

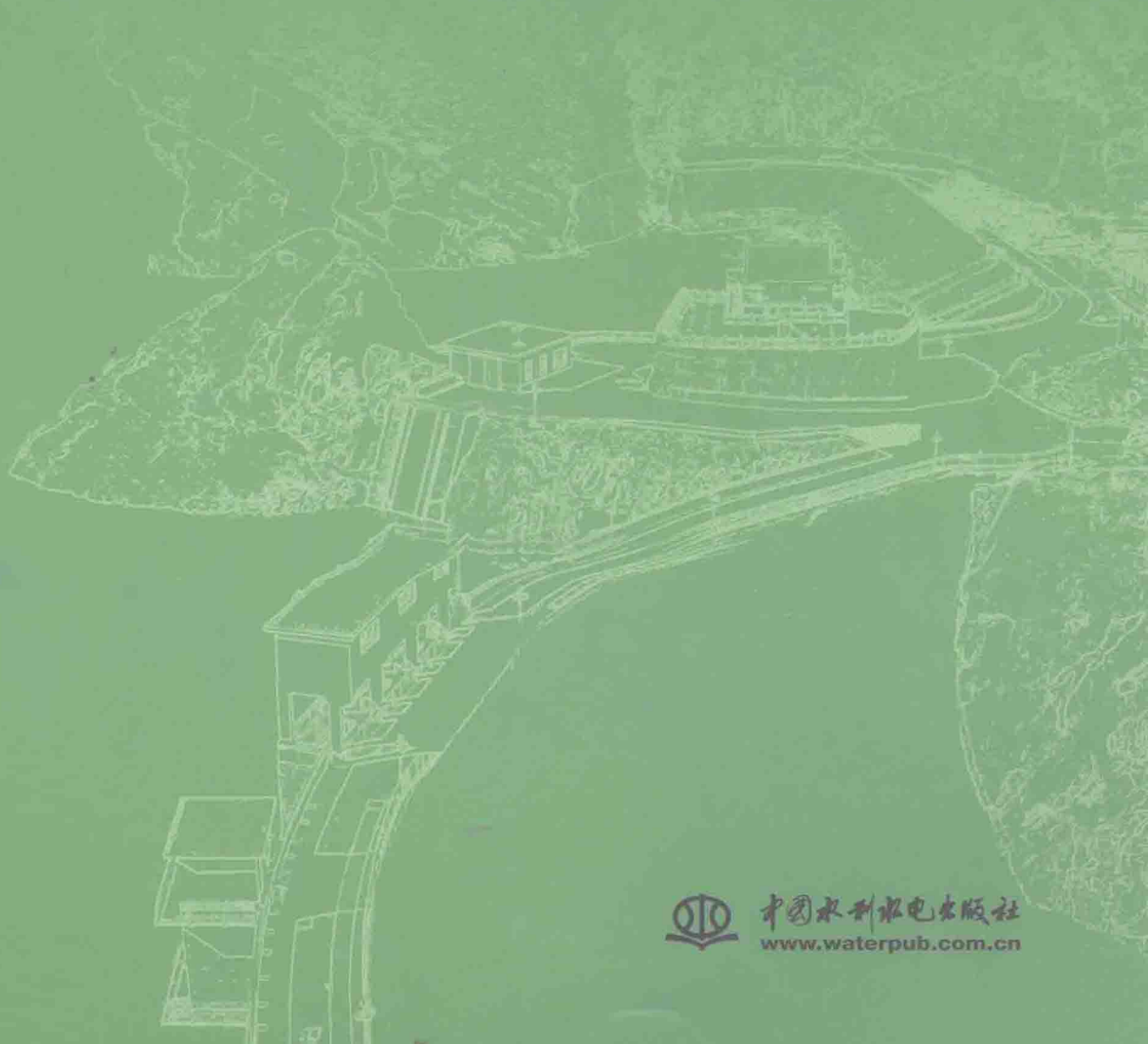


普通高等教育“十二五”规划教材

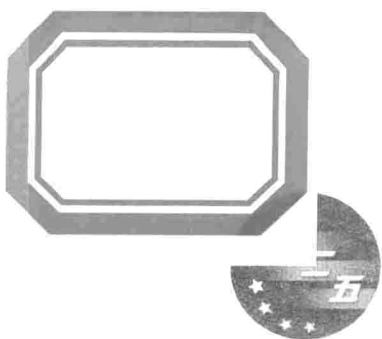
水利工程地质学原理

(第三版)

左建 郭成久 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

水利工程地质学原理

(第三版)

左建 郭成久 等 主编

内 容 提 要

本教材共 13 章, 分别为: 地球的宇宙环境, 岩石及其工程地质性质, 地质构造, 自然地质作用系统, 岩体的工程地质性质分析, 坝基岩体稳定性的工程地质分析, 岩质边坡稳定性的工程地质分析, 地下工程围岩稳定性的工程地质分析, 地基稳定性问题的工程地质分析, 水库的工程地质分析, 环境地质系统, “数字地球”产生的时代背景及应用示范, 工程地质勘察。

本教材注重吸收最新的前沿科学成果——新理论、新观念、新方法、新措施, 内容丰富, 通俗易懂, 图文并茂, 应用广泛。可作为农业水利工程、水利水电工程、水文与水资源工程、土木建筑工程的专业教材, 也可供相关工程技术人员、管理人员使用。

图书在版编目 (C I P) 数据

水利工程地质学原理 / 左建等主编. -- 3版. -- 北
京: 中国水利水电出版社, 2013. 11
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5170-1536-9

I. ①水… II. ①左… III. ①水利工程—工程地质—
高等学校—教材 IV. ①P642

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第305258号

审图号: GS (2013) 2611 号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 水利工程地质学原理 (第三版)
作 者	左建 郭成久 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	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 17.5 印张 415 千字
版 次	2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 版印刷 2013 年 11 月第 3 版 2013 年 11 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	36.00 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)

郭成久 (沈阳农业大学)

温庆博 (清华大学)

靳轶群 (沈阳农业大学)

孔庆瑞 (沈阳农业大学)

高贵全 (云南农业大学)

副主编 张 勇 (河北建筑大学)

张索昊 (济南第一建筑工程公司)

王忠霞 (沈阳农业大学)

左 青 (沈阳职业技术学院)

张慰然 (辽宁大学)

张婉慧 (沈阳大学)

龙 巍 (凌海大学)

张瑞琳 (辽宁商贸职业技术学院)

参 编 左 莎 (沈阳石油化工厂)

左金阳 (西北农林科技大学)

张剑波 (辽宁省农业技术学校)

何 妍 (辽宁农业博物馆)

徐 悦 (辽宁农业技术学校)

董 宁 (辽宁省农业技术学校)

(参编人员按姓氏笔画顺序排列)

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,“水利工程地质学原理”是水利水电、农业水利工程、水文与水资源工程、土木建筑工程等专业的主要课程。

经过 40 多年的实践与总结,研究的深入与成果的积累,教材《水利工程地质学原理》已形成了自己的理论体系,可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,本书就是按照这一理论体系编写的。此次第三版是在前两版的基础上修订而成的。

1949 年新中国成立以来,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。1978 年冬改革开放以来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、黄河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、教学和技术都得到了快速的发展。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了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;我国工程地质力学的理论,密切了地质和力学及工程的结合;对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。

我国工程地质学的理论研究、技术发展和生产实践正在蓬勃地发展,年轻一代工程地质学家正在迅速成长起来,他们已经成为我国工程地质学科研、教学和工程实践中的骨干,逐渐起到主导作用。预期在本世纪的初叶,我国工程地质学理论和工作将会有新的重大发展,我国工程地质学工作者将会进一步在国际工程地质学学术舞台上大显身手。

地球科学自20世纪50~60年代以来发生了重大变化;

“水利工程地质学原理”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。地球科学本身及其任务的变化,决定了“水利工程地质学原理”的教学内容必须更新和调整。

为满足面向21世纪人才培养的需要,对本教材的内容上作了较大的改动。第三版新教材有以下一些特点。

(1) 以往在地壳运动的普遍性教学中一般遵循三段式,即:现象—机理—实例的模式,侧重在知识本身的传授。本教材加强了资源与环境、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,将之作为一种地质因素,对地球系统会产生叠加效应的。所以在教材中从地球的变迁、人类与地球系统的关系、人类在地球系统中的作用等,系统介绍了人—地的关系,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。

(3) 本教材大量介绍了国内外典型的地质现象和工程实例,为读者阅读国内外教材提供方便。更重要的是,用四维空间思维研究地质特征以及工程特征,这样便于学生对理论的理解,利于提高实际应用的能力。

(4) 本教材注重吸收最新的前沿科学成果,如变质岩的转化、区域地壳稳定研究等新方向。另外,书中也涉及地球的能量系统、海底的淡水开发、截雾取水等内容。

(5) 增添了一些典型地质照片,便于读者领略秀美和雄伟的地质景观。

此外,本书在某些小节和段落、标题、文字、插图等方面,也作了一些增减或调整。

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才定稿出版。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,《水利工程地质学原理》是为水利水电、农业水利工程、水文与水资源工程、土木建筑工程等专业的主要课程而编写的。同时,它反映了本学科新的成就和发展方向。

地球科学自 20 世纪 50~60 年代以来发生了重大变化;水利工程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,决定工程地质教学内容必须更新和调整。

为了满足 21 世纪人才培养的需要,本教材在内容上也作了较大的改动。

(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。所以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。

(3) 本教材另一个特点即大量使用国内外典型地质现象和工程实例,为读者阅读国内外教材提供方便;更重要的是用四维空间思维研究地质特征和工程特征,便于学生对理论的理解,提高实际应用能力。

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

2009 年 2 月

第一版前言

《水利工程地质》是根据教育部 1998 年颁布的普通高等学校专业目录中“水利工程地质”为水利水电工程专业、农业水利工程专业、土木建筑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、土木、水资源的必修教材，也可供工程地质、水利水电等专业师生、工程技术人员及管理干部使用和参考。

参加本教材编写的单位有：沈阳农业大学、清华大学、北京工业大学、云南农业大学、东北农业大学、华北水利水电学院、辽宁省水电科学研究所、沈阳石油化工厂、辽宁省义县农业技术推广中心、辽宁省农业技术学校。

参加编写的人员有：左建、郭成久、温庆博、王鹿、高贵全、张忠学、张勇、周林飞、韩春兰、白义奎、李玉清、孔庆瑞、李秀玉、杨丽萍、左莎、龙云程、赵秀玲、徐悦、靳轶群。

本教材编写过程中，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

2004 年 4 月

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	4
第一节 地球在宇宙中的位置	4
第二节 地球的主要特征	7
第三节 地球的结构	10
第四节 地壳及地质作用	14
第五节 21 世纪我国地球科学发展的方向	21
第二章 岩石及其工程地质性质	23
第一节 造岩矿物	23
第二节 岩浆岩	33
第三节 沉积岩	39
第四节 变质岩	44
第五节 岩石的物理力学性质指标	49
第三章 地质构造	52
第一节 地壳运动	52
第二节 板块构造学说简介	54
第三节 地层年代	57
第四节 水平构造、倾斜构造、褶皱构造和断裂构造	60
第五节 区域地壳稳定性研究的发展方向	65
第六节 全球构造及新构造观	66
第四章 自然地质作用系统	69
第一节 风化作用	69
第二节 地面流水的概念	74
第三节 片状流水的地质作用	76
第四节 河流的地质作用与河谷地貌	77

第五节	自然界的水循环	83
第六节	地下水的主要类型与特征	85
第七节	岩溶及岩溶水	93
第八节	地下水水质评价	98
第九节	地震	108
第十节	数字地震观测系统	116
第五章	岩体的工程地质性质分析	119
第一节	岩体的结构特征	119
第二节	岩体的力学特性	130
第三节	岩体的质量评价	134
第六章	坝基岩体稳定性的工程地质分析	138
第一节	坝基岩体的压缩变形与承载力	139
第二节	坝基(肩)岩体的抗滑稳定分析	140
第三节	坝基渗漏与渗透变形	145
第四节	工程实例分析	147
第七章	岩质边坡稳定性的工程地质分析	151
第一节	边坡岩体应力分布的特征	152
第二节	边坡变形破坏的类型	153
第三节	影响边坡稳定性的因素	158
第四节	边坡稳定性的评价方法	160
第五节	不稳定边坡的防治措施	167
第八章	地下工程围岩稳定性的工程地质分析	173
第一节	洞室围岩应力的重分布及变形特征	173
第二节	地下洞室规划和设计中的有关问题	180
第三节	围岩工程地质分类	188
第四节	保障洞室围岩稳定的措施	191
第九章	地基稳定性问题的工程地质分析	194
第一节	地基的压缩与沉降量计算	194
第二节	地基的临塑荷载和极限荷载	203
第三节	各种工程地质因素对地基承载力的影响	208
第十章	水库的工程地质分析	212
第一节	水库渗漏	213
第二节	水库地震	217
第三节	水库浸没	219
第四节	水库淤积	221

第十一章 环境地质系统..... 222

第一节 自然环境与地质灾害 222

第二节 地面沉降 224

第三节 地面裂缝 227

第四节 地面塌陷 229

第五节 海水入侵 230

第六节 地下水污染 231

第七节 固体垃圾 231

第八节 人类活动导致重金属元素的富集 232

第九节 人类活动对土壤环境的影响 234

第十节 人类活动对大气环境的影响 235

第十一节 地球化学场与人类健康 239

第十二节 依法保护地质环境和国际合作防灾减灾 240

第十二章 “数字地球”产生的时代背景及应用示范..... 242

第一节 信息时代与数字地球 242

第二节 数字地球的基本概念 244

第三节 高空间分辨率的遥感卫星数据 244

第四节 遥感小卫星 245

第五节 全球定位系统（GPS） 247

第六节 数字地球应用 247

第十三章 工程地质勘察..... 257

第一节 地质勘察工作的目的及任务 257

第二节 勘察的基本手段和方法 258

第三节 工程地质勘察成果报告 262

参考文献 265

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 世纪将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、工程地质学原理研究目的和主要内容

工程地质学是调查、研究、解决与各种工程活动有关的地质问题的科学。它是地质学的一个分支。研究工程地质学的目的是为了查明各类工程建筑场区的地质条件；分析、预测在工程建筑物作用下，地质条件可能出现的变化；对工程建筑地区的各种地质问题进行综合评价，并提出解决不良地质问题的措施，以保证对工程建筑物进行正确合理的选址、设计、施工和运营。水利工程地质则主要是研究水利水电工程建设中的工程地质问题。

所谓工程地质问题，即与工程活动有关的地质问题，包括以下两个方面。

(1) 自然环境地质因素对工程活动的制约和影响而产生的问题。这种环境地质因素通常称为工程地质条件，它们是自然历史发展演变的产物，主要有：地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件和物理地质现象（滑坡、崩塌、泥石流、风化、侵蚀、岩溶、地震等），以及天然建筑材料等六个方面。

(2) 由工程活动而引起环境地质条件的变化，从而形成不利于工程建设的新的地质作用，通常称为工程地质作用。主要有：建筑物荷载引起地基岩土体的沉陷变形和剪切滑动，人工开挖造成边坡或地下洞室岩土体的变形和失稳破坏，水库诱发地震、渗漏、坍岸和浸没，砂土振动液化，以及潜蚀、流砂等。

这些工程地质问题都可关系到建筑物的安全稳定和经济效益，所以都是工程地质学的主要研究内容。除此以外，工程地质勘察、试验及计算方法等，也都是工程地质学的主要研究内容。

二、工程地质学原理的任务和在工程建设中的意义

水利水电工程建设是人类利用自然、改造自然为经济建设服务的活动，为此，必须首先了解自然。环境地质条件是水利水电工程关系最密切、最重要的自然条件。任何工程都必须首先详细查明建筑地区的工程地质条件和可能出现的工程地质作用，然后结合其特征才能作出正确的规划、设计和施工，才能保证工程的安全可靠和经济合理。许多事例说明：凡是重视工程地质工作，事先了解和掌握了环境地质条件的规律性，则修建的工程将会是成功的；反之，忽视工程地质工作，则必然要出现这样或那样的问题，甚至导致整个工程发生灾难性的毁坏。

在我国大中型水利水电工程建设中，十分重视工程地质勘察工作，所以尚未发生过因地质问题而引起重大的溃坝事故。但也有多起因忽视地质工作或限于某种原因未查明不良地质条件而造成各种隐患和事故的情况，个别小型水库因忽视地质工作也有垮坝事故发生。例如，四川陈食水库，因坝基岩体受到渗透水流的潜蚀冲刷，形成空洞，造成 15.9m

高的砌石连拱坝坍塌毁坏。浙江黄坛口水电站在大坝施工开挖后,才发现左岸坝肩是个大滑坡体,岩石松碎,坝头不能与坚硬完整的岩石相接,不得不停工进行补充勘探,修改设计,才保证了大坝的安全。安徽佛子岭水库,为一混凝土连拱坝,坝高 75.9m,长 510m,1954 年建成,是治理淮河水患的第一座大型工程。由于清基不彻底,坝基下有缓倾角软弱岩层,断层节理及风化严重的岩石(全、强风化)未被清除,致使坝基发生不均匀沉陷变形,坝体发生多条裂缝。后虽经两次大规模加固补强处理,但 1996 年仍被定为“病坝”,仍需彻底处理。梅山水库是治淮工程中的第二座大型水利工程,与佛子岭工程相似,也是由于对右岸坝肩风化严重的花岗岩清除得不彻底,防渗工作做得不严格,结果发生渗漏,右坝肩岩体发生轻微滑动,导致连拱坝拱坝发生位移、拱圈发生裂缝。广东新丰江水电站因发生 6.1 级水库诱发地震,致使大坝发生裂缝。此外,尚有江西上犹江、四川狮子滩及长江葛洲坝水电站坝基泥化夹层问题,湖南柘溪水电站及云南漫湾水电站坝址区滑坡问题等,都延误了工期,造成了较大的经济损失。

工程地质学原理在水利水电工程建设中的主要任务如下。

(1) 选择工程地质条件最优良的建筑地址。在规划设计阶段,大型工程的选址、选线,工程地质条件是一个重要因素,工程地质条件良好的地址,可以节省投资,缩短工期,并保证安全施工和运营。

(2) 查明建筑地区的工程地质条件和可能发生的不良工程地质作用。工程建筑地址的选定不完全决定于地质条件,而首先考虑的是整体经济建设的发展和需要。即便是根据地质条件选择的地址,也不会是完美无缺的,总会有这样那样的工程地质问题。不良的工程地质条件并不可怕,可怕的是没有查明或认识不足、不够重视。早在 20 世纪 50 年代,我国在总结水利水电工程建设经验教训的基础上,就曾提出过“没有足够的工程地质勘察资料,就不能进行设计;没有设计,就不能施工”的规定。只要查明并给以足够的重视,绝大多数工程地质问题都是可以通过工程措施得到妥善解决的。

(3) 据选定地址的工程地质条件,提出枢纽布置、建筑物结构类型、施工方法及运营使用中应注意的事项。

(4) 提出改善和防治不良地质条件的方案措施。

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,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。尤其是野外教学实习,在本课程中占有特殊重要的地位,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和内容,而这些知识又是必须由教师在野外现场讲解,引导学生亲自观察、分析和实际操作才能学到手的。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,那么工程地质教学是不完整的。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。

现在地质学研究中常用的仪器有等离子质谱仪(图 0-1)、X 射线衍射仪、电子探针(图 0-2)等。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。

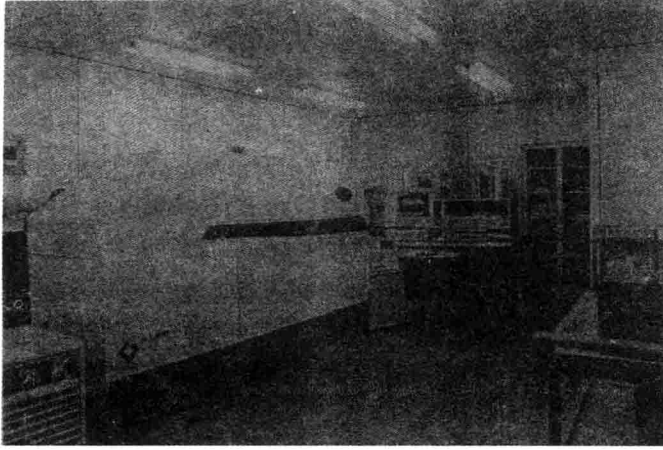


图 0-1 ICP-MS 多通道高分辨率等离子质谱仪

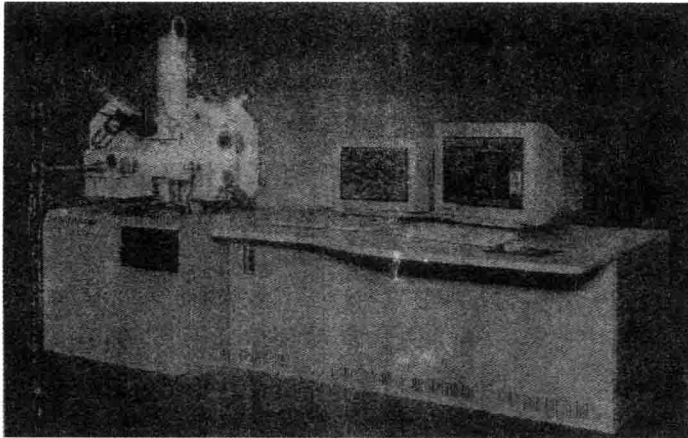


图 0-2 电子探针 X 射线显微分析仪