

轨道交通建造关键技术研究丛书

复杂环境深厚基岩 地连墙施工成套技术

FUZA HUANJING SHENHOU JIYAN
DILIANQIANG SHIGONG CHENGTAO JISHU

宋卫强 李 围 刘文丽 段景川 著



中国铁道出版社有限公司
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE CO., LTD.

轨道交通建造关键技术研究丛书

复杂环境深厚基岩地连墙 施工成套技术

宋卫强 李 围 刘文丽 段景川 著

中国铁道出版社有限公司

2019年·北京

内 容 简 介

依托深圳地铁7号线福民站、皇岗村站、华新站南端及黄木岗站等地连墙入深厚中微风化岩层且存在大倾角陡坡岩、超宽管线群和锚杆锚索导致地连墙施工技术难题,开展了“复杂环境深厚基岩地连墙施工成套技术”的研究,主要研究内容包括:潜孔锤预钻或预爆破后冲击钻钻进的深厚基岩快速成槽技术,基于摩擦面式钻头和预制钢套筒导向的大倾角陡坡岩地连墙成槽技术,超宽管线群“一槽三笼”地连墙施工技术,泥浆下锚杆锚索快速切割技术,深厚基岩地连墙“轨道定位、槽内泥浆循环、气举清孔、试笼检测、接头施工”施工新技术,泥浆絮凝剂+机械脱水的废弃泥浆泥水分离技术。

本书可作为城市轨道交通土建工程施工、设计、监理和建设管理技术人员以及高校和高职师生的参考用书、继续教育用教材或选修课教材。

图书在版编目(CIP)数据

复杂环境深厚基岩地连墙施工成套技术/宋卫强等著. —北京:中国铁道出版社有限公司,2019.9
(轨道交通建造关键技术研究丛书)
ISBN 978-7-113-26077-4

I. ①复… II. ①宋… III. ①地铁隧道-隧道施工-地下连续墙-工程技术 IV. ①U455.45

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第164131号

书 名: 轨道交通建造关键技术研究丛书
复杂环境深厚基岩地连墙施工成套技术
作 者: 宋卫强 李 围 刘文丽 段景川

策 划: 陈小刚
责任编辑: 张 瑜 编辑部电话: 010-51873017
封面设计: 郑春鹏
责任校对: 苗 丹
责任印制: 高春晓

出版发行: 中国铁道出版社有限公司(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: 2019年9月第1版 2019年9月第1次印刷
开 本: 880mm×1230mm 1/32 印张: 6 字数: 153千
书 号: ISBN 978-7-113-26077-4
定 价: 32.00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	任立志	朱瑞喜	
副主任:和孙文	蒋宗全	靳利安	李 围
孟庆明	王 成	张业勤	赵春生
委员:白 伟	陈 娇	陈克强	刁目国
董发俊	段景川	段汝健	段志宏
房师涛	付艳军	高 朗	郭建光
郭振华	胡德华	惠世前	蒋 俊
李 博	李光耀	李彦臣	李 泽
梁晓亮	刘 邦	刘才平	刘福贵
刘金明	刘琨阳	刘文丽	刘学生
刘永波	娄在明	马健军	马克乾
毛宇飞	梅伏明	庞林军	祁海峰
秦 俊	任晓龙	沈国成	宋卫强
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	张应盛	周建伟

作者简介

宋卫强,男,1983年7月出生,河南省林州人,2004年毕业于黄河水利职业技术学院公路与桥梁专业,高级工程师,现任中国电建市政建设集团轨道工程公司总经理。先后参与了安徽沿江高速公路工程、陕西商界高速公路工程、山东德商高速公路工程、山东青岛滨海海底隧道连接线工程、山东青岛双积公路和海湾大桥红岛连接线工程、天津外环线东北调线工程、武汉地铁11号线工程、深圳地铁12号线工程,发表论文数篇,获授权实用新型专利10项,省部级工法8项。先后担任工程部部长、项目副总工、项目总工程师、项目经理、分公司副总经理、分公司总经理,先后荣获全国优秀项目经理、公司优秀项目经理、公司劳动模范、公司先进工作者、2017年武汉市“优秀建设者”、2017年度中国电建优秀项目经理、2017年度全国电力建设优秀项目经理、2017年度全国工程建设优秀项目经理、2018年度中电建南方公司优秀管理者。

李围,男,1979年7月出生,贵州德江人,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(师从我国著名的隧道工程专家何川教授),教授。先后工作于贵州大学和中国电建铁路公司、上海应用技术大学等,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。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。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 60 余篇、第一作者 EI 收录 9 篇、第一作者核心期刊 20 余篇,获授权发明专利 1 项、申请发明专利 10 余项,获中国施工企业管理协会科学技术奖特等奖 1 项、贵州省科技进步三等奖 1 项、全国商业科技进步奖三等奖 1 项。出版专著《城市轨道交通快速铺轨关键设备研制与应用》、《地铁叠线盾构区间隧道下穿高铁轨道群施工关键技术》、《地铁场段出入线超大断面隧道群施工关键技术》、《隧道及地下工程 ANSYS 实例分析》、《隧道及地下工程 FLAC 解析方法》,主编《ANSYS 土木工程应用实例》和《土木工程概论》,副主编《复杂环境条件下地铁土建施工技术创新与实践》和《地铁工程施工技术》,参编《地下工程》。

刘文丽,男,1983 年 11 月出生,陕西省榆林人,2005 年毕业于黄河水利职业技术学院公路与桥梁专业,高级工程师,现任中国电建市政建设集团轨道工程公司副总工程师、深圳地铁 12 号线土建七工区项目总工程师。先后参与了内蒙古海满一级公路工程、内蒙古拉黑公路工程、内蒙博牙高速公路工程、青岛女岛疏港公路工程、深圳地铁 7 号线工程、武汉地铁 11 号线工程、深圳地铁 12 号线工程,发表论文数篇,获授权发明专利 1 项、实用新型专利 16 项、公司级经济技术创新成果 12 项、省部级工法 8 项、中国施工企业管理协会科学技术创新成果 2 项、QC 成果 3 项。先后担任工程部部长、项目副总工程师、项目总工程师、项目经理、分公司副总工程师,先后荣获公司先进生产工作者、公司青年岗位能手、公司优秀工程技术人员、公司优秀总工程师、中电建南方公司先进个人、中电建武汉公司先进个人、公司优

秀科技工作者、公司优秀项目经理、天津市职工技术创新先进个人。发表论文数篇,参与的科学技术研究项目《岩溶承压富水地铁基坑施工关键技术研究》和《地下连续墙预制钢套筒导向嵌岩施工工艺》获得中电建科学技术进步奖。

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,现任中电建南方建设投资有限公司工程管理部部员。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》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

我国珠三角等地区城市地质以不同风化程度的花岗岩为主,地铁施工中车站围护结构地下连续墙(地连墙)普遍入中微风化花岗岩,且地下条件复杂。如深圳地铁7号线福民站、皇岗村站、华新站南端(华强北4~6区)及黄木岗站入中微风化岩最厚达13.9 m,岩石强度最高为132 MPa,且存在大倾角(45°)陡坡岩、不能改迁的超宽(宽度为1.2 m)管线群以及邻近既有建筑基坑多束锚索侵入槽内,导致复杂环境条件下深厚基岩成槽十分困难,严重制约地铁车站的施工进度。同时,地连墙施工中产生大量的废弃泥浆,运输处理费用高,且影响文明施工,甚至引起施工安全事故。因此,开展“复杂环境深厚基岩地连墙施工成套技术”的研究具有重要意义。

本课题采取的研究方法为现场试验或室内试验。通过现场工艺试验,确定最佳硬岩成槽机具配置和工艺方法;通过现场水下试验,研发锚杆锚索切割机具;通过现场工艺试验,确定管线下地连墙成槽、钢筋笼下设及混凝土浇筑工艺;通过现场试验,设计钻机定位轨道和槽内循环装置、气举清孔工艺;通过现场对比试验,确定最佳接头施工工艺;通过室内试验,对废弃泥浆成分进行测试分析,研发设计一种以天然矿物为主要成分的泥浆絮凝剂,并在实验室进行泥浆絮凝试验,确定絮凝最佳工艺条件。

“复杂环境深厚基岩地连墙施工成套技术”的主要研究

内容如下:

(1)深厚基岩快速成槽技术。通过对深厚基岩进行的滑孔锤预钻孔、冲击钻与手把钻、钢丝绳成槽机和液压成槽机以及预爆破不同成槽机具及其工艺对比研究,并针对陡坡岩成槽中出现的卡钻问题研制了新型摩擦面式钻头,解决了深厚基岩快速成槽技术难题。

(2)超宽管线群下地连墙施工技术。针对不能迁改的横跨地连墙的超宽管线群,提出了管线保护技术以及管线下成槽、钢筋笼吊装和混凝土浇筑工艺技术等,形成了超宽管线群下地连墙施工技术。

(3)泥浆下锚杆锚索快速切割技术。针对侵入地连墙的锚杆锚索,研制泥浆下专用切割机具,包括地面控制系统和泥浆下锚杆锚索定位切割系统,解决了锚杆锚索侵入地连墙在泥浆中进行快速切割的技术难题。

(4)深厚基岩地连墙施工新技术。研究形成了成槽轨道定位技术、槽内泥浆循环技术、气举清孔技术、试笼检测技术和接头施工技术。

(5)废弃泥浆泥水分离技术。研制了由无机组分和有机组分共同复配而成的泥浆絮凝剂,并基于该絮凝剂+机械脱水研究了废弃泥浆泥水分离技术,解决了繁华城区轨道交通车站地连墙施工中产生的大量废弃泥浆处理费用高的难题。

本课题研究共获批省部级工法 4 项,申请专利 11 项、授权发明专利 2 项、授权实用新型专利 6 项,获省部级科学技术奖 2 项。课题成果成功应用于深圳地铁 7 号线福民站、皇岗村站、华新站南端和黄木岗站等地连墙施工,突破

了深厚基岩等复杂条件与地质条件制约工程进度的瓶颈,提高了施工工效,并推广应用到深圳地铁4号线延长线、10号线和12号线等类似工程,取得了较好的社会、经济效益。

本书第1章、第3章和第7章由宋卫强撰写,第4章、第5章和第9章由李围撰写,第2章和第6章由刘文丽撰写,第8章由段景川撰写,全书由李围统稿并担任通讯作者。

本书在撰写过程中参阅了许多学者发表的论著,在此表示真诚的感谢!

由于时间仓促和水平有限,书中难免出现错误或表述不妥之处,诚恳期望同行专家及读者批评指正,作者在此表示衷心的感谢!

作 者

2019年3月于深圳

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 立项的背景和目的	1
1.2 研究现状	3
1.3 研究内容	14
1.4 研究方法及技术路线	16
第 2 章 依托工程概况	20
2.1 工程概况	20
2.2 工程地质和水文地质	31
2.3 工程重难点	39
第 3 章 地连墙施工工艺	42
3.1 地连墙施工工艺流程	42
3.2 施工准备	43
3.3 成槽	48
3.4 泥浆搅拌、回收及废浆处理	53
3.5 钢筋笼加工及下设	55
3.6 地连墙接头施工	59
3.7 水下混凝土浇筑	60
3.8 墙趾注浆	62
第 4 章 深厚基岩快速成槽技术	63
4.1 概述	63

4.2	潜孔锤预钻孔工艺研究	64
4.3	成槽机施工工艺研究	70
4.4	冲击钻施工工艺研究	75
4.5	预爆破工艺研究	82
4.6	陡坡岩成槽技术	85
第5章	超宽管线群下地连墙施工技术	102
5.1	概述	102
5.2	管线保护技术	103
5.3	超宽管线群下成槽	104
5.4	钢筋笼加工	106
5.5	钢筋笼下设与混凝土浇筑	106
第6章	泥浆下锚杆锚索快速切割技术	108
6.1	锚杆锚索分布情况	108
6.2	锚索处理方法	109
6.3	泥浆下锚索切割机具研发	111
6.4	泥浆下锚杆锚索快速切割工艺	114
第7章	深厚基岩地连墙施工新技术	119
7.1	成槽轨道定位技术	119
7.2	槽内泥浆循环技术	121
7.3	气举清孔技术	123
7.4	试笼检测技术	126
7.5	接头施工技术	131
第8章	废弃泥浆泥水分离技术	139
8.1	废弃泥浆组分及理化性质测试分析	139

8.2	新型泥浆絮凝剂研发	145
8.3	废弃泥浆泥水分离室内试验	148
8.4	废弃泥浆泥水分离现场试验	151
8.5	废弃泥浆泥水分离工艺	154
8.6	废弃泥浆泥水分离工艺优化研究	157
第 9 章	研究结论与成果	163
9.1	主要研究结论	163
9.2	经济社会效益	165
9.3	研究成果	168
参考文献	170

第1章 绪 论

1.1 立项的背景和目的

深圳地铁7号线BT项目是中国电建集团公司进入地铁行业施工领域的第一个大型项目,如何保质保量按期完成施工任务是履约的首要目标,其意义十分重大。地铁盾构区间能否按期完成取决于车站的施工进度,而车站能否顺利实施的关键又在于围护结构的施工进度。由于深圳地铁为复合地质条件,环境与地质条件十分复杂,采用传统的冲击钻施工地连墙的速度非常慢,故车站围护结构的施工进度成为了制约深圳地铁施工进度的关键环节,必须专题研究解决复杂环境条件下深厚基岩地连墙施工技术难题。

7号线车站多为三层站,根据初步设计及地质勘察资料,围护结构施工环境极为复杂,其主要特点如下:

一是地下连续墙入岩普遍较深,其中穿透强风化岩最深13.2 m,穿透中风化岩最深8.4 m,入微风化岩最深10.2 m。微风化花岗岩强度较高,最高达132 MPa。如此深厚的坚硬基岩成槽施工,难度极高。

二是周边环境极为复杂,均位于繁华商业区、居民区或城市CBD中心区,周边商铺、酒店、商场等建筑物较为密集,华强北位于全国文明的电子商业街,每天客流量达50万人,仅茂业百货每天的车流量就达到4 000辆,福民站两侧的福明佳园和知本大厦则分别高达32层、27层,皇岗村站和黄木岗站附近也分别存在22层高黄轩酒店和体育大厦。周边建筑物保护难度大,安全文明施工要求高。

三是车站施工范围内地下管线复杂,包括通信、电力、燃气、供水、污水、雨水等,仅华强北片区通信管线就有16万束,涉及产权单