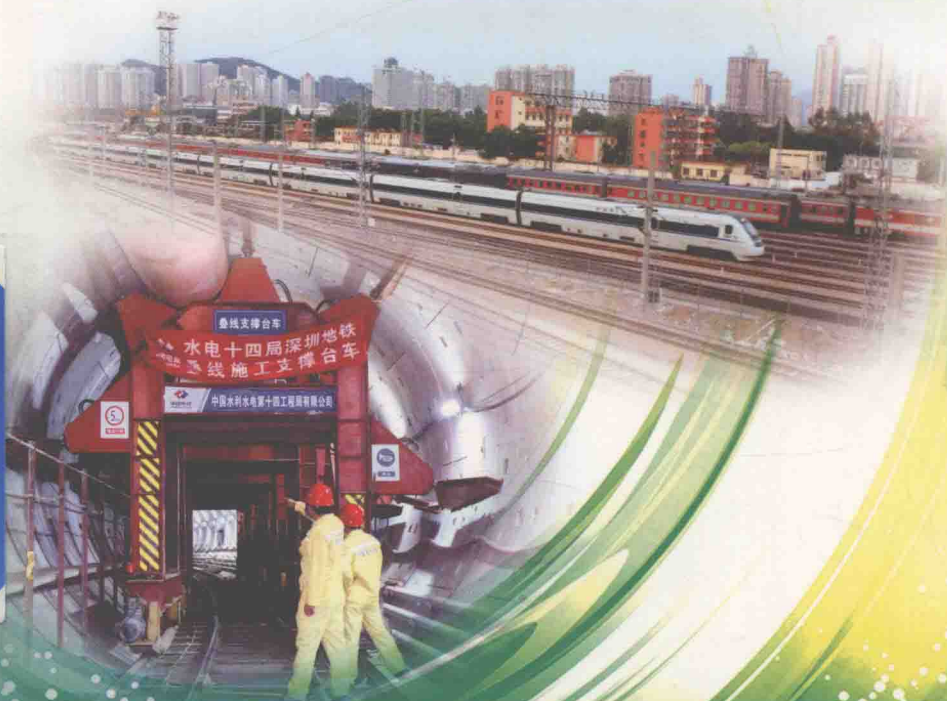


轨道交通建造关键技术研究丛书

地铁叠线盾构区间隧道下穿 高铁轨道群施工关键技术

DITIE DIEXIAN DUNGOU QUJIAN SUIDAO XIACHUAN
GAOTIE GUIDAOQUN SHIGONG GUANJIAN JISHU

任立志 张述毕 李 围 段景川 著



任立志

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

轨道交通建造关键技术研究丛书

地铁叠线盾构区间隧道下穿高铁 轨道群施工关键技术

任立志 张述毕 李 围 段景川 著

中国铁道出版社

2018年·北京

内 容 简 介

针对地铁叠线盾构隧道施工顺序、叠线下穿大规模轨道群(26股道)沉降控制、传统叠线盾构隧道下隧道内支撑台车系统无法实现准同步施工以及叠线盾构始发技术难度大的技术问题,本书就重叠盾构隧道在不同施工顺序下的应力和变形进行了分析,主要研究了叠线盾构区间隧道施工先后顺序、中间夹层土体加固范围和参数要求,并研制了下部隧道移动式同步支撑上部隧道盾构机荷载的台车系统,建立了重叠盾构隧道“先下后上准同步”工法。在地铁盾构隧道下穿准高速铁路轨道群风险分析基础上,采取路基与轨道加固、叠线夹层土改良和沉降实施监测等措施,创建了高铁不减速运营条件下2 m净距重叠盾构隧道下穿高铁轨道群的成功案例,实现了最大沉降值为4 mm,远小于控制值10 mm。

本书为城市轨道交通土建工程专业书籍,可作为从事轨道交通工程施工、设计、监理和建设管理技术人员的指导用书及继续教育用书,也可作为高校教师和研究生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

地铁叠线盾构区间隧道下穿高铁轨道群施工关键技术/任立志等著. —北京:中国铁道出版社,2018.6

(轨道交通建造关键技术研究丛书)

ISBN 978-7-113-24519-1

I. ①地… II. ①任… III. ①地铁隧道-隧道施工 IV. ①U231.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第102647号

书 名: 轨道交通建造关键技术研究丛书
地铁叠线盾构区间隧道下穿高铁轨道群施工关键技术
作 者: 任立志 张述毕 李 围 段景川

策 划: 傅希刚
责任编辑: 张 瑜
封面设计: 郑春鹏
责任校对: 苗 丹
责任印制: 高春晓

编辑部电话: 010-51873017

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)
网 址: <http://www.tdpress.com>
印 刷: 中国铁道出版社印刷厂
版 次: 2018年6月第1版 2018年6月第1次印刷
开 本: 880 mm×1 230 mm 1/32 印张: 6.875 字数: 176千
书 号: ISBN 978-7-113-24519-1
定 价: 30.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。

电话:(010) 51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010) 51873659,路电(021) 73659,传真(010) 63549480

丛书编委会名单

(按姓名拼音字母排序)

主任:范富国	李 围	任立志	
副主任:和孙文	蒋宗全	孟庆明	王 成
张业勤	赵春生	朱瑞喜	
委员:白 伟	陈 娇	陈克强	陈天平
刁目国	董发俊	段景川	段汝健
段志宏	房俊凯	房师涛	付艳军
高 朗	高玉生	郭建光	郭振华
胡德华	胡卫国	胡志华	黄 胜
黄 武	惠世前	蒋 俊	靳方罗
靳利安	柯昌喜	李 博	李光耀
李金武	李彦臣	李 泽	梁高峰
刘才平	刘福贵	刘琨阳	刘学生
刘雪峰	刘永波	马健军	马克乾
毛宇飞	梅伏明	庞林军	祁海峰
秦 俊	任晓龙	任彦顺	沈国成
孙成山	孙宏江	魏百术	徐有亮
薛清伟	杨光武	杨国忠	杨永杰
耶律根迪	张虎成	张 磊	张书起
张述毕	张 涛	张 陶	张应盛
赵新杰	周建伟		

作者简介

任立志,男,1967年3月出生,河北磁县人,汉族,中共党员,上海铁道学院铁道工程专业学士、英国格林威治大学项目管理硕士,教授级高级工程师。现任中国电建集团铁路建设有限公司副总经理、中国土木工程学会城市轨道交通分会理事、世界轨道交通发展研究会理事、深圳土木建筑学会轨道交通专业委员会理事、中国施工企业管理协会科学技术奖评审专家、上海应用技术大学兼职教授、深圳市市政设计研究院高级顾问。自1991年7月参加工作以来,先后参加或主持了广梅汕铁路、广州地铁1号线、内昆铁路、渝怀铁路、北京地铁5号线、青岛海底隧道、深圳地铁7号线、深圳地铁4号线三期、深圳地铁5号线南延线、深圳地铁9号线支线、深圳地铁10号线等工程的建设,对铁道工程、城市轨道交通设计与施工有深入的研究和见解。获得各级科学技术奖15项,获得专利36项,获得中国施工企业管理协会2015年度科技创新先进个人称号,出版专著3部。

张述毕,男,1975年12月出生,中共党员,籍贯云南省昭通市,高级工程师。现任中国水利水电第十四工程局有限公司轨道工程事业部总经理,主要从事城市轨道交通、铁路工程、城市水环境工程、公路工程等行业建设投资管理,先后参与了江西斗晏电站、广西天生桥电站、昆明宜良柴石滩电站、贵州乌江洪家渡电站、云南开远大唐红河火电厂、四川华电泸定水电站和深圳地铁7号线7306标工程等项目的建设管理,历任技术员、部长、副经理和项目经理等职务。截至

目前,发表论文 10 余篇,申报专利 14 项,获省部级科技进步奖 4 项,以及荣获电建集团优秀项目经理称号。

李围,男,1979 年 7 月出生。2006 年毕业于西南交通大学桥梁与隧道工程专业,获工学博士学位,现任上海应用技术大学轨道交通学院教授、铁道工程专业责任教授。先后工作于贵州大学、浙江大学宁波理工学院、中国电建铁路建设有限公司,分别任副教授、教授、副总工,荣获贵州省优秀青年科技人才、瑞士联邦理工大学访问学者,师从国际著名的岩石力学和隧道工程专家 J. ZHAO 教授。担任国家自然科学基金同行评议专家、《工程力学》和《岩土工程学报》EI 收录期刊审稿人。截至目前,先后主持省部级课题 4 项,主持地铁和公路隧道施工技术研究横向项目 10 余项,发表论文 40 余篇(其中,第一作者 EI 收录 9 篇,第一作者核心期刊 20 余篇),出版专著及教材 5 部,获省部级科技进步奖 1 项。

段景川,男,1987 年 7 月出生,湖南常德人,汉族,中共党员,西南交通大学桥梁与隧道工程专业硕士,工程师。现供职于中电建南方建设投资有限公司工程管理部。自 2013 年 7 月参加工作以来,先后参与了深圳地铁 7 号线、深圳地铁 4 号线三期、深圳地铁 5 号线南延线、深圳地铁 9 号线支线、深圳地铁 10 号线等工程的建设工作,对岩土工程及铺轨施工有深入的研究与见解。参与获得省政府、行业协会、电建集团等各级科学技术奖 7 项,获得专利 9 项,由科学出版社等出版专著《地铁隧道下穿公路诱发地层变形理论与控制技术》等 3 部,在公路交通科技、隧道建设等学术期刊上发表《盾构隧道施工近接下穿水工结构物施工力学特性分析》等论文 11 篇,获得中国电建铁路建设有限公司 2016 年度优秀科技先进个人称号。

前 言

随着轨道交通线网规模的不断扩容及运营服务标准的提高,不同线路间换乘及联络日益频繁。同时,受既有周边环境的制约,区间隧道间的空间关系变得日益复杂,不仅出现了十字形或小角度交叉,左右线上下平行重叠的区间隧道相继在上海、北京、深圳、杭州等城市的轨道交通工程中大量出现。

可见,随着轨道交通建设进程的推进,采用上下重叠布置的盾构区间隧道由于可较好地解决周边环境制约、道路红线狭窄、线网运营换乘功能需求等问题而得到越来越多的采纳。然而,针对上下重叠盾构隧道的研究相比工程实践存在较明显的滞后性,对工程建设的指导性存在不足,故加强地铁区间上下重叠盾构隧道的研究显得必要而迫切。

目前国内对于重叠隧道问题的研究仍缺乏系统性及深入性,特别是中国电建集团深圳地铁7号线BT项目笋洪区间盾构隧道叠线下穿高铁轨道群施工技术难题。因此,有必要在系统总结国内已有重叠隧道设计与施工经验的基础上,深入开展地铁叠线盾构区间隧道下穿高铁轨道群施工关键技术的研究,主要包括地铁叠线区间隧道盾构法施工先后顺序、中间夹层土体加固技术、下线隧道内支撑技术以及下穿高铁轨道群加固技术、盾构掘进技术、沉降自动化监测技术和施工安全应急技术。

本书是由中国电建集团重大专项“复杂环境及地质条件下地铁修建关键技术”(ZDZX-07)的两个子课题“连续多段小净距叠线地铁盾构隧道施工关键技术”和“地铁交叠盾

构隧道下穿准高速铁路轨道群施工关键技术”研究成果的总结而成的。该研究成果直接指导完成了中国电建集团深圳地铁7号线BT项目6个区间叠线段总长度1 029 m的
施工任务,确保了施工安全,产生了良好的经济效益。

课题研究的一种用于重叠盾构隧道施工的支撑台车及支撑台车系统被授权发明专利,叠线盾构隧道自行式支撑架加固施工工法、盾构隧洞叠线段下线支顶加固上线快速掘进施工工法和盾构隧道下穿铁路站场轨道群地面加固施工工法获批中国电力建设集团工法。

研究成果“地铁叠线盾构隧道下穿准高速铁路轨道群施工关键技术研究”获中国施工企业管理协会科学技术奖二等奖、中国电力建设集团科学技术奖一等奖。

本书第1章、第5章和第8章由任立志撰写;第3章3.2节、3.3节,第4章4.4节、4.5节和第7章由张述毕撰写;第3章3.1节、第4章4.1节~4.3节和附录由李围撰写;第2章和第6章由段景川撰写;全书由李围统稿。

本书在撰写过程中,参阅了许多专家学者发表的论文,在此向他们表示真诚的谢意!

本书在撰写中还得到了付艳军、杨光武的帮助,整理过程中得到了朱慧坤的帮助,中国铁道出版社的傅希刚、陈小刚等编辑也对本书的修改与完善提出了大量宝贵意见和建议,在此向他们一并表示感谢!

由于时间仓促加之作者水平有限,书中如有不妥之处,恳请同行专家及读者给予批评和指正。

作 者
2018年5月

出版说明

截至 2017 年,我国城市轨道交通开通运营线路总长度达 3 862 km(118 条),开通城市 29 个,其中步入网络化运营的城市共有 13 个,客运量达 176.8 亿乘次,全国共有 9 个城市网络日均进站量超过 100 万人次,共有运营员工 20.8 万人,平均每公里线路 54 人。

我国城市轨道交通占公共交通比例还很小(见表 1),与国际化大都市差距大,轨道交通发展潜力还很大。例如,尽管上海运营里程突破了 680 km,为世界上轨道交通运营里程最多的城市,但其轨道交通占公共交通比例仅刚过 50%,其中多条线路已经超负荷运营,上下班时间拥挤不堪。而深圳已经完成了三期建设运营,轨道交通仅占公共交通的三分之一还不到。

表 1 世界各国大都市轨道交通占公共交通的比例

东京	伦敦	巴黎	莫斯科	上海	北京	深圳
86%	70%	70%	55%	54.6%	45%	32%

当前,我国轨道交通还处于高速发展期,特别是由于我国幅员辽阔,各区域地质差异较大,导致地铁的施工难易也不相同,因此,需要解决不同城市地质环境条件下地铁施工技术问题。

我国城市地质条件主要有:以上海、杭州等为代表的深厚软土层,以西安为代表的黄土地层,以成都为代表的砂卵

石和漂石地层,以深圳、广州为代表的不同风化花岗岩组成的混合地层,以重庆、青岛为代表的岩石地层,以贵阳为代表的岩溶地层。其中,深圳混合地层主要为第四系全新统人工堆积层、海积层、海冲积层、冲洪积层、洪积层、上统更新坡积层、残积层震旦系混合岩和花岗片麻岩、震旦系混合岩和花岗片麻、燕山期花岗岩和加里东期混合花岗岩,地下水位位于地面以下 0.7~12.1 m。混合地层地铁施工难度最大,其主要地质问题如下:

1. 车站

范围内岩面高,基岩侵入车站范围内最大厚度达 14 m,地下连续墙入岩最大深度为 17.5 m,强度最高达 132 MPa,大倾角陡坡硬岩(45°)分布广泛。基坑控制爆破困难,成槽困难。

2. 盾构区间隧道

穿越地段基岩面起伏大、变化剧烈,硬岩、上软下硬、富水砂层、孤石、掘进中存在盾构机姿态难以控制、坍塌、涌水,地面沉降难以控制从而造成地面建筑物开裂损坏、盾构机易被卡住等。

3. 矿山法区间隧道

位于全强风化花岗岩中,顶部主要为砂质黏性土、素填土、中砂、粗砂等富水软土层,施工失水极易引起隧道变形、地面塌方等风险。再加上在深圳主城区修建地铁地上地下环境条件复杂,例如三期重大工程 7 号线穿越深圳主城区,全线正下穿既有建筑物 20 余栋,5 次下穿河流和湖泊,1 次上穿高速铁路,2 次下穿既有铁路,4 次下穿已运营地铁线,8 次下穿(或侧穿)既有桥梁,在华强北商圈核心地段与 7 号

线同步实施华强北地下空间工程。

本套丛书结合我国目前正在大力修建的城市地铁重大工程,及时总结施工中研究形成的新技术并出版,为同城后期地铁工程的建设提供技术支撑和其他城市类似工程提供技术参考有其重要意义。

因此,中国铁道出版社与地铁建设相关单位合作,出版《轨道交通建造关键技术研究丛书》,期待为我国地铁工程新技术的进步贡献一份力量。

丛书策划:李围、傅希刚

2018年1月1日

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 研究背景	1
1.2 叠线盾构区间隧道技术现状	3
1.3 盾构区间隧道下穿铁路现状	5
1.4 盾构法隧道施工理论	8
1.5 主要研究方法	13
第 2 章 地铁盾构隧道下穿准高速铁路轨道群风险分析	18
2.1 工程概况	18
2.2 工程地质与水文地质	19
2.3 主要难点	26
2.4 安全风险辨识及分析	27
第 3 章 叠线盾构区间隧道施工技术研究	30
3.1 施工先后顺序研究	30
3.2 中间夹层土体加固技术研究	49
3.3 下线隧道内支撑技术	60
第 4 章 叠线盾构区间隧道下穿高铁轨道群加固技术	64
4.1 轨道群加固设计	64
4.2 判断标准及加固模拟计算	68
4.3 不同加固方式计算结果对比分析	77

4.4	加固施工技术	81
4.5	小结	94
第5章	叠线盾构区间隧道下穿高铁轨道群盾构掘进技术	97
5.1	盾构选型技术	97
5.2	盾构机性能参数计算	106
5.3	盾构掘进参数试验	109
5.4	盾构掘进参数控制	116
5.5	小结	143
第6章	叠线盾构区间隧道下穿高铁轨道群沉降监测技术	145
6.1	监测目的与依据	145
6.2	监测内容与频率	145
6.3	监测方法	146
6.4	监测控制值与警戒值	150
6.5	监测实施	151
6.6	监测结果	153
6.7	监测分析	153
6.8	监测小结	161
第7章	下穿施工中高铁运营安全技术措施	163
7.1	叠线隧道下穿准高速铁路轨道群加固措施	163
7.2	叠线隧道下穿准高速铁路轨道群自动化监测措施	164
7.3	叠线隧道下穿准高速铁路轨道群盾构掘进控制技术措施	165
7.4	叠线隧道下穿准高速铁路轨道群施工措施	166
7.5	确保铁路运营安全组织措施	168

7.6 小结	174
第 8 章 结论与展望	175
8.1 主要结论	175
8.2 研究展望	177
参考文献	179
附录 1 四个断面的位移和管片内力计算结果	182
附录 2 加固后四个断面的位移和管片内力计算结果	191
附录 3 不同加固方式不同施工顺序下的计算结果	195

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景

早期的轨道交通建设,左右线区间隧道间的空间关系较为单一,通常按左右线分离式布置,左右线隧道在平面上保持不小于 1 倍洞径的净距,施工过程及运营阶段两者相互影响较小,无需采取特殊工程措施^[1]。

随着轨道交通线网规模的不断扩容及运营服务标准的不断提高,不同线路间换乘及联络日益频繁。同时,受既有周边环境的制约,区间隧道间的空间关系变得日益复杂,不仅出现了十字形或小角度交叉^[2-3],左右线上下平行重叠的区间隧道相继在上海、北京、深圳、杭州等城市的轨道交通工程中出现^[4-5],主要有:

(1)上海市轨道交通明珠线二期工程浦东南路站~南浦大桥站盾构区间隧道全长 2 000 m,在浦西段位于南浦大桥桩基间施工,为确保线型同时避让南浦大桥桥桩,采用 437.7 m 重叠盾构隧道。

(2)北京轨道交通建设在地铁 8 号线二期工程什刹海站~南锣鼓巷站区间采用了 225 m 长重叠盾构隧道。

(3)深圳地铁 3 号线红岭中路站~老街站~晒布路站区间 1 045 m 重叠盾构隧道,2 号线的大剧院站~湖贝站区间,7 号线的华新站~黄木岗区间、笋岗站~洪湖站区间以及红岭北~笋岗区间采用重叠盾构隧道形式对建(构)筑物进行避让或适应车站形式。

(4)杭州地铁在 1 号线文化广场站~艮山门站盾构区间采用 90.495 m 长重叠隧道出文化广场站。

(5)武汉地铁 2 号线和 4 号线工程的洪山广场站、中南路站为实现双向客流全部同站台换乘,出现了 4 孔紧邻交叠隧道,其区间隧道

重叠段达到 705 m。

(6)中国电建深圳地铁 7 号线 BT 项目 6 个区间存在上下重叠小间距隧道,分别为车公庙~上沙、华新~黄木岗、黄木岗~八卦岭、红岭北~笋岗、笋岗~洪湖、洪湖~田贝区间,叠线段总长度 1 029 m,上下隧道最小净距为 2.0 m。

可见,随着轨道交通建设进程的推进,采用上下重叠布置的盾构区间隧道由于可较好地解决周边环境制约、道路红线狭窄、线网运营换乘功能需求等问题而得到越来越多的采纳。然而,针对上下重叠盾构隧道的研究相比工程实践存在较明显的滞后性,对工程建设的指导性存在不足,故加强地铁区间上下重叠盾构隧道的研究显得必要而迫切。

特别是中国电建深圳地铁 7 号线 BT 项目笋岗~洪湖区间(以下简称“笋洪区间”)盾构隧道叠线下穿 26 股道施工技术难题,穿越地质情况复杂,变形控制要求高,加固及保护难度大,铁路方面涉及部门多,协调困难。上下叠线隧道施工沉降变形控制标准要求高,下线隧道顶部土体加固及上线隧道施工对下线已完成隧道的稳定性影响是关键技术难点。

目前国内对于重叠隧道问题的研究仍缺乏系统性及深入性,因此有必要在系统研究国内已有重叠隧道设计与施工经验的基础上,深入开展地铁叠线盾构区间隧道下穿高铁轨道群施工关键技术,主要研究内容如下:

一是,地铁叠线盾构隧道施工技术。重点研究上下隧道施工先后顺序、中间夹层土体加固技术、下线隧道内支撑技术。

二是,高铁轨道群加固技术。重点研究加固范围及参数、不同加固方式计算结果对比分析以及路基、线路和电气化立柱基础加固技术。

三是,地铁叠线盾构隧道下穿准高铁轨道群盾构掘进技术。主要研究盾构掘进参数试验、盾构掘进过程控制、盾构掘进风险分析及应对措施。

四是,高铁轨道群沉降变形监测技术。主要研究监测方法、监测项目控制值、监测成果分析。

1.2 叠线盾构区间隧道技术现状

1. 关于叠线区间隧道盾构法施工引起的周围地层位移及对策

朱卫平、胡珉、郭平^[6]依据弹性理论提出了一个地面隆起变形公式,即提出了盾构隧道叠交施工引起的地面隆起变形公式,将该公式与地面沉降的派克(Peck)公式进行叠加,建立了盾构叠交隧道地层移动的数学模型,分析了黄浦江行人观光隧道掘进跨越上海地铁2号线时的地层移动,其计算结果与现场测试相符合。

安红刚、胡向东^[7]在分析交叠隧道盾构法施工地表变形规律的基础上,采用进化神经网络建立了地表变形智能预测模型,由此预测盾构推进中下一步地表变形以便给变形控制提供依据。通过对上海地铁明珠二期交叠区间隧道上下行线施工地表变形的预测,表明进化智能预测具有较高精度,预测和实施的相关性系数达98%以上,从而论证了该方法的可行性和适用性。

廖少明、余炎^[8]等人应用边界单元法对相邻隧道开挖过程中的三种典型叠交位置引起的地层位移场分布规律及相互影响进行了分析。分析结果表明:单条隧道开挖引起的地表最大沉降值出现在隧道轴线的正上方,而两左右或上下相邻隧道开挖的地表及土层内部的最大沉降值则出现在两隧道的纵轴线之间,且偏向上方埋深较浅的隧道。隧道开挖引起的地层深层与浅层变形趋势是一致的,但在两隧道轴线上方深层土体的沉降要远比浅层土体大。叠交隧道的埋深及其相对空间位置关系对土层的位移场有较大的影响。

2. 关于叠线区间隧道盾构法施工相互影响分析

王明年、张晓军^[9]等人依托深圳地铁3号线红岭中路~老街~晒布段区间重叠隧道工程进行研究,建立了能全面反映盾构隧道掘进全过程的三维模拟方法,并采用摩尔-库仑屈服准则对盾构隧道重