

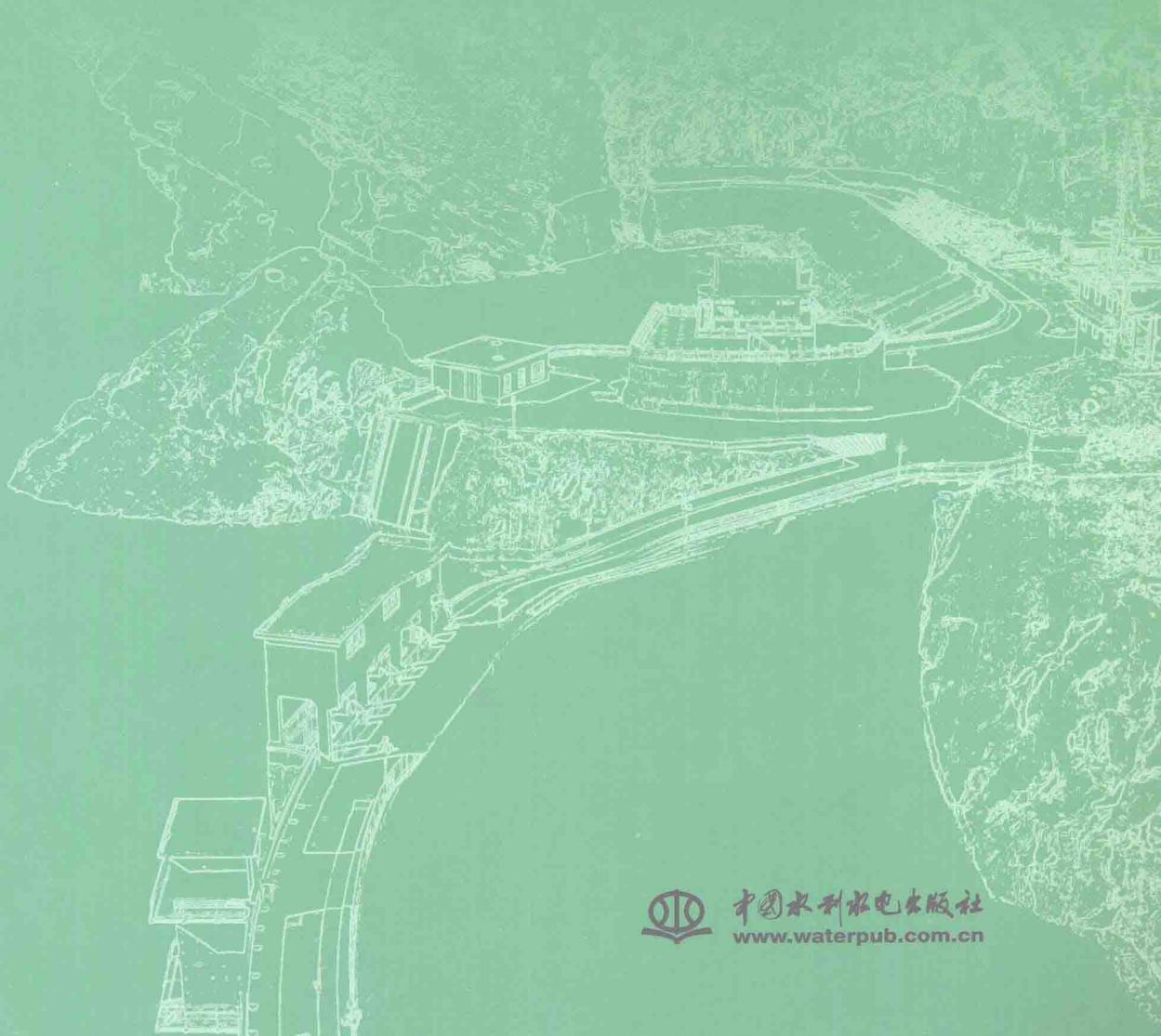


普通高等教育“十二五”规划教材

工程地质及水文地质

(第三版)

左建 温庆博 等 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



普通高等教育“十二五”规划教材

工程地质及水文地质

(第三版)

左建 温庆博 等 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本教材共十三章,主要内容包括:地球的宇宙环境,岩石及其工程地质性质,构造运动及其形迹,自然地质作用系统,地下水的地质作用及水质评价,地下水运动的基本规律,坝的工程地质分析,边坡的工程地质分析,地下工程围岩稳定性的工程地质条件,水库的工程地质分析,环境地质系统,数字地球简介,工程地质及水文地质勘察。

本教材注重吸收最新的前沿科研成果,同时介绍了治理自然地质灾害的实例,特别是在每章都以典型工程实例进行分析。

本教材涉及知识较广、内容比较丰富、图文并茂、通俗易懂,可作为农业水利工程、水文水资源、水利水电工程、土木建筑工程等专业的教材,也可供从事相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程地质及水文地质 / 左建等主编. -- 3版. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2013. 12
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5170-1535-2

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第305623号

审图号:GS(2013)2610号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 工程地质及水文地质(第三版)
作 者	左建 温庆博 等 主编
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(发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话:(010)88383994、63202643、68545874 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	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 17印张 403千字
版 次	2004年2月第1版 2004年2月第1次印刷 2013年12月第3版 2013年12月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	35.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

编写人员名单

主 编 左 建 (沈阳农业大学)

温庆博 (清华大学)

孔庆瑞 (沈阳农业大学)

杨武成 (沈阳农业大学)

周林飞 (沈阳农业大学)

高贵全 (云南农业大学)

副主编 靳轶群 (沈阳农业大学)

左 青 (沈阳职业技术学院)

宋 波 (沈阳农业大学实验场)

张婉慧 (沈阳大学)

张瑞琳 (辽宁商贸学院)

韩春兰 (沈阳农业大学)

张 勇 (河北建筑大学)

参 编 (按姓氏笔画为序)

王 鹿 (北京工业大学)

王宗霞 (沈阳农业大学)

左 莎 (沈阳石油化工厂)

张剑波 (辽宁省农业技术学校)

第三版前言

根据教育部 1998 年颁布的普通高等学校专业目录“工程地质及水文地质”是水利水电专业、农业水利工程专业、土木建筑工程专业的主要课程。

经过四十多年的实践与总结,研究的深入与成果的积累,“工程地质及水文地质”已形成了自己的理论体系,概括为以工程地质条件研究为基础、以工程地质问题分析为核心、以工程地质评价为目的、以工程地质勘察为手段。《工程地质及水文地质》一书就是按照这一理论体系编写的。

新中国成立以来,我国在各方面开展了史无前例的大规模工程建设,包括能源、交通、工业、矿山、水利以及国防工程和城市建设等。改革开放将工程建设推向了新的高潮。20 世纪 80 年代以来建成和正在兴建的若干举世瞩目的巨型工程,如长江三峡水利枢纽工程、小浪底水利枢纽工程、大亚湾核电站、京九铁路、内昆铁路、金川镍矿、山西煤化工基地、长江大桥工程等,不胜枚举。这些工程对地质条件要求高,技术难度大,遇到严重的地质灾害和工程地质问题,工程地质学家为它们的勘测、论证和设计、施工提供了重要的技术保障。同时,通过这些重大工程的实践,也使工程地质工作发展到新的水平,从工程地质条件的勘测、评价走向定量预测和地质工程的实施。

在解决工程建设关键地质问题的同时,工程地质的科研、教学和技术都得到快速的发展。针对我国地质构造复杂性、活动性及地质环境的特殊性,中国工程地质研究取得若干举世瞩目的成就,丰富了国际工程地质学的宝库。我国区域地壳稳定性研究取得丰硕的成果;工程地质力学理论,密切了地质和力学及工程的结合;黄土及岩溶地区工程地质做出了富有我国特色的研究;在地质环境和灾害领域的研究正在开拓和突破;现代科学的系统论、非线性理论、不确定性广泛地受到工程地质学家的重视和应用,出现了若干新的生长点和理论进展。

地球科学自 20 世纪 50~60 年代以来发生了重大变化;工程地质及水文地质的任务也从较简单地保障社会生存和发展对各种资源的需求,转变为社会

可持续发展的更多方面服务的轨道上来。地球科学本身和任务的变化,决定“工程地质及水文地质”教学内容必须更新和调整。为面向21世纪人才培养的需要,《工程地质及水文地质(第三版)》在前两版基础上做了较大的改动。

(1) 对当前人们关注的人类活动与环境地貌地质灾害和资源等问题在新教材中作了补充,增添了“人类活动形成的地貌”和“地质灾害”等章节。

(2) 本教材注重吸收最新的前沿科学成果,如变质岩的转化、区域地壳稳定、海底的淡水开发、截雾取水、环境地质问题、数字地球、地球的能量系统等。

本教材在编写过程中,曾广泛征求兄弟院校有关专家、教授的意见,许多单位,如北京大学、清华大学、中国地质大学、吉林大学、石家庄经济学院、郑州大学、河海大学、中国矿业大学等都提出了许多宝贵意见和建议。全书由左建统稿,又经多次反复修改后定稿出版。在此,谨向有关的老师表示衷心的感谢!

鉴于编写者水平有限,时间仓促,书中不当之处,恳请读者批评指正。

编 者

2013年9月

第二版前言

根据教育部 1998 年颁布的普通高等学校专业目录,“工程地质及水文地质”是水利水电专业、农业水利工程专业、土木建筑工程专业的主要课程,本教材为此而编写。

地球科学自 20 世纪五六十年代以来发生了重大变化。工程地质及水文地质的任务也从较简单地保障社会生存和发展对各种资源的需求,转变到为社会可持续发展的更多方面服务的轨道上来。地球科学本身和任务的变化,决定工程地质及水文地质教学内容必须更新和调整。

为满足 21 世纪人才培养的需要,本教材在内容上也做了较大的改动。

(1) 以往在内外动力地质作用教学中一般遵循三段式:即现象—机理—实例的模式,侧重于知识本身的传授。本教材在此基础上加强了资源与环境、地质灾害与防护等与人类可持续发展密切相关的内容。

(2) 地球系统的未来,很大程度上取决于人类活动作为一种地质因素对地球系统的叠加效应。因此,本教材从地球的变迁,人类与地球系统的关系,人类在地球系统中的作用等方面介绍人—地关系,使读者认识到人类只有一个地球,从而树立环境意识,并肩负起保护地球、保护环境的任务。

此外,本教材大量使用国内外典型地质现象和工程实例,增强了读者的直观认识;更重要的是本教材采用四维空间思维研究地质、地貌特征,便于学生对理论的理解,提高实际应用能力。

本教材由沈阳农业大学左建等主编,参加编写人员如下:

沈阳农业大学左建、杨武成、孔庆瑞、靳轶群、周林飞、韩春兰、钮旭光、赵秀玲,清华大学温庆博,云南农业大学高贵全,华北水利水电学院张勇,辽宁省农业科学院葛维德,沈阳石油化工厂左莎,辽宁省农业技术学校张剑波,辽宁省义县农业技术推广中心龙云程,辽宁省农业展览馆杨宏。全书由左建统稿。

本教材在编写过程中,曾广泛征求兄弟院校有关专家、教授的意见,许

多单位，如北京大学、清华大学、中国地质大学、吉林大学、石家庄经济学院、郑州大学、河海大学、中国矿业大学等都提出了许多宝贵意见和建议。在此，谨向有关人员表示衷心的感谢！

鉴于编写者水平有限，时间仓促，书中不当之处，恳请读者批评指正。

编 者

2009年2月

第一版前言

本教材是根据教育部在 1998 年颁布的《普通高等学校本科专业目录和专业介绍》中,《工程地质及水文地质》为农业水利工程专业、水利水电工程专业的主要课程而编写的。

本教材可作农水、水电、水工、施工、水资源、建筑管理等专业的必修课教材,也可供水利水电类及土木等专业师生及工程技术人员参考。

本教材由沈阳农业大学左建等主编,参加编写人员分工如下:沈阳农业大学左建(绪论、第一章),黄河水利职业技术学院盛海洋(第二章),清华大学温庆博(第三章),沈阳农业大学杨武成(第四章),沈阳农业大学高等职业技术学院赵秀玲(第五章和第一章部分内容),沈阳农业大学周林飞(第六章、第十三章),西安理工大学陈蕴生(第七章),西北农林科技大学刘俊民(第八章),西北农林科技大学严宝文(第九章),华北水利水电学院张勇(第十章),石河子大学李进云(第十一章),云南农业大学高贵全(第十二章),沈阳农业大学孔庆瑞(第十四章),沈阳石油化工厂左莎、辽宁省义县农业技术推广中心龙云程(图稿和第十四章部分内容),东北农业大学张忠学(第十五章)。全书由左建统稿。

本教材在编写过程中,曾广泛征求兄弟院校的意见,许多单位,如吉林大学、河海大学、西安地质学院、石家庄经济学院、四川大学、郑州工业大学、福建农林大学、重庆交通学院、河北农业大学、成都理工大学的有关教师都提出宝贵意见,经编写人员多次研究,确定编写大纲,又经多次反复修改后定稿出版。在此,谨向有关的老师表示衷心的感谢!

鉴于编者水平有限,时间仓促,教材中不当之处,请读者批评指正。

编 者

2003 年 10 月

目 录

第三版前言

第二版前言

第一版前言

绪论	1
第一章 地球的宇宙环境	5
第一节 地球在宇宙中的位置	5
第二节 地球的主要特征	8
第三节 地球的结构	11
第四节 地壳及地质作用	16
第五节 21 世纪我国地球科学发展的方向	23
第二章 岩石及其工程地质性质	25
第一节 造岩矿物	25
第二节 岩浆岩	36
第三节 沉积岩	41
第四节 变质岩	47
第五节 岩石的工程地质及水文地质评述	53
第三章 构造运动及其形迹	55
第一节 地壳运动	55
第二节 板块构造学说简介	57
第三节 地层年代	59
第四节 水平构造、倾斜构造、褶皱构造和断裂构造	63
第五节 活动断层工程地质	67
第六节 全球构造及新构造观	70
第四章 自然地质作用系统	73
第一节 风化作用	73
第二节 河流地质作用	79
第三节 岩溶	86

第四节	泥石流	89
第五节	地震	92
第六节	数字地震观测系统	96
第五章	地下水的地质作用及水质评价	100
第一节	自然界中的水	100
第二节	地下水的物理性质和化学性质	103
第三节	地下水的类型及特征	105
第四节	泉的类型与特征	111
第五节	地下水水质评价	112
第六章	地下水运动的基本规律	121
第一节	重力水运动的基本规律	121
第二节	包气带中地下水的运动	135
第三节	结合水运动规律	136
第七章	坝的工程地质分析	138
第一节	水工建筑物工程地质条件	138
第二节	坝基的渗漏	141
第三节	坝基渗透变形分析	146
第四节	工程实例分析（黄河小浪底枢纽工程）	149
第五节	坝基（肩）岩体抗滑稳定分析	152
第六节	坝基的沉降	155
第七节	坝址选择原则与依据	157
第八节	工程实例分析（黄河万家寨水利枢纽工程）	159
第八章	边坡的工程地质分析	164
第一节	边坡变形的特征	166
第二节	影响边坡稳定性的因素	171
第三节	边坡稳定性的评价方法	173
第四节	不稳定边坡的防治措施	179
第五节	我国斜坡工程研究现状	180
第九章	地下工程围岩稳定性的工程地质条件	184
第一节	洞室围岩应力的重分布及变形特征	184
第二节	地下洞室规划、设计中的有关问题	189
第三节	围岩工程地质分类	197
第四节	保障洞室围岩稳定的措施	200
第十章	水库的工程地质分析	203
第一节	水库渗漏	204
第二节	水库地震	209

第三节	库岸稳定	210
第四节	水库浸没	212
第十一章	环境地质系统	214
第一节	地面沉降	214
第二节	地面裂缝	218
第三节	地面塌陷	219
第四节	海水入侵	220
第五节	地下水污染	221
第六节	洪水灾害	222
第七节	固体垃圾	223
第八节	人类活动导致重金属元素的富集	224
第九节	人类活动对土壤环境的影响	224
第十节	人类活动对大气环境的影响	226
第十一节	地球化学场与人类健康	228
第十二节	依法保护地质环境及国际合作防灾减灾	229
第十二章	数字地球简介	231
第一节	信息时代与数字地球	231
第二节	数字地球的基本概念	232
第三节	高空间分辨率的遥感卫星数据	234
第四节	遥感小卫星	235
第五节	全球定位系统 (GPS)	236
第六节	数字地球应用	237
第十三章	工程地质及水文地质勘察	246
第一节	地质勘察工作的目的及任务	246
第二节	勘察的基本手段和方法	249
第三节	天然建筑材料的勘察	254
主要参考文献		258

绪 论

太阳系是由太阳、行星及其卫星、矮行星、小行星、彗星和行星际物质组成的一个天体系统。21 世纪是全面探测太阳系并为人类社会长期可持续发展服务的新时代。

一、工程地质及水文地质在水利水电工程建设中的作用和任务

工程地质学及水文地质学是从地质学发展起来的两门新兴学科。工程地质学主要是研究与工程建设有关的地质问题的学科；水文地质学主要是研究地下水的学科。这两门学科都是以地质学为基础，而且互相关联、相互渗透，并各有特色。下面分别简要介绍一下它们在水利水电工程建设方面的作用和任务。

水利水电工程是国民经济建设中的重要组成部分，具有广泛的经济、社会和环境效益。如工农业的供水、灌溉、防洪、发电、航运、林业、渔业、畜牧业、旅游业及改善环境等。

工程地质在修建水工建筑物过程当中的作用和任务如下：

(1) 勘察建筑地区的工程地质条件，为选点、规划、设计及施工提供工程地质资料，作为工程的依据。

(2) 根据工程地质条件论证、评价并选定最优的建筑地点或线路方案。

(3) 预测在工程修建时及建成后的工程管理运行中，可能发生的工程地质问题，提出防治不良的工程地质条件的措施。

生产实践证明：工程地质在工程建设中的作用，已不仅仅是完成为建筑物的修建提供必要的地质资料，而且贯穿在整个工程建设的规划、设计、施工及管理运行的全部过程之中。工程地质工作质量的好坏，直接或间接地关系着工程建筑的安全可靠性、技术可能性及经济合理性。历史经验表明：工程建筑，特别是水工建筑，不怕工程地质条件复杂，也不怕工程地质问题繁多，就怕对工程地质条件的勘察研究不重视、不充分，这样会给工程建筑带来严重的后果。

我国从 1949 年以来，已建成坝高 15m 以上的大坝水库 18000 余座。由于党和政府非常重视工程地质工作，因此，直接由于地质问题而产生的垮坝事故极为罕见。然而，由于对工程地质条件研究不够，或对工程地质问题处理不当，因此而造成的水库或坝基漏水、水库淤积及边岸滑塌、隧洞塌方等工程事故还是屡见不鲜。

水文地质工作的主要任务是调查研究以下要素：

(1) 地下水的形成、埋藏、分布、运动以及循环转化的规律。

(2) 地下水的物理、化学性质，成分以及水质的变化规律。

(3) 解决合理开发、利用、管理地下水资源以及有效地消除地下水的危害等实际问题。

水文地质工作,不仅要配合上述工程地质工作,提供有关水文地质条件方面的资料,而且还要在农田灌溉、抗旱、防涝、治碱以及环境保护工作等方面,起先决和主导作用。

据有关部门估算,我国的水资源总量为 27210 亿 m^3 , 其中地下水资源为 7718 亿 m^3 (约占 1/4 强)。但水资源的分布是极不均匀的,如干旱少雨的北方地区,土地资源十分丰富,而水资源十分贫乏。水土资源的组合也极不均衡,尤以海河、辽河、淮河流域最为突出。这三个流域的耕地面积占全国耕地总数的 33.2%,而水资源却只占全国水资源总数的 7.4%,每亩耕地平均占有水资源量,只有全国平均数的 14%~33%,因而缺水十分严重,所以有的地区仍然是“十年九旱,靠天吃饭”。又如我国南方地区,虽然降雨量和地表径流量比较丰沛,但分布也极不均匀,特别是云、桂、黔等省,石灰岩分布广泛,喀斯特(岩溶)十分发育。“一场大雨千弄涝,天晴三日万山焦”,“修塘不蓄水,筑坝不拦洪”,大量的地表水漏至地下,因而地表缺水现象也很严重。农田灌溉是“旬日不雨,即成旱象”,“米如珍珠水如油”。这些民间谚语都说明,在我国无论是北方地区,还是南方地区,水利工程建设不仅需要开发利用地表水,而且需要开采、利用地下水资源。这就要进行大量的水文地质工作。

1949 年以后,我国对淮河、黄河、海河、黑龙江、辽河、珠江及长江等进行了综合治理和流域性的开发利用,兴建了一大批大、中、小型水利工程。据统计:全国已建成的水库库容在 10 万 m^3 以上的水库达 86400 座,万亩以上的灌区达 6000 处,初步控制了洪水灾害,并发展了灌溉、水电、航运、水产、旅游等事业。此外,在开采地下水方面,为寻找地下水资源,我国开展了全国性的水文地质普查工作,并用汇泉、打井、截潜流等多种形式开采地下水资源,这些对我国的社会主义建设事业起了巨大的推动作用。为实现我国社会主义的四个现代化,同时也为我国的水利水电建设事业以及工程、水文地质科学的进一步发展,展现了无限广阔的前景。

二、本课程的主要内容及教学要求

本课程是水利水电相关专业的一门专业基础课,根据水利部的“教学大纲”,本课程的基本教学要求是通过三个教学环节:讲课、实习实验课与作业以及地质教学实习,掌握工程地质及水文地质的基本知识;学会分析水工建筑物的工程地质条件和问题的基本方法;能阅读和分析水工建筑中常用的地质图件和资料,为今后学习农业水利工程及水利水电工程等专业课打下基础。

以上教学内容可概括为三个组成部分。

(1) 地质学基础部分。地球的基本知识:主要介绍地球的形态、表面特征及地球的分层构造。岩石是地壳的基本物质,通过造岩矿物的引入和肉眼鉴定,认识与区别三大类岩石:①火成岩、沉积岩及变质岩的特征地质构造;②应用地壳运动的理论,阐述当今地球表层(地壳)仍然是在不断地运动和发展着的;③自然(物理)地质作用,主要介绍与水利水电工程密切相关的几种自然地质作用,如风化、河流地质作用、喀斯特(岩溶)、滑坡与崩塌、泥石流与地震等。

(2) 水文地质部分。地下水概述,主要阐述自然界水的循环规律,地下水的生成和类型,岩石的水理性质,含水层及隔水层,地下水的埋藏和贮存规律,地下水的物理性质及

化学成分以及水质分析和评价标准。地下水运动,介绍线性及非线性的渗透定律,地下水完整井稳定流运动方程中的应用。

(3) 工程地质部分。坝的工程地质研究,主要介绍坝的设计和施工中出现的各种地质问题;边坡的工程地质研究,主要介绍在水工建筑中对坝址、坝型选择的重要意义;隧洞的工程地质研究,隧洞在水利水电工程中的应用和作用。水库的工程地质研究,包括水库的渗漏、浸没、环境地质问题,如地面沉降、地裂缝、地面塌陷、海水入侵等;地下水污染,洪水灾害以及环境地质研究现状等。水利水电工程地质勘察,主要介绍勘察的目的与任务,勘察设计阶段的划分和勘察程序,工程地质测绘、勘探、试验及长期观测工作的基本内容。

这三个部分是相互关联并逐步联系专业实际的,在教与学过程中应运用辩证唯物主义的观点和方法,理论联系实际,地质联系工程,由浅入深,循序渐进。本课程是一门实践性比较强的专业基础课,除课堂教学外,还要进行地质实习及实验课,课外做一定量的作业和看教学录像,才能不断巩固所学内容。此外,在暑期还要进行野外地质实习,以扩大地质实际知识,增强工程地质及水文地质勘察的概念。

三、本课程的特点和学习要求

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、现在地质学研究中常用的仪器有等离子质谱仪、X射线衍射仪、电子探针等(图0-1,图0-2)。室内研究工作通常还会使用大量的辅助工具,用来扩大人类的观察能力,如偏光显微镜、电子显微镜以及被广泛使用的电子计算机。野外教学实习及电化教学(幻灯、录像)等,是本课程的重要教学环节。尤其是野外教学实习,在本课程中占有重要的特殊地位,与其说是野外教学实习,不如称其为“现场教学”更为恰当。因为它不只是印证、巩固、加深课堂教学内容的问题,而是还有相当多的内容是课堂无法讲授或学生在课堂上无法掌握的知识 and 内容,而这些知识又是必须由教师在野外现场讲解、引导、观察、分析和实际操作才能学到

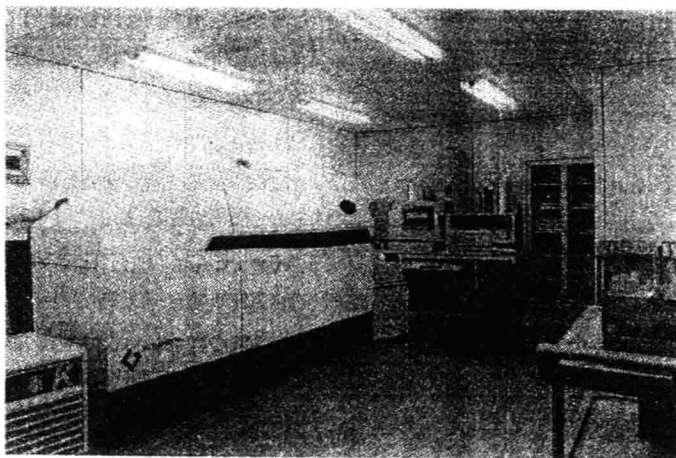


图0-1 ICP-MS多通道高分辨率等离子质谱仪

手的。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。如果缺少和削弱了这个重要的实践性教学环节,那么水文地质及工程地质教学就是不完整的。所以在教与学的过程中,以及在制订教学计划、教学大纲时,对野外教学实习均应给予足够的重视。

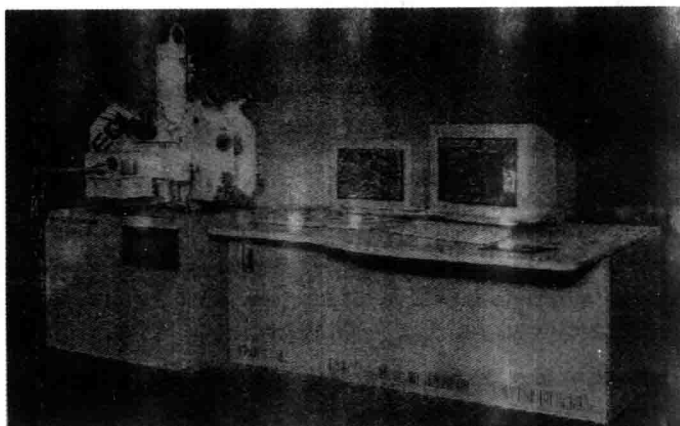


图 0-2 电子探针 X 射线显微分析仪

第一章 地球的宇宙环境

地球科学是认识行星地球的形成、演化以及与人类自身生存和发展休戚相关的气候、环境、资源、灾害、可居住性、可持续发展等的一门自然科学，是人类社会发展的支柱性、基础性科学，与人类社会的发展进步息息相关。

第一节 地球在宇宙中的位置

在广阔无限的宇宙中，地球属于太阳系的一颗行星，而太阳又是银河系中无数恒星之一，宇宙则由很多个像银河系甚至更庞大的恒星集团所组成。

一、太阳系

太阳系以太阳为中心，周围有 8 个大行星携带着绕行自己旋转的卫星环绕着太阳旋转，此外还有许多小行星、彗星、流星等小天体环绕太阳转动，由这些天体组成太阳系（图 1-1）。太阳系的范围很大，直径约 120 亿 km，光从这一端到达另一端需 11h。

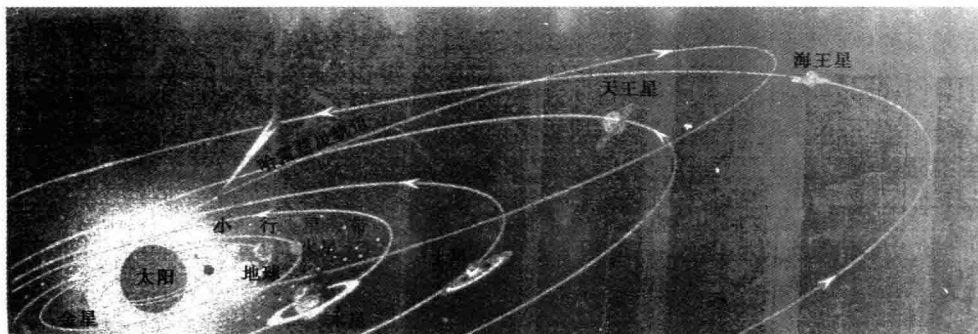


图 1-1 太阳系（行星轨道位置按比例表示）

8 大行星体积大小相差很大。最大的木星比最小的水星大 73500 倍（图 1-2）。按特

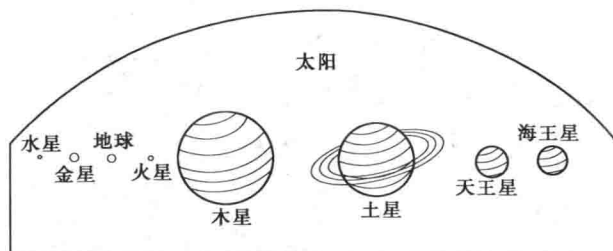


图 1-2 太阳系行星大小的比较