

● 本科“建筑工程专业”系列教材

土力学与基础工程

■ 赵明华主编

■ 王贻荪主审

湖南科学技术出版社

编审委员会

主任：沈蒲生

顾问：戚文山

委员：（以姓氏笔画为序）

王济川 王贻荪 刘健行 乐荷卿

李家宝 李存权 吴慧敏 林则政

罗国强 邹银生 施楚贤 崔起鸾

本科“建筑工程专业”系列教材

出版说明

“建筑工程专业”（即原“工业与民用建筑专业”）是我国全日制高等院校土建类的一个主要专业。全国已有一百多所高等院校设有本专业，学生人数在各专业中所占比重也较大。但是，目前尚缺少一套与此专业相配套，系统完整的本科“建筑工程专业”的系列教材，给教学及教学组织工作造成了一定的困难。为满足许多高等院校本科工业与民用建筑专业教学的要求，湖南科学技术出版社组织湖南大学等院校有丰富教学经验的教师组成编审委员会，编写本系列教材。

本系列教材初选 14 门课程，现根据课程设置情况扩至 19 门课程。这 19 门课程是：《画法几何与建筑制图》、《测量学》、《建筑材料》、《混凝土结构》、《砌体结构》、《钢结构》、《土力学与基础工程》、《建筑施工》、《建筑经济与工程管理》、《结构分析的计算机方法》、《高层房屋结构设计》、《结构抗震设计》、《房屋常见事故分析与处理》、《房屋建筑工程毕业设计指南》、《弹性力学》、《钢筋混凝土特种结构》、《建筑结构可靠度》、《房屋建筑学》、《建筑工程课程设计指南》。

在编写过程中，将力图贯彻全国工业与民用建筑专业指导委员会近年来关于该专业培养目标和基本规定的要求，贯彻“少而精”的原则，注重加强基本理论、基本技能和基本知识的培养与训练，并力图做到理论联系实际，学以致用，体系完整，方便教学。

教材建设是一项长期而又艰巨的任务，编写本科“建筑工程专业”系列教材尚属初次尝试，缺点和不当之处欢迎读者批评指正，以便不断修订完善。

本科“工业与民用建筑专业”系列教材编审委员会

1993 年 8 月

前 言

本书系根据高等学校“建筑工程专业”（即原“工业与民用建筑专业”）四年制本科《土力学与基础工程》课程要求编写而成。

《土力学与基础工程》课程具有较强的理论性和实践性，涉及范围广泛。本书阐明了土力学的基本理论、基础工程的基本设计原理与施工方法，常用地基处理方法以及与本专业有关的工程地质基本知识。此外，考虑到本学科发展迅速、地区性强，在编写过程中注重理论联系实际，在保证系统性的前提下突出重点，并结合我国现行各有关设计与施工规范、规程，适当吸取国内外比较成熟的新内容，以适应我国现代化基本建设的需要。教学时可根据各地区的特点及要求，对第九、第十章中的内容适当取舍。

本书采用法定国际单位制，名词、术语、符号，与现行国家标准规范及“中国土木工程学会土力学及基础工程学会”编制的《土力学及基础工程名词》的有关规定相符合，也适当考虑了目前的习惯用法。

本书由赵明华副教授主编，湖南大学王贻荪教授主审。参加本书编写工作的是：湖南大学赵明华（绪论、第一、二、三、四、五、六、八、九章）；深圳海王集团股份有限公司何少敏（第十章）、长沙交通学院张军（第七章）。书后附录I、II、III、V由赵明华和胡志清编写；附录IV由张军和胡志清编写。此外，湖南大学周汉荣副教授对本书的编写提出了有益的建议，在此谨致衷心的感谢。

限于编者水平，不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

1994年8月

目 录

绪 论	(1)
第一章 工程地质概述及建筑场地勘察	(5)
1—1 地质作用、地质年代及地质构造	(5)
1—2 岩石	(8)
1—3 第四纪沉积物	(11)
1—4 地形与地貌	(13)
1—5 地下水	(14)
1—6 地基勘察的内容及基本要求	(17)
1—7 地基勘察方法	(20)
1—8 地基勘察报告	(27)
思考题	(29)
习题	(29)
第二章 土的物理性质及工程分类	(30)
2—1 概述	(30)
2—2 土的三相组成及土的结构	(30)
2—3 土的物理性质指标	(36)
2—4 无粘性土的密实度	(40)
2—5 粘性土的物理特征	(42)
2—6 土的压实原理	(44)
2—7 地基土(岩)的工程分类	(45)
思考题	(50)
习题	(50)
第三章 土中应力计算	(52)
3—1 土的自重应力	(52)
3—2 基底压力分布及简化计算	(54)
3—3 竖向集中力下地基附加应力计算	(56)
3—4 分布荷载下地基附加应力计算	(59)
3—5 非均质和各向异性地基的附加应力	(68)
思考题	(70)
习题	(70)
第四章 土的变形性质及地基沉降计算	(72)
4—1 土的压缩性	(72)
4—2 地基最终沉降量的计算	(79)
4—3 天然土层的固结	(90)

4—4 地基变形与时间的关系	(92)
思考题	(97)
习题	(97)
第五章 土的抗剪强度及地基承载力	(99)
5—1 土的抗剪强度	(99)
5—2 土的强度理论—极限平衡条件	(100)
5—3 土的剪切试验	(102)
5—4 抗剪强度指标的选用	(107)
5—5 地基的破坏型式及临塑荷载	(109)
5—6 地基的极限承载力	(112)
思考题	(116)
习题	(117)
第六章 土压力及土坡稳定	(118)
6—1 概述	(118)
6—2 作用在挡墙上的土压力	(119)
6—3 朗金土压力理论	(120)
6—4 库仑土压力理论	(126)
6—5 挡土墙设计	(133)
6—6 加筋土挡墙简介	(139)
6—7 土坡和地基的稳定分析	(143)
思考题	(148)
习题	(148)
第七章 浅基础的设计	(150)
7—1 浅基础的类型	(150)
7—2 影响基础埋置深度的因素	(154)
7—3 地基承载力设计值的确定	(156)
7—4 按地基承载力确定基础底面尺寸	(165)
7—5 地基变形验算	(170)
7—6 减轻不均匀沉降损害的措施	(173)
7—7 地基基础与上部结构共同工作的概念	(176)
7—8 钢筋混凝土联合基础的简化计算	(177)
7—9 浅基础的基坑开挖和基坑排水	(181)
思考题	(182)
习题	(182)
第八章 桩基础	(184)
8—1 概述	(184)
8—2 桩的类型与构造	(185)
8—3 单桩在轴向荷载下的工作性能	(190)
8—4 单桩轴向承载力的确定	(194)
8—5 群桩承载力计算	(200)

8—6	桩的水平承载力	(203)
8—7	桩基础设计	(207)
8—8	沉井及地下连续墙简介	(217)
	思考题	(219)
	习题	(220)
第九章	软弱地基处理	(221)
9—1	概述	(221)
9—2	碾压与夯实	(223)
9—3	换土垫层	(227)
9—4	排水固结	(230)
9—5	深层挤密	(233)
9—6	高压喷射注浆与深层搅拌	(239)
9—7	土工聚合物	(242)
9—8	托换技术	(243)
	思考题	(249)
	习题	(249)
第十章	特殊土地基、山区地基和地震区地基	(250)
10—1	膨胀土地基	(250)
10—2	湿陷性黄土地基	(259)
10—3	山区地基和红粘土地基	(264)
10—4	滑坡	(269)
10—5	地震区的地基基础问题	(277)
	思考题	(284)
	习题	(284)
附录 I	三相比例指标计算 SXZB 程序	(285)
附录 II	GBJ7—89 规范沉降计算 SETT 程序	(288)
附录 III	楔体试算法土压力计算 XTTYL 程序	(291)
附录 IV	《规范》法地基承载力计算 DJCZL 程序	(293)
附录 V	弹性地基梁计算 (纽玛克法) NDJL 程序	(295)

绪 论

一、土力学、地基及基础的概念

土是地壳表层母岩风化的产物，是各种矿物颗粒（土粒）的集合体。由于土的形成年代、生成环境及物质成分的不同，土的工程特性复杂多变。例如，我国沿海及内陆地区的软土，西北、华北和东北等地区的黄土，高寒地区的永冻土以及分布广泛的红粘土、膨胀土和杂填土等，都具有各自不同的性质。在建筑物设计前，充分了解、研究建筑场地相应土（岩）层的成因、构造、地下水情况、土的工程性质、是否存在不良地质现象等，对场地的工程地质条件作出正确的评价是非常必要的。

土力学是利用力学的一般原理，研究土的应力、应变、强度、稳定以及渗透等特性及其随时间变化规律的一门学科，它是力学的一个分支，是本课程的理论基础。但由于其研究的对象——土，是以矿物颗粒组成骨架的松散颗粒集合体，其力学性质与一般刚性或弹性固体以及流体都有所不同，因而还要有专门的土工试验技术来研究土的物理化学特性，以及土的强度、变形和渗透的特殊力学性质。

任何建筑物都建造在一定的地层（土层和岩层）上，地层由土或岩石所组成。通常把直接承受建筑物荷载影响的那一部分地层称为地基。地基未经人工处理就可以满足设计要求的，称为天然地基。如果地基软弱，其承载力不能满足设计要求时，则需对地基进行加固处理（例如采用换土垫层、深层密实、排水固结、化学加固、土工聚合物及基础托换等方法处理），这种处理过地基称为人工地基。

基础是建筑物中将承受的各种荷载传递到地基上的下部结构（图 0-1），一般应埋入地下一定的深度，进入较好的地层。根据基础的埋置深度不同可分为浅基础和深基础。通常把埋置深度不大（3~5m 以内），只需经过挖槽、排水等普通施工程序就可以建造起来的基础统称为浅基础；反之，浅层土质不良，须把基础埋置于深处的好地层时，就得借助于特殊的施工方法，建造各种类型的深基础（如桩基、沉井和地下连续墙等）。

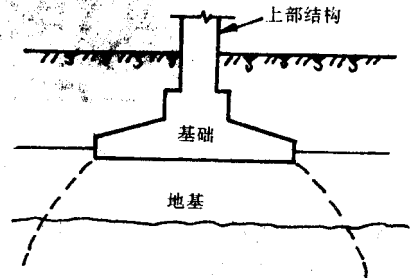


图 0-1 地基及基础示意图

地基与基础设计必须满足两个基本条件：①要求作用于地基的荷载不超过地基的承载能力，保证地基在防止整体破坏方面有足够的安全储备；②控制基础沉降使之不超过地基的变形容许值，保证建筑物不因地基变形而损坏或影响其正常使用。设计时应遵循因地制宜、就地取材的原则，根据地质勘察资料，综合考虑地基、基础和上部结构三者的相互关系与施工条件，通过经济、技术比较，选择出一个安全可靠、经济合理、技术先进和施工简便的方案。

地基与基础是建筑物的根本，统称为基础工程，其勘察、设计和施工质量的好坏直接影

11.38
HME

响到建筑物的安全、经济和正常使用。由于基础工程是在地下或水下进行，施工难度大，在一般多层建筑中，基础工程的造价约占总造价的 25%，工期约占总工期的 25%~30%。当采用深基础或人工地基时，其造价和工期所占的比例将会更大。此外，基础工程是建筑物的地下隐蔽部分，一旦失事，难以补救，甚至发生灾难性的后果，因此基础在建筑工程中具有十分重要的作用。

随着我国基本建设的发展，大型、重型、高层建筑和有特殊要求的建筑物日益增多，在基础工程设计与施工方面积累了不少成功的经验，国外也有不少成功的典范，然而也有不少失败的教训。例如，1913 年建造的加拿大特朗斯康谷仓（图 0-2），由 65 个圆柱形筒仓组成，高 31m，宽 23.5m，钢筋混凝土片筏基础，由于事前未了解基础下埋藏有厚达 16m 的软粘土层，建成后初次贮存谷物时，基底压力超过了地基极限承载力。结果谷仓西侧突然陷入土中 8.8m，东侧则抬高 1.5m，仓身整体倾斜 26°53'。这是地基发生整体滑动，建筑物丧失稳定性的典型范例。由于谷仓整体刚度好，筒仓完好无损。后经过在筒仓下增设 70 个支承于基岩上的混凝土墩，用 388 个 500kN 的千斤顶，才将筒仓纠正，但其标高比原来降低了 4m。

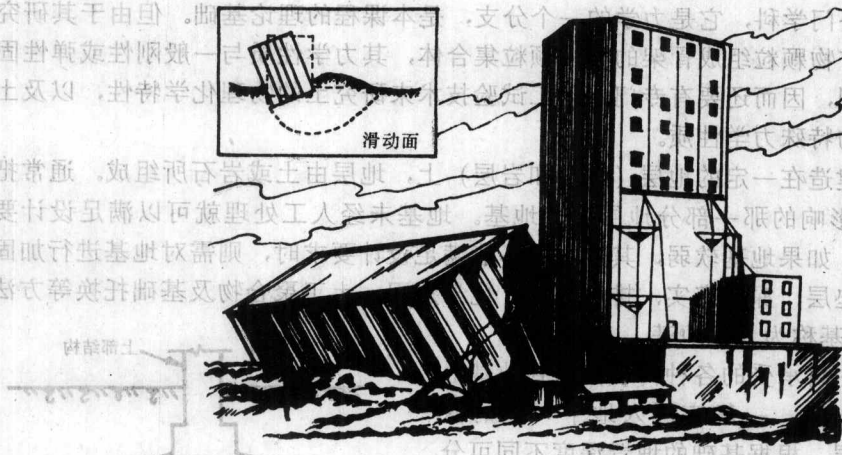


图 0-2 加拿大特朗斯康谷仓的地基破坏情况

世界著名的意大利比萨斜塔，1173 年动工兴建，高约 55m，因地基压缩层不均，排水缓慢，北侧下沉 1m 多，南侧下沉近 3m。1932 年曾灌注了 1000t 水泥，未能奏效，现该塔仍以大约每年 1mm 的速度下沉，再如我国 1954 年兴建的上海工业展览馆中央大厅，尽管采用了 7.27m 的箱形基础，但地基约为 14m 厚的淤泥质软粘土，建成后当年即下沉 0.6m，目前大厅平均沉降达 1.6m。

大量事故充分表明，对基础工程必须慎重对待。只有深入了解地基情况，掌握勘察资料，经过精心设计与施工，才能使基础工程做到既经济合理，又能保证质量。

二、土力学与基础工程的内容、特点与学习方法

本课程包括土力学（专业基础课）和基础工程（专业课）两部分，是建筑工程类专业的一门主课。内容涉及到工程地质、土力学、结构设计与施工等几个学科领域，综合性、理论

性和实践性很强。根据土木建筑工程专业的要求及课时安排，本课程抓住最基本的土力学原理和概念，并运用这些原理和概念，结合有关的结构设计理论，分析和解决基础工程问题。

全书共分为十章。第一章简要地介绍了有关的工程地质概念及建筑场地勘察的任务、方法和要求等；第二章介绍了土的物理性质及其工程分类，是本课程的基本知识；第三章至第五章是土力学的基本理论部分，也是本课程的重点内容，主要介绍了各种情况下土中的应力分布、土的压缩特性、地基沉降计算、土的抗剪强度及极限平衡概念等，并扼要地介绍了土工试验的有关知识；第六章主要介绍了土压力、挡土墙的设计计算方法及土坡的稳定性分析；第七章至第十章属于基础工程内容，系运用土力学理论解决工程设计中的地基与基础问题，其主要包括浅基础、深基础、特殊土地基及地震区地基的设计计算，以及软弱地基的处理方法等内容。

在本课程的学习中，必须自始至终抓住土的变形、强度和稳定性问题这一重要线索，并特别注意认识土的多样性和易变性等特点。此外，还必须掌握有关的土工试验技术及地基勘察知识，对建筑场地的工程地质条件作出正确的评价，才能运用土力学的基本知识去正确解决基础工程中的疑难问题。

本课程与材料力学、结构力学、弹性理论、建筑材料、建筑结构及工程地质等有着密切的关系，本书在涉及到这些学科的有关内容时仅引用其结论，要求理解其意义及应用条件，而不把注意力放在公式的推导上。此外，基础工程几乎找不到完全相同的实例，在处理基础工程问题时，必须运用本课程的基本原理，深入调查研究，针对不同情况进行具体分析。因此，在学习时必须注意理论联系实际，才能提高分析问题和解决问题的能力。

三、土力学与基础工程学科的发展简述

土力学与基础工程既是一门古老的工程技术，又是一门新型的应用学科。由于生产的发展和生活上的需要，人类很早就懂得利用土进行工程建设。远如我国都江堰水利工程、举世闻名的万里长城、隋朝南北大运河、黄河大堤、赵州石拱桥以及许许多多遍及全国各地的宏伟壮丽的宫殿寺院、巍然挺立的高塔等等，都是由于奠基牢固，即使经历了无数次强震、强风而安然无恙。这无不雄辩地证明了我国古代劳动人民在工程实践中积累了丰富的土力学与基础工程的知识。又如至今仍采用的灰土垫层、水撼砂垫层和石灰桩等，也都是我国自古已有的传统地基处理方法。然而，直到18世纪中叶，由于当时生产实践和知识水平的限制，人民对土在工程建设方面的特性，尚停留在感性认识阶段。

18世纪工业革命以后，大规模的城市建设和水利、铁路的兴建面临着许多与土有关的问题，从而促进了土力学理论的产生和发展。1773年，法国的库仑（Coulomb）根据试验创立了著名的砂土抗剪强度公式，提出了计算挡土墙土压力的滑楔理论。1869年，英国的朗金（Rankine）又从不同途径提出了挡土墙土压力理论，这对后来土体强度理论的发展起了很大的促进作用。此外，法国布辛奈斯克（Boussinesq, 1885）求得了弹性半空间表面在竖向集中力作用下的应力和变形的理论解答；瑞典费兰纽斯（Fellenius, 1922）为解决铁路塌方提出了土坡稳定分析法。这些古典的理论和方法，至今仍不失其使用价值。然而直到1925年，美国太沙基（Terzaghi）在归纳发展以往成就的基础上，发表了第一本土力学专著，从此土力学与基础工程才作为一门独立的学科而不断发展。从1936年至今，已召开了13届国际土力学与基础工程学术会议。许多国家和地区也召开了专业会议，交流和总结本学科的研究成果，并定期出版土力学与基础工程的学报或杂志，这些对本学科的发展都起到

了推动作用。

新中国的成立，为解放我国生产力和促进我国科学技术的发展开辟了一条广阔的道路，也使土力学与基础工程学科得到了迅速的发展。解放后，我国在建筑工程中成功地处理了许多大型和复杂的基础工程。例如，利用电化学加固处理的中国历史博物馆地基，解决了施工期短、质量要求高的困难；特别是在万里长江上建成的十多座大桥（武汉、南京长江大桥等）及其他巨大工程中，采用管柱基础、气筒浮运沉井基础等，成功地解决了水深流急、地质复杂的基础工程问题；再如大型工程上海钢铁总厂以及全国许许多多高层建筑的建成，都为土力学与基础工程的理论和实践积累了丰富的经验。我国自1958年以来，先后召开了6届土力学与基础工程会议，并建立了许多地基基础研究机构、施工队伍和土工试验室，培养了大批地基基础专业人才。不少学者对土力学与基础工程的理论和实践作出了重大贡献，受到了国际岩土界的重视。

近年来，我国在工程地质勘察、室内及现场土工试验、地基处理、新设备、新材料、新工艺的研究和应用方面，取得了很大的进展。在地基处理方面，振动碾压法、振冲法、深层搅拌法、高压旋喷法、真空预压法、强夯法以及各种土工聚合物的应用和托换技术的应用，均取得了较好的经济技术效果。随着电子技术及各种数值计算方法对各学科的逐步渗透，土力学与基础工程的各个领域都发生了深刻的变化，许多复杂的工程问题相应得到了解决，试验技术也日益提高。在大量理论研究与实践经验积累的基础上，有关基础工程的各种设计与施工规范或规程等也相应问世并日臻完善。这些为我国基础工程设计与施工做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量提供了充分的理论与实践依据。我们相信，随着我国社会主义建设的向前发展，对基础工程要求的日益提高，我国土力学与基础工程学科也必将得到新的更大的发展。

第一章 工程地质概述及建筑场地勘察

建筑场地地质条件的好坏，直接影响到建筑物的安全和经济。因此，为了确保建筑场地地质稳定，建筑物及地基基础安全可靠，设计前必须充分了解建筑场地的地基情况，以各种勘察手段和方法进行必要的工程地质勘察。地基勘察的目的在于调查研究和分析评价建筑场地及地基的工程地质条件，从地基的强度、变形以及场地的稳定性诸方面为设计和施工提供所需的工程地质资料。

地基勘察是把工程地质学知识应用于实际的过程。在勘察中，从每一地质现象的观察开始，直到作出建筑场地的工程地质评价，整个过程都离不开工程地质学理论的指导，因此本章首先对一些有关的工程地质知识作一简要介绍，然后再介绍一般建筑场地和地基的勘察原则、任务，常用的勘察手段、方法以及勘察资料的整理和阅读。

1—1 地质作用、地质年代及地质构造

一、地质作用

地壳由固体岩石构成，平均厚度约 16km，其表层受大气、水、生物作用而形成土层、风化层、和沉积层，通常成为建筑物的天然地基。地壳自形成以来，一直处在不停地运动和变化之中，因而引起地壳构造和地表形态不断地发生演变。在地质历史的发展过程中，促使地壳的组成物质、构造和地表形态不断变化的作用，统称为地质作用。地质作用按其能源的不同，可分为内力地质作用和外力地质作用。

内力地质作用是由地球的转动能、重力能和放射性元素蜕变产生的热能等引起，主要在地壳内部进行，其包括有地壳运动（构造运动）、岩浆作用和变质作用。

地壳运动是指地壳的升降运动和水平运动，升降运动表现为地壳的上拱和下凹，形成大型的构造隆起和凹陷；水平运动表现为地壳岩层的水平移动，使岩层产生各种形态的褶皱和断裂。因此，地壳运动的结果，形成了各种类型的地质构造和地球表面的基本形态。

岩浆是存在于地壳内部深处高温、高压的复杂硅酸盐熔融体（主要成分为 SiO_2 ）。在地壳运动的影响下，岩浆沿着地壳薄弱地带上升侵入地壳或喷出地面，冷却凝固后生成岩石的过程称为岩浆作用。

由于地壳运动、岩浆作用等引起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，称为变质作用。

外力地质作用是由地球的重力位能、太阳辐射能、太阳和月球的引力能等引起，仅在地壳表层进行。其包括有岩石的风化、剥蚀、搬运、沉积和成岩作用。

在气温变化、气体、水及生物等因素的综合影响下，促使组成地壳表层的岩石发生破碎、分解和化学变化，这一破坏作用统称为风化作用。沉积下来的各种松散堆积物，在一定条件下，由于压力增大、温度升高以及受到某些化学溶液的影响，发生压缩、胶结及重结晶

等物理化学过程，使之固结成为坚硬岩石的作用，称为成岩作用。

内力地质作用与外力地质作用彼此独立而又相互依存。内力地质作用总是要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；而外力地质作用则总是要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。因此，内力地质作用一方面起着改变外力地质过程的作用，同时又为外力地质作用的不断发展提供新的条件。两者紧密关联，互相影响，始终处于对立统一的发展过程中，成为促使地壳不断运动、变化和发展的基本力量。

二、地质年代

地质年代是指地壳发展历史与地壳运动、沉积环境及生物演化相应的时代段落。地球形成至今大约有 60 亿年的历史，在这漫长的地质年代里，地壳受到内力和外力地质作用，经历了一系列复杂的演变过程，形成了各种类型的地质构造和地貌形态以及复杂多样的岩石和土。在工程建设中，根据地质构造和地貌形态对建筑场地的稳定性进行评价，以及按岩石和土的性质对地基承载力和变形进行评价，都必须具备地质年代的知识。

地质年代有绝对和相对之分。绝对地质年代是通过岩石样品所含放射性元素测定的，以距今多少年以前来表示。它能说明岩石的形成时间，但不能反映岩层形成的地质过程。相对地质年代是根据古生物的演化和岩层形成的顺序，将地壳历史划分为一些自然阶段。它不包含用年表示的时间概念，但能说明岩层形成的先后顺序及其相对的新老关系。在地质工作中广泛采用相对地质年代。

在地质学中，根据地层对比和古生物学方法把地质相对年代划分为五大代（太古代、元古代、古生代、中生代和新生代），每代又分为若干纪，每纪又细分为若干世和期。在新生代中最新近的一个纪称为第四纪，由原岩风化产物——碎屑物质，经各种外力地质作用形成尚未胶结硬化的沉积物，通称“第四纪沉积物”或“土”。它沉积在地表，覆盖在基岩之上，往往作为各种建筑物的地基，因此对第四纪沉积物的工程性质进行仔细研究很有必要。第四纪地质年代的细分见表 1-1。与地质年代的代、纪、世、期相对应的地层单位为界、系、统、阶。

第四纪地质年代细分表

表 1-1

纪 (系)	世 (统)	距今年代 (百万年)	
第四纪 (系) Q	全新世 (统) Q_h 或 Q_4	0.025	
	更新世 (统) Q_p	晚更新世 (上更新统) Q_3	0.150
		中更新世 (中更新统) Q_2	0.500
		早更新世 (下更新统) Q_1	1.000

三、地质构造

在漫长的地质历史过程中，组成地壳的上部岩层，在地应力的长期作用下不断变形，形成构造变动的形迹，这种在岩层和岩体中遗留下来的各种构造形迹，称为地质构造。如野外常见的褶皱和断层等（图 1-1）。它是评价建筑场地稳定性的一个重要因素。

(一) 褶皱构造

组成地壳的岩层，受构造应力的强烈作用，使岩层形成一系列波状弯曲而未丧失其连续

性的构造，称为褶皱构造。

山区褶曲一般形成年代较久，由于长期风化剥蚀，裂缝较多或软弱的部分岩层破坏严重而丧失了完整的褶曲形态（如图 1-2）。褶曲顶部被侵蚀变成了低洼的谷地，而两侧的坚硬岩层及向斜（向下凹陷的弯曲）部分则可以相对地突出成为山地。

褶曲地区地形多为起伏不平，特别在褶皱强烈的地区，因岩层受到强烈破坏，裂隙发育，倾斜角大，在此类地区的斜坡或坡脚上建造建筑物时应特别注意其稳定性。当岩层的倾斜方向与山坡的坡向相反（即反向坡）时，岩层的稳定性较好（图 1-2）；反之，若岩层的倾斜方向与山坡坡向一致（即顺向坡），则要注意基岩的稳定性。当岩层的倾角小于山坡的坡角时，山坡的稳定性与岩层倾角的大小、岩石的性质、有无软弱结构面等因素有关，若岩层倾角稍大就有产生崩塌或滑动的可能，其稳定性较差；若岩层的倾角大于或等于山坡的坡角时，在自然状态下岩层能够稳定，但在斜坡或坡脚开挖切割岩层时，其上部岩体就可能沿层面向下滑动，尤其在薄层岩石（如页岩等）或岩层中有软弱结构面（如软弱夹层）时更是如此。

（二）断裂构造

岩体受构造应力作用发生变形，当变形达一定程度后，岩体的连续性和完整性遭到破坏，产生各种大小不一的断裂，称为断裂构造。断裂构造又可分为裂隙构造和断层构造两种。

裂隙又称为节理。它是存在于岩体中的裂缝，是岩体受力断裂后两侧岩块没有显著位移的小型断裂构造，岩体中的裂隙破坏了岩体的整体性，促进岩体风化程度，增强岩体的透水性，因而使岩体的强度和稳定性降低。尤其是当裂隙主要发育方向与建筑场地平行、倾向与边坡一致时，更易造成边坡的滑动和崩塌。此外，象可溶性的石灰岩、石膏等岩体，由于水沿裂隙流动，还可能发展成为溶洞。

岩体受力断裂后，两侧岩块沿断裂面发生了显著位移的断裂构造，称为断层。地壳发生断裂变形时，断裂面往往不是一个局部的面，而是一个带（称断层带）。断层规模大小不一，小的几米，大的上千公里，其相对位移从几厘米到几十公里。

断层是褶曲山地的软弱带，它对建筑工程非常不利。断层形成的年代越新，它的活动性越大。活动断层带常表现为强烈的地震；断层面使岩石的整体性破坏，裂隙增多，岩石的强度和承载力降低；断层陡壁的岩石都处在不稳定状态，有崩塌、滑动的可能。因此，在选择建筑场地时，应避免断层地带，特别应避免活动断层地带。但是对于非活动性的老断层，经过详细勘察，某些断层带仍可作为建筑地基。

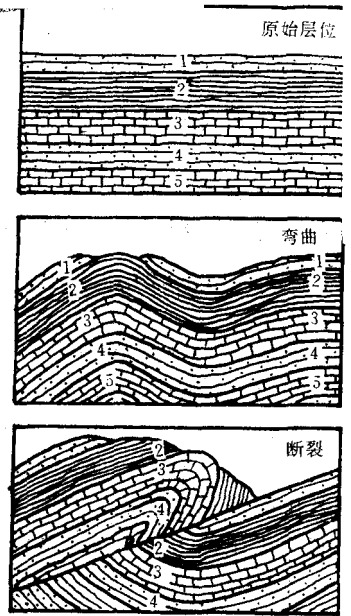


图 1-1 地壳水平运动过程
1、4. 砂岩；2. 页岩；3、5 石灰岩

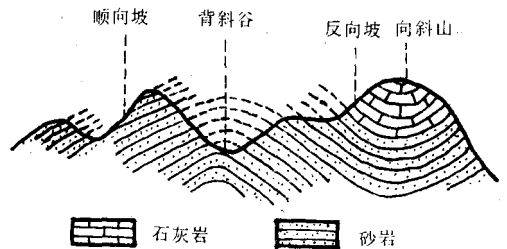


图 1-2 褶曲受侵蚀后的剖面示意

1—2 岩 石

岩石是一种或多种矿物以一定的规律组成的自然集合体。岩石的特征及其工程性质，在很大程度上取决于它们的矿物成分。构成岩石的矿物称为造岩矿物。矿物是地质作用中各种化学成分所形成的自然单质（如金刚石、自然金等）和化合物（如方解石、石英等），它具有一定的物理性质、化学成分和形态。

一、造岩矿物

地壳上已被发现的矿物有三千多种，但最主要的造岩矿物只有三十几种，如石英、长石、辉石、角闪石、云母、方解石、高岭石、绿泥石、石膏、赤铁矿、黄铁矿等。

矿物按生成条件可分为原生矿物和次生矿物两大类。原生矿物一般由岩浆冷凝生成，如石英、长石、辉石、角闪石、云母等；次生矿物一般由原生矿物经风化作用直接生成，如长石风化而成的高岭石，由辉石或角闪石风化而成的绿泥石等，或在水溶液中析出生成，如水溶液中析出的方解石 CaCO_3 和石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 等。

矿物抵抗外力刻划、摩擦、压入其表面的能力，称为硬度。各种矿物常具有不同的硬度，硬度是矿物的一个重要鉴定特征。在鉴别矿物的硬度时，是以两种矿物对刻的方法来确定矿物的相对硬度。硬度对比的标准，从软到硬依次由 10 种矿物组成（即十个硬度等级），称为摩氏硬度计。野外工作时常指甲（2~2.5）、铁刀刃（3~3.5）、玻璃（5~5.5）、钢刀刃（6~6.5）等鉴别矿物的硬度，具体可见表 1-2。

矿物的硬度等级

表 1-2

硬度等级	矿物名称	野外简易鉴定方法
1	滑 石	用软铅笔划时留下条痕，用指甲容易刻划
2	石 膏	用指甲可刻划
3	方解石	用黄铜板刻划可留下条痕，用小刀很容易刻划
4	萤 石	小刀可刻划
5	磷灰石	用削铅笔刀刻划时可留下明显划痕，不能刻划玻璃
6	正长石	小刀可勉强留下看得见的划痕，能刻划玻璃
7	石 英	用小刀不能刻划
8	黄 玉	能割开玻璃，难于刻划石英
9	刚 玉	能刻划石英
10	金 刚 石	能刻划石英

二、岩石的类型

自然界存在各种各样的岩石，由于它们生成的地质环境和条件不同，其结构和构造也不同。按岩石的成因可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩三大类。

1. 岩浆岩：由岩浆冷凝形成的岩石称为岩浆岩。岩浆岩根据其成因不同又可分为两类，岩浆侵入地壳逐渐冷凝而成的称为侵入岩。侵入岩按入侵的深浅又分为浅成岩（如花岗斑岩、辉绿岩等）和深成岩（如花岗岩、辉长岩等）。岩浆喷出地表冷凝形成的称为喷出岩

(如流纹岩、玄武岩等)。组成岩浆岩的主要矿物有石英、正长石、斜长石、云母、角闪石、辉石和橄榄石等。

2. 沉积岩：露出地面的原岩经风化、剥蚀作用成为岩石碎屑、溶液析出物或有机质等，再经流水、风、冰川等的搬运、沉积和成岩作用生成新的岩石，称为沉积岩。沉积岩根据其成因和组成物质可分为碎屑沉积岩、粘土岩和生物化学沉积岩三类。沉积岩在地球表面分布最广，约占地表面积的70%以上，是建筑地基最常见的岩石，也是建筑材料的重要来源。它的矿物成分有原生矿物如石英、长石、云母等，还有次生矿物如方解石、白云石、石膏、岩盐以及粘土矿物。沉积岩多呈层状分布，是区别于其它岩类最明显的特征之一。每层之间的厚度可以由几厘米至一米左右不等。

3. 变质岩：地壳中原岩经变质作用形成一种新的岩石，称变质岩。如大理岩、石英岩等是由于接触变质作用生成的，片麻岩、千枚岩等是由于高温、高压的影响而发生大区域变质作用而形成的。变质岩的矿物成分大多具有片状、鳞片状（如云母、绿泥石和滑石等），或针状、长柱状（如角闪石、长石等）的外形。变质岩中粒状矿物大多是显晶质的，由于矿物重结晶的缘故，变质作用程度愈深，晶粒愈粗大。

三、岩石的主要特征

岩石的主要特征一般包括矿物成分、结构和构造三个方面。它们是决定岩石的物理力学性质的主要因素。

(一) 岩石的结构

岩石的结构是指岩石中矿物的结晶程度、晶粒大小、晶体形状及其相互结合的情况。在工程上，一般可分为晶质结构、胶质结构及泥质结构三种。

1. 晶质结构是岩浆岩特有的性状，结晶越大，热胀冷缩不均匀影响越大，岩石越容易被风化所破坏，其工程性质一般也越差。

2. 胶质结构是沉积岩特有的性状，岩石的工程性质主要取决于胶结物的性质，硅质的硬度最大，抗风化力最强；钙质、铁质的次之；泥质胶结物硬度最小，遇水后很易软化。

3. 泥质结构为碎屑物质和胶结物质都是粘土矿物所形成的碎屑沉积岩及其变质岩所具有的特征，这种岩石的工程性质主要取决于岩石本身压密硬化的程度。

(二) 岩石的构造

岩石的构造则是指矿物在岩石中排列和填充方式所反应出来的外貌特征。常见的岩石构造有：块状构造、流纹状构造、气孔状构造、层理构造及片理构造。

1. 层理构造是沉积岩区别于其它岩类的最明显的构造特征。它是沉积物质在不同时期和不同条件下先后沉积、成层胶结而形成的沉积岩，在岩层的沉积方向因物质成分、颜色及排列方式等变化，造成的分层现象。由于层理的存在，造成沉积岩在强度、压缩性和透水性等力学性质的各向异性。如垂直于层理面的抗压强度和压缩性均比平行于层理面的要大，而垂直于层理面的透水性则比平行于层理面的要小等。

2. 片理构造是区域性变质岩所独具的特征。变质岩在形成时，由于内力地质作用引起变质过程中大量片状矿物（如云母、绿泥石、板状长石、针状角闪石等）都按垂直于压力的方向平行排列，形成片理构造，如片岩、片麻岩、千枚岩、板岩等。片理构造决定了岩石力学性质的各向异性和较弱的抗风化能力。

(三) 岩石的工程性质