

第三章 认识地貌与第四纪地质

5.1 地貌

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。

5.1.1 地貌的形成与发展

1. 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。

2.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。

5.1.2 地貌的分级与分类

1.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。

2. 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 5-1。

表 5-1 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 剥蚀残丘 剥蚀准平原		中等强度的构造作用，长期剥蚀切割作用 构造作用微弱，长期剥蚀切割作用 构造作用微弱，长期剥蚀和堆积作用
山麓斜坡堆积	堆积扇 坡积裙 山前平原 山间凹地		山谷洪流洪积作用 山坡面流坡积作用 山谷洪流洪积作用为主，夹有山坡面流坡积作用 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 牛轭湖 阶 地	河流的冲积作用 河流的冲积作用或转变为沼泽堆积作用 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 沼泽地		湖泊堆积作用 沼泽堆积作用
大陆构造-侵蚀	构造平原 黄土塬、黄土梁、黄土 峁		中等构造作用，长期堆积和侵蚀作用 中等构造作用，长期黄土堆积或湖泊堆积
海 成	海 岸 海岸阶地 海岸平原		海水冲蚀或堆积作用 海水冲蚀或堆积作用 海水堆积作用
岩 溶 (喀斯特)	岩溶盆地 峰林地形 石芽残丘 溶蚀准平原		地表水、地下水强烈的溶蚀作用 地表水强烈的溶蚀作用 地表水的溶蚀作用 地表水的长期溶蚀作用及河流的堆积作用
冰 川	冰 斗 幽 谷 冰蚀凹地 冰碛丘陵、冰碛平原 终碛堤 冰前扇地 冰水阶地 蛇 堤 冰碛阜		冰川刨蚀作用 冰川刨蚀作用 冰川刨蚀作用 冰川堆积作用 冰川堆积作用 冰川堆积作用 冰川侵蚀作用 冰川接触堆积作用 冰川接触堆积作用
风 成	沙 漠	石 漠 沙 漠 泥 漠	风的吹蚀作用 风的吹蚀和堆积作用 风的吹蚀作用和水的再次堆积作用
	风蚀盆地 砂 丘		风的吹蚀作用 风的堆积作用

5.2 山地地貌

5.2.1 山地地貌的类型

1.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，故形态分类一般多是根据这些特点进行划分,见表 5-2 所示。

表 5-2 山地按地貌形态分类

2.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 5-1 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。

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	

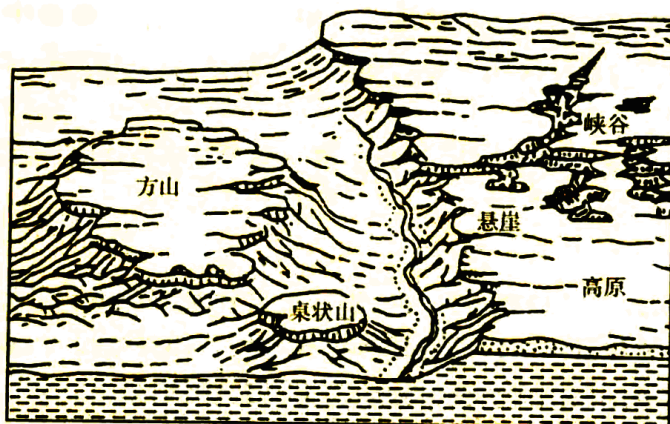


图 4-2 方山和桌状山

图 5-1 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 5-2）



图 4-5 断块山
a-断层面；b-断层三角面

图 5-2 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 5-3）

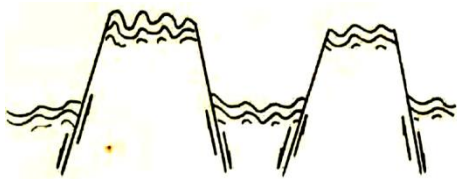


图 4-6 褶皱断块山形象图

图 5-3 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。

5.2.2 垭口与山坡

1. 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 5—4 所示。

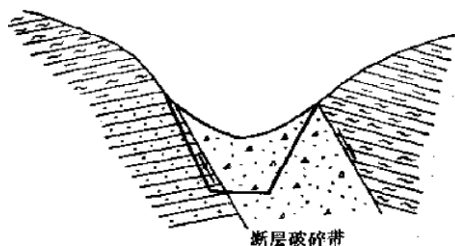


图4-7 断层破碎带型垭口

图 5-4 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 5-5 所示。

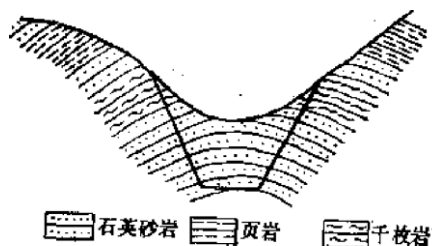


图4-8 背斜张裂带型垭口

图 5-5 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 5-6 所示。

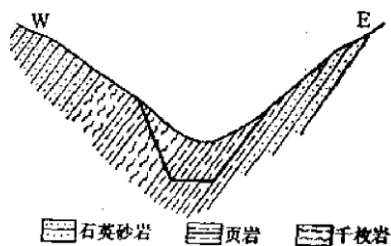


图4-9 单斜软弱层型垭口

图 5-6 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—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。

2.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 5-7 所示。

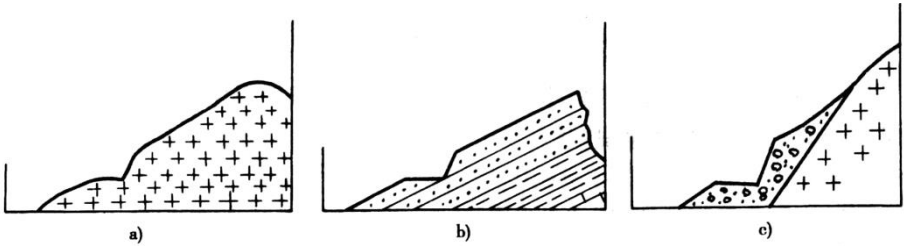


图 4-10 几种直线型山坡示意图
a)岩性单一;b)单斜构造;c)破碎堆积

图 5-7 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 5-8a、b 所示。

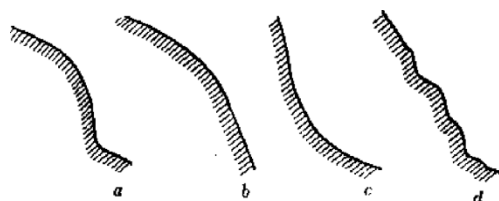


图 4-11 各种形态的山坡
a、b-凸形坡；c-凹形坡；d-阶梯形坡

图 5-8 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 5-8c 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 5-8d 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 $16^\circ \sim 30^\circ$ 之间的为缓坡,介于 $31^\circ \sim 70^\circ$ 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。

5.3 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 5-3。

表 5-3 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。

5.3.1 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 5-9 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。

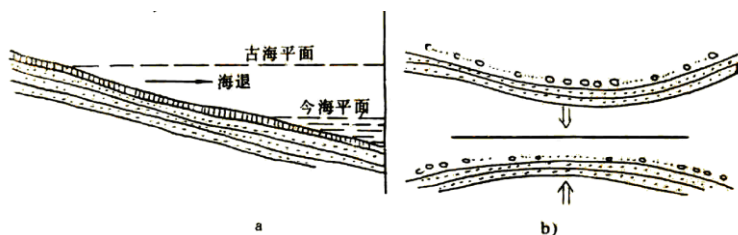


图4-12 构造平原成因示意图
a) 海滨倾斜平原; b) 大陆拗曲平原

图 5-9 构造平原成因示意图

5.3.2 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 5-10）



图4-13 剥蚀平原的形成图示

图 5-10 剥蚀平原的形成图示

5.3.3 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 5-11 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。

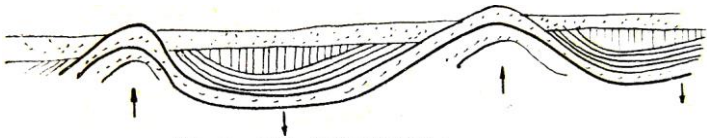


图4-14 剥蚀-堆积平原的形成

图 5-11 剥蚀-堆积平原的形成

5.3.4 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.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。

2.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。

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。

5.4 河谷地貌

5.4.1 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。

1. 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。

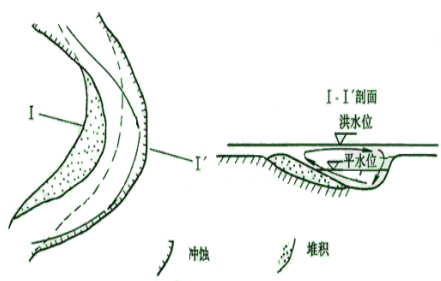


图 3-4 河流横向环流形成示意图

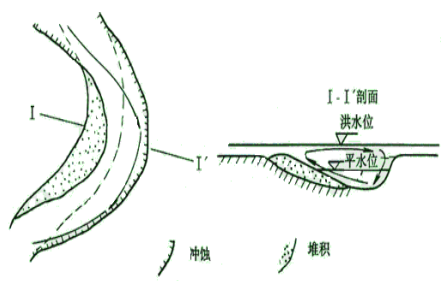


图 3-5 河流螺旋状横向环流

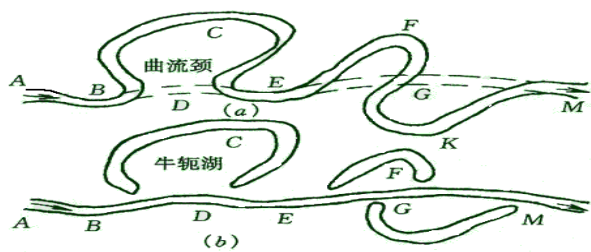


图 3-6 河曲的发展

2. 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。

3. 沉积作用

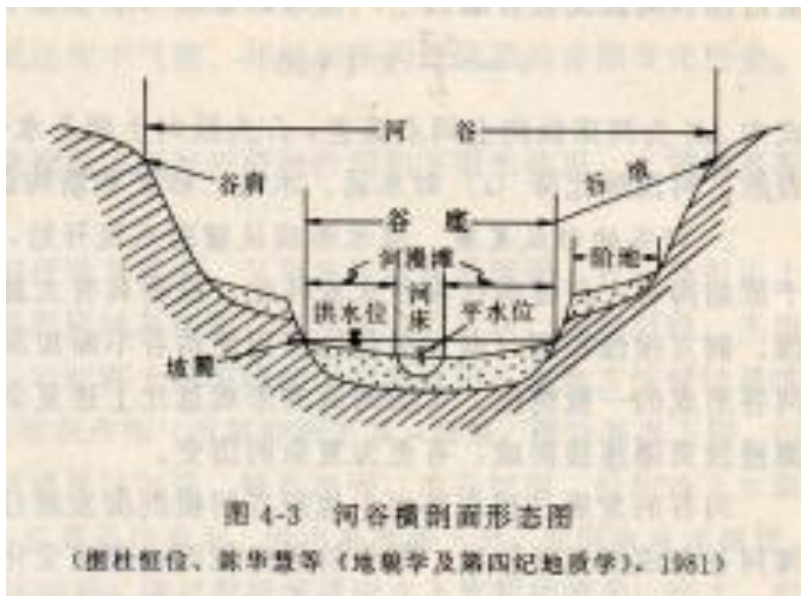
当河床的纵坡变缓或搬运物质增加而引起流速变慢时，河流的搬运能力降低，河水所携带的碎屑物质（泥砂、砾石）在重力作用下逐渐沉积下来，形成层状沉积物的过程称为沉积作用。河流沉积作用主要发生在河流入海、入湖、支流入干流处以及河流的中、下游地段和河曲凹岸，但大部分都沉积在海洋和湖泊里。由于河流搬运的颗粒大小与流速有关，所以，当流速减小时，被搬运的物质就按颗粒大小或密度，依次从大到小、从重到轻先后沉积下来。一般在河流的上游沉积较粗的砾石，越往下游沉积物质越细，多为砂壤土或粘性土，更细的或溶解的物质在海中沉积。河流沉积的物质有粗碎屑的漂石、块石、卵石、砾石及细碎屑的砂、粘性土、淤泥等。

5.4.2 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 3-3 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。



5.4.3 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 3-9 所示。

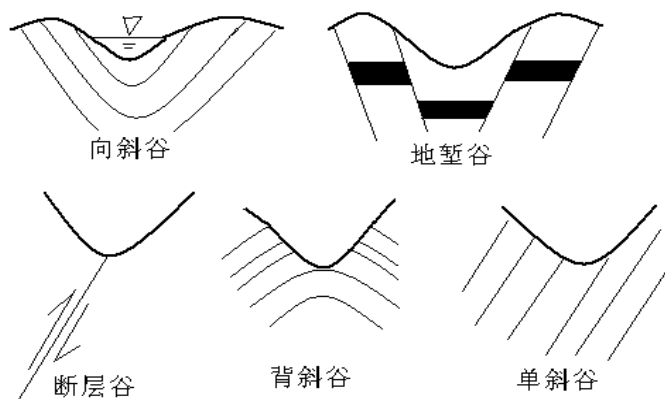


图 3-9 构造谷

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。

5.4.4 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 3-7。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。

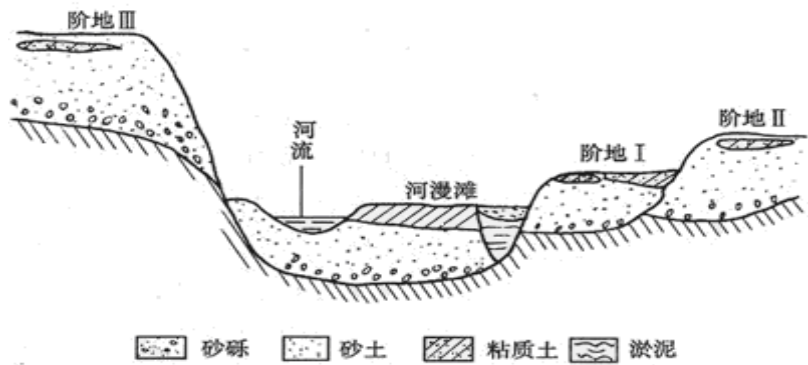


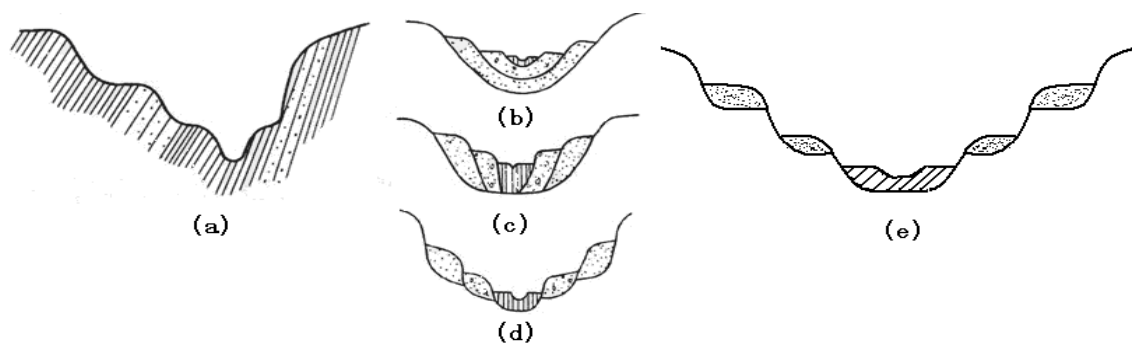
图 3-7 河流阶地

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 3-8。

(1) 侵蚀阶地(图 3-8a) 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。

(2) 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 4-8b)、内叠阶地(图 3-8c)及嵌入阶地(图 3-8d)。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。

(3) 基座阶地(图 3-8e) 属侵蚀阶地和堆积阶地的过渡类型, 阶地表面上有冲积物覆盖, 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 3-8 河流阶地类型

5.5 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 5-4。

表 5-4 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 Q ₄		1	3
	更新世	晚更新世 Q ₃	10	5
		中更新世 Q ₂	73	67
		早更新世 Q ₁	200	123

5.5.1 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。

5.5.2 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 5-5 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 崩塌堆积 滑坡堆积 土溜	较长期的重力作用 短促间发生的重力破坏作用 大型斜坡块体重力破坏作用 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	冰喷堆积 冰水堆积 冰喷湖堆积	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 5-6。

表 5-6 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.残积层

残积层是岩石风化后残留原地的松散堆积物。在工程实践中，残积层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，残积层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.坡积层

坡积层是由于地表水的作用或由于重力崩塌作用在斜坡下部较低洼地带堆积而成的。一般说来，坡积层常具有较高的孔隙度，较大的压缩性，透水性较小，抗剪强度较低等性质。同时坡积层易于沿斜坡发生滑动，尤其是在坡积物中开挖路堑和基坑时，常常导致滑坡。当路线通过坡积层时，应查明其厚度及物理力学性质，正确评价建筑物的稳定性。换 73 页

3.洪积层

洪积物是由山区暴雨洪水所携带碎屑物质在山间河谷或山前平原地带堆积而成。洪积物的工程地质性质与所处的部位有关，近山口的粗碎屑土的孔隙度和透水性都很大，压缩性小，承载力大；而远离山口的是细碎屑土和粘性土，它的透水性小，压缩性大。换 74 页

4.冲积层

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。

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。

工程案例 115 页

技能训练 252 页