

任务九 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。

任务描述：

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 9-3 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 9—1 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、	27.8	18.7	14.5	53.4	33.2	20.2	36.0	20.4

批注 [I1]: 前面加 LOGO，出版社统一设计

批注 [I2]: 前面加 LOGO，出版社统一设计

	黏土								
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

相关知识：

湿陷性黄土

一、黄土的概念

第一节 崩塌与岩堆

一、崩塌

1. 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。

2. 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° ～75° 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 9—1 所示。

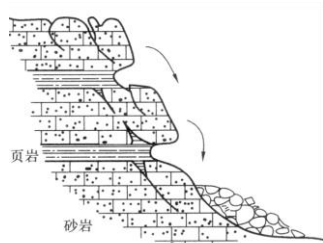


图 9-1 软硬岩层互层坡体的局部崩塌

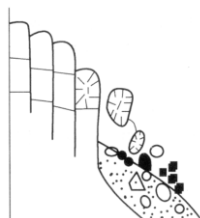


图 9-2 节理与崩塌

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 9—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。

3. 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。

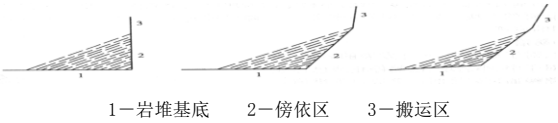
二、岩堆

1. 概述

岩堆是指由碎落、崩塌和落石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 9-3 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。



9-3 岩堆床纵剖面组成图

2. 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 9-1。

表 9-1 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。

3. 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。

4. 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 9-4 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。

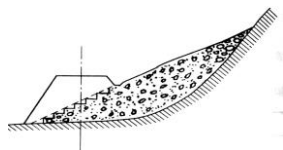


图 9-4 路堤在岩堆下部通过

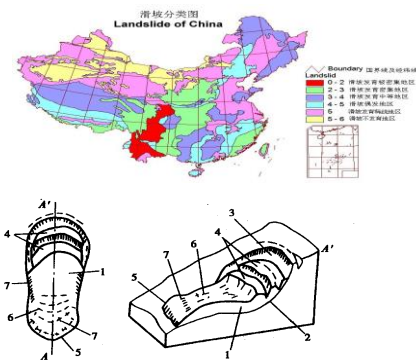
第二节 滑 坡

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—滑动面；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9—5 我国滑坡分布

图9—6 滑坡形态要素

二、滑坡形态要素

一个发育完整的滑坡，一般有下列的几部分组成，如图9—6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)土石体的物理力学性质，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. 滑坡后壁 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. 滑坡舌 是指滑坡体前缘形如舌状的伸出部分。

8. 滑坡鼓丘 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，有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。

5. 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。

6. 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。

7. 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。

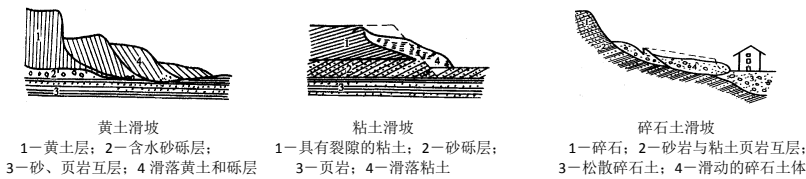


图 9—7 按物质组成分类图

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。

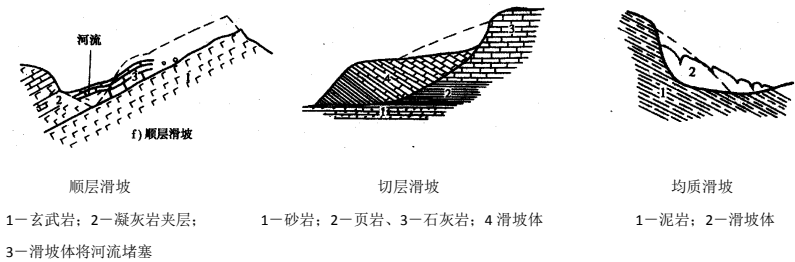


图 9—8 按滑动面与岩土体层面关系分类图

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 9—9 所示。

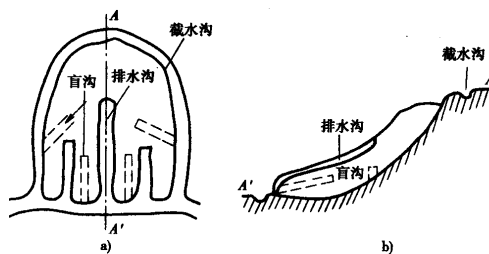


图 9—9 排除滑坡地表水和地下水示意图

(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 9—9。

(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 9—

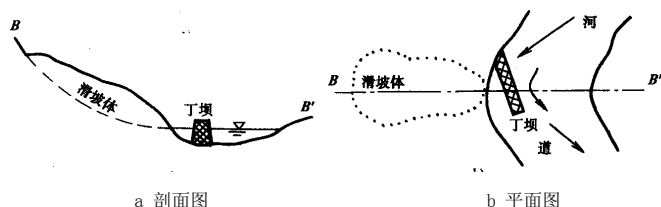


图 9—10 河岸防护示意图

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： 宜君西河水库滑坡治理

一、工程概况

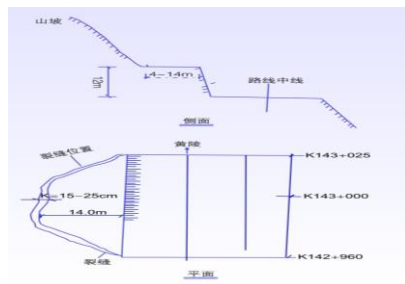
西河水库滑坡位于陕西铜川至黄陵一级公路宜君县城境内西河水库西侧山坡。铜川至黄陵一级公路 1997 年 11 月开工，2000 年底通车。

刚开工时，公路选线是在西河水库右侧通过，由于右侧是一个古老的黄土滑坡，治理比较复杂，所以线路改在西河水库左侧通过。

二、地质概况

西河水库滑坡有两处，一处位于 210 国道铜黄一级公路西河水库西侧，K142+530~+860 之间。此处原为古滑坡体，由于公路路堑开挖，引起古滑坡局部复活，形成新的工程滑坡。新滑坡体形态大致成簸箕形，中段较平直，两侧逐渐收缩，坡体上已形成于路线走向近一致的张拉性裂缝，上边坡发生滑塌以及坡面破碎等迹象。在地层分布上，本滑坡表层主要以粘性土为主，其下为老滑坡体堆积块碎石，滑面以下为中等风化~弱风化砂泥岩互层。另一处位于 210 国道铜川~黄陵一级公路 K142+860~K143+200 之间。该滑坡是由于公路路堑开挖使坡

体失去支撑所致，箕形，中部较为顺直，两侧渐收缩，周边地带均有裂缝发育，长 30~20m 不等，裂缝宽 2~50 cm，滑体表面也不同程度地发育有 NE10° 向裂缝。滑体物质主要为砂、泥岩构成，滑动带物质为厚层强风化~全风化饱水泥岩。滑坡类型属岩质牵引式逆层滑坡。



9-11 滑坡位置示意图

三、滑坡成因分析

K142+530~+860 之间滑坡，表层以粘性土为主，下为古滑坡。K142+860~K143+200 之间滑坡物质主要由砂、泥岩构成，裂隙发育，地表水下渗使岩体容重加大，强度降低，滑动带物质为厚层强风化~全风化饱水泥岩，其抗剪强度降低，成为一个最危险的潜在滑动面。

由于新建公路削坡，坡上加载，破坏了坡体的平衡条件，1998 年 8 月导致了古滑坡的滑动及新滑坡的形成。

四、滑坡治理措施

滑坡产生后，请陕西省设计院进行勘查，提出治理措施，经过钻探取岩芯分析后，提出下列防治措施：

1. K142+860~K143+170 滑坡治理

1) 清方 K142+860~K143+170 左侧滑体进行清方减载

2) 支挡 清方后滑坡仍不能满足高等级公路滑坡稳定性要求，还存在较大的下滑力，必须采取支挡工程，在 K142+860~K143+150 左侧设置 7.5# 浆砌块石挡墙，挡墙基础埋深不小于两米并应埋入滑面下不小于 0.5 米，距地面 30 厘米处，设置排水孔 (15 x 15cm) 一道，排水孔间距 2.0 米。挡墙每 10 米设置伸缩缝一道，缝宽 2 厘米，用沥青麻絮塞填缝口。

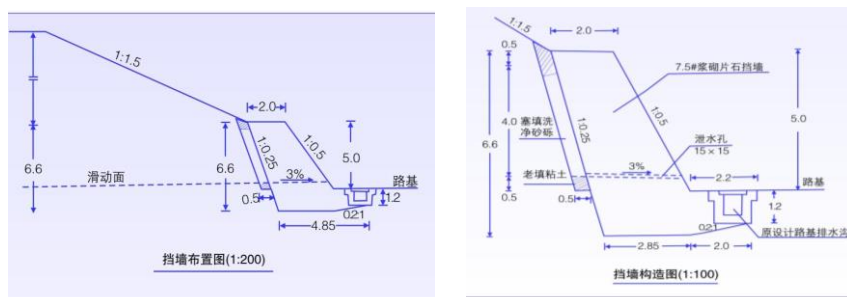


图 9—12 挡墙布置图和构造图



图 9—13 挡墙施工图

(3) 排水

① 采用仰斜孔排除滑体地下水，降低地下水位，以期改善滑体力学性质，提高自身抗剪强度。

② 在滑坡体内设置截水沟，以减少地表水渗入，避免滑体力学性质进一步恶化。削方后，在各平台距坡脚 2.0 米处设置截水沟。

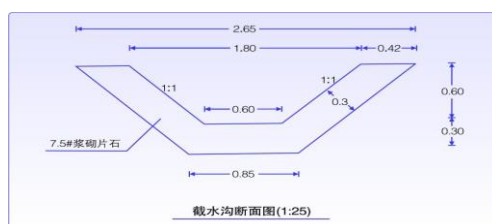


图 9—14 截水沟断面图

K142+860~143+170 滑坡第一次治理后，滑坡仍在滑动，通过下面两幅图可以看出。说明这种防治措施不能阻止滑坡的滑动，经过重新分析，提出第二次治理措施。



图 9—15 修好的挡墙因滑坡而错动

第二次治理措施

1) 支挡 在 K142+975~ K143+115 之间路线左侧每 6m 设置锚索桩一根, 桩径 1.5m×2.5m, 桩长 15m, 伸入滑床(稳定砂岩)6.0m, 桩上部采用预应力锚索加固。

2) 护坡 鉴于目前路线左侧坡体相对松散, 故对其左侧边坡采用砂浆强度等级为 7.5 的浆砌片石支护, 护坡顶宽 0.6m, 总高 7.0m, 伸入基底 1.0m, 护坡范围: K142+870~K143+170, 总计 300m。

3) 排水

(1) 采用仰斜孔排除滑体地下水, 降低地下水位, 以期改善滑体力学性质, 提高自身抗剪强度。布设范围 K142+885.5~K143+101.5 之间的护坡下部, 排水孔内每 24m 设置一孔共计十孔。仰斜排水孔仰角均为 4° , 全长 70m。

(2) 在路面左侧排水沟下部设置渗水盲沟, 以拦截地下水, 阻止其对路基的软化。渗沟铺设范围: K142+870~K143+120。由于 K143+120 地下水位较深, 故仅使盲沟延续至 K143+170 并将已拦截水自此排出, 最后经盖板排水沟汇入 K143+200

涵洞。

4) 夯填裂缝 对滑体内已形成的大裂缝(宽大于 5cm), 应采取粘土夯填, 夯填

方法: 在裂缝周边开挖一条宽 0.8m、深 1.0m 的地槽, 并采用粘土夯实整平。

2. K142+530~+590 段滑坡治理

在对本滑坡的治理设计中, 针对裂缝的发展状况及滑坡勘察报告, 选取削方、

抗滑挡墙及排水等措施，但在其施工过程中，发现裂缝有明显的向后缘发展的趋势，且抗滑挡墙的施工难度极大，无法保证工期要求。鉴于此，对原设计方案作以变更。

1) 取消原设计削方部分

对于 K142+530~+590 段基本上已完成的削方，为保持路容美观，仍按照原设计文件进行。对 K142+590~+733 段现在形成的槽状地形，进行分层夯填，密实度不应小于 85%，以便进行铺索框架的施工；对 K142+733~+860 之间，考虑到该段路基边坡较为高陡，为方便施工，进行适当的削方，为该段锚索框架的施工提供相应位置。

2) 抗滑支挡

(1) 抗滑桩 在 K142+533~+587 之间二级平台中部每六米设置抗滑桩一根，共计十根。抗滑桩截面 2×3m，桩长 14m，其中 7m 埋入滑面以下。为保证施工安全，抗滑桩成孔时应及时支护，支护完成后及时在孔底浇灌 C20 混凝土 20cm，然后下放钢筋笼。

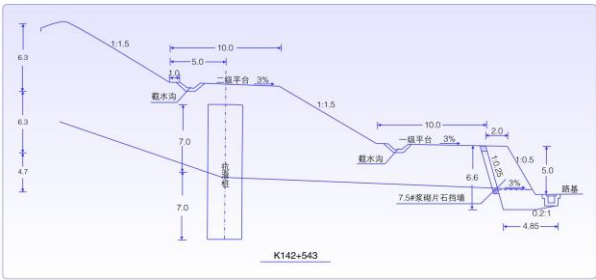


图 9—16 抗滑桩断面图

(2) 锚索框架支护 在 K142+589~+733 路基左侧 1: 0.5 坡面上采取预应力锚索框架支护。



图 9—17 锚索框架支护

(3) 抗滑挡墙：在 K142+530~+589、K142+733~+860 路基左侧边坡设置顶宽 2.0m，高 6.6m 砂浆强度等级为 7.5 的浆砌片石挡墙，其中基础埋深 1.6m。同时，取消原设计的挡墙下部渗沟。

3) 地表排水 在各平台设置截水沟，并在滑体最后缘裂缝外侧 5m 外设置一道截水沟。

4) 设置观测网 在滑体范围内设置变形观测点，并在滑坡范围以外稳定地段处设置三处基准点。观测桩采用 C15 素混凝土制成，截面 $20 \times 20\text{cm}$ ，长 2.5m，其中 1~1.2m 露出地面共计观测桩 33 根。滑坡变形观测按国家 I 等水准测量(高程、平面坐标)精度和技术要求进行，施工前进行观测，施工过程中一次 / 月，竣工后第一年一次 / 季度，其后一次 / 半年，共计观测三年。

5) 坡面绿化 边坡开挖段边坡上种植小冠花，各平台外边缘两米每五米栽植刺槐一株，其余坡面及平台地方种植小冠花。

六、滑坡治理效果

西河水库滑坡经过处理后，目前稳定性状况良好。从上面滑坡治理可以看出，影响一个边坡滑动的原因有许多，因此，治理一个滑坡不能靠单一的处理方法。

本滑坡经过削坡、锚索、抗滑桩、抗滑挡墙、结合排水和坡面防护的综合治理后，刚开始通过观测网定期观测还有位移，随着时间的推移位移越来越小，目前边坡坡体及支挡结构稳定，边坡排水合理。因此，该滑坡的治理是成功的。

第三节 泥 石 流

一、概述

泥石流是指突然暴发的含有大量泥沙、石块的特殊洪流。它具有来势迅猛，历时短暂，破坏力大等特点，是山区特有的一种不良地质现象。泥石流不仅可以摧毁房屋、村镇，淹没农田，堵塞河道，还堵塞、淤埋、冲毁路基、桥梁，给山区人民生命财产和经济建设造成重大灾害。例如：2006年2月17日上午9时左右在

菲律宾中东部的莱特岛突发大型泥石流，当地有数百栋房屋和一所小学被泥石流掩埋。造成了巨大的人员伤亡和经济损失。泥石流广泛分布在世界各地，其中比较严重的有哥伦比亚、秘鲁、瑞士、中国和日本。我国泥石流主要分布在青藏高原及其边缘地区，西南、西北山区，华北、东北的山地部分，东部山地及台湾、海南岛等地亦有零星分布。据统计资料分析，泥石流的发生具有一定的时空分布规律。时间上多发生在降雨集中的雨季或冰雪消融的季节，空间上分布在新构造活动强烈的陡峻山区。

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 9—18 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。

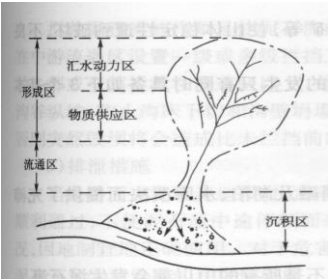


图9—18 泥石流流域分区示意图

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、阵

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。

第四节 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

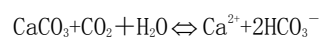
可溶性岩石是岩溶形成的物质基础，自然界中可溶性岩石有碳酸盐类（如石灰岩、白云岩、大理岩等）、硫酸岩类（如石膏、硬石膏、芒硝等）和卤盐类（如岩盐、钾盐等）。由于它们的成分和结构不同，其溶解性能也不同，碳酸盐类溶解度小，硫酸盐类溶解中等，而卤盐类属于易熔盐类，溶解度最大。这三类岩石中，碳酸盐类岩石分布最广，因此碳酸盐类岩石地区岩溶发育最典型、最普遍。

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 CO_2 ，若要水继续具备溶解能力，就需要补充 CO_2 ，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 CO_2 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9—19所示。溶沟和石芽的特征常和地形、地质等条件有关。

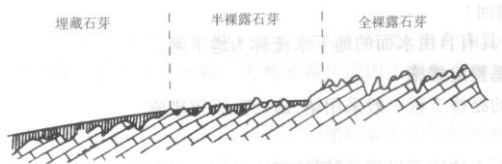


图 9—19 斜坡上的石芽

(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。

2) 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。

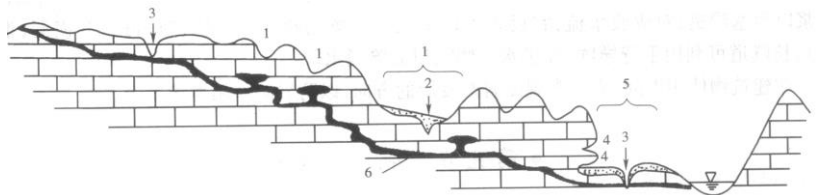
漏斗是岩溶水垂直循环作用的地面标志，因而漏斗多数分布在岩溶化的高原面上。如果地面上有成连续分布的成串漏斗，这往往是地下暗河存在的标志。

3) 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。

4) 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9—20 溶蚀洼地、漏斗和竖井在山地中的分布

5) 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。

6) 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。

7) 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。

第五节 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，在不需要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 9—21。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 9—22。

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 9—23。



图 9—21 风蚀蘑菇

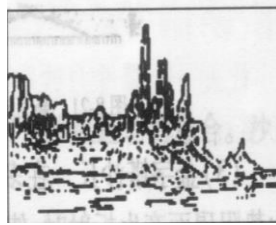


图 9—22 风蚀柱



图 9—23 雅丹地貌



9—24 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 9—24。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 9—25。

(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 9—26。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。

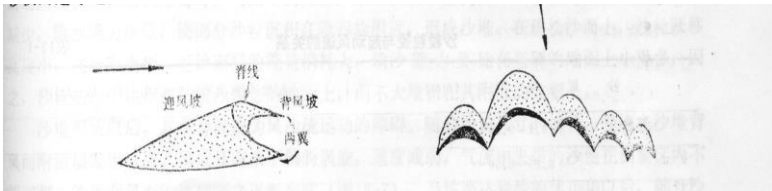


图 9—25 新月形沙丘

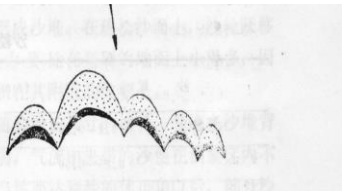


图 9—26 沙丘链

(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。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 9—27。

图 9—27 纵向沙垄

(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°～30°)、尖顶和狭窄的棱脊线，状如金字塔，高 50～100m，一般有 3～4 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 0～10 cm 的气流层中。

表 9—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 9—28 所示。

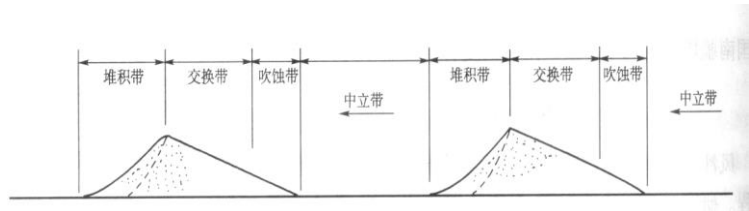


图 9—28 新月形沙丘的移动分带

(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。这种方式是在单一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。

本章小结

公路是一种线性构造物，它常穿越许多自然条件不同的地段，特别是不良地质条件地段。本章重点介绍了崩塌与岩堆、滑坡、泥石流、岩溶、沙漠几种常见的不良地质现象，着重介绍了这些不良地质现象的概念、危害、形成条件、分类及防治措施。学习过程中，应注重理论联系实际，分析每种不良地质现象的特点、发生条件，把重点放在工程防治上。

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?