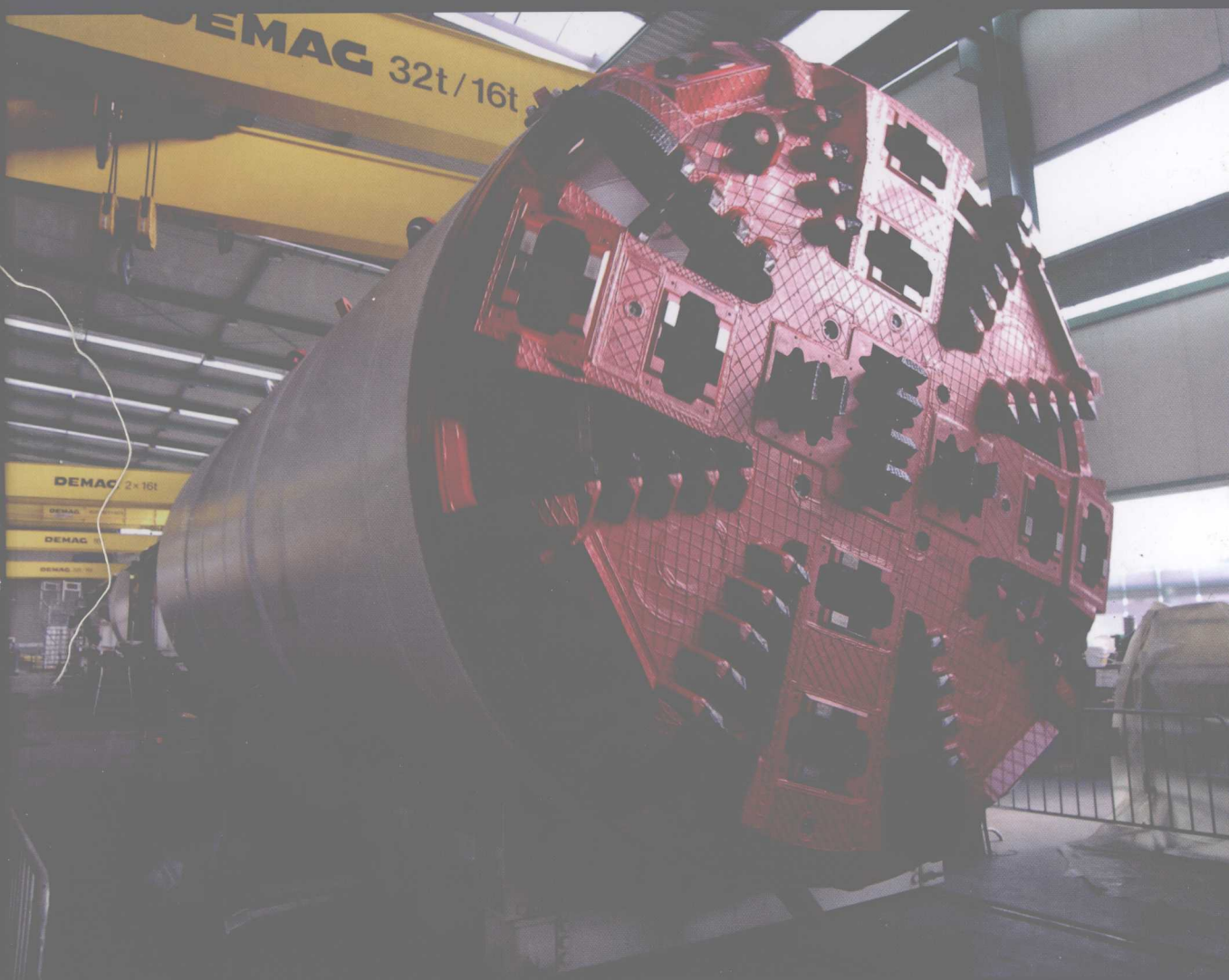


The Science of Trenchless Engineering

非开挖工程学

马保松 主编



人民交通出版社
China Communications Press

FEI KAI WA GONG CHENG XUE
非 开 挖 工 程 学

马保松 主编



人民交通出版社

China Communications Press

内 容 提 要

本书共分为18章,内容涵盖非开挖工程技术的各个领域,包括地下管线探测技术、管道状况检测和评价理论与技术、新管道施工技术(包括HDD、顶管、微型隧道、水平螺旋钻进技术、夯管技术等)、管道清洗技术、管道更换技术、管道修复技术以及非开挖工程所用管材等,是迄今为止国内非开挖工程领域“最新、最全、最系统”,且理论和实践并重、先进性和实用性相结合的著作。

该书具有如下特点:

1. 学术观点新:第一次提出“非开挖工程学”这一新的学科方向,并系统地阐述了其发展背景、定义、研究对象、学科框架等一系列相关问题。

2. 内容系统、全面、翔实:比现有非开挖工程领域的参考书内容更翔实、体系更完整。

3. 先进性、科学性和实践性并重:既介绍了大量国外非开挖领域的最新研究成果和先进技术,又立足我国国情;既重视相关设计理论,也结合工程实例。

4. 是中国非开挖工程界共同智慧和劳动的结晶。

本书是对非开挖工程领域的设计人员、科研开发人员、工程技术人员、教师、研究生和本科生及从事管线(管道)工程设计、施工、监理、管理人员都具有重要参考价值的教材和工具书。

图书在版编目(CIP)数据

非开挖工程学 / 马保松主编. —北京:人民交通出版社, 2008. 11

ISBN 978-7-114-07387-8

I. 非… II. 马… III. 地下管道—管道工程 IV. TU990.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第140976号

书 名: 非开挖工程学

著 作 者: 马保松

责任编辑: 高 培

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010) 85285656, 59757969, 59757973

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 53.5

字 数: 1330 千

版 次: 2008年11月第1版

印 次: 2008年11月第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-07387-8

定 价: 150.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

《非开挖工程学》

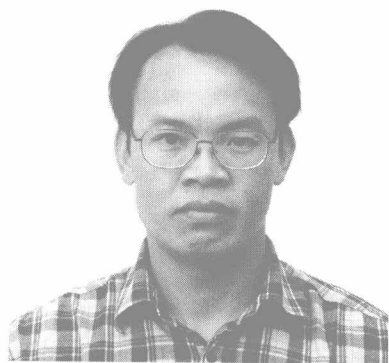
编 委 会

主 编:马保松 中国地质大学(武汉)

编 委(按姓氏拼音为序):

陈 劲	中国地质大学(武汉)
陈 勇	福建省东辰岩土基础工程公司
陈铁励	天津大力神非开挖工程有限公司
冯占义	新乡市永通管道工程有限公司
胡郁乐	中国地质大学(武汉)
黄功华	中铁十五局集团六公司
蒋国盛	中国地质大学(武汉)
姜志广	南京地龙非开挖工程技术有限公司
刘 畅	德国海瑞克股份公司
陆继良	安徽威隆非开挖工程技术有限公司
马保松	中国地质大学(武汉)
王 鹏	深圳钻通机电设备有限公司
王洪玲	北京土行孙非开挖技术有限公司
王兆铨	浙江绍兴磐石基础工程有限公司
吴定春	湛江市中广通管道有限公司
吴贺林	广州市管源复合材料有限公司
吴益泉	中国石油天然气管道局穿越公司
谢 强	武钢建工集团非开挖技术中心
徐效华	濮阳市中拓管道清洗修复工程有限公司
颜纯文	中国地质装备集团公司、中国非开挖技术协会
余为民	武汉市拓展地下管道工程有限公司
张汉春	广州市城市规划勘测设计研究院
张雅春	国土资源部勘探技术研究所
周长山	山东胜邦柯林瑞尔管道工程有限公司
周 彬	武汉泰洪非开挖技术开发有限公司
朱文鉴	北京探矿工程研究所、中国非开挖技术协会

作者简介



马保松,男,1968年生,博士(博士后),中国地质大学(武汉)教授、博士生导师,中美联合非开挖工程研究中心常务副主任。美国德州大学地下设施研究与教育中心(CUIRE)客座教授、中方联合主任,美国《管线系统工程与技术》杂志(Journal of Pipeline Systems Engineering and Technology)编辑,中国非开挖技术协会常务理事。

曾于2001年~2002年,在德国鲁尔波鸿大学(Ruhr University Bochum)建筑工程学院做访问学者,从师于国际非开挖技术协会副主席 Prof. Dr. - Ing. Dietrich Stein。

2006年~2007年分别到美国密西根州立大学(Michigan State University)和德克萨斯大学阿灵顿校区(The University of Texas at Arlington)做访问学者。

长期从事非开挖工程技术及理论的科学研究和教学工作。2004年在中国地质大学(武汉)为本科生新开设《非开挖工程学》课程,在非开挖工程领域发表学术论文40余篇,出版专著5部。和国际非开挖同行建立了良好的合作关系,2007年曾邀请美国和加拿大16位国际非开挖工程领域知名的专家学者在中国召开中美联合非开挖工程学术研讨会,与美国的普渡大学(Purdue University)、德州大学地下设施研究与教育中心(CUIRE)和路易斯安那工业大学非开挖技术中心(TTC)共同组建中美联合非开挖工程研究中心(China - U. S. Joint Center for Trenchless Research and Development - CTRD)。

前言

Preface

非开挖工程是利用微开挖或不开挖技术对“地下生命线系统”进行设计、施工、探测、修复以及更新、资产评估和管理的一门新兴高技术产业,被广泛应用于穿越公路、铁路、建筑物、河流以及在闹市区、古迹保护区、农作物和环境保护区等不允许或不便开挖条件下进行燃气、电力、给排水管道、电讯、有线电视线路、天然气管道等的铺设、更新、修复以及管理和评价等。“非开挖工程”被联合国环境议程(United Nation's Environmental Programme-UNEP)批准为地下设施的环境友好技术(Environmentally Sound Technology-EST)。

近 20 余年来,美、英、德、日等国的许多高等院校、研究机构、企业也投入了大量的人力、物力研究开发这一新技术,取得了大量研究成果并逐步应用于工程实践中。由于该技术具有综合成本低、施工周期短、环境影响小、不影响交通、施工安全性好等优势,日益受到人们的青睐,在市政给排水管线、通讯电缆、燃气管道、输油管道及电力电缆等地下管线工程施工中得以广泛应用。目前,非开挖管线工程技术已在西方发达国家成为一项政府支持、社会提倡和企业参与的新技术产业,在我国以每年 40% 的速度增长,成为城市现代化进程中的一项关键技术。我国建设部将“非开挖工程”列为国家“十一五”重点推广技术之一。2008 年初,美国国家工程院把“修复和改善城市基础设施”列为 21 世纪工程学面临的 14 大挑战之一。

非开挖工程技术在我国的一些重大工程(如中国投资 4000 亿元的,有史以来建造的规模最大的西气东输工程,需要穿越大型河流 14 次,穿越中型河流 40 次,穿越铁路 35 次,穿越公路 421 次,所需要的非开挖技术种类包括 HDD、微型隧道、顶管技术、盾构技术等)中也发挥了决定性的作用。

但是,我国的非开挖工程技术整体水平落后国外 20 ~ 30 年,到现在只能在一些技术含量不高的产品上实现自主研发,基础理论研究非常薄弱,缺乏自主创新和自主知识产权的产品。

为了尽快缩小与国外的差距,提高我国非开挖技术的市场竞争力,促进新技术的开发、推广和应用,推动我国在非开挖工程领域的理论研究,总结我国在非开挖工程领域的进展,引进和吸收国外先进的理论和经验,本书编委会自 2005 年开始本书的编写工作,并 2007 年 10 月在

武汉召开会议,确定了本书的最终编写提纲和基本内容。

在编写过程中,曾先后得到中国地质大学(武汉)科技处、中国地质大学(武汉)教务处、中国非开挖技术协会、福建省东辰岩土基础工程公司、天津大力神非开挖工程有限公司、新乡市永通管道工程有限公司、南京地龙非开挖工程技术有限公司、德国海瑞克股份公司、安徽威隆非开挖工程技术有限公司、深圳钻通机电设备有限公司、北京土行孙非开挖技术有限公司、浙江绍兴磐石基础工程有限公司、湛江市中广通管道有限公司、中石油管道局穿越公司、武钢建工集团非开挖技术中心、濮阳中拓管道清洗修复工程有限公司、武汉市拓展地下管道工程有限公司、广州市城市规划勘测设计研究院、山东胜邦柯林瑞尔管道工程有限公司以及美国德州大学地下设施研究与教育中心(CUIRE)、路易斯安那工业大学非开挖技术中心(TTC)等单位的大力支持。

美国的德州大学的 Dr. Mohammad Najafi 教授、路易斯安那工业大学的 Dr. Ray Sterling 教授等为本人在美国研修非开挖技术提供了良好的工作条件,为本人了解国际前沿的非开挖技术奠定了基础。

博士研究生曾聪、杨晨光(美国)和硕士研究生刘珍、王书宏、赵云川、邵本科等自始至终为本书的顺利完稿和出版付出了大量的辛劳。尤其是刘珍,花费了大量的时间和精力帮助搜集和整理书稿、清绘图片、校对文字、编排格式等等,没有他的无私奉献,书稿将无法按期完成。

正是由于编委会成员的共同努力,上述单位和个人的慷慨协助,使本书最终得以付梓问世,以飨读者。如果拙作能供广大同行在工作中参考、借鉴并有所助益,将是编著者们由衷的意愿。

本书前言、第1章、第5章、第10章、第11章、第14章由马保松教授撰写;其他各章,除由马保松教授主持、搜集素材并校阅和定稿外,参加各章撰写并协助整理成文的各位作者主要有:第2章:陈劲副教授、蒋国盛教授;第3章:张汉春高工、杨晨光博士;第4章:杨晨光博士、曾聪博士;第6~9章:刘珍硕士;第12章:胡郁乐副教授、刘珍硕士、王洪玲教授级高工;第13章:曾聪博士;第15章:王书宏硕士、陈铁励高工;第16章:徐效华高工、刘珍硕士;第17章:吴贺林高工、王书宏硕士;第18章:黄功华高工、王书宏硕士、余为民高工;附录:邵本科硕士等。

参加本书审校和修改工作的编委分工如下:第1、5、6、7、8、9章:颜纯文教授级高工(中国非开挖技术协会理事长);第2章:张雅春教授级高工、蒋国盛教授;第3章:张汉春高工;第4章:朱文鉴教授级高工(中国非开挖技术协会秘书长);第10、11章:王兆铨高工、刘畅经理、陈勇高工、陆继良高工;第12章:王洪玲教授级高工、王鹏教授级高工(钻通)、张雅春教授级高工、吴益泉高工、姜志广高工、余为民高工、吴定春高工、谢强工程师、王鹏工程师(武钢);第13章:朱文鉴教授级高工;第14章:周长山教授、徐效华高工、陈铁励高工;第15章:陈铁励高工、朱文鉴教授级高工;第16章:周长山教授、徐效华高工;第17章:吴贺林高工;第18章:陆继良高工。另外中国石油天然气管道局穿越公司的吕泽彬工程师、其士管道公司的张立经理、美国 Fyfe 公司的副总裁 Shah Rahman 先生、Outside Plant Consulting Services 公司总裁 Larry Slavin 博士等为本书提供了珍贵的素材,对于以上各位的辛勤劳作和他们对本书的贡献,本人作为编著本书的主持人,谨在此深致谢意。

本书能够得以完成并顺利出版,得益于国家自然科学基金委员会、教育部回国留学科研启动基金、武汉市建设委员会、武汉市科技局等单位的科研项目支持;中国地质大学(武汉)相关职能部门的大力支持、中国地质大学(武汉)工程学院的领导 and 同事们的理解和支持;人民交通出版社土木与建筑图书出版中心的同仁们的大力帮助,本人也谨此表示诚挚的感谢。

最后,将本书献给我亲爱的女儿凯俐和妻子谢稚,感谢她们的理解和支持。

由于笔者学识的限制,书中挂一漏万在所难免,敬请不吝赐教。

马保松

中国地质大学(武汉)

中美联合非开挖工程研究中心

2008年8月

目录 Contents

CHAPTER 1 非开挖工程学概论

【1.1】非开挖工程学的定义	3
【1.2】非开挖工程学的研究对象、目的和性质	4
【1.3】非开挖工程学产生的背景	4
【1.4】非开挖工程学的学科特点	6
【1.5】非开挖工程学的学科框架	7
【1.6】非开挖工程学的主要研究内容	8
【1.7】非开挖工程技术的分类	8
【1.8】非开挖工程的意义和作用	10
【1.9】非开挖工程的发展历史和现状	11
【1.10】我国非开挖工程面临的机遇和挑战	15

CHAPTER 2 管道地基岩土分类与工程勘察

【2.1】地下管线分类	21
【2.2】管道地基岩土分类	22
2.2.1 岩石分类	22
2.2.2 工程岩土分类	29

2.2.3 土的物理性质及工程分类	32
【2.3】 管道地基工程勘察方法	51
2.3.1 城市地下管线场地分类	51
2.3.2 城市地下管线工程勘察的基本要求	52
2.3.3 土层的勘察方法	54
2.3.4 大型长输管道地基工程勘察	58
参考文献	60

CHAPTER 3 地下管线探测技术

【3.1】 非开挖地下管线探测的一般要求	63
3.1.1 非开挖施工场地管线探测的特点	63
3.1.2 地下管线探测的基本程序和要求	63
3.1.3 地下管线探测精度要求	64
3.1.4 地下管线探测的取舍标准	65
【3.2】 地下管线探测原理	65
3.2.1 麦克斯韦微分方程	65
3.2.2 直线电流电磁场	66
3.2.3 磁偶极子的电磁场	69
3.2.4 探地雷达 (GPR)	70
【3.3】 管线探测仪器设备	71
3.3.1 金属管线探测仪	71
3.3.2 雷达探测仪器	74
3.3.3 典型金属管线探测仪器介绍	74
3.3.4 典型管线探测雷达器介绍	79
【3.4】 非开挖施工现场的管线探测方法	83
3.4.1 管线调查内容	83
3.4.2 管线点的设置	84
3.4.3 地下管线探查的频率域电磁法	85
3.4.4 地下管线探查的地质雷达法	91
3.4.5 地下管线探查的其他物探方法	93
3.4.6 地下管线探查的实施	94
3.4.7 复杂条件下地下管线的探测	97

【3.5】 地下管线探测的质量检查	99
3.5.1 重复探查	99
3.5.2 开挖验证	100
【3.6】 地下管线的测量	100
3.6.1 地下管线的控制测量	101
3.6.2 地形与管线点测量	102
【3.7】 管线图编绘与成果提交	102
3.7.1 机助成图具备的资料	103
3.7.2 管线竣工测量图的编辑	103
3.7.3 地下管线探测报告书内容	104
3.7.4 成果资料的提交	104
参考文献	104

CHAPTER 4 地下管道状况检查与评价

【4.1】 地下管道的破坏形式及原因分析	109
4.1.1 概述	109
4.1.2 管道泄漏	111
4.1.3 管流阻塞	116
4.1.4 管位偏移	119
4.1.5 机械磨损	120
4.1.6 管道的腐蚀	123
4.1.7 管道变形	132
4.1.8 管道裂纹、管道破裂、管道坍塌	135
4.1.9 管道破坏状况总结	141
【4.2】 管道内部检查	143
4.2.1 管道内部检查	143
4.2.2 典型管道检查设备介绍	147
【4.3】 管道水力学测量	157
4.3.1 管道水力测量的前期规划	157
4.3.2 测量方法	158
【4.4】 管道密封性能检测	162

【4.5】地下管道状况分类及评价	166
4.5.1 管线状况分类及评价的相关要求	166
4.5.2 地下管线状况分类及评价模型	168
参考文献	186

CHAPTER 5 冲击矛施工技术

【5.1】概述	191
【5.2】工作原理及过程	192
5.2.1 管线铺设方法	192
5.2.2 施工机具	195
【5.3】应用范围	199
【5.4】非进入式可控土层挤密工法	200
5.4.1 土层挤密工法	201
5.4.2 冲击矛水平钻进法	203
参考文献	205

CHAPTER 6 夯管法施工技术

【6.1】概述	209
【6.2】工作原理	209
6.2.1 夯管法铺管原理	210
6.2.2 夯管锤结构和原理	211
6.2.3 钢管的受力及地层可夯性	211
6.2.4 夯管锤铺管精度	214
6.2.5 提高夯管锤铺管效率的措施	218
6.2.6 夯管结束后管内排土方法	219
6.2.7 夯管对管道和周围环境的影响	220
【6.3】施工机具	221
6.3.1 夯管锤	221
6.3.2 其他配套设备	225

【6.4】 工程应用	227
6.4.1 气动夯管锤铺管	227
6.4.2 辅助定向钻进施工方法	229
6.4.3 起拔旧管	231
6.4.4 管棚工程	232
6.4.5 夯管锤打桩技术	234
【6.5】 油压夯管锤设备	235
6.5.1 概述	235
6.5.2 油压夯管锤的结构和工作原理	236
6.5.3 油压夯管锤施工工艺原理	237
6.5.4 油压夯管设备	237
6.5.5 油压垂直夯管	238
【6.6】 典型工程实例	239
参考文献	240

CHAPTER 7 潜孔锤水平钻进技术

【7.1】 概述	245
7.1.1 空气潜孔锤钻进技术的特点	245
7.1.2 气动潜孔锤的主要类型	246
7.1.3 气动潜孔锤的工作原理	247
7.1.4 潜孔锤钻进工法铺管原理	247
7.1.5 国内外应用实例	248
【7.2】 偏心钻头潜孔锤钻进	251
【7.3】 同心钻头潜孔锤钻进	252
7.3.1 NUMA - 潜孔锤钻进技术	253
7.3.2 ROTEX Sysmmetrix HZ 系统	257
7.3.3 SST 工法	259
【7.4】 施工机具	260
7.4.1 潜孔锤钻头	260
7.4.2 钻杆柱	261
7.4.3 空压机	262

【7.5】应用范围	262
参考文献	262

CHAPTER 8 水平顶推钻进法

【8.1】概述	265
8.1.1 水平顶推钻进法的优缺点	265
8.1.2 施工设备及工艺	265
8.1.3 应用范围	266
【8.2】Acemole 施工法	266
8.2.1 施工机具	267
8.2.2 应用领域	268
【8.3】Ironmole 工法	268
8.3.1 施工原理及过程	268
8.3.2 施工机具	271
8.3.3 应用领域	271
【8.4】Earth Arrow 工法	272
8.4.1 施工机具	272
8.4.2 应用领域	274
【8.5】BM 500 工法	274
【8.6】其他类型的顶推式施工技术	275
8.6.1 工作原理及过程	275
8.6.2 施工机具	276
8.6.3 应用领域	277
8.6.4 在含地下水地层中的应用	279
【8.7】挤密式微型隧道工法	280
8.7.1 Perimole TPM 工法	280
8.7.2 Acemole PL 工法	281
8.7.3 Herrenknecht AVB 工法	283
8.7.4 土层挤密工法的应用领域	284
参考文献	284

CHAPTER 9 水平螺旋钻进法

【9.1】 概述	287
9.1.1 简要历史	287
9.1.2 技术发展新趋势	287
【9.2】 工作原理及过程	288
9.2.1 轨道式水平螺旋钻进方法	289
9.2.2 针对不同地层条件的推荐操作	293
9.2.3 吊架式水平螺旋钻进方法	294
【9.3】 施工机具	296
9.3.1 水平螺旋钻机	296
9.3.2 螺旋钻杆	300
9.3.3 螺旋钻头	300
9.3.4 方向控制系统	301
9.3.5 泥浆润滑系统	302
【9.4】 应用范围	302
9.4.1 铺管直径和长度	302
9.4.2 管材类型	303
9.4.3 土层条件	303
参考文献	303

CHAPTER 10 顶管施工技术

【10.1】 概述	307
【10.2】 分步挖掘式顶管机	309
10.2.1 手掘式顶管机	309
10.2.2 机械挖掘式顶管机	311
10.2.3 气压平衡式顶管机	313
10.2.4 泥水平衡式顶管法	320
10.2.5 水力破碎式顶管机	322
【10.3】 全断面掘进式顶管机	323
10.3.1 切削刀盘结构及形状	323

10.3.2 全断面自然平衡顶管机	328
10.3.3 全断面机械平衡顶管机	329
10.3.4 全断面气压平衡式顶管机	330
10.3.5 全断面水力平衡式顶管机	330
10.3.6 全断面土压平衡式顶管机	341
10.3.7 无切削刀盘式顶管机 (SM-B)	349
【10.4】 非圆断面管道顶管施工技术	353
10.4.1 DPLEX 顶管施工法	353
10.4.2 Takenaka 顶管施工法	354
【10.5】 顶管和微型隧道的相关理论及分析计算	355
10.5.1 顶进力的分析计算	356
10.5.2 影响顶进力的因素	367
10.5.3 顶管施工地面变形分析和预测	371
【10.6】 长距离顶管技术	378
10.6.1 中继站	378
10.6.2 润滑和注浆减摩	382
10.6.3 控制超挖量	389
10.6.4 顶管施工中的其他减阻方法	389
【10.7】 曲线顶管技术	393
10.7.1 曲线顶管的设计计算	394
10.7.2 SS Mole 曲线顶管工法	399
10.7.3 Ultimate Method 工法	400
【10.8】 顶管工作坑的设计与施工	403
10.8.1 概述	403
10.8.2 工作坑的尺寸	409
10.8.3 后座墙	412
10.8.4 后座墙的设计计算	413
10.8.5 洞口止水方法	417
10.8.6 进出洞口的措施	418
【10.9】 施工测量和导向技术	419
10.9.1 光学测量法	420
10.9.2 陀螺法	423
10.9.3 液面水平法	423
10.9.4 顶距测量方法	424

10.9.5 测量导向系统的实际应用	425
10.9.6 顶进中的误差与校正	429
10.10 宜昌红花套长江穿越管道工程实例	434
10.10.1 工程概况	434
10.10.2 AVN2440DS 泥水平衡式掘进机简介	434
10.10.3 竖井施工技术	435
10.10.4 隧道掘进施工技术	435
参考文献	438

CHAPTER 11 微型隧道施工技术

11.1 概述	443
11.2 螺旋排土式微型隧道工法	444
11.2.1 工作原理及工作过程	445
11.2.2 施工设备	446
11.2.3 应用范围	448
11.3 水力排土式微型隧道工法	454
11.3.1 单步施工法	456
11.3.2 双步施工法	465
11.3.3 可回拉的盲孔掘进机	467
11.4 气力排土式微型隧道工法	468
11.4.1 单步顶进工法	469
11.4.2 双步施工法	473
11.5 连接住户的微型隧道工法	474
11.6 微型隧道施工中障碍物的排除方法	476
参考文献	478

CHAPTER 12 水平定向钻进技术

12.1 概述	483
12.1.1 发展历史与背景	483