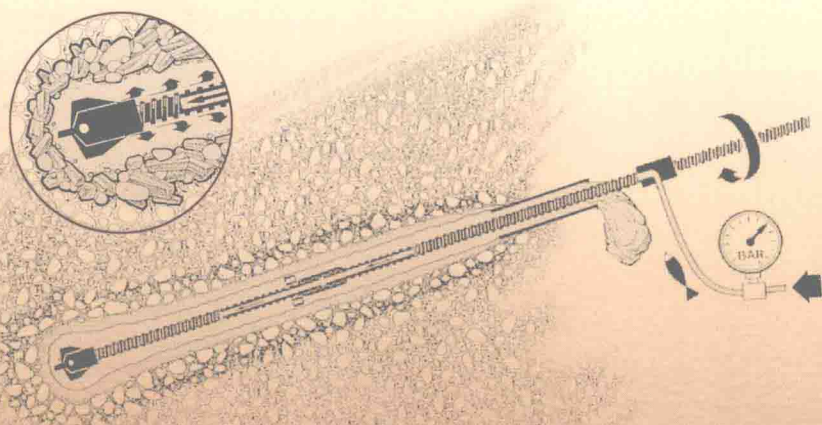


国家一类特色专业 国家卓越工程师教育培养计划
地 质 工 程 专 业 系 列 教 材

GEOTECHNICAL ENGINEERING CONSTRUCTION (2nd Edition)

岩土工程施工 (第二版)

◎ 主 编 陈 晨



地 质 出 版 社

国家一类特色专业 国家卓越工程师教育培养计划
地质工程专业系列教材

岩土工程施工

(第二版)

主编 陈 晨

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本教材系统地介绍了岩土工程常用施工方法的原理、计算及施工工艺。教材共分9章,包括绪论、工程勘察钻探、工程孔施工方法、地基处理技术、桩基础施工、地下连续墙施工、锚固技术、非开挖施工技术和其他岩土工程施工方法。

本教材为高等学校地质工程、土木工程等专业的教学用书,也可供其他相关专业师生和从事岩土工程设计、施工的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

岩土工程施工 / 陈晨主编. —2版. —北京:地质出版社, 2015.7

ISBN 978-7-116-09153-5

I. ①岩… II. ①陈… III. ①岩土工程-工程施工-教材 IV. ①TU4

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第030961号

Yantu Gongcheng Shigong

责任编辑:李惠娣

责任校对:关风云

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

咨询电话:(010)66554528(邮购部);(010)66554579(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

传 真:(010)66554582

印 刷:北京地质印刷厂

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

印 张:28.25

字 数:720千字

印 数:1—2000册

版 次:2015年7月北京第2版

印 次:2015年7月北京第1次印刷

定 价:45.00元

书 号:ISBN 978-7-116-09153-5

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

国家一类特色专业 国家卓越工程师教育培养计划
地质工程专业系列教材

编写委员会

主任委员：孙友宏

副主任委员：陈剑平 陈 晨

委 员：(按姓氏笔画排序)

王茂森 王常明 牛建军 代树林 刘宝昌
李 欣 杨志双 陈宝义 范建华 佻 磊
赵大军 徐会文 徐佩华

编审委员会

主任委员：苏义脑（中石油集团钻井工程技术研究院）

何满潮（中国矿业大学〈北京〉）

委 员：(按姓氏笔画排序)

王 达（中国地质调查局）
石智军（中煤科工集团西安研究院）
肖树芳（吉林大学）
伍法权（中科院地质与地球物理研究所）
刘佑荣（中国地质大学〈武汉〉）
刘宝林（中国地质大学〈北京〉）
张 伟（中国地质调查局）
郑达辉（吉林大学）
殷 琨（吉林大学）
唐大雄（吉林大学）
鄢泰宁（中国地质大学〈武汉〉）
谭周地（吉林大学）
薄景山（防灾科技学院）

序 一

地质工程专业包括传统的工程地质与探矿工程两个专业方向，它是我国国民经济建设不可缺少的专业。随着人类社会的发展和技术进步，其地位愈加重要，应用领域也日益广泛。地质工程专业除了为传统的地质找矿服务外，当前还广泛应用于工业与民用建筑、重大基础设施建设、地质灾害防治、非常规油气资源开发、海洋资源调查等领域，与人们的生产和生活密切相关。

吉林大学地质工程专业办学已有 63 年的历史，经过几代教师的栉风沐雨、辛勤耕耘，为国家培养了一大批杰出人才，取得了一批高水平的研究成果；而该专业所在的建设工程学院，其学科建设和专业特色也享誉海内外。2007 年，吉林大学地质工程学科被评为国家重点学科，2008 年，勘查技术与工程专业（含地质工程专业）被评为“国家一类特色专业”。2010 年，吉林大学首批进入教育部“国家卓越工程师教育培养计划”，勘查技术与工程专业（地质工程方向）为首批实施专业。

吉林大学建设工程学院的老师们，根据地质工程专业教学大纲要求并结合自身教学和科研经验，编写了本系列教材。这个系列教材具有如下特点：一是内容新，不仅保留了原有教材的精华，还增加了地质工程学科的国内外最新科研成果，做到继承与创新的统一；二是自成专业体系，全套教材共 20 种，涵盖了地质工程专业两个方向的专业基础课程、专业主干课程和专业特色课程，满足了专业教学的需要；三是通俗易懂，充分利用现代信息技术手段，将大量的工法原理和非可视化的地下过程，变成图像、图形、图示、表格等形式，可供相关专业人员参考。

我认为，这套系列教材反映了吉林大学地质工程专业 60 多年来深厚的学科积累，凝结了几代教师的心血和智慧，值此谨向参加本套教材编写的教师们表示由衷的敬意！相信这套教材的出版将为我国地质工程专业的发展起到更大的促进作用。

是为序。

中国工程院院士



2015 年 7 月 20 日

序 二

地质工程属于工程技术学科，主要服务于资源开发、工程建设、地质灾害防治与地质环境保护等领域。地质工程学科需要面向我国“走新型工业化道路”和“‘走出去’发展战略”的国家目标，以培养和造就一批创新能力强，适应社会对人才培养多样化的需要，满足学生继续深造或就业的不同需要为导向，以此制定专业培养方案。吉林大学地质工程专业是国家“国家卓越工程师教育培养计划”首批实施专业，为此，该校建立了多样化的人才培养模式和与之相适应的课程体系，改革了教学内容、教学方法，设计了多门优势特色课程。这些措施为培养探索研究型、拔尖创新型地质工程专业人才奠定了基础。

教材建设是专业建设、课程建设的重要组成部分，是“传道、授业、解惑”的重要工具。吉林大学建设工程学院组织编写的“国家一类特色专业、国家卓越工程师教育培养计划地质工程专业系列教材”涵盖了工程地质和钻掘工程两个方向，包括：工程岩土学、土力学、岩体力学、碎岩工程学等专业基础课，环境地质与工程、工程地质勘察、钻探工艺学、冲击回转钻进、油气钻探等专业主干课，以及岩土工程分析与设计、岩土工程施工等专业特色课程。创编地质工程专业系列教材在我国尚属首次，求全不易，创新更难。吉林大学建设工程学院有60多年学科建设的经验积累，有一大批优秀的专家学者在此耕耘和奉献，取得了一批国内外知名的研究成果，为本套教材的编写与出版奠定了扎实的基础。希冀本套教材能够遵循继承与发展的原则，尽快出版，以助推我国地质工程专业教育的进步和发展。

当今社会的科技发展日新月异，地质工程学科也是如此。近年来，室内常规试验、物理模拟及试验、原位测试等新技术不断应用于地质工程，地质灾害的理论和地基处理技术的研究等都取得了令人瞩目的进展。将这些新理论、新方法、新技术及时应用于专业教育，方能培养出具有创新思维和科学素养的专门人才。唯其如此，方能体现教材的科学性、先进性和实用性。这是教材编写者需要关注的一个重要方面。

会当凌绝顶，一览众山小。寄语攻读地质工程专业的莘莘学子，继承前

辈优良传统，热爱专业，勇攀科技高峰，将来为国家建设做出更大贡献！
欣然应邀，特作此序。

中国科学院院士 

2015年6月12日

前 言

本教材是根据地质工程专业国家卓越工程师培养计划“岩土工程施工”课程教学大纲，在2004年吉林大学出版社出版的《岩土工程施工》基础上编写而成的。在编写过程中征求了相关企业与专家对本课程及教材的意见，并结合近年来相关学科科研及工程技术的发展，进行了修订、补充和重新编写。

本教材同时也是吉林大学“十二五”规划教材，在教材编写内容上，既考虑满足地质工程专业的教学标准，也考虑了卓越工程师培养计划的提升需求。在第一版的基础上，本教材增加了“工程勘察钻探”和“其他岩土工程施工方法”两章内容，并对第一版的全部内容进行了修订、补充，甚至重新编写。最后定稿的内容包括：绪论、工程勘察钻探、工程孔施工方法、地基处理技术、桩基础施工、地下连续墙施工、锚固技术、非开挖施工技术、其他岩土工程施工方法。

本教材由陈晨（吉林大学）担任主编，并编写第一、三、五、六章、第九章第一节及第四章（第四节一、二、三除外）；赵长文（吉林水利水电勘测设计院）编写第二章；吴旭君（中国京冶工程技术有限公司）编写第四章第四节一、二、三；计胜利（吉林大学）编写第七章；严轩辰（美国路易斯安那理工大学）编写第八章；陈敏（上海市岩土工程检测中心）编写第九章第二节；赵嵩颖（吉林建筑大学）编写第九章第三节。吉林大学博士研究生温继伟、王维、赵贵杰、钱方、高帅和硕士研究生刘鑫鹏、董雪娇、洪建俊、王聪、赵富章负责了大部分章节的资料收集、整理、绘图及校对工作。

作者的一些同行和朋友先后提出许多建议，并给予多方面的支持，在此表示深深的谢意。

编写过程中引用了大量参考文献，包括专著、论文、标准、会议资料中的内容和图表，在此谨向原作者表示感谢。

本书得到“勘查技术与工程专业国家专业综合改革试点项目”和“吉林大学‘十二五’规划教材资助计划”资助，在此深表谢意。

限于水平，虽经努力，书中疏漏与不妥之处在所难免，诚恳欢迎读者和同行们提出批评和建议。

陈 晨

2014年8月26日于吉林大学水工楼

第一版前言

21 世纪是地下建筑工程大发展的世纪,“岩土工程施工”正是讲授这方面内容的重要课程。近十几年来,岩土工程施工技术发展很快,国内外的专家编写了与其有关的大量专业性书籍,但国内编写的多以手册形式为主,包罗万象;国外则多以某一门或以某一类施工技术为主,不能全面反映岩土工程施工技术的整体发展水平。目前还没有一本既能反映目前岩土工程施工技术整体发展水平,又能满足本科生教学需求的教材。

1991 年开始,笔者根据地质工程各专业课教学内容改革的要求,开始为勘察工程专业的本科生讲授“岩土工程施工”(原名“现代基础工程施工”),历时 10 年。根据当时的岩土工程施工技术水平,编写了《现代基础工程施工》讲义,受到学生们的欢迎和行业专家的好评。但岩土工程施工技术在这十多年里的飞速发展,使这本仅介绍基础施工技术内容的教材在几年前就远不能满足教学需求了。毫无疑问,与这门课程相配套的教材将在培养学生是否满足专业要求、行业需求等方面起重要的作用。

“反者道之动”“熟知非真知”,古代东方、西方两位先哲的名言是作者编写这本《岩土工程施工》的宗旨或准则。

“反者道之动”体现的是一种“中庸”的思想。作者希望本教材尽可能全面地反映最基本的岩土工程施工技术、方法;反映岩土工程施工技术最前沿技术的发展方向;突出基本原理、基本计算、基本要求;体现十多年的相关专业、行业的科学研究成果,如潜孔锤钻进技术、大口径反循环钻头的设计、反循环井底流场的净化规律和扩底钻头、钻斗的设计等。因此作者在编写本教材时,首先考虑的不是写成专著的深度,虽然在许多方面有多项科研课题,研究的也比较深入,但这仍是一本本科教材,仍需要在一定时间内的稳定性。由于对一些新技术、新方法较难把握其未来的走向,所以只是简单介绍;而对一些已经过时、应用也不多的方法不予涉及。从施工技术的选择,涉及的深度却比一些专著要浅,体现了一种所谓的“中庸”思想。

作者参加了许多重大的工程,这门课程也讲授了 10 年之久,有时一年还讲两个学期,主要针对本科生,也有部分研究生课程的内容,可谓熟悉之极,但“熟知非真知”。对某一具体技术、方法的理解和掌握,长期的直接使用和实践者才具有真正的发言权,所以一些章节专门请长期从事应用的专家来撰写,对一些有争议的问题也采用了现场专家的观点。

本教材是吉林大学“十五”规划教材，其内容包括：总论、工程孔施工方法、地基处理技术、桩基础施工、地下连续墙施工、锚固技术、非开挖施工技术。编写时采用了最新的岩土工程技术规范，并将粗线条的规范具体化。由于大量的岩土工程施工涉及钻孔技术，所以单独辟出一章来介绍这部分内容。每部分内容力求充实，对常规技术、方法均作系统的介绍，对相应的其他有前途的技术、方法也有一定深度的涉及。

本教材编写分工如下：陈晨担任主编，并编写第一、三、四、五章及第二章除第八节和第七章除第三节的全部内容；卢文阁编写第六章；陈宝义编写第二章第八节；冶金一勘燕郊非开挖管线工程公司的王银献编写第七章第三节。硕士研究生贾栋、韩冰负责了大部分章节的绘图及校对工作。

本教材由吉林大学建设工程学院殷琨教授主审，本书从酝酿到整个写作过程始终得到殷老师的鼓励和支持。我的博士生导师、俄罗斯自然科学院外籍院士张祖培教授也曾对本书的最终成形提供了很多帮助并提出重要的建议。衷心感谢我的硕士生导师郑培根教授、常世臣教授，是他们将我引入岩土工程领域，并在这个领域开始了充满挑战的工作。

作者的一些同行和朋友也先后给予作者许多建议和支持，包括哈尔滨工业大学土木工程学院我的博士后合作导师张克绪教授、吉林大学的徐会文教授、徐克里副教授等，在此表示深深的谢意。

编写过程曾引用多种参考文献，如书籍、论文、杂志文稿、会议论文等中的某些内容和图表，参阅了 <http://www.dingguan.com/>和 <http://www.geosouth.net/>等网站的内容，在此谨向原作者表示感谢。

本书受“吉林大学‘十五’规划教材资助计划”资助，在此深表谢意。

限于水平，虽经努力，书中错误与不妥之处在所难免，诚恳欢迎读者批评指正。

E-mail: chenchen@email.jlu.edu.cn

陈 晨

2002年8月6日于长春地质宫

目 录

序 一	
序 二	
前 言	
第一版前言	
第一章 绪论	(1)
一、岩土工程施工所处的学科领域及其工作范围	(1)
二、岩土工程施工技术分类及应用现状	(1)
三、岩土工程施工技术的主要特点	(4)
四、岩土工程施工技术的选用原则	(5)
第二章 工程勘察钻探	(6)
第一节 概 述	(6)
一、工程勘察钻探的目的	(6)
二、工程勘察钻孔的类型	(7)
三、工程勘察钻探的分类	(7)
四、钻探方法的选择原则及适用范围	(8)
五、工程勘察钻探的特点	(9)
第二节 钻探方法	(9)
一、回转钻探	(9)
二、冲击钻探	(14)
三、振动钻探	(16)
四、冲洗钻探	(18)
五、常用的钻探方法	(19)
第三节 原状样采取	(20)
一、概述	(20)
二、原状(不扰动)土样的采取	(24)
三、特殊岩土层取样方法	(25)
第四节 原位测试	(28)
一、概述	(29)
二、土体原位测试	(29)
三、岩体原位测试	(41)
第三章 工程孔施工方法	(43)
第一节 概 述	(43)

一、工程孔施工方法分类	(43)
二、工程孔施工的主要特点	(43)
三、工程孔施工中的主要难题	(44)
第二节 无循环液回转钻进法	(44)
一、螺旋钻进法	(44)
二、旋挖钻进法	(49)
第三节 正循环回转钻进法	(55)
一、概述	(55)
二、正循环回转钻进使用的主要设备	(55)
三、正循环回转钻进使用的钻具	(56)
四、大直径硬岩全面钻进与取心钻进的分析	(57)
五、钻进工艺	(59)
第四节 反循环回转钻进法	(60)
一、概述	(60)
二、反循环原理	(61)
三、设备和机具	(69)
四、钻进工艺	(72)
第五节 钢绳冲击钻进法	(73)
一、概述	(73)
二、冲击成孔设备和机具	(74)
三、冲击钻进工艺	(75)
四、冲击反循环工法与正循环工法的比较	(76)
第六节 冲抓及全套管钻进法	(77)
一、冲抓钻进法	(77)
二、全套管施工法	(80)
第七节 振动沉管钻进法	(83)
一、概述	(83)
二、振动沉管的工作原理	(84)
三、振动沉管钻进设备和机具	(86)
四、振动成孔工艺	(88)
五、成桩工艺	(89)
六、沉管灌注桩质量事故处理补救方法	(90)
第八节 大直径潜孔锤钻进法	(91)
一、概述	(91)
二、单体式潜孔锤	(93)
三、集束式潜孔锤	(97)
第九节 扩底桩孔施工法	(100)
一、概述	(100)
二、理想扩大头的形状和规格尺寸	(101)

三、钻扩桩孔施工技术	(102)
四、爆扩桩施工技术	(106)
五、人工挖孔扩底桩施工技术	(107)
第四章 地基处理技术	(110)
第一节 概 述	(110)
一、地基处理的目的和对象	(110)
二、地基处理原理和分类	(111)
三、地基处理规划流程	(114)
四、我国地基处理技术现状及发展展望	(114)
第二节 复合地基加固理论	(116)
一、概述	(116)
二、竖向增强体复合地基承载力	(118)
三、水平向增强体复合地基承载力	(123)
四、复合地基沉降计算方法	(123)
五、复合地基优化设计	(124)
第三节 振密、挤密方法	(125)
一、强夯法	(126)
二、振冲法	(132)
三、石灰桩法	(143)
第四节 喷射注浆法	(148)
一、概述	(148)
二、射流破土机理及注浆工艺参数研究	(152)
三、大直径单管喷射(旋喷)注浆新方法	(159)
四、喷射注浆工艺的优化	(170)
第五节 水泥土搅拌法	(174)
一、概述	(174)
二、水泥土搅拌法加固机理	(175)
三、搅拌桩的设计计算	(177)
四、施工工艺	(178)
第六节 热力学方法	(183)
一、冻结法	(183)
二、热熔法	(194)
第七节 其他地基处理方法	(208)
一、CFG 桩法	(208)
二、土工合成材料及其应用	(214)
三、托换	(221)
四、纠偏	(226)
第五章 桩基础施工	(232)
第一节 概 述	(232)

一、桩基础的含义	(232)
二、桩的类型	(233)
三、桩型的选择	(235)
四、桩的施工程序	(237)
第二节 施工准备	(239)
一、技术准备及施工组织设计的编写	(239)
二、施工现场准备	(241)
三、施工现场的协调工作	(244)
第三节 灌注桩的施工	(244)
一、泥浆护壁钻孔灌注桩成孔施工	(245)
二、泥浆护壁钻孔灌注桩成桩施工	(248)
三、灌注桩后注浆施工	(257)
四、其他灌注桩施工方法	(264)
第四节 混凝土预制桩与钢桩	(266)
一、混凝土预制桩与钢桩制作	(266)
二、混凝土预制桩与钢桩的起吊、运输和堆放	(267)
三、混凝土预制桩与钢桩的接桩	(268)
四、混凝土预制桩与钢桩的施工	(270)
第六章 地下连续墙施工	(282)
第一节 概述	(282)
一、地下连续墙施工方法的含义	(282)
二、地下连续墙施工方法的优、缺点	(283)
三、地下连续墙的类型	(283)
四、适用条件	(286)
五、地下连续墙施工流程	(287)
第二节 施工前的准备工作	(287)
一、地下连续墙的施工设计	(287)
二、场地准备	(287)
三、泥浆(或稳定液)制备	(287)
四、导墙的施工	(288)
五、设置临时设施并进行试验	(290)
第三节 槽段开挖	(290)
一、施工设备	(290)
二、槽段长度的划分	(295)
三、施工工艺	(296)
第四节 清槽(基)	(298)
第五节 接头处理	(298)
一、地下连续墙的接头及其作用	(298)
二、施工接头的形式及选择	(299)

三、接头装置的起拔时间	(301)
四、接头插入和拔出应注意的事项	(301)
第六节 钢筋笼的制作和吊放	(301)
一、钢筋笼的制作	(301)
二、钢筋笼的吊放	(302)
第七节 混凝土的配制与灌注	(303)
一、混凝土配合比的选择	(303)
二、灌注方法	(303)
三、混凝土灌注注意事项	(303)
第八节 地下连续墙工程验收	(304)
一、竣工验收标准	(304)
二、施工过程中的验收标准	(304)
三、竣工时提交下列资料	(305)
第九节 地下连续墙其他施工方法	(305)
一、SMW 地下连续墙施工技术	(305)
二、TRD 工法	(307)
三、多轴大直径深层搅拌防渗墙施工技术	(310)
四、板桩工法施工防渗墙的技术	(311)
五、预制地下连续墙施工	(311)
第七章 锚固技术	(313)
第一节 概 述	(313)
一、锚固技术的分类	(313)
二、锚固技术的特点	(315)
三、锚固技术的用途和发展	(316)
第二节 锚杆的成孔工艺	(317)
一、成孔设备	(317)
二、锚杆的成孔方法	(318)
三、锚杆成孔中的注意事项	(321)
第三节 锚杆的制作与安装	(322)
一、锚拉杆材料的选择	(322)
二、棒条状拉杆的制作与防腐	(323)
三、多股钢绞线拉杆的制作与防腐	(324)
四、多根钢丝锚杆的制作与防腐	(327)
五、锚杆杆体的安装	(328)
第四节 锚固技术的注浆工艺	(328)
一、注浆材料	(328)
二、注浆设备与工具	(329)
三、注浆方法	(331)
第五节 张拉与锁定	(333)

一、锚杆张拉、锁定的准备工作	(333)
二、锚杆张拉与锁定设备的选择	(333)
三、锚杆的张拉与张拉荷载分级	(334)
四、锚杆的锁定	(334)
五、锚杆的现场实验	(335)
六、锚杆预应力的长期监测与控制	(338)
七、锚杆防腐	(338)
第六节 其他锚固技术	(338)
一、土钉加固技术	(338)
二、锚定板挡土结构	(341)
三、自钻式锚杆技术	(341)
第八章 非开挖施工技术	(344)
第一节 概 述	(344)
一、非开挖施工方法分类	(344)
二、非开挖技术与开挖施工技术相比的优点	(346)
三、常用施工设备	(346)
第二节 顶管法	(347)
一、概述	(347)
二、顶管的基本理论	(349)
三、顶管设备	(349)
四、顶管施工	(352)
第三节 微型隧道法	(354)
一、概述	(354)
二、微型隧道施工法设备系统	(355)
三、微型隧道在施工中的主要应用领域	(357)
第四节 气动夯管锤施工技术	(358)
一、概述	(358)
二、气动夯管锤的结构及工作原理	(359)
三、施工设备及配套机具	(360)
四、气动夯管锤铺管工艺	(361)
五、气动夯管锤的铺管精度问题	(367)
六、气动夯管锤铺管的注浆润滑	(367)
第五节 导向钻进法	(368)
一、概述	(368)
二、钻机锚固	(368)
三、钻头的选择依据	(368)
四、导向孔施工	(369)
五、扩孔施工	(369)
第六节 振动法铺设管道技术	(369)

一、概述 (369)

二、水平振动沉管与土的相互作用机理 (370)

三、非开挖铺管施工中使用的振动设备和工具 (371)

第七节 其他非开挖施工技术..... (373)

一、非开挖铺设管线的其他施工技术 (373)

二、非开挖原位换管技术 (374)

三、非开挖管道原位修复技术 (374)

第九章 其他岩土工程施工方法..... (377)

第一节 脉冲放电法..... (377)

一、概述 (377)

二、工作原理 (378)

三、高压脉冲设备及其技术参数 (380)

四、挤密土体机理..... (383)

五、高压脉冲放电扩桩试验 (386)

六、对已有建筑物的地基和基础加固 (391)

第二节 管幕钢管施工法..... (392)

一、概述 (392)

二、管幕法的设计内容 (393)

三、管幕法的施工 (394)

四、通道开挖段土体加固 (402)

五、通道段土体开挖和支撑系统 (404)

六、通道结构施工..... (408)

第三节 能量桩技术..... (408)

一、概述 (408)

二、能量桩技术系统及其模拟计算..... (411)

三、能量桩技术材料选取 (416)

四、能量桩施工技术 (420)

参考文献..... (426)