皱岩层所构成的一种山地。在褶皱形成的初期，往往是背斜形成高地（背斜山），向斜形成凹地（向斜谷），地形是顺应构造的，所以称为顺地形。但随着外力剥蚀作用的不断进行，有时地形也会发生逆转现象，背斜因长期遭受强烈剥蚀而形成谷地，而向斜则形成山地，这种与地质构造形态相反的地形称为逆地形。一般在年轻的褶曲构造上顺地形居多，在较老的褶曲构造上还可能同时存在背斜谷和向斜谷，或者深化为猪背岭或单斜山、单斜谷。

(5) 褶皱断块山 上述山地都是由单一的构造形态所形成，但在更多情况下，山地常常是由它们的组合形态所构成，由褶皱和断裂构造的组合形态构成的山地称褶皱断块山。这里曾经是构造运动剧烈和频繁的地区。（如图 3-3）

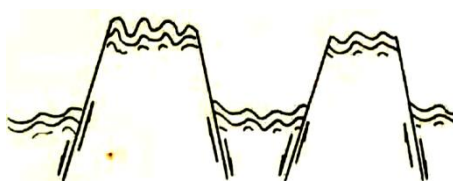


图 4-6 褶皱断块山形象图

图 3-3 褶皱断块山形象图

2.火山作用形成的山岭

火山作用形成的山地，常见有锥状火山和盾状火山。

(1) 锥状火山是多次火山活动造成的，其熔岩粘性较大，流动性小，冷却后便在火山口附近形成坡度较大的锥状外形。由于多次喷发，故锥状火山越来越高，如日本富士山就是锥状火山，高达 3776m。

(2) 盾状火山则是由粘性较小、流动性大的熔岩冷凝形成，故其外形呈基部较大、坡度较小的盾状，如冰岛、夏威夷群岛则属于盾状火山。

3.剥蚀作用形成的山地

这种山地是在山体地质构造的基础上，经长期外力剥蚀作用所形成的。例如，地表流水侵蚀作用所形成的河间分水岭，冰川刨蚀作用所形成的刃脊、角峰，地

下水溶蚀作用所形成的峰林等，都属于此类山地。由于此类山地的形成是以外力剥蚀作用为主，山体的构造形态对地貌形成的影响已退居不明显地位，所以此类山地的形态特征主要决定于山体的岩性，外力的性质以及剥蚀作用的强度和规模。

二、垭口与山坡

（一）垭口

山脊上标高较低的鞍部或相连的两山顶之间较低的山腰部分称为垭口。在山区公路勘测中，经常会遇到选择过岭垭口和展线山坡的问题。对于公路工程来说，研究山地地貌必须重点研究垭口。因为越岭的公路若能寻找到合适的垭口，可以降低公路高程和减少展线工程量。根据垭口形成的主导因素，将垭口归纳为以下三个基本类型。

1.构造型垭口

这是由构造破碎带或软弱岩层经外力剥蚀所形成的垭口。其常见者有下列三种：

（1）断层破碎带型垭口 这类垭口的工程地质条件比较差。岩体的整体性被破坏，经地表水侵入和风化，岩体破碎严重，不宜采用隧道方案，如采用路堑，也需控制开挖深度或考虑边坡防护，以防止边坡发生崩塌，如图 3-4 所示。

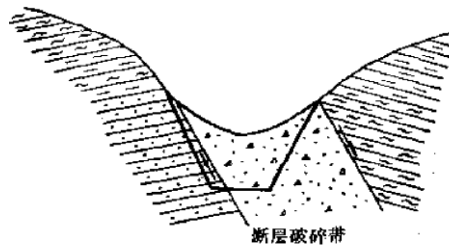


图 3-4 断层破碎带型垭口

图 3-4 断层破碎带垭口

（2）背斜张裂带型垭口 这类垭口虽然构造裂隙发育，岩层破碎，但工程地质条件较断层破碎带型为好，因为两侧岩层外倾，有利于排除地下水，也有利于边坡稳定，一般可采用较陡的边坡坡度。使挖方工程量和防护工程量都比较小。如果选用隧道方案，施工费用和洞内衬砌都比较省，是一种较好的垭口类型，如图 3-5 所示。

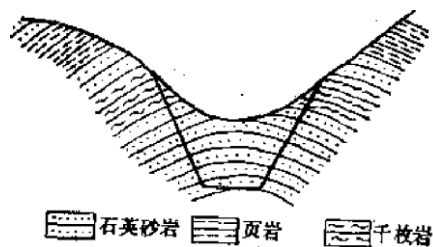


图4-8 背斜张裂带型垭口

图 3-5 背斜张裂带型垭口

(3) 单斜软弱层型垭口 这类垭口主要由页岩、千枚岩等易于风化的软弱岩层构成。两侧边坡多不对称，一坡岩层外倾可略陡一些。由于岩性松软，风化严重，稳定性差，故不宜深挖，若采取路堑深挖方案，与岩层倾向一致的一侧边坡的坡脚应小于岩层的倾角，两侧边坡都应有防风化的措施，必要时应设置护壁或挡土墙。穿越这一类垭口，宜优先考虑隧道方案，可以避免因风化带来的路基病害，还有有利于降低越岭线的高程，缩短展线工程量或提高公路纵坡标准，如图 3-6 所示。

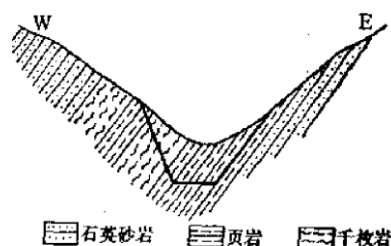


图4-9. 单斜软弱层型垭口

图 3-6 单斜软弱层型垭口

2.剥蚀型垭口

这是以外力强烈剥蚀为主导因素所形成的垭口，其形态特征与山体地质结构无明显联系。此类垭口的特点是松散覆盖层很薄，基岩多半裸露。垭口的肥瘦和形态特点主要取决于岩性、气候以及外力的切割程度等因素。在气候寒冷地带，岩石坚硬而切割较深的垭口本身较薄，宜采用隧道方案；采用路堑深挖也比较有利，是一种最好的垭口类型。在气候温湿地区和岩性较软弱的垭口，则本身平缓宽厚，采用深挖路堑或隧道对穿越都比较稳定，但工程量较大。在石灰岩地区的溶蚀性垭口，无论是明挖路堑还是开凿隧道，都应注意溶洞或其它地下溶蚀地貌的影响。

3.剥蚀一堆积型垭口

这是在山体地质结构的基础上，以剥蚀和堆积作用为主导因素所形成的垭口。

其开挖后的稳定条件主要决定于堆积层的地质特征和水文地质条件。这类垭口外形浑缓，垭口宽厚，宜于展线，但松散堆积层的厚度较大，有时还发育有湿地或高地沼泽，水文地质条件较差，故不宜降低过岭标高，通常多以低填或浅挖的断面型式通过。

(二) 山坡

山坡是山岭地貌形态的基本要素之一，不论越岭线或山脊线，路线的绝大部分都是设置在山坡或靠近岭顶的斜坡上的。所以在路线勘测中总是把越岭垭口和展线山坡作为一个整体来考虑。

自然山坡是在长期地质历史过程中逐渐形成的。山坡的形态特征是新构造运动、山坡的地质结构和外动力地质条件的综合反映，它对公路的建筑条件有着重要的影响。

山坡的外形包括山坡的高度、坡度及纵向轮廓等。山坡的外部形态是各种各样的，根据山坡的纵向轮廓和山坡的坡度，将山坡分为下面几类：

1.按山坡的纵向轮廓分类

(1) 直线形山坡 野外见到的直线形山坡，概括地说有三种情况。一种是山坡岩性单一，经长期的强烈冲刷剥蚀，形成纵向轮廓比较均匀的直线形山坡，这种山坡的稳定性一般较高；另一种是由单斜岩层构成的直线形山坡，其外形在山岭的两侧不对称，一侧坡度较陡，另一侧较平缓，从地形上看，有利于布设线路，但开挖路基后，在不利的岩性和水文地质条件下，很容易发生大规模的顺层滑坡；第三种情况是由于山体岩性松软或岩体相当破碎，在气候干寒，物理风化强烈的条件下，经长期剥蚀碎落和坡面堆积而形成的直线形山坡，这种山坡在青藏高原和川西峡谷比较发育，其稳定性最差。三种山坡的外形如图 3-7 所示。

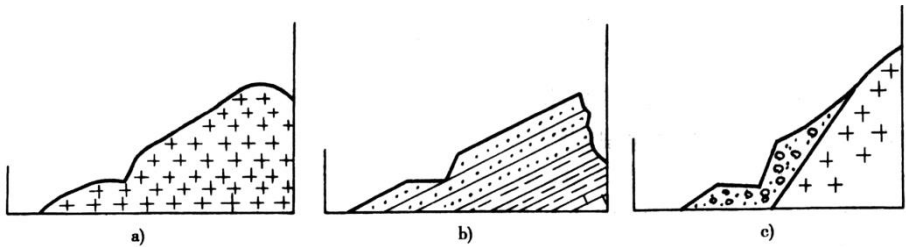


图 4-10 几种直线型山坡示意图
a)岩性单一;b)单斜构造;c)破碎堆积

图 3-7 几种直线型山坡示意图

(2) 凸形坡 这种山坡上缓下陡，坡度渐增，下部甚至呈直立状态，坡脚

界线明显。这类山坡往往是由于新构造运动加速上升，河流强烈下切所造成。其稳定条件主要取决于岩体结构，一旦发生山坡变形，则会形成大规模的崩塌。凸性坡上部的缓坡可选作公路路基，但应注意考察岩体结构，避免因人工扰动和加速风化导致失去稳定，如图 3-8a、b 所示。

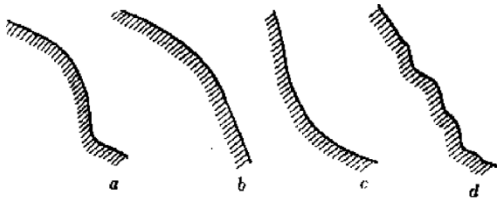


图 4-11 各种形态的山坡
a、b-凸形坡；c-凹形坡；d-阶梯形坡

图 3-8 a,b,c,d

(3) 凹形坡 这种山坡上部陡，下部急剧变缓，坡脚界线很不明显。山坡的凹形曲线可能是新构造运动的减速上升所造成，也可能是山坡上部的破坏作用与山麓风化产物的堆积作用相结合的结果。分布在松软岩层中的凹形山坡，不少都是在过去特定条件下由大规模的滑坡、崩塌等山坡变形现象形成的，凹形坡面往往就是古滑坡的滑动面或崩塌体的依附面。从近年来我国地震后的地貌调查统计资料中可以明显看出，凹形山坡在各种山坡地貌形态中是稳定性比较差的一种。在凹形山坡的下部缓坡上，也可进行公路布线，但设计路基时，应注意稳定平衡，沿河谷的路基应注意冲刷防护，如图 3-8c 所示。

(4) 阶梯形坡 阶梯形山坡有两种不同的情况，一种是由软硬不同的水平岩层或微倾斜岩层组成的基岩山坡，由于软硬岩层的差异风化而形成阶梯状的山坡外形。这种山坡的稳定性一般比较高；另一种是由于山坡曾经发生过大规模的滑坡变形，由滑坡台阶组成的次生阶梯状斜坡。这种斜坡多存在于山坡的中下部，如果坡脚受到强烈冲刷或不合理的切坡，或者受到地震的影响，可能引起古滑坡复活，威胁建筑物的稳定，如图 3-8d 所示。

2.按山坡的纵向坡度分类

按山坡的纵向坡度分类,当坡度小于 15° 时为微坡,介于 16° ~30° 之间的为缓坡,介于 31° ~ 70° 的为陡坡，山坡坡度大于 70° 的为垂直坡。

从路线角度来讲，山坡稳定性高，坡度平缓，对布设线路无疑是有利的。特别对越岭线的展线山坡，坡度平缓不仅便于展线回头，而且可以拉大上下线间的水平距离，既有利于路基稳定，又可减少施工时的干扰。但平缓山坡特别是在山

坡的一些拗洼部分，通常有厚度较大的坡积物和其它重力堆积物分布，而且坡面径流容易在这里汇聚，当这些堆积物与下伏基岩的接触面因开挖而被揭露后，遇到不良水文情况，很容易引起堆积物沿基岩顶面发生滑动。

第三节 平原地貌

平原地貌是地壳在升降运动微弱或长期稳定的条件下，经外动力地质作用的充分夷平或补平而形成的。其特点是地势开阔，地形平缓，地面起伏不大。

按高程，平原可分为高原、高平原、低平原和洼地，如表 3-3。

表 3-3 平原的高度分类表

海拔高度（m）	名 称	例 子	地质作用特征
> 600	高 原	云贵高原、伊朗高原、蒙古高原	剥蚀、侵蚀、谷地重力作用
600~200	高平原	中法兰西平原、巴西中部平原	
200~0	低平原	华北平原、杭嘉沪平原	外力堆积作用、洪泛、河岸侵蚀、海蚀和海积
海平面以下	洼 地	吐鲁番低地、死海低地	

按成因，平原可分为构造平原、剥蚀平原和堆积平原。

一、构造平原

构造平原主要是由地壳构造运动形成而又长期稳定的结果。其特点是微弱起伏的地形面与岩层面一致，堆积物厚度不大。构造平原又分为海成平原和大陆拗曲平原，前者是由地壳缓慢上升海水不断后退所形成，上覆堆积物多为泥砂和淤泥，并与下伏基岩一起微向海洋倾斜，工程地质条件不良；后者是由地壳沉降使岩层发生拗曲所形成，岩层倾角较大，平原表面呈凹状或凸状的起伏形态。如图 3-9 所示。

构造平原由于基岩埋藏不深，所以地下水一般埋藏较浅。在干旱或半干旱地区如排水不畅，常易形成盐渍化。在多雨的冰冻地区则常易造成道路的冻胀和翻浆。

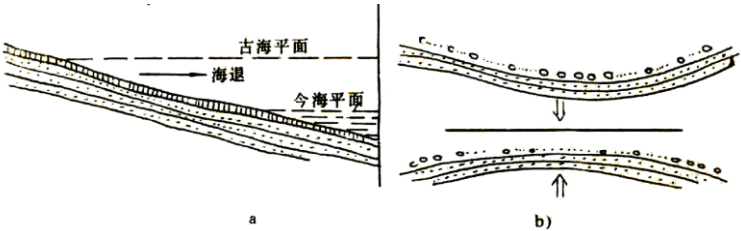


图4-12 构造平原成因示意图
a)海滨倾斜平原;b)大陆拗曲平原

图 3-9 构造平原成因示意图

二、剥蚀平原

剥蚀平原是在地壳上升微弱、地表岩层高差不大的条件下，经外力的长期剥蚀夷平所形成。其特点是地形面与岩层面不一致，上覆堆积物很薄，基岩常裸露地表，只是在低洼地段有时才覆盖有厚度稍大的残积物，坡积物、洪积物等。按外力剥蚀作用的动力性质不同，剥蚀平原又可分为河成剥蚀平原、海成剥蚀平原、风力剥蚀平原和冰川剥蚀平原。其中较为常见的是前面两种剥蚀平原。河成剥蚀平原系由河流长期侵蚀作用所造成的侵蚀平原。其地形起伏较大，并向河流上游逐渐升高，有时在一些地方则保留有残丘。海成剥蚀平原是由海流的海蚀作用所造成，其地形一般极为平缓，微向现代海平面倾斜。

剥蚀平原形成后，往往因地壳运动变得活跃，剥蚀作用重新加剧，使剥蚀平原遭到破坏，故其分布面积常常不大。剥蚀平原的工程地质条件一般较好，剥蚀作用将起伏不平的小丘夷平，某些覆盖层较厚的洼地也比较稳定，宜修建公路路基，或做为小桥涵的天然地基。（如图 3-10）



图4-13 剥蚀平原的形成图示

图 3-10 剥蚀平原的形成图示

三、剥蚀-堆积平原

剥蚀-堆积平原是剥蚀平原与堆积平原之间的过渡形式。当剥蚀平原形成后，地壳发生轻微的不均匀的下降运动，随着地面松散堆积物的覆盖面积扩大，厚度增大，使地面更趋于平坦，如图 3-11 所示。有的地区地壳发生挠曲或掀斜，作不等量的升降，上升部分受侵蚀，下降部分接受堆积。所以，虽有不等量的升降，但有侵蚀与堆积的抵消与补偿，结果地面仍很平缓。如我国东北平原就是剥蚀-堆积平原。

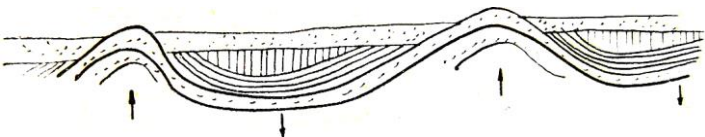


图4-14 剥蚀-堆积平原的形成

图 3-11 剥蚀-堆积平原的形成

四、堆积平原

堆积平原是在地壳缓慢而稳定下降的条件下、经各种外动力地质作用的堆积填平所形成，其特点是地形开阔平缓，起伏不大，往往分布有厚度很大的松散堆积物。按外力堆积作用的动力性质不同，堆积平原可分为河流冲积平原、山前洪积冲积平原，湖积平原和冰渍平原等，其中较为常见的是前面三种。

1.河流冲积平原

河流冲积平原系由河流改道及多条河流共同沉积所形成。它大多分布于河流的中、下游地带，因为在这些地带河床常常很宽，堆积作用很强，且地面平坦，排水不畅，每当雨季洪水溢出河床，其所携带的大量碎屑物质便堆积在河床两岸，形成天然堤。当河水继续向河床以外广大面积淹没时，流速不断减小，堆积面积愈来愈大，堆积物的颗粒越来越细，久而久之，便形成广阔的冲积平原。

河流冲积平原地形开阔平坦，是工程建设的良好条件，对公路选线也十分有利。但其下伏基岩往往埋藏很深，第四纪堆积物很厚，细颗粒多且地下水一般埋藏较浅，地基土的承载力较低。在潮湿冰冻地区道路的冻胀、翻浆问题比较突出。此外，还应注意，为避免洪水淹没路基，路线应设在地形较高处，而在淤泥层分布地段，还应采取可靠的技术措施保证路基、桥基的强度和稳定性免受影响。

2.山前洪积冲积平原

山前区是山区和平原的过渡地带，一般是河流冲刷和沉积都很活跃的地区。汛期到来时洪水冲刷，在山前堆积了大量的洪积物；汛期过后，常年流水的河流中冲积物增加。洪积物或冲积物多分布在山麓，地形较高，环绕着山前形成一狭长地带，形成规模大小不一的山前洪积冲积平原。由于山前平原是由多个大小不一的洪（冲）积扇互相连接而成，因而呈高低起伏的波状地形。在新构造运动上升的地区，堆积物随洪（冲）积扇向山麓的下方移动，使山前洪积冲积平原的范围不断扩大；如果山区在上升过程中曾有过间歇，在山前平原上就产生了高差明显的山前阶地。

山前洪积冲积平原堆积物的岩性与山区岩层的分布有密切的关系，其颗粒为砾石或砂，以致粉粒或粘粒。由于地下水埋藏较浅，常有地下水溢出，水文地质条件较差。

3.湖泊平原

湖泊平原系由河流注入湖泊时，将所挟带的泥砂堆积湖底使湖底逐渐淤高，湖水溢出、干涸后沉积层露出地面所形成。在各种平原中，湖积平原的地形最为平坦。

湖泊平原中的堆积物，由于是在静水条件下形成的，故淤泥和泥炭的含量较多，其总厚度一般也较大，其中往往夹有多层呈水平层理的薄层细砂或粘土，很少见到圆砾或卵石，且土颗粒由湖岸向湖心逐渐由粗变细。

湖泊平原地下水一般埋藏较浅。其沉积物由于富含淤泥和泥炭，常具可塑性和流动性，孔隙度大，压缩性高故承载力很低。

第四节 河谷地貌

一、河流的地质作用

河流是沿河谷流动的季节性或常年流动的水流。河流不断地对岩石进行冲刷破坏，并把破坏后的碎石物质搬运到陆地的低洼地区或海洋堆积起来。河流的地质作用主要取决于河水的流速和流量。由于流速、流量的变化，河流表现为侵蚀、搬运和沉积三种性质不同但又相互关联的地质作用。

（一）侵蚀作用

河流的侵蚀作用是指河水冲刷河床，使岩石发生破坏的作用。破坏的方式有机械侵蚀作用和化学溶蚀作用两种。机械侵蚀作用是指水流冲击坡底和坡脚，使岩石破碎的冲蚀作用和河水所夹带的泥、砂、砾石等在运动过程中摩擦破坏河床的磨蚀作用。化学溶蚀作用是指水在流动的过程中使岩石溶解的作用，溶蚀作用在可溶性岩石分布地区比较显著，水流溶解岩石中的可溶性矿物，结果破坏岩石的结构，加速水流的机械侵蚀作用。

河流的侵蚀作用按照侵蚀作用的方向不同又可分为下蚀作用、侧蚀作用。

1. 下蚀作用

是指河水及其所携带的砂砾对河床基岩撞击、磨蚀，对可溶性岩石的河床进行溶解，致使河床受侵蚀而逐渐破坏加深的地质作用。下蚀作用的强弱由多种因素决定，如河床岩石的软硬、河流含砂量的多少、河流的流速。河流的下蚀作用使河床不断加深。山区河谷纵坡较陡、流速较大，下蚀作用表现强烈。平原河谷纵坡较缓、流速较小，下蚀作用表现微弱甚至没有。河流在向下切割的同时，也向河源方向发展，缩小和破坏分水岭，这种作用称为向源侵蚀。下蚀作用不能无

止境的发展下去，它受到侵蚀基准面的限制。侵蚀基准面是河流所流入的水体的水面。地球上大多数河流流入海洋，它们的最终侵蚀基准面是海平面。

2. 侧蚀作用

是在流水速度较小或河道弯曲时，流水冲刷两岸，致使河床岸坡被冲刷掏空、塌落的作用，这种侵蚀使河床不断加宽。河水流动时，由于受河床的岩性、地形、地质构造以及地球自转等因素的影响，在弯曲的河谷中受水流惯性力的作用会形成螺旋状的横向环流，在天然河道上能形成横向环流的地方很多，但在河湾部分最为显著，横向环流的表层水流以很大的流速冲向凹岸，产生强烈冲刷，使凹岸岸壁不断坍塌后退，同时将冲刷下来的碎屑物质由底层水流带向凸岸或下游堆积下来，使河湾的曲率不断增加，形成河曲，导致河谷愈来愈宽，河道愈来愈弯曲。河曲发展到一定程度，相邻河湾逐渐靠近，洪水来临时容易被冲开，发生“截弯取直”，弯曲的河道与新河道失去联系，形成牛轭湖，继而发展成沼泽河流。这样天长日久，整个河床就被河水的侧蚀作用逐渐地拓宽。

在一条河谷中，侧蚀作用和下蚀作用是同时进行的，一般在河流的上游地区以下蚀作用为主，侧蚀作用较弱，而在河流的中下游地区随着下蚀作用的减弱，扩展河床的侧蚀作用就很明显，甚至在下蚀作用完全停止的时候侧蚀作用仍然在继续。

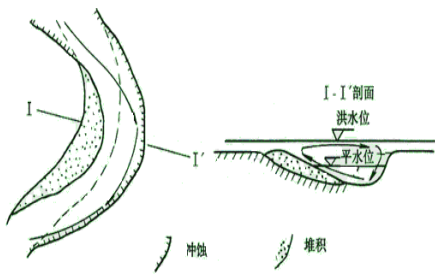


图 3-12 河流横向环流形成示意图

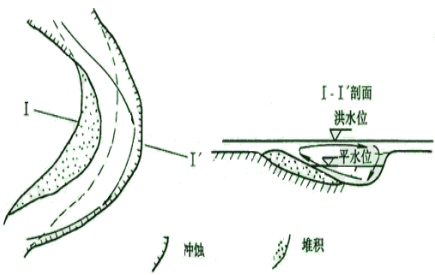


图 3-13 河流螺旋状横向环流

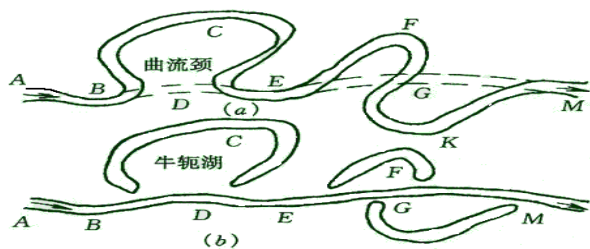


图 3-14 河曲的发展

（二）搬运作用

河水在流动过程中，将自身侵蚀的和谷坡上崩塌、冲刷下来的物质携带向下游的过程，称为河流的搬运作用。其中大部分碎屑物质以机械搬运形式被搬运到河流下游或凸岸，少部分溶解于水中的各种化合物被搬运到海洋。机械搬运表现为三种方式，即悬运、推运和跃运，小颗粒的物质由于其重量小于水的上举力，这些颗粒往往以悬浮状态随水流移动称为悬运；颗粒很大的泥沙和砾石由于其重量大于水的上举力，颗粒在水流冲力推动下，或沿河底滚动、或沿河床推移称为推运；颗粒较大的泥沙和砾石由于其重量大约等于水的上举力，颗粒在水流冲力推动下，跳跃前进称为跃运。

河流在搬运过程中，把原来颗粒大小不同、轻重混杂的碎屑物质按比重和粒径的不同分别集中在一起，这就是河流的分选作用。此外，被搬运物质与河床之间、被搬运物质相互之间都不断发生摩擦、碰撞，使其逐渐变圆、变细，这就是河流的磨蚀作用。良好的分选性和磨圆度是河流冲积物区别于其他成因沉积物的重要特征。

（三）沉积作用

当河床的纵坡变缓或搬运物质增加而引起流速变慢时，河流的搬运能力降低，河水所携带的碎屑物质（泥砂、砾石）在重力作用下逐渐沉积下来，形成层状沉积物的过程称为沉积作用。河流沉积作用主要发生在河流入海、入湖、支流入干流处以及河流的中、下游地段和河曲凹岸，但大部分都沉积在海洋和湖泊里。由于河流搬运的颗粒大小与流速有关，所以，当流速减小时，被搬运的物质就按颗粒大小或密度，依次从大到小、从重到轻先后沉积下来。一般在河流的上游沉积较粗的砾石，越往下游沉积物质越细，多为砂壤土或粘性土，更细的或溶解的物质在海中沉积。河流沉积的物质有粗碎屑的漂石、块石、卵石、砾石及细碎屑的砂、粘性土、淤泥等。

二、河谷形态

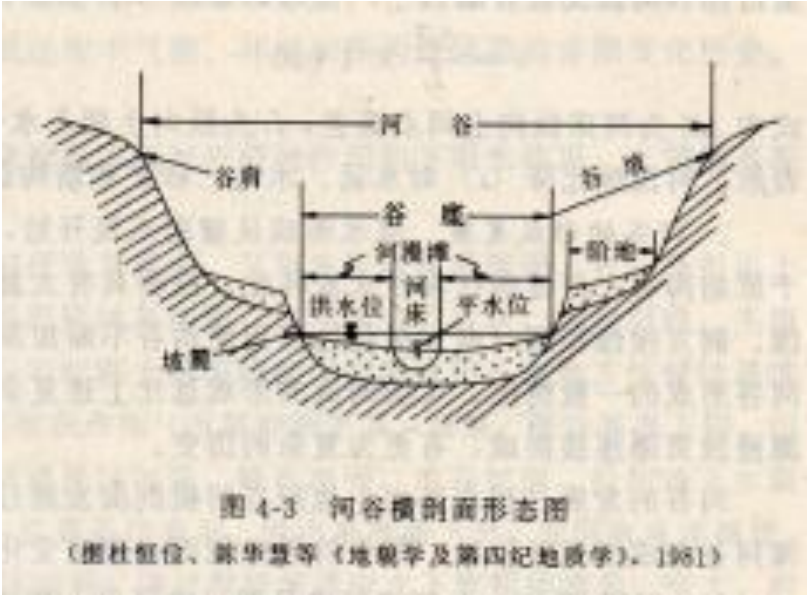
河谷是河流挟带着砂砾在地表侵蚀塑造的线型洼地，包括河床、河漫滩、牛轭湖、阶地、河间地块等小的地貌单元。

河谷由谷底、谷坡和古肩（谷缘）等要素构成，如图 3-15 所示。

谷底包括河水占据的河床和洪水能淹没的河漫滩，其中常年洪水能淹没的谷

底部分称低河漫滩，特大洪水能淹没的部分称高河漫滩；谷底变化很大，可有河床而无河漫滩，或河床和河漫滩都很发育。谷坡是由河流侵蚀形成的岸坡，它可能是单纯的侵蚀坡，也可能发育有河流阶地。古肩（谷缘）是谷坡上的转折点（或带），它是计算河谷宽度、深度和河谷制图的标志。

图 3-15



三、河谷的形成发展

从河谷的成因来看，河谷可分为构造谷和侵蚀谷两类。

构造谷受地质构造控制，河流沿地质构造线发展。如河流在构造运动所形成的凹地内流动，如向斜谷、地堑谷等；或河流沿着构造软弱带流动，如断层谷、背斜谷、单斜谷等，如图 3-16 所示。

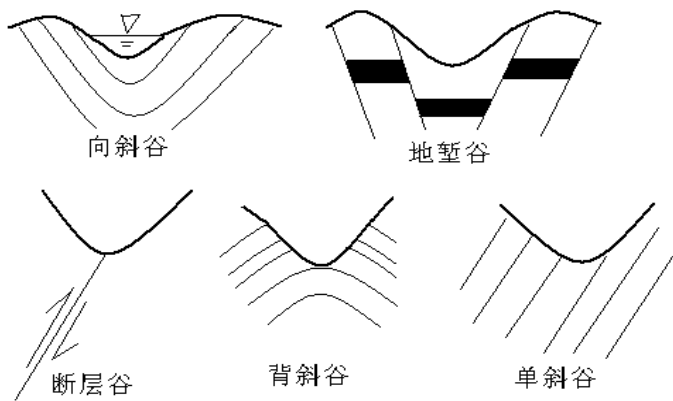


图 3-16 构造谷

侵蚀谷是由水流侵蚀而成，不受地质构造的影响，它可以任意切穿构造线。侵蚀谷发展为成形河谷一般可分三个阶段：

第一阶段是“V”型谷 在河流形成早期（或河谷上游或坚硬岩石或新构造运动上升区）以垂直侵蚀作用为主，河流深深切入基岩，形成河身直，河度坡度陡，急流险滩多，水流湍急，两岸崩塌发育，断面狭窄的“V”型谷。我国著名的长江三峡、金沙江的虎跳峡、美国科罗拉多峡谷等均属此类。

第二阶段是河漫滩河谷 当峡谷形成后，下蚀作用减弱，侧蚀作用相对增强，凹岸冲刷，凸岸堆积，其特点是谷底不仅有河床，而且有河漫滩，谷坡平缓，山脊浑圆，地势起伏缓和，由原来的坡峰深谷演变为低丘宽谷。

第三阶段是成形河谷 河漫滩河谷继续发展，因侵蚀基准面下降，河流重新产生下蚀作用，河漫滩被抬高而转化为阶地，这种具有阶地的河谷称为成形河谷。

四、河流阶地

阶地是地壳上升、河流下切形成的地貌。当上升过程中有几次停顿的阶段，就形成几级阶地。见图 3-17。阶地由河漫滩以上算起，分别称为一级阶地、二级阶地等等。高阶地靠山坡一侧也可能有新近堆积的坡积层、洪积层，其压缩性高，结构强度低。在低阶地，地下水位较浅。特别要注意低阶地上地形比较低洼的地段。这些地方有时积水，生长一些水草。往往曾经是河漫滩湖泊和牛轭湖的地方。有时河漫滩湖泊或牛轭湖的堆积物埋藏很深，成为透镜体或条带状的淤泥。河流阶地通常开阔平坦，土地肥沃，是进行农业生产、工程建设、人类居住的良好场所。

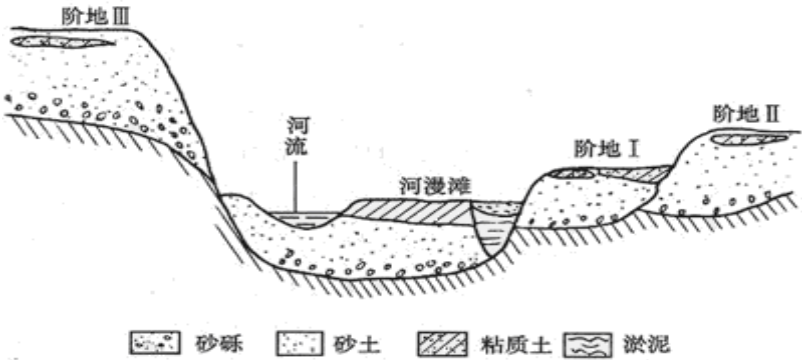


图 3-17 河流阶地

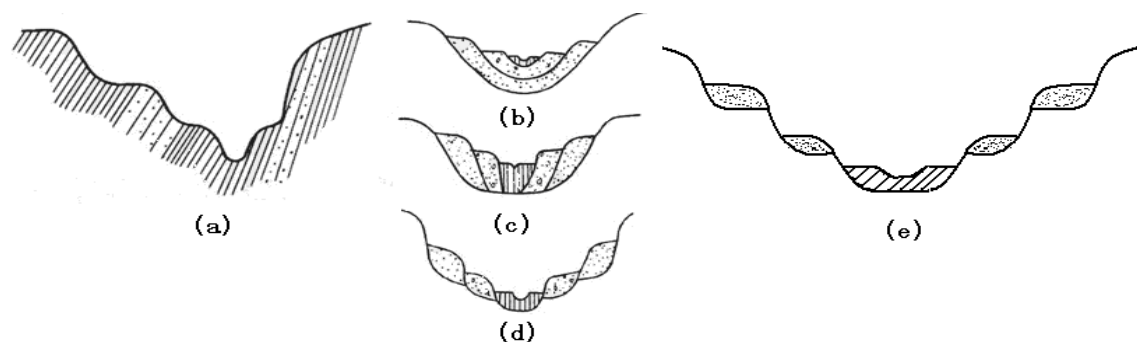
河流阶地根据侵蚀与堆积之间关系的不同，可分为侵蚀阶地，堆积阶地和基座阶地三大类型，参见图 3-18。

（一）侵蚀阶地(图 3-18a) 阶地表面为侵蚀基岩，或覆盖有很薄的冲积物的阶地称为侵蚀阶地，又称基岩阶地。一般多分布于山区河谷流速较大的河段，

或者分布在河流的上游，构造上升强烈的河谷地段，侵蚀阶地的工程地质条件较好，是坝肩、桥台、建筑厂房良好的地基。

（二）堆积阶地 完全由冲积物组成的阶地称为堆积阶地，可分为上叠阶地(图 4-18b)、内叠阶地(图 3-18c)及嵌入阶地(图 3-18d)。地壳上升幅度逐次减小可形成上叠阶地，地壳上升幅度逐次相差不大可形成内叠阶地，地壳上升幅度逐次增加但不超过冲积物厚度可形成嵌入阶地。堆积阶地的工程地质条件好坏取决于冲积物性质及土层分布情况，在堆积阶地区修建建筑物应特别注意掩埋的古河道或牛轭湖堆积的透镜体。

（三）基座阶地(图 3-18e) 属侵蚀阶地和堆积阶地的过渡类型，阶地表面有冲积物覆盖，在阶地陡坎的下部是基岩的阶地称为基座阶地。当地壳上升幅度超过河谷冲积物的厚度并切入基岩时会形成基座阶地。其工程地质条件比较好，可作建筑物地基，沉降量较小，但应注意冲积物与基岩接触部位的稳定性。



（a-侵蚀阶地 b-上迭阶地；c-内迭阶地；d-嵌入阶地；e-基座阶地）

图 3-18 河流阶地类型

第五节 第四纪地质

第四纪是新生代最晚的一个纪，也是包括现代在内的地质发展历史的最新时期。第四纪的下限一般定为 200 万年。第四纪分为更新世和全新世，将更新世分为早、中、晚三个世，它们的划分及绝对年代见表 3-4。

表 3-4 第四纪地质年代表

地质年代		绝对年龄（万年）	
纪	世	距今时间	时间间隔
第四纪 Q	全新世 Q4	1	3
	晚更新世 Q3	10	5

	更新世	中更新世 Q2	73	67
		早更新世 Q1	200	123

一、第四纪地质概况

大约在 200 多万年前地球上出现了人类，这是地球历史上最重大的事件。在北京周口店附近的石灰岩洞穴中发现了生活在四五十万年以前的“北京猿人”的头盖骨化石及其使用的工具。

第四纪时期地壳有过强烈的活动，为了与第四纪以前的地壳运动相区别，把第四纪以来发生的地壳运动称为新构造运动。地球上巨大块体大规模的水平运动、火山喷发、地震等都是地壳运动的表现。地区新构造运动的特征对于评价工程区域的稳定性来说是一个基本要素。

第四纪气候多变，曾多次出现大规模冰川。第四纪气候寒冷时期冰雪覆盖面积扩大，冰川作用强烈，称为冰期；气候温暖时期，冰川面积缩小，称为间冰期。第四纪冰期，在晚新生代冰期中规模最大，地球上的高、中纬度地区普遍为巨厚冰流覆盖。由于当时气候干燥、因而沙漠面积扩大。中国大陆在第四纪冰期时，由于海平面下降，因此渤海、东海、黄海均为陆地，台湾与大陆相连，气候干燥，风沙盛行，黄土堆积作用强烈。第四纪冰川不仅规模大而且频繁，对深海沉积物的研究结果表明，第四纪冰川作用有 20 次之多，而近 80 万年每 10 万年有一次冰期和间冰期。

二、第四纪沉积物

第四纪历史虽然只有二百万年左右，但新构造运动强烈，海平面和气候变化频繁。因而第四纪沉积环境极为复杂。第四纪沉积物形成时间短，成岩作用不充分，常常成为松散、多孔、软弱的土层（土体）。

一般把第四纪地层称为沉积物或沉积层。例如，河流作用形成的称“冲积物”或“冲积层”，风化作用形成的称“残积物”或“残积层”，洪流作用形成的称“洪积物”或“洪积层”等。第四纪堆积物的成因类型详见表 5-5。

表 3-5 第四纪堆积物的成因类型

成因	成因类型	主导地质作用
风化残积	残积	物理，化学风化作用
重力堆积	坠积	较长期的重力作用
	崩塌堆积	短促间发生的重力破坏作用
	滑坡堆积	大型斜坡块体重力破坏作用

	土溜	小型斜坡块体表面的重力破坏作用
大陆流失堆积	坡积 洪积 冲积 三角堆洲积（河、湖） 湖泊堆积 沼泽堆积	斜坡上雨水、雪水间由重力的长期搬运、堆积作用 短期内大量地表水搬运、堆积作用 长期的地表水流沿河谷搬运、堆积作用 河水、湖水混合堆积作用 浅水型的静水堆积作用 滞水型的静水堆积作用
海水堆积	滨海堆积 浅海堆积 深海堆积 三角堆洲积（河、湖）	海浪及岸流的堆积作用 浅海相动荡及静水的混合堆积作用 深海相静水的堆积作用 河水、海水混合堆积作用
地下水堆积	泉水堆积 洞穴堆积	化学堆积作用及部分机械堆积作用 机械堆积作用及部分化学堆积作用
冰川堆积	冰渍堆积 冰水堆积 冰渍湖堆积	固体状态冰川的搬运、堆积作用 冰川中冰下水的搬运、堆积作用 冰川地区的静水堆积作用
风力堆积	风积 风—水堆积	风的搬运堆积作用 风的搬运堆积作用，又经流水的搬运堆积作用

几种主要成因类型第四纪堆积物的特征如表 3-6。

表 3-6 主要成因类型第四纪堆积物的特征

成因类型	堆积方式及条件	堆积物特征
残积	岩石经风化作用而残留在原地的碎屑堆积物	碎屑物自表部向深处逐渐由细变粗，其成分与云母岩有关，一般不具层理，碎块多呈棱角状，土质不均，具有较大孔隙，厚度在山丘顶部较薄，低洼处较厚，厚度变化较大
坡积或崩积	风化碎屑物由雨水或融雪水沿斜坡搬运；或由本身的重力作用堆积在斜坡上或坡脚处而成	碎屑物岩性成分复杂，与高处的岩性组成由直接关系，从坡上往下逐渐变细，分选性差，层理不明显，厚度变化较大，厚度在斜坡较陡处较薄，坡脚地段较厚
洪积	由暂时性洪流将山区或高地的大量风化碎屑物携带至沟口或平缓地带堆积而成	颗粒具有一定的分选性，但往往大小混杂，碎屑多呈亚棱角状，洪积扇顶部颗粒较粗，层理紊乱呈交错状，透镜体及夹层较多，边缘处颗粒细，层理清除，其厚度一般高山区或高地处较大，远处较小
冲积	由长期的地表水搬运，在河流阶地、冲积平原和三角洲地带堆积而成	颗粒在河流上游较粗，向下游逐渐变细，分选性及磨圆度均好，层理清除，除牛轭湖及某些河床相沉积外，厚度较稳定
冰积	由冰川融化带携带的碎屑物堆积或沉积而成	粒度相差较大，无分选性，一般不具层理，因冰川形态和规模的差异，厚度变化大
淤积	在静水或缓慢的流水环境中沉积，并伴有生物、化学作用而成	颗粒以粉粒、黏粒为主，且含有一定数量的有机质或盐类，一般土质松软，有时为淤泥质黏性土、粉土与粉砂

		互层，具清晰的薄层理
风积	在干旱气候条件下，碎屑物被风吹扬，降落堆积而成	颗粒主要由粉粒或砂砾组成，土质均匀，质纯，孔隙大，结构松散

1.残积物

残积物是岩石风化后残留原地的松散堆积物。在工程实践中，残积物很少用来作为建筑物的地基。但是山区道路往往通过风化严重的岩质山坡，由于开挖路堑，会引起边坡的不稳。一般来说，残积物的工程地质性质较差，勘察中要了解它的厚度及物理力学性质等。

2.坡积物

降落在斜坡上的雨水或冰雪融水，呈片状或网状沿坡面漫流，这样的地表水流称为坡流。坡流沿斜坡自高处向低处缓慢流动，不断地使坡面上的细小岩石碎屑和粘土物质向下移动，最后，在坡脚或山坡低凹处沉积下来形成坡积层。

片流对整个坡面进行的均匀的、缓慢的和在短期内并不显著的地质作用，称为坡流的侵蚀作用。尽管坡流的动能小，剥蚀能力差，但由于它的作用面积大，作用次数多，因此坡流对地表的剥蚀往往是很显著的。坡流侵蚀作用的强度与气候、降雨性质、地面坡度、岩性以及植被的覆盖程度有关。在降水量越大、越猛烈；坡度在 40 度左右的山坡洗刷强度最大，坡度过大或过小，洗刷作用都将减弱；松散物质分布较多，无粘结性，植被稀少的地区，坡流侵蚀作用表现比较强烈。

坡流到达坡脚，流速会减缓，坡流所携带的物质即沉积下来，沉积下来的物质称为坡积物。因为坡积物未经长距离长时间搬运，所以碎屑棱角明显，分选性及磨圆度差；其成分一般是孔隙度很高的含有棱角状碎石的亚粘土，物质成分与斜坡上的基岩成分相同，颗粒大小由斜坡上部向坡脚逐渐变细，上部多为较粗的岩石碎屑，靠近坡脚处常为细粒粉质粘土和粘土等组成，并夹有大小不等的岩块；坡积物一般无层理或层理不清晰；其厚度通常在斜坡上部较薄，下部逐渐变厚，坡脚处最厚，可以达到几十米。

坡积物结构松散，孔隙率高，压缩性大，抗剪强度低。当坡积层下伏基岩表面倾角较大且坡积物与基岩接触面处为粘性土又有地下水沿基岩面渗流时，易发

生滑坡。在山区河谷谷坡和山坡上，坡积物广泛分布，对基坑开挖、开渠、筑路危害很大。在坡积物上修建建筑物时应注意不均匀沉降问题。当线路通过坡积物时，应查明其厚度及物理力学性质，正确评价建筑物的稳定性。

3.洪积物

沿沟谷作快速流动的暂时性地表水流称为洪流，俗称山洪；沿沟谷作快速流动的暂时性地表水流称为洪流，俗称山洪；暴雨或大量冰雪融水以后，沟谷中便汇集大量的水，同时沟底坡度又大，因此洪流流速往往很快。洪流沿沟谷流动时，即拥有巨大的动能，对沟谷裸露的岩石产生很大的冲刷力。洪流以其自身巨大的机械力和携带的砂石，对沟底和沟壁进行猛烈冲击和磨蚀，这个过程称为洪流的侵蚀作用。洪流地质作用的强度与气候、地形、地面岩性和植被有关。缺少植被保护、土质松散而降雨又集中的山坡，地质作用表现强烈。由于洪流的侵蚀作用形成沟底狭窄、两壁陡峭的沟谷叫冲沟。开始形成的冲沟较窄较浅，在洪流的不断作用下，不断地加深，加宽和向沟头方向伸长，并可在冲沟沟壁上形成支沟。在降雨量较集中、缺少植被保护，由第四纪松散沉积物堆积的地区，冲沟极易形成。

当洪流夹带大量的泥砂石块流出沟口后，由于沟床纵坡变缓，地形开阔，水流分散，流速降低，动能很快减小，搬运能力骤然减小，洪流所夹带的石块、岩屑、砂砾等粗大碎屑物质先在沟口堆积下来，较细的泥砂继续随水搬运，多堆积在沟口外围一带。由于山洪急流的长期作用，在沟口一带就形成了扇形展布的堆积体，称为洪积物，其形状似扇子，在地貌上常称为洪积扇。

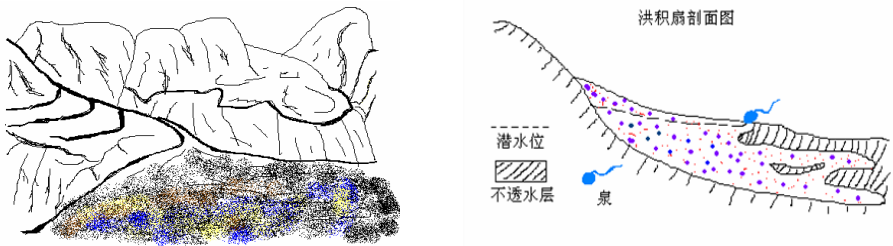


图 3—19 洪积扇示意图

洪积物的特点是颗粒组成在近山区地带（后缘）为分选不好的粗碎屑土，孔隙大，透水性强，地下水埋藏深，承载力较高，是良好的天然地基；较远处（前缘）则为分选性较好的细碎屑土和粘性土，如果在沉积过程中受到周期性的干燥，粘土颗粒发生凝聚并析出可溶盐时，则洪积层的结构较牢固，承载力也比较

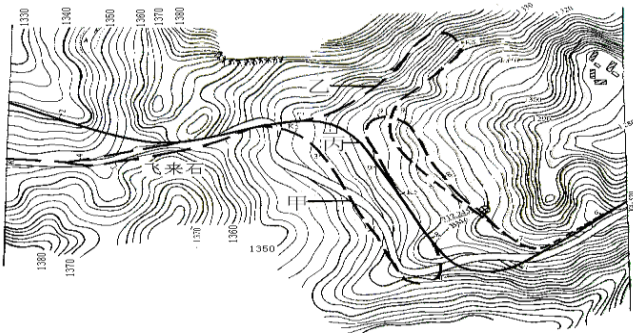
高；上述两地段之间的过渡带，由于经常有地下水溢出，地质条件不良，对工程建设不利。洪积物磨圆度与搬运距离有关，有斜交层理或透镜体。洪积扇的规模逐年增大，有时与相邻沟谷的洪积扇互相连接起来，形成规模更大的洪积裙或洪积冲积平原。

4.冲积物

冲积物是由河流所挟带的物质沉积下来的堆积物。冲积物的性质视具体情况而定，河床相沉积物一般是粗颗粒，具有很大的透水性，也是良好的建筑材料；当其为细砂时，饱和后在开挖基坑时往往会发生流沙现象，应特别注意。河漫滩相沉积物一般为细碎屑土和粘性土，结构较为紧密，形成阶地，大多分布在冲积平原的表层，成为各种建筑物的地基，我国不少大城市，如武汉、上海、天津等都位于河漫滩沉积物之上。牛扼湖相的沉积物因含多量的有机质，有的甚至成泥炭，故压缩性大，承载力小，不宜作为建筑物的地基。

工程案例

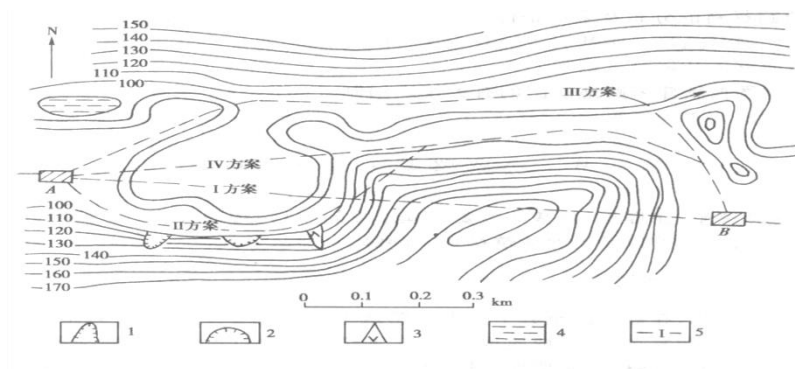
在山岭地区，越岭线是公路工程建设中非常重要的一种线形。越岭线是指公路路线沿分水岭一侧爬上山脊，在适当地点穿过垭口，再沿另一侧山坡而下的路线。如实图 4-1 所示，为某的山岭地区的地形图。公路路线通过图中飞来石垭口时，不同的过岭标高就有不同的展线方案，由于选用不同的挖深出现了三个选线方案，甲方案挖深 9 米，需要设置两个回头路线；乙方案挖深 13 米，需要设置一个回头路线；丙方案挖深 20 米，不需设回头路线。此垭口通过地质调查为一背斜张裂带型垭口。这类垭口虽然构造裂隙发育，岩层破碎，但工程地质条件较断层破碎带型为好，因为两侧岩层外倾，有利于排除地下水，也有利于边坡稳定，一般可采用较陡的边坡坡度，挖方工程量和防护工程量都比较小，适于采用深挖路堑。故丙方案为最优路线方案。



实图 3-20 不同过岭标高展线方案

技能训练 7

见实图 3-21，图中路线 A、B 两点间共有三个基本选线方案，请根据工程地质条件，选择最优路线方案。



实图 3-21 工程地质选线略图

1-滑坡群；2-崩塌区；3-泥石流堆积区；4-沼泽带；5-路线方案

思考题

1. 简述地貌类型的划分。
2. 分析各种山地地貌与公路布线的关系。
3. 常见的垭口有几种类型，试从工程地质条件方面作出评价。
4. 山坡按纵向轮廓分几种类型？分析其与公路布线的关系。
5. 堆积平原有几种类型，公路布线在经过各种堆积平原时应注意什么问题？
6. 试比较坡积层和洪积层地貌的成因，当公路通过两个地貌区时，应分别注意哪些工程地质条件的影响？
7. 什么是河流、河流的地质作用？
8. 什么是河流阶地？河流阶地是如何形成的？根据物质组成不同，可将河流阶地分为哪些主要类型？河流阶地对公路工程有何意义？
9. 简述河流地质作用与道路工程的关系。

第四章 认识地下水

学习目标:

- (1) 掌握地下水的类型和特点。
- (2) 掌握等水位线图和等水压线图的绘制及应用。
- (3) 学会分析地下水、地表水对公路工程 and 桥梁工程的危害。

地下水分布极其广泛，它与人类生活和工程活动密切相关。例如，地下水常为农业灌溉、城市供水、工矿企业用水提供良好的水源。但地下水也往往给工程建设带来一定困难和危害，它与岩土体相互作用，会使土体和岩体的强度和稳定性降低，产生各种不良的自然地质现象和工程地质现象，如滑坡、岩溶、潜蚀、地基沉陷、道路冻胀和翻浆等。铁路路基沉陷常和地下水活动有着直接联系；公路工程中地下水位较高时，常会因土的毛细作用而改变路基的干湿类型，引起各种路基病害；基坑及地下洞室开挖过程中的涌水现象；地基工程中，深基坑的开挖基坑降水问题，并因基坑降水引起地下水渗流问题造成基坑边坡移动和基坑周围地面沉陷；土壤盐渍化问题；超量开采地下水引起的地面沉降问题等，给工程的建筑和正常使用造成危害。为了有效地防止和消除地下水的危害、合理开发利用地下水，必须了解和掌握地下水的形成、埋藏条件、分布和运动规律、地下水对工程建设的危害和防治措施等水文地质基础知识和基本技能。

一、水在岩土中的赋存形式

自然界岩土孔隙中赋存着各种形式的水，按其存在形态分为液态水、气态水和固态水。

(一) 液态水

根据水分子受力状况可分为结合水、重力水、毛细管水。

1. 结合水 受到岩土颗粒表面的吸引力大于其自身重力的那部分水称为结合水。最接近岩土颗粒表面的结合水称为强结合水（又称吸着水），其外层称弱结合水（又称薄膜水）。

(1) 强结合水 沸点 105°C ，冰点为 -78°C ，密度可达 $1.5\sim 1.8\text{g}/\text{cm}^3$ ，力学性质类似固体，具有极大的粘滞性、弹性、抗剪强度；不能传递静水压

力、不能导电，也没有溶解能力。

(2) 弱结合水 密度较强结合水小，但仍比普通液态水大；具较高的粘滞性、弹性、抗剪强度；不能传递静水压力，也不导电；冰点低于 0°C 。弱结合水也不能在重力作用下运移，但可以从水膜厚的位置向水膜薄的位置移动。

2. 重力水 即常称的地下水，存在于较粗大孔隙（如中粗砂、卵砾石土中的孔隙）中，具有自由活动能力，在重力作用下能自由流动。

3. 毛细管水：由于毛细管支持充填在岩土细小孔隙中的水称为毛细管水，又称毛细水。它同时受毛细管力和重力的作用，当毛细管力大于水的重力时，毛细管水就上升。因此，地下水面以上普遍形成一层毛细管水带。毛细管水能垂直上下运动，能传递静水压力。根据毛细管力作用情况不同可分为支持毛细管水、悬着毛细管水、孔角毛细管水。

毛细管水和重力水有称为自由水，均不能抗剪切，但可传递静水压力，密度在 $1\text{g} / \text{cm}^3$ 左右。

(二) 气态水

呈气态和空气一起充填在非饱和的岩土孔隙中的水称为气态水。它可随空气的流动而运移，即使空气不流动，也能由湿度相对大的地方向小的地方移动。在一定温、压力条件下可与液态水相互转化，两者之间保持动态平衡。当岩土空隙水气增多达到饱和，或周围温度降低到露点时，气态水便凝结成液态水。

(三) 固态水

指常压下当岩土体温度低于零度时，岩土孔隙中的液态水（甚至气态水）凝结成冰（冰夹层、冰椎、冰晶体等）称为固态水。固态水在土中起到胶结作用，形成冻土，提高其强度。但解冻后土的强度往往低于冻结前的强度。因为岩土孔隙中的液态水转变为固态水时其体积膨胀，使土的孔隙增大，结构变的松散，故解冻后的土压缩性增大，其强度降低。

二、. 透水层、隔水层、含水层的概念

地下水在重力作用下不停地运动，运动特点决定于岩土的透水性。岩土空隙的大小、多少、均匀程度和连通情况，决定着地下水的埋藏、分布和运动规律。一般情况下，岩土中空隙越多、越大、连通情况越好，水在其中流动所受阻力越小，水流速度越大，岩石透水性越强，这种岩土称为透水层，如砂层及裂隙发育的坚硬岩石。反之，若岩石中空隙极小且少，连通情况又很差，水流因受到很大阻力，流速很小，这种岩层称为相对不透水层或隔水

层，如粘性土和新鲜致密的岩层等。岩土的水透性用渗透系数表示，一般认为渗透系数小于 0.001m/d 的岩层属隔水层，大于或等于这一数值者属于透水层。

含水层是指能透水而又饱含重力水的岩层，只有在适宜的条件下，透水层才有可能成为含水层。

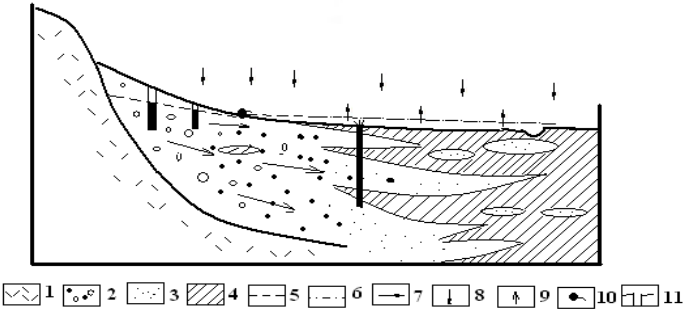
含水层的形成应具备一定的条件：首先岩土体应具有容纳水的空隙，为地下水的存储和运移提供必备的空间，即必须有透水性；其次应具有贮存地下水的地质构造，使地下水能在岩石空隙中聚集和储存而不产生下泄，即有隔水层和透水层的适当组合。如由透水层和隔水层组成的向斜构造和构造盆地，常是良好的蓄水构造，而处于高阶地上的砂砾石层，虽具有良好的透水性，但由于下部没有隔水层，而使地下水很快流失，不能形成含水层。再次，要有充足的补给来源，如若在枯水期干涸，无水可贮，不能称之为含水层。

三、地下水的类型及其特征

不论坚硬的岩石还是松软的土体，其中都或多或少存在有空隙，这些空隙是地下水赋存和运移的场所。根据空隙的形状差异和成因不同，岩土中的空隙可以分为三类：①存在于松散土体中颗粒之间的孔隙；②存在于坚硬岩石中的裂隙；③存在于可溶性岩石中的溶隙。根据含水层的性质不同，可分为孔隙水、裂隙水和岩溶水。

（一）孔隙水

赋存于松散沉积物（包括第四系和坚硬基岩的风化壳）孔隙中的地下水称为孔隙水。由于孔隙的相互连通性，孔隙水一般具有①分布连续；②同一含水系统中的水具有水力联系和统一的地下水面；③水量比较均匀等特点。不同成因类型的松散沉积物，如洪积层、河流冲积层、湖积层、三角洲沉积及黄土等，赋存于其中的孔隙水具有不同特征。山前冲洪积扇的砂砾石层，形成巨厚的潜水含水层；自山前向平原与盆地内部，砂砾与粘性土交互成层，构成多个承压含水层，地下水埋深由深变浅，水质由好变差（见图 4-1）。河流漫滩及阶地堆积物常呈二元结构，上部多为细粒土，下部为砂砾石层，地下水主要埋藏于下部砂砾石层中。冲积平原中，游荡的河床构成纵向延伸的多个带状含水层，富水性不强但分布比较均匀。滨岸地带由于沉积物颗粒较粗，可构成良好的含水层；过渡地带，砂砾与粘土互层构成承压含水层，富水性强且不均匀，水体交替较差，水资源不易得到补充。



1-基岩；2-砾石；3-砂；4-粘性土；5-潜水位；6-承压水位；7-地下水流向；

8-降水补给；9-蒸发排泄；10-下降泉；11-井（黑色表示有水）

图 4-1 洪积扇水文地质剖面示意图

黄土高原地区地下水的分布受地形切割程度控制，地形完整的黄土塬、地下水较为丰富，地下水由黄土塬的中心向四周呈辐射状散流，埋深由深变浅，水质由好变差。平原深层孔隙承压水，由于含水层厚度大，富水性好，常被作为重要水源加以开采。

（二）裂隙水

埋藏在基岩裂隙中的地下水叫裂隙水。裂隙水分布很不均匀，水力联系也很复杂。裂隙水的这些特点与裂隙介质的特征有关。根据裂隙水赋存介质的不同，将裂隙水划分为脉状裂隙水和层状裂隙水两种类型。坚硬基岩中的裂隙分布不均匀且具方向性，通常只在岩层中某些局部范围内连通，构成若干互不联系或联系很差的脉状含水系统，赋存脉状裂隙水。松散岩层中，空隙分布连续均匀，构成具有统一水力联系、水量分布均匀的层状孔隙含水系统，赋存层状裂隙水。

按含水介质裂隙的成因，裂隙水可分为风化裂隙水、成岩裂隙水与构造裂隙水。

1. 风化裂隙水：赋存于岩体的风化带中的地下水。风化作用形成的风化壳，通常厚数米至数十米，裂隙分布密集均匀，连通良好的风化裂隙带构成含水层，未风化或风化程度较轻的母岩构成相对隔水层，因此，风化裂隙水一般为潜水。风化裂隙水通常分布比较均匀，水力联系较好。

2. 成岩裂隙水：赋存于各类成岩裂隙中的地下水。一般情况下，成岩裂隙多闭合，不构成含水层，但喷溢的玄武岩六棱柱状裂隙发育且张开，可构成良好含水层。岩脉及侵入岩体与围岩的接触带，冷凝后可形成张开的呈带状分布的裂隙，赋存带状裂隙水。熔岩流在冷凝过程中由于气体的逸出，在岩体中留下的巨大熔岩孔洞，形成管状含水带，可成为强富水的含水层。

3. 构造裂隙水：赋存于各类构造裂隙中的地下水。构造裂隙水以分布不均匀、水力联系差为其特征。在钻孔、平硐、竖井及各种地下工程中，构造裂隙水的涌水量、水位、水温与水质往往变化很大。这是由于构造裂隙的分布密度、方向性、张开性、延伸性极不均一造成的。一般情况下，层状岩层中，构造裂隙发育较为均匀，在层面裂隙的沟通下，构造裂隙水的水力联系较好；块状岩体中构造裂隙发育极不均匀，通常可分为 3 个级次的裂隙空间：①细短闭合的小裂隙构成的微裂隙岩体；②张开且延伸较长的中等裂隙构成的导水裂隙网络；③大裂隙与断层构成的局部导水通道。当钻孔或坑道钻入微裂隙岩体时，水量微不足道；遇到裂隙网络时，会出现较大水量；触及大的裂隙导水通道时，水量十分可观。

在裂隙岩体中开采或排除地下水时，要根据裂隙水的特点布置钻孔与坑道。在裂隙岩体中修建地下工程建筑物时，要充分考虑裂隙水的复杂性。渗漏计算、排水孔和灌浆工程的设计，都应充分考虑裂隙水的不均一性，各向异性的特点。

（三）岩溶水

在岩溶孔隙中保存和运动的地下水称为岩溶水，岩溶水不仅是一种具有

特殊性质的地下水，而且也是一种活跃的地质营力，在它的运动过程中，不断与岩石作用，改造自身的赋存环境，形成独特的分布和运动特征。

1. 岩溶水的分布、运动特征：由于岩溶空隙发育的不均匀，宽度大小不一，连通程度各不相同，岩溶水往往呈现层流与紊流并存的现象。在一些细小的溶隙中，水流因阻力大而流动缓慢，流态为层流；而在一些连通性和张开性好的溶隙中，水流阻力小，流速大且水量集中，多呈紊流状态。如石灰岩其原生孔隙很小，透水性能差，但经溶蚀后形成不同形状的溶隙、溶蚀漏斗、溶洞等，不同空隙空间的大小和透水性可以相差几个数量级，一些巨大的地下管道和溶洞，可成为地下暗河，加上岩溶发育在空间上的差异性，造成岩溶水的分布极不均匀。同时，岩溶空间主要是在裂隙空间的基础上发展形成的，裂隙空间的方向性和其透水性能各向异性的特点在岩溶介质中得到继承和发展，因此，透水性能各向异性是岩溶介质的另一个显著特点。有时在同一水力系统的不同过水断面上，渗透系数、水力坡度、渗透流速都各不相同，层流与紊流并存。另外岩溶水的水位与流量呈现强烈的季节变化，其水位变幅可达几十米，流量变幅达几十倍。

2. 岩溶水的富水特征：岩溶含水层的水量往往比较丰富，其富水程度与岩溶发育程度密切相关。一般情况下岩石可溶性好、地下水径流通畅，交替强烈的地段，岩溶发育良好的地段，也是岩溶水富集的地段。在这些地段往往富存丰富的岩溶水：厚层纯石灰岩分布区；可溶性岩石的构造破碎部位；可溶性岩石与非可溶性岩石或可溶性极强与可溶性弱的岩层交界面附近；硫化矿床氧化带；地表水体附近及其他岩溶水排泄部位。

水量丰富而集中的岩溶水，是理想的供水水源。但是水量大而分布极不均匀的岩溶水，常造成矿坑及地下工程的涌水或坍塌事故，成为各种工程地质勘察的重要研究课题。

根据地下水的埋藏条件，地下水可分为包气带水、潜水和承压水三大主要类型。

（四）包气带水

埋藏在地面以下包气带（见图 4-2）中的水称为包气带水。包气带水可分为非重力水和重力水。非重力水主要是指吸着水、薄膜水和毛细管水，又称土壤水。重力水则指包气带中局部隔水层上的水，又称上层滞水。

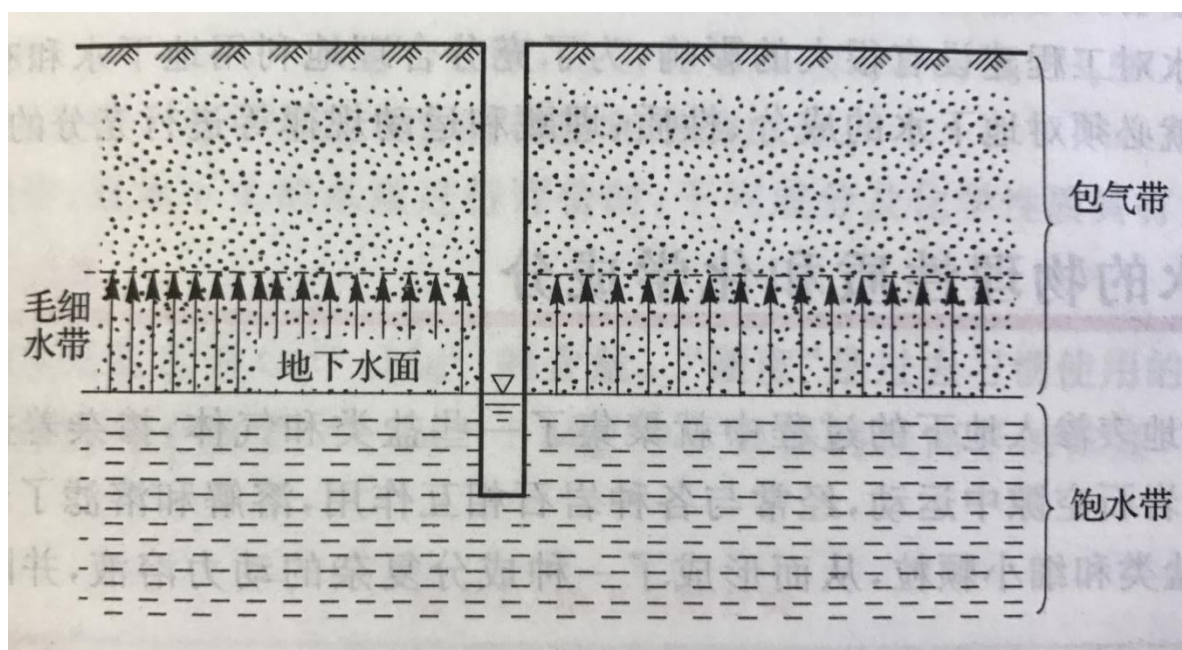


图 4-2 地下水的垂直分带

1. 土壤水

土壤水是埋藏在包气带土层中的水，主要以结合水和毛管水形式存在，靠大气降水的渗入，水汽的凝结及潜水由下而上的毛细作用补给。大气降水或灌溉水想下渗入时必须通过土壤层，这是渗入水的一部分保持在土壤层中，称为所谓的田间持水量，其余部分则以重力水形式下渗补给潜水。土壤水主要消耗于蒸发过程，水分变化相当剧烈，并受大气田间的自己约。当土层透水性很差，气候又潮湿多雨或地下水位接近地表时，易形成沼泽，称为沼泽水。当地下水面埋藏不深，毛细水带可达到地表时，由于土壤水分的抢楼列蒸发，盐分不断积累与土壤表层，会在陈土壤盐渍。

2. 上层滞水

当包气带存在局部隔水层时，在局部隔水层之上积累具有自由水面的重力水，称为上层滞水。

上层滞水的特征是：分布于接近地表的包气带内，与大气圈关系密切；这类水是季节性的，主要靠大气降水和地表水下渗补给，故分布区与不给区一致，以蒸发或逐渐向下渗透到潜水中的方式排泄；雨季水量增加，干旱季节减少甚至重力上层滞水会完全消失；土壤水虽不能直接被人们取出应用，但对农作物和植物起着重要作用；上层滞水分布面积小，水量也小，季节变化大，容易受到污染，只能用做小型或暂时性供水苑，从巩水角度看意义不大，从工程地质角度看从，上层滞水却常常是引起土质边坡滑塌、黄土路基沉陷、路基冻胀等病害的重要因素。

（五）潜水

潜水是埋藏在地表以下，第一个连续稳定隔水层以上具有自由水面的重力水。潜水的自由水面称潜水面。地面到潜水的铅直距离称为潜水位埋藏深度(T)。潜水面到下伏隔水层之间的岩层称为含水层，潜水面上任一点至隔水底板的距离称为潜水含水层厚度(M)。潜水面到零基准面的铅直距离称潜水位(H)，见图 4-3。

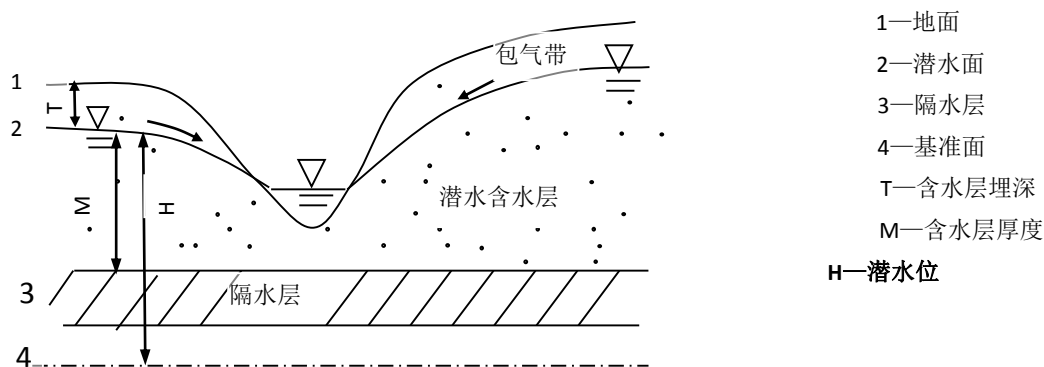


图 4-3 潜水埋藏示意图

1. 潜水的特征：根据潜水的分布、埋藏和循环条件，潜水具有以下特征：

(1) 潜水具有自由水面，为无压水。

(2) 潜水的分布区和补给区基本上是一致的。潜水含水层的分布范围称为潜水分布区。由于潜水含水层的上部没有连续隔水层，大气降水和地表水可通过包气带直接补给潜水，因此潜水易受污染。潜水接受补给的地区称为补给区。大气降水是潜水的主要补给来源，大气降水补给量的多少取决于降水性质、地面坡度、植被覆盖程度及包气带透水性和厚度等。地表水是潜水的重要补给来源，地表水补给量的多少取决于地表水与潜水水位差、河流沿岸岩层透水性及潜水与河水有联系地段分布范围。干旱地区凝结水也是潜水的重要补给来源。当承压水位高于潜水位、承压含水层与潜水之间存在局部透水层时，承压水也可补给潜水，称为越流补给。

(3) 在重力作用下，潜水可以沿水平方向由水位高处向水位低处渗流，形成潜水径流。潜水的径流速度与含水层岩性、地形、气候条件等因素有关。当含水层透水性好，地形高差大，大气降水补给充沛时，地下水径流通畅、循环交替快。

(4) 潜水排泄是潜水失去水量的过程，其主要方式有两种，平原地区主要以蒸发形式排泄，蒸发过程中含水层失去水分，使水中盐份积聚，矿化度增高。高山丘陵地区则以泉、渗流形式排泄于地表或地表水体。

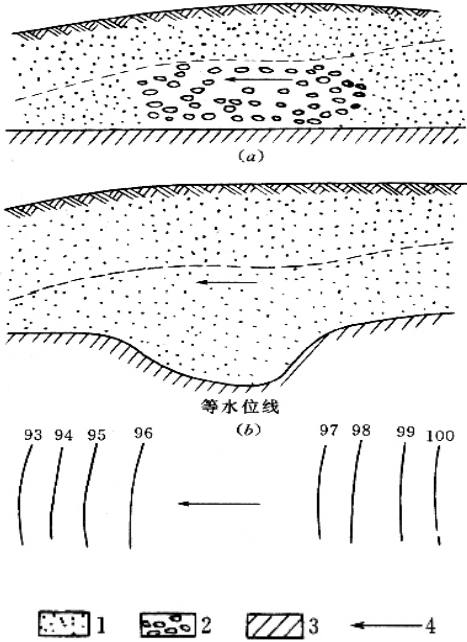
(5) 潜水的动态（如水位、水温、水质、水量等随时间的变化）随季节变化明显，雨季降水量多，补给充沛，潜水面上升，含水层厚度增大，水量

增加，埋藏深度变浅，水的矿化度降低；枯水季节则相反。

2. 潜水面的形状及其表示方法

潜水面的形状与地形、含水层的透水性和厚度、气象水文因素、人工抽水和排水等有关。一般情况下，潜水面是呈向排泄区（如相邻冲沟、河流、湖泊等）倾斜的曲面；当大面积不透水的隔水底板向下凹陷，而潜水水量较小，潜水几乎静止不动时，就形成潜水湖，此时潜水面是水平的。当不透水底板倾斜或起伏不平时，潜水面有一定坡度，潜水处于流动状态，此时就形成潜水流。

潜水面的形状与地形有一定程度的一致性，但比地形更为平缓一些，如图 4-4 所示。含水层的透水性或厚度沿渗流方向变化时，潜水面形状会发生改变，当含水层透水性或厚度增大时，潜水面形状趋于平缓，反之变陡，如图 4-4 所示。潜水面的形状还受气象、水文、地表水体水位变化和人为因素的影响。如大气降水和蒸发会使潜水面上升或下降。降水丰富，含水层中的水量增加，潜水面就随之上升；降水量少时，地下水大量蒸发，潜水面就随之下降。河、湖水面常常高于附近的潜水面，因此，河水、湖水常常补给沿岸的潜水，黄河下游及洪泽湖沿岸即是一例。潜水与河流水面间往往形成互相补给的关系，这种现象称为河流与地下水的水力联系；人工抽水和排水也会使潜水面形态发生改变。



(a) 含水层透水性沿程变化；(b) 含水层厚度沿程变化

1—含水砂层；2—含水砾石层；3—隔水底板；4—流向

图 4-4 潜水面形状与含水层透水性及厚度关系

3. 潜水面的表示方法

潜水面反映了潜水与地形、岩性和气象水文等之间的关系，同时能表现出潜水的埋藏、运动和变化的基本特点，为能清晰地表示潜水面的形态，通常采用水文地质剖面图和等水位线图两种图示方法表示潜水面，并相互配合使用。

(六) 承压水

充满于两个稳定隔水层之间的含水层中承受静水压力的地下水称承压水，如图 4-5 示。承压含水层上的隔水层底面称为隔水顶板，承压含水层下的隔水层顶面称为隔水底板，顶、底板之间的垂直距离称为承压含水层厚度（M）。在承压含水层地区打井，揭穿隔水顶板后才能见到承压水，此时的水面高程称为初见水位。由于承压水含水层承受静水压力，随后水位会不断上升，达到一定高度便稳定下来，这时的水位称为稳定水位，即该点处承压含水层的承压水位。承压水位与初见水位的差值称为承压水头。当承压水位高出水面时地下水便可以溢出或喷出地表，形成自流水。当两个隔水层之间的含水层未被水充满时，称为层间无压水。

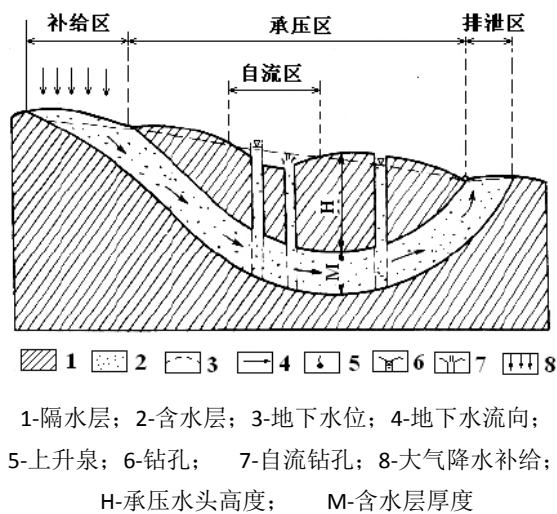


图 4-5 承压水剖面示意图

基岩地区承压水的埋藏类型，主要决定于地质构造，即在适宜的地质构造条件下，孔隙水、裂隙水和岩溶水均可形成承压水。最适宜于形成承压水的地质构造有向斜构造和单斜构造两类。向斜储水构造又称承压盆地，它由明显的补给区、承压区和排泄区组成，如图 4-5 所示。在盆地、洼地或向斜构造中，出露于地表的含水层，海拔较高部分称为地下水的补给区，海拔较低部分就称为排泄区，承受静水压力的地段称为承压区。承压盆地可能与地形一致也可能不一致，如图 4-6 所示。

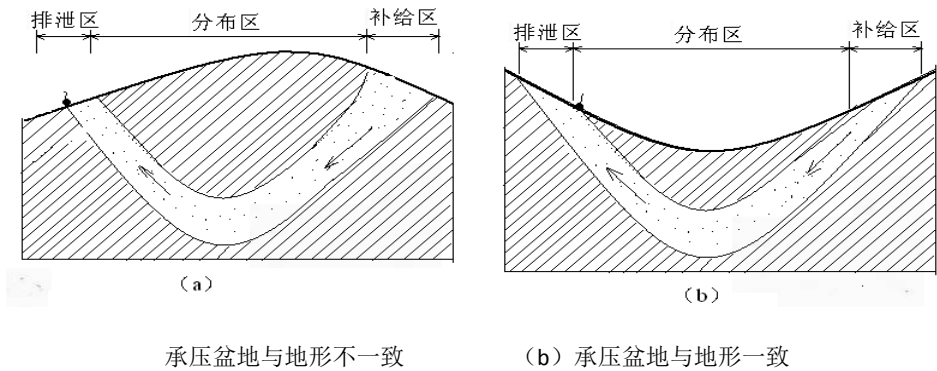
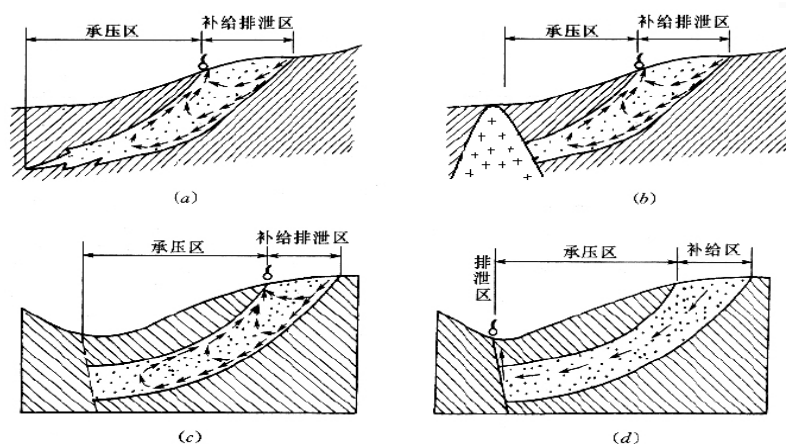


图 4-6 承压盆地

单斜储水构造又称承压斜地，它可以由含水层岩性发生相变或尖灭形成，如图 4-7(a) 所示，也可以由侵入岩体阻截形成，如图 4-7(b) 所示，也可以

是含水层被断层所切形成，如图 4-7(c、d)所示。



(a)岩性变化形成的承压斜地
(b) 岩脉阻截形成的承压斜地 (c) (d)断层构造形成的承压斜地

图 4-7 承压斜地剖面示意图

当含水层一端出露于地表，另一端在某一深度处尖灭、被阻水断层切割、被岩脉阻断而不导水时，一旦补给量超过含水层的容水量，水就从含水层出露带的较低部分外溢，其余部分则成为承压区（图 4-7a、b、c）。当单斜含水层的一侧出露地表成为补给区，另一侧被导水断层切割时，此时承压区介于补给区与排泄区之间，情况与构造盆地相似（图 4-7d）。

2. 承压水的特征：

根据承压水的分布、埋藏和循环条件，承压水具有下列特征：

(1) 承压水承受静水压力，为有压水流，其顶面为非自由水面。

(2) 承压水的分布区和补给区不一致，如图 4-5、6、7 所示。承压水的补给区一般位于承压盆地或承压斜地地势较高处，此处含水层出露地表，可直接接受大气降水和地面水的入渗补给；当承压水位低于潜水位时，也可以通过断裂带或弱透水层等通道得到潜水补给。承压水的分布区也即是承压区，也可以称为承压水的径流区。补给区是非承压区，具有潜水的特征。由于承压水上部有连续稳定的隔水层，因此承压水不易受到污染。

(3) 承压水在静水压力作用下，可以由高水压处向低水压处渗流，形成承压水的径流。承压水的径流条件取决于含水层的透水性、补给区到排泄区的距离和含水层的挠曲程度。含水层透水性越强，补给区到排泄区距离越近，水头差越大，含水层挠曲程度越小，承压水的径流条件越畅通，水交替越强烈。反之，径流越缓慢，水交替越微弱。承压水的径流条件对承压水的水质影响很大。

(4) 承压水的排泄区位于承压斜地或承压盆地边缘低洼地区。当地表水文网切割至含水层时，承压水可以泉的形式排泄；承压水还可通过导水断层以断层泉的形式排泄于地表；如果排泄区有潜水时可直接排入潜水。

(5) 承压水动态（承压水位、水温、水质、水量）受气象、水文因素的季节性变化影响不显著。承压水厚度稳定不变，不受季节变化影响。

3. 承压水等水压线图

承压水等水压线图就是承压水位等高线图。等水压线图可以反映承压水（位）面的起伏情况。承压水（位）面与潜水面不同，潜水面是一个实际存在的地下水面，而承压水面是一个势面，这个面实际上是假想的而不存在的，只有当钻孔揭穿上覆隔水层至含水层顶面时才可测出承压水位，它可以与地形不吻合，甚至高出地面，此时形成自流井。承压水等水压线图绘制见实训项目二。

四、地下水的物理性质和化学成分

地下水储存运移在岩土体中，介质相互作用、溶解岩土中可溶物质，使地下水不是化学意义上的纯水而是一种复杂的溶液。因此，研究地下水的物理性质和化学成分，对于了解地下水的成因与动态，确定地下水对混凝土等的侵蚀性等，都有着实际的意义。

（一）地下水的物理性质

地下水的物理性质包括温度、颜色、透明度、气味、味道、密度、导电性及放射性等。

1. 温度 地下水的温度因自然条件不同而变化的。地下水温度的差异，主要受各地区的地温条件所控制，通常随埋藏深度不同而异，埋藏越深，水温越高。温带和亚热带平原区的浅层地下水，年平均温度比所在地区年平均气温高 1—2℃。极地、高纬度和山区的地下水温度很低，地壳深处和火山活动区的地下水温度很高。水温低于 20℃ 的地下水，称冷水，20~50℃ 者称温水，高于 50℃ 者称热水。一般用温度计测定地下水的温度。

2. 颜色 地下水一般是无色透明的，当水中含有某种化学物质时，可显示一定的颜色。例如含亚铁离子或硫化氢气体的水为浅蓝绿色，含有高价铁的水为褐红色，含腐殖质或有机物时呈浅黄色，含黑色矿物质或碳质悬浮物时为灰色，含粘土颗粒或浅色矿物质悬浮物时为土色。

3. 透明度 常见的地下水为无色透明的，地下水的透明度决定于水中所含盐类、悬浮物、有机质和胶体的数量。透明度分为透明、微混浊、混浊和极混浊四级。水深 60 厘米时能看见容器底部 3 毫米粗的线者为透明；30~60 厘米深度能看见者为微混浊；30 厘米深度以内能看见者为混浊；水很浅也看不见者为极混浊。

4. 比重 一般情况下，地下淡水的比重接近或等于 1，地下水比重大小与水的温度和水中溶解的盐类多少有关。溶解的盐分愈多，比重就愈大，盐分多时可以达到 1.2~1.3。

5. 导电性 地下水导电性与水中所含电解质的数量与性质有关。离子含量愈多，离子价愈高，水的导电性愈强。此外，温度对导电性也有影响。

6. 放射性 因为岩土体中都含有一定量的放射性物质，所以在其中渗流的地下水也都有放射性。一般情况下，地下水的放射性极其微弱，不会对人体造成伤害。但个别地区因水中放射性元素含量高、放射性强可能对人体造

成伤害。

7. 嗅感和味感 地下水一般是无嗅、无味的。当地下水中含有某种气体成分和有机物时,便具有特殊的嗅感。如水中含硫化氢,具臭鸡蛋味;含亚铁盐时,有铁腥味或墨水味;含腐殖质多时有沼泽气味。嗅感也与温度有关系,在低温时气味不易辨别,40℃以上时气味最显著。地下水的味感取决于它的化学成分,例如含氯化钠的水有咸味,含硫酸钠的水有涩味,含氯化镁或硫酸镁的水有苦味,含氧化亚铁的水有墨水味,含大量有机质的水有甜味,含较多二氧化碳的水清凉可口。地下水的味感也与温度高低有关系,水温低时味感不明显。

(二) 地下水的化学性质

1. 地下水的化学成分

(1) 气体 地下水中气体状态的物质主要有 CO₂、O₂、N₂、CH₄、H₂S,还有少量的惰性气体和 H₂、CO、NH₃ 等。

氧气和二氧化碳是地下水中两种主要气体。氧气由大气进入水中,以溶解分子形式存在。氧气的含量随地下水埋深增加而减少,在一定深度以下,即不存在溶解氧。氧气的存在形成了氧化环境,能使很多物质被氧化,从而引起一系列物理-化学作用,对地下水化学成分和元素迁移带来巨大的影响。几乎所有的天然水中都有二氧化碳,它在水中主要以溶解的分子形式存在,只有约 1% 与水作用形成碳酸,在通常情况下,其含量约为 15—40 毫克/升。二氧化碳对水的溶解能力,尤其是溶解碳酸钙的能力影响很大。

(2) 离子成分 地下水中离子状态的元素主要有 Cl⁻、SO₄²⁻、HCO₃⁻、CO₃²⁻、NO₃⁻、HO⁻、SiO₃⁻、H⁺、K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Al³⁺、Fe²⁺、Fe³⁺。其中最常见的有 H⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、HCO₃⁻、Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺。地下水中的离子成分含量多少直接和地下水的总矿化度有关。如高矿化度水和卤水以 Cl⁻ 为主,中矿化度水以 SO₄²⁻ 为主,低矿化水和淡水以 HCO₃⁻ 为主。

2. 地下水的酸碱度 水的酸碱度取决于水中氢离子浓度。氢离子浓度用 pH 值表示: $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$ 。自然界中大多数地下水的 pH 值在 6.5~8.5 之间,呈中性。

表 4-1 按酸碱度不同的地下水分类表

天然水的类型	极酸性水	酸性水	中性水	碱性水	强碱性水
PH	<5	5~7	7	7~9	>9

3. 总矿化度 水的总矿化度是指单位体积地下水中所含金属离子、化合物以及其他微粒的总量,以每升水中所含各种化学成分的总克数(g / L)表示,取一定量有代表性的水样放于坩埚或蒸发皿中加热至 105~110℃,将水蒸干后所得固体残渣的质量与水样体积的比值即得总矿化度。

表 4-2 根据总矿化度的大小、天然水的分类表

天然水的类型	淡水	微咸水	咸水	盐水	卤水
总矿化度(克/升)	<1	1~3	3~10	10~50	>50

高矿化水能降低混凝土的强度,腐蚀钢筋,促使混凝土分解,故拌和混凝土时不允许用高矿化水。高矿化水中的混凝土建筑亦应注意采取防护措施。

4.地下水的硬度 水中钙、镁离子的总量称为地下水的总硬度。水煮沸后,水中一部分 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 与 HCO_3^- 作用生成碳酸钙(CaCO_3)和碳酸镁(MgCO_3)沉淀,致使水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的含量减少,呈碳酸盐沉淀的这部分 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的总量称为暂时硬度。总硬度减去暂时硬度即为永久硬度,相当于煮沸时未发生碳酸盐沉淀的那部分 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的含量。我国采用的表示水的硬度的方法有两种:一是德国度,以 1 升水中含 10 毫克 CaO 或 7.2 毫克的 MgO 为 1 度;一是用 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的毫克当量/升来表示,1 毫克当量硬度等于德国度 2.8° 。

表 4-3 根据水的总硬度天然水的分类表

天然水的类型	极软水	软水	微硬水	硬水	极硬水
毫克当量/升	<1.5	1.5~3.0	3.0~6.0	6.0~9.0	>9.0
德国度/ $^\circ$	<4.2	4.2~8.4	8.4~16.8	16.8~25.2	>25.2

五、地下水对工程的不良影响

地下水的存在对工程建设有着不可忽视的影响。

(一) 地下水位的变化

如地下水位上升,则可引起浅基础地基承载力降低,在有地震砂土液化的地区会引起液化的加剧,同时引起建筑物震陷加剧,岩土体产生变形、滑移、崩塌失稳等不良地质作用。另外,在寒冷地区会有地下水的冻胀影响。

就建筑物本身而言,若地下水位在基础底面以下的压缩层内发生上升变化,水浸湿和软化岩土,会造成地基土的强度降低,压缩性增大,建筑物会产生过大沉降,导致严重变形。尤其是对结构不稳定的土(如湿陷性黄土、膨胀土等)这种现象更为严重,对设有地下室的建筑的防潮和防湿也均不利。

地下水位的下降往往会引起地表塌陷、地面沉降等。对建筑物本身而言,当地下水位在基础底面以下的压缩层内下降时,岩土的自重压力将增加,可能引起地基基础的附加沉降。如果土质不均匀或地下水位突然下降,也可能使建筑物产生变形破坏。

通常地下水位的变化往往是由于施工中抽水和排水引起的,局部的抽水和排水会使基础底面下的地下水位突然下降,建筑物(如邻近建筑物)发生变形,因此,施工场地应注意抽水和排水对地下水位的影响。另外,在软土地区,大面积的抽水也可能引起地面下沉。此外,如果抽水井滤网和砂滤层的设计不合理或施工质量差,抽水时会将土层中的黏粒、粉粒,甚至细砂等细小土颗粒随同地下水一起带出地面,使周围地面的土层很快产生不均匀沉降,造成地面建筑物和地下管线不同程度的损坏。

若在城市大面积抽取地下水，将会造成大规模的地面沉降。例如，1966-1985年天津市由于抽水使地面最大沉降率达到 80-100mm/a。

（二）地下水的渗透产生流沙和潜蚀

1.流沙

流沙是砂土在渗透水流作用下产生的流动现象。这种情况的发生常是由于在地下水位以下开挖基坑、埋设地下管道、打井等工程活动而引起的，所以流沙是一种不良的工程地质现象，易产生在细砂、粉砂、粉质粘土等。形成流沙的原因有：一是水力坡度大，流速大，冲动细颗粒是指悬浮而成；二是由于土粒周围附着亲水胶体颗粒，饱水时胶体颗粒膨胀，在渗透水作用下悬浮流动。

流沙在工程施工中能造成大量土体的流动，致使地表塌陷或建筑物的地基被破坏，会给施工带来很大困难，或直接影响工程建筑及附近建筑物的稳定，因此必须进行防治。

2.潜蚀

潜蚀是指渗透水流冲刷地基岩土层，并将细颗粒物质沿空隙迁移（机械潜蚀）或将土中可溶成分溶解（化学潜蚀）的现象。潜蚀通常分为机械潜蚀和化学潜蚀。这两种作用一般是同时进行的。在地基土层内如具有地下水的潜蚀作用，将会破坏地基土的强度，形成空洞，产生地表塌陷，影响建筑工程的稳定。对潜蚀的处理可以采用堵截地表水流入土层、阻止地下水在土层中流动、设置反滤层、改造土的性质、减小地下水流速及水利坡度等措施。这些措施应根据当地地质条件分别或综合采用。

（三）地下水的侵蚀性

地下水的侵蚀性主要体现为含有侵蚀性 CO_2 或含有 SO_4^{2-} 的地下水，会对混凝土、可溶性石材、管道以及金属材料进行侵蚀。

在公路工程建设中，桥梁基础、地下洞室衬砌和边坡支挡建筑物等，都要长期与地下水相接触，地下水中各种化学成分与建筑物中的混凝土产生的化学反应，使混凝土中某些物质被溶蚀，强度降低，结构遭到破坏，或者在混凝土中生成某些新的化合物，这些新化合物生成时体积膨胀，造成混凝土开裂。

地下水对混凝土的侵蚀主要有结晶型侵蚀、分解型侵蚀等类型。

1.结晶型侵蚀

当地下水中 SO_4^{2-} 的含量大于 250mg/L 时, SO_4^{2-} 与建筑物基础混凝土中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 反应生成含水石膏晶体, 含水石膏继而再与水化铝酸钙反应生成水化铝酸钙, 由于水化硫铝酸钙中含有大量结晶水, 体积随之膨胀, 内应力增大, 最终导致混凝土开裂。

2.分解型侵蚀

地下水含有 CO_2 , 有时会对建筑物基础混凝土产生侵蚀(腐蚀)作用。当地下水中 CO_2 的含量较高时, 水中的 CO_2 与混凝土中的微量成分 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 完全反应后剩余的 CO_2 就会与混凝土成分中的 CaCO_3 发生反应生成重碳酸钙 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, 使混凝土遭到腐蚀。

(四) 基坑涌水现象

当工程基坑设计在承压含水层的顶板上部时, 开挖基坑必然会减少承压水顶板隔水层的厚度, 当隔水层变薄到一定程度经受不住承压水头的压力作用时, 承压水的水头压力将会顶裂、冲毁基坑底板向上突涌, 从而出现基坑突涌现象。基坑突涌不仅破坏了地基强度, 给施工带来困难, 而且给拟建工程留下安全隐患。

(五) 地下水的浮托作用

在地下水静水位的作用下, 建筑物基础的底面所受的均布向上的静水压力, 被称为地下水的浮托力。地下水上升产生的浮托力对地下室的防潮、防水及稳定性会产生较大的影响。

为了平衡地下水的浮托力, 避免地下室或地下构筑物上浮, 目前国内常采用抗拔桩或抗拔锚杆等抗浮设计, 即先在基坑底面设置深孔抗拔桩的端嵌入建筑物基础底板以拉阻基础上浮。

(六) 路基翻浆

路基翻浆主要发生在季节性冰冻地区的春融时节, 以及盐渍、沼泽等地区。因为地下水位高、排水不畅、路基土质不良、含水过多, 经行车反复作用, 路基会出现弹簧、裂缝、冒泥浆等现象。

根据导致路基翻浆的水类来源的不同, 可将翻浆分为表 4-4 中所列类型。根据翻浆高峰期路基、路面的变形破坏程度, 又可将翻浆分为三个等级, 见表 4-5。

表 4-4 翻浆分类

翻浆类型	导致翻浆的水类来源
地下水类型	受地下水影响, 土基经常发生潮湿, 导致翻浆。地下水包括上层滞水、潜水、层间水、裂隙水、泉水、管道漏水等。潜水多见于平原区, 层间水、裂隙水、泉水多见于山区

地表水类型	受地表水的影响，土基经常发生潮湿。地表水主要指季节性积水，也包括因路面排水不良而造成的路旁积水和路面渗水
土体水类	因施工遇雨或用过湿的土壤筑路堤，造成土基原始积水量过大，在负温度作用下使上部含水量显著增加导致翻浆
气态水类	在冬季强烈的温差作用下，土水中主要以气态形式向上运动，聚积于土基顶部和路面结构层内，导致翻浆
混合水类	受地下水、地表水、土体水或气态水等两种以上水类综合作用产生的翻浆。此类翻浆需要根据水源主次定名

表 4-5 翻浆分级

翻浆等级	路面变形破坏程度
轻型	路面龟裂、湿润，车辆行驶时有轻微弹簧现象
中型	大片裂纹、路面松散、局部鼓包、车辙较浅
重型	严重变形、翻浆冒泥、车辙很深

工程案例

为判定某公路环境土、地下水的化学类型、评价其对建筑材料及钢筋砼的腐蚀性，对全线所采取水样进行腐蚀性分析试验，试验项目包括：简分析+侵蚀 CO₂。详见《水质分析报告》。区内地表下及地下水的 PH 值为 7.8-7.9，属弱碱性水，总硬度为 400.5mg/L-482.7mg/L，属极硬水，地下水类型为 SO₄-HCO₃--Ca-Mg 型水。本次对沿线地表水和地下水按《公路工程地质勘察规范》附录 K 进行判定腐蚀性判定可知，沿线地表水及地下水对混凝土具有微腐蚀性。

水质分析报告

工程名称：某公路工程

取样地点：某大桥（窟野河河水）

取样时间：2015 年 11 月 10 日

分析时间：2015 年 12 月 1 日

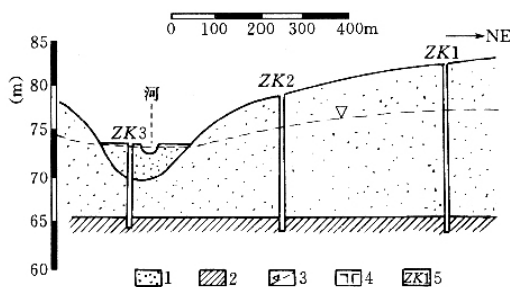
物理性质	颜色	无	透明度	透明	硬度(以 CaCO ₃ 计)mg/L			
	气味		悬浮物		总硬度	暂时硬度	永久硬度	负硬度
	口味		沉淀	少量	662.6	482.7	179.9	0.00
简 项 分 析					特 殊 分 析			
含量	含 量				项 目	mg/L	项 目	mg/L
	mg/L	毫克当量/L	毫克当量/L/100					

阳离子	K ⁺	34.16	0.87	7.68	溶解性总固体			
	Na ⁺	53.20	2.31	20.33	固形物			
	Ca ²⁺	92.60	4.62	40.59	灼烧残渣			
	Mg ²⁺	43.45	3.58	31.41	灼烧减量			
	Fe ³⁺	/			消耗氧			
	Fe ²⁺	/			溶解氧			
	NH ₄ ⁺	/			游离 CO ₂	7.43		
					侵蚀 CO ₂	0.00		
					固定 CO ₂			
					可容 CO ₂			
阴离子	总 计	223.41	11.38	100.00	N ₂ O ₅			
	CO ₃ ²⁻	24.83	0.83	7.28	N ₂ O ₃			
	HCO ₃ ⁻	240.92	3.95	34.72	Br ⁻			
	Cl ⁻	60.83	1.72	15.09	I ⁻			
	SO ₄ ²⁻	234.40	4.88	42.91	HBO ₂ ⁻			
	NO ₃ ⁻	/			CN ⁻			
	NO ₂ ⁻	/			酚			
	F ⁻	/			总碱度(以 CaCO ₃ 计)		482.7	
	PO ₄ ³⁻	/			PH 值		7.8	
					水的类型	SO ₄ —HCO ₃ —Cg—Mg 型水		
					评 价			
	总 计	560.98	11.37	100.00				

技能训练 8 潜水等水位线图的绘制与应用

在公路设计和施工中,为了了解潜水的分布情况,常需要绘制水文地质剖面图和潜水等水位线图。

1. 水文地质剖面图(又称剖面图):按一定比例尺,选择有代表性的剖面方向,首先绘制地形剖面,然后根据钻孔、试坑或井、泉的地层柱状图资料绘制地质剖面图,然后标出剖面图上各井、孔的潜水位、连出潜水面,即绘成潜水剖面图,如实图 4-8 所示。



1—砂土; 2—粘性土; 3—潜水面; 4—钻孔; 5—钻孔编号

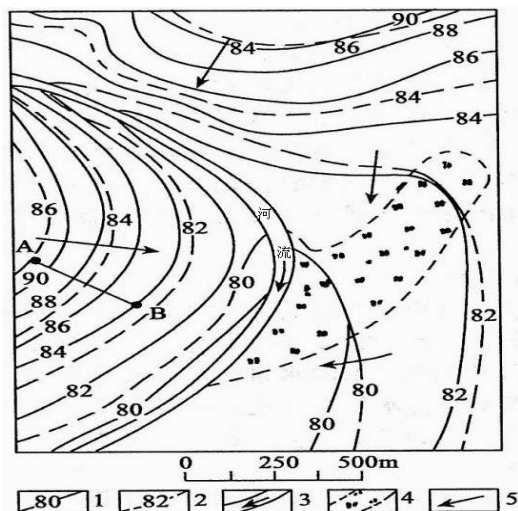
图 4-8 水文地质剖面图

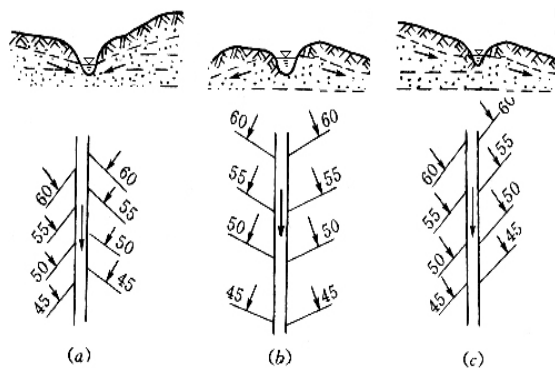
2. 潜水等水位线图:等水位线图是反映潜水面形状的一种平面图,绘制方法与地形等高线图绘制方法基本相同。以地形图为地图,根据工程要求的精度,把大致相同的时间内测得的潜水面各点(如井、泉、钻孔、试坑等)的水位资料,标在同一地形图上,用内插法将水位标高相同的各点连接起来,便绘成一幅潜水面等高线图,即潜水等水位线图,如实图 3-2 所示。

因潜水面随季节变化明显,所以等水位线图必须注明水位的测定日期。通过不同时期等水位线图的对比,可以了解潜水的动态。

3. 潜水等水位线图的应用

1) 确定潜水的流向及水力坡度 垂直等水位线从高水位指向低水位的方向,





1—地形等高线；2—等水位线；3—河流；

4—沼泽；5—潜水流向

实图 4-10 水与河水的相互关系

图 4-9 潜水等水位线图

即为潜水的流向，常用箭头表示，如实图 4-9 中箭头指向。在流动方向上，任意两点的水位差 (ΔH) 除以该两点间的实际水平距离 (L)，即为此两点间的平均水力坡度 ($j = \Delta H / L$)。一般潜水的水力坡度很小，常为千分之几至百分之几。

2) 确定潜水与河水的补排关系 在近河等水位线图上可以判定潜水与河水的补排关系，一般情况下潜水与河水的补排关系有以下三种：

河水排泄潜水 如实图 4-10 (a) 所示，潜水位高于河水位，潜水面倾向河流，多见于河流的中上游山区。

河水补给潜水 如实图 4-10 (b) 所示，潜水位低于河水位，潜水面背向河流，多见于河流下游地区（如黄河下游地区）。

河水一岸补给潜水，一岸排泄潜水 如实图 4-10 (c) 所示，即一岸潜水位高于河水位，潜水面倾向河流，一岸潜水位低于河水位，潜水面背向河流，这种情况一般出现在山前地区的河流。

3) 确定潜水的埋藏深度 某点地面标高减去该点潜水位即为此点潜水埋藏深度。根据各点的埋藏深度，可进一步作出潜水埋藏深度图。

4) 确定含水层厚度 若在等水位线图上有关水底板等高线时，某点含水层厚度等于该点潜水面与隔水底板标高之差。

5) 分析推断含水层透水性及厚度变化 若等水位线由密变疏，说明潜水面坡度由陡变缓，可以推断含水层透水性由弱变强或含水层厚度由薄变厚。反之则可能是含水层透水性变弱或厚度变薄，见图 3-11 所示。

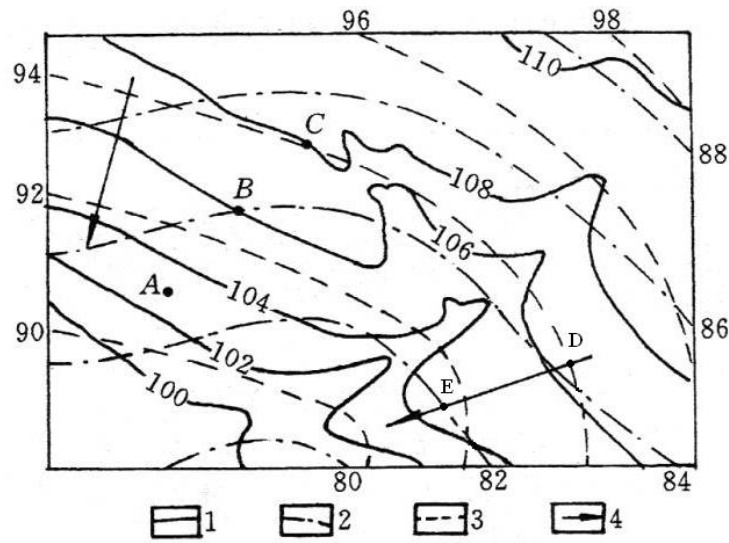
另外，根据等水位线图还可以合理布置给水或排水建筑物位置，一般应在平行等水位线和地下水汇流处开挖截水渠或打井。

技能训练 8 承压水等水压线图绘制与应用

1. 承压水等水压线图绘制

承压水等水压线图与潜水等水位线图的绘制方法相似。在承压含水层分布区，将各观测点（钻孔、井、泉等）的初见水位（即含水层顶板高程）和稳定水位（即承压水位）等资料，绘在一定比例尺的地形图上，用内插法将

承压水位相等高程的点连接起来，即得等水压线图，如实图 4-11 所示。



1-地形等高线；2-含水层顶板等高线；3-等水位线；4-地下水流向

实图 4-11 承压水等水压线图（比例尺 1: 100）

2. 等水压线图的应用

（1）确定承压水流向并计算某两点间的水力坡度：垂直于等水压线，由高水位指向低水位的方向即为承压水流向，一般用箭线表示，如实图 3-4 所示。在承压水流向方向上，任意两点间的水压差与该两点间的实际水平距离之比值，即为此两点间的平均水力坡度， $j=\Delta H/L$ 。

（2）确定承压含水层的埋藏深度：某点地面高程减去该点含水层顶板高程即为此点承压含水层埋藏深度。据此可以确定供水井、孔的开挖深度。

（3）确定承压水位的埋藏深度：某点地面高程减去该点承压水位即得该点承压水位的埋藏深度，此值可以是正值也可以是负值，正值表示承压水位有一定埋藏深度，负值表示在此处打井或钻孔，一旦揭露上部隔水层，水会自溢于地表，形成自流井（孔）。承压水位埋藏深度越小，开采利用越方便，可据此选择开采承压水的地点。

（4）确定承压水头值：某点承压水位与该点含水层顶板的差值，即为此点的承压水头值。据此可以预测开挖基坑和洞室时的水压力。

（5）可以为合理布置给水与排水建筑物的位置提供依据：如在含水层埋藏较浅、承压水头较高，汇水条件好的地方，打出涌水量大的自流井。

承压水水质良好，水量丰富，是良好的供水水源。

【例 3—1】根据实图 3-4，确定 A、B、C 三点的水文地质参数。

【解】A、B、C 三点的水文地质参数用下表表示

	A	B	C
1、地面高程(m)	103	106	108
2、承压水位(m)	91	92.5	94
3、含水层顶板高程(m)	83	84	85
4、含水层埋藏深度(m)	20	22	23

5、承压水位埋藏深度(m)	12	13.5	14
6、水头(m)	8	8.5	9

思考题

- 1.地下水的物理性质包括哪些内容？地下水的化学成分有哪些？
2. 什么是矿化度、水的硬度？
3. 地下水按埋藏条件可以分为哪几种类型？
4. 什么是含水层、隔水层、泉？
5. 什么是潜水？简述潜水的特征。简述潜水等水位线的用途。
6. 什么是承压水？简述承压水的特征。简述承压水等水压线的用途。
7. 潜水和承压水有什么区别？
8. 从工程角度研究地下水引起的环境问题主要有哪些？
9. 地下水对混凝土的侵蚀类型有哪些？

第五章 土的工程分类和特殊性土

学习目标：

- (1) 了解土的工程分类及野外鉴定方法。
- (2) 掌握几种特殊土的概念，了解特殊土的特征。
- (3) 熟悉几种不同特殊土的工程防治及处理方法。

第一节 土的分类和野外鉴别

一、土的分类

对于土的工程分类法，世界各国、各地区、各部门，根据自己的传统和经验，都有自己的分类标准，例如：国家标准《土的分类标准》、国家标准《岩土工程勘察规范》、行业标准《港口工程地质勘察规范》、水利部行业标准《土工试验规程》、行业标准《铁路桥涵地基和基础设计规范》、行业标准《公路土工试验规程》和行业标准《公路工程地质勘察规范》。但总体原则是：粗粒土按粒度成分及级配特征；细粒土按塑性指数和液限，即塑性图法；有机土和特殊土则分别单独各列为一类。

行业标准《公路工程地质勘察规范》(JTG C20-2011)中的土分类

1. 土可根据其地质成因分为残积土、坡积土、崩积土、冲积土、洪积土、风积土、湖积土、海积土和冰积土等。

2. 土可根据其具有的工程地质特性分为黄土、冻土、膨胀土、盐渍土、软土、红黏土和填土等。

3. 土可根据颗粒级配或塑性指数划分为碎石土、砂土、粉土、黏性土、特殊土和人工填土。各类土的划分标准如下：

1. 碎石土为粒径大于 2mm 的颗粒含量超过总质量 50%的土。再根据颗粒级配及形状按表 5-1 细分为漂石、块石、卵石、碎石、圆砾和角砾 6 类。

表 5-1 碎石土的分类

土的名称	颗粒形状	颗粒级配
漂石	圆形及亚圆形为主	粒径大于 200mm 的颗粒含量超过总质量 50%
块石	棱角形为主	
卵石	圆形及亚圆形为主	粒径大于 20mm 的颗粒含量超过总质量 50%
碎石	棱角形为主	
圆砾	圆形及亚圆形为主	粒径大于 2mm 的颗粒含量超过总质量 50%
角砾	棱角形为主	

2. 砂土为粒径大于 2mm 的颗粒含量不超过总质量 50%，且粒径大于 0.075mm 的颗粒超过总质量 50%的土。砂土按表 5-2 分为砾砂、粗砂、中砂、细砂和粉砂。

表 5-2 砂土的分类

土的名称	粒组级配
砾砂	粒径大于 2mm 的颗粒含量占总质量 25%~50%
粗砂	粒径大于 0.5mm 的颗粒含量超过总质量 50%
中砂	粒径大于 0.25mm 的颗粒含量超过总质量 50%
细砂	粒径大于 0.075mm 的颗粒含量不超过总质量 85%
粉砂	粒径大于 0.075mm 的颗粒含量超过总质量 50%

3. 粉土为塑性指数 $I_p \leq 10$ 且粒径大于 0.075mm 的颗粒含量不超过总质量 50% 的土。

粉土含有较多的粉粒，其工程性质介于黏性土和砂性土之间，但又不完全与黏性土或砂土相同。粉土的性质与其粒径级配、密实度和湿度等有关。

4. 黏性土为塑性指数 $I_p > 10$ 且粒径大于 0.075mm 的颗粒含量不超过总质量 50%的土。黏性土的工程性质不仅与粒组含量和黏土矿物的亲水性等有关，而且

也与成因类型及沉积环境等因素有关。

黏性土根据塑性指数 I_p 值按表 5-3 分为黏土、粉质黏性土。

表 5-3 黏性土的分类

塑性指数	土的名称
$I_p > 17$	黏土
$10 < I_p \leq 17$	粉质黏性土

二、土的野外鉴别

在公路路线勘测过程中，除了在沿路线按需要采集一些土样带回实验室测试有关技术指标外，还常常要在现场用目测、手触或借助简易工具和试剂及时直观地对土的性质和状态作出初步鉴定，其目的是为选线、设计和编制工程预算，提供第一手资料。对此，要求我们在现场勘测时应做到：第一，对取样的土层的宏观情况作出较详细的描述和记录，并对其土层的基本性质作出初步判别；第二，对所取土样应直观地作出肉眼描述和鉴别，并定出土名，以供室内试验后定名参考。

（一）对土的基本描述

在野外用肉眼鉴别土时，要针对不同土类所规定的内容进行描述，如表 5—4。

表 5-4 土的野外描述

分类	描述内容
碎石类土	名称、颜色、颗粒成分、粒径组成、颗粒风化程度、磨圆度、充填物成分、性质及含量、密实程度、潮湿程度等
砂类土	名称、颜色、结构及构造、颗粒成分、粒径组成、颗粒形状、密实程度、潮湿程度等
黏性土	名称、颜色、结构及构造、夹杂物性质及含量、潮湿及密实程度等

（二）土的野外鉴别

1. 碎石类土密实程度鉴别，见表 5-5。

表 5-5 碎石类土密实程度鉴别

密实程度	骨架颗粒含量和排列	可挖性	可钻性
密实	骨架颗粒质量大于总质量的 70%，呈交错排列，连续接触	锹镐挖掘困难，用撬棍方能松动，坑壁稳定	钻进困难，钻杆、吊锤跳动剧烈，孔壁较稳定
中密	骨架颗粒质量等于总质量的 60%~70%，呈交错排列，大部分接触	锹镐可挖掘，井壁有掉块现象，从井壁取出大颗粒处，能保持凹面形状。	钻进较困难，钻杆、吊锤跳动不剧烈，孔壁有坍塌现象
松散	骨架颗粒质量小于总质量的 60%，排列混乱，大部分不接触	锹可以挖掘，井壁易坍塌，从井壁取出大颗粒后，立即坍塌	钻进较容易，钻杆稍有跳动，孔壁易坍塌

2. 砂土的野外鉴别

表（5-6）砂土的野外鉴别

鉴别特征	砾砂	粗砂	中砂	细砂	粉砂
观察颗粒粗细	约有 1 / 4 以上颗粒比荞麦或高粱粒（2mm）大	约有一半以上颗粒比小米粒（0.5mm）大	约有一半以上颗粒与砂糖或白菜籽（>0.25mm）近似	大部分颗粒与粗玉米粉（>0.1mm）近似	大部分颗粒与小米粉（<0.1mm）近似
干燥时状态	颗粒完全分散	颗粒完全分散，个别胶结	颗粒基本分散，部分胶结，胶结部分一碰即散	颗粒大部分分散，少量胶结，胶结部分稍加碰撞即散	颗粒少部分分散，大部分胶结（稍加压既能分散）
湿润时用手拍后的状态	表面无变化	表面无变化	表面偶有水印	表面有水印（翻浆）	表面有显著翻浆现象
粘着程度	无粘着感	无粘着感	无粘着感	偶有轻微粘着感	有轻微粘着感

3. 黏性土、粉土的野外鉴别

表（5-7）黏性土、粉土的野外鉴别

鉴别方法	分类		
	黏土	粉质黏土	粉土
	塑性指数		
	$I_p > 17$	$10 < I_p \leq 17$	$I_p \leq 10$
湿润是用刀切	切面非常光滑，刀刃有粘腻的阻力	稍有光滑面，切面规则	无光滑面，切面比较粗糙
用手捻摸时的感觉	湿土用于捻摸有滑腻感，当水分较大时极易粘手，感觉不到有颗粒的存在	仔细年捻摸感觉到有少量细颗粒，稍有滑腻感，有粘滞感	感觉有细颗粒存在或感觉粗糙，有轻微粘滞感或无粘滞感
粘着程度	湿土极易粘着物体（包括金属与玻璃），干燥后不易剥去，用水反复洗才能去掉	能粘着物体，干燥后较易剥掉	一般不粘着物体，干燥后一碰就掉
湿土搓条情况	能搓成小于 0.5mm 的土条（长度不短于手掌），手持一端不易断裂	能搓成 0.5~2mm 的土条	能搓成 2~3mm 的土条
干土的性质	坚硬，类似陶器碎片，用	用锤易击碎，用手难捏	用手很易捏碎

	锤击方可打碎，不易击成粉末	碎	
--	---------------	---	--

4. 新近沉积土的野外鉴别（表 5-7-1）

表 5-7-2 新近沉积土野外鉴别

沉积环境	颜色	结构性	含有物
河漫滩、山前洪、冲积扇（锥）的表层、古河道、已填塞的湖、塘、沟、谷和河道泛滥区	较深而暗，呈褐、暗黄或灰色，含有机质较多时带灰黑色	结构性差，用手扰动原状土时极易变软，塑性较低的土还有振动水析现象	在完整的剖面中无粒状结核体，但可能含有圆形及亚圆形钙质结核体（如礞结石）或贝壳等，在城镇附近可能含有少量碎砖、瓦片、陶瓷、铜币或朽木等人类活动遗物

5. 细粒土的简易鉴别

表 5-7-3 细粒土的简易鉴别

半固态时的干强度	硬塑~可塑态时的后捻感和光滑度	土在可塑时		软塑~流动态时的摇震反应	土类代号
		土条可搓成的最小直径（mm）	韧性		
低-中	粉粒为主，有砂感，稍有黏性，捻面较粗糙，无光泽	>3 或 3-2	低-中	快-中	ML
中-高	含砂砾，有黏性，稍有滑腻感，捻面较光滑，稍有光泽	2-1	中	慢-无	CL
中-高	粉粒较多，有黏性，稍有滑腻感，捻面较光滑，稍有光泽	2-1	中-高	慢-无	MH
高-很高	无砂感，黏性大，滑腻感强，捻面光滑，有光泽	<1	高	无	CH

注：1. 摘自《土的工程分类标准》（GB / T50145-2007）。

2. 凡呈黑灰色有臭味的土，应在相应土类代号后加代号“0”，如 MLO、CLO、MHO、CHO。

3. 干强度可根据用力的大小区分：很难或用力才能捏碎或掰断者为干强度高；稍用力即可捏碎或掰断者为干强度中等；易于捏碎和捻成粉末者为干强度低。

4. 韧性可根据再次搓条的可能性，分为：能揉成土团，再搓成条，捏而不碎者为韧性高；可再揉成团，捏而不易碎者为韧性中等；勉强或不能再揉团，稍捏或不捏即碎者，为韧性低。

5. 摇震反应根据上述渗水和吸水反应快慢，可区分为：立即渗水及吸水者为反应快；渗水及吸水中等者为反应中等；渗水吸水慢及不渗水不吸水者为反应慢或无反应。

第二节 特殊土

特殊土是指在特定地域内，由于生成条件的特殊，使之不同于一般土，而具有某些特殊性质的土。例如：湿陷性黄土、红黏土、软土、填土、膨胀土、冻土、盐渍土等。对在这些特殊土地基必须给予处理。

一、湿陷性黄土

（一）黄土的概念

黄土是指第四纪以来在干燥气候条件下沉积而成的多孔性具有柱状节理的黄色粉性土。当土中含有砂粒、黏土和少量方解石的混合物时，呈浅黄或黄褐色。

黄土主要分布于世界大陆比较干燥的中纬度地带。全世界黄土分布的总面积大约有 1300 万平方公里。我国黄土的分布，西起甘肃祁连山脉的东端，东至山西、河南、河北交接处的太行山脉，南抵陕西秦岭，北到长城，包括陕西、宁夏、甘肃、青海等五个省区的 220 多个县市，面积达 5 4 万平方公里，占全国土地面积的百分之六。我国西北的黄土高原是世界上规模最大的黄土高原，华北的黄土平原是世界上规模最大的黄土平原。

实际上，黄土地区沟壑纵横，常发育成为许多独特的地貌形态，常见的有：黄土源、黄土梁、黄土峁、黄土陷穴等地貌。

（二）黄土的特征及分类

一般认为黄土有如下特征：① 颜色为淡黄、灰黄、黄褐、棕褐或棕红色；② 颗粒组成以粉粒（0.075-0.005mm）为主，一般不含粗颗粒，富含碳酸钙，常形成钙质结核（俗称“砂姜石”）。③具多孔性，一般肉眼可见大孔隙、虫孔等。孔隙比一般为 0.7-1.2。④ 土质均匀、无层理，有堆积间断的剥蚀面和埋藏的古土壤层。⑤ 具垂直节理，边坡在天然状态下能保持直立。⑥表层多具湿陷性，易产生潜蚀形成陷穴或落水洞。具有上述大部分特征，含层理、颗粒组成比较复杂（含砾石、砂等）的土，应定名为黄土状土。

我国黄土的堆积时代包括整个第四纪。黄土地层的划分列于表 5-8

表 5-8 黄土地层的划分

年代		黄土名称		成因		湿陷性
全新世 Q4	近期 Q42	新黄土	新近堆积黄土	次生黄土	以水成为主	具有湿陷性，常具有高压缩性
	早期 Q41		黄土状土			

晚更新世 Q3	老黄土	马兰黄土	原生黄土	以风成为主	一般具湿陷性
中更新世 Q2		离石黄土			上部部分土层具有湿陷性
早更新世 Q1		午城黄土			不具湿陷性

(三) 黄土的湿陷性

黄土的湿陷性是指天然黄土在一定压力作用下,被水浸湿后土的结构受到破坏而发生突然下沉的现象。具有这种特性的黄土称为湿陷性黄土;不具有这种特性的称为非湿陷性黄土。湿陷性黄土往往在地面上形成碟形洼地或陷穴,常引起建筑物基础的变形而开裂,甚至造成倒塌。所以,黄土的湿陷性对建筑工程,特别是基础工程有着重要的影响。

湿陷性黄土通常分为两类:一是被水浸湿后在自重压力下发生湿陷的,称为自重湿陷性黄土;二是被水浸湿后在自重压力下不发生湿陷,而在附加压力作用下产生湿陷的,称为非自重湿陷性黄土。在公路工程中,对自重湿陷性黄土应加以注意。

(四) 黄土地区的防治处理工程

由于黄土结构疏松,具大孔隙、抗水性能差、易崩解、潜蚀、冲刷和湿陷等特性,使之在黄土地区的工程出现多种病害,如路堑边坡的剥落、冲刷、坍塌、滑坡;路堤和房屋建筑不均匀沉陷、变形开裂等。因此,在工程中必须采取相应的措施,以保证安全。

1. 边坡防护

(1) 捶面护坡 在西北黄土地区,为防止坡面剥落和冲刷,可用水泥、石灰、砂子、炉渣和粘土等材料,在黄土路堑边坡上捶面防护。此法适用于年降雨量稍大地区和坡率不陡于 1:0.5 的边坡。防护层厚度为 10~15cm,一般采用等厚截面;只有当边坡较高时,才采用上薄下厚截面,基础设有浆砌片石及四合土捶面护坡墙脚。

(2) 浆砌片石或干砌片石防护 此法适用于黄土路堑边坡坡高在 1~3m 范围内发生严重冲刷和应力集中的边坡下部。这种防护的效果较好,常被广泛采用。

2. 地基处理

在湿陷性黄土地区修建工程时,需做地基处理,用以改善土的力学性质,消除或减少地基因浸水而引起的湿陷变形,同时经过处理的地基,其承载力也有所

提高。地基处理方法主要有以下几种：

(1) 重锤夯实表层 此法能消除地基直接持力层的湿陷性，效果较好，被广泛采用。

(2) 土垫层或灰土垫层 土垫层适用于处理稍湿的地基，处理深度一般为 1~3m，能消除地基直接持力层的湿陷性，减小或消除地基湿陷变形；增强地基的防水效果，减少土垫层下未处理土层的浸水机会。

(3) 土桩深层加密 适用于消除 5~15 m 深度内地基土的湿陷性。桩孔可用打桩方法取得，然后在桩孔内以最佳含水量的土料分层夯填。

(4) 硅化加固 适用于加固地下水位以上渗透系数 $K=0.1\sim 2.0\text{m/d}$ 范围内湿陷性黄土地基。加固后的地基不透水,可从根本上消除湿陷性。但这种方法费用昂贵,一般只用于小范围内的加固处理。

3. 排水

由于黄土的抗水性能差，故在黄土地区修筑公路和其它建筑物时，必须重视排水设施，使水流畅通无阻。同时，对天沟、吊沟和侧沟以及冲刷较大的部位的沟底铺砌加固，防止水流渗漏，以免使排水系统遭到破坏,这是保证建筑物稳定的重要措施之一。

二、软土

软土是指滨海、湖沼、谷地、河滩沉积的天然含水量高、孔隙比大、压缩性高、抗剪强度低的细粒土。它主要包括内陆湖塘盆地、江河海洋沿岸和山间洼地沉积的各种淤泥和淤泥质粘性土。广泛分布在上海、天津、宁波、温州、连云港、福州、厦门、广州等东南沿海地区及昆明、武汉等内陆地区。此外，各省市都存在小范围的淤泥和淤泥质土。

(一) 软土的工程性质

1. 软土的物理力学性质

(1) 天然含水量高、孔隙比大 软土的孔隙比 $e > 1.0$ ，天然含水量一般都大于 30%，有的达 70%，甚至高达 200%，多呈软塑或潜液状态，一经扰动很容易破坏其结构而流动，山区软土的含水量变化幅度更大。

(2) 压缩性高 软土的压缩系数 α_{1-2} 一般在 $0.05 \times 10^{-5} \text{Pa}^{-1}$ 以上，最高达 $0.3 \times 10^{-5} \text{Pa}^{-1}$ 以上。压缩性随天然含水量及液限的增加而增高。软土多属近代沉

积，为欠固结土。同时它的矿物成分、粒度成分及结构决定了它具有高亲水性及低透水性，水不易排出，也不易压密。因此，软土在建筑物荷载作用下，土体沉降变形量大，而且沉降不均匀。

(3) 抗剪强度低 软土的 φ 值大多小于或等于 10° ，最大也不超过 20° ，有的甚至接近于0。 c 值一般在 $0.05\text{--}0.15\times 10^5\text{ Pa}$ ，很少超过 $0.2\times 10^5\text{ Pa}$ ，有的趋近于0，故其抗剪强度很低。经排水固结后，软土的抗剪强度虽有所提高，但由于软土孔隙水渗出很慢，其强度增长也很缓慢。因此，要提高软土的强度，必须在建筑物的施工和使用期间控制加荷速度，特别是开始阶段的加荷不能过大，否则土中水分来不及排出，不但土体强度不能提高，反而会由于土中孔隙水压力的急剧增大而破坏土体结构发生挤出。

(4) 透水性低 由于大部分软土地层中存在着带状砂层，所以在垂直方向和水平方向的渗透系数 K 值不一样，一般垂直方向的要小， K 值约在 $10^6\sim 10^8\text{ cm/s}$ ，几乎是不透水的。因此软土的排水固结需要相当长的时间，同时，在加载初期，地基中常出现较高的孔隙水压力，影响地基土的强度。

(5) 触变性 软土是“海绵状”结构性沉积物，当原状土的结构未受到破坏时，常具有一定的结构强度，但一经扰动，结构强度便被破坏。如果在含水量不变的条件下，静置不动又可恢复原来的强度。这种因受扰动而强度减弱，再静置而又增强的特性，称为软土的触变性。软土中含亲水性矿物（如蒙脱石）多时，其触变性较显著。从力学观点来鉴别触变性的大小，用灵敏度来表示。软土的灵敏度一般在 $3\sim 4$ 之间，个别情况要达 $8\sim 9$ ，属中高灵敏性土。灵敏度高的土，其触变性也大，所以，软土地基受动荷载后，易产生侧向滑动、沉降或基底面向两侧挤出等现象。我国软土多属中等灵敏度的，个别的为高灵敏度土。

(6) 流变性 是指在一定荷载的持续作用下，土的变形随时间而增长的特性。软土是一种具有典型流变性的土，它在剪应力作用下，土体将发生缓慢而长期的剪切变形，使其长期强度小于瞬时强度。这对边坡、堤岸等的稳定性极为不利。因此，用一般剪切试验求得的抗剪强度值，应加适当的安全系数。

2. 不同成因软土的物理力学指标

由于软土的沉积环境不同，导致土的结构强度上有所差别，因此，有时土的物理性质指标相差不多，而力学性质往往有很大的不同，这种特性在工程上应给

予足够的重视。现将不同成因软土的物理力学性质列表，如表 5-9 所示。

表 5-9 不同成因软土的物理力学性质指标

类型	天然密度 ρ (g/cm ³)	天然含水 w (%)	天然孔隙 比 e	抗剪强度		压缩系数 α ($1 \times 10^{-5} \text{pa}^{-1}$)
				内摩擦角 (φ)	凝聚力 C (kPa)	
海滨淤积土	1.5~1.8	40~100	1.0~2.3	1~7	2~20	0.12~0.35
河滩淤积土	1.5~1.9	30~60	0.8~1.8	0~10	5~30	0.08~0.3
湖泊淤积土	1.5~1.9	35~70	0.9~1.8	0~11	5~25	0.08~0.3
谷地淤积土	1.4~1.9	40~120	0.2~1.5	0	5~19	>0.05

(二) 软土地基的加固与处理

对软土地基的处理效果如何，工程地质勘探是关键。因此，在对软土地基进行处理前，应认真详细地对软土地基的工程地质情况勘探清楚，以便针对软土地基采取相应的处理措施。软土地基的处理措施及其适用性如表 5-10 所示。

表 5-10 软土地基的处理措施及其适用性

序号	处理措施	适用情况					处理有效深度/m	高路堤适用性
		淤泥	黏性土		非黏性土	湿陷黄土		
			饱和	非饱和				
1	强夯			*		*	5~10	*
2	挤密砂桩	*	*	*	*		10~20	*
3	石灰桩	*		*	*		15~20	*
4	灰土桩			*		*	15~20	
5	碎石桩	*	*	*	*		15~20	*
6	塑料排水板	*	*			*	15~20	
7	灌浆	*	*	*	*	*	15~20	
8	堆载预压	*	*	*	*		20~30	*
9	真空预压	*	*				10~20	
10	降水预压	*	*				25~30	
11	水泥搅拌桩	*	*	*			15~20	
12	高压注浆	*	*	*	*		15~20	*
13	石灰土垫层			*	*	*	1~3	
14	透排水垫层		*	*	*		3~5	*
15	置换土	*	*	*	*		1~2	*
16	抛石挤淤	*					1~3	*
17	土工织物	*	*	*	*	*	5~8	*
18	深层加固		*	*	*	*	15~20	*
19	反压护道			*	*		5~8	

注：*为适合采用。

三、盐渍土

盐渍土是指在地表土层 1m 厚度内，盐土和碱土以及各种盐化、碱化土壤的

统称。盐渍土在我国主要分布在西北干旱地区的新疆、青海、甘肃、宁夏、内蒙古等地地势低平的盆地与平原中。华北平原、松辽平原、大同盆地以及青藏高原的一些低洼湖泊也有分布。

盐渍土中的易溶盐含量随含水量及存在的状态不同而变化。有的以固态结晶状态分布于土粒之间，有的则以液态溶液存在于土的孔隙之中，而且随外界条件的变化，固—液态可以相互转化。这种转化以及易溶盐的性质都直接影响着盐渍土的物理力学性质。因此，在盐渍土地区布设路线，应充分认识盐渍土对公路工程的危害性，以便采取一些必要的措施保证路基的安全与稳定。

（一）盐渍土的形成与季节变化

1. 盐渍土的形成

盐渍土的形成过程是矿化度较高的地下水，沿着土层中毛细孔隙上升到地表或接近地表，经蒸发作用后，水中盐分凝析出来，聚集于地表或地表下不深的土层之中而形成盐渍土。盐渍土形成因具备三个基本因素：① 地下水的矿化度高，才有充分易溶盐的来源。② 地下水位较高，毛细作用能达到地表或接近地表，水分才有被蒸发的可能。地下水能通过土层蒸发而形成盐的深度，称为临界深度。地下水埋深大于临界深度时，就不易于形成盐渍土。临界深度的大小决定于土的毛细上升高度和蒸发强度。③ 气候比较干旱，一般年降雨量小于蒸发量的地区，易形成盐渍土。

由于盐渍土的形成受到上述因素的影响，故在分布上也有一定的地域性，一般多分布在地势较低，地下水位较高的地段。在不同地域内所形成的盐渍土，其性质也是不同的。按地域条件把我国盐渍土的形成分为：

（1）海滨盐渍土 沿海一带受海水的盐渍或海岸退移，经过蒸发，盐分残留于地面而形成。易溶盐中氯离子同硫酸根离子含量之比值，即 $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$ 较内陆型盐渍土的大。沿海地区气候比较湿润，降水量大，这对该地区盐渍土的稳定性影响很大，其分布也没有内陆盐渍土广泛。

（2）冲积平原盐渍土 主要是由于河床淤积抬高、修建水库等使沿岸地下水升高，同时沿岸地下水往往为河水补给，造成沿岸地区的土盐渍化。灌溉渠的水流渗漏，引起沿渠地下水上升，也能导致表土盐渍化。在冲积平原地区，表土盐渍化的类型和盐渍化程度相差较悬殊。

(3) 内陆盐渍土 多分布于干旱和半干旱地区，年蒸发量大于降水量，地势低洼，地下水埋藏浅、排泄不畅、矿化度高的地区，如我国的内蒙、甘肃、青海柴达木盆地、新疆塔里木盆地和哈密盆地等地。在内陆盆地，易溶盐由径流或地下水从高处带向低处，其分布规律受地形及水文地质条件的影响，盐渍化的性质和程度，也有盆地边缘向中心变化。

2. 盐渍土中盐分的季节变化

盐渍土中的盐分随着季节、气候和水文条件的不同而发生变化。干旱季节降雨少，蒸发量大，盐分向地表大量积聚，表土含盐量增多。雨季淋溶作用加强，地表一部分盐分被淋溶下渗，表土中的盐分减少。

(二) 盐渍土的分类及基本特性

1. 按形成条件分类

(1) 盐土 以含有氯盐及硫酸盐为主的盐渍土称为盐土。盐土通常是在地下水位高的低洼地内，盐分沿毛细孔隙上升，经蒸发而聚集于土的表层。在海滨被海水浸渍的地段也可形成盐土，在草原和荒漠中的洼地内，被地表水汇入洼地的盐分，经蒸发也能形成盐土。干旱季节，盐土表面常有白色盐霜或盐壳出现。

(2) 碱土 碱土的特点是表土层中含有较多的碳酸钠和重碳酸钠，不含或仅含微量的其它易溶盐类，其粘土胶体部分为吸附性钠离子所饱和。在深度 40~60m 的土层内含易溶盐氯化钠和硫酸钠最大，同时也聚集有碳酸钙和石膏。碱土可由盐土因地下水降低而形成，或由地表水渗入土中，水蒸发时形成。

(3) 胶碱土（龟裂粘土） 是荒漠或半荒漠低洼处所特有的土，大部分是粘性土或粉性土，表面光滑，不长植物；干燥时非常坚硬，常干裂成多角形。潮湿时立即膨胀，裂缝挤紧，成为不透水层，非常泥泞。这种土含易溶盐较少，因表层土中含有吸附离子和大量的粘土胶粒，故其亲水性很强。

2. 按含盐性质分类

盐渍土中常见的易溶盐主要是氯盐，其次是硫酸盐，少量是碳酸盐。根据氯离子同硫酸根离子含量之比 ($\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$)，以及碳酸根离子与碳酸氢根离子含量之和同氯离子与硫酸根离子含量之和的比值 $(\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) / (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$ ，将盐渍土分为五种，见表 5-11 所示。

表 5-11 盐渍土分类及盐渍土容许含盐量

盐渍土名称	$\frac{cl^{-}}{so_4^{2-}}$	$\frac{co_3^{2-} + Hco_3^{-}}{cl^{-} + so_4^{2-}}$	容许含盐量 (%)
氯盐渍土	2	—	5~8 (一般为 5%, 如加大夯实密度, 可提高含盐量, 但最高不超过 8%)
亚氯盐渍土	2~1	—	5 (其中硫酸盐含量不超过 2%)
亚硫酸盐渍土	1~0.3	—	5 (其中硫酸盐含量不超过 2%)
硫酸盐渍土	<0.3	—	2.5 (其中硫酸盐含量不超过 2%)
碱性盐渍土	—	>0.3	2 (其中易溶的碳酸盐含量不超过 0.5%)

3. 按含盐程度分类

按盐渍土中含盐的百分数、含盐性质和修筑路基的可用性分类, 见表 5-12 所示。

表 5-12 盐渍土按含量的分类

盐渍土名称	被利用土层的平均含盐量 (重量%)			修筑路基的可能性
	氯盐渍土及亚氯盐渍土	硫酸盐渍土及亚硫酸盐渍土	碱性盐渍土	
弱盐渍土	0.5~1	—	—	可用
中盐渍土	$\left. \begin{matrix} 1\sim5 \\ 5\sim8 \end{matrix} \right\} (1)$	$\left. \begin{matrix} 0.5\sim2 \\ 2\sim5 \end{matrix} \right\} (1)$	$\left. \begin{matrix} 0.5\sim1 \\ 1\sim2 \end{matrix} \right\} (2)$	可用
强盐渍土				可用, 但应采取措施
超盐渍土	>8	>5		不可用

注: (1) 其中硫酸盐含量不超过 2% 方可用;

(2) 其中易溶碳酸盐含量小于等于 0.5% 方可用。

4. 盐渍土的基本特性

盐渍土的基本特性因土中所含易溶盐的性质不同而异。土中常见的易溶盐类主要有三种:

(1) 氯盐 ($NaCl$ 、 KCl 、 $CaCl_2$ 、 $MgCl_2$): 氯盐渍土具有很大的溶解度和吸湿性, 且蒸发性弱, 能使土中保持一定量的水分, 促使土粒有较好的胶结, 其强度反较一般土高。在干旱地区 (如柴达木盆地) 用氯盐渍土填筑路堤, 易于夯实; 但因其吸湿性, 在潮湿的雨季, 土体过分饱水而易产生路基翻浆冒泥的病害。

(2) 硫酸盐 ($NaSO_4$ 、 $MgSO_4$) 没有吸湿性, 只在结晶时吸收一定数量的水分, 体积增大, 如 $NaSO_4 \cdot 10H_2O$ (芒硝), 但在 $32.4^{\circ}C$ 以上为无水芒硝, 体积缩小。硫酸盐渍土受季节和昼夜温度变化, 引起硫酸盐吸水结晶, 脱水溶解, 而使体积发生变化, 导致土体结构的破坏, 变得十分松散。这种松散作用只发生在地表 0.3m 厚的土层中, 如果用 >2% 的硫酸盐渍土作路堤填料时, 则松胀现象

特别显著，因而引起路肩及边坡土体变松，易被雨水冲走或被风吹蚀；路基会发生季节性的胀隆和缩陷，造成路堤不稳，增大养护工作量。

(3) 碳酸盐 (Na_2CO_3 、 NaHCO_3)。碳酸盐能增加粘性土的塑性和粘性。水溶液有很大的碱性反应，吸水性大，渗透系数小，因而膨胀作用非常突出。若土中碳酸盐含量 $>0.5\%$ 时，则土的隆胀量更为显著，隆胀的深度可达 $1\sim 3\text{m}$ 。路堤土体隆胀，造成路面凹凸不平。碳酸盐遇水溶解后，使土的密度削减，产生下沉现象。

(三) 盐渍土对工程的影响

1. 盐渍土对路基工程的影响

盐渍土的工程性质随易溶盐的种类和含盐量的大小而变化。盐分对土的作用，既有有利的方面，也有不利的方面。在干旱方面，氯盐的吸湿、保湿及胶结等作用常常有利于路基的稳定，在潮湿状态下，路基由于易溶盐的存在及其状态的转变（结晶与溶解的相互转化），能使路基土的密度减小，并较快地丧失其稳定性，造成道路泥泞，甚至坍塌，使翻浆更严重。当含有硫酸盐类时，对路基可产生有害的松胀作用，土体十分疏松，强度降低，失去稳定性。盐渍土的碱化作用，可使土膨胀性增加，破坏路面的平整。

2. 盐渍土对建筑材料的影响

(1) 当盐渍土中氯盐含量在 $3\%\sim 5\%$ 以下，硫酸盐含量在 2% 以下时，一般对沥青材料的稳定性无有害的影响。当含盐量超过上述数值时，随着含量的增加则延展度普遍下降，但对针入度和软化点的指标影响不大。

土中 Na_2CO_3 和 NaHCO_3 能使土的亲水性增加，并使土与沥青相互作用形成溶盐，使沥青材料发生乳化。

(2) 土中氯盐的总含量在 $2\%\sim 3\%$ 以下时，能加速水泥硬化、降低冰点，对于混凝土与水泥加固土的强度是有利的。

(3) 硫酸盐的含量超过 1% 和氯盐含量超过 4% 时，就会对水泥产生腐蚀作用。尤以硫酸盐结晶水化物的影响最大，会造成水泥加固的土、砂浆、混凝土疏松、剥落、掉皮等侵蚀现象。

(4) 盐渍土中的各种易溶盐对砖、钢铁、橡胶等材料均有不同的腐蚀性。对木材、竹材、花岗岩等材料的腐蚀性很轻微。因此，在盐渍土地区修建工程，

应加强防腐蚀的措施。

（四）盐渍土地区的工程处治措施

盐渍土有很强的腐蚀性，易造成地基松软，路面翻浆，对工程地基危害性极大。根据盐渍土的性质及对路基工程的影响，一般常采用的措施有以下几种：

1. 控制填料的含盐量

在盐渍土地区，就地取土作填料，为了达到设计的填土密度，含盐量应控制在一定的指标内。不同盐渍土的容许含量不同，其具体数值见表 10—4。如当地无其它适宜的填料，必须用含盐量大的土作填料时，可根据当地的自然条件，通过试验，采取相应措施，路基填料的容许含盐量也可不受表 10—4 的限制。含盐量大的土层，一般均分布于地表数十厘米范围内，故当取土坑和路基基底的地表含盐量超过表 10—4 的标准时，在填筑前先进行铲除。

2. 隔断毛细水

如当地的填料来源困难，不易采用提高路堤方法解决时，则采用隔断毛细水的措施。隔断毛细水的方法有两种：

（1）渗水土隔断法 一般选用渗水性强的粗大颗粒材料，如卵石（碎石）土、砂石土或粗砂土等，铺在路堤底部或腰部。隔断土层的厚薄，视该材料的毛细水上升高度而定，一般稍高于该高度即可，见路堤设计断面图 10-1 所示。

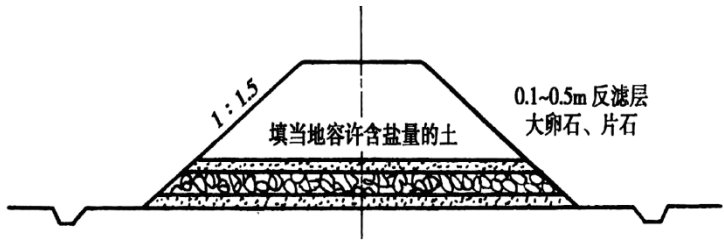


图10-1 用大颗粒(卵石)、片石作隔断层

（2）石灰沥青膏隔断法 用沥青、石灰膏和水三种按比例拌和做成隔断层，厚约 2~5cm 即可。在缺乏透水材料的情况下，用此法效果良好，但在材料的配合比方面尚待进一步研究，且施工工艺复杂。

（3）采用垫层、重锤击实及强夯法处理浅部土层，可消除地基土的湿陷量，提高其密实度及承载力，降低透水性，阻挡水流下渗；同时破坏土的原有毛细结构，阻隔土中盐分向上运移。

3. 控制路堤高度

在盐渍土地区，隔断层材料不易取得时，可采取提高路堤的高度的措施，使毛细水达不到基床。同时，由于盐渍土地区的地下水位一般较高，路堤除了有再盐渍化的可能外，还有冻胀和翻浆的危害。为使路堤不受冻害和再盐渍化的影响，也应提高路堤高度。

4. 降低地下水位和排水

如地形有利于排水，宜在路基旁侧设置降低地下水位的排水沟，将水引排至路基范围以外，使路基以下的地下水位降低。这样，可适当压低路堤高度，减少填方工程数量。但应摸清地下水活动规律，正确地进行设计。

地面排水系统可与降低地下水位的排水系统合并设置。如地表径流大，则宜分开布设，以免冲毁降低地下水的排水沟，影响路基的稳定。

5. 防松胀与溶蚀

硫酸盐渍土有松胀性，虽然填料的硫酸盐含量不容许超过 2%，而在毛细水能达到的高度范围内，路堤边坡仍会产生盐渍化，使表层发生松胀，故应设置护道，见图 10-2。当路堤高出毛细水上升高度甚多时，可在毛细水上升高度处的边坡两侧各修筑 0.5m 宽的护道。

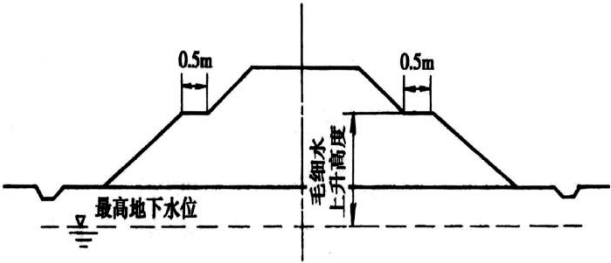


图10-2 设置护道

另外还可采用加宽路肩，每侧不小于 0.2m；或用卵石平铺路堤边坡。

四、冻土

冻土是指高纬、高寒地区、土层温度 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 并含有冰的土层。

冻土从冻结时间看有季节冻土和多年冻土两种。季节冻土是指冬季冻结、夏季融化的土。在平均气温低于零摄氏度的地区，冬季长，夏季很短，冬季冻结的土层在夏季结束前还未全部融化，又随气温降低开始冻结，这样地面下一定深度的土层常年处于冻结状态，就形成多年冻土。通常认为，持续三年以上处于冻结不融化的土称为多年冻土。

季节性冻土主要分布在我国华北、西北及东北地区。多年冻土多分布在北纬 48° 以北的黑龙江省北部地区以及西部海拔 4300~4500m 以上的高原区。我国东北平原的永冻层上限埋深在 4m 左右，其厚度一般在 20~30m，个别地段可达 60m；青藏高原的永冻层上限埋深在 3m 以下，河谷地带稍深一些，有的可达 10m。

以上。

多年冻土按其冻结状态可分为:①坚硬冻土 土粒被冰牢固胶结,在荷载作用下,强度高,具有一定的脆性和不可压缩性;粉土和粘土一般低于 -1°C 左右时便成为坚硬冻土。②塑性冻土 虽被冰胶结,但仍含有多量的未冻结水,具有塑性,强度不高,在荷载作用下可以压缩。当温度界于 0°C 和坚硬冻土温度的上限之间、饱和度 $S_r \leq 0.8$ 时,常呈塑性冻土。③松散冻土 由于土的含水量较小,未被冰胶结仍呈冻前的松散状态,其力学性与未冻土差不多。砂土和碎石土常呈松散冻土。

(一) 冻土现象及其对工程的危害

冻土现象是冻土地区特有的不良地质现象,它是由冻结及融化两种作用引起的。某些细粒土,如粉土及粉质土之类的土层,冻结时往往会发生土层体积膨胀,使地面隆起成丘,即冻胀现象。冻土发生冻胀会使路基隆起,使柔性路面鼓包、开裂;刚性路面错缝或折断。冻胀还使修建在其上的建筑物抬起,引起建筑物的开裂、倾斜,甚至倒塌。

对工程危害更大的是在季节性冻土地区,一到春暖土层解冻融化后,由于土层上部积聚的冰晶体融化,使土中含水量大大增加,加之细粒土排水能力差,土层处于饱和状态,土质软化,强度大大降低。路基土解冻融化后,在车辆反复碾压下,轻者路面变得松软,限制行车速度,重者路面开裂、冒泥(翻浆),使路面完全破坏。冻融还会使房屋、桥梁、涵管发生大量下沉或不均匀下沉,引起建筑物开裂破坏。因此,冻土的冻胀及冻融都会给工程带来危害,必须引起注意,采取必要的防治措施。

(二) 冻胀的机理与影响因素

1. 冻胀的机理

冻土发生的主要原因是冻土在冻结时,土中的水分向冻结区迁移和积聚的结果,关于水分迁移的学说较多,其中以“结合水迁移学说”较为普遍。

不同类型水的冰点是不同的:重力水在 0°C 时冻结,毛细水稍低于 0°C ;弱结合水要在 $-20^{\circ}\text{C} \sim -30^{\circ}\text{C}$ 时才全部冻结,强结合水在 -78°C 才可能冻结。

基于上述特性,当气温降至负温时,土温也随之降低,首先冻结成冰晶体的是土孔隙中的自由液态水。随着土温的继续下降,弱结水的最外层开始冻结,冰

晶体逐渐增大，使其周围的结合水膜减薄，于是，土粒就产生剩余的分子引力。也正由于结合水膜减薄，使得水膜中的粒子浓度相对增加，于是在高、低两种浓度溶液之间产生一种压力差，导致低浓度溶液向高浓度溶液的方向迁移。在这两种力的作用下，附近未冻结区水膜较厚处的结合水，被吸引到冻结区的水膜较薄处。当水分被吸引到冻结区后，因负温作用，水即冻结，使冰晶体增大，而不平衡引力继续存在。若未冻结区存在着水源（如地下水距冻结区很近）及适当的渗水通道（即毛细通道），能够源源不断地补给被吸引的结合水，则未冻结区的水分就会不断地向冻结区迁移和积聚，使土层中的冰晶体扩大，形成冰夹层，土体积发生隆胀，即冻胀现象。这种冰晶体的不断增大一直要到水源的补给断绝后才停止。

2. 影响冻胀的因素

冻胀现象是在一定条件下形成的，通常要受到下列三个因素的影响：

（1）土 冻胀现象一般发生细粒土中，特别是粉土、粉质亚粘土和粉质亚砂土等，由于这类土具有较显著的毛细现象，毛细上升高度大、速度快，且有较畅通的水源补给通道，故在冻结时水分迁移积聚最为强烈，冻胀现象严重。同时，这类土的颗粒较细，表面能大，土粒矿物成分亲水性强，能持有较多的结合水，从而能使大量结合水迁移和积聚。相反，粘土虽有较厚的结合水膜，但因孔隙很小，不能形成毛细水，对水分迁移的阻力很大，故其冻胀性较粉质土小，至于砂砾等粗粒土，没有或有很少量的结合水，且无毛细现象，孔隙中自由水冻结后，不会发生水分迁移积聚，因而也不会发生冻胀。基于粗粒土的这一特性，在工程实践中常在地基或路基中换填砂土，以防治冻胀。

（2）水 土在冻结时，土中水分的迁移和积聚是土层发生冻胀的主要原因。当冻结区附近地下水位较高，毛细水上升高度能够达到或接近冻结线，使冻结区能得到水的补给时，将发生比较强烈的冻胀现象。因此，可将冻胀区分为两种类型：一种是在冻结过程中有外来水源补给的，称为开敞型冻胀；另一种是在冻结过程中没有外来水分补给的，称为封闭型冻胀。开敞型冻胀往往在土层中形成很厚的冰夹层，产生强烈冻胀，而封闭型冻胀，土中冰夹层薄，冻胀量也小。

（3）气温 负温变化的幅度和强度对冻胀的形成有着重要的影响。如气温骤降、冷却强度很大时，冻结速度很快，土的冻结面迅速下移。此时，土中弱结合

水及毛细水来不及向冻结区迁移而在原地冻结成冰，毛细通道也被冰晶体所堵塞。于是，水分的迁移和积聚就无法发生，在土层中只有散布于空隙中的冰晶体，而无冰夹层，此时的冻土一般无明显的冻胀现象，如气温缓慢下降且冷却强度小，但负温持续的时间较长时，则能促使未冻结区的水分不断地向冻结区迁移积聚，在土中形成冰夹层，出现明显的冻胀现象。

上述三个因素是土层发生冻胀的必要条件。因此，在持续负温作用下，地下水位较高处的粉砂、粉土、亚粘土、轻亚粘土等土层常见有较大的冻胀危害。我们可以根据影响冻胀的三个因素，采取相应的防治冻胀的工程措施。

（三）冻土地区的工程防治措施

由于土的冻胀和冻融将危害建筑物的正常使用和安全，因此，冻土地区的工程防治措施的基本原则是排水、保温和改善土的性质。

1. 排水 水是冻胀和冻融的决定因素，必须控制土中的水分。在地面修建一系列排水沟、管，拦截地表周围流来的水；聚集、排除地面及内部的水，不得使这些地表水渗入地下。在地下修建盲沟、渗沟、管等拦截周围流来的地下水；降低地下水位。

2. 保温 应用各种保温材料，将地温对工程的影响降至最小，从而最大限度地防治冻胀和冻融。在路堑或基坑的底部和边坡上或填土路堤地面上，铺设一定厚度的草皮、泥炭、苔藓、炉渣或粘土，起到一定的保温隔热作用，使多年冻土上限相对稳定。

3. 改善土的性质

（1）换填土 用粗砂、卵、砾石等不冻胀土置换天然地基的细粒土，是广泛采用的防治冻害有效措施。一般基底砂垫层厚度为 0.8~1.5m，基侧面为 0.2~0.5m。在铁路路基下常用这种砂垫层填土，但在换填土层上要设置 0.2~0.3m 隔水层，以免地表水渗入基底。

（2）物理化学法 在土中加入某种物质，改变土粒与水的相互作用，使土体中水的冰点降低，水分转移受到影响，从而削弱和防治土的冻胀。如在土中加入一定数量的可溶性无机盐类（氯化钠、氯化钙等）使之成为人工盐渍土，从而限制了土中水分的转移，降低了冻结温度，将冻胀变形限制在容许范围内。

工程案例：强夯法处理湿陷性黄土地基

强夯法是用大吨位起重机，将巨锤提至空中，从 $h=8\sim 25\text{m}$ （最大 40m）高处自由下落形成巨大的冲击能和冲击波。在夯锤接触地面的瞬间，强制压实与震密地基。

南同蒲铁路介休区段站通信站房屋，地处湿陷性黄土地区，为汾河左岸二级阶地。地表为 0.5m 厚的素填土，0.5~1.2m 为杂填土，稍湿松散。1.2~10m 均为新黄土，黄褐色及灰黄色，可塑，为 II 级自重湿陷性黄土。根据通信站与周围已有建筑物位置经分析研究，采用强夯法处理该处地基。在经合理设计锤重、落距、夯间距及夯击数，并布设静力触探和分层沉降量测试点，分别在夯前、夯中、夯后进行测试分析，夯击过程中不但对周围已有建筑物未造成不良影响外，还消除了地基黄土的湿陷性，完全满足了设计要求，保证了工程质量。

工程案例

某桥址区分布的特殊性岩土主要为湿陷性黄土及软土。



图 5-3 某桥址区地貌照片

湿陷性黄土主要分布在大里程桥台附近的黄土斜坡地带，呈浅黄-棕黄色，稍湿，可塑-硬塑，具大孔隙。通过湿陷性试验可知，湿陷性黄土的湿陷系数介于 0.023-0.053 之间，自重湿陷系数介于 0.019-0.041 之间，依据《湿陷性黄土地区建筑规范》进行湿陷量计算可知，其总湿陷量为 289.8mm，总自重湿陷量为 175mm，属自重湿陷性场地，湿陷等级为 II 级。

软土分布于河床漫滩及一级阶地地带，河床及漫滩处分布的软土自地表以下厚 5.7-7.0 米，一级阶地附近分布的软土位于黄土状土之下，厚约 4.3 米。该类土的液性指数介于 0.89-1.63 之间，含天然水量介于 31.5%-58.0%之间，呈软塑-流塑状，地表局部为淤泥，具腥臭味。

上述两类特殊性岩土对桥基稳定性有一定影响，建议对其进行处理，或采用桩基础穿透该类土层。

思考题

1. 什么是特殊土？有哪些土称为特殊土？为什么？
2. 什么叫软土？软土对工程建筑物有何危害性？软土地基上的路堤常采用哪些工程措施？
3. 解释黄土的湿陷性、非湿陷性、自重湿陷性与非自重湿陷。
4. 黄土地区常见的工程病害有哪些？通常采取哪些技术措施来加以防范？
5. 盐渍土形成所必须具备的条件有哪些？我国盐渍土按地域条件可以分为哪些类型？
6. 盐渍土对路基工程和对建筑材料有何影响？
7. 在盐渍土地区的工程建筑，一般常采用哪些治理措施？
8. 什么叫冻土？季节性冻土和多年冻土有何区别？
9. 简述冻胀形成的机理及其影响因素。
10. 冻土地地区的路堤和路堑，常根据哪些不同情况采取一些什么样的处治措施？其实质是要防治什么病害的发生？试各举一、二例加以分析说明。

实训项目

资料：通（辽）让（葫芦）铁路位于吉林省西部和黑龙江省南部，全长 421 k m，其中嫩江浸水路堤长 8.4 k m，堤高 8~14m，穿越五处常年浸水的江岔和水泡子地段，基底土以第四系河流冲积层为主，主要地层为淤泥质砂粘土、淤泥质粘砂土及粉细砂等。

淤泥质砂粘土为灰及灰绿色，流塑状，含大量粉细砂及砂的夹层或包裹体，局部夹淤泥质粘土，一般厚度约为 2.0~10.0m。淤泥质粘砂土为灰绿色，含砂量高，局部夹砂粘土透镜体，分布零散，厚度不定，一般为 0~4.0m。粉细砂饱和和中密，含少量淤泥质土。

根据上述资料，分析此处地基属于哪一种特殊土，可以采用哪些地基加固措

施。

表 5-13 透层、粘层、封层的概念、设置部位、作用及材料

类型	概念、设置部位	作用	材料
透层	在基层上喷洒液体石油沥青、乳化沥青、煤沥青而形成的透入基层表面一定深度的薄层。	使沥青面层与非沥青材料基层结合良好	宜采用慢裂的洒布型乳化沥青
粘层	路面沥青层与沥青层之间、沥青层与水泥混凝土路面之间而洒布的沥青材料薄层。	加强路面沥青层与沥青层之间、沥青层与水泥混凝土路面之间的粘结	宜采用快裂的洒布乳化沥青
封层	在沥青面层或基层上铺筑的有一定厚度的沥青混合料薄层，铺筑在沥青面层表面的称为上封层，铺筑在沥青面层下面、基层表面的称为下封层。	封闭表面空隙、防止水分侵入	宜采用快裂的洒布乳化沥青

1.使用范围



从渗透性来说，煤沥青的渗透效果最好，但是煤沥青的毒性较强，从环保和操作工人的身体健康角度使用煤沥青需要相应的保证措施。

第六章 常见的不良地质现象

学习目标：

- (1) 了解崩塌、岩堆的概念、危害及形成；掌握其的防治措施。
- (2) 了解滑坡的概念、危害、形成及类型；掌握其的防治措施。
- (3) 了解泥石流、岩溶的概念及形成；掌握其防治措施。
- (4) 了解沙漠的形成、风沙的类型及运动；掌握风沙地区的防治措施。

第一节 崩塌与岩堆

一、崩塌

(一) 概述

崩塌是指陡峻斜坡上的岩土体在重力作用下，脱离母岩，突然而猛烈的向下倾倒、翻滚、崩落的现象。规模巨大的崩塌称为山崩。如四川北川 2007 年 7 月底发生 150 万方山体崩塌，造成山谷中白水河淤塞，三个自然村 1700 多名村民外出困难。陡崖上个别较大岩块的崩落称为落石。斜坡上岩体在强烈物理风化作用下，较细小的碎块、岩屑沿坡面坠落或滚动的现象称为剥落。

崩塌是山区常见的一种突发性的地质灾害现象，小的崩塌对行车安全及路基养护影响较大；大的崩塌不仅会摧毁路基、桥梁，击毁行车，有时崩塌堆积物堵塞河道，引起路基水毁，影响着交通营运及安全。

（二）崩塌形成的条件

1. 地形条件

一般在陡崖临空面高度大于 30m、坡度 $55^{\circ} \sim 75^{\circ}$ 的高陡斜坡、孤立山嘴或凸形陡坡及阶梯形山坡均为崩塌的形成提供了有利地形。

2. 岩性条件

通常坚硬性脆的岩石（如花岗岩、玄武岩、砂岩、厚层石灰岩、石英岩等）形成的山体易产生规模较大的崩塌，在软硬互层（如砂页岩互层、石灰岩与泥灰岩互层、石英岩与千枚岩互层）的悬崖上，因差异风化硬质岩层常形成突崖，软质岩层易风化形成凹崖坡，使其上部硬质岩失去支撑而引起较大的崩塌，如图 6-1 所示。

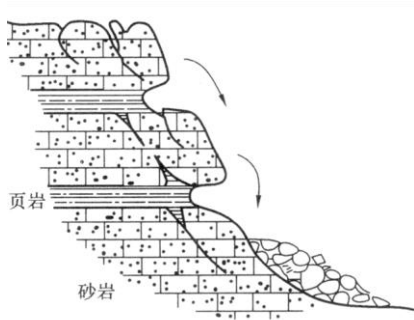


图 6-1 软硬岩层互层坡体的局部崩塌

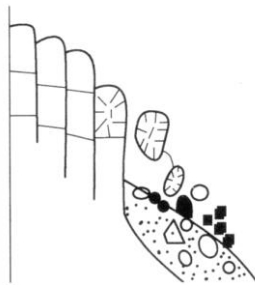


图 6-2 节理与崩塌

3. 构造条件

岩体中存在的各种构造面（如节理面、岩层层面、断层面、软弱夹层及软硬互层等）对坡体的切割、分离，为崩塌的形成提供脱离母体(山体)的边界条件，如图 6-2 所示。当其软弱结构面倾向于临空面且倾角较大时，易发生崩塌。或者坡面上两组呈楔形相交的结构面，当其组合交线倾向临空面时，也容易产生崩

塌。

4. 其他因素

风化作用、地表水和地下水的破坏作用、地震、人类工程活动等因素的影响使山体稳定性变差，易产生崩塌。

了解崩塌形成的条件，有利于在崩塌产生前采取整治措施，预防崩塌的发生。

（三）崩塌的防治

1. 防治原则

由于崩塌发生得突然而猛烈，治理比较困难而且十分复杂，所以一般应采取以防为主的原则。

在选线时，应根据斜坡的具体条件，认真分析发生崩塌的可能性及其规模。对有可能发生大、中型崩塌的地段，应尽量避免。若完全避开有困难，可调整路线位置，离开崩塌影响范围一定距离，尽量减少防治工程；或考虑其它通过方案（如隧道、明洞等），确保行车安全。对可能发生小型崩塌或落石的地段，应视地形条件进行经济比较，确定绕避还是设置防护工程。

在设计和施工中，避免使用不合理的高陡边坡，避免大挖大切，以维持山体的平衡。在岩体松散或构造破碎地段，不宜使用大爆破施工，以防岩体震裂引起崩塌。

2. 防治措施

(1)排水 修建截水沟、排水沟等排水设施排除地面水；修建纵、横盲沟等排除地下水，防止水流渗入岩土体而使坡体失稳。

(2)清除坡面危岩。

(3)坡面加固 采用坡面喷浆、抹面、砌石铺盖等措施防治软弱岩层的风化；灌浆、勾缝、镶嵌、锚栓以恢复和增强岩体的完整性。

(4)拦截防御 采用柔性防护系统或拦石墙、落石槽等。

(5)危岩支顶 采用钢筋混凝土立柱、浆砌片石支顶或柔性防护系统以增加斜坡的稳定性。

(6)遮挡工程 当崩塌体较大、发生频繁且距离路线较近而设拦截构造物有困难时，可采用明洞、棚洞等遮挡构造物处理。

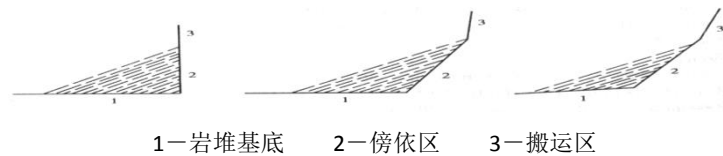
二、岩堆

（一）概述

岩堆是指由碎落、崩塌和落在山坡的低凹处或坡脚形成的疏松堆积体。

在地质构造作用强烈，气候比较干旱，风化严重的山区和高山峡谷地区易形成岩堆，特别是在岩性软弱易风化的岩层分布地区，如页岩、千枚岩、片岩等，以及在破碎的花岗岩、石灰岩等组成的山坡和坡脚地带。

岩堆有时互相连接，成片分布，长达几公里至几十公里。岩堆的平面形状是多种多样的，这主要决定于局部地形条件。岩堆床纵剖面形态一般呈 3 种典型形状，如图 6—3 所示。峡谷地区发育的岩堆，上部为陡壁，下部为急流，其本身又处于极限平衡状态，具有一定的活动性，常给公路选线和路基设计造成很大困难，其影响程度，取决于岩堆的工程地质特征。



6-3 岩堆床纵剖面组成图

（二）工程地质特征

1. 表面坡度

岩堆大多为近期堆积，其表面坡度接近其组成物质在干燥状态下的天然休止角，它的大小与组成物质的岩性、大小、表面粗糙程度等有关，见表 6—1。

表 6—1 不同岩石组成的岩堆天然休止角参考值

岩石名称	岩堆天然休止角
花岗岩	37°
砂 岩	32~33°
钙质砂岩	34~35°
页 岩	38°
砂页岩	35°
石灰岩	32~36.5°
片麻岩	34°
云母片岩	30°

2. 结构、构造

岩堆内部结构疏松，孔隙大且不均匀，细粒物质较少，充填于大颗粒（如碎石或块石）中，一般没有胶结或稍有胶结，在荷载作用下易产生沉陷。岩堆内都常具有向外倾斜的层理，层理面与表面坡度大致平行，在外力或其他因素作用下易发生滑动变形。

3. 岩堆的基底位置

岩堆的基底全部或大部分坐落在基岩斜坡上，它们之间的连接薄弱，在外力及水的作用下，岩堆易沿着基底或傍依区滑动。

由上所述，可以看出岩堆的稳定性差，当公路通过岩堆体时，容易发生路基变形、边坡坍塌等病害，因此，在岩堆分布地区进行路线勘测、设计和施工中必须认真考虑它的工程地质特征问题。

（三）按稳定程度分类

按稳定程度可分为以下 3 种：

1. 正在发展的岩堆

山坡基岩裸露，坡面参差不齐，有新崩塌痕迹，常有落石和碎落。岩堆表面呈直线形，坡角接近天然休止角。坡面无草木生长或仅有很稀少的杂草，堆积的石块大部分颜色新鲜。内部结构松散，岩块间无胶结现象，孔隙度大。表层松散凌乱，人行其上有石块滑落。

2. 趋于稳定的岩堆

岩堆上方的基岩大部分已稳定，具有平顺的轮廓，仅有个别的落石和碎落。岩堆坡面接近凹形，大部分已生长杂草和灌木。岩堆的石块大部分颜色陈旧，仅个别地方有颜色新鲜的石块零星分布。岩堆内部结构密实或中等密实，但表层还是松散的，由于草木生长已不致散落，岩堆坡面上部的坡度常稍陡于其天然休止角。

3. 稳定的岩堆

岩堆上方的基岩已稳定，坡度平缓，不稳定的岩块已完全剥落，岩堆的坡面呈凹形，已长满草木，无颜色新鲜的石块。岩堆体胶结密实，大孔隙已被充填。有些地方因表层失去植被覆盖而有水流冲刷的痕迹。

（四）岩堆的防治

1. 防治原则

一般采取以防为主的原则。对于规模大、正在发展的岩堆，以绕避为宜，绕避有困难时，选择合适部位设置防护建筑物；对于中、小岩堆、已趋停止或已停止发展的岩堆，可采取必要的防治措施通过。

2. 防治措施

路线通过岩堆时可采取以下措施：

（1）排水 由于水对岩堆的稳定性影响很大，所以要做好排除地表水及地下水

的工作。

(2) 线路位置选择 以路堑通过时，路堑位置应选在岩堆顶部，应注意边坡的稳定性问题；以路堤通过时，路堤位置应选在岩堆下部，如图 6-4 所示。

(3) 在岩堆上的线路，应尽量少填少挖。填方底部原地面应做成台阶形以防填土路基滑动。在线路上、下均应设置挡土墙，但应注意挡土墙和岩堆的整体稳定性问题和发生不均匀沉陷问题。

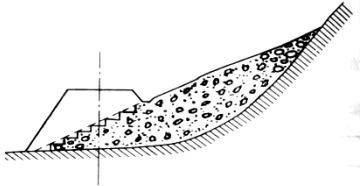


图 6-4 路堤在岩堆下部通过

工程案例

某公路路线在某段发育危岩体，该段路线左侧为岩质高边坡，垂直高度约 90-100m，受断裂带影响，岩体节理裂隙很发育，常发生掉块、崩落现象。边坡岩性主要为中厚层砂岩夹薄层页岩，由于页岩易风化，上部砂岩临空后可能会产生倾倒。从现场观察，该段道路坡脚及下部的河道中堆积有大量巨块石，均为岩石崩落导致。拟建道路从该段围岩体下部架设桥梁通过，岩石发生崩落对桥梁施工及后续道路运营均造成威胁，建议对该围岩体进行刷坡处理，并采取挂网的方式进行防护。具体如图 6-5 所示。



图 6-5 危岩体

第二节 滑 坡

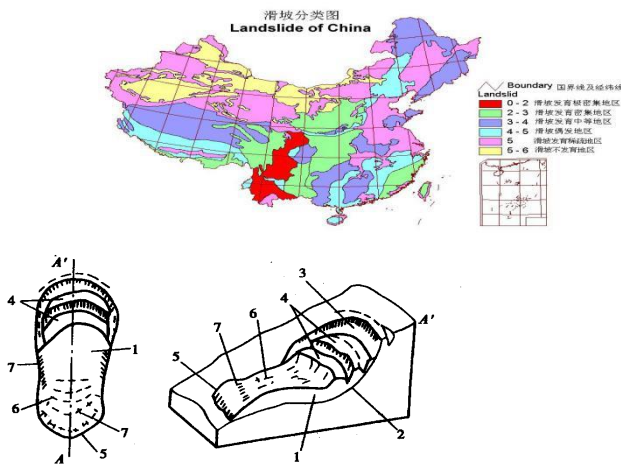
一、概述

滑坡是指斜坡上岩体或土体在重力作用下沿一定的滑动面(或滑动带)整体

地向下滑动的现象。俗称“走山”、“垮山”、“地滑”等。

滑坡是山区公路的主要病害之一。由于山坡或路基边坡发生滑坡，常使交通中断，影响公路交通运输。大规模的滑坡能堵塞河道、摧毁公路、破坏厂矿、掩埋村庄，对山区建设和交通设施危害很大。例如，2008年5月12日都江堰至汶川路段的水井湾大桥，发生约一百米宽的山体滑坡，导致都江堰至汶川路段完全中断，数辆车被埋。2008年6月13日，山西吕梁市离石区西属巴街道办上安村发生山体自然滑坡，滑坡将靠近山脚的上安村久兴砖厂的厂房摧垮，此次滑坡高达七十余米，宽约六十余米，共计一万余方土，将久兴砖厂的生产人员十九人全部掩埋，生产设备全部摧毁，掩埋深度达七到八米。

我国是一个滑坡灾害多发的国家，西南地区为我国滑坡分布的主要地区，该地区滑坡类型多、规模大、发生频繁、分布广泛、危害严重。西北黄土高原地区，以黄土滑坡广泛分布为其显著特征。东南、中南的山岭、丘陵地区滑坡、崩塌也较多。在青藏高原和兴安岭的多年冻土地区，也有不同类型的滑坡分布。总之，我国的滑坡分布极广，滑坡灾害十分严重，应重视研究和防治工作。



1—滑坡体；2—滑坡面；3—滑坡后壁；4—滑坡台阶；5—滑坡舌；6—滑坡鼓丘；7—滑坡裂隙

图 6-6 我国滑坡分布

图 6-7 滑坡形态要素

二、滑坡形态要素

一个发育完整的滑坡，一般有下面的几部分组成，如图 6-7 所示。

1. **滑坡体** 指滑坡的整个滑动部分，即沿着滑动面向下滑动的岩土体。其内部一般保持未滑动前的层位和结构，但产生许多新的裂缝，个别部位可能遭受较强的扰动。

2. **滑动面、滑动带** 滑动面是指滑坡体沿之滑动的面，滑动带是指滑动面以

上被揉皱了的构造扰动带。滑动面(带)是表征滑坡内部主要标志,它的位置、数量、形状和滑动面(带)土石的物理力学性质,对滑坡的推力计算和滑坡治理起到重要作用。

一般情况,在均质粘性土和软质岩体中,滑动面多呈圆弧形;而层状岩体或构造裂隙发育的滑坡,滑动面多呈直线形或折线形。

3. **滑坡床** 是指滑坡体滑动时所依附的下伏不动的岩土体,简称滑床。

4. **滑坡周界** 是指滑坡体与周围未滑动的稳定斜坡在平面上的分界线,它圈定了滑坡的范围。

5. **阶坡后壁** 是指滑坡发生后,滑坡体与斜坡断开后下滑形成的陡壁。有时能见到擦痕,以此识别滑动方向。滑坡后壁在平面上多呈圈椅状,它的高度自几厘米到几十米,陡度一般为 $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。

6. **滑坡台阶** 是指滑坡体滑动时由于各段滑动速度的差异,在滑坡体表面形成的台阶状的错台。

7. **骨坡舌** 是指滑坡体前缘形如舌状的伸出部分。

8. **阶坡鼓丘** 是指滑坡体滑动时因前缘受阻而隆起的小丘。

9. **滑坡裂隙** 是指滑坡体由于各部分移动的速度不等,在其内部及表面所形成的裂隙。根据受力状态分为拉张裂隙、剪切裂隙、鼓张裂隙和扇形裂隙四种。拉张裂隙分布在滑坡体上部;剪切裂隙位于滑体中部两侧,常伴有羽毛状排列的次一级裂隙;鼓张裂隙由于滑坡体前部因滑动受阻而隆起形成的裂隙;扇状裂隙呈放射状展布在滑舌部。

10. **滑坡洼地** 是指滑动时滑坡体与滑坡后壁间拉开形成的沟槽,或中间低四周高的封闭洼地。

较老的滑坡由于风化、水流冲刷、坡积物覆盖,使原来的构造、形态特征往往遭到破坏,不易被观察。但是一般情况下,必须尽可能地将其形态特征识别出来,以助于确定滑坡性质和发展状况,为整治滑坡提供可靠的资料。

三、滑坡发生的条件

1. 斜坡外形

斜坡的存在,使滑动面在斜坡前缘临空出露。这是滑坡产生的先决条件。不同高度、坡度、形状等要素的斜坡可使其内部应力状态改变,而应力的变化可导

致斜坡失稳。当斜坡愈陡、高度愈大以及斜坡中上部凸起而下部凹进，且坡脚无抗滑地形时，易产生滑坡。

2. 岩性条件

岩、土体是产生滑坡的物质基础。滑坡通常发生在遇水易软化的土层和一些软质岩层中，如胀缩粘土、黄土、黄土状土和粘性的山坡堆积层等，它们遇水容易软化、膨胀和崩解，强度和稳定性遭到破坏，产生滑坡；软质岩层中如页岩、泥岩、煤系地层、凝灰岩、片岩、板岩、千枚岩等遇水软化导致抗剪强度降低，容易产生滑坡。另外，当坚硬岩层或岩体中存在着有利于滑动的软弱结构面时，在适当的条件下也可能产生滑坡。

3. 地质构造

滑动产生常发生在倾向与斜坡一致的层面、大节理面、不整合面、断层面(带)等软弱构造面上，因其抗剪强度较低，当斜坡受力情况突然改变时，有可能成为滑动面。上部岩层透水性强，下部岩层透水性弱（隔水层），在其接触面上成为地下水的运动带时，易产生滑坡。

4. 水

水是滑坡产生的重要条件，绝大多数滑坡都是沿饱含地下水的岩体软弱结构面产生的。当水渗入到滑坡体中的孔隙、裂隙后，不仅降低了岩土体的粘聚力，削弱了其抗剪强度，还降低了其摩擦系数，增大了滑坡体的下滑力，导致滑坡的滑动。

5. 地震

地震能破坏斜坡上岩土的结构，使某些地层因震动产生液化现象，此外地震波附加给岩土的巨大惯性力破坏了斜坡的稳定性，产生滑坡。例如 2008 年 5 月 12 日的四川汶川地震导致多起山体滑坡，形成 34 个堰塞湖。

6. 人为因素

由于人类不恰当的工程活动，如开挖坡脚、坡体堆载、爆破施工、水库蓄(泄)水等等，破坏了山体的平衡，诱发滑坡产生。

四、滑坡的分类

滑坡的分类根据不同的原则，常用的分类方法有以下几种。

1. 按滑坡体的物质组成分类

根据滑坡体的物质组成为黄土滑坡、粘土滑坡、堆积层滑坡和岩层滑坡 4 种类型。

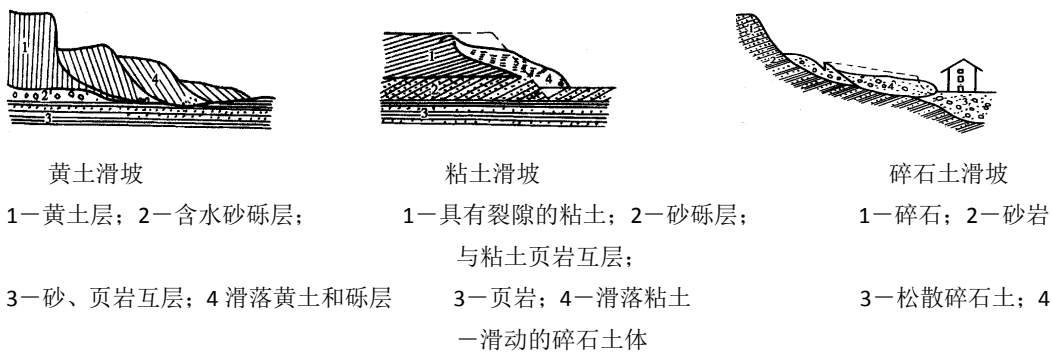


图 6—8 按物质组成分类图

2. 按滑动面和岩土体层面的关系分类

根据滑动面和岩土体层面的关系分为顺层滑坡、切层滑坡和均质滑坡。

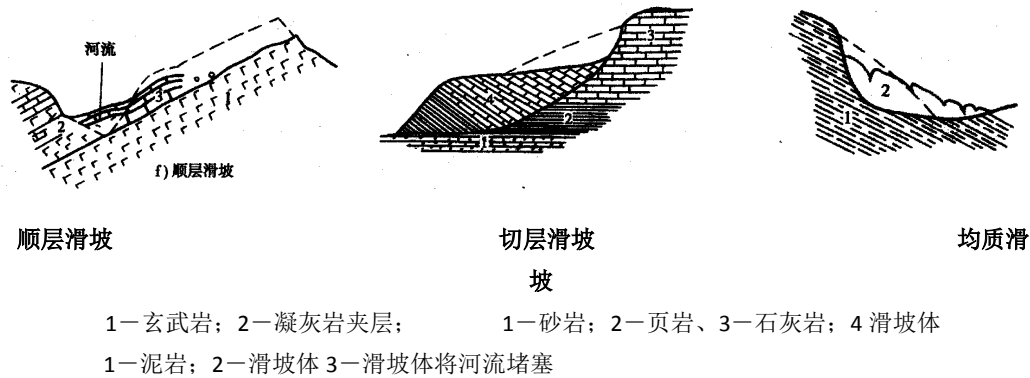


图 6—9 按滑动面与岩土体层面关系分类图

3. 按滑坡体的厚度分类

根据滑坡体的厚度分为浅层滑坡（厚度小于 6 米）、中层滑坡（厚度 6～20 米）和深层滑坡（厚度大于 20 米）。

4. 按滑坡体的体积分类

根据滑坡体的体积分为小型滑坡（体积小于 3 万立方米），中型滑坡（体积 3～50 万立方米）、大型滑坡（体积在 50～300 万立方米）和巨型滑坡（体积大于 300 万立方米）。

5. 按滑坡的力学条件分类

分为牵引式滑坡和推移式滑坡。由于斜坡坡脚处受到流水冲刷或人工挖方、切坡等因素的影响，使坡体下部失去原有岩土的支持而丧失其平衡引起的滑坡为牵引式滑坡。因在斜坡上部加载（修建建筑物、弃土或堆放重物等）引起边坡上

部岩土体先滑动而挤压下部岩土体变形一起滑动称为推移式滑坡。

五、滑坡的野外识别

在山区进行路线勘测时，如何识别滑坡的存在，并初步判断其稳定性，是合理布设线路，提出防治措施的一个基本前提。野外识别古滑坡有以下几方面。

1. 地形地物上的标志

滑坡滑动后，常使斜坡出现圈椅状地形和槽谷地形，其上部有陡壁和弧形拉张裂隙；中部坑洼起伏，有一级或多级台阶，两侧可见羽毛状剪切裂隙；下部有鼓丘，呈舌状向外突出，表面多鼓张扇形裂隙；两侧多形成沟谷，出现双沟同源现象；有时内部多积水洼地，喜水植物茂盛。斜坡上的树木常出现醉汉林和马刀树，建筑物开裂和倾斜。

2. 地层构造上的标志

滑坡滑动后，在其范围内出现地层整体性遭到破坏，有扰乱松动现象；层位不连续；岩层产状发生明显变化；构造不连续等等。

3. 水文地质标志

滑坡地段含水层的原有状态发生改变，使滑坡体成为单独含水体，水文地质条件变得特别复杂，无一定规律可循。如潜水位不规则，斜坡下部有成排的泉水溢出等现象。

上述几方面的识别标志是滑坡滑动后的现象，它们之间有着不可分割的内在联系，因此，在分析调查时必须综合考察几方面的标志，互相验证，才能保证准确无误。

六、滑坡的防治

滑坡的防治，贯彻“以防为主，整治结合”的原则。在选择防治措施前一定要查清和确定滑坡的地形、地质和水文地质条件，认真研究滑坡的性质及其所处的发展阶段，了解产生滑坡的原因，结合工程建筑的重要程度、施工条件及其它情况进行综合考虑。

1. 滑坡的防治原则

1) 对于可能产生大型滑坡的地段，在公路选线时应尽可能采用绕避方案。对已建工程的路基不稳，需要周密分析与衡量其经济和安全两方面的得失，并应制定治理方案。

2) 中、小型滑坡的地段一般情况下不必绕避,但应注意调整路线平面位置,必要时做方案比较,以路基稳定为首要考虑因素,以求工程量小、施工方便、经济合理的路线方案。

3) 路线通过古滑坡时,应对滑坡体的结构、性质、规模、成因等作详细勘察后,再对路线的平、纵、横做出合理布设;对施工中的开挖、切坡、弃方、填土等都要做通盘考虑,稍有不慎即可引起滑坡的复活。

2. 滑坡的防治措施

防治滑坡的工程措施归纳起来分为三类:一是消除或减轻水的危害;二是改变滑坡体外形、设置抗滑建筑物;三是改善滑动带土石性质。主要治理措施如下:

1) 消除或减轻水的危害—排水

(1) 排除地表水 主要设置截水沟和排水明沟系统。截水沟目的是截排来自滑坡体外的坡面径流,在滑坡体上设置树枝状的排水明沟系统是为了汇集坡面径流,然后引导出滑坡体外。如图 6-10 所示。

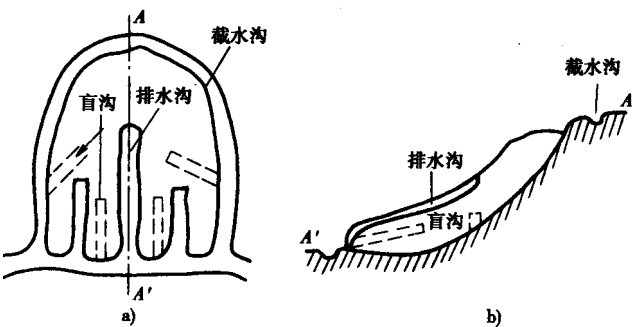
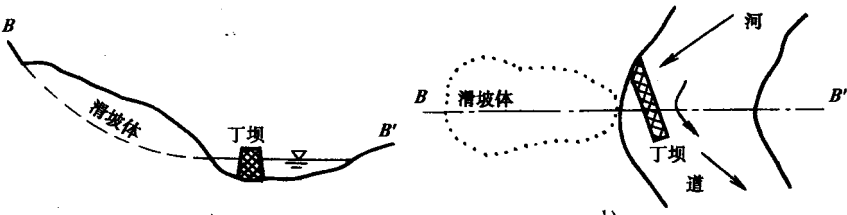


图 6-10 排除滑坡地表水和地下水示意图

(2) 排除地下水 主要设置各种形式的渗沟或盲沟系统,以截排来自滑坡体外
的地下水流。如图 6-10。

(3) 防治河水、库水对滑坡体坡脚的冲刷 主要设置丁坝、在滑坡前缘抛石、铺设石笼、修筑钢筋混凝土块排管,以防治坡脚的土体遭受河水冲刷。见图 6-11



a 剖面图

b 平面图

图 6-11 河岸防护提示意图

2) 改变滑坡体外形、设置抗滑建筑物

(1) 削坡减重 主要是降低坡的高度，以减轻斜坡不稳定部位的重量，从而减少滑坡上部的下滑力，提高滑坡体的稳定性。

(2) 修筑支挡工程 在滑坡体的下部修建支挡建筑物，改善滑坡体的力学平衡条件，提高滑体的抗滑助力，使滑体迅速恢复稳定。支挡建筑物有抗滑桩、抗滑挡墙、锚杆和锚固桩等。

3) 改善滑动带土石性质 为了改善岩土性质、结构，增加坡体的强度，一般采用焙烧、固结灌浆等物理化学方法对滑坡进行整治。

由于滑坡成因复杂、影响因素多，因此常常需要上述几种方法同时使用、综合治理，方能达到目的。

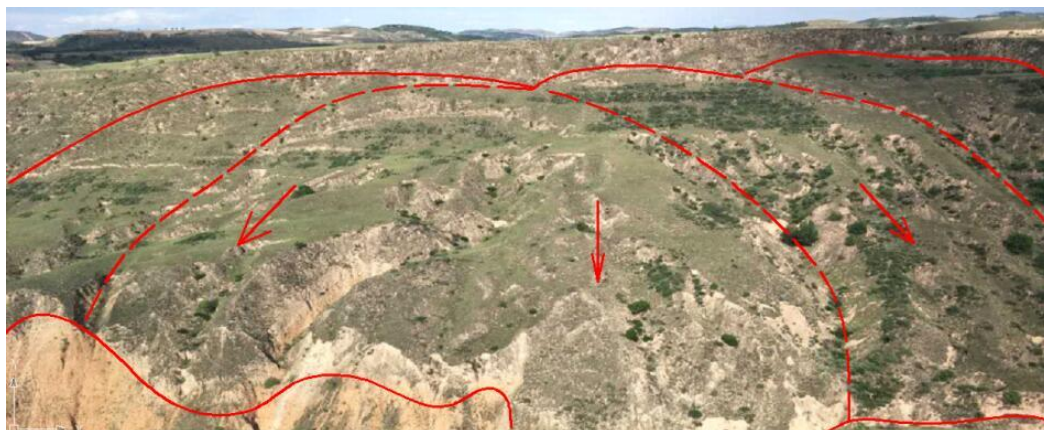
工程案例： A1 线狼爬沟左侧 BHHP8 巨型滑坡

该滑坡位于路线里程 A1K0+430-AK1+200 左侧斜坡上部，斜坡下部为狼爬沟沟道，A1 线顺沟道内布设。该滑坡为 1 处高位古滑坡，发育规模较大，直接影响路线方案的选定。

该滑坡发育规模巨大，滑坡平面总体呈“簸箕”型，前缘高程 1390-1409m，后缘高程 1494-1500m，前后高差约 91.0m，主滑方向约 267°。滑坡体南北长约 770 米，东西宽约 225 米，滑体厚度约 18.0-36.0 米，总方量约 171.8 万立方米。滑坡后壁较陡，堆积体较平缓，地面坡度约 13°。由于形成时间久远，滑体大部分堆积物被剥蚀，残留的堆积体相对较薄。滑坡后缘切穿 Q3-2 黄土，中下部沿第三系红黏土顶面滑动，剪出口位于坡体前缘，距沟底约 40-50 米。

根据野外调查和勘探，该滑坡目前整体处于稳定状态。同时，滑坡形成后，后期在滑坡体上发育有四条近东西向的冲沟，将该滑坡体分割三块，分别为 HP8-1、HP8-2、HP8-3，从现状来看，各滑块目前均较稳定。该滑坡形态及特征如图 6-12 所示。

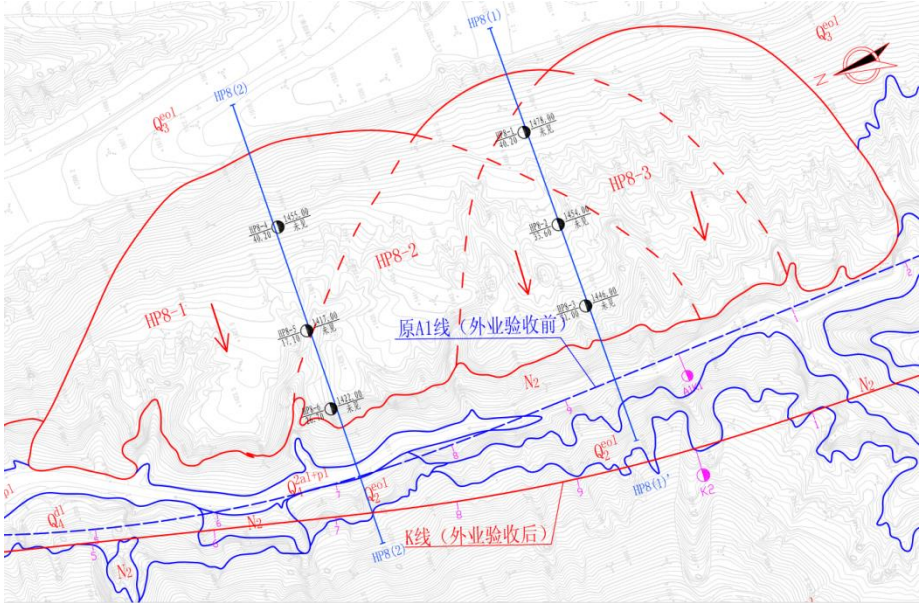
图 6-12 A1 线 HP8 巨型滑坡地貌照片



A1 比较线从该滑坡下部沟道内通过，巨型滑坡高悬于路线之上，对路线产生潜

在威胁。虽然滑坡目前处于稳定状态，但滑坡沿第三系红黏土顶面剪出，滑床为第三系红黏土，岩土工程性质较差，且具弱膨胀性，若遇强降雨，地表水会顺落水洞贯入滑体，使红黏土会产生收缩变形，可能会诱发滑坡局部失稳。因此，建议优化路线方案，对该段巨型滑坡进行避让。路线与滑坡关系如图 6-13 所示。

图 6-13 A1 线 HP8 巨型滑坡平面示意图



二、泥石流的形成条件

泥石流的形成必须同时具备以下3个条件：陡峻的地形、地貌；有丰富的松散物质；充沛的水源。

1. 地形地貌条件

地形上具备山高沟深、地势陡峻、沟床纵坡降大、流域形态有利于汇集周围山坡上的水。在地貌上，泥石流的地貌一般可分为形成区、流通区和堆积区三部分，如图 6—14 所示。上游形成区的地形多为三面环山、一面出口的瓢状或漏斗状，地形比较开阔、周围山高坡陡，山体破碎、植被生长不良，这样的地形有利于水和碎屑物质的集中；中游流通区的地形多为狭窄陡深的峡谷，谷床纵坡降大，使泥石流能迅猛直泻；下游堆积区的地形为开阔平坦的山前平原或河谷阶地，便于泥石流的倾泻和堆积。

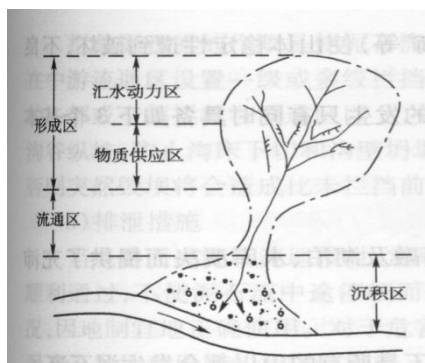


图 6-14 泥石流流域分区示意图

2. 松散物质来源条件

泥石流常发生在地质构造复杂、断裂褶皱发育，新构造活动强烈，地震烈度较高的地区。地表岩石破碎，崩塌、滑坡、错落等不良地质现象发育，为泥石流的形成提供了丰富的固体物质来源；另外，岩层结构松散软弱、易于风化、节理发育或软硬相间成层地区，因易受破坏，也能为泥石流提供丰富的碎屑物来源；此外，一些人类工程活动，如毁林开荒、陡坡垦植、开山采矿、采石弃渣等，往往也为泥石流提供大量的物质来源。

3. 水源条件

水是泥石流的重要组成部分。泥石流的水源主要是大气降水，其次是地下水、冰雪融水和水库（池）溃决水体。我国泥石流的水源主要是暴雨、长时间的连续降雨等。

三、泥石流的类型

1. 按其物质组成成分分为

- (1) 泥流 组成物质以黏性土为主，含少量砂砾和石块，黏度大，呈稠泥状。
- (2) 泥石流 由大量黏性土和砂砾、石块组成，具有一定的黏结性。
- (3) 水石流 主要由大石块和水或稀泥浆组成。

2. 按形成泥石流的动力条件分为

- (1) 水力类泥石流 由于地表径流的强烈侵蚀作用或水体溃决，大量固体物质进入沟道而形成的泥石流。属于泥沙运动力学研究的范畴。
- (2) 重力类泥石流 由于土体内容水量超过饱和，使土体失去平衡并引起滑动而产生。

3. 按流体性质分为

(1) 稀性泥石流（紊流型泥石流） 以水为主要成分，黏性土含量少，固体物质占10~40%，水为搬运介质，石块以滚动或跃移方式前进，其堆积物在堆积区呈扇状散流，停积后似“石海”。

(2) 黏性泥石流（结构型泥石流） 含有大量黏性土的泥流或泥石流，固体物质占40~60%，其中水不是搬运介质，而是组成物质。这种泥石流以间歇性的阵流形式出现，一次泥石流过程中形成十几次至几十次阵流。阵流的前锋高而陡，多由大石块组成，俗称龙头，泥石流停积以后，仍保持运动时的结构不变。

除此之外还有其他分类方法。如按泥石流的成因分类有：冰川型泥石流、降雨型泥石流；按泥石流规模分类有：大型泥石流、中型泥石流和小型泥石流；按泥石流发展阶段分类有：发展期泥石流、旺盛期泥石流和衰退期泥石流等等。

四、泥石流的防治措施

防治泥石流的原则是以防为主，具体防治措施如下：

1. **生物措施** 用以保护山坡坡面，保持水土，制止泥石流继续发展，甚至最终根治泥石流。

2. **跨越工程** 是指修建桥梁、涵洞，从泥石流沟的上方跨越通过，让泥石流在其下方排泄，用以避开泥石流。

3. **穿越工程** 是指修建隧道、明洞或渡槽，从泥石流的下方通过，而让泥石流从其上方排泄。

4. **防护工程** 主要措施有护坡、挡墙、顺坝和丁坝等，用以抵御或消除泥石流对主体建筑物的冲刷、冲击、侧蚀和淤埋等危害。

5. **排导工程** 主要措施有导流堤、急流槽、排洪道等，用以顺利排走泥石流，防治掩埋道路，堵塞桥涵。

6. **拦挡工程** 主要措施有拦截坝、栏栅、溢流坝等，以阻挡泥石流中挟带的物质，减少泥石流对下游工程建筑物的冲刷、撞击和淤埋等危害。

人们在防治泥石流时，往往采用综合治理的方案，即采取坡面、沟道兼顾，上游、下游统筹的综合治理方案。一般在沟谷上游以治水为主，中游以治土为主，

而下游以排导为主。通过上游的稳坡截水和中游的拦挡护坡等，减少泥石流的固体物质，控制泥石流规模，改变泥石流的性质，有利于下游的排导效果，从而能够有效地控制泥石流的危害。所以采用多种措施相结合，比用单一措施更为有效。

第三节 岩 溶

一、概述

岩溶是指地表水和地下水对可溶性岩石进行的长期化学作用和机械作用，以及由这些作用所产生的特殊地貌形态和水文地质现象。

岩溶又称喀斯特，它是原南斯拉夫西北沿海一带石灰岩高原的地名，那里发育着各种奇特的石灰岩地形。十九世纪末，南斯拉夫学者J. 司威治（Cvijic）研究了喀斯特高原的各种石灰岩地形，并把这种地貌叫喀斯特。以后，喀斯特一词便成为世界各国通用的专门术语。1966 年在广西桂林召开的我国岩溶学术会议上，决定将喀斯特一词改称岩溶。

我国岩溶地貌分布广，面积大，尤其以西南部岩溶面积最大，广西的桂林山水和云南的路南石林闻名于世。

岩溶地区会给工程建设带来一系列的工程地质问题，例如地基塌陷、水库渗漏、隧道涌水等现象。因此，在岩溶地区修建公路时，必须掌握岩溶的发展规律和形成机理，采取有效的防治措施。

二、岩溶形成的基本条件

1. 岩石的可溶性

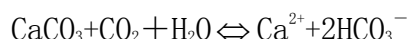
可溶性岩石是岩溶形成的物质基础，自然界中可溶性岩石有碳酸盐类（如石灰岩、白云岩、大理岩等）、硫酸岩类（如石膏、硬石膏、芒硝等）和卤盐类（如岩盐、钾盐等）。由于它们的成分和结构不同，其溶解性能也不同，碳酸盐类溶解度小，硫酸盐类溶解中等，而卤盐类属于易熔盐类，溶解度最大。这三类岩石中，碳酸盐类岩石分布最广，因此碳酸盐类岩石地区岩溶发育最典型、最普遍。

2. 岩石的透水性

岩石的透水性主要取决于岩体的裂隙、孔隙的多少及连通情况。岩层透水性愈好，岩溶越发育，所以在断层破碎带、风化带、背斜轴部或近轴部的地段、岩层的层理面处，岩溶发育强烈。

3. 水的溶蚀性

有溶蚀能力的水是岩溶发育的外因和条件。水的侵蚀性强弱取决于水中CO₂的含量，其含量越多，水的溶蚀力就越大。反应方程式如下：



上式反应是可逆的，即当水中含有一定数量的HCO₃⁻时，则要有相应数量的游离CO₂与其平衡，当水中游离CO₂含量增多时，反应式将向右进行，即发生CaCO₃的溶蚀。

4. 水的流动性

由于溶解作用消耗了CO₂，若要水继续具备溶解能力，就需要补充CO₂，这种补充是由水的流动循环交替来完成的。水的流动能使水中CO₂不断得到补充，岩溶就能不断进行，而且岩体中的渗透通道越来越大，水流的冲刷、侵蚀能力越来越强；反之水的流动缓慢或处于静止状态，岩溶发育就会迟缓，甚至停止发育。

此外，影响岩溶作用的因素还有气候因素（如温度、降水和气压等）、地貌因素（平坦地区还是坡度较大地区）、生物因素（植被、土壤和生物）和水的动态（垂直下渗带、季节变动带、水平流动带和深部滞流带）影响。

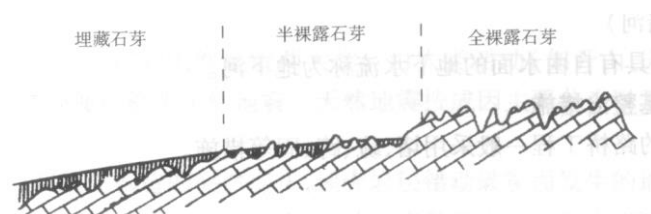
三、岩溶地貌

岩溶地貌根据其发展的空间位置，可以分为两大类，一类是地表岩溶地貌，一类是地下岩溶地貌。

1. 地表岩溶地貌

1) 溶沟和石芽

地表水流沿石灰岩坡面上流动，溶蚀和冲蚀出许多凹槽，称为溶沟。溶沟之间的突出部分，称为石芽。石芽除有裸露的外，还有埋藏的。从山坡上部到下部，由全裸露石芽过渡为半裸露石芽至埋藏石芽，如图6—15所示。溶沟和石芽的特征常和地形、地质等条件有关。



(1) 地形

地形坡度较大的地面上，常形成彼此平行的溶沟和石芽，而在平缓的地面上，

溶沟和石芽则纵横交错。

(2) 地质

在节理发育的区域，形成格状的溶沟。在纯而致密的石灰岩地面，溶沟和石芽较密集；在硅质灰岩、泥质灰岩和白云岩等组成的地面，溶沟和石芽发育较差。

石林是一种非常高大的石芽，它是在热带多雨气候条件下形成的。云南路南石林，高达20~30m，密布如林，故名石林。

(3) 漏斗

漏斗是由地表水的溶蚀和冲刷作用并伴随着塌陷作用形成的。地面上是一种口大底小的锥形洼地，直径数米到数十米，深十几至数十米。漏斗下部常有管道通往地下，地表水沿此管道下流，如果通道被堵塞，则可积水成池。

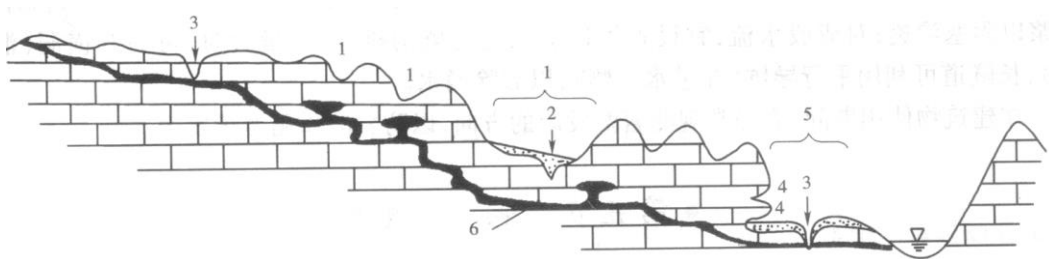
漏斗是岩溶水垂直循环作用的地面标志，因而漏斗多数分布在岩溶化的高原面上。如果地面上有成连续分布的成串漏斗，这往往是地下暗河存在的标志。

(4) 落水洞

落水洞是由垂直方向流水对裂隙不断进行溶蚀并伴随塌陷而成。是岩溶区地表水流向地下河或地下溶洞的通道，落水洞大小不等，形状也各不相同。按其垂直断面形态特征，可分为裂隙状落水洞、竖井状落水洞和漏斗状落水洞等；按其分布方向有垂直的、倾斜的和弯曲的，洞壁直立的井状管道称为竖井。

(5) 溶蚀洼地

溶蚀洼地是由四周为低山丘陵和峰林所包围的封闭洼地，直径由数米到数百米。溶蚀洼地是漏斗进一步溶蚀扩大而成，其底部较平坦，常附生着漏斗和落水洞。溶蚀洼地底部如被红土或边缘的坠积岩块覆盖，底部的漏斗和落水洞就被阻塞，将形成岩溶湖。



1—溶蚀洼地 2—漏斗 3—竖井 4—溶洞 5—阶地 6—地下河

图 6—16 溶蚀洼地、漏斗和竖井在山地中的分布

(6) 坡立谷（岩溶盆地）

坡立谷（岩溶盆地）是指岩溶地区的一些宽广平坦的盆地或谷地。其宽度从数百米至数公里，长度可达几十公里。盆地的边坡陡峭，底部平坦，经常有河流冲积层覆盖，坡立谷进一步发育可形成溶蚀平原。

（7）干谷、盲谷和伏流

干谷又称死谷，是指岩溶地区地表干涸的河谷。在地表河流的某一段河道，河水沿着谷底发育的漏斗、落水洞等全部流入地下，使河谷干涸，则形成干谷。它往往成为寻找地下河的重要标志。盲谷是一种死胡同式的地表河谷，其前方常被陡崖所阻，河水从崖脚的落水洞潜入地下，变为地下河。伏流：地表河水转入地下的河流段，叫伏流。

（8）峰丛、峰林和孤峰

峰丛是由上部为耸立的锥形山峰和下部为相连的基座组成，相对高度为300~600m，山峰坡度为 30° ~ 60° 。从峰丛或峰林的单个山峰外形看，有呈锥状、塔状、圆柱状等不同形态，山峰的表面发育石芽和溶沟，山峰之间洼地或平原有河流落水洞和溶洞。它们构成峰丛洼地和峰林平原两个地貌组合单元。

峰林是高耸林立的石灰岩山峰，相对高度100~200 m，直径小于高度，坡度较陡，大多在 60° 以上，分散或成群出现在平地上，形似树林，故而得名。

孤峰是岩溶区的孤立石灰岩山峰，常分布在岩溶平原或岩溶盆地中，相对高度由数十米至百余米。孤峰是在地壳相对长期稳定条件下，峰林不断溶蚀降低的产物。

2. 地下岩溶地貌

（1）溶洞

溶洞是地下水沿着可溶性岩石的层面、节理或断层进行溶蚀和侵蚀而成的地下洞穴。溶洞的形态大多数极不规则，通道都是曲折的，支洞很多，这是因为受地质构造的制约及洞内坍塌作用造成的。溶洞中有钟乳石、石笋和石柱等岩溶产物，这些岩溶沉积物是由于洞内的滴水为重碳酸钙，因环境改变释放 CO_2 ，使碳酸钙沉淀形成的。

石钟乳是地下水从洞内渗出时，滞留在洞顶上的小水滴中的 CaCO_3 逐渐沉积并向下伸展悬挂，形似钟乳，称为石钟乳。它的横剖面有同心圆状的层次；石笋是从洞顶滴落下来的水溅到洞底，其中 CaCO_3 逐渐沉积形成的，它形似竹笋，

称石笋。石笋是自下而上逐层增长，它的横剖面为叠层状；石钟乳和石笋各自向相对方向伸展，最后连结起来，成为石柱；从洞壁沿裂隙渗出的水， CaCO_3 呈片状沉积，如同帷幕一样展开，称为石幕；由碳酸钙围绕一个核心沉积而成称为豆石或溶洞珍珠；溶洞底沉淀的碳酸钙为石灰华；由泉水出露的 CaCO_3 沉积物是泉华。

（2）暗河

暗河是岩溶地区地下水汇集、排泄的主要通道，部分暗河常与地表的沟槽、漏斗、落水洞相通，因此，可根据地表岩溶形态分布位置，大致判明地下暗河的流向。

（3）天生桥

天生桥是溶洞或暗河的塌陷，有时残留一段没有塌陷的洞顶，形成一个横跨水流的石桥。

四、岩溶地区工程地质问题

1. 溶蚀后岩石的强度降低

岩溶水在可溶岩层中溶蚀，使岩层产生孔洞，导致结构松散，从而降低了岩石强度。

2. 造成基岩面不均匀起伏

因石芽、溶沟溶槽的存在，使地表基岩参差不齐、起伏不均匀。如利用石芽或溶沟发育的地区作为地基，则必须作出处理，否则导致地基沉陷不均匀。

3. 降低地基承载力

建筑物地基中若有岩溶洞穴，将大大降低岩体地基的承载力，容易引起洞穴顶板塌陷，使建筑物遭到破坏。

4. 造成施工困难

在基坑开挖和隧道施工中，如果附近有溶洞、暗河存在时，则可能产生坍塌和突然大量涌水现象，造成生命财产的损失和施工的困难等等。

五、岩溶地区路基防治措施

在岩溶地区进行工程活动时，首先应该避开危险的岩溶地区，避不开时，考虑采取处置措施。常采用以下工程措施。

1. 堵塞

对基本停止发展的干涸的溶洞，一般采用堵塞方法。如用片石堵塞路堑边坡上的溶洞，表面以浆砌片石封闭。对路基或桥基下埋藏较深的溶洞，一般可通过钻孔向洞内灌注水泥砂浆或水泥混凝土等加以堵塞。

2. 疏导

对经常有水或季节性有水的空洞，一般宜疏不宜堵。对自然降水和其他地表水应防止下渗，宜采用截排水措施，将水排出路基。

3. 跨越

对于路基下面有岩溶或暗河，其顶板较薄的地段，易炸开顶板，以桥涵跨越。

4. 清基加固

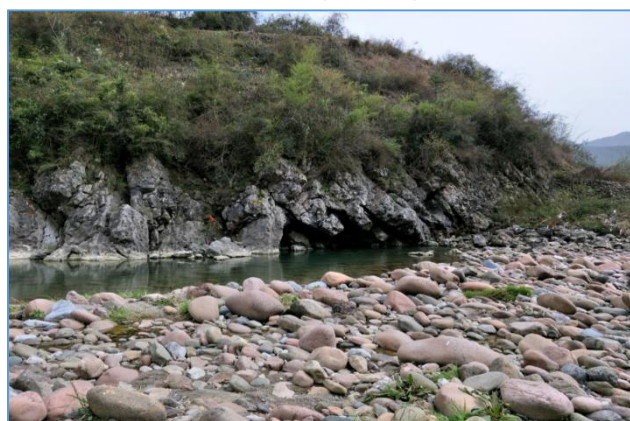
为防止基底溶洞的坍塌及岩溶水的渗漏，经常采用加固方法，如洞径大，洞内施工条件好时，可采用浆砌片石支墙、支柱等加固。如需保持洞内水通，可在支撑工程间设置涵管排水；深而小的溶洞不能使用洞内加固办法时，可采用石盖板或钢筋混凝土盖板跨越通过；若洞径小、顶板薄或岩层破碎的溶洞，可采用爆破清除回填的办法处理。

隧道工程中的岩溶处理较为复杂。隧道内常有岩溶水的活动，若水量很小，可在衬砌背后压浆以阻塞渗透；对成股水流，宜设置管道引入隧道侧沟排除；水量大时，可另开横洞(泄水洞)；长隧道可利用平行导坑(在进水一侧)，以截除涌水。

工程案例：

项目区内出露的震旦系上统(Zb)及震旦系上统灯影组(Zbdn)石灰岩为可溶性碳酸岩，在水的溶蚀作用下产生溶洞。根据现场调查，区内发育的溶洞直径一般3-5m，最大的有10-15m，主要分布在地形陡峻、岩石裸露的斜坡上和临河处的斜坡坡脚处，如图6-17所示。

图 6-17 公路沿线发育的溶洞





路线通过石灰岩路段较多,溶洞的发育对路基和桥梁的建设与后期运营有一定影响。根据勘察,项目区发育的规模较大的溶洞多分布于路线以外,各钻孔中均未揭露到规模较大的溶洞,道路沿线也无地面塌陷。公路建设时如遇到溶洞,应及时通知勘察设计单位,提出相应的处理措施。

第四节 沙 漠

一、概述

沙漠是指地表大面积为风积的疏松沙所覆盖的荒漠地区,沙地是指地表疏松沙所覆盖的草原地区,在不需区分沙漠与沙地时则统称为沙漠。大部分沙漠的沙是由冲积物、湖积物或洪积物等受风力吹扬作用而形成。干旱的气候和风的作用是形成沙漠的主要原因,不合理的人为活动(如滥伐森林树木,破坏草原等)则可促进沙漠的形成。例如我国陕西榆林地区,在明末清初的时候是个天然草原区,没有多少风沙。到了清朝乾隆年间,陕西和山西北部许多人移居到榆林以北关外去开垦,致使原来的草地露出了泥土,日晒风吹,尘沙就到处飞扬。由于长城外的风沙侵入,到解放以前,榆林地区关外 30 公里都变成沙漠了。沙漠地区的共同特征是:气候干旱、日照强烈、温差悬殊(平均年温差可达 30~50℃,日温差更大,夏天午间地面温度可达 60℃以上,夜间的温度又降到 10℃以下)、植被稀少、易溶盐多、风大沙多。在沙漠地区,风的作用特别活跃,特别突出。

全世界沙漠面积约占地球陆地面积的 1 / 5,我国沙漠面积约占 70 万平方公里。我国主要的沙漠有:塔克拉玛干沙漠、古尔班通古特沙漠、巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、乌兰布和沙漠、库布齐沙漠、毛乌素沙漠、小腾格里沙地、科尔沁沙地及河西走廊沙地。沙漠地区不但有重要的矿产资源,而且有一定的水土资源,但是沙漠给人类带来很大危害,它吞没农田、村庄,埋没铁路、公路等交通设施。据史书记载,我国丝绸之路上的楼兰古城,就是被沙漠吞没的。目前人类正在研究、改造、利用和治理沙漠。

二、风成地貌

风成地貌是风力对地表岩石、风化碎屑物等的侵蚀、搬运和堆积过程中所形成的各种地貌形态。风成地貌分为风蚀地貌和风积地貌两大类，其分布具有一定的分带性，一般沿盛行风向分为三个相互过渡、相互联系的地带：吹扬占优势的地带；风蚀风积带和堆积占优势的地带。在吹扬占优势的地带形成风蚀地貌，在堆积占优势的地带形成风积地貌。

1. 风蚀地貌

风蚀地貌是由风的吹扬作用及磨蚀作用所造成的。比较常见的风蚀地貌有以下几种：

1) 石窝(风蚀壁龛)

陡峭的岩壁上，经风蚀形成大小不等、形状各异的小洞穴和凹坑。有分散的和群集的，形成蜂窝状外貌。大的称为风蚀壁龛，凹坑有时深达 10~25cm，口径可达 20cm 左右。

2) 风蚀蘑菇和风蚀柱

经长期的风蚀作用形成顶部大于下部的蘑菇形状，称为风蚀蘑菇，又称石蘑菇、风蘑菇，如图 6—18。形成风蚀蘑菇的原因通常有两种：一是孤立突起的岩石上部岩石比下部岩性硬，抵抗风蚀的能力强；另一种原因是岩石组成均一，由于接近地表夹沙气流有更大的磨蚀力。如果垂直节理发育的岩石，经长期侵蚀形成的柱状地貌，称为风蚀柱，如图 6—19。

3) 雅丹地貌（风蚀垄槽）

在冲积或湖积平原上，风蚀沿着软弱的地方以平行主风向的线状吹蚀为主，形成吹蚀槽地形，而在吹蚀槽之间的较坚硬地面则遗留下来，形成狭长的残余墩台，地面显得支离破碎这就是雅丹地貌，见图 6—20。

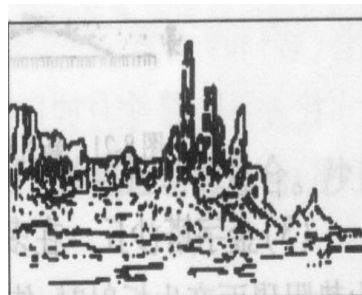


图 6-18 风蚀蘑菇

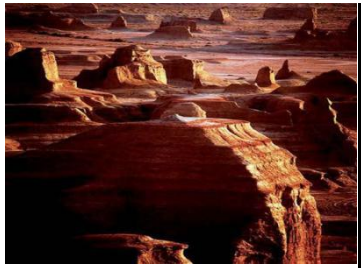


图 6-20 雅丹地貌

图 6-19 风蚀柱



图 6-21 风城地貌

4) 风城地貌

在地层水平排列、软硬相间的地区，在流水侵蚀的基础上，经风力吹蚀作用可形成风城地貌，如图 6—21。其外观类似片段的城堡或方形建筑物。

5) 风蚀洼地

在松散的沉积层覆盖的地区，由于风蚀作用形成椭圆形洼地。有时也能形成巨大围椅状风蚀洼地，洼地背风坡较陡。较深的风蚀洼地如以后有地下水溢出或存储雨水即可成为干燥区的湖泊，如中国呼伦贝尔沙地中的乌兰湖等。

6) 风蚀谷地与风蚀残丘

风蚀加宽加深冲沟所成的谷地，称为风蚀谷地。谷地无一定的形状，随着风蚀谷地的不断扩大，原始地面不断缩小，最后仅残留下一些孤立的小丘，即风蚀残丘。

2. 风积地貌

风积地貌亦称风沙地貌，是由风力对沙的搬运和堆积而形成。风积地貌是沙漠地区的主要特征，也是沙漠地区公路的主要危害。我国沙漠地区常见的风积地貌按其形态特征可分为以下几种：

1) 坦状沙地

坦状沙地是风积地貌中最简单的一种，是风力作用于沙质地面最原始的形态。主要分布在平坦开阔的地带，多半是由各种成因不同的沉积物经过风的改造在原地形成的。一般厚度不大，平沙漫漫，没有明显起伏，仅在表面有风成沙波纹。在坦状沙地上，风沙流的活动强度是很大的，沙波纹是变化无常的，不仅位置经常变动，排列方向也随着风向而时常变化。

2) 沙堆

在风沙流活动的地区，由于草丛、灌丛对近地面的含沙气流有阻挡作用，使

沙粒沉落下来形成沙堆。

3) 沙丘

由于风力、风速的变化和原始地形的不同，沙丘的形状也不同，常见的有以下几种：

(1) 新月形沙丘 主要分布在地面平整、风向单一而稳定、气流中沙的含量不很丰富的沙漠边缘地带。其平面轮廓呈现新月形，沙丘两侧有顺风向延伸的两个翼，其交角大小取决于各地主导风向的强弱，风速愈大，角度愈小。两坡不对称，迎风坡凸出而平缓，背风坡凹入而较陡，斜坡之间有一明显的弧形脊梁。新月形沙丘高度一般为数米，个别可达十余米。这种单个的新月形沙丘，是活动性最大，移动速度最快的沙丘，见图 6—22。

(2) 新月形沙丘链

如沙源供应比较丰富，在新月形沙丘密集的地区，个体新月形沙丘逐渐发展增大，侧翼相互联结，便可形成曲折的沙丘链，称为新月形沙丘链，见图 6—23。沙丘链一般高数米至数十米，较单个新月形沙丘的活动性小、移动速度慢。

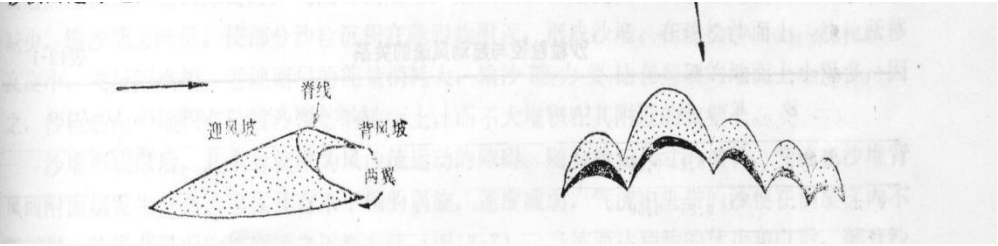


图 6—22 新月形沙丘

图 6—23 沙丘链

(3) 新月形沙垄(纵向新月形沙丘)

在两组风力不等、风向锐角斜交的情况下，新月形沙丘的一翼向前伸很长，而另一翼则相对退缩，形成平面外形如鱼钩状的新月形沙垄，亦称纵向新月形沙丘。

(4) 纵向沙垄

纵向沙垄是在单一方向的风或相近方向的风的影响下形成的，顺着风向伸展，长数百米至数公里，高数米至数十米，垄顶呈尖棱形或圆弧形。



图 6—24 纵向沙垄

纵向沙垄的形成可能有几种情况：由新月形沙垄继续发展而成；由灌丛沙堆连接演变而成；由沙质地面的吹扬和堆积而成，如图 6—24。

(5) 金字塔沙丘

这种沙丘一般是零星的单个的分布。它具有三角形的斜面(倾斜度约为 $25^{\circ} \sim 30^{\circ}$)、尖顶和狭窄的棱脊线,状如金字塔,高 $50 \sim 100\text{m}$,一般有 $3 \sim 4$ 个棱面,每一个棱面往往表示一种风向。这种沙丘多见于邻近山岭的地带,特别是山岭的迎风面。它在空间上是不移动的,只在规模上发展扩大。

三、风沙运动

风沙运动是指沙在风力作用下遭受吹扬、搬运和堆积的过程。研究风沙运动的规律,对于认识风沙地貌、防止公路沙害都是十分重要的。风沙运动通常分为风沙流与沙丘两种形式,它们是相互区别又相互联系的。

1. 风沙流

在沙漠地区,当风力吹经沙质地面时,将松散沙粒扬起,并带进运动的气流中随之前进,即形成风沙流,它是风沙运动最基本的形式。

风沙流中沙粒的运动形式有蠕移、跃移和悬移三种运动方式,最大的沙粒在地面作蠕移运动;最小的沙粒以悬移方式运动;其他沙粒以跃移方式移动。这三种方式中,以跃移为主,平均约占总输沙量的 78% 。风沙流中搬运的沙量,绝大部分是在地面 30 cm 的高度范围内通过的,其中特别集中在地面以上 $0 \sim 10\text{ cm}$ 的气流层中。

表 6—2 风速为 9.8m/s 时不同高度气流层内的含沙量 (%)

高度 (cm)	0~12	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70
含沙量 (%)	79.32	12.30	4.79	1.50	0.95	0.74	0.40

风沙流的强度一般以输沙率表示,输沙率是指风沙流在单位时间内通过单位宽度断面输送的沙的重量。输沙率随着起沙风风速的增大而迅速增加,与起沙风超过临界风速的差值的三次方成正比。在其它条件相同的情况下,一定的风速有一定的输沙率。当风沙流达到相应的输沙率时,它即处于饱和状态,此时由沙地表面进入气流中的沙量和从气流中沉落的沙量近似相等,既不产生吹蚀,也不产生堆积;如超过相应的输沙率,即处于过饱和状态时,则产生堆积;如未达到相应的输沙率,即处于未饱和状态时,则有利于吹蚀。

2. 沙丘

沙丘是具有一定形态的沙粒集合体,沙丘的移动是在风力作用下沙粒运动的总合。沙丘的运动也是通过风沙流的形式,但不同形态的沙丘各有其特点。

1) 新月形沙丘的移动

典型的新月形沙丘迎风坡缓而长，背风坡(即落沙坡)陡而短，丘顶有明显的脊线。新月形沙丘这种剖面特点，使得地表的连续渐变在丘顶有一个突然的转折。越过沙丘的风不能沿地表平滑地通过，便在背风面形成风荫区。在风荫区内虽有涡旋气流，但它们的平均向前流速很低。风沙流中的沙粒流经风荫区时，几乎全部沉落在落沙坡上。通过落沙坡的不断堆积和塌落，整个新月形沙丘不断移动。据此，可粗略推求沙丘的移动速度。

2) 新月形沙丘的移动分带

在成群分布的新月形沙丘地区，沙丘不同部位的风沙流运动具有明显的分带性，一般可分为以下 4 个带，如图 6—25 所示。

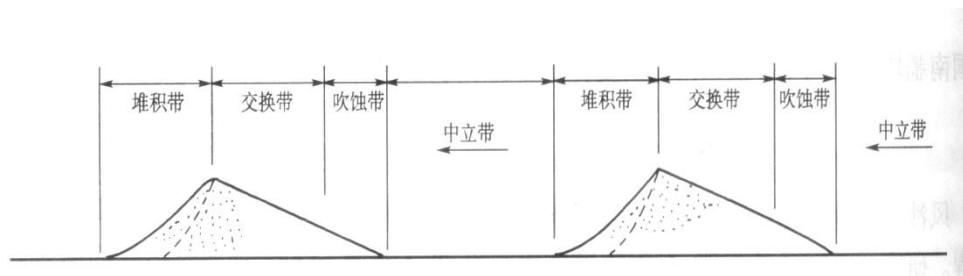


图 6—25 新月形沙丘的移动分带

(1) 中立带 两个沙丘之间的空地为中立带。在这一带内，无论吹蚀作用或堆积作用都不能得到充分发展，故地表比较稳定。这一带的宽度主要取决于沙丘的高度和沙源的供应情况。沙丘愈高，沙的供应不充分，此带愈宽；反之，愈窄。

(2) 吹蚀带 在沙丘迎风坡的下部，约占迎风坡的三分之一。这一带在主导风的作用下发生吹蚀，起动的沙粒被向前搬运。

(3) 交换带 在沙丘迎风坡的上部，约占迎风坡的三分之二。这一带地表原有沙粒在主导风的作用下被吹蚀搬运，同时又接受风沙流中来自吹蚀带中的部分沙粒的暂时停积，但总的趋势是风沙流的密度继续有所增大。

(4) 堆积带 从丘顶脊线到落沙坡脚整个背风带都属堆积带。越过脊线的风沙流几乎全部沉落在落沙坡上。

3) 沙丘移动的基本形式

沙丘移动的形式取决于当地的风型，分为以下几种形式：

(1) 前进式 沙丘只朝一个方向向前移动，速度较快。这种方式是在单方向或几个方向相近的风系作用下形成的。

(2) 往返式 沙丘在一个方向风的作用下移动一定距离，然后在相反风的作用下又回到原来的位置。

(3) 往返前进式 沙丘随风向变化有不同程度的往返运动，但总的趋势是向优势风向方面作较慢的移动。

(4) 迂回式 因受局部地形的影响，气流发生干扰，使沙丘作迂回运动，前进速度很慢，或只在原地摆动。

4) 沙丘移动的总方向

沙丘移动的总方向是指全年（或某一个时期内）沙丘移动的总和方向。由于一个地区起沙风的方向和速度是随时间变化的，所以沙丘的移动方向和速度也是随之不断变化的。欲求沙丘在一个时期内移动的总方向，就需求这个时期内起沙风总的合成方向。可以根据附近气象台（站）和野外观测资料，绘出动力风向或起沙风矢量图确定。

5) 沙丘的移动速度

沙丘的移动速度，主要取决于当地风的情况，同时与沙丘的高度、表面湿度、沙粒的粗细、植被的覆盖、起沙风频率及下伏地貌有关。若沙丘高度和表面湿度小、沙粒细、沙丘裸露、起沙风频率愈大、下伏地表平坦，则沙丘移动速度就快，反之，就慢。

6) 沙丘稳定性分类

沙丘按其稳定程度，通常可分为以下三类：

(1) 固定沙丘 植被覆盖度在 50% 以上，或者有粘土结皮、盐结皮覆盖，沙丘表面风沙活动不显著。天然的固定沙丘多分布在湖、河的边缘以及流动沙丘的外围，并且一般塚状。

(2) 半固定沙丘 植被覆盖度在 15%~50%，或者有部分粘土结皮、盐结皮覆盖，沙丘表面流沙呈斑点状分布，有显著的风沙活动。此沙丘多分布在沙漠边缘地带，属于过渡类型，稍加治理，即可稳定。

(3) 流动沙丘 植被覆盖度在 15% 以下，甚至完全裸露，沙丘表面风沙流活动极为显著。此类沙丘的活动性，需要根据沙丘地貌类型、移动的基本形式及其影响移动速度的诸因素作出进一步的判断。

三、风沙危害

1. 风沙对公路的危害

风沙对公路的危害，主要表现为沙埋与风蚀，其中又以沙埋为主。

1) 沙埋 公路遭受沙埋来自两种风沙运动:其一是在风沙流活动地区，由于路基的屏障作用，使得风速减弱，导致沙粒的沉落、堆积，掩埋路基；其二是在流动沙丘地区，由于沙丘向前移动，掩埋路基。

2) 风蚀 在沙漠地区，没有适当防护的路基及其两侧地面均可遭受风蚀。路基遭受风蚀会出现削低、掏空和坍塌等现象，从而造成路基的宽度和高度不足。两侧地面遭受风蚀，将引起路基不稳固和沙埋等不良后果。

2. 风沙地区修建公路应注意的问题

1) 路线设计应注意的问题

路线穿过沙漠地区时，宜尽量绕避严重的流沙地段，并尽可能选择在沙害较轻的地带通过。属于沙害较轻的地带有：①河岸、湖岸以及盐渍土分布的地带；②沙漠前沿的固定、半固定沙丘地带；③沙地下伏古河床的地带以及地下水溢出带；④大山或高地前缘的背风地带。

路线必须穿过流沙地区时，则应注意以下几点：①在经沙区最短的地方通过；②在沙丘起伏不大的地段通过；③在沙丘间的中立地带通过；④路线走向宜与当地的主风向大致平行；⑤尽量少用曲线，特别不宜用小半径曲线；⑥必须设置曲线时，只宜用在路堤地段并将凸弧朝向主风向。

2) 路基设计应注意的问题

为防治风沙危害，路基防护不仅应包括主体部分，还应包括路侧相当宽度的地带，因此需要有总体的规划与布置。

流沙地区的路基主体，无论路堤或路堑皆为疏松沙所组成，因此均需进行全面的固沙防护，以防止风蚀和保证路基的稳固。

植物固沙是防治沙害的根本措施。为防止破坏原有植被，引起新的沙源，路侧应设封沙育草带，禁止不合理的开垦、放牧与樵采。

为防治沙害，无论哪种情况，工程防护措施都是不可缺少的，在不宜采用植物固沙的地区，即为唯一措施；在采用植物固沙的地区，修路初期为防治沙害并为植物固沙创造条件，也是不可缺少的过渡性措施。公路常用的工程防护措施有“固”、“阻”、“输”、“导”四种类型，可单独使用，也可配合使用，根据因地制

宜、就地取材的原则加以选择。

技能训练

根据下述资料分析滑坡形成的原因并提出边坡治理措施。

一. 工程简介

广东省韶关坪乳公路洋碰路段西滑坡区位于 K69+140~K69+300 段以北的斜坡上。滑坡形成于 1996 年雨季，东西长 210m，南北宽 75m。滑坡呈北向南急剧散开的扇形，顶端宽 45m，南缘宽约 150m，滑坡后缘清晰可见，呈一高差约 2m 陡坎，滑动方向为南西方向。

二. 工程地质概况

该滑坡区为山前斜坡地貌，坡度约 17 度，坡高 30m。滑坡区露出为不同成因类型的第四系及晚近时代松散堆积。松散堆积主要是较近时期形成的残积、坡积和滑坡堆积物，各岩土层性质分述如下：

坡积层 浅黄色含碎石粉质黏土和黏土，干燥后坚硬，潮湿时可塑，碎石局部含量高，形成碎石土层，该层厚度 6.8~8.8m。

残积层 灰黄色、灰白色黏土，含碎石，局部碎石集中，呈不等层夹层，黏土稍湿，可塑，厚度 3.4~14.5 不等。

厚度不同的灰黄色千枚岩、夹砂岩，其下为泥盆系黑色角砾状灰岩。

根据原状土样试验结果，对所有土样的物理力学指标分层进行统计，列于表 6-3 中，从表中可以看出表层土为高液限粘性土，含水量偏高，容重和抗剪强度指标略偏小。

表 6-3 土工试验结果综合指标

地质 分层	岩性	含水 量(%)	天然容重 (kN/m ³)	干容重 (kN/m ³)	液限 (%)	塑限 (%)	塑性 指数	黏聚力 (kPa)	内摩擦 角 (°)
坡积 层	粉质黏 土、碎石 土、 黏土	27.8	18.7	14.5	53.4	33.2	20.2	36.0	20.4
残积 层	粉质黏 土、黏土	36.6	19.5	14.3				40.09	16.0
滑坡 土层	黏土	26.5	19.0	15.0	54.1	33.6	20.5		

平均 值		30.3	19.1	14.6	53.8	33.4	20.4	38.5	18.2
---------	--	------	------	------	------	------	------	------	------

思考题

1. 什么叫崩塌?崩塌给公路工程造成哪些危害?
2. 崩塌的形成必须具备哪些基本条件? 简述崩塌的防治原则和措施。
3. 什么是岩堆? 防治措施有哪些?
4. 滑坡的发生必须具备哪些条件? 在野外路线测设中, 怎样识别滑坡的存在?
5. 工程上对滑坡的防治措施常用“绕、排、挡、减、固”请说明这五字措施的含义。
6. 什么叫泥石流?泥石流的形成必须具备哪些条件?
7. 在可能发生泥石流的地段, 应采取哪些措施?
8. 岩溶形成的基本条件?
9. 岩溶地区可能遇到哪些工程地质问题?应采取哪些防治措施?
10. 风成地貌的常见类型有哪些?风沙运动及常见的运动形式有哪些?
11. 风沙对公路会产生哪些危害?应采取哪些措施?

第七章 公路工程地质勘察

学习目标:

- (1) 明确公路工程地质勘察阶段的划分、各阶段的任务及勘察要点。
- (2) 了解公路工程地质勘察的方法。
- (3) 熟悉常见不良地质现象的勘察要点。

公路工程建设在地壳表面, 是一种延伸很长的线形建筑物, 通常要穿越许多自然地质条件十分不同的地区。它不仅受地质因素的影响, 也受许多地理因素的影响, 因此, 公路工程地质勘察无论在内容、要求、方法上和广度、深度、重点等方面都有其自己的特点。

为了正确处理公路工程建筑与自然条件的关系，充分利用有利条件，避免或改造不利条件，需要进行公路工程地质勘察。即运用工程地质学的理论和方法，认识公路通过地带的工程地质条件，为公路工程的规划、设计和施工提供依据和指导。

第一节 概述

公路工程地质勘察，就是运用地质、工程地质的理论和各种技术手段、实地调查、研究公路要穿越地带的工程地质条件。公路工程地质勘察的目的，是为公路选线、测设、施工和使用提供经济合理而又正确完整的工程地质资料。

一、公路工程地质勘察的阶段

公路工程地质勘察工作应按照公路建设规定的基本程序分阶段进行。基本建设程序是指基本建设项目在整个建设过程中各项工作的先后顺序，可划分为规划论证、设计、施工和交付使用等四个阶段。其中，最后一个阶段的工作是竣工验收和交付使用；在其余三个阶段中，对工程地质勘察工作有不同的要求，在广度、深度和重点等方面都是有差别的。

公路工程地质勘察可分为预可行性研究阶段工程地质勘察（简称预可勘察）、工程可行性研究阶段工程地质勘察（简称工可勘察）、初步设计阶段工程地质勘察（简称初步勘察）和施工图设计阶段工程地质勘察（简称详细勘察）四个阶段。

工程地质勘察一般不应超越阶段的要求，也不应将工作遗留到下一阶段去完成。不同阶段的公路工程地质勘察工作及其基本任务分述如下。

（一）可行性研究工程地质勘察

公路建设项目可行性研究工程地质勘察，是为研究各工程方案场地内的区域性工程地质条件，尤其是对工程方案的比较有关键性影响的不良地质、特殊性岩土、重点工程地段的工程地质条件，进行必要的工程地质勘察，并提出工程方案比选的地质依据。

公路建设项目可行性研究工程地质勘察工作的内容，主要是研究建设项目所在地的地理、地形、地貌、地质、地震、气象、水文等自然特征以及不良地质、特殊性岩土、筑路材料来源与运输条件等。这一阶段的勘察工作以调查为主。对不良地质路段、特殊性岩土区，应列为工程地质勘察的重点，研究其影响路线控

制点、路线走向和工程方案选择的地质因素及其危害程度。

公路可行性研究按其工作深度,分为预可行性研究和工程可行性研究。预可行性研究中的工程地质工作一般只要求收集与研究已有的地质文献资料;而在工程可行性研究中,需进行踏勘工作,对各个可能方案作沿线实地调查,并对大桥、隧道、不良地质地段等重要工点进行必要的勘探(如物探),大致探明地质情况。

(二) 初步设计阶段工程地质勘察(初步勘察)

初勘的目的是根据工程可行性研究报告提出的推荐建设方案,进一步做好地质选线工作,为优选路线方案及编制初步设计文件提供必要的工程地质依据。初勘的任务是根据工程地质条件,优选路线方案;在路线基本走向范围内,对各路段可能布线的区间进行工程地质初勘;重点勘察对路线方案起控制作用的不良地质地段,应明确路线能否通过或如何通过;提供编制初步设计所需要的全部工程地质资料。

初勘工作可按准备工作、工程地质选线、工程地质调绘、勘探、试验、资料整理等顺序进行。这里简要介绍工程地质选线和应整理提交的资料,其余内容及具体要求可查阅有关规程、细则或手册。

(1)工程地质选线 初测阶段勘测工作的任务是选择经济合理、技术可行的最优路线方案。当测区内的工程地质条件比较复杂,如区域地质的稳定条件差,有不良地质现象,山体或基底有失稳可能时,尤其应注意工程地质选线工作。首先应从工程地质观点来选定路线的概略位置,然后充分研究并掌握沿线的工程地质条件,尽可能提出有比较价值的方案进行比较,将路线选定在地质情况比较好的区间内,以避免在详测时因工程地质问题发生大的方案变动。

(2)初勘资料整理 工程地质勘察的原始资料,包括调查、测绘、勘探、试验等资料应按有关规定填写,并进行复核与检查。提交的资料包括图件、文字等资料,要求清晰正确,言简意明,并符合有关规程和设计文件编制办法的规定。

初勘资料分为基本资料和专项资料。其中,基本资料包括:

①全线工程地质说明书 根据勘察的具体情况,综合分析工程地质调查、测绘、勘探、试验所取得的各项资料,阐明工程地质条件,分别评价各测

段地质条件及筑路适宜性。说明书的内容包括序言、自然地理、地层、地质构造、工程地质条件、地震烈度、筑路材料、构造物基础地质概况、岩土物理力学指标、各方案地质评价、主要地质问题处理、对详勘的意见等。

②工程地质略图 当控制路线选择的路段地质条件复杂时,应绘制工程地质略图,其主要内容包括岩层(分界线及成因、时代、产状)、地质构造线、不良地质、地下水、地震基本烈度、分段的代表性地质横断面及地层柱状图、图例等。

③填写纵断面图中地质说明 在路线纵断面图中,填写工程地质特征(地貌、岩性特征、土石工程分类等);

④各类测试原始资料的汇总分析,包括勘探资料、试验资料、气象资料等。

⑤航摄资料及工程地质照片等。

专项资料包括特殊地质及不良地质地区、路基工程、小桥涵基础、筑路材料等项资料。

(三) 施工图设计阶段工程地质勘察(详细勘察)

详勘的目的是根据已批准的初步设计文件中所确定的修建原则、设计方案、技术决定等设计资料,通过详细工程地质勘察,为路线布设和编制施工图设计提供完整的工程地质资料。详勘的任务是在初勘的基础上,进行补充与校对,进一步查明沿线的工程地质条件,以及重点工程与不良地质区段的工程地质特征,并取得必需的工程地质数据,为确定路线位置和施工图设计提供详细的工程地质资料。

详勘工作可按准备工作、沿线工程地质调绘、勘探、试验、资料整理等顺序进行。由于详勘工作需在初勘的基础上进一步查明沿线的工程地质条件和不良地质区段、各构造物场地等的主要工程地质问题,因此,比初勘工作更为详细、深入。最后提交的资料也包括基本资料和专项资料两个部分,深度应满足施工图设计的需要。

二、公路工程地质勘察的内容

1. 路线工程地质勘察

在视查、初测、详测各个阶段,与路线、桥梁、隧道等专业人员密切配合,查明与路线方案及路线布设有关的地质问题,选择地质条件相对良

好的路线方案，在地形、地质条件复杂的地段确定路线的合理布设。在路线工程地质勘察中，并不要求查明全部工程地质条件，但对路线方案与路线布设起控制作用的特殊地质，不良地质地区的勘察应作为重点，查明其地质问题，并提出确切的工程措施。对于复杂的工点，需根据任务要求及现场条件，组织专门力量进行工程地质勘察。

2. 特殊地质、不良地质地区(地段)的工程地质勘察

特殊地质地段及不良地质现象，如泥沼及软土、黄土、膨胀土、盐渍土、多年冻土、岩堆、崩塌、滑坡、泥石流、冰川、雪崩、积雪、涎流水、沙漠、岩溶等，往往影响路线方案的选择、路线的布设与构造物的设计，在工程地质勘察的各个阶段均应作为重点，进行逐步深入的勘测，查明其类型、规模，性质、发生原因、发展趋势、危害程度等，提出绕越依据或处理措施。

3. 路基、路面工程地质勘察

在初测、详测阶段，根据选定的路线方案和确定的路线位置，对中线两侧一定范围的地带进行工程地质勘察，为路基、路面的设计和施工提供土质、地质、水文及水文地质方面的依据。其中，详勘阶段主要是进行定量调查取得有关的资料，对一般路基或比较特殊的路基(如高填路堤，深挖路堑等)均要求进行详细的勘探与试验。

4. 桥梁工程地质勘察

大桥桥位影响路线方案的选择，大、中桥桥位多是路线布设的控制点，常有比较方案。因此，桥渡工程地质勘察一般应包括两项内容，首先应对各比较方案进行调查，配合路线、桥梁专业人员，选择地质条件比较好的桥位；然后对选定的桥位进行详细的工程地质勘察，为桥梁及其附属工程的设计和施工提供所需要的地质资料。前一项工作一般是在视查与初测时进行，后一项则在初测与详测时分阶段陆续完成。

5. 隧道工程地质勘察

隧道多是路线布设的控制点，长隧道且影响路线方案的选择。隧道工程地质勘察同桥渡一样，通常包括两项内容：一是隧道方案与位置的选择。二是隧道洞口与洞身的勘察。前者除几个隧道位置的比较方案外，有时还包括隧道与展线或明挖的比较；后者是对选定的方案进行详细的工程地质

勘察，为隧道的设计和施工提供所需的地质资料。前一项工作一般应在视查及初测时完成，后一项则在初测与详测时分阶段陆续完成。

6. 天然建筑材料勘察

修建公路需要大量的筑路材料。其中绝大部分都是就地取材，特别是象石料、砾石、砂、粘土、水等天然材料更是如此。这些材料品质的好坏和运输距离的远近等，直接影响工程的质量和造价，有时还会影响路线的布局。筑路材料勘察的任务是充分发掘、改造和利用沿线的一切就地材料，当就近材料不能满足要求时，则由近及远地扩大调查范围，以求得数量足够、品质适用、开采及运输方便的筑路材料产地。勘察的内容包括筑路材料的储量、位置、品质与性质、运输方式及距离。以及用于公路工程的可能性、实用性等。

三、公路工程地质勘察的主要方法

(一) 工程地质调查与测绘

调查与测绘是工程地质勘察的主要方法。通过观察和访问，对路线通过地区的工程地质条件进行综合性的地面研究，将查明的地质现象和获得的资料，填绘到有关的图表与记录本中，这种工作统称为调查测绘(调绘)。公路工程地质调查测绘，一般可在沿线两侧带状范围内进行，通常采用沿线调查测绘的方法。对不良地质地段及地质条件复杂的路段，应扩大调绘范围，以提出完整可靠的地质资料；对可能控制路线方案、路线位置或重点工程的地质点，以及重要的地质界线，则应根据需要进行详细测绘。

1. 工程地质调查测绘内容

工程地质调查主要是用直接观察和访问群众的方法，需要时可配合适量的勘探和试验工作。

工程地质测绘与工程地质调查的不同之处是，工程地质测绘的范围往往较大，并且要求把调查研究结果填绘在一定比例尺的地形图上。以编制工程地质图。测绘范围以能满足工程技术要求为前提，并应包括与工程地质环境有关的范围。测绘的比例尺可在以下范围内选用：可行性研究阶段1:5000~1:50000，初勘阶段1:2000~1:10000，详勘阶段1:200~1:2000。为达到测绘精度要求，实地测绘所用地形图的比例尺必须大于或等于提交成图比例尺。

工程地质调查测绘的内容应视要求而定。调查测绘的重点也因勘察设计阶段及工程类型的不同而各有所侧重。但其基本内容不外以下几个方面：

(1) 地形、地貌

地形、地貌的类型、成因、特征与发展过程；地形、地貌与岩性、构造等地质因素的关系；地形、地貌与工程地质条件的关系，对路线布设及路基工程的影响等。

(2) 地层、岩性

地层的层序、厚度、时代、成因及其分布情况；岩性、风化破碎程度及风化层厚度；土石的类别，工程性质及对工程的影响等。

(3) 地质构造

断裂、褶曲的位置、构造线走向、产状等形态特征和地质力学特征；岩层的产状和接触关系，软弱结构面的发育情况及其与路线的关系、对路基的稳定影响等。

(4) 第四纪地质

第四纪沉积物的成因类型、土的工程分类及其在水平与垂直方向上的变化规律；土的物理、水理、化学、力学性质；特殊土及地区性土的研究和评价。

(5) 地表水及地下水

河、溪的水位、流量、流速、冲刷、淤积、洪水位与淹没情况；地下水的类型、化学成分与分布情况，地下水的补给与排泄条件，地下水的埋藏深度、水位变化规律与变化幅度；地面水及地下水对公路工程的影响。

(6) 特殊地质、不良地质

各种不良地质现象及特殊地质问题的分布范围、形成条件、发育程度、分布规律及其对公路工程的影响。

(7) 地震

根据沿线地震基本烈度的区划资料，结合岩性、构造、水文地质等条件，通过调查访问，确定 ≥ 7 度的地震烈度界线。

(8) 工程经验

对既有建筑物的稳定情况和工程措施进行调查访问，以兹借鉴。

2. 工程地质调查测绘的方法

铁路、公路等工程地质调查测绘一般沿路线在带状范围内进行，调查测绘的宽度应以满足路线方案选择、工程设计和病害处理为原则，并根据区域地质构造的复杂程度，不良地质发生、发展和影响的范围，以及工程地质条件分析的需要予以扩大。

(1) 调查测绘路线的布置及测绘宽度

路线工程地质调查测绘一般沿路线中线或导线进行，测绘宽度多限定在中线两侧各 2m~300m 的范围。在测绘范围内，各种观测点的位置都应路线中线取得联系。实际工作中，路线工程地质调查测绘的主要任务之一，就是把已经绘好的路线带状地形图编制成路线带状工程地质图。

对于控制路线方案的地段、特殊地质及地质条件复杂的长隧道、大桥、不良地质等工点，应进行较大面积的区域测绘。区域测绘时，可按垂直和平行岩层走向(或构造线走向)的方向布置调查测绘路线。

沿选定的测绘路线适当布置若干观测点，通过对这些观测点的地质调查、测绘，掌握各条路线的地质情况，通过所有测绘路线的综合，掌握整个调查测绘范围内的地质情况。因此，观测点的工作是最基础的工作。

(2) 观测点的选择及测绘内容

根据调查测绘的内容，观测点可分为单项的和综合的两种。以测绘某一种地质现象为主的是单项观测点，例如地貌观测点、地层岩性观测点、地质构造观测点、水文地质观测点等；能综合反映多方面地质现象的是综合观测点。路线工程地质调查测绘多采用综合观测点。

观测点的选择和布置，目的要明确，代表性要强，密度应结合工作阶段、成图比例、露头情况、地质复杂程度等而定；数量以能控制重要地质界线并能说明工程地质条件为原则。选择观测点的一般要求是：地层露头比较好，地质构造形态比较清楚，不良地质现象比较突出，在一定的范围内有代表性。

综合观测点测绘内容一般包括：

- ①观测点编号及位置(与中线相联系)；
- ②周围地形、地貌；
- ③地层、岩性：地层年代、岩性(颜色、成分、结构、构造)、岩层产状、厚度、风化情况；

④地质构造：各种倾斜岩层、褶曲、节理和断层的测绘和描述；

⑤水文地质情况：地下水天然和人工露头的水位、水质、水量，地下水类型；

⑥不良地质现象；

⑦已有建筑物稳定情况的调查；

⑧采取必要的土、石、水样，编号并作描述。

在野外记录本上，左页为方格纸，可绘制观测点剖面图及各种需要的草图、素描图；右页为横格纸，按上述内容认真进行记录。关于岩石性质、地质构造、地下水及不良地质现象的描述内容及方法，参看本书前述有关章节。

(3) 测绘精度及测绘方法

工程地质测绘精度通常根据不同勘察阶段任务的要求，用所测工程地质图的比例尺来控制。不同比例尺的测图对测绘路线长度及观测点密度有不同的要求。精度要求愈高，图的比例尺应当愈大，测绘工作量就愈大。其次，测区地形、地质愈复杂，图的比例尺应适当放大。因此，应根据各勘察阶段的不同精度要求及测区地形、地质的不同复杂程度，选定适当的比例尺和适合的测绘方法。精度过低不能保证任务要求的工作质量；精度过高造成不必要的浪费。

为满足不同的测绘精度要求，必须采用相应的测绘方法。在工程地质勘察中，预可行性研究、可行性研究和初步设计的勘测阶段，多使用地质罗盘仪定向、步测和目测确定距离和高程的目测法，或使用地质罗盘仪定向，用气压计、测斜仪、皮尺确定高程和距离的半仪器法。在重要工程、不良地质地段的施工设计阶段，则使用经纬仪、水平仪、钢尺精确定向、定点的仪器法。对于工程起控制作用的地质观测点及地质界线也应采用仪器法进行测绘。

工程地质调查测绘是整个工程地质工作中最基本、最重要的工作，不仅靠它获取大量所需的各种基本地质资料，也是正确指导下一步勘探、测试等工作的基础。因此，调查测绘的原始记录资料，应准确可靠、条理清晰、文图相符，重要的、代表性强的观测点，应用素描图或照片以补充文字说明。

（二）工程地质勘探

当地表缺乏足够的、良好的露头，不能对地下一定深度内的地质情况作出有充足根据的判断时，就必须进行适当的地质勘探工作。勘探是工程地质勘察的重要方法，是获取深部地质资料必不可少的手段。勘探工作必须在调查测绘的基础上进行。在进行勘探时，应充分利用地面调查测绘资料，合理布置勘探点，以减少不必要的工作量；同进，一方面利用地面调查测绘资料，分析勘探成果，以避免判断的错误；另一方面用勘探工作成果补充、检验和修改调查测绘工作的成果。

在初勘阶段，勘探点的位置与数量，应在工程可行性研究阶段的勘探基础上，视地质条件的复杂程度及实际需要而定。在详勘阶段，勘探点的数量，应满足各类工程施工图设计对工程地质资料的需要。具体要求可查阅有关规程、手册等。

工程地质勘探方法很多，各有其优缺点和适用条件。应当结合不同工程对勘探目的，勘探深度的要求，勘探地点的地质条件，以及现有的技术和设备能力，合理地选用勘探方法。应开展综合勘探，互相验证，互相补充，提高质量。有条件时，应先进行物探，以指导布置钻探。下面简要叙述道路工程常用的勘探方法。

最简易的勘探方法，常用的有剥土、槽探和坑探。挖探成本低、工具简单、进度快、能取得直观资料和原状土样；缺点是劳动强度大，勘探深度浅。因此，挖探适用于一般工业及民用建筑、小桥涵基础、隧道进出口及大、中桥两侧桥台基础的勘探，也可用于了解覆盖层厚度和性质、追索构造等。

使用轻便工具如洛阳铲、锥具及小螺纹钻等进行轻便勘探。轻便勘探的优点是工具轻便、简单，容易操作，进尺快，成本低，劳动强度不大；缺点是不能取得原状土样、在密实或坚硬的地层中，一般不能使用。因此，轻便勘探适用于较疏松的地层。

当勘探深度较大，或地层不适宜采用简易勘探时，都可以用钻探。钻探基本不受地形、地层软硬及地下水深浅等条件限制，可以克服各种困难，直接从地下深处取出土石试样，满足对勘探的多种要求。因此，钻探仍是目前道路工程地质勘探的主要手段。但是钻探需要大量设备和经费，较多

的人力，劳动强度较大，工期较长，往往成为野外工程地质工作控制工期的因素。因此，钻探工作必须在充分的地面测绘基础上，根据钻探技术的要求，选择合适的钻机类型，采用合理的钻进方法，安全操作，提高岩芯采取率，保证钻探质量，为工程设计提供可靠的依据。

地球物理勘探，简称为物探，是以观测地质体的天然物理场或人工物理场的空间或时间分布状态，来研究地层物理性质和地质构造的方法。物探是一种先进的勘探方法，它的优点是效率高、成本低、装备轻便、能从较大范围勘察地质构造和测定地层各种物理参数等。合理有效地使用物探可以提高地质工作质量，加快勘探进度、节省勘探费用。因此，在勘探工作中应积极采用物探。

但是，物探是一种非直观的勘探方法，物探资料往往具有多解性；而且，物探方法的有效性，取决于探测对象是否具备某些基本条件。限于目前的科技水平，还不能对任意形状、位置、大小的地质体进行物探解释。

当前工程地质工作中常用的物探方法主要有：电法勘探、地震勘探、声波探测、磁法勘探、触探和测井。其它的物探方法还有重力勘探、放射性勘探及电磁波探测、钻孔电视、地质雷达探测等，目前在工程地质勘测中已开始使用。

(三) 试验及长期观测

1. 工程地质试验

工程地质试验是工程地质勘察中的重要工作之一，通过对所取土、石、水样进行各种试验及化验，取得各种必须的数据，用以验证、补充测绘和勘探工作的结论，并使这些结论定量化，作为设计、施工的依据。因此，取什么试样，做哪些试验和化验，都必须紧密结合勘察和设计工作的需要。此外，应当积极推行现场原位测试，以便更紧密地结合现场实际情况，同时作好室内、外试验的对比工作。

(1) 土、石试验 根据不同工程的要求，对原状土及扰动土样进行试验，求得土的各种物理-力学性质指标，如比重、容重、含水量、液塑限、抗剪强度等。岩石物理力学试验的目的，则是为了求得岩石的比重、容量、吸水率、抗压强度、抗拉强度、弹性模量、抗剪强度等指标。

这些试验为全面评价土、石工程性质及土、岩体的稳定性，为有关的

工程设计打下基础。

(2) 现场原位测试 包括静力触探、动力触探、十字板剪切、大面积剪切、载荷试验等。原位测试结果比室内试验结果更接近现场实际情况。

(3) 水质试验和抽水试验 水质化验可以确定水中所含各种成分，从而正确确定水的种类、性质，以判定水的侵蚀性。对施工用水和生活用水作出评价，并联系不良地质现象说明水在其形成、发展过程中所起的作用。抽水试验是一种现场水文地质试验，主要目的是为了确定地下水的渗透系数、计算涌水量及采取供化验用的地下水水样。

2. 长期观测

在工程地质勘察工作中，常会遇到一些特殊问题，对这些问题的调查测绘往往不能在短时间内迅速得到正确、全面的答案，必须在全面调查测绘的基础上，有目的、有计划地安排长期观测工作，以便积累原始实际资料，为设计、施工提供切合实际的依据。长期观测工作根据其目的不同，既可在建筑物设计之前进行，也可在施工过程中同时进行，或在施工之后的使用过程中进行。

常遇到的长期观测问题有：

(1) 已有建筑物变形观测

主要是观测建筑物基础下沉和建筑物裂缝的发展情况，常见的有房屋、桥梁、隧道等建筑物变形的观测。取得的数据可用于分析建筑物变形的原因及建筑物稳定性，并采取适当的措施等。

(2) 不良地质现象发展过程观测

各种不良地质现象的发展过程多是比较长期的逐渐变化的过程，例如滑坡的发展、泥石流的形成和活动、岩溶的发展等。观测数据对了解各种不良地质现象的形成条件、发展规律有着重要意义。

(3) 地表水及地下水活动的长期观测

主要是观测水的动态变化及其对工程的影响。地表水活动观测常见的是对河岸冲刷库坍岸的观测，为分析岸坡破坏形式、速度及修建防护工程的可能性提供可靠资料。地下态变化规律的长期观测资料则有多方面的广泛用途。

此外，黄土地区地表及土体沉陷的长期观测，为控制软土地区工程施

工进行的长期观也是需要进行的工作。

由于长期观测的对象和目的不相同，因此使用的方法、设备和观测内容等也有很大差别。

四、勘察资料的整理与文件的编制

公路工程地质勘察报告是勘察的主要成果，一般由文字部分和图表资料部分组成，应纳入设计文件的基础资料内。

勘察报告文字部分，应以任务要求勘察阶段工程地质条件工程项目的特点进行编写，其内容应包括：

1) 前言 依据目的要求，所勘察工程对象以及工程地质勘察工作概况（方法工作量勘察过程）。

2) 场地地形地貌特征、地层岩土性质、地质构造、新构造活动、地下水、地震、不良地质及特殊性岩土的描述和评价。

3) 对所提供的岩土参数的分析与选用。

4) 对公路路线桥梁隧道各个方案的工程地质条件作出评价，并提出推荐方案。在路线里程较长或当工程地质条件复杂的路段，应按工程地质分区或分段作出评价。

5) 工作中存在的问题及建议。

6) 对地震基本烈度复核和鉴定的工程项目，应提交所鉴定的内容和结论。

勘察报告的图表资料部分，一般应有：

1) 工程地质平面图；

2) 工程地质纵断面图；

3) 工程地质横断面图；

4) 钻孔地质柱状图；

5) 物探成果资料；

6) 原位测试成果资料；

7) 岩土水质试验成果资料；

8) 沿线筑路材料勘察资料；

9) 其它资料照片等。

如已安排有定位观测工作，可附有关观测资料。工程地质条件简单的工程或

小型工程项目，可提交工程地质说明书，内容可以简化。

第二节 公路工程地质问题与勘察

一、公路工程地质问题

1. 路基边坡稳定性问题

路基边坡包括天然边坡，傍山路线的半填半挖路基边坡以及深路堑的人工边坡等。具有一定的坡度和高度的边坡在重力作用下，其内部应力状态也不断变化。当剪应力大于岩土体的强度时，边坡即发生不同形式的变化和破坏。其破坏形式主要表现为滑坡、崩塌和错落土质边坡的变形，主要决定于土的矿物成分，特别是亲水性强的粘土矿物及其含量，除受地质、水文地质和自然因素影响外，施工方法是否正确也有很大关系。岩质边坡的变形主要决定于岩体中各种软弱结构面的性状及其组合关系，它们对边坡的变形起着控制作用。只有同时具备临空面、滑动面和切割面三个基本条件，岩质边坡的变形才有发生的可能。

由于开挖路堑形成的人工边坡，加大了边坡的陡度和高度，使边坡的边界条件发生变化，破坏了自然边坡原有应力状态，进一步影响边坡岩土体的稳定性。另一方面路堑边坡不仅可能产生工程滑坡，而且在一定条件下，还能引起古滑坡复活。由于古滑坡发生时间长，在各种外营力的长期作用下，其外表形迹早已被改造成平缓的边坡地形，很难被发现，若不注意观测，当施工开挖形成滑动的临空面时，就可能造成边坡失稳。

2. 路基基底稳定性问题

一般路堤和高填路堤对路基基底要求要有足够的承载力，基底土的变形性质和变形量的大小主要取决于基底土的力学性质、基底面的倾斜程度、软土层或软弱结构面的性质与产状等，它往往使基底发生巨大的塑性变形而造成路基的破坏。此外，水文地质条件也是促使基底不稳定的因素。如路基底下有软弱的泥质夹层，当其倾向与坡向一致时，或在其下方开挖取土或在其上方填土加重，都会引起路堤整个滑移，当高填路堤通过河漫滩或阶地时，若基底下分布有饱水厚层淤泥，在高填路堤的压力下，往往使基底产生挤出变形。也有因基底下岩溶洞穴的塌陷而引起路堤严重变形。

路基基底若为软粘土、淤泥、泥炭、粉砂、风化泥岩或软弱夹层所组成，应

结合岩土体的地质特征和水文地质进行稳定性分析。若不稳定时,可选用下列措施进行处理:放缓路堤边坡,扩大基底面积,使基底压力小于岩土体的容许承载力;在通过淤泥软土地区时路堤两侧修筑反压护道;把基底软弱土层部分换填或在其上加垫层;采用砂井(桩)排除软土中的水分,提高其强度;架桥通过或改线绕避等。

3. 公路冻害问题

它包括冬季路基土体因冻结作用而引起路面冻胀和春季因融化作用而使路基翻浆,结果都会使路基产生变形破坏,甚至形成显著的不均匀冻胀,使路基土强度发生极大改变,危害道路的安全和正常使用。

根据地下水的补给情况,公路冻胀的类型可分为表面冻胀和深源冻胀。前者是在地下水埋深较大地区,其冻胀量一般为30~40mm,最大达60mm。其主要原因是路基结构不合理或养护不周,致使道渣排水不良造成。深源冻胀多发生在冻结深度大于地下水埋深或毛细管水带接近地表水的地区,地下水补给丰富,水分迁移强烈,其冻胀量较大,一般为200~400mm,最大达600mm。

防止公路冻害的措施见冻土中的内容。

4. 天然建筑材料问题

路基工程需要的天然建筑材料种类较多,包括道渣、土料、片石、砂和碎石等。它不仅在数量上需要量较大,而且要求各种材料产地沿线两侧零散分布。但在山区修筑高路堤时却常遇土料缺乏的情况,在平原地区和软岩山区,常常找不到强度符合要求的片石和道渣等。因此,寻找符合需要的天然建材有时成为选线的关键性问题,并且这些材料品质的好坏和运输距离的远近,直接影响工程的质量和造价。

二、公路工程地质勘察的主要任务

1. 与路线、桥梁和隧道专业人员密切配合,查清路线上的地质、地貌条件以及动力地质现象,阐明其演变规律,明确各条路线方案的主要工程地质条件,为各方案的比较提供依据。在地形、地质条件复杂的地段,确定路线的合理布设,以减少失误。

2. 特殊岩土地段及不良地质现象,诸如盐渍土、多年冻土、岩溶、沼泽、积雪、滑坡、崩塌、泥石流等,往往影响路线方案的选择、路线的布设和构造物

的设计。因此应重点查明其类型、规模、性质、发生原因、发展趋势和危害程度。对严重影响路线安全而数量多、整治困难的各种工程地质问题,如发展中的暗河、岩溶区、深层滑坡地段、深层沼泽、有沉陷的深源冻胀地段等,一般均以绕避为原则。但对技术切实可行,可彻底整治而费用不高,对今后运营无后患的地段,应合理通过,绝不盲目避让。

3. 充分发掘、改造和利用沿线的一切就地材料,满足就地取材的要求。当就近材料不能满足要求时,则应由近及远扩大调查范围,以求得足够数量的品质优良,适宜开采和运输的筑路材料产地。

三、公路工程地质勘察的要点

在可行性研究阶段的工程地质勘察工作是收集资料、现场核对和概略了解地质条件,着重介绍初步勘察阶段和详细勘察阶段的工作内容,见表 7-1。

表 7-1 公路工程勘察要点表

工作内容		初勘内容	详勘内容
公路选线		1 沿线的地形地貌和地质构造; 2 不良地质特殊性岩土的类型性质及分布; 3 大型路基工程场地的地质条件; 4 路基填筑材料的来源; 5 预测可能产生工程地质病害的地段病害性质及对工程方案的影响。	对有价值的局部方案,新发现的不良地质条件和特殊性岩土地段,增设的大型工程的场地和新增沿线筑路材料场地,进一步核实、补充和修正初勘资料,进一步查明沿线的工程地质条件
路基	一般路基	重点是与地基稳定和边坡稳定及设计有关的地质问题,主要内容有: 1 岩石名称、岩性产状、风化破碎程度及风化层厚度; 2 表土类别名称、密实程度和含水状态; 3 地下水和地表水的活动情况。	沿路线按微地貌特征分段,查明各段的地质结构、岩土类别、土的密度和含水状态,基岩风化情况,地下水埋深变化规律和地表水活动情况;确定路基基底的稳定性,边坡结构形式及坡度;确定设置支挡构造物和排水工程的位置;划分土石工程等级。
	高路堤	1 调查地层层位、层厚、土质类别,调查地下水埋深分布;确定土的承载能力、抗剪指标和压缩指标; 2 判定在路堤附加荷载作业下,地基沉降和滑移的稳定性; 3 地层中的软弱层应作为重点。	对已确定存在沉降和滑移问题的高填路堤,初拟处理方案,应落实其有关地层、层位、层厚、岩土类别、分布范围和水文条件。 对有关地层进行测试,掌握设计所需要的各种物理力学指标数据,特别是固结和抗剪指标。

		但当土质地基为软土时，应按《公路软土地基路堤设计与施工技术规范》的有关规定办理。	
	陡坡路堤	1 调查斜坡上覆盖土层的层位、层厚和土类，斜坡下卧基岩岩石的倾斜度、岩性、产状和风化程度，斜坡地表水和地下水的情况。 2 确定土层和岩土界面的抗滑、抗剪指标。	1 对已确定存在不稳定问题的斜坡路堤，初拟处理方案，应查明有关的地层岩性、地质构造和水文地质条件。 2 对有关地层可能滑动的岩土界面进行测试并掌握其各种物理力学指标，重点是抗剪抗滑指标，以满足设计的需要。
	路堑	1 调查岩土组成情况、岩土界面坡度和倾向、岩石风化程度。 2 调查土质边坡的土层、层位和层厚。 3 调查边坡岩层层位、产状、岩性、软弱夹层和构造结构面情况，结构面抗剪、抗滑指标。 4 调查地形地貌、水文地质情况，特别是地面水活动情况和地下水埋藏及渗流情况。	1 对已确定存在开挖边坡稳定问题路段的设计方案，应查明其地层岩性地质构造水文地质条件及可能滑塌影响范围。 2 对可能滑塌的边坡土体和岩体的结构面的测试，应掌握设计所需的各种物理力学指标，重点是抗剪、抗滑指标。
	支挡工程	1 勘探支挡工程构造物位置处承重地基的地层岩性、地质构造、水文条件。重点是探查下卧软弱地层的存在及分布。 2 掌握支挡工程构造物承重地层的物理力学指标。 3 论证推荐优选的支挡工程方案。	对已定支挡工程位置的承重地层的岩性、地质构造和设计所需物理力学指标进行核实。
	河岸防护工程	1 调查岸坡地层岩性、地质构造、地形地貌、不良和特殊地质现象的现状和发展趋势。 2 调查河段的水力特征和冲淤变化规律。 3 调查防护工程及导流工程构造物位置基底地层、岩土组成和岩土物理力学指标。	对已定的河岸防护和导流工程的地基地层岩性、地质构造和承重地层的物理力学指标，进一步勘察核实。
	改河（沟渠）工程	1 调查原河段的水流水力特征，冲刷淤积规律，原河段的性质类型和发育阶段。 2 调查改移河道地段的地形地貌、水文条件、地层岩性和地质构造。	对已定的改河（沟渠）方案及其河岸防护导流工程进一步核实其所涉及的开挖区段和构造物地基的地层岩性；对地质构造和水文地质条件，以及防护导流工程构造物地基岩土的物理力学指标等应进

		3 评价改移河道地段的工程地质与水文条件,预测改移河道后两岸和下游岸坡的水流冲刷稳定性及防护工程的必要性。	一步查明。
小桥涵		勘察小桥涵洞的台墩处地基的地层岩性、地质构造,重点是查明地基覆盖层厚度及承载力,基岩埋深,风化程度及承载力,掌握地层在路幅宽度方面的变化。	对存在不良地质问题的小桥涵或移位新增小桥涵地基的地层岩性、地质构造及岩土承载力进行补充地质勘探。
互通式立交工程		1 重点调查互通式立交工程区段的地层沿线地质构造、地形地貌、水文条件和特殊不良地质问题。 2 重点调查互通式立交工程区段内的桥位、隧址、高填路堤、陡坡路堤、深路堑和支挡工程等的地质条件。 3 确定有关地层的物理力学指标。	应对已确定设计方案的互通式立交工程中的桥涵墩台、特殊和不良地质路段、重点工程路段,进一步查明地层岩性、地质构造和设计所需各类岩土物理力学指标。

1. 初步勘察阶段

本阶段的基本任务主要是对已确定的路线范围内所有路线摆动方案进行勘察对比。确定路线在不同地段的基本走向,并以比选和稳定路线为中心,全面查明路线最优方案沿线的工程地质条件。工程地质测绘是这一阶段中的一项重要手段,勘察范围沿路线两侧各宽 150~200m。测绘比例尺是 1: 50000, 1: 200000,勘探工作主要用于查明重大而复杂的关键性工程地质问题与不良地质现象的深部情况。

2. 详细勘察阶段

是根据已批准的初步设计文件中所确定的修建原则、设计方案、技术要求等资料,对各种类型的工程建筑物(桥、隧、站场等)位置有针对性地进行详细的工程地质勘察。最终确定公路路线和构造物的布设位置,查明构造物地基的地质构造、工程地质及水文地质条件,提供工程和基础设计、施工必须的地质参数。

第三节 桥梁工程地质问题与勘察

大、中桥桥位多是路线布设的控制点,桥位变动会使一定范围内的路线也随之变动。因此桥梁工程地质勘察一般应包括两项内容:首先应对各比较方案进行

调查,配合路线、桥梁专业人员,选择地质条件比较好的桥位;然后再对选定的桥位进行详细的工程地质勘察,为桥梁及其附属工程的设计和施工提供所需要的地质资料。影响桥位的选择的因素有路线方向、水文地质条件与工程地质条件等。工程地质条件是评价桥位好坏的重要指标之一。

一、桥梁工程地质问题

桥梁是公路建筑工程中的重要组成部分,由正桥、引桥和导流等工程组成。正桥是主体,位于河岸桥台之间,桥墩均位于河中。引桥是连接正桥与路线的建筑物,常位于河漫滩或阶地之上,它可以是高路堤或桥梁。导流建筑物,包括护岸、护坡、导流堤和丁坝等,是保护桥梁等各种建筑物的稳定,不受河流冲刷破坏的附属工程。桥梁按结构可分为梁桥、拱桥和钢架桥等。不同类型的桥梁,对地基有不同的要求,所以工程地质条件是选择桥梁结构的主要依据,包括以下两方面的主要工程地质问题。

1. 桥墩台地基稳定性问题

桥墩台地基稳定性主要取决墩台地基中岩土体承载力的大小。它对选择桥梁的基础和确定桥梁的结构形式起决定作用。当桥梁为静定结构时,由于各桥孔是独立的,相互之间没有联系,对工程地质条件的适应范围较广。但对超静定结构的桥梁,对各桥墩台之间的不均匀沉降特别敏感,故取其地基容许承载力时应予慎重考虑。岩质地基容许承载力的确定取决于岩体的力学性质及水文地质条件等,应通过室内试验和原位测试等综合判定。

2. 桥墩台地基的冲刷问题

桥墩和桥台的修建,使原来的河槽过水断面减少,局部增大了河水流速,改变了流态。对桥基产生强烈冲刷,威胁桥墩台的安全,因此,桥墩台基础的埋深,除决定于持力层的部位外还应满足以下要求。

(1)桥位应尽可能选在河道顺直,水流集中,河床稳定的地段。以保护桥梁在使用期间不受河流强烈冲刷的破坏或由于河流改道而失去作用。

(2)桥位应选择在岸坡稳定,地基条件良好,无严重不良地质现象的地段,以保证桥梁和引道的稳定,减低工程造价。

(3)桥位应尽可能避开顺河方向及平行桥梁轴线方向的大断裂带,尤其不可在未胶结的断裂破碎带和具有活动可能的断裂带上建桥。

二、勘察要点

(一)初步勘察

在工程可行性研究地质勘察资料的基础上，初步查明场地地基的地质条件，即对桥位处进行工程地质调查或测绘、物探、钻探、原位测试，进一步查明工程地质条件的优劣。特别应查明与桥位方案或桥型方案比选有关的主要工程地质问题。

对一般地区的桥位选择应查明两个方面的内容：一是地形、地貌、地物等方面对桥位选择的制约内容；二是工程地质条件对桥位选择的制约。对特殊地质地区的桥位选择，应针对泥石流、岩溶、滑坡、沼泽、黄土等特殊地区的特点认真研究比选，而不要盲目避让。工程地质测绘比例尺用 1:500~1:10000 编制，调查范围包括桥轴线纵向的河床和两岸谷坡或阶地(约 500~1000m)，以及横向河流上、下游各 200~500m。

在此阶段中，应对各桥位方案进行工程地质勘察，并对与建桥的适宜性和稳定性有关工程地质条件作出结论性评价，对工程地质条件复杂的特大桥和中桥，必要时增加技术设计阶段勘察，还应包括环境介质对混凝土腐蚀的评价。

(二)详细勘察阶段

在初步设计阶段勘察测绘基础上进行补充、修正，查明桥梁墩台地基基础岩体风化和软弱层特征；测试岩土体物理力学性能，提供地基承载力基本值、桩壁极限摩阻力，并结合基础类型作出定量评价。随着二级以上公路的发展，在大江、大河上以及跨海的公路工程逐渐增多，特大桥梁工程需对工程地质工作特别重视。对重要的特大桥，测绘应针对与桥梁墩(台)、锚固基础、引道、调治构造物等处岩体进行大比例尺工程地质测绘(或进行专题研究)，所以把桥墩、锚锭部位作为勘察重点。并采用综合勘测手段，进行钻探、原位测试(静探、标贯、旁压试验、十字板剪切试验)、声波测井及抽水、压力试验等。查明地基基础的承载力、极限摩阻力，给设计提供可选择的基础类型和施工方案，并提供存在的问题及处理措施建议等。勘察重点是：

1. 查明桥位区地层岩性、地质构造、不良地质现象的分布及工程地质特性。
2. 探明桥梁墩台和调治构造物地基的覆盖层及基岩风化层的厚度，墩台基础岩体的风化及构造破碎程度，软弱夹层情况和地下水状况。

3. 测试岩土的物理力学特性, 提供地基的基本承载力、桩壁摩阻力、钻孔桩极限摩阻力, 作出定量评价。

4. 对边坡及地基的稳定性、不良地质的危害程度和地下水对地基的影响程度做出评价。

5. 对地质复杂的桥基或特大的桥墩、锚锭基础应采用综合勘探。

第四节 隧道工程地质问题与勘察

一、隧道工程地质问题

(一) 隧道位置选择

1. 隧道位置选择的一般原则

隧道应尽量避免接近大断层或断层破碎带, 如必须穿越时, 应尽量垂直其走向或以较大角度斜交; 在新构造运动活跃地区, 应避免通过主断层或断层交叉处; 在倾斜岩层中, 隧道应尽量垂直岩层走向通过; 在褶皱岩层中, 隧道位置应选在褶皱翼部; 隧道应尽量避免开含水地层、有害气体地层、含盐地层与岩溶发育地段。

隧道一般不应在冲沟、山洼等负地形地段通过, 因冲沟、山洼等存在, 反映岩体较软弱或破碎, 并易于集水。

2. 地质构造与隧道位置选择

地质构造与隧道位置选择见第二章第三节地质构造与隧道工程的关系内容。

(二) 洞口位置选择

洞口位置选择应保证隧道安全施工和正常运营, 根据地形、地质条件, 着重考虑边坡及仰坡的稳定, 并结合洞外工程及施工难易情况, 分析确定。一般情况宜早进洞晚出洞。

在稳定的陡峻山坡地段, 一般不宜破坏原有坡面, 可贴坡脚进洞。如遇自然陡崖, 应避免洞口仰坡或路堑边坡与陡崖连成单一高坡, 注意在坡顶保持适当宽度的台阶, 在有落石时, 则应延长洞口, 预留落石的距离。隧道洞口应尽量避免开褶皱轴部受挤压破碎严重, 为构造裂隙切割严重的地带, 以及较大的断层破碎带, 因为这些地段容易造成崩塌、落石与滑坡等

不良地质现象。

隧道洞口应尽量选择岩石直接露出或坡积层较薄，岩体完整、强度较高的地段。如岩层软弱或破碎，则以不刷坡或少刷坡为宜，必要时可先建明洞再进洞。为避免山洪危害，洞口一般不宜设在沟谷中心。洞口如有沟谷横过，洞底应高出最高洪水位。

(三)地下水、地温及有害气体

1. 地下水

地下水对隧道的影响主要是隧道涌水和浸水

(1)隧道涌水

隧道穿过含水层时，地下水涌进隧道，将会大大增加排水、掘进和衬砌工作的困难。在隧道穿过储水构造、充水洞穴、断层破碎带时，会遇到突发性的涌水，危害最大。在土及未胶结的断裂破碎带中，涌水的动水压力和冲刷作用，可能导致隧道围岩失去稳定性。

隧道涌水量取决于含水层的厚度、透水性、富水性、补给来源，以及隧道的长度和断面大小。当预计地下水对隧道的影响较大时，应通过勘探、试验，查明上述水文地质要素，并计算隧道涌水量，作为排水设计的依据。

(2)隧道浸水

地下水的活动会改变岩石的物理力学性质，降低岩体强度，并能加速岩石风化破坏。地下水在软弱结构面中活动，可起软化、润滑作用，常常造成岩块坍塌。某些地层，如粘土、无水石膏等，在水的作用下，体积膨胀，地层压力大大增加。

2. 地温

对于深埋洞室，地下温度是一个重要问题，铁路规范规定隧道内温度不应超过 25℃，超过这个界线就应采取降温措施。隧道温度超过 32℃时，施工作业困难，劳动效率大大降低。所以深埋洞室必须考虑地温影响。

地壳中温度有一定变化规律。地表下一定深度处的地温常年不变，称为常温带。常温带以下，地温随深度增加，地热增温率 G 约为 $1^{\circ}\text{C} / 33\text{m}$ 。可由下式估算洞室埋深处的地温。

$$T = T_0 + (H - h) G$$

式中： T —隧道埋深的地温（℃）；

T_0 —常温带温度（℃）；

H —洞室埋深（m）；

h —常温带深度（℃）；

G —地热增温率（1℃ / 33m）。

除了深度外，地温还与地质构造、火山活动、地下水温度等有关。

3. 有害气体

在开挖隧道时，常会遇到各种对人体有害、易燃、易爆的气体。在工程地质勘探时应注意查明隧道所通过的地层中含有的各种有害气体，并提出相应的防护措施。

常见的有害气体：①易燃、易爆的气体，如甲烷（CH₄）；②无毒的窒息性气体，如二氧化碳（CO₂）、氮（N₂）；③易燃的有毒气体，如硫化氢（H₂S）。易燃的有毒气体溶于水生成淡硫酸液，对隧道衬砌的石灰浆、混凝土及金属有腐蚀作用。

当隧道通过煤系，含油、碳和沥青地层时，常有碳氢化合物的气体溢出，特别是甲烷。在含碳地层中开挖隧道时，常会遇到二氧化碳气体。在硫化矿床或其它含硫地层中，会遇到硫化氢气体。

4. 隧道围岩的稳定性

隧道围岩系指隧道周围一定范围内，对隧道稳定性能产生影响的岩体。围岩压力是评定隧道围岩稳定性的主要内容，也是隧道衬砌设计的主要依据。

围岩分级是初步设计阶段勘察工程地质评价的主要内容。围岩分级采用多因素、多指标、定性、定量相结合的原理，以使围岩分类定性准确，且具有定量指标。公路隧道的围岩分级见第一章表 1-9 所示。

二、勘察要点

（一）初步勘察阶段

主要是通过对地表露头的勘察或采用简单的揭露手段来查明隧道区地形、地貌、岩性、构造等以及他们之间的关系和变化规律，从而推断不完全显露或隐埋深部的地质情况。通过测绘主要弄清对隧道有控制性的地质问题（如地层、岩性、构造），进而对隧道工程地质与水文地质条件作出定

性的评价。

对不良地质现象地区隧道应充分利用现有的地质资料和航片、卫片等遥感信息资料，通过大量的野外露头调查或人工简易揭露等手段来发现、揭露不良地质现象的存在，找出它们之间的关系以及变化规律。

根据对各种勘察资料进行的综合分析、论证，按比选结果推荐隧道最佳方案。

(二)详细勘察阶段

详勘内容主要有三个方面：一是核对初勘地质资料，二是勘探查明初勘未查明的地质问题，三是对初勘提出的重大地质问题作深入细致的调查。具体做法是：

(1)地质调查与测绘的范围、测点：物探网的点线范围和布设，物探方法的运用和钻探孔、坑、槽探数量与位置等，应与初勘时未能表明的地质条件相适应，但对隧道有影响的大构造和复杂地质地段，勘察追踪范围可适当放大；

(2)重点调查隧道通过的严重不良地质、特殊地质地段，以确定隧道准确位置的工程地质条件。

(3)实地复核、修改、补充初勘地质资料，对初勘遗漏、隐蔽的工程地质问题，应适应加大调绘范围和工作量。

第五节 不良地质现象的勘察与评价

随着国民经济的不断发展，公路等级的提高，各类工程建设遇见不良地质现象是不可避免的，所以对其进行工程地质勘察尤为重要，本节主要介绍崩塌与岩堆、滑坡、岩溶的工程地质勘察。

一、滑坡

(一)初勘

1. 勘察重点

(1)地貌调绘

调绘范围必须包括由滑坡活动可能引起的地面变形破坏的范围，主要调绘下列内容：

- ①滑坡后缘断裂壁的形状、位置、高差及坡度。
- ②滑坡台地的形状、位置、高差、坡度及其形成次序。
- ③滑坡体隆起和洼地范围及形成特征。
- ④滑坡裂隙分布范围、密度、特征及其力学性质。
- ⑤滑坡舌前缘隆起、冲刷、滑塌与人工破坏状况。
- ⑥剪出口位置、距地面高度、滑坡面坡度及擦痕方向。
- ⑦滑体各部位(主轴线上)的稳定状态,如蠕动、挤压、初滑、滑动、速滑、终止。

⑧滑体上冲沟发育部位、切割深度、切割地层岩性、沟槽横断面形状、泉水的形成、沟岸稳定状况。

- ⑨调查坡脚破坏的原因与破坏速度。

(2) 工程地质调绘

- ①收集有关大地构造、新构造活动、地壳应力场及地震资料。
- ②收集航片资料,判释滑坡发育与分布规律。
- ③调绘滑坡地区地层、岩性、地质构造与裂隙发育、分布规律。调查范围应包括滑坡体及其周边稳定地段。

(3) 水文地质调绘

- ①收集区域水文地质资料。
- ②调绘地下水露头(如井、泉、积水洼地、潮湿处、喜湿植物群落等)的分布及发展变化的规律。

- ③调查含水层出露与埋藏条件、地下水位变化及地下水补给、排泄关系。

- ④调查滑坡附近的水利设施、灌溉习惯与滑坡活动的关系。

(4) 滑坡活动历史调查

- ①访问了解滑坡形成的时间、诱导因素、滑动速度及周期。
- ②调查滑坡体各部位滑动的先后次序及各部位地面隆起、凹陷、平面移动的状况。
- ③调查冲沟的形成、发展速度及发育阶段。
- ④调查泉水的形成与掩埋过程。
- ⑤调查醉汉林(或马刀树)的特征与树龄。

⑥调查滑体上建筑物的位移、破坏与修复过程。

⑦调查地震活动对滑坡的影响。

(5) 气象、水文资料调查

①调查连续降雨时间、暴雨强度和冻融季节变化与滑坡活动的关系。

②调查洪水水流对坡脚冲刷与滑坡活动的关系。

2. 勘探

(1) 勘探是为了解滑体与滑床的地层结构、软弱结构面、含水层的性质、地下水位、滑动特征以及取样试验。

(2) 勘探线

控制性的勘探线按滑体中心的主滑方向布置，长度应超过滑坡影响范围以外40m。

大型滑坡宜设2-3个地质断面，勘探点间距不宜大于50m。各勘探点的布置应便于绘出垂直滑动方向的横断面。

两个以上互相连接的滑坡应分别按滑体滑动主轴布置勘探线。

控制性勘探线上的勘探点不得少于3个(含钻探、挖探、露头)。同时，在稳定地段也应有勘探点。

(3) 勘探孔

①滑坡后缘断裂壁坡脚、前缘剪出口处尽量采用挖探，查明滑动面特征。

②视地层结构、地面形态等条件选择物探种类，大型滑坡可采用多种物探方法，互相配合验证。

③控制性断面上的关键勘探点必须采用钻探。钻探深度要伸入到滑床2m-3m。

④钻探中孔口径不小于110mm。

⑤钻孔岩芯描述除按一般描述外，应着重对滑坡面的特征，如擦痕、摩擦热变质、烧结状况、变色、滑带厚度等进行描述。

⑥钻探一般应采用干钻，亦可采用双重岩芯管或其它工艺，不得遗漏滑坡面或改变破坏滑动面的特征。

应分层测定地下水位，必要时测定流速、流向及流量。

3. 试验

(1) 试样在挖探、钻探时一并采取。不同岩性地层应按上、中、下分别取样；

层厚小于 1m 时变层取样；层厚较大时取样间距不得大于 2m。

对粘性土、岩石取原状样；砂、砾、碎石土取不改变颗粒成分的扰动样。

(2) 常用试验项目有：相对密度、天然密度、天然含水量、颗粒分析、液限塑限、内摩擦角、粘聚力。

对破碎岩石、碎石土及其它无法取得原状样测定内摩擦角、内聚力的土体，可采用反算法求得。

对不同滑动状态土体的样品，其抗剪强度应测定受力条件相似的数值(如重复剪切并求出残余剪切强度等)。

4. 资料要求

(1) 工程地质勘察报告的文字部分的内容如下：

①叙述滑坡形成、运动的自然因素，包括地形、地貌、水文、气象、地震、地质、水文地质等。

②论述滑坡的发生、发展及现状与自然因素、人为活动的机理联系，预测滑坡发展趋势。

③叙述滑坡类型的划分。滑坡类型按如下分类原则及顺序描述定名：规模大小、滑体厚度、地层岩性及构造、滑动面形状、发育阶段、运动规律及其它性状。

④滑坡稳定性分析要充分利用综合调绘、勘探、试验成果，合理选择计算公式、计算参数进行验算。稳定性分析不仅要考虑滑坡的现状，还要预测未来的发展。

⑤论证滑坡的防治方案的合理性、可靠性及可行性。尽量将线位、桥位、隧道位置放在防治工程最少的位置。各项防治工程措施都要围绕对路线、桥梁、隧道、人工构造物的稳定性，有针对性的论述其合理性。

(2) 工程地质图

①工程地质平面图，比例尺为 1：500~1：2000。

②工程地质纵断面图，比例尺：水平为 1：100~1：200；垂直为 1：10~1：20。

(3) 成果资料

调绘记录本、勘探试验原始资料(含挖探描述、钻孔柱状图、物探成果、原位测试成果、试验成果)、稳定验算资料及其它统计整理资料分别编目成册，除

记录本外，其成果资料均应列入基础资料。

(二) 详勘

1. 勘察重点

(1) 在初勘的基础上进一步查明各项防治构造物有关范围内的地层、岩性、地质构造、滑动面位置、地下水排泄和补给的关系。

(2) 查明防治构造物范围滑体滑动方向、速度、周期与水文、气象变化的关系。

(3) 查明与防治构造物有关范围的滑体滑动状态。

2. 勘探

(1) 勘探线按防治构造物轴线与滑体滑动方向交叉布置。顺滑动方向的勘探线间距不于 50m；若滑体宽度小于 50m，至少有一条勘探线。

(2) 防治构造物上的勘探点间距不大于 20m。顺滑动方向的勘探点随地形变化布置。

(3) 地形与下卧层起伏不大时，在代表性的勘探线上应设适量的钻孔。钻探点一般布置在防治工程的轴线上。

(4) 在滑坡体、滑动面(带)和稳定地层中，应采取必要的试样，进行试验。

3. 试验

(1) 试验项目同滑坡初勘的试验要求(同前)。

(2) 在地层岩性适合的情况下，尽量采用原位测试，取得设计参数。

(3) 需进行滑面重合剪、滑带土多次剪，并求出多次剪的残余剪的抗剪强度。

4. 资料要求

(1) 工程地质勘察报告，文字部分的内容如下：

①概述自然条件、人为活动与滑坡形成、发展、现状、发育趋势关系的机理。

②论证各项防治措施的针对性、合理性、可靠性及滑坡的稳定性。

③论证各项设计参数推荐值的合理性，并列出各项设计参数推荐值。

④设计与施工应注意的问题，并评价公路运营时滑坡对各项工程的影响。

⑤对公路工程影响较大，且又难于查明运动规律的滑坡，应提出进行长期观测的建议。

(2) 工程地质图

①工程地质平面图，比例尺为 1：500~1：2000。

②各项防治设计推荐方案平面示意图，比例尺为 1：100~1：200。

③滑坡防治设计推荐方案平面示意图，比例尺为 1：500~1：2000。

(3) 成果资料应整理成册，列入基础资料正式出版。

二、崩塌

(一) 初勘

1. 勘察重点

(1) 地貌调绘的范围宜超越崩塌与岩堆周界以外 40m，其重点是：

①峭壁高度、长度、坡度(包括各变坡点的高程)。

②崖壁新近崩塌、坍塌、剥落的痕迹并估算其体积。

③坠石冲击点、跳跃距离、滚动距离及其最大石块的体积、形状。

④岩堆的分布范围、形状、各部位的坡度变化。

⑤岩堆各部位颗粒分选状况，地表最大颗粒体积。

⑥岩堆体各部位固结(或松散)程度、稳定状况等。

⑦冲沟发育状况，如各部位切割深度、纵坡、横断面类型、沟壁稳定坡度、坡高、溯源侵蚀、泥石流发育状况。

⑧岩堆体各部位植被覆盖程度，并区分乔木、灌木、蒿草等的分布范围。

(2) 工程地质勘察的重点是：

①收集大地构造、地壳应力场生成状态、新构造活动、断层破碎带、强烈褶皱带及地震资料，了解崩塌、岩堆分布的规律性。

②调查陡崖地层、岩性、风化程度以及风化、侵蚀差异在地形上显示的特征。

③调查陡崖的地质构造，其内容一般如下：褶皱、断裂、层理、节理、劈理、片理等及其各部位代表性产状。

④调查层理、片理、节理、软弱夹层发育程度及它们产状的组合。描述节理及节理发育特性。

⑤调查含水层、地下水露头及其补给排泄关系。

⑥凡与崩塌、岩堆发生联系的滑坡、泥石流应按滑坡和泥石流的要求进行勘察。

(3) 崩塌与岩堆发育活动历史调查

①访问当地居民，了解崩塌、岩堆活动情况，如活动时间、周期、规模、危害等。

②访问调查由崩塌、岩堆造成建筑物毁坏、修复、防治的经验。

③调查最新崩塌堆积物的进退情况、植被被吞噬、地层中含有腐朽植物枝干、上下坡树龄变化等。

(4) 气象、水文调查

①调查降雨、冻融与崩塌的关系。

②调查岩堆表层运动与暴雨地表径流及地下水的关系。

③调查河流冲刷坡脚或河床被挤压变窄、弯曲等状况。

2. 勘探

(1) 探明堆床形状、堆床地层岩性、地质构造。

探明岩堆体地层结构、岩性，尤其细颗粒夹层、含腐朽植物夹层、地下水位。

{2}勘探线应按崩塌(含坍塌、剥落)岩堆活动中心，贯穿崖顶、锥顶、岩堆前缘弧顶布置。连续分布，无明显锥顶、前缘弧顶的岩堆，应垂直地形等高线走向布置勘探线。

勘探线间距不大于 50m。每个岩堆体至少有 1 条勘探线。

勘探线上勘探点不少于 3 个(含露头)。

(3) 岩石峭壁一般只采用地层岩性描述、节理统计方法，不宜布置勘探点。

岩堆体勘探以物探为主，辅以钻探验证，并有一定数量挖探，取得岩堆体地层层理产状资料及试样。

钻探孔深宜钻至堆床以下 2m。并应采取适当的钻探工艺，以查明岩土软弱夹层、含腐植物夹层和地下水等资料。

3. 试验

(1) 崩塌范围一般取岩样做密度、相对密度、天然含水量、吸水率、抗压强度、软化系数、泊松比、抗剪强度(c 、 Φ 值) 试验。抗剪强度试验侧重在软弱夹层和不利节理的节理面。

(2) 岩堆体试验项目有：密度、相对密度、含水量、抗剪强度、天然休止角。也可用天然陡坎坍塌、滑塌反算 c 、 Φ 值或综合 Φ 角，代替抗剪强度试验。也可

在附近有类比条件的陡坎坍塌处进行类比反算 c 、 Φ 值。

4. 资料要求

(1) 崩塌与岩堆工程地质勘察报告，文字部分的内容如下：

① 阐述与崩塌、岩堆形成有关的自然地理条件，如地形、地貌、气候、水文、地层岩性、地质构造、新构造活动、地震及爆破震动等人为活动因素。

② 阐述崩塌、岩堆的成因类型、形态类型、活动类型、规模大小及危害程度。

③ 论证崩塌范围岩体稳定，应做出软弱结构面赤平极射投影分析；对明显不稳定岩体的不利结构面做实体比例投影分析，并预测其发展趋势。

④ 为计算落石运动轨迹选择参数提供可靠依据。

⑤ 论证岩堆体的稳定，并为工程设计的稳定计算提供工程地质参数。

⑥ 论证崩塌、岩堆防治措施，提出推荐整治方案。

(2) 工程地质图

① 工程地质平面图，比例尺为 1: 500~1: 2000。

② 工程地质断面图，比例尺：水平为 1: 500~1: 2000；垂直为 1: 100~1: 200。

(3) 成果资料

调绘记录本、勘探成果资料、试验成果资料、节理统计分析资料、稳定分析资料等应分别编目，整理成册；除记录本外，均应列入基础资料，正式出版。

(二) 详堪

1. 勘察重点

(1) 查清各危岩形状、体积及可能脱离母岩的裂隙特征。查明风化、侵蚀差异形成的凹凸尺寸及岩性特征。查明岩体节理、软弱夹层特征、发育程度及它们最不利组合。预测崩落体的形状、体积、崩落体重心高度。查明落石运动所经过和停积的场所及对路基、桥涵和隧道的危害。

(2) 查明崩塌、滑塌、剥落范围及岩堆范围地面坡度角变化、变坡点间距及地层、岩性变化特征。

(3) 查明路基及防治构造物地基的地层、岩性及加载后的稳定性。

(4) 查明挖方及新崩落体，清除弃土堆放场所。

2. 勘探

(1) 勘探是为查明公路工程、防治构造物地基及开挖边坡的地层结构和岩性

(2) 纵向勘探线沿工程轴线方向布置，勘探点间距不大于 20m。通过纵向勘探线上的勘探点，做横向勘探线，横向勘探线上的勘探点一般不少于 3 个。

(3) 勘探深度一般在基础底面或开挖最低点以下 3m；如遇软弱夹层，应穿透软弱夹层以下 3m。

(4) 应尽量利用附近的露头或初勘时的勘探资料。

(5) 勘探以物探为主，但轴线方向上至少有一个代表性勘探点为挖探孔或钻探孔。

3. 试验

试验项目的要求同初勘的实验要求。

4. 资料要求

(1) 崩塌、岩堆工程地质勘察报告，文字部分的内容如下：

① 概述崩塌、岩堆形成、发育的自然条件、人为活动因素及其机理联系，并论述对路基、桥涵和隧道工程的影响。

② 提供拟定各项防治措施的依据。

③ 论述各项防治设计计算参数的选择依据，并推荐合理的计算参数。

④ 说明设计、施工、养护应注意的事项。

(2) 工程地质图

① 工程地质平面图，比例尺为 1: 500~1: 2000。

② 各项防治工程的代表性工程地质纵、横断面图，比例尺：水平为 1: 500~1: 2000；垂直为 1: 100~1: 200。

③ 成果资料

调绘记录本、勘探成果、试验成果、节理统计分析成果、验算原始资料等应分别编目，整理成册；除记录本外，均列入基础资料，下式出版。

三、岩溶

(一) 初勘

1. 勘察重点

(1) 查明岩溶的发育强度、基本形态、规模大小、分布规律及其与地层岩性、地质构造、地表水及地下水之间的关系。

(2) 查明岩溶水的埋藏特点、富水程度、补给、径流、排泄条件，地下水位标高和水位变化特点。

(3) 查明不同路段土洞的发育程度、分布规律和规模大小。

2. 调查与测绘

(1) 工程地质调查和测绘应与航片、卫片的判释同时进行。

测绘范围应以能满足方案选择和查明场地岩溶发育程度为原则，对路线限于中线两侧各 200m~300m；对特大桥和地质条件复杂的大桥限于桥轴线上、下游各 200m~500m；对隧道视地质条件复杂程度确定。测绘比例尺为 1:500~1:2000。

(2) 工程地质测绘应重点查明可溶岩分布地段的地形地貌特征、地表岩溶的主要形态、规模大小、分布特点；可溶岩的岩性、分布范围、第四系地层岩性、成因类型、沉积厚度、结构特征；土洞的分布位置、规模；岩层产状、地质构造类型、新构造活动的特征、断裂和褶皱轴的位置、构造破碎带的宽度、可溶岩与非可溶岩的接触界线、岩体的节理发育程度；地下水类型、埋藏条件、补给、径流和排泄条件，地下水露头位置和标高、涌水量大小，地下水与地表水的水力联系，地表水的消水位置；不良地质现象的成因类型、规模、稳定情况和发展趋势。

3. 勘探

(1) 路基勘探

岩溶地区公路路基的工程地质勘探，应在全面分析研究遥感测绘资料的基础上，确定勘探点的位置，选择勘探方法。

勘探方法以综合物探为主，应在布线范围内平行路线走向布设 2-3 条物探测线，查明沿线不同路段的岩溶发育程度和分布规律。必要时，可在构造破碎带、褶皱轴部、可溶岩与非可容岩接触带和岩溶洞穴、塌陷地带等处，布设物探测线，查明这些地带岩溶的发育强度和发育特点。

在判定的岩溶发育带和物性指标异常带应布置钻孔，验证物探成果，同时查明岩溶的基本形态和规模、洞穴充填物的性状和地下水位标高等。

利用人力钻和轻型机钻，查明第四系地层岩性、沉积厚度、结构特征、土洞的分布位置和规模。

(2) 桥基勘探

岩溶地区桥基的勘探首先应采用物探，查明桥位区岩溶的发育规律、不同地

段的岩溶发育强度和发育特点,第四系的地层岩性、层序、沉积厚度、结构特点。

在判定的岩溶发育带和物性指标异常带应布设钻孔,以验证物探成果。必要时,在每个基础范围内可布置1个钻孔,查明岩溶发育特点。钻孔深度应在完整基岩内钻进5m-10m,在该深度遇有岩溶洞穴时,应在洞穴底板完整基岩内钻进3m-5m。

(3) 隧址勘探

隧道的工程地质勘探应以物探方法为主,并在充分分析遥感和测绘资料的基础土布置勘探工作。首先沿隧道中线和断裂破碎带、褶皱轴部、可溶岩与非可溶岩接触带布置物探勘探线,查明洞身不同地段的岩溶发育程度和分布规律、岩溶洞穴的含水特性等。

在隧道的洞口和已判定的岩溶发育带,物性指标异常时,应布置钻孔,查明洞体围岩的工程特性,主要内容为岩溶发育程度、基本形态和规模、洞穴充填物性状、岩溶的富水性、补给、径流和排泄条件。钻孔深度应在隧道底板设计标高以下完整基岩钻进5m~8m;在该深度遇有溶洞时,钻孔应穿过洞穴,在溶洞底板完整基岩内钻进3m~5m。

4. 试验

(1)为确定地基岩体强度和隧道围岩类别,应对测区内的岩石进行单轴极限抗压强度试验,测定洞体围岩的波速。

(2)为查明地下洞穴连通情况和地下水之间的水力联系,应作连通试验。

(3)为查明岩溶富水性和涌水量,必要时应对岩溶含水带作抽水试验。

(4)对地下水和地表水作水质分析,确定其对混凝土的侵蚀情况。

5. 资料要求

资料整编应在遥感、工程地质测绘、勘探和测试等各种原始资料准确、齐全的条件下进行。应提交的资料及其内容要求有:

(1)工程地质勘察报告 文字部分应论述场地的工程地质条件和岩溶在水平和垂直方向上的发育强度与分布规律,并结合地形地貌特征、第四系岩性、沉积厚度、物理力学特征、路基挖深、填高,将场地进行工程地质分区,评价各区的稳定性和适宜性;论述桥、隧场地的工程地质条件和岩溶的发育特点、洞穴规模、充填物性状、富水程度;评价桥、隧场地的适宜性和桥梁地基、隧道围岩的稳定

性。

对影响公路工程建筑物稳定与安全各种岩溶洞穴和岩溶水提出整治方案；论证岩溶洞穴、天生桥等用作公路隧道、桥涵的可能性。

(2) 工程地质平面图 按路线、桥梁、隧道分别绘制，应全面反映场地的工程地质条件。重点标示出岩溶发育地段、特殊性岩土地段、岩溶洞穴塌陷等不良地质现象。比例尺为 1: 500~1: 2000。

(3) 工程地质纵断面图 分别按路线、桥梁、隧道中线绘制，比例尺：水平为 1: 500~1: 2000，垂直为 1: 50~200。

(4) 岩土、水质的试验、分析资料，水文地质试验资料。

(5) 钻孔柱状图、物探成果图等。

(6) 岩溶场地稳定性分区图 根据岩溶发育程度、基本形态、洞穴规模、路堑设计标高以下或路堤原始地面以下的第四系厚度和洞穴顶板岩体厚度等条件，将场地划分为无岩溶区、岩溶不发育区、岩溶发育场地稳定区和岩溶发育场地不稳定区等。

以上地质勘察成果，应列入基础资料，正式出版。

(二) 详勘

1. 勘察重点

(1) 查明场地内影响公路工程建筑物稳定与安全的岩溶洞穴和土洞的形态、位置、规模、埋深，洞穴顶板岩体厚度，洞穴充填物性状。

(2) 查明岩溶水埋藏特点、水动力特征、水位标高及其变化幅度和水的补给、径流、排泄条件。

2. 调查与测绘

(1) 调绘范围的确定应以能满足工程设计、岩溶的处理和查明场地岩溶发育分布规律为原则，对路线控制在线位两侧各 100m~150m；对特大桥和工程地质条件复杂的大桥，控制在桥位中线上、下游各 200m；对隧道应根据场地的工程地质条件复杂程度确定。比例尺为 1: 500~1: 2000。

(2) 测绘中主要校核、修改补充完善初勘资料，重点查明岩溶洞穴、土洞、漏斗和落水洞的位置、形态、规模，洞穴塌陷的地表分布面积、垂直形态，暗河的位置和埋深；地下水涌出和地表水的消水地点，地表水与地下水在不同季节补

给、排泄关系的变化；第四系的地层岩性、厚度、结构特征；可利用的岩溶洞穴、天生桥等的洞径大小，顶板岩体厚度、完整性，侧壁岩体的稳定性。

3. 勘探

(1) 路基勘探

路基勘探应以钻探为主，勘探的重点在初勘已查明的岩溶发育地段，主要查明路基范围内岩溶洞穴在水平和垂直方向上的分布特点、基本形态、洞穴规模，洞穴顶板厚度、完整性，溶洞的含水性、水位标高、水量大小，洞穴充填物性状。

利用人力钻或轻型机钻查明土洞的分布和规模。

在填土路段，钻孔应在完整基岩内钻进 5m~8m，在该深度内遇有溶洞时，应钻穿溶洞并在底板完整基岩内钻进 3m~5m。在挖方路段，钻孔应在路基设计标高以下完整基岩内钻进 5m~8m，或穿过溶洞后在底板完整基岩内钻进 3m~5m。

(2) 桥基勘探

在充分研究初勘资料的基础上，布置钻探工作，主要查明每个基础范围内岩溶的发育规律、基本形态、规模大小，洞穴顶板岩层厚度、完整性，洞内充填物性状。一般情况每个基础不少于 4 个钻孔，当采用桩基础时，应逐桩钻探。钻孔在完整基岩内钻进 5m~10m；在该深度内遇到溶洞时，钻孔应穿过溶洞，在洞穴底板完整基岩内钻进 3m~5m。

(3) 隧址勘探

除按常规要求进行隧道的工程地质勘探外，在岩溶区应重点查明岩溶洞穴的分布、基本形态、规模大小，洞内充填物的性状，岩溶地下水的水位标高、富水程度、补给、排泄条件。

除在隧道洞口地段布置钻孔外，在洞身地段构造破碎带、褶皱轴部、可溶岩与非可溶岩接触带和已判定的岩溶发育带布置钻孔，钻孔应在隧道底板设计标高以下完整基岩内钻进 5m~8m；在该深度内遇有溶洞时，钻孔应穿过溶洞，在洞穴底板完整基岩内钻进 3m~5m。

4. 试验

(1) 对地基中的洞穴顶板岩石进行下列试验：饱和单轴抗压强度，岩石的凝聚力、内摩擦角、弹性模量、泊松比、剪切弹模等。

(2) 对隧道洞体上部 2.5 倍洞径高度范围内的围岩进行下列试验：天然状态

和饱和状态单轴抗压强度，弹性抗力系数，内摩擦角、弹性模量、泊松比、剪切弹模，有条件时测定围岩的弹性波的波速。

(3)对深路堑和隧道洞身附近的岩溶含水带进行抽水试验，查明含水带的水文地质特征。

(4)对地下水和地表水进行水质分析，判断其对混凝土的侵蚀性。

5. 资料要求

(1)工程地质勘察报告 文字部分应论述场地的工程地质条件，详述场地岩溶发育强度和溶洞顶板的稳定性、岩溶水的埋藏条件和水动力特征；评价岩溶发育带路基的安全和稳定性、岩溶水对路基的危害；对危害路基安全和稳定的岩溶洞穴和岩溶水提出整治措施。

详述桥位区的工程地质条件和岩溶的发育强度、洞穴基本形态和规模；评价桥基的稳定性，可能时提出洞穴顶板岩体的安全厚度；对影响桥基稳定的岩溶洞穴提出工程措施。

详述隧道场地的工程地质条件和岩溶发育程度、分布规律，岩溶含水带的水文地质特征和涌水量大小；分析评价岩溶洞穴的岩溶水对隧道安全性和稳定性的影响及在施工和营运时产生的危害；对岩溶洞穴和岩溶水提出处理措施。

(2)工程地质平面图 按路线、桥梁、隧道不同工程场址分别绘制，除反映出一般工程地质条件外，重点标示出与岩溶及岩溶水有关的工程地质内容。比例尺为 1：500~1：2000。

(3)工程地质纵断面图 分别按路线、桥梁、隧道等工程绘制，比例尺：水平为 1：500~1：2000，垂直为 1：50~1：200。

(4)岩溶发育带有关断面图。

(5)可利用的溶洞、天生桥等有关资料与图件。

(6)岩土、水质的试验成果。

(7)钻孔柱状图，物探资料成果。

以上地质勘察成果，应列入基础资料，正式出版。

四、泥石流

(一)初勘

1. 勘察重点

(1)地貌调绘

①泥石流形成区的滑坡、错落、崩塌、岩堆及流域面积内可能形成泥石流的固体物质储备量，溯源侵蚀状况。

②流通区沟谷特征，如沟谷的曲折、横断面类型、岸坡形状、纵坡角度、通过长度、冲淤规律、泥石流痕迹残留厚度等。

③堆积区洪积扇的形状、大小、各部位地面坡度、较新泥石流沉积体互相叠覆状况、冲沟在洪积扇上发育状况(如位置变迁、切割深度、横断面形状等)。

(2)工程地质调绘

①收集区域地质、大地构造、地壳应力场和新构造活动等资料及泥石流发育规律。

②泥石流形成区、通过区的地质构造、地层岩性、岩层风化状况、坡残积物的分布发育况。

③堆积区洪积扇各部位的颗粒天然级配、颗粒的岩石或矿物成分、岩组排列、疏松、固结(胶结)状况。

④历次泥石流暴发时的流动方向与堆积部位。

⑤泥石流沉积与附近其它(冲积、洪积、冰积)的岩性区别，如颜色、颗粒形状、分选程度、与母岩关系、擦痕、泥球、堆积形状、层理产状差异、地形起伏状态等。

(3)气象、水文调查

①除收集一般气象资料外，还应调查最大降雨延续时间、降雨强度、出现年份以及对发生泥石流的影响程度。

②收集有关地形图(可用小比例尺图)，圈定泥石流的汇水面积。

③调绘泥石流对河床稳定的影响；泥石流挤压河床，迫使河流外移，泥石流堵塞江河(含线外泥石流)造成回水的范围和高程；洪积扇被冲刷所形成岸边陡坎高度、坡度、稳定状况、出露的地层剖面，据此确定公路沿河各路段的年平均淤积量。

(4)人为活动调查

①调查由于伐木、开荒植被破坏，造成水土流失的状况。

②调查采矿、开山与废弃岩石形成泥石流的可能性与现状。

(5) 泥石流发育历史调查

①调查、访问泥石流发生时间、频率、历史原因、规模大小，引发的灾害、危害程度、发展趋势。

②调查、访问泥石流暴发前的降水、融雪、融冰情况及暴发时的密度、流速、流向、体积范围，阵流头部的波高，泥石流飞溅高，波头、波尾表层流动特征(颗粒有无上下相对运动)，阵流的韵律。

③调查形成区土的侵蚀速度。

④调查以往当地防治泥石流的措施、成败的经验教训及当地防治规划。

2. 勘探

(1)一般应查明堆积区洪积扇的地层结构、岩性及流通区残留厚度。形成区需设人工构造物进行防治时，应查明固体物质储备的地层结构和岩性。

(2)代表性勘探可呈十字形布置，纵向勘探线沿洪积扇脊部布置，并伸入到流通区沟谷内部，达到能表示流通区平均纵坡为止。而横向勘探线沿总体地形等高线延伸方向布置，达到洪积扇的边缘。纵、横勘探线交点宜在洪积扇重心部位。

一次淤积范围的勘探线比照上述方法布置。

各勘探线上的挖探或钻探的勘探点不得少于 3 个。

泥石流的勘探点需要加密时，也可采用物探；勘探点间距不大于 50m。

3. 试验

(1)试验项目：相对密度、密度、含水量、颗粒分析，还应做泥石流的特殊项目。

(2)危害严重、流域面积大或有代表性的需特殊研究的泥石流，要建立观测站，进行长期观测。

4. 资料要求

(1)泥石流工程地质勘察报告，文字部分的内容如下：

①概述地质构造、新构造与区域性的泥石流集中分布的规律。

②逐个说明泥石流沟谷形成的地形、地貌、地质构造、地层岩性等自然条件及滥垦滥伐、不适当堆弃废土废石等人为因素。

③论述连续降雨、暴雨强度、融雪、冰川活动等气象因素与泥石流活动周期、活动规模的关系。

④叙述近年来各次泥石流淤积范围、冲沟冲淤的变化规律及流动特征。

⑤论述泥石流发生过的灾害、现状及未来发展趋势。

叙述当地防治泥石流的历史及成败的经验教训,为防治方案提供依据及提出下一步工作的意见。

(2) 工程地质图

①工程地质平面图(含3个区段),比例尺为1:2000~1:10000。

②工程地质纵断面图(含沉积区、流通区),比例尺:水平为1:2000~1:1000;垂直为1:200~1:1000。

(3) 成果资料

调绘记录、勘探成果资料、试验成果资料等应分别编目,装订成册;除记录本外,其余成果均列入基础资料,正式出版。

(二) 详勘

1. 勘察重点

(1)查明泥石流区段公路路基、桥涵、隧道等建筑物地基地层,岩性,并为设计提供所需的物理力学参数。

(2)查明各项防治措施所针对的局部泥石流活动的规律,以及构造物地基的地层、岩性。

(3)查明各防治构造物设计所需的计算参数。主要有密度、流速、流量、阵流波头高度、飞溅高度、年平均冲出量、固体物质储备量、冲沟的冲淤速度、冲淤方向及构造物地基承载力湿陷性等。

2. 勘探

(1)勘探是为查明构造物地基的地层、岩性。

(2)勘探线应沿构造物轴线方向布置,各勘探线一般不少于3个勘探点。对桥位,当地基地层复杂时,应在墩台位置布置勘探点。

(3)勘探方法一般采用挖探或钻探。

(4)当初勘的勘探点临近勘探线时,有代表性并能满足设计需要的应加以利用,不再另设勘探点。

3. 试验

(1)试验项目同泥石流初勘要求。

(2) 确定地基承载力，尽量采用触探等原位测试。

4. 资料要求

(1) 泥石流工程地质勘察报告，文字部分的内容如下：

①概述有关泥石流形成、发展、活动、发生频率与自然及人为因素的机理关系。

②概述泥石流特征类型及今年来活动现状。

③针对各项防治措施需要，选择合理计算公式、计算参数，对泥石流活动作出定量评价。

④对构造物地基承载力进行论证分析，提出合理、可靠的设计推荐值。

⑤提出设计、施工、养护应注意的问题。

(2) 工程地质图

①工程地质平面图，一般含堆积区和流通区，当形成区设防构造物时需扩大至形成区。比例尺为 1：2000~1：10000。

②工程地质纵断面图，根据防治构造物的需要分别绘制。

比例尺：水平为：1：2 000~1：10000，垂直为 1：200~1：1000。

(3) 成果资料

观测资料、调绘记录、勘探成果资料、试验成果资料、计算书、原始图件应分别编目，整理成册；除记录本外，其余成果均列入基础资料，正式出版。