



“十三五”国家重点图书出版规划项目

中国隧道及地下工程修建关键技术研究书系

国家 863 计划项目 (2012AA041802)

SHIELD MACHINE DESIGN  
AND TUNNELING APPLICATION

# 盾构设计与施工

总策划 / 张宗言

编著 / 陈馈 王江卡 谭顺辉 廖小春 贺飞

主审 / 洪开荣 伍军 米晋生



中铁工程装备、中铁隧道局、盾构及掘进技术  
国家重点实验室联合研制的  
国内最大直径 ( $\phi 15.80\text{m}$ ) 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

中国隧道及地下工程修建关键技术研究书系

国家 863 计划项目 (2012AA041802)

SHIELD MACHINE DESIGN  
AND TUNNELING APPLICATION

# 盾构设计与施工

张宗言 / 总策划

陈 馈 王江卡 / 编 著  
谭顺辉 廖小春 贺 飞  
洪开荣 伍 军 米晋生 / 主 审



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

### 图书在版编目(CIP)数据

盾构设计与施工 / 陈馈等编著. — 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2019. 6

ISBN 978-7-114-15348-8

I. ①盾… II. ①陈… III. ①隧道施工—盾构法—研究 IV. ①U455.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 013198 号

书 名: 盾构设计与施工

著 者: 陈 馈 王江卡 谭顺辉 廖小春 贺 飞

责任编辑: 谢海龙

责任校对: 赵媛媛

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: 北京印匠彩色印刷有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 30

字 数: 720 千

版 次: 2019 年 6 月 第 1 版

印 次: 2019 年 6 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-15348-8

定 价: 195.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

## 内 容 提 要

基于作者及其团队在盾构装备研制与施工技术方面的创新成果及近 3000km 的盾构隧道修建技术实践,重点介绍了各种类型盾构的工作原理、设计要点及各种复杂地质和复杂环境条件的盾构施工技术。本书分为四篇共 19 章。第一篇“绪论”共 3 章,主要介绍盾构的起源与发展;第二篇“盾构构造与设计”共 6 章,主要介绍敞开式盾构、土压平衡盾构、泥水盾构、双模盾构、可变密度盾构等典型盾构的工作原理、构造及设计要点,以及日系和德系盾构的主要设计特点与典型案例;第三篇“盾构施工技术”共 4 章,主要介绍盾构选型、盾构法隧道施工、土体加固技术、隧道衬砌结构与构造等关键技术;第四篇“盾构施工案例”共 6 章,主要介绍软土地层、无水砂卵石地层、富水砂卵石地层、上软下硬复合地层、岩石地层、岩溶地层的盾构施工技术要点与典型案例。

全书深入浅出,资料翔实,图文并茂,配套精彩的盾构设计制造及盾构施工视频通过手机扫描二维码即可观看,视觉震撼,参考性强,可供盾构设计、施工、监理、工程管理、教学、科研等有关专业技术人员学习参考。

Shield Machine Design  
and Tunneling Application

## 编委会



总策划：张宗言

顾问：刘辉 杨华勇 李建斌

主审：洪开荣 伍军 米晋生

主编：陈馈 王江卡 谭顺辉 廖小春 贺飞

副主编：卢炜 莫振泽 张岩涛 胡新朋 卞钟鼎

王杜娟 孙志洪 杨永强 贺开伟 陈雪华

参编：(排名以姓名拼音为序,不分先后)

党西锋 冯欢欢 付金海 郭卫社 何山

贾连辉 焦胜军 李阁强 刘金祥 李润伟

李涛 毛红梅 宋克志 武金城 汪家雷

吴胜涛 王圣涛 杨延栋 杨晓强 张冰

钟长平 周高飞 周建军 张晓日 郑永光



**主编单位：**盾构及掘进技术国家重点实验室

中铁工程装备集团有限公司

中铁一局集团城市轨道交通工程有限公司

六朝松(北京)教育科技有限公司

**参编单位：**中铁隧道局集团有限公司

陕西铁路工程职业技术学院

广州轨道交通建设监理有限公司

西安市轨道交通集团有限公司

福建中天交通工程技术服务有限公司

南京阳铁实业有限公司

广州金土岩土工程技术有限公司

力信测量(上海)有限公司

## 作者简介



**陈 馈** 1963年11月出生,男,工程博士,1985年毕业于中南大学工程机械专业;盾构及掘进技术国家重点实验室党工委书记、常务副主任;硕士生导师,博士后合作导师;教授级高工,国家一级建造师,国家科技进步一等奖获得者,享受国务院政府特殊津贴。“国家火炬计划”专家库专家;国家重大专项评审专家;企业国家重点实验室评审及验收专家;航空精密轴承国家重点实验室学术委员会委员;高端工程机械智能制造国家重点实验室学术委员会委员;全国建筑施工机械与设备标准化技术委员会委员;中国土木工程学会隧道及地下工程分会隧道掘进机专业委员会副主任委员;盾构再制造创新战略联盟秘书长;机械装备先进制造河南省协同创新中心学术委员会副主任;中国工程机械工业协会掘进机械分会理事;《现代隧道技术》《隧道建设》编委。石家庄铁道大学、华北水利水电大学、河南科技大学、陕西铁路工程职业技术学院、哈尔滨铁道职业技术学院等高校兼职教授;中铁隧道局集团一级专家,中国中铁专家,洛阳市第八批优秀专家,郑州市第十二批专业技术拔尖人才,河南省科技成果鉴定评审专家库专家,河北省科技进步奖评审专家,广东省科技业务管理阳光政务平台科技咨询专家,河南省五一劳动奖章获得者;主持国家973计划课题3项、863计划课题3项、国家国际合作科技专项1项;获国家科技进步一等奖1项,获国家发明专利26项,在核心学术期刊发表学术论文150余篇;主持编写了行业标准《铁路隧道全断面岩石掘进机法技术指南》铁建设[2007]106号(GB 50446—2008)、国家标准《盾构法隧道施工与验收规范》铁建设[2007]106号(GB 50446—2008),著有《盾构施工技术》《国内外盾构法隧道施工实例》《盾构机司机培训教程》《盾构构造与维护》《中国盾构》《TBM设计与施工》《盾构与掘进关键技术》《中国隧道》《中国高铁》等学术著作。

**王江卡** 1975年出生,男,建筑与土木工程硕士,教授级高级工程师,国家一级注册建造师。现任中铁一局集团城市轨道交通工程有限公司总经理;无锡市劳动模范;全国城市轨道交通领域首个国家优质工程金奖——无锡一号线创优金奖突出贡献者;无锡市锡山区第四届政协协委员,江苏省科技企业家,中国中铁第四届十大杰出青年,中国中铁专家;江苏省轨道交通财经论坛副理事长;中国工程机械学会盾构再制造创新战略联盟副理事长。现主要从事城市轨道交通工程盾构施工及管理,获得国家级科技创新成果奖5项,省部级科技创新奖2项,中国中铁科技创新奖5项,实用新型专利1项,发明专利7项。先后参与广州、深圳、东莞、佛山等多个城市的轨道交通建设,发表论文10余篇,参与国家标准2项。





谭顺辉 1969 年出生,男,教授级高级工程师,国家一级建造师。1991 年参加工作,主持过多个国家重难点隧道工程施工,被授予“全国优秀项目经理”。2009 年调至中铁工程装备集团有限公司,历任副总经理、设研总院院长和总经理,现任中铁工程装备集团有限公司党委书记、董事长;中国土木工程学会隧道及地下工程分会理事及该分会隧道掘进机专业委员会副主任委员;盾构及掘进技术国家重点实验室理事会副理事长;中国工程机械工业协会隧道掘进机械分会副会长;河南省学术技术带头人,河南省“五一劳动奖章”获得者、中国中铁专家。现主要从事全

断面隧道掘进机(盾构/TBM)设计制造及应用技术研究工作;主持/参与多项国家、省部级重大科技专项课题,获国际发明专利 1 项、国家发明专利 8 项、实用新型专利 5 项;获河南省科技进步一等奖 1 项,中国施工企业管理协会科学技术一等奖 1 项,中国铁路工程总公司科学技术特等奖 2 项、一等奖 4 项、二等奖 2 项;在核心学术期刊发表学术论文 10 余篇,主、参编国家标准 3 项。



21 世纪是隧道及地下空间大发展的新时代,“十三五”期间,全国新建铁路不低于 2.3 万 km,总投资不低于 2.8 万亿元;同时,我国正处于城市轨道交通建设繁荣期,预计到 2020 年,全国拥有轨道交通的城市将超过 50 个;城市地下综合管廊也每年规划 2000km,从其发展趋势来看,在未来的投资有望超过高速铁路。

纵观隧道施工技术的进步与发展,每一次技术进步都体现在机械化、智能化程度的不断提高。隧道施工主要经历了钢钎大锤法、手持风钻法、液压凿岩台车法和盾构/TBM 法等四个发展阶段:第一阶段主要依靠人力开挖,第二阶段使用手持风钻和小型矿车,使隧道修建从人力开挖发展到半机械化开挖,第三阶段使得隧道修建从半机械化开挖发展到机械化开挖,第四阶段盾构/TBM 法使得隧道修建从机械化开挖跨越到机械化智能化全断面施工。盾构/TBM 法具有快速、安全、环保、自动化等优点,与我国隧道及地下工程快速、安全、高质量发展的要求不谋而合。

在盾构/TBM 法施工技术应用前的漫长岁月中,隧道施工主要得益于中国四大发明之一的火药。那时,为了避免修建长隧道,必须尽可能地采用迂回展线来克服地形高差,使线路尽可能的依山傍水。宝成铁路上的 34 条隧道,最长的秦岭隧道也仅 2363m 长,由于当时机械化程度低,中国修建这条长度在 2km 以上的隧道绝非易事,施工中首次使用了风动凿岩机和轨行式矿车;20 世纪 60 年代中期修建的成昆铁路全长 1085km,隧道占全线 31%,其中关村坝隧道和沙木拉打隧道长度均超过 6km,这批隧道采用了轻型机具,运用分部开挖法进行“小型机械化”施工,修建速度达到了每月“百米成洞”;中国修建长度 10km 以上隧道,是从代表中国隧道施工技术的专业化集团——中铁隧道工程局——修建 14.295km 长的大瑶山隧道开始的,在这条双线铁路隧道施工中,采用了全液压凿岩台车,衬砌钢模板台车和装运机械等机械化成套装备;1999 年 8 月,由中铁隧道局和中铁十八局建设的中国当时最长的铁路隧道——秦岭

隧道贯通,这条长 18.457km 的隧道使用了 TBM 法顺利建成,标志着中国隧道修建技术进入了世界先进行列;2018 年,由中国中铁采用自主研发的世界首台马蹄形盾构修建的蒙华铁路白城隧道获世界隧道界最高奖(国际隧道协会技术创新项目奖),标志着异形盾构成功应用于山岭隧道。

挑战隧道施工技术极限的川藏铁路,其工程环境具有显著的地形高差、强烈的板块活动、频发的山地灾害及脆弱的生态环境等四大特点,先后跨七江、穿八山,七下八上;长大隧道比重之高、地应力之高、深大活动断裂之多、高地温之严重、洞口灾害源之多、施工组织之困难、防灾救援挑战之大、出渣处理之困难等挑战前所未有;如何确保安全施工和快速掘进,最大的问题是防止隧道坍塌和确保隧道内进料与出渣运输的顺畅。软、硬、破碎、断裂、高水压、高地温、高寒、高海拔、高地应力等复杂地质与水文条件对大型机械化掘进提出了更高、更新、更复杂的要求,这需要盾构技术、TBM 技术有机的交叉融合与综合创新。积极推动极端条件下双结构多模式掘进机、双支护掘进机等新型盾构与 TBM 装备的研发,是盾构、TBM 设计与施工的重中之重。

盾构作为广泛应用于城市轨道交通、地下综合管廊、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,自从 2014 年 5 月 10 日,习近平总书记在中国中铁盾构产业基地中铁装备提出“推动中国制造向中国创造转变、中国速度向中国质量转变、中国产品向中国品牌转变”的重要指示以来,盾构技术在中国尤其是在中国中铁取得了跨越式发展。

中国盾构的起步虽然落后于国外 128 年,但作为“三个转变”理念的积极践行者,中国中铁牢记习近平总书记嘱托,高扬“三个转变”精神旗帜,恪守“勇于跨越,追求卓越”的企业使命,发扬“一往无前”的盾构精神,经过近年的快速发展,中国盾构数量已超过 2000 台。从最开始的上海市、广州市、北京市,扩展到全国近 50 个城市和地区;从北上广沿海城市逐渐向西部和内陆辐射;从完全是国内市场,到开始进入国际市场;从最开始的地铁隧道,延伸到公路、铁路、水利、电力、市政、燃气、污水等各个领域;从上海的单一软土地层,应用到高水压地层、硬岩地层、硬岩软土复合地层、卵石地层、孤石球状风化岩地层、上软下硬地层等各种复杂地层;从单一的圆形盾构,发展到矩形、类矩形、马蹄形等异形断面盾构;区间隧道长度也从 1km 左右的地铁区间隧道,增加到 7~8km 甚至 10km 以上的过江隧道;盾构直径也从 6m 多扩展到下至 3m 左右的小直径盾构、上至 17.60m 的超大直径盾构。中国已经是世界上盾构和盾构法隧道数量和里程最大、项目最多、投资和发展最快的国家。

盾构技术的发展日新月异,盾构技术的发展方向主要表现在三个方面:一是异形、小型、超大型等多元化、多模式盾构;二是大埋深、高海拔、高温或极寒隧道等极端地质环境盾构;三是全方位、全生命周期服务、自动巡航等智能盾构。盾构技术发展趋势主要体现在六个方面:一是挑战极限(更大的直径、更长的隧道、更高的水压、更大的埋深、更快的掘进速度、更复杂多



变的地质条件);二是更安全、更环保;三是更复杂的功能、更简单的操作、更智能化的设计;四是更长的寿命;五是更高的地质适应性;六是盾构设计数字化、盾构制造模块化、盾构控制智能化、盾构服务网络化。

未来,随着盾构与 TBM 多源信息融合与大数据技术的发展,盾构与 TBM 施工就像无人飞机一样,将不再需要大量人员进行操作,而是基于强大的 CPS,能够自己判断前方地质及环境条件,自动选择掘进模式,自动选择刀具或掘进介质,自动调整掘进参数,实现自动推进、自动纠偏、自动拼装、自动注浆,并同步完成自动化决策管控。智能盾构与 TBM 无论是“远程控制”“自动巡航”,还是“智能掘进”,能在数千公里外进行控制,正常工作时无人的,关键时刻可以人为干预,使得盾构与 TBM 掘进更加自动化、智能化。

由陈馈、王江卡、谭顺辉、廖小春、贺飞等中国中铁专家牵头编著的《盾构设计与施工》学术专著,就是在当代中国隧道大建设、大发展和大机遇的新时代契机下孕育而生的。该书基于中国中铁“产、学、研、用”相结合的作者团队 800 余台盾构 TBM 装备研制及近 3000km 的盾构 TBM 隧道修建技术实践,重点介绍了各种类型盾构的工作原理、设计要点及各种复杂地质和复杂环境条件的盾构施工技术。这一研究和总结,不仅在中国而且在世界的盾构设计与施工领域也是一项新的成果,对以后的盾构设计与施工及即将建设的川藏铁路 TBM 的施工将起到有价值的指导和参考作用。本书是中国中铁为国庆 70 周年献礼之作,是为习总书记在中国中铁盾构产业基地提出“三个转变”重要指示 5 周年献礼之作;在本书即将付印之际,我谨以此序向该书的作者和编委表示祝贺,期待本书在推动盾构设计与施工技术发展方面发挥重要参考作用。

中国中铁股份有限公司 总 裁:  
中国铁道工程建设协会 副理事长:  
中国铁道学会 副理事长:



2019 年 3 月

## 序 二

“盾构”是目前隧道与地下工程领域最为热门的词语之一,利用百度搜索引擎,可搜索到盾构相关词条约 13700000 个,中国知网可查到 40000 余篇有关盾构的科技文献。在这些浩如烟海的文献和资料之中,《盾构设计与施工》一书脱颖而出,必将为新时代隧道与地下工程的发展提供新的知识和技术源泉。

“21 世纪是隧道与地下工程大发展的时代”,这句话在当今体现得淋漓尽致。城市轨道交通、城市地下管廊、公路铁路隧道、穿江越海隧道等,为盾构的设计、制造与施工提供了广阔的市场,对盾构需求巨大。据不完全统计和预测,“十三五”期间,我国各类隧道与地下工程建设约需盾构 2000 余台,这部著作的出版,将为我国盾构设计与施工起到显著的推动和提升作用。

盾构法修建隧道是岩土、结构、机电、控制等学科知识与技术的综合,主要由开挖面稳定、掘进及排土、管片衬砌及壁后注浆三大要素组成。盾构隧道需要土木工程师和机电工程师的通力合作来完成,二者缺一不可。自从 1818 年布鲁内尔注册了盾构法隧道掘进专利,并于 1825 年首次在伦敦泰晤士河底使用矩形盾构修建隧道以来,盾构经历了近 200 年的发展历史。纵观盾构发展历史,盾构应用从软弱富水地层到砂层、粗粒土地层,再到软硬复合地层及岩石地层,盾构直径从 3m 左右发展 17m 以上,盾构形式从单一的矩形与圆形发展到多样化的类矩形、多圆形、马蹄形及球体盾构等。目前,盾构技术发展比较成熟,其发展趋势具有微型和超大型化、形式多样化、高度自动化、高适应性等特点。《盾构设计与施工》一书,重点介绍各类盾构的工作原理、构造及设计要点,盾构选型与施工关键技术,日系、德系及中系盾构的主要设计特点,各类地层的盾构施工技术要点与典型案例。这是作者及其团队多年从事盾构技术工作的经验和学识的总结与提升,是他们在盾构装备研制与施工技术方面的创新成果与近 3000km 的盾构隧道修建技术的创新实践。

## 2 | 盾构设计与施工 |

全书深入浅出、资料翔实、图文并茂、字字珠玑,并配以精彩的盾构设计与施工视频,视觉震撼,参考性强。“书到用时方恨少,事非经过不知难”“开卷有益”,唯愿本书成为广大隧道建设者的良师、益友。

谨为序。

中国工程院院士



2019年3月



盾构法是建造地下隧道最先进的施工方法之一。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年开始,法国人布鲁内尔在英国伦敦泰晤士河下首次使用手掘式矩形盾构开挖世界上第一条盾构法隧道以来,盾构技术至今(2019年)已经历了194年的应用与发展。从第一代手掘式盾构发展到目前以大推力、大扭矩和高智能化为特色的第四代盾构过程中,我国盾构的发展通过国外引进、消化吸收、集成创新、自主创新,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,正在致力于研制第四代半、第五代盾构,以开启盾构颠覆性原创核心技术全新时代。

盾构法施工技术在世界许多国家不断得到发展,但在推广应用过程中出现了一些事故,这些事故的发生,不仅影响了整个盾构工程的工期,还造成了重大经济损失和不必要的人员伤亡。针对盾构技术行业发展现状,本书以盾构设计与盾构施工关键技术为切入点,结合我国各种典型地质盾构施工案例进行阐述,以促进盾构技术领域信息交流和成果共享,以期推动盾构设计与盾构施工技术的快速发展。

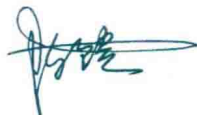
本书基于作者及其团队在盾构装备自主研发与盾构施工技术方面的创新成果及近3000km的盾构隧道修建技术实践,重点介绍了各种典型盾构的工作原理、设计要点及各种复杂地质和复杂环境条件的盾构施工技术。全书分为“绪论”“盾构构造与设计”“盾构施工技术”“盾构施工案例”四大篇。“绪论”“盾构构造与设计”“盾构施工技术”作为全书的理论篇,概述了盾构的起源与发展、盾构的工作原理、构造及设计要点,以及日系和德系盾构的主要设计特点、盾构选型、盾构法隧道施工、土体加固技术、隧道衬砌结构与构造等关键技术;通过该部分内容介绍,使读者熟悉盾构设计与施工的理论体系。在此基础上,展开第四篇“盾构施工案例”的阐述,本篇内容作为《盾构设计与施工》的实践篇,介绍软土地层、无水砂卵石地层、富水砂卵石地层、上软下硬复合地层、岩石地层、岩溶地层的盾构施工技术要点与典型案例,使读者及广大工程技术人员对盾构施工有直观感,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。

在本书撰写过程中得到了中国工程院杨华勇院士和陈湘生院士的大力指导,给予作者很

多具体意见和鼓励。此外,本书还得到了中铁隧道局集团有限公司、盾构及掘进技术国家重点实验室、中铁工程装备集团有限公司、中铁一局集团有限公司、福建中天交通工程技术服务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。

期望本专著能给我国盾构设计与盾构法施工提供参考和借鉴。尽管作者为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与大家进一步研讨,敬请广大同行提出批评意见并指正。

作者代表:



2019年3月1日于北京

# 目 录

## ► 第一篇 绪论

第 1 章 世界盾构起源与发展 .....	3
1.1 盾构的概念 .....	3
1.2 盾构的工作原理 .....	3
1.3 盾构的分类 .....	4
1.4 盾构的起源与发展 .....	7
思考题 .....	12
第 2 章 中国盾构技术创新与发展 .....	13
2.1 中国盾构技术的黎明期 .....	13
2.2 中国盾构技术的创新期 .....	18
2.3 中国盾构技术的跨越期 .....	25
思考题 .....	36
第 3 章 盾构法概论 .....	37
3.1 隧道施工主要方法 .....	37
3.2 盾构法基本概念 .....	38
3.3 盾构法技术特点 .....	38
3.4 盾构法优缺点 .....	39
3.5 盾构法适应范围 .....	40
3.6 国外盾构法隧道发展简史 .....	42
3.7 中国盾构法隧道发展简史 .....	44
3.8 盾构技术发展趋势 .....	53
思考题 .....	54

## ► 第二篇 盾构构造与设计

第 4 章 敞开式盾构 .....	57
4.1 手掘式盾构 .....	58

4.2	半机械式盾构 .....	59
4.3	机械式盾构 .....	62
4.4	挤压式盾构 .....	63
	思考题 .....	64
<b>第5章</b>	<b>土压平衡盾构 .....</b>	<b>65</b>
5.1	概念与工作原理 .....	65
5.2	开挖面稳定机理 .....	67
5.3	土压平衡盾构掘进模式 .....	70
5.4	渣土改良 .....	71
5.5	土压控制 .....	75
5.6	基本配置 .....	78
5.7	主要部件和系统的选择与设计 .....	84
5.8	地质适应范围 .....	109
	思考题 .....	110
<b>第6章</b>	<b>泥水盾构 .....</b>	<b>111</b>
6.1	泥水盾构分类 .....	111
6.2	泥水盾构系统构成 .....	114
6.3	日系和德系泥水循环系统设计区别 .....	117
6.4	日系和德系泥水循环系统设计的优缺点 .....	123
6.5	开挖面稳定机理 .....	124
6.6	地质适应范围 .....	130
6.7	泥水盾构常压换刀刀盘 .....	131
	思考题 .....	135
<b>第7章</b>	<b>双模式盾构 .....</b>	<b>136</b>
7.1	土压泥水双模盾构 .....	136
7.2	土压 TBM 双模盾构 .....	147
7.3	泥水 TBM 双模盾构 .....	166
	思考题 .....	170
<b>第8章</b>	<b>可变密度盾构 .....</b>	<b>171</b>
8.1	工作原理 .....	171
8.2	地质适应范围 .....	174
	思考题 .....	175
<b>第9章</b>	<b>日系与德系盾构设计特点 .....</b>	<b>176</b>
9.1	欧洲的地质特点 .....	176
9.2	日本的地质特点 .....	177
9.3	德系与日系盾构的主要区别 .....	178
9.4	德系与日系盾构设计案例 .....	179
9.5	中系盾构的形成与崛起 .....	186