

长江水利委员会  
大中型水利水电工程技术丛书

# 坝基软弱层(带)工程地质研究

任自民 范中原 蔡耀军 周火明 吕锋 编著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

长江水利委员会  
大中型水利水电工程技术丛书

# 坝基软弱层（带）工程地质研究

任自民 范中原 蔡耀军 周火明 吕锋 编著



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

## 内 容 提 要

本书是在“六五”国家科技攻关项目《复杂地基勘探与工程地质研究》成果的基础上补充后期大量研究成果编著而成。全书共分4篇16章。主要内容包括：软弱层（带）地质基础研究；软弱层（带）工程特性试验研究；坝基软弱层（带）主要工程地质问题及基础处理和运行期监测；坝基软弱层（带）工程地质勘察技术。

本书可供从事工程地质、水文地质、岩土工程、岩石力学、科研与试验、设计与施工的科技工作者，以及大专院校相关专业师生参考阅读。

### 图书在版编目（C I P）数据

坝基软弱层（带）工程地质研究 / 任自民等编著  
— 北京：中国水利水电出版社，2014.12  
（长江水利委员会大中型水利水电工程技术丛书）  
ISBN 978-7-5170-2722-5

I. ①坝… II. ①任… III. ①坝基—软土—工程地质—研究 IV. ①P642.13

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第289183号

书 名	长江水利委员会大中型水利水电工程技术丛书 <b>坝基软弱层（带）工程地质研究</b>
作 者	任自民 范中原 蔡耀军 周火明 吕锋 编著
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 31.5印张 753千字 4插页
版 次	2014年12月第1版 2014年12月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	<b>90.00元</b>

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

长江水利委员会  
大中型水利水电工程技术丛书

编辑委员会

主任 文伏波

副主任 郑守仁 傅秀堂 洪庆余

委员 潘天达 王忠法 陈雪英 成昆煌 刘一是

季昌化 郑允中 张继良 马建华 杨淳

夏仲平 李常发 赵纯厚 钮新强 岳中明

郭熙灵 郭玉 翁立达 袁达夫 徐麟祥

宋维邦 程卫民 董学晟 季学武 陈德基

周少林 杨甫生 魏山忠 胡甲均 史光前

秘书长 赵纯厚

秘书 廖志丹 刘国利 龚国文

## 本书编著者名单

篇 章		编 著 者
第 1 篇	第 1 章	任自民
	第 2 章	任自民
	第 3 章	任自民、吕 锋
	第 4 章	任自民、 <span style="border: 1px solid black;">范中原</span> 、吕 锋
第 2 篇	第 5 章	任自民、吕 锋
	第 6 章	周火明、潘 霄
	第 7 章	周火明、彭 静
	第 8 章	周火明、任自民
	第 9 章	<span style="border: 1px solid black;">曹敦履</span> 、任自民
第 3 篇	第 10 章	任自民、吕 锋
	第 11 章	任自民、吕 锋、于丙子、 <span style="border: 1px solid black;">刘松涛</span>
	第 12 章	任自民、吕 锋、王 黎
第 4 篇	第 13 章	任自民、潘 霄、王 黎
	第 14 章	任自民、彭 静、 <span style="border: 1px solid black;">曹敦履</span>
	第 15 章	任自民、 <span style="border: 1px solid black;">范中原</span>
	第 16 章	任自民、 <span style="border: 1px solid black;">范中原</span> 、吕 锋、曹先玉
全书统稿		任自民、蔡耀军

# 总序

长江水利委员会（简称长江委）是长江流域水资源和水行政主管部门，也是我国水利水电方面一个有影响的科研设计部门。50年来，它编制和定期修订长江流域综合利用规划和长江防洪规划等专业规划，设计了三峡、丹江口、葛洲坝、乌江渡、万安、隔河岩和南水北调等大中型水利水电工程，并参与了工程施工、工程监测和调度运行管理。通过这些工程实践，长江委科技人员不仅理论联系实际地解决了许多复杂的技术难题，还积累了丰富的经验，造就了一批专家。有感于这些经验目前处于分散无系统的状态，为了使专家们的经验和智慧能集中起来，并使之系统化，力求升华为理论，使这笔知识财富长久保存持续利用，我们在长江委领导和中国水利水电出版社的积极支持下，组织编写了这套“大中型水利水电工程技术丛书”。

本丛书是以系统总结长江委治理开发长江水资源的工作为主，随着治江事业的持续发展，将不定期分阶段出版。作为丛书第一批共有16本，其内容是：长江流域综合利用规划研究、工程水文与水资源评价、长江河道演变与治理、长江水利枢纽工程泥沙研究、水利水电枢纽施工技术、导截流及围堰工程、水工混凝土温控与防裂、水工岩石力学、水库移民工程、通航建筑物、水工

金属结构、水利枢纽工程质量标准及监控、水文气候预测基础理论与应用技术、长江流域水利水电工程地质、高坝缓倾角软弱夹层工程地质、三峡工程与可持续发展等。这些方面是长江委多年反复研究实践的重点，且最富成果和创见的领域。本丛书将分册陆续出版，各册合在一起是一套系统的技术丛书，分开来又各自独立成书，以便从事水利水电工程技术的人士参考使用。

长江委在科研设计工作中一贯重视学习他人的经验，积极收集和研究国内外科技信息。借本丛书出版之机，特将世界江河与大坝的有关资料整理出版，作为一本综合性的工具书以飨读者。

本丛书为应用技术类图书，它是实践经验的系统总结，是理论与实践结合的结晶。它既不同于教科书，也不同于论文集。我们希望这套丛书有助于促进我国大中型水利水电工程技术的发展。本丛书可作为从事水利水电工程的科技工作者的工具书，也可作为年轻的水利水电工作者和学生的学习参考书，以帮助新一代水利水电科技专家的成长。

在我们几十年的实践中，不断学习和融合了国内许多专家的智慧和经验。在成书之际，谨向他们致以敬意和谢意！

**长江水利委员会技术委员会**

二〇〇三年十月



软弱层（带）是自然界地质体中普遍存在的一种地质现象，也是坝基岩体中最常遇到的地质缺陷类型。尤其是当岩体中存在缓倾角的软弱层（带）时，问题常常变得更为复杂。国内众多工程先后都被这一问题所困扰，多年来一直是水利水电工程勘测设计中遇到的一大难题。当年长江干流上兴建的第一座大坝——葛洲坝水利枢纽，因许多重大技术问题没有研究清楚而停工两年进行补充初步设计，坝基岩体中的缓倾角层间剪切带（软弱夹层）就是其中的重大技术问题之一。

20世纪80年代，水利部长江水利委员会原勘测总队承担“六五”国家重点科技攻关项目——大型水电站技术开发（15）中的课题15-3-1《复杂地基勘探与工程地质研究》任务。当时正值葛洲坝、小浪底、大藤峡、安康、万安、铜街子等一大批工程坝基岩体中都存在缓倾角软弱夹层或缓倾角断层，给工程勘测设计和施工带来很大的困扰，因此将本课题的攻关重点定位在缓倾角软弱层（带）的勘察与研究上。参与攻关的协作单位有原水利电力部北京、东北、西北、中南、成都以及黄河水利委员会等勘测设计院，湖南、广西勘测设计院、长江科学院、长江水利委员会有关勘测队及高等院校、科研院所。选定参与研究的工程在当时几乎囊括了国内所



有的软弱夹层（带）问题的水利水电工程，包括葛洲坝、龙羊峡、安康、五强溪、小浪底、桓仁、铜街子、隔河岩、李家峡、宝珠寺、万安、上犹江、双牌、大化、凤滩、岩滩、红石、大藤峡、青山、彭水等 20 余座大坝工程。可以说是举全国之力。通过大规模的联合攻关，取得了当时具有国内领先水平的一系列重要科研成果。这样全面、系统地结合众多工程实际进行的软弱层（带）的专题研究，在国内外尚少有先例。对推动我国在复杂地基上建坝的勘测设计工作起到了重要的作用。

《坝基软弱层（带）工程地质研究》一书是作者在“六五”国家科技攻关大量成果基础上，全面、系统地总结了全国 20 多座大型水电工程的工程地质、科学试验、基础处理技术与运行期监测等实践经验，汇集了大量的野外第一手资料、众多专门性的大型现场试验，工程实例分析、数理统计量化评价等方面研究成果，这些资料和成果都是极其宝贵的。而理论与实践相结合，则是本书的最大特色。

本书所提供的理论、方法与若干研究结论，对坝基岩体中含各类软弱层（带）的大坝建设将提供有益的经验。书中的大量方法、分类、数据、评判标准系原攻关成果，亦涵盖 20 世纪 90 年代后期至 2013 年的部分研究成果，并以现行规范为主要依据进行总结与提高。随着我国大坝建设的快速发展，科学技术的长足进步，以及对众多相应技术问题经验的积累和认识水平的提高，坝基相关重大工程地质问题研究水平亦取得了长足的发展与进步。书中丰富的资料、数据和研究方法所提供的有益的经验 and 成果值得借鉴。

当前我国大坝建设的重点已移至西部地区，所遇到的重大工程地质问题更多，也更为复杂，如高陡边坡，坝基大范围破碎岩体，大型地质灾害，高地应力，高地震烈度，大型地下洞室群的围岩稳定，以及深埋长隧洞所面临的岩爆、围岩大变形、高地温等，其复杂性不亚于缓倾角软弱层（带）带来的工程问题。但当年《复杂地基勘探与工程地质研究》科技攻关项目所体现出的那种求实、钻研、协作、奉献与团队精神，则是我们在解决上述复杂工程地质问题时仍需借鉴与发扬的。

本书的出版，将促进工程地质学科的创新和发展，为我国水利水电工程建设作出新的贡献。

中国工程院院士

郑守仁

2014 年 7 月

# 前言

新中国成立 60 多年来，我国水利水电建设事业得到了蓬勃的发展，不同时期在含缓倾角软弱层（带）复杂岩基上进行了大量大型水利枢纽工程建设。20 世纪 70 年代初，举世闻名的长江葛洲坝水利枢纽工程动工兴建。长江流域规划办公室（即水利部长江水利委员会）对白垩系红层中软弱（泥化）夹层的复杂地基进行了大规模系统的地质勘探和科学试验研究，采用多学科渗透和多专业的协同作战，解决了工程建设中重大工程地质、岩石力学及基础处理设计的关键技术。对软弱（泥化）夹层研究程度之深、试验研究手段之多、研究成果之丰，在国内外都是罕见的。为软弱层（带）的勘察研究积累了丰富的经验。此后又有龙羊峡、铜街子、五强溪、安康、小浪底、李家峡、隔河岩、万安等一批大型水利枢纽工程动工兴建，继续推动和丰富了坝基软弱层（带）的工程地质和岩石力学理论与方法的研究。

1983—1986 年，长江流域规划办公室受水利电力部科技司的委托，由长办勘测总队（即长江水利委员会综合勘测局）承担了“六五”国家重点科技攻关项目——大型水电站的技术开发（15）的专题项目 15-3-1《复杂地基勘探与工程地质研究》任务。该项目主要研究课题之一即是复杂地基缓倾角软弱层（带）的工程地质研

究。该课题研究选定的工程有葛洲坝、五强溪、龙羊峡、安康、桓仁、铜街子、大化、小浪底、凤滩、双牌、上犹江、大藤峡、青山、万安、彭水、隔河岩、宝珠寺、李家峡、岩滩、红石等 20 多座已建、正建和勘察设计的大型工程，涵盖了自北向南的松花江、鸭绿江、黄河、长江、珠江等五大水系的干支流上的水利枢纽工程。至今上述工程除青山和大藤峡水利枢纽外均已建成。

攻关协作单位为水利电力部各有关勘测设计院、长江科学院、长办勘测总队所属勘测队。攻关协作单位及主要科技人员有：东北勘测设计院（王行本、王淑南、孙善刚、叶善勋、于海龙、刘治国）；北京勘测设计院（张继超、黄一和）；黄河水利委员会（李振中等）；西北勘测设计院（余仁富、李天扶、王东华、吕生弟、刘建中）；中南勘测设计院（杜伯辉、王常敏、王安生、何文珍）；成都勘测设计院（朱逸棠等）；广西省勘测设计院（刘杰如、程华国、高光庭）；湖南省勘测设计院（杨华荟）；长江科学院（罗淦堂、曹敦履、冯天愈、鄢重新）；长办三峡勘测大队（徐瑞春、程开痒、杨凤山、陈仁祥、朱崇坤、黄纪辛、刘大显）；长办四勘队（徐福兴、涂崇应、樊长华、肖汉云）；长办七勘队（王兰生）；长办三勘队（顾元鼎等）。

长办勘测总队及水利部长江勘测技术研究所技术管理与参加攻关人员有：陈德基（科技主管）、范中原（专题负责人）、崔政权、任自民、田昌骏、陈隆谦、廖燕贻、王菊云、黄长青、刘特洪、韩志诚。

各有关单位还委托武汉地质学院（项伟、邬全华、马进德）；长春地质学院（肖树芳、王先锋、王东坡、刘万洙）；兰州大学地质系（张咸恭、韩文峰、聂德新）；成都地质学院工程地质研究室（徐进、王兰生）；中国科学院地质所、武汉岩土力学所；国家地震局地质大队等单位参加了沉积相及沉积环境研究（葛洲坝、万安、大藤峡工程）；泥化夹层微观结构及抗剪强度特性的试验研究（小浪底、大藤峡工程）；软弱层（带）矿物成分、物理性质及力学特性相关关系研究（龙羊峡工程）；软弱层（带）形成力学机制的物理模拟试验研究（葛洲坝、铜街子、安康工程）等。

参与科技攻关的各单位提交了 52 份软弱层（带）单项研究报告和 8 项勘探机具及试验仪器研制的技术报告和资料。由长办勘测总队组织人员撰写 9 个子专题研究报告，在此基础上编写了《含软弱层（带）复杂地基勘探与工程地质综合研究报告》。

受水利电力部委托，水利水电建设总局于1986年3月29日在北京召开了部级评审会，对“六五”国家重点科技攻关15-3-1《复杂地基勘探与工程地质研究》的科技成果进行了评审，由中国工程院原副院长、两院院士、水电部原总工程师潘家铮教授主持，专家评审委员会委员有：水电部科技司副司长王圣培，水电部基建司俞克礼，水利水电建设总局副局长丁学琦，水利水电建设总局姜国杰、门光永（处长）、朱云祥（处长）、余永良、朱建业、侯建功、刘效黎、段文钰、王立群，松辽水利委员会王行本、杨中汤，天津勘测设计院邵维中，水利水电建设总局陈祖安，长江科学院董学晟等18位领导和专家。

专家评审结语：“本课题针对当前含有缓倾角软弱层（带）地基勘测工作中存在的主要问题，提出了许多具有较高水平和实用价值的科研成果，像这样全面、系统地**对软弱层（带）工程地质问题进行攻关研究**，在国内外尚少有先例，几项主要仪器机具的研制已在工程勘测中使用，技术先进，在国内处于领先地位。研究得出的规律、分类及试验成果具有推广应用价值，如将攻关成果配套应用于有软弱层（带）的工程勘察工作，可以提高勘察成果质量，减少勘探工作量，缩短勘测周期，更可避免出现某些工程由于未及时查明软弱夹层，以致造成工程运行后不能控制蓄水高程和加强补强处理的情况，因此有较大的社会经济效益。评审组认为攻关任务已按期完成，成果符合攻关合同的要求。”

“鉴于本攻关课题涉及范围广、难度大，是个综合性很强的关键技术，‘六五’攻关时间紧迫，虽然已完成了各项任务，取得了显著成绩，但还需要进行一定工作，建议对已经成熟的攻关成果在今后结合具体工程推广，对研制的机具仪器创造条件批量生产，对不够成熟的部分继续完善，以期对坝工勘察设计水平的进一步提高作出贡献。”

本成果于1986年7月获水利电力部科技进步攻关奖。1988年《含缓倾角软弱层（带）复杂地基工程地质研究》，获水利电力部科技进步二等奖。

根据原水利电力部水利水电规划设计总院的要求，希望将攻关成果编写成专著出版，以便进一步推广应用。水利部长江勘测技术研究所承担了专著编写任务。

本书编写历经十余载，本着与时俱进的精神，2000—2013年期间，对若干理论与工程实践问题，进行了深入的补充研究，涵盖了软弱层（带）坝基

抗滑稳定和基础处理关键技术、工程运行期监测；典型工程坝基稳定的数值分析及施工期仿真模拟；“六五”、“七五”、“八五”、“九五”国家科技攻关项目《综合物探技术研究及其应用》成果；软弱层（带）抗剪试验和渗透稳定试验大量试验成果；补充近期已建成的大型水利枢纽工程（四川亭子口、武都及湖北恩施云龙河工程）。

2013年上半年，根据专家审查意见，对有关章节进行调整及内容补充，使本书内容丰富，章节合理，具有科学性及工程实用性。

软弱层（带）是自然界地质体中普遍存在的地质现象。在漫长的地质历史中，软弱层（带）经历了从岩相建造至后期的构造作用和外营力的地质作用改造的形成与演化过程。

软弱层（带）是广义的地质术语，涵盖了原生型软弱夹层、构造型软弱夹层（层间错动软弱夹层，即层间剪切带）和软弱带（如断裂带、裂隙发育带、构造蚀变带等）、风化型及充填型软弱层（带）。本书以缓倾角软弱层（带）研究为主。实际工程勘察中对不同产状的软弱层（带）都要予以重视。

其中泥化夹层即是层间剪切带的重要标志，系指“软硬相间的岩层中夹有薄层含泥质岩层，经构造层间错动破碎后，在地下水长期物理化学作用下形成的结构疏松、粒间联结减弱且完全泥化的夹层。它的存在，给各类岩体工程的稳定性带来严重威胁”（据肖树芳等，1991）。

本书共分4篇16章，主要内容包括：软弱层（带）地质基础研究；软弱层（带）工程特性试验研究；坝基软弱层（带）主要工程地质问题及基础处理和运行期监测；坝基软弱层（带）工程地质勘察技术。本书编著者为任自民、范中原、蔡耀军、周火明、吕锋。全书由任自民、蔡耀军统稿。参与有关章节编写的主要同志还有曹敦履、于丙子、刘松涛、曹先玉等。各章节编写分工见本书编著者名单。

本书内容充分体现了多学科渗透和多专业联合攻关的成果。本书所应用的理论分析与勘察试验研究方法，研究所得出的规律、分类及大量试验成果，以及坝基抗滑稳定、基础处理和运行期监测的工程经验等，将为今后水利水电工程建设提供借鉴和推广应用，对提高勘察成果的质量及可预见性，减少勘探与试验工作量，将起到一定的促进和指导作用。同时本书亦适用于其他地面和地下复杂的含软弱层（带）的岩体工程，如铁道（或隧道）工程、桥梁工程、矿山工程、国防工程、大型地下建筑物及高边坡工程等。

本书的编写与出版，得到水利部长江水利委员会技术委员会、水利部长江勘测技术研究所、长江科学院岩基研究所领导的大力支持与指导，特别是得到长江水利委员会技术委员会原主任、中国工程院文伏波院士的大力支持与指导。中国工程院郑守仁院士为本书作序，在此表示衷心的感谢。

本书于2013年春节前夕，承蒙陈德基勘察大师（主审）、徐麟祥设计大师以及邬爱清、李丛华、徐福兴、周兴志、刘特洪等专家审查，并提出许多宝贵的修改补充意见，在此谨对他们致以衷心感谢和崇高敬意。

本书引用了参加攻关的各单位大量科研成果与试验资料，引用了有关同仁在全国期刊、专著、论文集发表的论文。水利部长江勘测技术研究所曹先玉教授级高级工程师、魏岩俊教授级高级工程师、张胜军高级工程师、李华高级工程师（武钢）、罗红、晏小明、丁凡桢、李娜等众多同志给予了许多帮助，在此一并表示谢意。

历经十载的潜心研究和编撰，本书终于在2014年7月定稿。尚有欠妥和不足之处，诚望读者批评指正。

本书编著单位：水利部长江勘测技术研究所。特邀长江科学院岩基研究所承担本书第2篇第6章、第7章、第8章内容的编写。

**作 者**

2014年7月

于武汉

# 目 录

总序  
序  
前言

## 第 1 篇 软弱层（带）地质基础研究

第 1 章 软弱层（带）的成因及分类	3
1.1 概述	3
1.2 软弱层（带）的成因分析	4
1.3 软弱层（带）的成因分类	5
1.4 不同成因类型软弱层（带）的地质特征	8
第 2 章 原生软弱层的岩相分析与形成环境研究	18
2.1 河流、湖泊沉积相	18
2.2 海陆过渡三角洲河口沉积相	34
2.3 潮汐沉积相	47
2.4 滨海—浅海碎屑岩沉积相	52
2.5 滨海—浅海碳酸盐沉积相	54
2.6 火山碎屑岩相	56
2.7 蚀变带	58
第 3 章 软弱层（带）的形成机制及分布规律	67
3.1 软弱层（带）形态特征	67
3.2 层间剪切带	73
3.3 缓倾角断裂带	96
3.4 缓倾角裂隙发育带	104
3.5 其他（风化型、充填型）	108
第 4 章 软弱层（带）工程地质分类研究	115
4.1 软弱层（带）工程地质分类研究现状	115
4.2 工程地质分类	124

## 第 2 篇 软弱层（带）工程特性试验研究

第 5 章 软弱层（带）物理力学性质	143
5.1 软弱层（带）物质组成及微观结构	143

5.2	软弱层(带)的物理性质及水理性质	158
5.3	软弱层(带)的力学性质	167
5.4	软弱层(带)物理性质与抗剪强度的相关分析	176
5.5	软弱层(带)在长期渗透条件下的物理化学力学性质变化趋势	185
<b>第6章</b>	<b>软弱层(带)抗剪试验方法研究</b>	<b>189</b>
6.1	软弱层(带)的土工试验方法	189
6.2	软弱层(带)的现场试验方法	192
6.3	软弱层(带)取样中剪试验	198
6.4	软弱层(带)的单点法试验	200
6.5	不同试验方法比较及抗剪试验技术改进	208
6.6	软弱层(带)在非常规条件下的抗剪强度	215
<b>第7章</b>	<b>软弱层(带)界面形态特征及其对强度的影响</b>	<b>223</b>
7.1	软弱层(带)界面形态特征	223
7.2	软弱层(带)充填厚度	226
7.3	粗糙度效应	227
<b>第8章</b>	<b>软弱层(带)抗剪强度参数取值</b>	<b>229</b>
8.1	软弱层(带)的剪应力—剪应变特征	229
8.2	软弱层(带)抗剪强度取值原则	231
8.3	软弱层(带)抗剪强度参数的确定	233
8.4	典型工程软弱层(带)抗剪强度参数	237
<b>第9章</b>	<b>软弱层(带)渗透稳定性</b>	<b>250</b>
9.1	概述	250
9.2	渗透变形类型及特征	251
9.3	渗透变形与渗透破坏	256
9.4	渗透变形和渗透破坏的判别及渗透坡降确定	258
9.5	典型工程软弱层(带)渗透变形试验成果	263

### 第3篇 坝基软弱层(带)主要工程地质问题及基础处理和运行期监测

<b>第10章</b>	<b>软弱层(带)坝基的主要工程地质问题</b>	<b>269</b>
10.1	坝基(拱座)抗滑稳定	269
10.2	坝基(拱座)变形稳定	282
10.3	坝基渗透稳定	287
<b>第11章</b>	<b>软弱层(带)坝基抗滑稳定分析</b>	<b>290</b>
11.1	边界条件及概化地质模型	290
11.2	坝基不同概化地质模型的敏感度分析	295
11.3	坝基抗滑稳定数值分析及仿真模拟	303



11.4	坝基抗滑稳定分析案例	323
<b>第12章</b>	<b>坝基软弱层(带)基础处理技术及运行期监测</b>	<b>377</b>
12.1	基础处理及监测技术	377
12.2	工程实例	382
<b>第4篇 坝基软弱层(带)工程地质勘察技术</b>		
<b>第13章</b>	<b>软弱层(带)基础地质研究</b>	<b>415</b>
13.1	工程地质测绘及专题地质研究	415
13.2	岩相及沉积环境研究	419
<b>第14章</b>	<b>软弱层(带)试验研究</b>	<b>426</b>
14.1	软弱层(带)物理水理及力学性质试验	426
14.2	软弱层(带)形成机制物理模拟试验	433
14.3	软弱层(带)渗透稳定试验	446
<b>第15章</b>	<b>软弱层(带)工程勘探技术</b>	<b>467</b>
15.1	平洞(竖井)勘探	467
15.2	大口径钻探技术	468
15.3	小口径特殊钻探及取芯技术	469
<b>第16章</b>	<b>软弱层(带)工程物探技术</b>	<b>471</b>
16.1	钻孔彩色电视摄像技术	471
16.2	综合物探测井技术	474
16.3	浅层地震反射波法勘探	476
附表	土的工程分类对照表	478
参考文献		480