

J I E

G O U

G O N G

C H E N G

S H I

一、二级注册结构工程师专业考试复习丛书

地基与基础

韩晓雷 主编

中国建筑工业出版社

一、二级注册结构工程师专业考试复习丛书

地基与基础

韩晓雷 主编

冯志焱 王铁行 刘丽萍 李向阳 编

王杰贤 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

一、二级注册结构工程师专业考试复习丛书. 地基与基础 / 韩晓雷主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2003
ISBN 7-112-05784-1

I. 一… II. 韩… III. ①地基—结构工程师—资格考试—自学参考资料②基础(工程)—结构工程师—资格考试—自学参考资料 IV. TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 026792 号

本书根据国家一、二级注册结构工程师考试大纲编写。全书依据《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)、《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2002)、《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)、《建筑地基基础工程施工质量验收规范》(GB 50202—2002)、《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2002)等规范编写,主要内容:工程地质学的基本知识、地基应力及变形、土的强度理论及地基承载力、土坡稳定性分析、土压力及挡土构筑物、天然地基上的浅基础设计、桩基础、软弱土的加固与地基处理、地基抗震与砂土液化。书中配有大量练习题和答案。

本书主要供一、二级注册结构工程师考生使用,也可作为注册岩土工程师考试复习教程,土木工程、岩土工程、路桥工程方向等本科教学的参考书,亦可作为硕士研究生、函授生、专科生学习《地基与基础》课程的参考书,并可供从事土木及岩土工程科研、勘察、设计、施工、管理及监理等工作的科技工作者和工程技术人员参考。

一、二级注册结构工程师专业考试复习丛书

地基与基础

韩晓雷 主编

冯志焱 王铁行 刘丽萍 李向阳 编

王杰贤 主审

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京中科印刷有限公司印刷

*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:19 $\frac{1}{4}$ 字数:479千字

2003年5月第一版 2003年5月第一次印刷

印数:1—8000册 定价:32.00元

ISBN 7-112-05784-1

TU·5081(11423)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

前 言

本书是为了广大结构工程师参加国家一、二级注册结构工程师的考试需要,参照国家一、二级注册结构工程师考试大纲中《地基与基础》的内容而编写的。

本书共分十章。内容包括:工程地质学的基本知识、地基应力及变形、土的强度理论及地基承载力、土坡稳定性分析、土压力及挡土构筑物、天然地基上的浅基础设计、桩基础、软弱土的加固与地基处理、地基抗震与砂土液化。为了加深对课程基本内容的理解,书中给出了一些练习题和练习题参考答案,以便于读者加深对本学科基本内容的进一步了解和消化。

本书由西安建筑科技大学韩晓雷、冯志焱、王铁行、刘丽萍、李向阳等共同编写,第一、二、五、八章由韩晓雷编写;第三章、第九章、第十章由冯志焱编写;第四、六章由王铁行编写;第七章由刘丽萍、李向阳编写;第十一章由韩晓雷、冯志焱、李向阳编写。韩晓雷任主编,王杰贤任主审。

本书主要是为了国家一级注册结构工程师的考试需要而编写的,但也可作为注册岩土工程师考试复习教程,土木工程、岩土工程、路桥工程等本科教学的参考书,亦可作为硕士研究生、函授生、专科生学习《地基与基础》课程的参考书,并可供从事土木及岩土工程科研、勘察、设计、施工、管理及监理等工作的科技工作者和工程技术人员参考。

限于作者水平,书中难免存在某些错误或欠妥之处,诚请读者批评和指正。

目 录

第一章 概述	1
第二章 工程地质学的基本知识	5
第一节 地壳运动、地质作用、地质年代	5
第二节 矿物与岩石	6
第三节 地质构造与岩体结构	9
第四节 风化作用	11
第五节 第四纪沉积地层与地貌	13
第六节 土的物理性质及其工程分类	19
第七节 地下水的存在与类型	36
第八节 土的渗流理论	42
第九节 工程地质灾害	49
第十节 工程地质勘察	66
第三章 地基中的应力与变形计算	85
第一节 地基中的应力	85
第二节 地基的变形计算	89
第三节 饱和土的有效应力和渗透固结	93
第四章 土的强度理论及地基承载力	99
第一节 概述	99
第二节 土的破坏准则	99
第三节 土的抗剪强度测试方法	103
第四节 饱和黏性土的抗剪强度	106
第五节 无黏性土的抗剪强度	110
第六节 地基承载力的概念和地基载荷试验	111
第七节 地基的破坏形式和承载力	113
第五章 土坡稳定性分析	116
第一节 概述	116
第二节 土坡稳定性分析的平面滑动法	117
第三节 黏性土坡圆弧滑动体的整体稳定分析	120
第四节 费连纽斯条分法	126
第六章 土压力和挡土墙	129
第一节 概述	129
第二节 土压力理论及重力式挡土墙设计	132
第七章 天然地基上的浅基础设计	146
第一节 地基基础设计一般规定	146
第二节 浅基础类型	147

第三节	基础的埋置深度	151
第四节	地基承载力的确定	153
第五节	基础底面尺寸的确定	158
第六节	无筋扩展基础设计	166
第七节	钢筋混凝土扩展基础设计	169
第八节	减小不均匀沉降危害的措施	179
第九节	地基、基础与上部结构共同作用的概念	182
第十节	柱下条形基础及十字交叉基础	185
第十一节	筏形基础	189
第十二节	箱形基础	193
第八章	桩基础	198
第一节	概述	198
第二节	桩的分类与质量检验	201
第三节	单桩轴向荷载传递和竖向承载力确定	205
第四节	群桩效应问题	210
第五节	桩基计算	214
第六节	桩基础设计	218
第七节	桩的施工	227
第九章	软弱土的加固与地基处理	237
第一节	地基处理的目的	237
第二节	换填垫层法	240
第三节	排水固结类的地基处理方法	243
第四节	强夯法和强夯置换法	246
第五节	振冲法	248
第六节	砂石桩法	249
第七节	水泥粉煤灰碎石桩法	251
第八节	夯实水泥土桩法	253
第九节	水泥土搅拌桩法	254
第十节	高压喷射注浆法	256
第十一节	石灰桩法	258
第十二节	灰土挤密桩法和土挤密桩法	259
第十三节	柱锤冲扩桩法	260
第十章	地基抗震与砂土液化	264
第一节	场地	264
第二节	地基基础抗震验算	265
第三节	砂土液化	266
第十一章	练习题与解答	273
第一节	习题及思考题	273
第二节	选择题	280
第三节	填空题	290
第四节	选择题参考答案	301
第五节	填空题参考答案	302
参考文献		309

第一章 概 述

地基及基础主要包括:工程地质学原理、土力学、基础设计与计算、地基土加固与处理等内容。

一、工程地质学、水位地质学、土力学、地基和基础等基本概念

地质学是研究地球的科学,是研究地球的形成、结构和发展规律并利用这些规律为人类社会服务的科学。地质学的重点研究对象是地壳。

工程地质学是研究与土木工程设计、施工和正常使用等有关的地质学问题的科学,是地质学的一部分或一个分支。

工程地质学的主要任务是:评价建筑工程场地的工程地质条件;预测工程建设项目的修筑对地质环境的影响以及地质环境对即将修建的工程项目的影晌;提出防止不良地质现象的措施,为工程项目的设计提供所需的工程地质参数。

水文地质学又称地下水水文学,是研究与岩石圈、水圈、大气圈、生物圈以及人类活动相关联的地下水的形成、分布、运动规律及其物理化学性质的学科,是工程地质学的重要组成部分。

土是在第四纪地质历史时期地壳表层母岩经强烈风化作用后所形成的大小不等的颗粒状堆积物,是覆盖于地壳最表面的一种松散的或松软的物质。土是由固体颗粒、液体水和气体组成的一种三相体。固体颗粒之间没有联结强度或联结强度远小于颗粒本身的强度是土有别于其他连续介质的一大特点。土的颗粒之间存在有大量的孔隙,因此土具有碎散性、压实性、土粒之间的相对移动性和透水性。

土力学是以传统的工程力学和地质学的知识为基础,研究与土木工程有关的土中应力、变形、强度和稳定性的应用力学分支。此外,还要用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、变形和渗透等特殊力学特性。

建筑物修建以后,其全部荷载最终由其下的地层来承担,承受建筑物全部荷载的那一部分天然的或部分经过人工改造的地层称为地基,见图 1-1。

由于土的压缩性大、强度小,因而在绝大多数情况下上部结构荷载不能直接通过墙、柱等传给下部土层(地基),而必须在墙、柱、底梁等和地基接触处适当扩大尺寸,把荷载扩散以后安全地传递给地基,这种位于建筑物墙、柱、底梁以下,经过适当扩大尺寸的建筑物最下部结构称为基础(见图 1-1)。

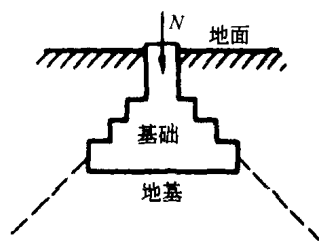


图 1-1 地基及基础示意图

建筑物的修建使地基中原有的应力状态发生了改变,这就需要我们运用力学的方法来研究和分析建筑物荷载作用后(地基应力状态改变后)的地基土变形、强度和稳定性,保证地基在上部结构荷载作用下能满足强度和稳定性要求并具有足够的安全储备;控制地基的沉降使其不超过建筑物的允许变形值,保证建筑物不因地基的变形而损害或者影响其正常使

用。

基础的结构形式很多,具体设计时应该选择既能适应上部结构、符合建筑物使用要求,又能满足地基强度和变形要求、经济合理、技术可行的基础结构方案。通常把埋置深度不大(一般不超过 5.0m),只需经过挖槽、排水等普通施工工序就可以建造起来的基础称为浅基础;而把埋置深度较大(一般不小于 5.0m)并需要借助于一些特殊的施工方法来完成的各种类型的基础称为深基础。

土的性质极其复杂。当地层条件较好,地基土的力学性能较好,能满足地基基础设计对地基的基本要求时,建筑物的基础被直接设置在天然地层上,这样的地基被称为天然地基;而当地层条件较差,地基土强度指标较低,无法满足地基基础设计对地基的基本要求时,常需要对基础底面以下一定深度范围内的地基土体进行加固或处理,这种部分经过人工改造的地基被称为人工地基。

地基和基础是建筑物的根基,又属于隐蔽工程,它的勘察、设计和施工质量直接关系到建筑物的安危。工程实践表明,建筑物的事故很多都与地基基础问题有关,而且一旦发生地基基础事故,补救十分困难。有些即使可以补救,其加固修复工程所需的费用也十分可观。

二、地基及基础工程事故分类

综合分析可以得到,与地基基础有关的土木工程事故可主要概括为以下类型:地基产生整体剪切破坏、地基发生不均匀沉降、地基产生过量沉降、地基土振动液化失效、基础破坏以及土坡失稳滑动等。

三、岩土工程与地质环境之间的关系

截止目前,人类社会的一切建筑工程活动都是在地壳上一定的地质环境中进行的,这样一来,建筑工程与地质环境之间也就产生了某种必然的联系并相互制约。这种制约首先表现为地质环境可以影响建筑工程的稳定性和正常使用,危及人类工程活动的安全,使建筑工程造价大大提高。其制约程度则视地质环境的具体特点和建筑工程活动的方式、规模而不同。

例如:位于活动断层带和地裂缝上的建筑工程,会因地裂缝的扩展或断层的活动而遭受破坏;因建筑结构类型、结构方案、地基处理方案和地质环境不匹配而造成的建筑物破坏或毁坏;位于不稳定土坡体上或土坡体附近的公路、铁道以及建筑物因土坡体的失稳而遭受破坏等等。

另一方面,建筑工程活动反过来又会以各种方式影响地质环境,并因此而引发工程事故。例如:高坝水库的兴建引起的诱发地震;因大型水库的修建引起的库区上游水文地质条件的改变(大区域内的地下回水)而引发的区域性坍岸;人类开采活动造成的地面沉陷及陷落地震;人类对水资源无节制地开采引起的地面下沉;严重的环境污染及厄尔尼诺现象;人工改变土坡形状造成的泥石流及土坡失稳等。

四、土力学的内容和特点

土力学是土木建筑、公路、铁路、水利、地下建筑、采矿和岩土工程等有关专业的一门主要课程,属于专业基础课范畴。

组成地基的土或岩层是自然界的产物,它的形成过程、物质成分、所处自然环境及工程性质极为复杂多变。建筑物等的修建,会改变地层中原有的应力状态,应力状态的改变会引

起一系列的地基变形、强度、稳定性等问题。因此除在土木工程设计、施工之前必须进行建筑场地的工程地质勘察,正确掌握和了解地层的形成过程、结构、构造、水文地质情况、不良地质现象,仔细研究地基土的组成、成因、物理力学性质以外,还需要在此基础上借助力学方法来分析和研究地层中的应力变化,借助力学、工程地质学、地下水动力学、流变理论以及数值计算等方法或手段来研究岩土体的变形,并进而对岩土体进行强度和稳定性分析。土木工程中经常遇到土坡稳定问题,对作为建筑工程地质环境的稳定性较差的土坡如果未加处理或处理不当,土坡将产生滑动破坏。土坡的失稳不仅影响工程的正常进展,还会危及人民生命和国家财产安全,借助力学方法对土坡进行稳定性分析,并在此基础上对土坡维护结构进行设计计算,也是人们所面临的重要工程课题。上述问题都是土力学的研究内容。

建筑物的地基基础和上部结构虽然各自功能不同、研究方法相异,但是无论从力学分析入手还是从经济观点出发,这三部分却是彼此联系、相互制约的有机统一体。目前,要把这三部分完全统一起来进行设计计算还十分困难,但从地基-基础-上部结构共同工作的概念出发,尽量全面考虑诸方面的因素,运用力学和结构设计方法进行基础工程计算,将是土力学的主要研究内容之一。

多样性是土的主要特点之一,由于受成土母岩、风化作用、沉积历史、地理环境和气候条件等多重因素影响,土的种类繁多、分布复杂、性质各异。易变性是土的另一主要特点,土的工程性质经常受到外界温度、湿度、压力等的影响而发生显著变化。研究各种不同性质的特殊土和软弱土,并按土质受外界影响而发生变化的客观规律,运用合适而又有效的方法对土体进行处理加固也是本课程的重要内容。

地球表面很大一部分是处于干旱和半干旱地带,因此,通常情况下土体是由固体颗粒、液体水和气体组成的一种三相体。只有在极端情况下,土体才是两相介质,例如位于地下水位以下的饱和土(由颗粒和水两相物质组成)和极端干旱情况下的干土(由颗粒和气体两相物质组成)。传统土力学的重点是在饱和土问题的研究和工程应用上,而对于分布极为广泛、由三相物质组成、负孔隙压力起重要影响的非饱和土则很少涉及。讨论存在基质吸力或负孔隙压力的非饱和土土力学为进一步深化土的力学性状研究开辟了道路。

随着科学的发展和工程技术的进步,工程中涉及的绝大多数问题仅靠传统的力学方法是很难甚至无法求得其解答的,计算机的出现为这类复杂、综合工程问题的数值结果分析提供了可能,数值计算做为一种行之有效的力学分析手段在岩土力学中占据了重要位置。

本课程涉及工程地质学、弹塑性理论、流变理论、地下水动力学、计算机及数值计算方法等多个学科领域的知识,因此土力学、地基及基础的首要特点是内容广泛、综合性强。

与其他连续介质力学问题不同,岩土工程问题仅按纯数学-力学的观点是很难甚至无法解决的,这类问题的解决还往往需要结合以往的建设经验,并根据实际调查、必要的现场及室内试验、测试资料进行综合分析,以求得问题的正确解决。实践性强是土力学、地基及基础的另一主要特点。

五、地基基础设计对地基及基础的最基本要求

地基基础设计对地基的最基本要求有两点,其一是在上部结构荷载作用下地基土必须具有足够的强度和一定的安全储备;其二是地基土不能产生过量沉降或不均匀沉降。地基基础设计对基础的最基本要求有三点:基础要有足够的刚度;基础要有足够的强度;基础材料要有和建筑物服务年限相适应的耐久性。

六、土力学地基与基础的发展概况

地基基础是一项古老的建筑工程技术。早在史前的人类建筑活动中,地基基础作为一项工程技术就被使用,我国西安市半坡村新石器时代遗址中的土台和石础就是先祖们应用这一工程技术的见证。公元前2世纪修建的万里长城;始凿于春秋末期,后经隋、元等代扩建的京杭运河;隋朝大业年间李春设计、建造的河北赵州安济桥;我国著名的古代水利工程之一,战国时期李冰领导修建的都江堰;遍布于我国各地的巍巍高塔,宏伟壮丽的宫殿、庙宇和寺院;举世闻名的古埃及金字塔等,都是由于修建在牢固的地基基础之上才能逾千百年而留存于今。据报道,建于唐代的西安小雁塔其下为巨大的船形灰土基础,这使小雁塔经历数次大地震而留存于今。上述一切证明,人类在其建筑工程实践中积累了丰富的基础工程设计、施工知识和经验,但是由于受到当时的生产实践规模和知识水平限制,在相当长的历史时期内,地基基础仅作为一项建筑工程技术而停留在经验积累和感性认识阶段。

18世纪欧洲产业革命以后,水利、道路以及城市建设工程中大型建筑物的兴建,提出了大量与土的力学性态有关的问题并积累了不少成功经验和工程事故教训。特别是这些工程事故教训,使得原来按以往建设经验来指导工程的做法已无法适应当时的工程建设发展。这就促使人们寻求对许多类似的工程问题的理论解释,并要求在大量实践基础上建立起一定的理论来指导以后的工程实践。例如,17世纪末期欧洲各国大规模的城堡建设推动了筑城学的发展并提出了墙后土压力问题,许多工程技术人员发表了多种墙后土压力的计算公式,为库仑(Coulomb, C. A. 1773)提出著名的抗剪强度公式和土压力理论奠定了基础。19世纪中叶开始,大规模的桥梁、铁路和公路建设推动了桩基和深基础的理论与施工方法的发展。路堑和路堤、运河渠道边坡、水坝等的建设提出了土坡稳定性的分析问题。1857年,英国人 W. J. M 朗肯(Rankine)又从不同途径提出了挡土墙的土压力理论。1885年,法国学者 J. 布辛奈斯克(Boussinesq)求得了弹性半空间体在竖向集中力作用下的应力和位移解。1852年,法国的 H. 达西(Darcy)创立了砂性土的渗流理论“达西定律”。1922年,瑞典学者 W. 费兰纽斯(Fellenius)提出了一种土坡稳定的分析方法。这一时期的理论研究为土力学发展成为一门独立学科奠定了基础。

1925年,美国人 K. 太沙基(Terzaghi)归纳了以往的理论研究成果,发表了第一本《土力学》专著,又于1929年与其他学者一起发表了《工程地质学》。这些比较系统完整的科学著作的出版,带动了各国学者对本学科各个方面的研究和探索,从此《土力学》作为一门独立的科学而得到不断发展。我国著名学者黄文熙教授、陈宗基教授等也为土力学的发展做出了突出贡献。

第二章 工程地质学的基本知识

第一节 地壳运动、地质作用、地质年代

一、地球的层圈构造

按组成地球物质的形态不同可将地球划分为外圈层和内圈层,其外圈层包括大气圈和水圈(生物圈);而其内圈层包括地壳、地幔和地核。

地球大气圈的厚度大约有 2000~3000km。地球的水是由地球诞生初期弥漫在大气层中的水蒸气慢慢凝结形成的,总水量约 14 亿 km^3 。地球上动物、植物和微生物所存在和活动的空间又称为生物圈。地壳是地球内圈层中的最外层,是地球内圈层最外部的一层薄壳,约占地球体积的 0.5%。地壳由坚硬的岩层和岩层风化后所形成的土层组成。组成地壳的物质主要是地球中比较轻的硅镁和硅铝等物质。地壳的上层为硅镁层,密度 $\rho = 2.6 \sim 2.7 \text{g/cm}^3$;下层为硅铝层,密度 $\rho = 2.8 \sim 2.9 \text{g/cm}^3$ 。地壳的下表面是莫霍(Moho)面,地震波在该处发生突变。地壳最薄处约 1.6km(在海底海沟沟底处),海底部分厚约 6~10km,而其最厚处则约 70km。地球形成至今约有 45~46 亿年的历史,其地壳部分则是后来才形成的。按地壳中所含的放射性元素的衰减规律,目前测得的地壳年龄约为 38 亿年。人类的工程活动目前仍限制在地壳的范围之内。

按照地质学中的板块构造学说,地壳并非是一个整体,而是由若干块相互独立的巨大构造单元“拼凑”而成。这些巨大的构造单元被一些构造活动带和转换断层分割开来,彼此之间又分别以不同的速度向不同的方向在地幔软流层上缓慢漂移。这样的巨大构造单元也被称为板块。目前认为,对全球构造的基本格局起主导作用的有六大板块,它们分别是:太平洋板块、欧亚板块、美洲板块、非洲板块、大洋洲板块和南极洲板块。

在地球形成至今的漫长地质演变历史中,随着地球的转动和内、外圈层物质的运动,地表的形态、地壳的物质以及地层的形态都在不断发生变化。这种变化一直发生,永不停止。

二、地质作用

导致地壳物质成分及地表形状、岩层结构、构造发生变化的一切自然作用都称为地质作用。这些作用有些进行得剧烈而又迅速,较易为人们所察觉;但在更多的情况下,则进行得非常缓慢,很难为人们直接察觉。这些作用虽然进行得十分缓慢,但其作用痕迹却随处可见。按地质作用力的来源不同,可将地质作用划分为内力地质作用和外力地质作用。

由地球的旋转能和地球中的放射性物质在其衰减过程中释放出的热能所引起的地质作用称为内力地质作用。大多数的地震以及岩浆活动、地壳运动和变质作用等都属内力地质作用现象;由太阳的辐射能和地球的重力位能(包括其他星体的引力作用)所引起的地质作用称为外力地质作用。常见的外力作用现象有气温的变化、雨、雪、风、地面汇流、河流、湖泊、海洋作用、生物作用以及重力作用等等。

三、地质循环

如果我们对前述各内力地质作用及外力地质作用现象进行归类,可将其划分为:风化剥蚀、搬运沉积、变质作用以及构造运动四种类型。这四种类型的地质作用在地壳上构成了一个巧妙的循环过程:风化剥蚀使暴露于地壳表面的岩石破碎剥落,破碎剥落的岩石碎屑物质被一定的外力地质作用搬运后在一定的地质环境中沉积下来,当这些沉积下来的岩石碎屑物质埋入地下一定深度处,就会在高温高压作用下变质成岩,变质成岩的岩体在构造运动作用下一旦暴露于地壳表面又会重新被风化剥蚀,进入下一个循环过程,我们称其为地质循环。参见图 2-1。

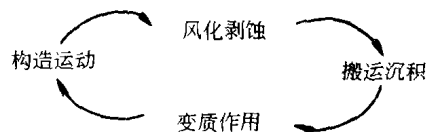


图 2-1 地质循环示意图

四、地质年代

在地质学上,通常将某一地质时期所形成的岩层称为这一地质时期的地层。层层重叠的地层构成了地壳历史的天然记录和物质见证。地质年代就是从地质学的观点出发,根据地球上的生物演化过程、地层的沉积环境和地壳的发展演变过程等划分的用以描述地层形成历史的时代段落。这种地质年代也称为相对地质年代,另一种是绝对地质年代。

相对地质年代将整个地壳发展的漫长地质历史划分为五大代:太古代、元古代、古生代、中生代和新生代。第二个层次的地质年代为纪,纪以下又设有世。与地质时代的代、纪、世相对应的地层单位为界、系统。距离我们最近的是新生代第四纪全新世(Q_4)。新生代的上界距今约 7 千万年,第四纪的上界距今约 300~400 万年,全新世的上界距今约 10 万年。

绝对地质年代是用各种仪器和方法,经过测定某一时期的岩石样品中某些物质及其特性指标后,得到的该岩石形成至今的时间长短。常见的测试方法有铀-铅法、钾-氩法、古地磁法和碳 14 法等。

第二节 矿物与岩石

一、矿物的概念

矿物是地壳中的一种或多种元素在各种地质作用(自然作用)下形成的自然产物,是具有一定化学成分、内部构造和物理性质的自然元素或化合物。矿物是构成地壳的最基本物质。

由于矿物的化学成分比较固定,所以对于一些物质组成比较简单的矿物,我们常常用其化学分子式来表述矿物。例如石英: SiO_2 、黄铁矿: FeS_2 、磁铁矿: Fe_3O_4 、方解石: CaCO_3 、赤铁矿: Fe_2O_3 、石膏: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 等。它们与我们在实验室中接触的化学制品的差别在于前者是天然形成的,而后者则是人工制造的。因此我们也常将矿物称为造岩矿物。绝大多数的矿物呈固体状态。

二、造岩矿物

目前发现的地壳中的造岩矿物多达 3 千余种,以硅酸盐类矿物为最多,约占矿物总量的 90%,其中最常见的矿物约有 50 余种,例如正长石,斜长石,黑、白云母,辉石,角闪石,橄榄石,绿泥石,滑石,高岭石,石英,方解石,白云石,石膏,黄铁矿,赤铁矿,褐铁矿,磁铁矿等等。

三、原生矿物和次生矿物

按矿物的形成、变化方式,可将造岩矿物划分为原生矿物和次生矿物。由地幔中的岩浆侵入地壳或喷出地面后冷凝而成,且未发生任何质及形态变化的矿物称为原生矿物,如正长石,斜长石,黑、白云母,辉石,角闪石,石英,方解石,磁铁矿等;次生矿物通常由原生矿物在水溶液中析出形成,也有的是在氧化、碳酸化、硫酸化或生物化学风化作用下形成。次生矿物有很多种,有难溶性盐类如 CaCO_3 和 MgCO_3 等;可溶性盐类如 CaSO_4 和 NaCl 等以及各种黏土矿物,其中最为主要的就是高岭石、伊里石和蒙脱石等黏土类矿物。

高岭石的名称源于中国景德镇高岭村,由长石、云母风化而成,结构式为 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$,比表面积为 $10 \sim 20\text{m}^2/\text{g}$ 。高岭石类矿物晶格结构较稳定,正离子交换能力差,活动性差,是黏土矿物中亲水性最弱的一类矿物。

蒙脱石(又名细晶高岭石)得名于法国,其种类(分子式)复杂,主要物质构成有 Al_2O_3 、 $n\text{H}_2\text{O}$ 、 SiO_2 、 $(\text{HO})_2$,比表面积为 $700 \sim 840\text{m}^2/\text{g}$ 。蒙脱石类矿物晶格结构很不稳定,正离子交换能力极强,活动性强,吸附水的能力强,具有强烈的吸水膨胀和失水收缩特性,是黏土矿物中亲水性最强的一类矿物,工程中如果遇见富含此类矿物的黏性土体时,一定要分析其膨胀性的大小,并对其膨胀性对工程的危害加以防范。

伊里石又名水云母,得名于美国,物质构成有 Al_2O_3 、 H_2O 、 SiO_2 、 KO ,比表面积为 $65 \sim 100\text{m}^2/\text{g}$,其晶格结构的稳定性、正离子交换能力、活动性、吸附水的能力等均介于蒙脱石和高岭石之间。

按结晶程度,可将矿物划分为结晶质矿物和非结晶质矿物。结晶质矿物又可细分为伟晶质矿物(结晶体非常粗大)、显晶质矿物(结晶体较粗大,肉眼可见)、隐晶质矿物(结晶体细小)和斑状矿物(矿物颗粒分属大小显著不同的两群,大的称为斑晶、小的称为基质);非结晶质矿物主要为质点排列不规则的玻璃质火山熔岩。

四、岩石

岩石是一种或多种矿物的集合体,是由矿物或岩屑物质在地质作用下按一定规律聚集而成的自然体。岩石的主要特征一般包括其矿物成分、结构和构造三个方面。岩石学是专门研究岩石的一门学科,它主要研究岩石的成因、岩石中的矿物、岩石的化学成分、结构和构造特征;研究岩石的生成环境条件、分布规律以及岩石的经济价值和工程性质等。

1. 岩石的结构和构造

岩石的结构是指岩石中矿物颗粒的结晶状态、结晶程度、晶粒大小、形状及其彼此间的组合方式等特征;岩石的构造是指岩石中由矿物的排列充填方式、矿物集合体之间的排列充填方式或矿物集合体与岩石其他组分之间的排列充填方式所反映出来的外表形态。

2. 岩石按其成因的分类

岩石按其成因可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩。

高温熔融状态的岩浆喷出地面或侵入地壳上部逐渐冷却、凝固而形成的岩石称为岩浆岩或火成岩,约占地壳总质量的 95%。岩浆岩形成的方式有两种,一种是岩浆的侵入,另一种是火山的喷出。岩浆岩的主要成分有:二氧化硅;各种金属氧化物;少量的金属元素和稀有元素;挥发性物质。其中二氧化硅和各种金属氧化物约占 95% 左右,并相互化合、形成复杂的硅酸盐类矿物。岩浆岩中常见的造岩矿物有正长石,斜长石,黑、白云母,辉石,角闪石,

石英、磁铁矿、橄榄石等。岩浆岩的常见结构形式有：粒状结构（其矿物为显晶质）、致密结构（矿物为隐晶质）、玻璃质结构、斑状结构、伟晶结构等。岩浆岩常见的构造形式有：块状构造、流纹构造、气孔构造、杏仁构造（孔洞被其他次生矿物充填）等。常见的岩浆岩有：酸性的花岗岩、花岗斑岩、流纹岩，中性的闪长岩、闪长玢岩、安山岩，基性的辉长岩、辉绿玢岩、玄武岩，超基性的辉岩、橄榄岩和火山玻璃岩类。

暴露于地表的原岩，先经各种外力地质作用的风化剥蚀、分解、水解，又经搬运沉积，再经挤压脱水后胶结而形成的岩石被称为沉积岩。其在地表的覆盖面积约占地表总面积的75%，其中的主要矿产资源有：煤、油页岩、盐矿、石灰岩等。沉积岩的物质成分可分为两大类，一类是颗粒成分；另一类是胶结物质。沉积岩中的一类矿物为难于分解的或存在于岩屑物质中的母岩矿物，这类矿物如：石英、长石、云母等；另一类是黏土矿物以及其他的水成或氧化新矿物，这类矿物有：方解石、石膏、白云岩、岩盐、黄铁矿、赤铁矿等。沉积岩的常见结构形式有：碎屑结构、泥质结构、化学结构和生物结构。沉积岩一般呈层状分布，岩体的上、下面均被较平坦的两个平行或近平行面所限制，这些平行面被称为岩层面，层面间的岩体称为岩层。沉积岩的产状多呈平行层状，常见的有互层状、夹层状、交错层状和透镜体状等。常见的沉积岩及岩类有：凝灰岩、火山角砾岩、砾岩、砂岩、粉砂岩、石英砂岩、长石砂岩、泥岩（也称黏土岩）、页岩、石灰岩、白云岩、泥灰岩、煤和岩盐等。它们总体上被划分为火山碎屑岩类、正常碎屑岩类、黏土岩类和化学及生物岩四大类。

原先的岩浆岩、沉积岩等受岩浆活动的影响或在地下深处受高温高压等因素的影响，使其矿物成分、结构、构造发生变化后而形成的岩石被称为变质岩。变质岩的矿物包含两类矿物，一类是未变质的原生矿物，另一类是原先的岩浆岩、沉积岩矿物在地下深处经过变质作用后而形成的变质矿物。常见的变质矿物有石榴石、硅灰石、红柱石、滑石、石墨等。变质岩的常见结构形式有：粒状变晶、斑状变晶和碎裂碎屑（构造应力强烈揉皱）结构。变质岩的常见构造形式有：块状、板状、片状、片麻状和千枚状等。常见的变质岩有：大理岩（由石灰岩和白云岩变质而成）、片麻岩、石英岩、片岩、板岩、千枚岩、角闪岩、石墨等。

五、岩石的工程性质

1. 岩石的常用物理性质指标

岩石的物理性质指标有密度（或重度）、孔隙率、吸水率、硬度、电阻率、比热、热传导系数和声波特性等等。其中最为常用的物理性质指标有岩石的相对密度、岩石的密度和岩石的孔隙率和吸水率。

2. 岩石的吸水特性

反映岩石吸水特性的常用指标有吸水率、饱水率和饱水因数。其中，吸水率是指在自然条件下，岩样中所含有的水分质量与干岩样的质量百分比，其表达式为 $w = \frac{m - m_s}{m_s} \times 100\%$ ，式中 w 为吸水率、 m 为天然岩样的质量、 m_s 为干岩样的质量；饱水率是指在高压水或抽真空或煮沸条件下岩样吸水饱和后，吸入的水质量与干岩样质量之百分比，其表达式为 $w_{\text{sat}} = \frac{m_{\text{sat}} - m_s}{m_s} \times 100\%$ ，式中 w_{sat} 为饱水率、 m_{sat} 为吸水饱和后的岩样质量、 m_s 为干岩样的质量；岩样的饱水因数是其吸水率与饱水率之比，其表达式为 $\eta = \frac{m - m_s}{m_{\text{sat}} - m_s} = \frac{w}{w_{\text{sat}}}$ ，式中 η 表示饱水因数。

3. 岩石的强度和饱水软化特征

岩石常用的强度指标有单轴抗压强度、单轴抗拉强度和抗剪强度。其单轴抗压强度可用岩石三轴仪在无围压的状态下获得,单轴抗拉强度用劈裂法获得,抗剪强度指标 c 、 φ 值通过岩石三轴试验得到。

岩石的软化系数也称饱水软化因数,它是指饱水状态下的岩样单轴抗压强度与干燥状态下的岩样单轴抗压强度之比。用公式可表示为 $K_R = R_{\text{sat}}/R_g$ 。式中 K_R 为岩石的软化系数, R_{sat} 为饱水状态下的岩样单轴抗压强度, R_g 为干燥状态下的岩样单轴抗压强度。岩石的软化系数愈大,说明其遇水后岩石的力学性质降低得愈严重。

4. 岩石按工程特性的分类

按坚固性可将岩石划分为三大类,其单轴抗压强度 $R_c > 30\text{MPa}$ 的岩石为硬质岩石; $5\text{MPa} < R_c \leq 30\text{MPa}$ 的岩石为软质岩石; $R_c \leq 5\text{MPa}$ 的岩石为极软岩。并将硬质岩石细分为坚硬岩和较硬岩;将软质岩石细分为较软岩和软岩。

工程中对岩石的另一种分类方法是按岩石的野外特征、波速比和风化系数等指标来划分岩石等级。其中波速比为风化岩石与新鲜岩石的压缩波速度之比,风化系数为饱和的风化岩石与饱和的新鲜岩石的单轴抗压强度之比。《岩土工程勘察规范》(GB 50021—94)是按岩石的野外特征和压缩波速度、波速比、风化系数三个参数来划分岩石的风化等级,并将岩石划分为硬质岩石的未风化、微风化、中等风化、强风化和全风化岩石和残积土及软质岩石的未风化、微风化、中等风化、强风化和全风化岩石和残积土;《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)是按岩石的野外特征和波速比、风化系数两个参数来划分岩石的风化等级,按上述各指标将岩石划分为未风化、微风化、中等风化、强风化和全风化岩石和残积土。有关风化的概念和岩石按风化程度的具体分级情况将在后续内容中介绍。

按软化系数,岩石被分为软化和不软化岩石, K_R 小于等于 0.75 的为软化岩石; K_R 大于 0.75 的为不软化岩石。

第三节 地质构造与岩体结构

一、地质构造的概念

地质构造是地壳在其漫长的发展历史过程中遭受构造运动作用后,所形成的地层形态(如地壳中岩层或岩体的位置、产状及相互关系等),或者说地质构造是构造运动在岩石圈中留下的形迹。

二、地质构造的类型

褶皱构造:原来呈水平或近水平状态的岩层,在受到地壳运动所产生的强大水平力的挤压后产生柔性弯曲但未失去其连续性,这种弯曲的地层形态被称为褶皱构造。褶皱构造中岩石的每一个弯曲(一个完整的波形)都称为一个褶曲。按照一个褶曲中岩石弯曲的朝向,褶曲被分为两种基本形态:向斜和背斜。两翼岩层向上弯曲的褶曲被称为一个向斜;两翼岩层向下弯曲的褶曲被称为一个背斜。根据褶曲在横剖面上的形态或轴面的位置,可将褶曲主要划分为对称褶曲、不对称褶曲、倒转褶曲、平卧褶曲,此外还有扇形褶曲和卷曲褶曲。根据褶曲在纵剖面上的形态或脊线的形态,可将褶曲划分为:水平褶曲、倾伏褶曲、短轴褶曲、穹窿和构造盆地。根据褶曲的组合形态,又可将褶曲划分为:全型褶曲(复背斜、复向斜)、断

续型褶曲和过渡型褶曲(中间型褶曲)。

有的工程地质学教材或著作将地质构造划分为两种基本形式:褶皱构造和断裂构造,但也有很多的将地质构造划分为三种形式:褶皱构造、倾斜构造和断裂构造。倾斜构造:一般认为,倾斜构造是原来水平或近水平沉积的地层,在地壳运动的影响下产状改变而发生倾斜变化,此时岩层面与水平面就有了一定的倾角,成为具有倾斜构造的岩层。但不可否认,自然界中有的地层在沉积中就是倾斜的,例如洪积地层。这样的地层如果在其后的漫长地质岁月中变质成岩,其产状显然也是倾斜的。除此以外,还有的地层在大的空间范围内可能属于褶皱构造,是一个背斜或一个向斜的一翼岩层,但在一定的工程范围内,则表现为单向倾斜的构造形式。这样的地层对某个具体工程而言,显然也可作为倾斜构造来看待。岩层面与水平面的交角小于 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 时被称为缓倾斜岩层;交角在 $60^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 以上时称为陡立岩层;介于缓倾斜岩层和陡立岩层之间的称为陡倾岩层;交角近于或等于 90° 时,称为直立岩层。如果在一定的地质区域内,一系列岩层的倾斜方向及倾斜角度都基本一致,则称其为单斜构造。倾斜岩层的产状要素一般是指倾斜岩层的走向、倾向和倾角。在采矿工程中还应包括岩层的厚度。

岩层受构造应力作用发生断裂,使原有的连续性、完整性遭受破坏而形成的地层形态被称为断裂构造。按断裂面两侧岩层的位移情况,断裂构造可分为节理和断层。

岩层受构造应力作用发生断裂,沿断裂面两侧的岩层未发生移动或仅发生了微小错动的断裂构造称为构造裂隙或构造节理,有时简称节理。除构造裂隙以外,岩体的原生裂隙和风化裂隙以及其他次生裂隙也常被混为节理或非构造节理,这些裂隙主要有:岩浆岩中的冷凝裂隙、沉积岩中的干缩裂隙和层理、风化裂隙、卸荷裂隙、工程震动等作用引起的裂隙等等。因此广义节理的含义既包括了一般意义上的节理(构造节理),又包含了岩体中的原生和次生裂隙(非构造节理)。

岩层受构造应力作用发生断裂,沿断裂面两侧岩层发生了移动或明显错位的断裂构造被称为断层,该断裂面称作断层面。其中位于断层面之上的岩体断块被称为断层的上盘,位于断层面以下的断块被称为断层的下盘。断层所涉及的术语主要有:断层面、断层面走向、倾向、倾角、上盘、下盘、断层带(多数的断层其断裂面附近的岩石被构造应力挤碎,形成具有一定宽度的带状碎裂岩石,亦称之为断层带)、断距、错距、落差等。其中断层上下盘沿断层面发生相对位移的实际距离称为总断距;其在垂直方向上的相对位移称为垂直断距或落差;在水平方向上的相对位移称为水平断距或错距。主要断层类型有正断层(上盘相对下降,下盘上升)、逆断层(上盘相对上升,下盘下降)和平推断层(断层面两侧的岩体明显发生了错位,但几乎没有落差)。断层往往还成组出现,造成叠瓦状构造、阶梯状构造、地堑、地垒等各种复杂地质构造形态。

三、岩层岩体的接触关系及岩体的结构

1. 整合接触

在地壳下降比较稳定的地区,接触面上下的两层岩层相互平行,接触面产状致密,岩层沉积没有间断,这种岩层接触关系称为整合接触。

2. 伪整合接触

在地壳下降不稳定的地区,岩层的沉积就有可能出现间断,当岩层的沉积不连续(缺少某个时期的地层沉积)或存在一个古风化剥蚀面,但接触面上下的岩层却又相互平行时,这

种岩层接触关系称为伪整合接触或假整合接触,也有的称为平行不整合接触。

3. 不整合接触

如果岩层的沉积不连续或存在一个古风化剥蚀面且接触面上下的岩层又不平行时,其接触关系称为不整合接触或角度不整合接触。

4. 侵入接触

侵入岩浆岩与周围其他岩体之间的接触关系称为侵入接触,在侵入接触的接触面附近,岩石常发生变质作用。

5. 岩体的结构

(1) 岩体的概念

如前所述,岩石是由矿物或岩屑在地质作用下按一定规律聚集而形成的自然体,也就是我们通常所说的石头。而岩体是指一定工程范围内的自然地质体。它除本身是由岩石构成外,还包含了地应力及各种地质作用于长期地质历史时期中在岩石中所形成的各种构造痕迹(整合、不整合接触面,褶皱,断层,层理,节理,劈理,片理以及其他隐微裂隙)。

(2) 岩体结构的基本要素

岩体结构的基本要素是构成岩体的结构体(岩石)和将结构体分割开来的结构面。其中,结构体是被各种构造形迹和裂隙分割而成的岩石块体;结构面就是各种构造形迹或裂隙。结构面的存在是岩体不同于岩石概念的根本原因,结构面是岩体的重要组成单元。岩体力学性质的好坏在大多数情况下都取决于结构面的性质,而非岩石本身的性质。

(3) 岩体结构面的类型

岩体结构面的类型主要有成岩结构面、构造结构面、次生裂隙面三种。

成岩结构面也称原生结构面,它是岩石在成岩过程中形成的结构界面,如:岩浆岩的流层、流纹、冷却、缩胀裂隙及侵入接触面;沉积岩的层理层面、龟裂;变质岩的片理、板理等。

构造结构面是指在不同性质的构造应力作用下所产生的各类剪性、张性、压性、扭性结构面。

次生裂隙主要有风化裂隙、冰冻裂隙、重力卸荷裂隙和震动裂隙等。

(4) 岩体的结构类型

岩体的主要结构类型如下:

- 1) 整体结构(巨型块状结构);
- 2) 块状结构;
- 3) 镶嵌结构(火成岩的侵入结构);
- 4) 层状结构;
- 5) 碎裂结构(微风化岩体);
- 6) 层状碎裂结构;
- 7) 散体结构(强风化岩石)。

第四节 风化作用

导致原有岩石的形态、结构、构造、物质成分等发生变化的一切自然作用通称为风化作