



“十三五”国家重点图书出版规划项目

面向**挑战**的隧道及地下工程

国家 863 计划项目 (2012AA041802) 资助
2017 年度国家科学技术学术著作出版基金资助

KEY TECHNOLOGIES
FOR SHIELD MACHINE AND TUNNELLING

盾构与掘进关键技术

洪开荣 等著



中铁隧道局集团与中铁工程装备集团
联合研制具有自主知识产权的
国内超大直径泥水盾构



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.



“十三五”国家重点图书出版规划项目

★ ★ 挑战 ★ ★ ★
面向 挑战 的隧道及地下工程

国家 863 计划项目 (2012AA041802) 资助
2017 年度国家科学技术学术著作出版基金资助

KEY TECHNOLOGIES
FOR SHIELD MACHINE AND TUNNELLING

盾构与掘进关键技术

洪开荣 等 著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

基于作者及其团队在盾构装备研制与掘进技术方面的创新成果及近 2000 公里的盾构隧道修建技术实践,本书构建了盾构隧道端头土体稳定性控制理论体系,创新了盾构选型设计三角理论体系,创立了盾构施工“三从四得”风险防控理论,创建了高压环境下“减压限排”“带压动火”新工法,在此基础上系统地阐述了盾构与掘进关键技术体系。主要内容包括盾构设备制造与选型技术、盾构隧道施工成套技术、复杂条件下(软土及砂质地层、砂卵石地层、上软下硬复合地层、全断面地层等)盾构施工典型案例。

本书内容全面、系统,针对性强,既全面梳理总结了行业发展的最新技术进展,又聚焦于应对盾构“失稳、失准、失效”世界级难题及各类复杂环境隧道复合盾构的研制等方面的诸多突破成果,对推动学科研究的深化发展和科研成果的工程应用具有重要价值。可供从事盾构研发制造的科研人员、盾构隧道设计施工的工程技术人员以及相关专业高校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

盾构与掘进关键技术 / 洪开荣等著. — 北京:人民交通出版社股份有限公司, 2018.9

ISBN 978-7-114-14982-5

I. ①盾… II. ①洪… III. ①盾构法 IV.

①U455.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 204091 号

书 名:盾构与掘进关键技术

著 者:洪开荣

责任编辑:王 霞 谢海龙 高 培

责任校对:宿秀英

责任印制:张 凯

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

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)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京盛通印刷股份有限公司

开 本:880×1230 1/16

印 张:34.5

字 数:1025 千

版 次:2018 年 9 月 第 1 版

印 次:2018 年 9 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-14982-5

定 价:198.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

Key Technologies for Shield
Machine and Tunneling

编委会



主任委员: 洪开荣

副主任委员: 陈 馈 孙振川 王江卡

顾问: 钱七虎 王梦恕 杨华勇

编委: 洪开荣 陈 馈 孙振川 王江卡 谭顺辉 宋克志

李凤远 杨延栋 李宏波 廖小春 王杜娟 刘金祥

贺 飞 康宝生 郭卫社 周建军 张 兵 夏毅敏

杨书江 霍军周 江玉生 傅德明 季玉国 周 骏

李东升 党西锋 吴焯鹏 李丰果 李建华 张稳军

张天举 张岩涛 张宏伟 张晓日 齐梦学 孔 恒

蔡志勇 孙振中 冯欢欢 陈海军 陈 龙 朱豪洋

孔宪光 郑清君 韩伟锋 郑宜枫 张 魁 赵小鹏

常建涛 殷 磊 王文桥 郭 璐 任颖莹 黄明海

统稿编辑: 陈 馈 杨延栋 李宏波

序

盾构是目前广泛应用于城市轨道交通建设、地下综合管廊等城市地下空间,铁路及公路隧道工程,引水隧洞工程及军事防护工程施工的特大型专用工程装备。长期以来,我国盾构市场一直被国外品牌垄断,直至国家“十五”和“十一五”之后,我国盾构装备水平和盾构施工技术才取得了显著进步,国产盾构市场占比也达到了85%以上,借国家“一带一路”倡议的东风,中国盾构行业从业者继续砥砺创新,在推动国家高端装备制造业和大型隧道建设产业“走出去”的同时,不断提升“中国制造”形象,努力打造国产盾构这一大国重器。

本书就是在当代中国大建设、大发展和大机遇的时代契机下孕育而生的。全书力求做到推陈出新、兼容并包和中西融合,除全面介绍国内外盾构装备的最新特征及共性技术的发展情况外,还科学系统地对我国典型盾构隧道工程进行了归纳总结,其中,利用较大篇幅收录了盾构从业者近年所取得的技术成果,集中展示了施工方和盾构设计制造方在原始创新、集成创新、协同创新和持续创新方面的丰富积累。

本书付梓成册之际,正值业内发布《盾构/TBM再制造2025发展路线暨“十三五”推进计划》这一行业工作准则之时。本书首次编入了盾构再制造的第一手资料,其对盾构再制造的前瞻性介绍非常契合该计划纲要。我坚信,本书将为规范盾构再制造产品生产,引导盾构再制造产品消费,促进盾构再制造产业持续健康发展做出一份贡献。

总体来说,本书编撰汇聚了众多盾构行业权威专家的心血和智慧,是一部不可多得的,紧贴时代背景,符合中国特色社会主义建设需求,且满足中国独特地质条件,并能够切实解决我国盾构设计与施工难题的综合性盾构类大百科全书。全书图文并茂,内容翔实,在此我诚挚地向各位从事盾构设计、施工、工程管理、教学、科研的有关专业人士和学生推荐此书。

前人栽树,后人乘凉,有感于作者的辛勤劳动,在本书即将付印之际,我谨以此序向该书的作者祝贺,愿此书在盾构设计、制造及盾构施工中发挥重要的参考作用。

中国工程院院士



2017年12月

序 二

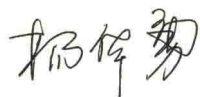
随着近年来国家交通和引水工程蓬勃发展,目前全国铁路营运里程已达到 12.1 万 km,其中高铁里程为 1.9 万 km;预计至 2020 年全国铁路营运里程将达到 15 万 km;城市轨道交通总规模将超过 4000km;高速公路建设总规模约 8.5 万 km;水利水电引水隧道建设约 1000km。盾构法施工以其安全、环保、快速等特点已成为目前当仁不让的首选施工方式,与其他施工方式不同的是,盾构法施工成败关键在于是否能针对复杂的围岩边界条件,合理地运用量体裁衣的盾构进行地质适应性的施工。因此,深刻了解和掌握盾构装备的结构特点、工作原理以及与施工技术的相互影响关系显得尤为重要。

《盾构与掘进关键技术》是一本关于复杂地层下盾构设计与施工的学术专著,是我国出版的第一本既包含盾构装备设计又包含施工关键技术的专著。作者创造性提出了盾构选型三角理论;创新提出并建立了复杂地层盾构设计与施工“三从四得”(从地质勘探入手,规避地质风险;从盾构适应性设计挖潜,规避设备风险;从专项管控抓效,规避人为风险;盾构的设计必须遵循掘得进、排得出、稳得住、耐得住的原则)理论体系;首创了水下隧道盾构施工“减压限排”工法,并获国家发明专利;首创了带压动火工法,并获省部级工法和国家发明专利;创新开发了超高水压条件下刀具快速检查与更换技术,并获国家发明专利。

本书编委都是在装备设计与施工一线的技术专家,积累了大量丰富的经验和工程实例,以理论为依据,以工程技术问题为切入点,结合大量工程实例分析,由工程问题归纳出技术问题,进而通过理论分析与工程实际相结合,由浅入深,通俗易懂,图文并茂地进行阐述。该书从盾构装备和施工技术的角度全面介绍了国内外盾构技术发展历程,内容涉及盾构装备设计、施工技术和工程实例,能够满足盾构设计、施工、教学、科研等需要,适用范围广,不仅工程实用性强,且具有很深的学术性。

综上,我相信本书的出版必将进一步推动我国盾构技术的跨越式发展,必将对提升我国盾构隧道建设水平起到积极的推动作用。

中国工程院院士



2017 年 12 月

前 言

隧道及地下空间的大发展,促进了盾构法施工技术的进步。自从1825年布鲁诺尔在伦敦泰晤士河下使用矩形盾构开始修建世界上第一条盾构隧道以来,盾构法施工至今(2018年)已有193年的历史。

从第一代手掘式盾构发展到以大推力、大扭矩和高智能化为特色的第四代盾构过程中,我国盾构发展通过引进、消化吸收、集成创新经历了黎明期、技术创新期、跨越发展期等三个发展阶段,目前已形成产业化规模。针对盾构行业发展现状,本书以盾构与掘进关键技术为切入点,结合我国各种典型地质盾构施工案例进行阐述,促进盾构领域信息交流和成果共享,以期推动盾构施工技术发展。

本书分为“总论”“盾构装备”“盾构施工”及“工程案例”四大篇章。“总论”“盾构装备”及“盾构施工”作为全书的理论篇章,概述了盾构及盾构工法的发展历程、盾构技术发展现状及趋势、盾构法施工的关键技术等,通过该部分内容介绍,使读者熟悉整个盾构行业脉络发展体系;在此基础上,展开第四篇“工程案例”的阐述,本篇内容作为盾构与掘进关键技术的实践篇章,对盾构施工的复杂工程地质进行分类,介绍了典型盾构施工案例,使读者及广大工程技术人员对盾构施工有直观感触,以针对盾构进行量体裁衣式设计,选择合适的盾构施工方法,来应对复杂多变的地质状况。

本书得到了国家863计划课题(2012AA041802)、2017年度国家科学技术学术著作出版基金和河南省中原学者研究课题的资助,在本书撰写过程中得到了中国工程院钱七虎院士、王梦恕院士和杨华勇院士的指导,给予作者很多具体帮助和鼓励。

此外,本书还得到了盾构及掘进技术国家重点实验室、中铁隧道局集团有限公司、中铁工程装备集团有限公司、中铁一局集团有限公司、中南大学、北京市政建设集团、大连理工大学、中铁十四局集团有限公司、西安电子科技大学、上海建通工程公司、上海市土木工程学会、中铁十六局集团有限公司、中国交通建设集团有限公司、中铁十八局集团有限公司、上海隧道工程股份有限公司、广州市地下铁道总公司、中交天和机械设备制造有限公司、中国水利水电建设股份有限公司等单位提供相关撰写素材和案例,在此衷心地感谢同行们的支持和帮助。本书撰写过程中,还引用了一些尚未刊登和发表的资料,因未公开发表而不能列于参考文献中,在此,也向拥有这些资料的单位和个人深表感谢。

“平步跨高山,谈笑越江海”,这是隧道与地下工程建设者的梦想;“隧贯山河,道通天下”是隧道科技未来使命之所在。期望本书能给我国未来轨道交通和地下工程建设盾构法施工提供参考和借鉴。尽管本书付出了大量的心血,但书中不可避免地会出现错漏和不当之处,有些提法也可能需要大家进一步研讨,敬请广大同行提出并指正。

2018年3月

第 1 章 盾构与我国盾构的发展	3
1.1 概述	3
1.1.1 盾构的定义	3
1.1.2 盾构与 TBM 的区别	3
1.2 盾构的分类	4
1.2.1 敞开式盾构	4
1.2.2 压缩空气盾构	8
1.2.3 土压平衡盾构	9
1.2.4 泥水平衡盾构	11
1.2.5 双模盾构与混合型盾构	17
1.3 复合型掘进机	19
1.4 中国盾构技术创新与发展	22
1.4.1 中国盾构技术的黎明期	22
1.4.2 中国盾构技术的创新期	24
1.4.3 中国盾构技术的跨越期	29
第 2 章 盾构法与盾构隧道	32
2.1 盾构法概述	32
2.1.1 盾构法基本概念	32
2.1.2 盾构法施工力学分析	32
2.1.3 开挖面稳定力学原理	34
2.1.4 盾构法技术特点	35
2.1.5 盾构法的优缺点	35
2.1.6 盾构法适应范围	36
2.2 国内外盾构法发展现状	37
2.2.1 国外盾构法发展现状	37
2.2.2 中国盾构隧道发展简史	39
2.3 盾构工法	40
2.3.1 土压平衡盾构工法	40
2.3.2 泥水平衡盾构工法	40
2.3.3 异形断面盾构工法	41

2.4 盾构法施工风险	46
2.4.1 盾构法施工事故案例概述	46
2.4.2 盾构法施工风险分类	47
2.4.3 “三从四得”风险防控理论体系	50
2.5 盾构法发展趋势	52
第3章 盾构法施工关键技术	54
3.1 地质勘察技术	54
3.1.1 隧道勘察方法	54
3.1.2 隧道勘察手段	57
3.2 盾构选型关键技术	58
3.2.1 盾构选型原则	59
3.2.2 盾构选型步骤	59
3.2.3 盾构选型理论与实践	59
3.2.4 盾构荷载计算	68
3.2.5 主要参数设计	70
3.3 盾构施工沉降控制	77
3.3.1 盾构掘进土体扰动机制	78
3.3.2 地表变形沉降影响因素	79
3.3.3 地层位移预测方法	81
3.3.4 地表变形沉降控制	85
3.3.5 克泥效工法在沉降控制中的应用	87
第4章 盾构隧道衬砌设计	90
4.1 管片设计	90
4.1.1 管片设计方法	90
4.1.2 管片设计模型	93
4.1.3 管片荷载计算	97
4.1.4 管片抗震性论证方法	104
4.1.5 盾构管片配筋分析	104
4.2 管片接缝防水设计	106
4.2.1 密封垫道数选择	107
4.2.2 密封垫设计	108
4.2.3 密封垫材料选择	111
4.3 盾构隧道单双层衬砌问题	111
第5章 盾构大数据建设	113
5.1 盾构大数据作用及意义	113
5.2 盾构大数据建设实践与构想	114
5.2.1 盾构大数据采集平台	114
5.2.2 隧道工程大数据管理平台	115
5.2.3 计算仿真与智能决策平台	115
5.2.4 盾构隧道施工协同作业与监控平台	116
5.2.5 工程大数据发布平台	116

第6章 盾构关键部件及系统	119
6.1 刀盘刀具系统	119
6.1.1 刀具种类与结构形式	119
6.1.2 刀具破岩机理及失效形式	123
6.1.3 刀盘的功能	128
6.1.4 刀盘类型与结构形式	129
6.1.5 刀盘结构设计流程及要点	131
6.1.6 关键技术及发展趋势	133
6.2 刀盘驱动系统	138
6.2.1 驱动系统组成及分类	138
6.2.2 驱动系统关键部件	141
6.2.3 驱动系统控制原理	145
6.2.4 关键技术及发展趋势	147
6.3 液压推进系统	148
6.3.1 系统功能与组成	148
6.3.2 推进系统液压缸设计	149
6.3.3 液压推进系统液控原理	151
6.3.4 关键技术与发展趋势	153
6.4 管片拼装系统	154
6.4.1 管片拼装机结构功能	154
6.4.2 管片拼装机液控原理	155
6.4.3 关键技术及发展趋势	158
6.5 姿态控制系统	160
6.5.1 导向系统	160
6.5.2 控制系统及原理	165
6.5.3 姿态控制与调整	167
6.5.4 关键技术与发展趋势	168
6.6 数据采集监视系统	169
6.6.1 系统网络架构	169
6.6.2 系统控制方式	170
6.6.3 关键技术与发展趋势	172
6.7 注浆系统	174
6.7.1 系统功能及类型	174
6.7.2 注浆系统设计要点	177
6.7.3 关键技术及发展趋势	178
6.8 渣土改良系统	178
6.8.1 系统组成形式	179
6.8.2 渣土改良理论	181
6.8.3 关键技术与发展趋势	183
第7章 后配套及辅助设备	185
7.1 后配套设备	185
7.1.1 后配套设备介绍	185

7.1.2 后配套设备选用	186
7.2 施工辅助设备	188
7.2.1 轨道运输设备	189
7.2.2 后配套通风与隧道通风设备	189
7.2.3 冷却系统及污水处理设备	192
第8章 远程信息化管理系统	196
8.1 远程信息化管理系统体系架构	196
8.2 远程信息化管理系统支撑平台	197
8.2.1 支撑平台体系结构	198
8.2.2 支撑平台关键技术	199
8.3 远程信息化管理系统基础平台	200
8.3.1 盾构时空对象子系统	201
8.3.2 信息化应用运行环境	201
8.3.3 基础平台关键技术	203
8.4 盾构智能感知与远程监控子系统	203
8.4.1 智能感知网络基础架构	204
8.4.2 盾构远程监控系统	205
8.4.3 关键技术与发展趋势	206
8.5 盾构仿真与虚拟现实子系统	207
8.5.1 系统功能模块	207
8.5.2 关键技术与发展趋势	208
8.6 盾构业务管理子系统	209
8.6.1 系统功能模块	209
8.6.2 关键技术与发展趋势	209
8.7 盾构智能决策支持子系统	211
8.7.1 系统功能模块	211
8.7.2 关键技术与发展趋势	212
第9章 盾构制造与组装	214
9.1 盾构制造	214
9.1.1 刀盘制造	214
9.1.2 切口环制作	217
9.1.3 支撑环制作工艺	219
9.1.4 盾尾制作	220
9.1.5 螺旋输送机制作	222
9.1.6 主驱动箱体及环件制造	223
9.1.7 管片安装机加工工艺	224
9.2 组装及调试	225
9.2.1 场地布置	225

9.2.2	风、水、电供应方案	226
9.2.3	组装资源	226
9.2.4	组装培训	226
9.2.5	组装步骤	227
9.2.6	出厂调试	228
9.2.7	出厂检验、拆卸、包装及运输	228
第 10 章 盾构再制造		231
10.1 盾构再制造的概念		231
10.1.1	盾构再制造与维修的区别	231
10.1.2	盾构再制造一般要求	232
10.1.3	盾构再制造原则	232
10.1.4	盾构再制造目标	232
10.2 盾构再制造技术		233
10.2.1	刀盘、刀具	233
10.2.2	主驱动单元	233
10.2.3	盾体及后配套拖车	234
10.2.4	液压系统	234
10.2.5	电气系统	234
10.2.6	其他部件	235
10.3 盾构再制造标准		235
10.3.1	性能检测及再制造性评估	235
10.3.2	再制造总体方案制订	235
10.3.3	再制造设计	235
10.3.4	拆解与清理	235
10.3.5	零部件再制造加工	236
10.3.6	涂装	236
10.3.7	组装与调试	237
10.3.8	验收	237
10.3.9	主机及主要部件要求	237
10.3.10	后配套设备及辅助系统	239
10.3.11	安全环保要求	242
10.3.12	验收方法	242
10.3.13	随行文件	242
10.3.14	标志	242
10.4 盾构再制造应用		243
10.4.1	再制造前存在的问题	243
10.4.2	再制造	244
10.5 盾构再制造展望		246

第 11 章 现场组装、调试与拆机	249
11.1 盾构组装	249
11.1.1 基座安装与测量	249
11.1.2 盾构组装	250
11.2 盾构调试	255
11.2.1 空载调试	255
11.2.2 重载调试	256
11.3 盾构拆卸	256
11.3.1 吊耳及顶推支座的焊接	256
11.3.2 管线的拆除	256
11.3.3 主机与设备桥分离	257
11.3.4 后配套电气系统拆除	257
11.3.5 刀盘拆卸并吊出	257
11.3.6 主机前移	257
11.3.7 螺旋输送机拆卸	258
11.3.8 盾尾拆除	258
11.3.9 管片安装机的拆除	258
11.3.10 管片安装机轨道梁的拆除	258
11.3.11 主机后移并分离	258
11.3.12 中体吊出	258
11.3.13 前体吊出	258
11.3.14 接收架上铺设钢轨并延伸	258
11.3.15 螺旋输送机的吊出	258
11.3.16 设备桥吊出	258
11.3.17 后配套拖车的吊出	259
第 12 章 盾构始发、接收与调头	260
12.1 始发、接收的土工问题与技术要点	260
12.1.1 盾构始发与接收的土工问题	260
12.1.2 盾构始发与接收的技术要点	261
12.2 端头加固技术	263
12.2.1 端头土体失稳破坏理论	263
12.2.2 端头加固理论模型	270
12.2.3 端头加固方法	272
12.2.4 端头加固范围	274
12.2.5 端头加固效果检测	275
12.3 钢套筒始发及接收	276
12.4 地中对接与洞内解体	279
12.4.1 地中对接技术分类	279

12.4.2	地中对接和洞内拆机	283
12.5	盾构调头	287
12.5.1	调头准备	287
12.5.2	主机调头	288
12.5.3	设备桥调头	290
12.5.4	后配套调头	290
第13章	盾构掘进施工技术	292
13.1	盾构掘进参数控制	292
13.1.1	土压平衡盾构掘进参数控制	292
13.1.2	泥水平衡盾构掘进参数控制	296
13.2	不同工况及地层下盾构掘进	300
13.2.1	典型工况下盾构掘进	300
13.2.2	典型地层中盾构掘进	304
第14章	盾构开舱技术与动火作业	307
14.1	盾构开舱技术分类	307
14.2	盾构进舱难点与风险	308
14.3	土压盾构开舱技术	309
14.3.1	常压换刀作业	309
14.3.2	带压换刀作业	311
14.4	泥水盾构开舱技术	315
14.4.1	高压常压换刀作业	315
14.4.2	带压进舱作业方式	318
14.4.3	带压换刀作业要点	320
14.4.4	泥水盾构带压换刀技术	321
14.5	盾构开舱动火作业技术	325
14.5.1	常压动火作竖井刀盘修复技术	325
14.5.2	带压动火刀盘修复技术	327
第15章	盾构隧道衬砌施工	335
15.1	隧道衬砌结构与构造	335
15.1.1	隧道衬砌构成	335
15.1.2	一次衬砌	335
15.1.3	二次衬砌	337
15.1.4	管片构造	338
15.2	管片拼装要点	340
15.3	管片壁后注浆及防水	341
15.3.1	注浆材料选择	341
15.3.2	注浆参数控制	341
15.3.3	管片防水技术	342

第 16 章 软土及砂质地层盾构施工	347
16.1 软土及砂质地层地质特点	347
16.2 南昌地铁 1 号线艾溪湖东站—艾溪湖西站盾构区间	347
16.2.1 工程概况	347
16.2.2 地质水文条件	348
16.2.3 施工重难点	348
16.2.4 关键施工技术	348
16.3 西安地铁 2 号、3 号线盾构法施工隧道区间	350
16.3.1 工程概况	350
16.3.2 地质水文条件	351
16.3.3 施工重难点	351
16.3.4 关键施工技术	352
16.4 杭州地铁 1 号线武林广场站—艮山门站盾构区间	358
16.4.1 工程概况	358
16.4.2 地质水文条件	359
16.4.3 施工重难点	359
16.4.4 关键施工技术	359
16.5 本章小结	361
第 17 章 砂卵石地层盾构施工	363
17.1 砂卵石地层地质特点	363
17.2 成都地铁 1 号线 1 期 4 标段盾构工程区间	364
17.2.1 工程概况	364
17.2.2 地质水文条件	364
17.2.3 施工重难点	365
17.2.4 关键施工技术	366
17.3 北京地铁 4 号线北路站—北京南站盾构区间	374
17.3.1 工程概况	374
17.3.2 地质水文条件	374
17.3.3 施工重难点	374
17.3.4 关键施工技术	375
17.4 北京地铁 5 号线雍和宫站—张自忠路站试验段区间	379
17.4.1 工程概况	379
17.4.2 地质水文条件	380
17.4.3 施工重难点	380
17.4.4 关键施工技术	380
17.5 本章小结	385
第 18 章 上软下硬复合地层盾构施工	386
18.1 上软下硬复合地层地质特点	386
18.2 深圳地铁 5 号线 5307 标段怡黄区间	386
18.2.1 工程概况	386
18.2.2 地质水文条件	387

18.2.3	施工重难点	388
18.2.4	关键施工技术	388
18.3	深圳地铁 11 号线车公庙—红树湾盾构区间	397
18.3.1	工程概况	397
18.3.2	地质水文条件	397
18.3.3	施工重难点	398
18.3.4	关键施工技术	399
18.4	本章小结	404
第 19 章	全断面岩石地层盾构施工	405
19.1	全断面岩石地层地质特点	405
19.2	重庆主城排水过江隧道	405
19.2.1	工程概况	405
19.2.2	地质水文条件	405
19.2.3	施工重难点	406
19.2.4	关键施工技术	406
19.3	重庆轨道交通 6 号线 2 期试验段工程	416
19.3.1	工程概况	416
19.3.2	地质水文条件	416
19.3.3	施工重难点	417
19.3.4	关键施工技术	418
19.4	重庆轨道交通 6 号线 2 期工程铜锣山隧道工程	422
19.4.1	工程概况	422
19.4.2	地质水文条件	422
19.4.3	施工重难点	423
19.4.4	关键施工技术	423
19.5	本章小结	426
第 20 章	大直径泥水盾构施工	427
20.1	大直径泥水盾构特点	427
20.2	北京铁路地下直径线	427
20.2.1	工程概况	427
20.2.2	地质水文条件	428
20.2.3	施工重难点	428
20.2.4	关键施工技术	429
20.3	天津铁路地下直径线	433
20.3.1	工程概况	433
20.3.2	地质水文条件	434
20.3.3	施工重难点	434
20.3.4	关键施工技术	435
20.4	广深港客运专线狮子洋隧道	445
20.4.1	工程概况	445
20.4.2	地质水文条件	445

20.4.3	施工重难点	446
20.4.4	关键施工技术	446
20.5	武汉长江公路隧道	458
20.5.1	工程概况	458
20.5.2	地质水文条件	458
20.5.3	施工重难点	458
20.5.4	关键施工技术	459
20.6	南京扬子江隧道	460
20.6.1	工程概况	460
20.6.2	地质水文条件	460
20.6.3	施工重难点	461
20.6.4	关键施工技术	461
20.7	扬州瘦西湖隧道	468
20.7.1	工程概况	468
20.7.2	地质水文条件	468
20.7.3	施工重难点	469
20.7.4	关键施工技术	469
20.8	上海长江隧桥工程	473
20.8.1	工程概况	473
20.8.2	地质水文条件	473
20.8.3	施工重难点	473
20.8.4	关键施工技术	473
20.9	台山核电站海底取水隧洞工程	482
20.9.1	工程概况	482
20.9.2	地质水文条件	482
20.9.3	施工重难点	482
20.9.4	关键施工技术	484
20.10	本章小节	501
第21章	大直径土压平衡盾构施工	502
21.1	大直径土压平衡盾构施工特点	502
21.2	上海外滩通道工程	502
21.2.1	工程概况	502
21.2.2	地质水文条件	503
21.2.3	施工重难点	503
21.2.4	关键施工技术	503
21.3	长株潭盾构工程	512
21.3.1	工程概况	512
21.3.2	地质水文条件	513
21.3.3	施工重难点	513
21.3.4	关键施工技术	513
21.4	北京地铁14号线单洞双线隧道工程	517
21.4.1	工程概况	517