

高等学校水利学科教学指导委员会组织编审

高等学校水利学科专业规范核心课程教材·农业水利工程

工程地质与水文地质

主 编	东北农业大学	张忠学
副主编	西北农林科技大学	马耀光
	新疆农业大学	周金龙
主 审	西北农林科技大学	刘俊民



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高等学校水利学科教学指导委员会组织编审

高等学校水利学科专业规范核心课程教材·农业水利工程

工程地质与水文地质

主 编	东 北 农 业 大 学	张忠学
副主编	西北农林科技大学	马耀光
	新 疆 农 业 大 学	周金龙
主 审	西北农林科技大学	刘俊民



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书共 10 章, 主要内容有: 矿物和岩石, 地质构造, 区域构造稳定性和地表地质作用, 地下水及其对工程的影响, 岩体的工程地质特性, 库坝区工程地质问题, 地基与边坡稳定的工程地质分析, 地下建筑的工程地质分析, 渠道及闸址工程地质分析, 工程地质与水文地质勘察。

本教材内容丰富, 结构清晰, 图文并茂, 可作为农业水利工程、水利水电工程、水文与水资源工程、土木工程、工程管理等相关专业的教学用书, 也可供从事上述相关工作的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程地质与水文地质/张忠学主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2009

高等学校水利学科专业规范核心课程教材. 农业水利工程

ISBN 978-7-5084-6650-7

I. 工… II. 张… III. ①工程地质-高等学校-教材
②水文地质-高等学校-教材 IV. P64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 121051 号

书 名	高等学校水利学科专业规范核心课程教材·农业水利工程 工程地质与水文地质
作 者	主 编 东北农业大学 张忠学 副主编 西北农林科技大学 马耀光 新疆农业大学 周金龙 主 审 西北农林科技大学 刘俊民
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	175mm×245mm 16 开本 19.5 印张 462 千字
版 次	2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	36.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

高等学校水利学科专业规范核心课程教材

编 审 委 员 会

主 任 姜弘道 (河海大学)

副主任 王国仪 (中国水利水电出版社) 谈广鸣 (武汉大学)

李玉柱 (清华大学) 吴胜兴 (河海大学)

委 员

周孝德 (西安理工大学)

刘 超 (扬州大学)

任立良 (河海大学)

杨金忠 (武汉大学)

梅亚东 (武汉大学)

姜 峰 (大连理工大学)

王元战 (天津大学)

张展羽 (河海大学)

陈建康 (四川大学)

孙明权 (华北水利水电学院)

陈 楚 (水利部人才资源开发中心)

李建林 (三峡大学)

朝伦巴根 (内蒙古农业大学)

余锡平 (清华大学)

袁 鹏 (四川大学)

胡 明 (河海大学)

郑金海 (河海大学)

康海贵 (大连理工大学)

黄介生 (武汉大学)

冯 平 (天津大学)

侍克斌 (新疆农业大学)

孙春亮 (中国水利水电出版社)

秘 书 周立新 (河海大学)

丛书总策划 王国仪

农业水利工程专业教材编审分委员会

主 任 杨金忠（武汉大学）

副主任 张展羽（河海大学）

刘 超（扬州大学）

委 员

黄介生（武汉大学）

马孝义（西北农林科技大学）

张忠学（东北农业大学）

文 俊（云南农业大学）

魏新平（四川大学）

虎胆·吐马尔白（新疆农业大学）

杨路华（河北农业大学）

杨培岭（中国农业大学）

史海滨（内蒙古农业大学）

迟道才（沈阳农业大学）

田军仓（宁夏大学）

孙西欢（太原理工大学）

总 前 言

随着我国水利事业与高等教育事业的快速发展以及教育教学改革的不断深入,水利高等教育也得到很大的发展与提高。与1999年相比,水利学科专业的办学点增加了将近一倍,每年的招生人数增加了将近两倍。通过专业目录调整与面向新世纪的教育教学改革,在水利学科专业的适应面有很大拓宽的同时,水利学科专业的建设也面临着新形势与新任务。

在教育部高教司的领导与组织下,从2003年到2005年,各学科教学指导委员会开展了本学科专业发展战略研究与制定专业规范的工作。在水利部人教司的支持下,水利学科教学指导委员会也组织课题组于2005年底完成了相关的研究工作,制定了水文与水资源工程,水利水电工程,港口、航道与海岸工程以及农业水利工程四个专业规范。这些专业规范较好地总结与体现了近些年来水利学科专业教育教学改革的成果,并能较好地适用不同地区、不同类型高校举办水利学科专业的共性需求与个性特色。为了便于各水利学科专业点参照专业规范组织教学,经水利学科教学指导委员会与中国水利水电出版社共同策划,决定组织编写出版“高等学校水利学科专业规范核心课程教材”。

核心课程是指该课程所包括的专业教育知识单元和知识点,是本专业的每个学生都必须学习、掌握的,或在一组课程中必须选择几门课程学习、掌握的,因而,核心课程教材质量对于保证水利学科各专业的教学质量具有重要的意义。为此,我们不仅提出了坚持“质量第一”的原则,还通过专业教学组讨论、提出,专家咨询组审议、遴选,相关院、系认定等步骤,对核心课程教材选题及其主编、主审和教材编写大纲进行了严格把

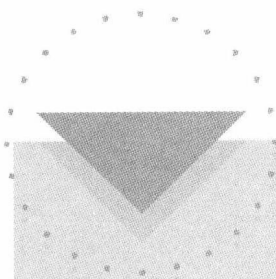
关。为了把本套教材组织好、编著好、出版好、使用好，我们还成立了高等学校水利学科专业规范核心课程教材编审委员会以及各专业教材编审分委员会，对教材编纂与使用的全过程进行组织、把关和监督。充分依靠各学科专家发挥咨询、评审、决策等作用。

本套教材第一批共规划 52 种，其中水文与水资源工程专业 17 种，水利水电工程专业 17 种，农业水利工程专业 18 种，计划在 2009 年年底之前全部出齐。尽管已有许多人为本套教材作出了许多努力，付出了许多心血，但是，由于专业规范还在修订完善之中，参照专业规范组织教学还需要通过实践不断总结提高，加之，在新形势下如何组织好教材建设还缺乏经验，因此，这套教材一定会有各种不足与缺点，恳请使用这套教材的师生提出宝贵意见。本套教材还将出版配套的立体化教材，以利于教、便于学，更希望师生们对此提出建议。

高等学校水利学科教学指导委员会

中国水利水电出版社

2008 年 4 月



前言



《工程地质与水文地质》是水利工程、土木工程等相关专业的一门学科基础课。本教材是高等学校水利学科教学指导委员会审定的水利学科专业规范核心课程教材。本教材供农业水利工程专业使用，也可作为水利水电工程、水文与水资源等专业的选用教材或教学参考书。各校可根据教学计划学时的多少安排教学内容。

本教材由东北农业大学张忠学主编，经西北农林科技大学刘俊民教授审定。西北农林科技大学马耀光 and 新疆农业大学周金龙为副主编。各章节编写分工如下：张忠学（绪论、第4章、第10章），西北农林科技大学马耀光（第1章的1.3~1.5节、第8章、第9章），新疆农业大学周金龙（第1章的1.1节和1.2节、第6章、第7章），中国农业大学叶水根（第2章），太原理工大学李兵（第5章），太原理工大学王银梅（第3章）。全书由张忠学统稿。

本教材在编写过程中广泛征求了兄弟院校的意见。经过编写人员多次研究，反复讨论确定编写大纲后才分工编写。在此，谨向本教材引用文献的作者和为本教材付出辛勤劳动的老师和工作人员表示衷心的感谢！

鉴于编者水平有限，教材中不当之处，敬请批评指正。

编 者

2008年12月

目 录

总前言

前言

绪论	1
第1章 矿物和岩石	3
1.1 地球的物理性质和构造	3
1.2 造岩矿物	6
1.3 岩浆岩	16
1.4 沉积岩	23
1.5 变质岩	27
第2章 地质构造	36
2.1 地史概要	37
2.2 岩层产状与地层接触关系	42
2.3 褶皱构造	45
2.4 断裂构造	51
2.5 地质图	62
第3章 区域构造稳定性和地表地质作用	71
3.1 地震的工程地质研究与区域构造稳定性评价	71
3.2 风化作用	83
3.3 河流地质作用	89
3.4 岩溶(喀斯特)作用	94
第4章 地下水及其对工程的影响	101
4.1 自然界的水循环与水分布	101
4.2 地下水的类型与特征	104
4.3 地下水的补给、径流、排泄条件	119
4.4 地下水的物理性质和化学成分	125

4.5	地下水的运动与动态	130
4.6	地下水对建设工程的影响	136
第5章	岩体的工程地质特性	140
5.1	岩体的结构特征	141
5.2	岩体的主要力学特性	147
5.3	岩体的天然应力状态	153
5.4	工程岩体的分类	156
第6章	库坝区工程地质问题	165
6.1	库坝区的主要工程地质问题	165
6.2	库坝区渗漏的工程地质分析	167
6.3	库坝区渗漏的防治	172
6.4	坝基岩体稳定的工程地质分析	176
6.5	提高坝基岩体稳定性的措施	197
第7章	地基与边坡稳定的工程地质分析	206
7.1	地基的压缩和沉降	206
7.2	地基的极限承载力	209
7.3	地基承载力的确定	212
7.4	边坡变形破坏的类型与特征	214
7.5	影响边坡稳定性的因素	227
7.6	边坡稳定性的评价方法	229
7.7	不稳定边坡防治的措施	233
第8章	地下建筑的工程地质分析	237
8.1	地下开挖引起的围岩应力重新分布	237
8.2	地下工程位置选择的工程地质评价	240
8.3	地下建筑围岩稳定性的评价	246
8.4	维护地下建筑围岩稳定性的措施	259
第9章	渠道及闸址工程地质分析	270
9.1	渠道选线的工程地质分析	270
9.2	渠道渗漏与渠道边坡稳定问题	272
9.3	闸址选址的工程地质分析	277
9.4	闸基沉降与地基稳定问题	278
第10章	工程地质与水文地质勘察	284
10.1	工程地质与水文地质勘察的目的及任务	284
10.2	勘察的基本手段和方法	287
10.3	天然建筑材料的勘察	293
10.4	工程地质与水文地质勘察的资料整理	297
	参考文献	301

绪 论

1. 工程地质与水文地质研究的主要内容

工程地质学是调查、研究、解决与人类工程建设活动有关的地质问题的科学，是地质学的一个分支学科。工程地质学研究的目的在于查明建设地区或建筑场地的地质条件，分析、预测和评价可能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、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。

工程地质学研究的主要内容有：确定岩土组分、结构、物理、化学及力学性质，及其对建筑工程稳定性的影响；制定岩土工程地质分类，提出改良岩土建筑性能的方法；研究由于人类工程活动的影响而破坏的自然环境的平衡，以及自然发生的崩塌、滑坡、泥石流及地震等物理地质作用对建筑的危害及其预测、评价和防治措施；研究解决各类工程建设中的边坡和地基的稳定性，制定一套科学的勘察程序、方法和手段，直接为各类工程的设计、施工提供地质依据；研究建筑场区地下水运动规律及其对工程建筑的影响，制定必要的利用和防护方案；研究区域工程地质条件的特征，预报人类工程活动对其影响而产生的变化，作出区域稳定性评价，进行工程地质分区和编图。

水文地质学是研究地下水的数量和质量随空间和时间变化的规律，以及合理利用地下水或防治其危害的学科。水文地质学研究的主要内容有地下水的起源、分布、赋存状态、补给、径流、排泄条件、运动特征、水质、水量的形成及其在时空上的变化规律，还要研究地下水和周围环境的关系，研究在各种自然因素和人为因素影响下，地下水作为一种地质营力对环境的改造作用以及在作用过程中它自身发生的各种变化情况。此外，还要研究如何掌握和应用地下水的理论，以便经济合理地开采利用地下水，或者有效地防治和消除地下水造成的危害，达到兴利除害的目的。

2. 与其他学科的关系

为了确切地研究一些不良地质现象的形成机制和定量评价工程地质问题，工程地质学要以数学、物理学、化学等学科知识作为它的基础，尤其是力学学科的工程力学、弹塑性力学、结构力学、土力学和岩体力学等，与工程地质学的关系十分密切。

工程地质学中的大量计算问题,实际上也就是土力学和岩体力学的课题。土力学和岩体力学是进行工程地质问题定量评价的左右手。因此,在广义的工程地质学概念中,甚至将土力学和岩体力学也包含在内。此外,工程地质学还与工程应用技术科学、环境科学、工程科学等有关,如水利水电建筑学、工业与民用建筑学、气象学、水文及水测验学、电子计算机技术、地球物理勘探学、钻探学等与之联系均较密切。

水文地质学是在地质科学的基础上发展起来为工农业建设服务的一个分支科学。地下水赋存和运动于地壳岩石的空隙之中,其形成分布、水质、水量等无一不受地质条件的制约,因此学习水文地质学必须掌握矿物岩石学、地球化学、地层学、构造地质学、地貌及第四纪地质学等基本地质理论作为基础。同时地下水又是自然界水循环的一部分,和参与水循环的其他部分,如大气降水、地表水的关系非常密切,三者之间互相联系,互相转化,因此学习水文地质学也需要具备必要的气象学、气候学、水文学和水力学等方面的基本知识。为了深入地研究地下水,还需要借助于数学、力学和化学等学科的原理和方法,来研究地下水的水质、水量,并对地下水资源进行定量评价。对一些为之服务的学科,如供水学、采矿学、土壤改良学、水利工程学及环境保护学等也应有一定程度的了解,方能更好地解决各种实际问题。此外,在水文地质研究中,还需引进电子计算机、地球物理勘探技术、遥感技术及同位素技术等新的技术来充实和丰富自己的研究内容和研究方法,推动水文地质学向量化、严谨化方向发展。

3. 本课程对学生的学习要求

本课程是农业水利工程及相关专业的一门技术基础课,它结合自然地质条件和农业水利工程的特点,为学习专业课和开展有关问题的科学研究,提供必要的工程地质与水文地质方面的基础知识。通过本课程和相关知识的积累要求学生具备以下能力:

(1) 系统地掌握工程地质与水文地质方面的基本理论和知识,能正确运用勘察数据和资料进行设计与施工。

(2) 能根据工程地质与水文地质的勘察成果,运用已学过的工程地质与水文地质的理论和知识,进行一般的工程地质问题分析及对不良地质现象采取处理措施。

(3) 了解工程地质与水文地质勘察的基本内容、方法和过程,对中小型工程能够进行一般的工程地质勘察。

本课程是一门实践性很强的课程,所以除课堂教学外,室内试验、野外教学实习及电化教学(幻灯、录像)等,都是本课程的重要教学环节。野外教学实习是培养学生独立观察、思考、分析和实际操作能力的一个重要环节,在本课程中占有重要的地位,因为它可以印证、巩固、加深课堂教学的内容;如果缺少和削弱了这个重要的实践性教学环节,那么工程地质与水文地质教学将是不完整的。所以在教学的过程中,以及在制定教学计划、教学大纲时,对野外教学实习均应给予足够的重视。学习本课程最重要的是学会具体问题具体分析。

第 1 章

矿物和岩石

1.1 地球的物理性质和构造

1.1.1 地球的形状和大小

地球是一个球状体，在测量学上以平均海平面为基准，并将其扩展到陆地而构成一个封闭球形体。此球面称为大地水准面。一般以赤道半径 a 与两极半径 b 及扁率所决定的椭圆绕地轴旋转构成的旋转椭球体代表地球的形状和大小。1975 年第 16 届国际大地测量和地球物理联合会 (IUGG) 建议采用的地球形状的主要参数有：

赤道半径 a	6378.140km
两极半径 b	6356.755km
平均半径 R	6371.004km
扁率 $e = (a - b)/a$	1/298.253
表面积 $4\pi R^2$	510110934km ²
体积 $\frac{4}{3}\pi R^3$	10832 × 10 ⁹ km ³

地球的真实形状是，北极比旋转椭球体凸出约 18.9m，南极凹进约 26m，中纬度在北半球稍凹进，而在南半球稍凸出（不到 10m）。据此推论：地球极近似于旋转椭球体，它具有弹塑性；地球不是严格的旋转椭球体，其内部物质分布不均匀。

1.1.2 地球的外部圈层

地球的外部圈层包括：大气圈、水圈和生物圈。

(1) 大气圈是由包围着固体地球的大气层构成的，大气圈没有明显的上界，地表以下深度一般不超过 4km。大气圈的总质量约为 5.136×10^{15} t，占地球质量的千万分之九。越接近地面，大气的密度越大。大气密度和压力与距地面的高度成反比，大气的温度、压力随高度的增加而降低。

大气圈的物质成分以氮和氧为主，氮占总质量的 75.5%，氧占 23.1%；其次为氢（占 1.28%）、二氧化碳（占 0.05%）等。水蒸气在大气中的含量随温度和高度而

变化。根据大气温度、密度等物理特征,一般把大气圈自下而上分为对流层、平流层、中层、电离层和扩散层。对流层位于大气圈底部,大气空气与冷空气的对流运动剧烈,地面水体受热汽化产生的水蒸气自然参与大的对流运动。风、云、雨、雪、雹、雷、电等变化多端的天气现象,都发生在对流层中。对流层大气的流动,不仅是一种重要的地质营力,同时又是推动水圈循环的重要因素。

(2) 地球表面四分之三以上的面积被地表水体(海洋、冰层、湖泊、沼泽、河)覆盖,地面以下的土壤和岩石缝隙中也充填有大量的地下水,它们共同构成一个连续而不规则的圈层,称为水圈。水圈的质量约为 $1.43 \times 10^{18} \text{t}$, 约占地球质量的 $1/4000$ 。

(3) 生物圈是地球上生物及其生命活动的范围,从海平面以上 10km 的高空,地表面以下数千米深处的岩石中(几乎包括了整个水圈),有动物、植物和微生物。生物圈是人类赖以生存和发展的环境。

上述三种圈层是相互依存和联系的,与人类活动,特别是工程建设密切相关。

1.1.3 地球的内部圈层结构

如图 1-1 所示,在地下平均 8km (大洋区)与 33km (大陆区)、 670km 、 2891km 及 5150km 的深度,地球的物质成分、物质状态有明显的变化,形成 4 个大的结构面。 33km 处的界面简称为莫霍面(M)。 2891km 处的界面称为古登堡面。

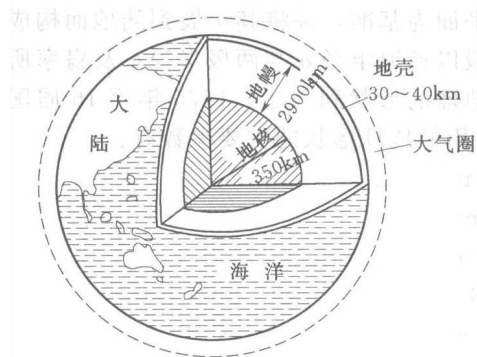


图 1-1 地球结构示意图

莫霍面以上是由固体岩石组成的地球最外部圈层,称为地壳。地壳的平均厚度约 18km , 平均密度为 2.8g/cm^3 , 质量约 $2.35 \times 10^{22} \text{kg}$, 占地球质量的 0.39% 。地壳底部的平均压力约为 $6.043 \times 10^8 \text{Pa}$, 温度为 $400 \sim 700^\circ\text{C}$ 。地壳的厚度变化很大,在大洋地区与大陆地区的地壳结构有明显的区别。大洋地区平均厚度 7km , 且较为均匀。大陆地区(陆壳)厚度为 $20 \sim 80 \text{km}$, 平均 33km 。地壳中部较普遍存在一个次级界面(康拉德面),据此面将地壳分为上地壳和下地壳。上地壳平均厚约 15km , 平均密度约 2.7g/cm^3 , 由沉积岩、变质岩和岩浆岩物质组成,一般简称为硅铝层或花岗质岩壳;下地壳平均厚约 18km , 平均密度 2.9g/cm^3 , 可与大洋底下的玄武岩层对比,称为硅镁层或玄武质岩壳。

莫霍面向下至古登堡面的圈层称为地幔。地幔的厚度约 2900km , 物质密度由顶层的 3.1g/cm^3 增至 5.55g/cm^3 , 平均约 4.5g/cm^3 , 质量约 $4.03 \times 10^{24} \text{kg}$, 占地球质量的 67.6% 。根据地幔上部与下部物质成分、温度和压力的差异,在 670km 深处地震波速度的间断面甚为显著,因而将此间断面作为上、下地幔的分界面。

古登堡面以下直至地心的部分称为地核。它是一个半径为 3480km 的球体,其体积占地球的 16.2% , 质量约占地球质量的 32% , 平均密度为 10.83g/cm^3 。

地壳与上地幔的顶部,是由固态岩石组成的岩石圈,岩石圈平均厚度约 80km , 平均密度为 3.25g/cm^3 , 其体积占地球体积的 3.72% , 质量占地球质量的 2.19% 。据地震波探测资料,大洋地区岩石圈厚 $30 \sim 90 \text{km}$, 大陆地区岩石圈厚 150km , 表明

岩石圈在水平方向也是很不均匀的。

1.1.4 固体地球的主要物理性质

固体地球的主要物理性质包括重力、压力、磁性、温度、弹性和塑性。

1. 地球的重力

地球上某处的重力是在假定地球为一个标准旋转椭球体的基础上计算出地球某处所受地心引力（牛顿万有引力）与地球自转离心力的合力。地球物理勘探中的重力勘探，就是利用这一原理，通过发现岩石圈中局部计算重力值与实际测定重力值间的差异——重力异常，来进行找矿和勘查地下的地质构造。重力异常的产生有三个来源：一是各点的高程差异（标准值是在假定地球表面光滑、等高的条件下得出的）；二是各点之间相互的万有引力吸引；三是平行方向上物质密度的差异。其中第三类异常是寻找各类矿产和勘查地下岩体、地质构造的主要依据。

2. 地球的压力

地球内部某处的压力是指由上覆地球物质的重量所产生的静压力。静压力的大小与所处的深度、上覆物质的平均密度及平均重力加速度成正相关。由于物质的密度随深度的增加并非均匀增加，因而压力与深度的关系不是直线，而呈一条曲线。在正常情况下，从地表到地下 24km，压力从 $1 \times 10^5 \text{ Pa}$ 增加到约 $0.6 \times 10^9 \text{ Pa}$ ；670km 时压力增大到约 $24 \times 10^9 \text{ Pa}$ ；到 2891km，压力增大到约 $136 \times 10^9 \text{ Pa}$ ；而到 6371km（地心），压力约为 $364 \times 10^9 \text{ Pa}$ 。

3. 地球的磁性

固体地球就像是一个磁化球体，但地磁轴与地球自转轴并不重合，两者约成 11.5° 的交角。而且地磁极的位置是不固定的，它逐年发生一定变化，例如磁北极的位置，1961 年在 $74^\circ 54' \text{ N}$ ， 101° W ；1965 年在 $75^\circ 50' \text{ N}$ ， $100^\circ 50' \text{ W}$ ；1970 年在 76° N ， 101° W ；1975 年在 $76^\circ 06' \text{ N}$ ， 100° W 。

磁力线分布的空间称为磁场。磁力线的分布情况可由磁针的理想空间状态表现出来。由磁针指示的磁南北，为磁子午线方向，其与地理子午线间的夹角称磁偏角。磁针在地磁赤道上呈水平状态，由此向南或向北磁针都会倾斜，其与水平面的夹角称磁倾角。到磁南极或北极，磁针则竖直起来。

在世界范围内选择若干个地磁测站，测量该处的地磁要素数据，然后推算出世界各地的基本地磁场数据，作为地磁场的正常值。某地区实测地磁要素数据与正常值不一致的现象称地磁异常。地磁异常一般是由地下赋存高磁性矿物或岩石造成的，如磁铁矿、镍矿石和超基性岩等。地磁负异常多是由地下赋存的石油、盐矿、铜矿、花岗岩等低磁性或反磁性矿物或岩石引起的。利用地磁异常来寻找地下矿产和了解地质构造情况的方法，称为磁法勘探。

4. 地球内部的温度

火山喷发、温泉和矿井随深度而增温等现象表明地球内部储存着很大的热能，可以说地球是一个巨大的热库。地球内部热能的来源一般认为由岩石中放射性元素的衰变释放出热，地球本身的重力作用也可以转化出大量热能。通过大量的调查研究发现，自地面向地下深处，地热增温现象是不均匀的。地面以下按温度状况可分为三层：①外热层（变温层），该层地温主要受太阳光辐射热的影响，其温度随季节、昼

夜的变化而变化,故又称变温层。日变化影响深度较小,一般仅1~1.5m,年变化影响深度可达20~30m。②常温层,该层地温与当地年平均温度大致相当,且常年保持不变,其深度大致为20~40m。一般情况下中纬度较深,两极和赤道较浅;内陆地区较深,滨海地区较浅。③增温层,常温层之下,地温随深度增大而逐渐增加。在大陆地区常温层以下至30km深处,大致每加深30m,地温增高1℃。大洋底至15km深处,大致每加深15m,地温增高1℃。深度每增加100m所升高的温度,称为地温梯度,其单位是℃/100m。地温梯度在各地是有差异的,例如在我国华北平原的地温梯度为2~3℃/100m,在安徽庐江则为4℃/100m。

5. 地球的弹性和塑性

海水在日月引力的作用下发生潮汐现象。实际上这种现象也会出现在固体地球表层。用精密仪器可以观测到固体地球表层的潮汐现象,地面升降幅度可达7~15cm,这被称为固体潮。固体潮表明,固体地球具有弹性。地球能传播地震波(弹性波)也表明地球具有弹性。

前已述及,地球在自转的作用下会成为一个旋转椭球体,表明地球并不是完全的刚体。在长期应力的作用下,坚硬的岩石会产生一定的塑性变形,如岩层受构造运动形成褶皱。固体地球的弹性和塑性特点都是相对的,在不同条件下有不同的表现,在受力速度快、作用时间短的条件下,地球表现为弹性体,类似刚性体,岩层会产生弹性变形或破裂;在施力缓慢、持续作用时间漫长的条件下,地球则可表现出明显的塑性特征,形成复杂的褶皱。

1.2 造 岩 矿 物

人类工程活动都是在地壳表层进行的,而组成地壳的主要物质成分是岩石。岩石是在各种不同地质作用下产生的,由一种或多种矿物有规律地组合而成的矿物集合体。目前,自然界中已发现的矿物有3300多种,但是常见的只有五六十种,构成岩石主要成分的只不过二三十种。通常把岩石中常见的主要矿物称为造岩矿物。造岩矿物明显影响岩石性质、对鉴定岩石类型起重要作用。因此,认识和学会鉴定这些造岩矿物是学好岩石的基础。自然界有各种各样的岩石,根据成因和形成过程,岩石可分为三大类:即由岩浆活动所形成的岩浆岩;由外力作用形成的沉积岩;由变质作用形成的变质岩。从各类岩石在地壳表面的分布面积看,沉积岩约占陆地面积的75%,变质岩和岩浆岩占25%。从地表往下,沉积岩所占比例逐渐减少,变质岩和岩浆岩增多。

不同成因的岩石形成的条件、物质成分、结构和构造各不相同,故它们的物理力学性质及工程特性也不一样。这些关系到工程的规划、设计、施工和运行。工程勘察、设计、施工人员有必要学习认识岩石的特征和特性,以便分析岩石在各种自然条件下的变化进而对岩石的工程地质性质进行评价。

1.2.1 矿物的概念

矿物是地质作用形成的天然单质或化合物,它具有一定的化学成分和物理性质,并能在一定的条件下保持其物理化学性质的稳定。由一种元素组成的矿物称为单质矿

物,如自然金(Au)、自然铜(Cu)、金刚石(C)等;大多数矿物是由两种或两种以上的元素组成的化合物,如岩盐(NaCl)、方解石(CaCO_3)、石膏(CaSO_4)等。矿物绝大多数是无机固态,也有少数呈液体状态(如水、自然汞)和气态(如水蒸气、氦)以及有机物。固体矿物按其内部构造分为结晶质矿物(晶体)和非结晶质矿物。结晶质矿物是指矿物不仅具有一定的化学成分,而且组成矿物的物质质点(原子或离子)按一定方式作规则排列(称为空间格子构造),并可反映为固定的几何外形。具有一定的空间格子构造和一定几何外形的固体称为晶体。非结晶质矿物是指组成矿物的质点不作规则排列,因而没有固定形状,如蛋白石($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)。自然界中3300多种的矿物绝大多数是结晶质。大部分非晶质矿物随时间增长可自发转变为结晶质。

自然界中的矿物虽然外形奇异、色彩缤纷,但由于矿物具有一定的化学成分和结构构造,决定了它们具有一定固定的形态特征和物理化学性质,人们常常用形态特征和物理化学性质来识别矿物。如上述自然金,它具有粒状或块状等不规则外形、金黄色、不透明、硬度小、重度大、化学性质稳定、延展性强;而岩盐呈立方体或粒状集合体,纯净者无色透明、有咸味、重度小、易溶于水等。

矿物是组成地壳的基本物质,由矿物组成岩石或矿石。自然界中至今已发现的矿物有3300多种,目前被利用的只有200余种。随着科学技术的发展,可利用矿物的数量将会越来越多,产量已经远远不能满足需求。20世纪60年代以来,人工合成矿物(晶体)的研究与生产迅猛发展。人工方法获得的某些与天然矿物相同或类同的单质或化合物,称为“合成矿物”或“人造矿物”,如人造金刚石、人造水晶、人造云母等。此外,地球上还有少量来自其他天体的天然单质或化合物,称为“宇宙矿物”。

1.2.2 矿物化学结构式与化学成分特征

1.2.2.1 矿物化学结构式

矿物常用实验式表示矿物中化学成分的种类和数量比。如方解石的实验式为 CaCO_3 或 $\text{CaO} \cdot \text{CO}_2$ 。实验式书写简便,但不能反映原子在矿物中的结合关系,所以现在多用化学结构式表示矿物化学成分。

结构式既能表示矿物化学成分的种类和数量关系,又能在一定程度上表示出原子在结构中的关系。结构式是目前在矿物中普遍采用的化学式,其书写规则如下:

(1) 阳离子写在化学式的前面,阴离子写在后面,络阴离子用方括号[]括起来,有多种阳离子时,同种元素按电价由低到高排列;不同元素按碱性由强到弱的顺序排列。如磁铁矿写成 Fe_3O_4 ,白云石写成 $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$ 。

(2) 附加阴离子一般写在主要阴离子或络阴离子之后。如孔雀石写成 $\text{Cu}[\text{CO}_3](\text{OH})_2$ 。

(3) 类质同像置换的离子,用圆括号括起来,含量多者写在前,含量少者写在后,两者用逗号“,”分开。如铁菱镁矿写成 $(\text{Fe}, \text{Mg})[\text{CO}_3]$ 、镁菱铁矿写成 $(\text{Mg}, \text{Fe})[\text{CO}_3]$ 。

(4) 含水化合物的水分子写在化学式的最后,并用圆点“·”隔开。当含水量不定时常用 $n\text{H}_2\text{O}$ 表示。如石膏写成 $\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、蛋白石写成 $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 。