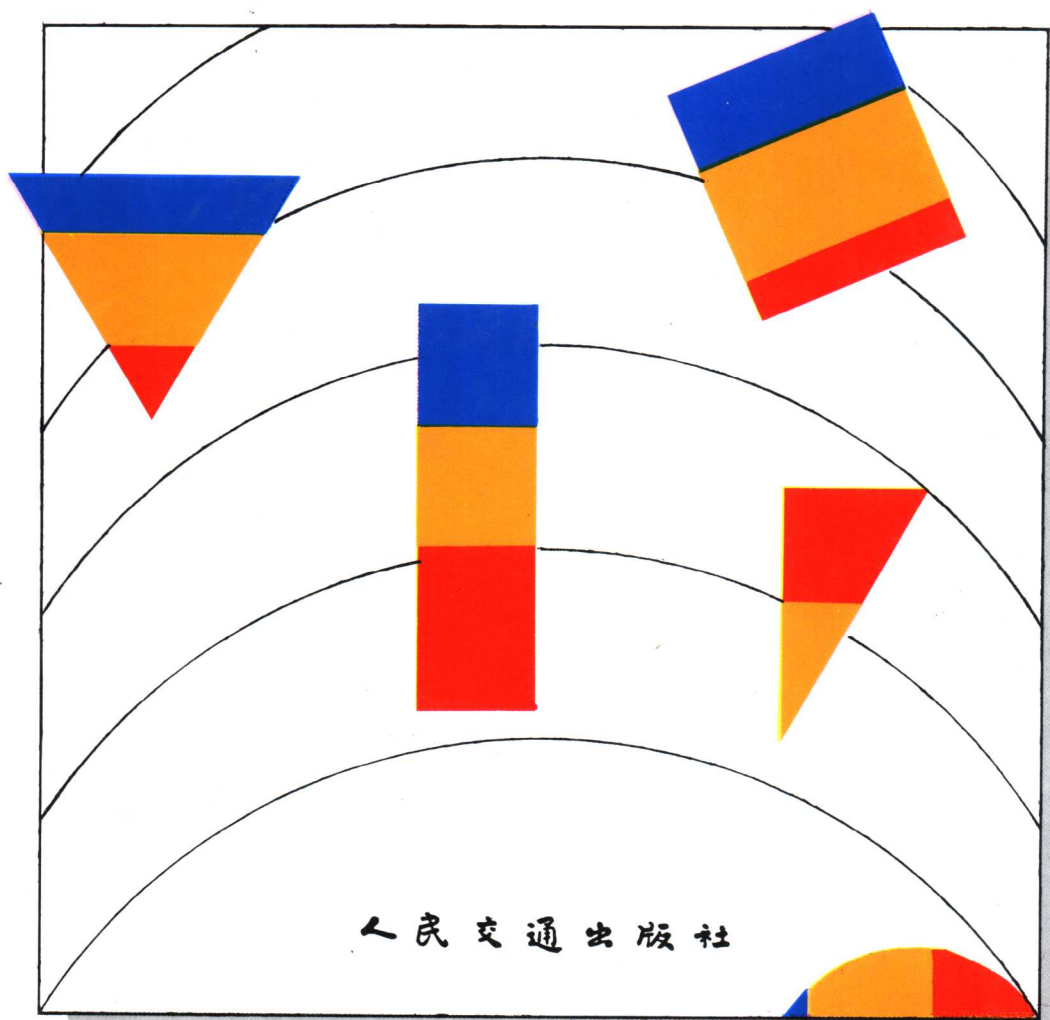


交通系统中等专业学校教材

地质与土质

(公路与桥梁专业用)

李瑾亮 主编 胡春葳 主审



人民交通出版社

交通系统中等专业学校教材

Dizhi yu Tuzhi

地质与土质

(公路与桥梁专业用)

李瑾亮 主编
胡春葳 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书共分两篇十三章。第一篇包括:地球与地质作用、矿物、岩石、岩石的工程性质、地层与地质构造、地貌、地下水和常见不良地质现象等内容;第二篇包括:土的组成与结构、土的工程性质、土的工程分类及野外鉴别、特殊土简介等内容。

本书为中等专业学校公路与桥梁专业教材,亦可供道路、桥梁及其它土建部门的勘察、设计和施工技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

地质与土质/李瑾亮主编. —北京:人民交通出版社,1995.12(1996重印)
ISBN 7-114-02128-3

I. 地… II. 李… III. ①工程地质②土质学
IV. P642

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 13731 号

交通系统中等专业学校教材

地质与土质

(公路与桥梁专业用)

李瑾亮 主编

胡春葳 主审

责任印制 张 恺

人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街10号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

北京明十三陵印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 14.5 插页: 1 字数: 352 千

1995年12月 第1版

2004年2月 第1版 第14次印刷

印数: 77401—79400册 定价: 23.00元

ISBN 7-114-02128-3

U·01450



前 言

《地质与土质》系根据交通职业技术教育指导委员会和交通中专路桥专业委员会于 1993 年 8 月乌鲁木齐会议决定进行组织和编审,并按交通部教育司教职字(93)190 号文“关于 94 年教材交稿计划的通知”编写的第三轮教材。本教材由四川省交通学校李瑾亮高级讲师任主编,湖北省交通学校胡春葳高级讲师任主审,广西交通学校梁志锐高级讲师代表学科委员会审定。

本教材在编写过程中,四川省交通学校曾于 1993 年 10 月向各兄弟学校寄发了一份按本课程组在历次研讨会上所议及的问题而草拟的“教学大纲”(讨论稿),广泛征求了对这一轮教材编写的意见和要求。云南、辽宁、吉林、福建、河南等省的交通学校结合教学与生产实际的具体情况,提出了一些可行性的建议,并对这一轮教材的组织、编审工作寄予了厚望和支持。在此,谨向这些兄弟学校及其同仁表示谢意!

本教材在部颁“教学大纲”的基础上,不仅充分地体现了大纲所规定的性质与任务,而且还联系了工程实践中的需要,强化了岩、土工程性质方面的教学及编绘地质图件的技能训练,并增加了“公路工程地质勘察”一章选修内容。

全书共 13 章,其中:导言、第一、二、三、四、五、六、八、九、十章由四川省交通学校李瑾亮执笔;第七、十三章由河南省交通学校高风山执笔;第十一、十二章由吉林省交通学校宋延武执笔。全书由胡春葳统稿、统审。

本教材是在四川省交通学校 1985 年自编讲义(经 1989 年、1993 年至今四次完善初稿)的基础上,邀约了兄弟学校参编,以求尽可能地集思广益来完善本教材。但由于当代科技迅猛发展,教材内容常常落后于工程实际的需要,故望使用本教材的老师及同学们能适时地补充一些与本课程有关的国内外最新成果。

本教材在编写过程中,力图概念准确、重点突出、文理通顺,但限于编者的水平及能力,书中错误和不足在所难免,殷切期望使用本书的老师和其他读者批评指正。

编 者

一九九四年九月

* 编者单位:四川省成都市温江县
四川省交通学校路桥科
邮政编码:611130

目 录

导言	(1)
第一节 与本课程有关学科的一般概念	(1)
第二节 工程地质条件在路桥工程中的意义	(2)
第三节 本课程的任务及学习方法	(3)
复习思考题	(4)

第一篇 地质基础知识

第一章 地球与地质作用	(5)
第一节 地球概况	(5)
第二节 地质作用	(13)
复习思考题	(19)
第二章 矿物	(21)
第一节 矿物的概念	(21)
第二节 矿物的物理性质	(22)
第三节 常见的主要造岩矿物	(27)
复习思考题	(30)
第三章 岩石	(31)
第一节 岩石的概念	(31)
第二节 岩浆岩	(31)
第三节 沉积岩	(37)
第四节 变质岩	(43)
第五节 三大岩类的野外鉴别	(47)
复习思考题	(49)
第四章 岩石的工程性质	(50)
第一节 岩石的物理性质	(50)
第二节 岩石的水理性质	(51)
第三节 岩石的力学性质	(54)
第四节 影响岩石工程性质的因素	(56)
第五节 岩石的工程分类	(58)
复习思考题	(61)
第五章 地层及地质构造	(62)
第一节 地层的基本知识	(62)
第二节 地质构造	(66)

第三节 阅读地质图	(81)
复习思考题	(86)
第六章 地貌	(92)
第一节 地貌概述	(92)
第二节 山地地貌	(94)
第三节 平原地貌	(99)
第四节 流水地貌	(101)
复习思考题	(111)
第七章 地下水	(113)
第一节 地下水概述	(113)
第二节 地下水按埋藏条件分类	(115)
第三节 地下水的物理性质及化学成分	(119)
复习思考题	(122)
第八章 常见不良地质现象	(123)
第一节 崩塌	(123)
第二节 滑坡	(124)
第三节 泥石流	(131)
第四节 岩溶	(133)
第五节 地震	(136)
复习思考题	(141)

第二篇 土质基础知识

第九章 土的组成与结构	(142)
第一节 土和土体	(142)
第二节 土的三相组成	(143)
第三节 土的成分	(145)
第四节 土中的水	(153)
第五节 土的结构	(155)
复习思考题	(157)
第十章 土的工程性质	(159)
第一节 土的物理性质	(159)
第二节 土的水理性质	(169)
第三节 土的力学性质	(177)
复习思考题	(181)
第十一章 土的工程分类及野外鉴别	(182)
第一节 土的工程分类	(182)
第二节 土的野外鉴别	(189)
复习思考题	(193)
第十二章 特殊土简介	(194)

第一节 软土·····	(194)
第二节 黄土·····	(198)
第三节 膨胀土·····	(200)
第四节 盐渍土·····	(203)
第五节 冻土·····	(207)
复习思考题·····	(213)
第十三章 公路工程地质勘察·····	(214)
第一节 公路工程地质勘察的目的任务·····	(214)
第二节 公路工程地质勘察的内容·····	(214)
第三节 公路工程地质勘察的主要方法·····	(217)
复习思考题·····	(222)
参考文献·····	(223)

导 言

《地质与土质》是公路与桥梁专业的技术基础课程之一。它不仅与普通课及其它技术基础课有着某些知识之间的关联或相互渗透,而且也是对专业课的学习起着铺垫作用的一门课程。

《地质与土质》是一门知识面较宽、实践性较强的多学科的课程,它包涵着地质学、土质学及工程地质学等学科中有关方面的基本理论知识与技能,这些也是公路工程技术人员所必须具备的基础知识与技能。本教材将分“地质”与“土质”两部分来讨论,以公路工程地质为主线。

为了使初学者对本课程有个大致的了解,在分篇讲述之前,先总体介绍一下与本课程有关学科的一般概念、工程地质条件在路桥工程中的意义以及本课程的学习方法。

第一节 与本课程有关学科的一般概念

一、地 质 学

地质学是一门研究地球的科学,但就目前的研究水平,其主要研究对象还只能是地球的壳层——地壳。其研究内容包括地壳的物质组成、地壳的结构构造、地壳的发展历史及其各种地质作用、地壳中矿产的形成和分布规律等等。简言之,地质学是一门为开发地下矿产资源和服务于国民经济建设、造福于人类的自然科学。

地质学作为一门独立的科学是18世纪下半叶至19世纪30年代才逐渐形成的,至今已派生出许多分支学科。在理论地质学方面:有研究地壳物质组成的矿物学和岩石学;有研究各种地质作用的动力地质学;有研究地壳变动的构造地质学;有研究地质历史的地史学;以及地层学、矿床学等等。在应用地质学方面,随着人类经济活动和科学技术的发展,也形成了一些独立的学科,如石油地质学、海洋地质学、煤田地质学、水文地质学、工程地质学等等。

同时,由于数学、物理学、化学、天文学、生物学的原理和方法逐渐应用到地质学领域中来,又形成了一些跨门类的边缘学科,如天体地质学、地球物理学、地球化学、地质力学、数学地质学、环境地质学等。

二、土 质 学

土质学,又称“工程岩土学”,是研究土和岩石工程性质的学科。它是20世纪从地质学范畴里发展起来的一门新兴独立的学科。它主要是从土的成因出发,研究土的本质特征,并作出定性分析;同时对其受荷载、温度及湿度等因素影响下所发生变化的过程作出定量的评价;并根据土的强度、变形机理提出改良土质的有效措施。土质学是工程地质学的重要理论基础之一。

土质学根据其研究的内容,可分为以下各科:1. 普通土质学,是研究各种土和岩石的组成成分、组织结构与物理—力学性质、化学特性及其在天然和人为条件(工程活动)下的形成、演变等规律,以及土和岩石工程地质分类的学科;2. 区域土质学,是研究不同地区、不同时代和不同成因类型的土和岩石的工程性质特性及其空间分布规律的学科;3. 土质改良学,是结合工程

要求,研究改良土和岩石工程地质性质的理论与方法的学科。

三、工程地质学

工程地质学是调查、研究、解决与各类工程建筑物的设计、施工和使用有关的地质问题的一门学科。它是地质学在应用学科方面的一个分科。

工程建筑物与人类的经济活动息息相关,如矿山、水库、电站、工业与民用建筑、道路与桥梁等等,它们都是以地壳表层的土或岩石为其地基,并受到客观环境地质条件的制约。而这些工程建筑物在施工和使用的过程中,又反过来影响着自然地质条件的变化,使得建筑物的稳定性问题更加复杂化。因而对工程地质条件进行调查、研究,作出较全面的评估和提出应采取的相应措施,以求保证建筑物的稳定性和正常使用,就成为工程地质学的目的。

由此可知,工程地质学的任务是:评价各类工程建筑场地的工程地质条件;预测在工程建筑物作用下,地质条件可能出现的变化;选定最佳的建筑场地和克服不良地质条件所应采取的工程措施,从而为保证建筑工程的合理设计、顺利施工和正常使用提供可靠的地质科学依据。

从上述三个学科的一般概念中可以看出,地质学与土质学是工程地质学的理论基础,工程地质学是应用地质学的一个分支,土质学又是工程地质学的重要组成部分,三者 in 理论与实践方面有着密切的联系。

《地质与土质》作为一门课程,它只是介绍了一些地质学、土质学及工程地质学中的最基础的知识,故还不能称之为地质学与土质学或工程地质学。

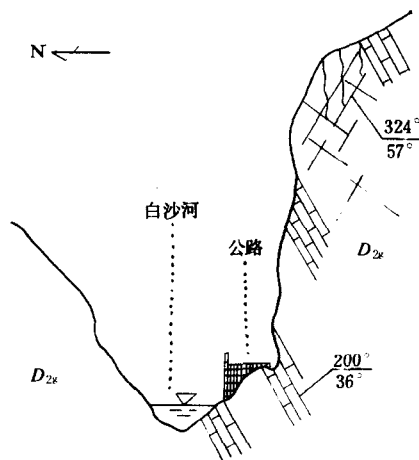
第二节 工程地质条件在路桥工程中的意义

所谓工程地质条件,通常是指那些影响工程建筑结构类型、施工方法及其稳定性的各种自然条件的综合。这些自然条件包括地层、地质构造、岩性、水文地质、地貌特征、物理地质作用、气候等;此外还包括人为的因素。

所谓工程地质现象,一般是指由于人类的工程活动所引起的地质环境改变而产生的地质现象。如人工开挖边坡引起山体崩塌、滑坡;由于过量取用地下水引起地面沉陷;水库蓄水后的坍岸等等。

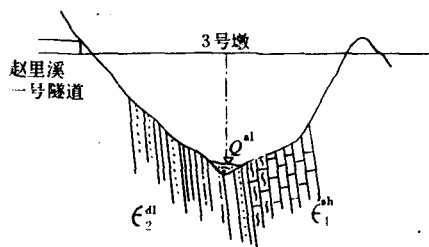
在此结合公路建设来分析一下工程地质条件在路桥工程中的重要意义。

众所周知,公路是一种延伸很长、且以地壳表层为基底的线形建筑物,它常常要穿越许多自然条件不同的地段,故路桥工程必然要受到不同地段的地质、地理各种因素的影响,这是公路工程区别于房屋、水库、矿山等工程建筑物最主要的特性。因此,在路桥工程建筑的设计、施工中,必须对不同地段的建筑物所处的工程地质条件进行深入调查研究,才能对其建筑物的合理性及其稳定程度做出较正确的评价;才能预测工程地质现象的发生、发展,对不良地质现象的变化规律做出比较全面的规划和提出防治措施。可见,对工程地质条件的深入了解是路桥工程从设计到施工以至营运过程中不可缺少的资料和依据。



导图-1 ×××峡谷崩塌信手剖面

例如,某一公路在穿过峡谷时,由于开挖边坡后岩体沿裂隙面失重而产生崩塌(见导图-1)。该峡谷的岩性属泥盆系观雾山组(D_{2g})的厚层及中厚层灰岩和白云质灰岩,岩层产状约为 $200^{\circ}\angle 36^{\circ}$,大致顺河水流向倾斜。峡谷岩性坚硬,崖壁陡峭,坡高约80m,处于自然稳定状态;但节理很发育,其中有一组节理倾向河心。当沿崖脚顺河修筑公路,经大爆破开挖边坡后,破坏了自然稳定度,于1984年7月大雨之后突然发生数十万立方米的塌方,中断交通达半年之久。疏通后,道路向河岸加宽,用半旱桥式挡土墙加固外边坡。然而,内边坡高崖上还有多处风化裂隙,崩塌的隐患仍然存在!



导图-2 赵里溪一号大桥3号墩地质剖面图

Q^{al} -冲击砂卵石; E^1 -泥质页岩及钙质、泥质粉砂岩;理,不得不改跨另设桥墩^①。

E^2 -泥质条带灰岩(据:《山区铁路工程地质》)

又如:成昆线某新干线赵里溪一号大桥(见导图-2),横跨一不对称“U”型溪谷的弯曲地段,三号墩位于沟底,其表层覆盖有4~5m厚的冲、洪积物,下伏基岩为寒武系大寨沟组页岩及泥质粉砂岩,岩层走向与线路斜交,岩层倾角为 $80^{\circ}\sim 85^{\circ}$ 。当施工开挖到设计标高时,有1/3的地基为塑性状态的粘土层(页岩及泥质粉砂岩长期受水浸泡软化而成),经钻探查明,软层深度达24.5m以下,难于处

上述实例表明,在路桥工程中对不同地段的工程地质条件必须做深入的调查研究,取得具体可靠的地质资料后,才能为路或桥的合理布设、安全施工、正常营运起到保障作用。

第三节 本课程的任务及学习方法

《地质与土质》课程的主要任务是在路桥工程中能从技术的角度去认识和解决有关工程地质方面的问题;通过教学与实习、实验能得到一些基本技能的训练,学习搜集、分析和运用有关地质资料、图件,并结合其它专业课的学习能对一般工程地质问题进行初步评价,为完成路桥工程勘测、设计和施工任务打下地质学与土质学方面的基础。

本课程的学习方法应与其所研究的内容相适应,其方法有:

(一)地质学方法 即从地质发展历史的角度去分析工程地质条件的形成及其演化规律,并依此预测建筑物在施工中和建成后,其地质条件可能发生的变化情况,以便做出区域性的定性分析。

(二)试验方法 是在定性分析的基础上,进一步做出定量评价的一种重要手段。即需要广泛采用试验方法,以取得一定的数据。

1. 通过室内和野外现场的试验工作,取得土或岩石工程性质的各项指标的具体数据;
2. 通过勘探和测量,取得岩体中各种软弱结构面的产状、风化深度等变化的数据;
3. 通过现场定点长期监测,取得各种特殊地质现象的发展速度、演变特点和发育程度的数据。

(三)计算方法 根据上述各项试验所取得的各种数据,在进行定量评价的同时,需利用有关理论公式或经验公式进行计算,以研究建筑物的稳定性和对可能发生的变化作出预测。

^① 引自陕西省地质局第二水文地质工程地质队编著的《山区铁路工程地质》,地质出版社,1977年版。

复习思考题

1. 简述地质学、土质学、工程地质学所研究的对象。
2. 解释：工程地质条件和工程地质现象。
3. 公路工程技术人员为什么要学习《地质与土质》这门课程？

第一篇 地质基础知识

第一章 地球与地质作用

第一节 地球概况^①

地球是宇宙中的一个天体,是太阳系九大行星中较小的一颗行星。太阳在银河系里只是 1.6×10^{11} 颗恒星之一;银河系也仅仅是总星系的一个成员;而总星系还只是宇宙的一部分。现代天文观测手段能测知的可见宇宙边缘已达 120 亿光年^②(1999 年欧洲八国建成超哈勃太空望远镜后,可观测到 140 亿光年远的星系)。可见,地球在无穷大的宇宙中是颗极其渺小的星体,真可谓“沧海之一粟”!但是,由于地球在太阳系中所处的位置适宜,使之生物繁衍,发展成为一个具有生命的星球,因而它在宇宙和太阳系中占有特殊的重要地位。

地球——这颗人类赖以生存的星球,它的形状、大小及其运转和物理—化学特性等方面的基本原理和基本数值,是地质学理论发展的基础,也是人类工程活动和工程计算中不可忽视的重要依据。为此,我们对有关地球的基本知识应该有个概略的认识。

一、地球的形状和大小

大家都知道,地球是一个椭圆形的球体。但这一常识性概念的形成却经历了数千年的岁月。古代人们曾以直观感觉,提出过“天圆地方”的假说。如中国古代有“天圆如张盖,地方如棋局”,古巴比伦有“大地如龟背,天空似穹庐”等等说法。

在公元前 530 年毕达哥拉斯(Pythagoras,公元前 580~500 年)曾以球形为最“和谐”、“完美”形体的观点,推论大地应为一球形的抽象概念。直到 16 世纪麦哲伦(Magellan,约 1480~1521 年)的船队于 1519 年 9 月至 1522 年 9 月用了整整三年的时间,完成了第一次环球航行,才证实了地球是圆球形。

后来,1687 年英国牛顿(Newton,1642~1727 年)在《自然哲学的数学原理》一书中提出:在地球引力和绕轴旋转而产生离心力的联合作用下,地球不是正球体,应该是个两极扁平的椭球体。

经过多次精密的经纬度测量和重力测量的结果表明,地球并不是一个规则的几何形体,通常把这个复杂的表面形状称为地球体。由于地球表面的起伏度和整个地球半径相比是微不足道的,所以大地测量学设想,以平静自由海面延伸、穿过大陆构成的闭合面为大地水准面,视为

① 此乃地质学基础之基础,不可不讲,但课时所限,不宜详讲,可列为课后自学、辅导之内容。

② 光年:计量天体距离的一种单位,即光在一年中所走过的距离,约等于 9.46×10^{12} km。

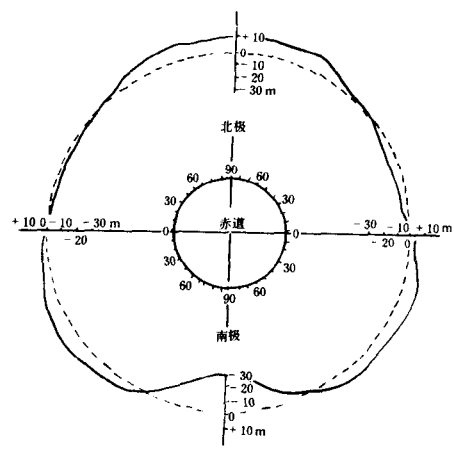
地球真正形状的理想表面。

其实,地球复杂的表面形状是不可能用一个已知的几何形状精确地表达出来的,就是“大地水准面”也很难找到一个简单的数学曲面与之完全吻合。为了便于计算,在大地测量工作中,常以旋转椭球或称参考椭球体来代替。所谓旋转椭球,是指一个椭圆绕其短轴旋转一周,所得到的几何形体。

随着对地球形状的进一步研究,在 1859 年有人认为是地球不是旋转椭球,而是更接近于三轴椭球,即是说地球赤道不是圆的而是椭圆形的。近代人造卫星观察发现子午圈是椭圆,赤道及纬圈也是椭圆。根据目前测量,赤道椭圆长半径 $a=6378.351\text{km}$,短半径 $b=6378.139\text{km}$,赤道扁率 $\beta=1/3000$,其长轴方向大约在西经 20° 和东经 160° ,表明地球实际上为三轴椭球。不过,赤道圈的扁率比子午圈的要小得多,所以仍可近似地认为是旋转椭球。

通过人造卫星从外观上看地球,其大地水准面酷似一个北极略为凸起、南极略为凹平的“梨形”(见图 1-1)。因而,我们可将地球形状概括为“梨状三轴旋转椭球体”。

新近资料所记载的地球形状和大小的有关数据如下:



1. 地球的质量、密度和内部压力

地球在宇宙中渺小得象一粒尘埃,但对人类来说却是一个庞然大物,用什么方法来测定它的质量和平均密度呢?在1798年英国科学家卡文迪什(S. H. Cavendish, 1731~1810年)曾用扭秤实验测试铅球间的微弱引力,测定了引力常数,并通过对牛顿万有引力定律的验证,第一次求出了地球的质量和平均密度。

根据万有引力定律,地球上任何物体受到的地球引力与地球和某物体两质量的乘积成正比;而与两者中心直线距离的平方成反比。计算公式为:

$$F = f \frac{m_E \cdot m}{R^2} \quad (1-1)$$

式中: m_E ——地球质量;

m ——地球表面某一物体质量;

R ——地球半径。

已知: $F = 9.80 \times 10^{-3} \text{N}$

$f = 6.67 \times 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$

$R = 6371 \text{km} = 6.37 \times 10^6 \text{m}$ (地球平均半径)

设:地球表面某一物体的质量 $m = 1 \text{g}$ 时,则

$$m_E = \frac{F \cdot R^2}{f \cdot m}$$

$$\begin{aligned} \text{将已知数代入上式得: } m_E &= \frac{9.80 \times 10^{-3} \times (6.37 \times 10^6)^2}{6.67 \times 10^{-11} \times 1} \\ &= 5.976 \times 10^{27} (\text{g}) \end{aligned}$$

密度是指单位体积内所含的质量,即 $\rho = \frac{m}{V}$ 。当知道了地球的质量后就不难知道地球的密度,因地球是巨大的非均质球体,故只能求出它的平均密度,即

$$\bar{\rho}_E = \frac{m_E}{V_E} \quad (1-2)$$

$$\text{将已知数代入: } \bar{\rho}_E = \frac{5.98 \times 10^{27} \text{g}}{1.0832 \times 10^{27} \text{cm}^3} = 5.517 (\text{g/cm}^3)$$

地球表层的物质可通过实测,其平均密度为 $2.7 \sim 2.9 \text{g/cm}^3$,因此可推测地球内部必然存在着密度较大的物质。根据推算,地心物质最大密度值可达 13g/cm^3 ,最高达 17.2g/cm^3 。

随着地球密度向地心增加,地球内部的压力也在增大。地球内部的压力主要是由上覆物质的重量所产生的静压力,计算公式为:

$$p = H \cdot \bar{\rho}_h \cdot \bar{g}_h \quad (1-3)$$

即静压力的大小决定于上覆物质的厚度(H)与该厚度中物质的平均密度($\bar{\rho}_h$)及其平均重力加速度($\bar{g}_h$)的乘积。

地球内部压力随着深度的增加而递增。一般认为,深度每加深 4.4m 压力增加 0.1MPa ①。地球内部压力变化情况大致是:地下深 10km 处所受压力为 300MPa ; 40km 处为 1000MPa ,岩石在此压强下将要发生软化。地心的压力可高达 $3.65 \times 10^5 \text{MPa}$ 。在这种超高压条件下,物质的原子结构被完全破坏呈等粒子态存在。

2. 地球的重力

① Pa(Pascal)帕斯卡,简称“帕”。MPa(兆帕) = 10^6Pa , 1atm (大气压) $\approx 0.1 \text{MPa}$ 。

地球表面的重力是指地心引力与离心力的合力。地表上任一物质,除了与地球之间产生引力外,还由于地球绕轴自转而产生离心力,见图 1-2。

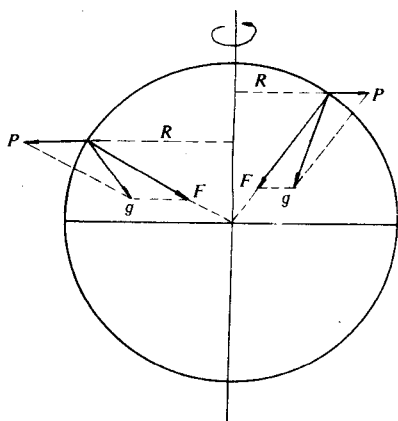


图 1-2 地表重力示意图

g -重力; F -地心引力; P -离心力; R -纬度面半径
(某地点距离地轴的垂直距离)

地心引力遵循万有引力定律,其引力大小与地心间距离的平方成反比,所以地心引力在赤道最小而在两极最大。而地表离心力的大小与地球自转线速度的平方成正比^①,所以在赤道最大,而在两极近乎为零。地表离心力的最大值只有赤道上地心引力的 $1/289$ ^②。由于地球引力比其离心力大得多,故地球表面重力值的正常分布规律是:由赤道向两极方向逐渐加大。根据实测重力值,两极地区比赤道地区约大 0.52%。也就是说,在两极重 1000g 重的物体,在赤道上只有 994.8g。

实际上,由于组成地壳的物质成分有地区性差异,于是会出现实际重力值不同于理论数值,这种现象称为重力异常。比正常理论值大的称正异常,比理论值小的称负异常。利用这一原理可探查和了解地下的地质构造和矿藏分布。

假使把地球自转的线速度加快 17 倍,则赤道的离心力便会增大到 289 倍,与地心引力相等,此时地表的物体就会产生“失重”现象。

3. 地球的温度

地球的温度有两种情况:一种是地球外部的温度,其热力来自太阳辐射热;一种是地球内部的温度,其热力来源于地球内部放射性元素蜕变释放的热能,以及重力分异能、化学能和地球转动能等。

地球外部大气层的温度变化很大,因受到昼夜、季节、纬度、海拔和海陆分布等因素的影响而有所差异,而且这种温度只能影响到地表层不很深的部位,其平均深度大约为 15m。在受外热影响的最下界,有一恒温层,其温度相当于该地的常年平均温。我们把储存于地内恒温层以下的热能称为地热。

在恒温层以下,地球内部温度向下随着深度有规律地增加,通常用地热增温级或地热梯度来表示(单位: $m/1^{\circ}C$ 或 $C/100m$)。即每升高 $1^{\circ}C$ 所增加的深度为地热增温级;每深 100m 所增加的温度为地热梯度,又称地热增温率,两者互为倒数。地热增温级因地而异,如亚洲为 $40m/^{\circ}C$,欧洲多数地区为 $28m/^{\circ}C$ 。但一般以深度 40km 范围内的地热增温率为准,取其平均值为 $3^{\circ}C/100m$ 。

由于受到地内物质的导热性能的影响,地热增温的规律随着深处密度、压力的增大而降低,地热梯度值随深度增加呈递减的趋势。根据实测和推算:在 100km 深处的温度大约为 $1300^{\circ}C$ 左右,这个温度值恰恰是地幔上部玄武岩的熔点;在 1000km 深处的温度近 $3000^{\circ}C$;在 4000km 深处为 $4000^{\circ}C$,地心温度大约为 $5000\sim 6000^{\circ}C$ (1971 年雅各布斯等人曾通过对地球内部熔点和绝热温度的推算,认为地球内核的温度应为 $4250^{\circ}C$ ^③;1987 年 4 月,美国科学家认

① 离心加速度表达式: $J=\frac{v^2}{R}$, R ——某地点距地轴的垂直距离; v ——地球自转线速度。

② 赤道上离心加速度 $3.39cm/s^2$ 和赤道重力加速度 $978cm/s^2$ 的比值。

③ 引自吴佳翼等译, J. A. 雅各布斯等著《地球学教程》,地震出版社出版,1979 年。

为地核的温度大约为 6900K)。

如果地热增温率不是呈递减趋势,而是以 $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 的等差级数推算下去,则在 100km 深处温度为 3000°C ;在 1000km 深处有 30000°C ;在地心就可高达 19 万 $^{\circ}\text{C}$,这么高的温度足以使组成地球的一切物质全部汽化。

4. 地球的磁性

地球是一个巨大的球形磁石体,在它周围的磁力作用形成了一个偶极地磁场。早在两千年前,我国劳动人民就已经会利用磁性,并且发明了指南针。地磁两极与地理坐标上两极的位置并不在一起,地磁极的位置一直在变动中。据近代资料记载,磁极移动情况可列表示之,见表 1-1。

不同年代地磁极的位置 表 1-1

年 代		1600	1700	1829	1885	1900	1922	1950	1961	1966	1970	1983
北磁极	北纬	78°42'	75°51'	73°21'	69°57'	69°18'	71°00'	72°00'	74°54'	75°50'	76°00'	—
	西经	59°00'	60°40'	93°56'	182°45'	96°37'	96°00'	96°00'	101°00'	100°50'	101°00'	—
南磁极	南纬	87°16'	77°12'	72°40'	73°45'	—	72°25'	70°00'	70°00'	66°20'	66°00'	* 65°10'
	东经	169°30'	155°15'	150°45'	153°00'	—	154°00'	150°00'	140°00'	140°00'	140°00'	130°40'

* 为前苏联南极考察队测定的南磁极的地理坐标。

关于磁极移动甚至多次发生倒转的原因尚不清楚,一般认为可能是因地球内部流性铁核发生对流运动所致。

磁场是物质的一种形态。地球磁场以磁极处的磁力较强外,其它地方均比较弱,其场强在近地表处约为 $0.5 \times 10^{-4}\text{T}$ 。^①但场强的空间范围可延伸到地球以外 100000km 的高空。地球磁场的特性通常用磁偏角、磁倾角和磁场强度三个要素来描述。

(1)磁偏角 是指地理子午线与地磁子午线之间的夹角。在测量工作中以地理子午线为基准的方位角为真方位角;以地磁子午线(罗盘指北针)为基准的方位角为磁方位角。磁针偏东为正,称东偏角;偏西为负,称西偏角(见图 1-3)。

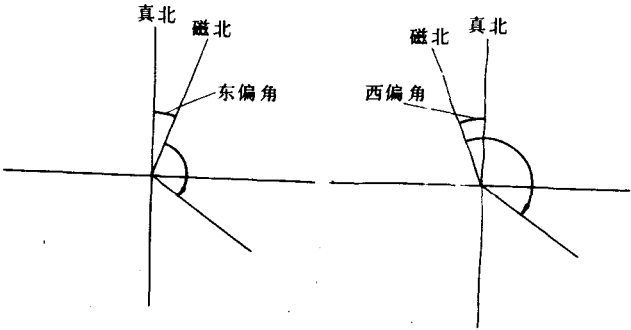


图 1-3 磁方位角与真方位角的关系

真方位角 = 磁方位角 ± 磁偏角 (东偏 +, 西偏 -)

磁偏角的大小,各地因地理位置不同而异,如北京为 $-5^{\circ}50'$ 、哈尔滨为 $-9^{\circ}39'$ 、曾姆暗沙群岛

① T(Tesla 的缩写)特斯拉为磁通量密度的国际单位,简称特。一级马蹄形磁铁的磁场强度约为 10^{-3}T 。

为 $+0^{\circ}24'$ 、成都为 $-1^{\circ}16'$ 、上海为 $-4^{\circ}26'$ ……。

在测设工作中,只要我们按测知^①或查知的某地磁偏角值,将罗盘中的方位刻度盘校正到该值的方位后,即可改为真方位角进行测量。

(2)磁倾角 是指磁针与大地水准面的夹角。由于磁场中磁力线只在地磁赤道上才与大地水准面相平行,其磁倾角为 0° ,而向磁南、北两极都要产生倾角;到磁极点,磁针竖直呈 90° 倾角,以指北针一端为准,下倾者为正,上倾者为负。

(3)磁场强度 这里指的是在地磁场中,促使磁针产生偏角和倾角的磁力大小的绝对值。

地球磁场的特性对大地测量、工程测设、地质勘测等坐标系的换算以及探查地下矿藏分布、地质构造都有很大的意义。

三、地球的圈层构造

地球是宇宙中运动着的球状体。原始地球形成后,在重力分异和化学分异等的作用下,经历了大约 45 亿年的演化过程,从均匀混合的物质状态,逐渐分化成为今天这样的由不同状态和不同物质组成、呈若干同心圈层构造的球状体。通常把地球的圈层构造分为外圈和内圈两大部分。

1. 地球的外部圈层

(1)大气圈 它是围绕地球最外层的气态圈层。一般以海陆表面为其下限。由于大气密度随着高度增加而逐渐稀薄,并向宇宙空间过渡而无明显的上限。根据太阳活动强烈所产生的极光现象,推测其上限可能在 1200km;按人造卫星探测资料,在 2000~3000km 的高度仍有气体的基本粒子存在。但一般将 800km 以上称为外大气层或散逸层(扩散层)。

大气圈按物理性质自下而上分为四层:对流层、平流层、电离层和扩散层。大气圈是多种气体的混合物,其中主要成分为 N、O、Ar、C、He 和 H 等元素。一般认为是由以 CO_2 、CO、 CH_4 和 NH_3 为主的原始大气经生物和水圈的作用后,逐渐演化成为以 N 和 O 为主的现代大气。大气的总质量为 $5.13 \times 10^{15}\text{t}$,占地球总质量的 0.9/百万。因受地球引力,3/4 的大气质量集中于对流层,主要天气现象多发生于此层内。平流层因受太阳光紫外线的光化作用,使 O_2 分解为游离态的 O 原子,O 原子再结合成三价的臭氧 O_3 ,使臭氧层成为保护地表生物的天然屏障。大气圈对地壳的外动力地质作用,对整个生物界的发育和电讯传播等都有很大影响。

(2)水圈 大约 40 亿年前,原始大气圈中有了水蒸气,使水量逐渐增加,逐渐形成了一个似连续包围地球表层的闭合圈,故称之为水圈。水圈包括以海洋为主,以及江河、湖泊、沼泽、冰川、地下水等水体,其总水量约为 $1.5 \times 10^{10}\text{km}^3$,其中海洋水占 94.2%,其它各种水体仅占 5.8%,而海洋面积占地球表面积的 70.78%。

自然界中的水,在太阳辐射热的作用下,经蒸发变为水气进入大气圈,随着气流运动,在适当条件下以降水形式又落到陆地和海洋,这种往复循环过程,称为水的循环。通常把水分由海洋到陆地,再到海洋的循环称为大循环;把海洋或陆地内部本身的循环称为小循环。把水分在循环过程中,降水量与蒸发量之差恒等于蓄水量的变化值,称为水量平衡,见图 1-4 所示。

在其循环的过程中,大陆降水量只占总降水量的 20.6%,然而这一水量却是不断改变地球面貌的外动力地质作用的强大动力因素。

水圈对生命的起源、生物的演化和发展起着十分重要的作用。

^① 在某地用罗盘仪测定北极星于上中天或下中天时的地面投影直线与指北针的夹角,即为该地的磁偏角。