



广州地铁土建工程

工法应用与创新

Guangzhou Metro Civil Engineering
Construction Method Application and Innovation

竺维彬 张志良 林志元 等 编著

丁建隆 刘光武 刘应海 主审



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

广州地铁土建工程 工法应用与创新

Guangzhou Metro Civil Engineering
Construction Method Application and Innovation

竺维彬 张志良 林志元 等 编著
丁建隆 刘光武 刘应海 主审



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

内 容 提 要

本书共9篇23章,总结了广州地铁9条线路、166座车站、260公里运营里程的土建工程建设经验,涵盖轨道交通土建工程发展概况,盾构法、矿山法、明(盖)挖法、高架桥梁、沉管法与顶管法等施工技术,以及地基处理、建筑物保护、工程监测和风险管理等技术。

本书是广州地铁二十余年建设经验的总结,可为今后国内和世界轨道交通工程建设提供参考借鉴,可供从事轨道交通建设的科研、设计、施工、管理人员及相关专业的高校师生参考学习。

图书在版编目(CIP)数据

广州地铁土建工程工法应用与创新 / 竺维彬等编著

. 1—北京:人民交通出版社股份有限公司,2014.12

ISBN 978-7-114-11620-9

I. ①广… II. ①竺… III. ①地下铁道—铁路工程—
工程施工—研究—广州市 IV. ①U231

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第188802号

书 名: 广州地铁土建工程工法应用与创新

著 作 者: 竺维彬 张志良 林志元 等

责任编辑: 刘彩云

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

印 刷: 北京盛通印刷股份有限公司

开 本: 880×1230 1/16

印 张: 39.5

字 数: 1142千

版 次: 2014年12月 第1版

印 次: 2014年12月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-11620-9

定 价: 338.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

本书编写委员会

主 编：竺维彬 张志良 林志元

副主编：谭 文 孔少波 许少辉 孙成伟 张予钧 陈乔松 廖鸿雁
陶毕莲 朱六兵

编 委：王文锋 李阶智 徐建国 黄 辉 陈 昊 朱育宏 王利军
叶越胜 韩立辉 凌志平 陈建党 贺 婷 马 卉 黄 彪
汪朝晖 刘乐元 刘智勇 高建国 苏 权 韩 雪 黄建华
张家德 黄钟晖 赵国旭 王 健 蒙晓莲 邹文新 杜健伟
杨守梅 魏本现 徐顺明 孙青平 谭 佳 吴 辉 赵 元
陈 艳 黄 峰 范 雨 杨军宁 章利晖 吴 坚 刘德智
陈 键 李志东 陈礼强 林 朝 李学聪 胡达远 陈 飞
郑 达 郭朝华 关则廉 张干劲 梁广胜 谢 锋 孔 斌
汤文涛 张 莉 张健华 雷江涛 邱仕雄 梁永基 张 标
张伟荣 邱昭润 彭洪秋 赖俊鹏 黄嘉恒 肖瑞传 仇培云
温晓虎 李立军 应 勇 张会东 钟勇军 黄晓诚 陈树茂
陈绍平 陈巨武 李靖坤 陈安艳 陈令强 任文滔 苏建丰
王 义 邓静波 陈荣泰 莫崇杰 陈 和 任伟新 叶建宁

黄 炜 孔令嵘 樊善勇 曾爱军 张 宏 方恩权 李永骝
彭伟椿 刘铁民 吴丽冰 郭永顺 谈家龙 陈浚峰 倪志民
汤勇茂 王 岭 刘广明 孙伟辉 游声构 谢永盛 代 锋
王 唯 孙松岭 陈德明 周忠海 陈智辉 刘晓明 罗 欣
李志雄 程学昌 雷正辉 张伟洲 陈田华 莫暖娇 苏 宝
王怀志 张 耀 卫晓波 朱 艺 熊献华 王世煊 林进也
陈应思 任青山 方文革 黄 振 徐 资 万宗祥 苏应麟
熊 辉 王 晖 梁建华 吴晔晖 叶俊峰 刘国辉 田 力
张基灼 姚致远 陆剑伦 卓永辉 吴伟光 肖长敬 邓超荣
余希明 乔书光

谨将此书献给

为广州地铁线网建设
发挥聪明才智、勇于探索创新、
付出辛勤汗水、奉献锦瑟年华的
全体建设者！



就世界建筑业的发展趋势而言，19、20世纪是以占有大量地面土地资源为代价，修筑公路、铁路、桥梁、机场和争先恐后向空中延伸、建筑高楼的世纪。而第二次世界大战至今，世界人口数量迅速增加，城镇化进程加快，科学技术突飞猛进，城市的建筑有必要也有可能从地上转向地下开拓空间。因此，21世纪被称为地下空间开发的世纪，也是城市轨道交通大发展的世纪。

当前，国内城市轨道交通建设方兴未艾，广州地铁业已步入大规模线网建设与运营的新时期。随着新线建设的全面铺开，轨道交通工程将向强度更大、范围更广、技术水平更高的方向发展，面临的施工风险和管理难度也更大。只有不断思索与探求，总结经验和教训，把建设者的心血和汗水凝聚成有利于生产实践的智慧结晶，为后来者提供有益借鉴，不重蹈先行者覆辙，方能在今后波涛汹涌的建设大潮中经受住考验，推动城市轨道交通建设事业平稳、健康、可持续发展。

自广州地铁一号线开始，我全程参与了广州地铁的线路规划和工程建设，对广州市轨道交通建设发展历程比较了解。广州地铁建设施工环境非常复杂，面对地质和环境复杂、施工风险大、前期征地拆迁和管线迁改难度大等一系列困难和挑战，广州地铁建设者毫不畏惧，精心策划，严抓设计，科学管理。通过管理和技术创新，在土建工程中，针对不同地质条件采用不同施工工法，成功战胜塌方、涌水、顽石和流砂等艰难险阻，历尽艰辛建成开通260公里线路，并取得了可喜的创新成果。特别是在土建工程施工技术方面，取得了一批在国内甚至国际上都处于领先或先进水平的重大技术成果。

第一，成功修建我国内地第一座用沉管法施工的大型水下隧道——珠江沉管隧道。当时我国内地在这一技术领域尚未有过实践，曾有过选择一家有经验的外国工程顾问公司进行设计，由日本

熊谷组公司施工的设想，但因对方报价过高而放弃。因此，广州地铁冒着巨大风险，依靠国内力量来进行设计和施工。在建设过程中，委托国内多家科研、高校、设计单位，对沉管法各项关键技术进行了大量基础理论研究及关键工序的施工工艺试验研究，珠江沉管隧道工程取得的科技成果和修建技术总体上达到了国内领先水平。

第二，具有先进管理理念的广州地铁管理层，历来着眼长远，注重技术创新与人才培养。一号线建设时，在资金十分紧张的情况下，打破常规，引进日本的盾构技术和队伍；二号线建设时，大胆创新，开放市场，锻炼队伍，培养人才。经过一、二号线的经验积累与探索，广州地铁创造性建立了复合地层盾构施工技术理论体系并出版专著。该体系的建立，为我国大部分城市乃至世界地下工程盾构施工起到了一定的指导和借鉴作用，进而将对全世界21世纪隧道工程的发展产生深远影响。广州地铁不断学习掌握欧、美、日软土地层盾构技术，又创立了复合地层盾构施工风险源三维程式识别法，并出版了世界上第一本论述盾构工程风险管理的专著，提出许多新观点、新方法，对盾构工程风险控制起到了重要指导作用。

第三，高架线路以其投资经济、施工周期短、运营成本低、线路适应性良好等优点，在城市轨道交通建设中得到了广泛运用，但也存在很多弊端和技术难题。对此，广州地铁大胆研究创新，取得了显著成果，特别是在四号线成功应用节段预制拼装技术，为国内首次大规模采用节段预制拼装梁（拼装方式有架桥机整体拼装和悬臂拼装两种），积累了短线法节段预制与拼装的宝贵经验。之后，又创造性地在六号线应用连续刚构节段拼装先简支后连续的施工方法。

另外，广州地铁国内首次在岩溶发育区按全地下线方式修建和敷设轨道交通线路，国内首次成功采用“铺盖法”，国内首次应用TSS管注浆工艺，国内首次采用梁拱式托换技术，国内首次采用“先隧后站”工法，国内首次利用专门导洞群空间进行地下托换，国内首次进行MJS工法水平加固试验，国内首次开创不同复杂地层条件下换刀作业的先河，国内首次成功处理极其复杂的溶洞区域盾构施工技术难题，国内首次应用超长距离水平+垂直相结合冻结加固技术……总之，建设者紧跟科技发展步伐，跟踪施工技术发展趋势，创新应用施工技术，积累大量宝贵经验，为各种施工工法的发展、创新做出了巨大贡献。

本书作者是广州市地下铁道总公司建设事业总部一群勤奋好学的年轻土建工程技术管理者。他们在繁忙的建设管理工作中，注重搜集整理第一手资料，剖析地质条件变化，抓住关键工法、关键工艺、关键设备进行技术研究，科学分析，深究问题本质，提出解决方法，并及时总结，集结成书，实现从实践到理论的升华。

本书系统总结了在极其复杂的施工环境下，采用各种工法进行土建工程施工的实践经验。对各种工法进行了较为系统的阐述，非常适合初学者学习；同时，对其创新应用进行

详细剖析，对其发展趋势进行探讨，如介绍“悬浮隧道”等新技术，非常适合专业人士参考。本书深入浅出、内容丰富、数据翔实，对广州市、广东省、全国乃至全世界轨道交通和地下空间施工都有着重要的参考价值。

最后，我衷心希望我国城市轨道交通工程建设者继续努力学习，技术水平、管理水平更上一层楼，使我国的城市轨道交通事业蒸蒸日上，造福社会、造福人民、造福子孙后代。

中国工程院院士 龙仲行

2014年9月 于北京

广州地铁历经二十余年艰辛建设，已建成开通9条线路、166座车站，运营总里程达260公里，运营日均客运量600多万人次。多条线路的迅速建成开通，标志着广州地铁线网的基本骨架已经形成，疏导了城市交通，改变了城市格局，提高了城市整体功能。广州的远郊，因城市轨道交通的开通而日益繁华；广州的商贸，因城市轨道交通的通达而焕发新机。

目前广州地铁在建线路约260公里，2012年，《广州市城市轨道交通近期建设规划（2012—2018）》又获国家发改委批复，批复线路总长度约228.9公里。继第16届亚运会之前同时建设8条新线的高峰后，广州地铁将迎来新一轮同时建设12条新线（段）的高潮。预计到2016年，建成总里程将超过500公里。

纵观全国城市轨道交通建设情况，广州地铁建设面临的地质条件最为复杂。断裂带、岩溶、深厚的富水砂层、巨厚的淤泥层、沼气地层、花岗岩球状风化体及其残积土层、上软下硬的复合地层及煤层等，在广州地铁建设过程中都曾遇到。而且，广州市城区建筑物密集，交通极其繁忙，修建城市轨道交通对周边环境的保护非常困难但又极为重要。

面对困难和挑战，广州地铁建设者们团结一致、不畏艰难；认真执行“标准化、规范化、精细化、信息化”管理制度；积极探索制度创新、管理创新、技术创新；奋力开拓广州地铁特色建设发展之路。就技术创新而言，在广东省、广州市各级领导与社会各界人士的关心、支持下，广州地铁做了大量尝试，注重技术先进性与工程实际相结合，注重技术先进性与“以人为本”的服务理念、高效率低成本的运营理念相结合，取得了显著成绩。由于篇幅有限，这里仅举几个例子。

一号线沉管隧道是我国内地第一座使用沉管法施工的大型水下隧道，标志着我国在该领域进入新的发展阶段。

复合地层盾构施工技术成功应用于二号线之后的各条新线建设。

二号线为国内首次成功应用站台屏蔽门技术、刚性接触网技术、集中供冷系统新技术的轨道交通线路，同时也是国际上首次采用非接触式IC卡单程票代币（Token）模式的轨道交通线路。

三号线是国内第一条最高时速达120公里的快速线，采用了代表世界先进列车控制技术发展方向的移动闭塞信号系统。

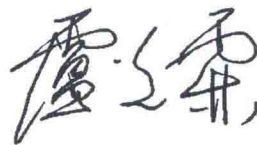
四号线高架段采用短线法节段预制拼装技术，车辆选择直线电机作为驱动电机，开创了国内城市轨道交通建设的先河。

随着广州地铁事业的快速发展，我们深刻体会到，广州地铁技术创新实践能够带来巨大的经济效益，并取得技术进步与降低成本的双重效果。我们更深刻认识到，从“建设为运营、运营为经营、经营为效益”的理念出发，仅实现某一条线的先进性还远远不够，更要始终树立全局观与可持续发展观，将实现广州地铁整个线网的先进性作为更高目标。

通读书稿后可以发现，本书作者虽然从施工技术入手，但不拘泥于施工技术，而是实事求是地分析研究问题，挖掘问题的本质，提出解决问题的方法，这说明作者们的思维方式是开放的、科学的。本书全面系统地介绍了广州地铁对各种工法的应用及研究创新，并对各种工法的发展趋势和应用前景进行了展望，这说明作者们既善于总结经验，又勇于探索创新，勤于学习新知识、新技术。本书既通俗易懂，又具有一定的理论深度；既适合初学者学习，又可供从事轨道交通工程施工的同行参考。

感谢本书作者，我的老同事们，以及一直以来为轨道交通建设付出艰辛劳动的全体建设者。他们的不懈努力和无私奉献，成就了轨道交通事业今日的辉煌，托起了明天的希望！

广州市地下铁道总公司原总经理
广东省机场管理集团公司原党委书记
广州白云国际机场股份有限公司原董事长



2014年9月 于广州

1863年1月10日，世界上第一条采用蒸汽机车牵引的地铁线路在英国伦敦建成。1965年7月1日，我国第一条地铁线路在北京正式开工。1993年12月28日，广州地铁一号线工程举行开工典礼，工程建设全面铺开。纵观世界轨道交通发展史，广州地铁起步虽晚，但发展迅速，堪称后起之秀。截至2013年年底，广州已建成开通260公里轨道交通线路。目前，在建线路共9条（段）、260公里、166座车站。按照《广州市城市轨道交通近期建设规划（2012—2018）》及广州市政府建设计划最新成果，至2016年，广州市建成轨道交通线网长度将超过500公里。

广州地区素有“地质博物馆”之称，城市轨道交通建设周边环境非常复杂。广州地铁建设者通过创新应用各种施工技术，破解了众多地质和工程难题。在大规模、高强度工程建设的同时，编者及时总结经验教训，编写了本书。本书在分析广州地铁已建线路沿线施工环境的基础上，对盾构法、顶管法、矿山法、明（盖）挖法、沉管法及高架桥梁、地基处理、建筑物保护、工程监测及风险管理等技术进行了深入细致的研究，力求达到“系统全面、通俗易懂、理论联系实际、紧跟技术发展前沿”四大目标，是一本专业性、针对性较强的轨道交通土建施工技术著作。

全书共由九部分构成：

第一篇工程概况（第一、二章），主要介绍广州地铁发展和建设历程、线路网、施工工法以及施工环境。重点介绍了广州地区工程地质特征、复合地层盾构施工技术理论、主要岩土工程问题，以及广州地铁对各种工法应用与研究创新情况。

第二篇盾构法施工技术（第三～六章），主要内容包括盾构机选型和配置、盾构掘进技术、盾构辅助施工技术，以及盾构法在广州地铁中的应用与研究创新情况。重点介绍了盾构在广州地区各种典型地质条件下的掘进与辅助施工技术。

第三篇矿山法施工技术（第七~九章），主要包括矿山法施工与地层加固技术，以及矿山法在广州地铁中的应用与研究创新情况。重点介绍了几种典型隧道的矿山法掘进技术，如大断面隧道、联拱隧道、上下重叠隧道、小间距隧道等，以及较典型的地层加固技术，如WSS注浆、TSS型注浆管注浆、冻结、水平旋喷桩等。

第四篇明（盖）挖法施工技术（第十~十二章），主要包括明（盖）挖法施工与特殊地层处理技术，以及明（盖）挖法在广州地铁中的应用与研究创新情况。重点介绍了较典型设备和材料的应用，如双轮铣槽机、旋挖钻机、可回收锚索、凹凸形橡胶止水接头等，以及广州地区比较典型的地层处理，如岩溶、花岗岩残积土、软弱地层等。

第五篇高架桥梁施工技术（第十三~十五章），主要包括梁体预制和架桥施工，以及高架在广州地铁中的应用与研究创新情况。重点介绍了梁体节段预制和梁体整孔预制，以及节段简支梁、连续梁、节段连续刚构梁、整孔简支梁、跨江（河）桥等施工技术。

第六篇沉管法施工技术（第十六、十七章），主要包括沉管法施工和发展趋势简介、沉管法在广州地铁中的应用与研究创新概况，以及沉管法施工技术。重点介绍了沉管隧道干坞修筑、管节预制、浮运沉放对接、基槽开挖、基础处理等。

第七篇顶管法施工技术（第十八、十九章），主要包括顶管法施工和矩形顶管机简介、顶管法在广州地铁中的应用与研究创新概况，以及矩形顶管掘进技术。重点介绍了矩形土压平衡顶管施工、矩形泥水平衡顶管施工、小间距平行矩形顶管施工等。

第八篇地基处理与建筑物保护（第二十、二十一章），主要包括车辆段与停车场地基处理技术和建（构）筑物保护技术。重点介绍了软基处理与岩溶处理技术，以及比较典型的建筑物基础托换和加固技术，如桩梁托换、筏板托换、树根桩托换、梁拱式托换、袖阀管注浆加固等。

第九篇工程监测与风险管理（第二十二、二十三章），主要包括工程监测和风险管理。重点介绍了第三方监测、实时自动监测技术、轨道交通工程监测信息系统，以及风险源识别的三维程式理论和应用、广州地铁重大地质风险控制模式。

本书主要编者全程参加了广州市260公里轨道交通工程建设，并长期组织制订土建工程重、难、险问题应对决策。我们在工程建设管理过程中，深入现场，了解工程每一个细节，认真记录和搜集施工环境、施工参数、施工工艺等第一手资料，并利用业余时间进行理论分析和归纳总结。本书经过近一年的资料搜集、整理、调研、讨论，2007年12月形成课题提纲。广州市地下铁道总公司丁建隆总经理十分重视工程总结和研究工作，一直关注和大力指导本书编著工作。广州市地下铁道总公司副总经理竺维彬、建设事业总部总经理张志良和广州市地下铁道总公司副总工程师、建设事业总部副总经理兼总工程师林志元多

次主持专题会，讨论确定了本书编写大纲。编写过程中，编写组以“科学性、实用性、高质量”为原则对素材进行分析取舍，力求素材可靠、翔实，并收集了几千张图片，从中筛选出一千多张，力求图文并茂。其间，还几次组织专家对书稿进行审查，听取专家的宝贵意见，及时修订完善。历时6年多，最终完稿。

本书大量引用了鞠世健等专家的研究成果——“复合地层中的盾构施工技术和地铁盾构施工风险源三维程式识别法”。本书参考了广州市轨道交通三号线、四号线、五号线、二/八号线、广佛线等多条线路的技术总结，陈韶章主编的《沉管隧道设计与施工》以及大量网络资料。广州轨道交通建设监理有限公司叶建兴、米晋生、钟长平、王晖、黄威然、罗淑仪等为本书的编写提供了合理的建议和帮助。各参建设计、施工、监理单位也无私提供了许多原始设计、施工和技术总结资料，广州市地下铁道设计研究院岩土分院张华、刘成军、姚江等为本书提供了广州线网基岩地质图。本书编写出版过程中，广州市地下铁道总公司建设事业总部程林、张景山、方三君、赵帅、严力群、陈俊文、陈慧瑜等也给予很多帮助。没有他们的大力支持和帮助，我们无论如何都无法将这本书呈现在读者面前。

本书是广州地铁二十年建设经验之总结，特别是广州市地下铁道总公司邵云平、陈清泉、卢光霖、陈韶章、王文斌、金峰、鞠世键、莫庭斌、曾耀昌、冯训、张育青、余哲夫、任孝思等老领导以及施仲衡、王振信、张弥、王策民、郭凤祥等资深老专家宝贵经验之结晶。本书体现了广州市地下铁道总公司老领导、老专家倡导的要坚定不移地走“管理创新、技术创新”之路，也是他们历来身体力行并严格要求全体参建者求实进取、好学勤业、善于总结的结果。本书还包含着路水记、马文义、沈林冲等一大批已退休或调离的老同事辛勤汗水的成果。

衷心地感谢上述领导、专家、同事及同行们的支持和帮助！

由于编者水平有限，加之时间仓促，疏误之处在所难免，敬请专家和读者批评指正。

编 者

2014年9月

第一篇 工程概况

第一章 城市轨道交通工程概述 / 3

第一节 城市轨道交通发展历程、施工技术及发展趋势 / 3

第二节 广州地铁建设历程与线路网 / 8

第三节 广州地铁施工工法应用与研究创新简介 / 11

第二章 施工环境 / 14

第一节 广州的地理环境 / 14

第二节 广州地区地质特征 / 14

第三节 广州地铁岩土分层、分区及围岩分级 / 18

第四节 工程建设周边环境 / 21

第五节 复合地层理论 / 22

第六节 广州地区几个主要岩土工程问题 / 26

第二篇 盾构法施工技术

第三章 盾构法概述 / 37

第一节 盾构法简介 / 37

第二节 广州地铁盾构法应用概况 / 42

第三节 广州地铁盾构法研究创新简介 / 43

第四节 复合地层盾构施工概述 / 44

第四章 盾构机选型和配置 / 48

第一节 盾构机主要系统配置 / 48

第二节 盾构机选型 / 52

第三节 刀盘选型和刀具配置 / 55

第五章 盾构掘进技术 / 64

- 第一节 盾构机穿越江河掘进技术 / 64
- 第二节 复合地层盾构掘进技术 / 74
- 第三节 花岗岩球状风化地层盾构掘进技术 / 80
- 第四节 全断面硬岩盾构掘进技术 / 89
- 第五节 盾构机穿越断裂带掘进技术 / 94
- 第六节 土压平衡盾构机穿越富水砂层掘进技术 / 99
- 第七节 盾构机穿越溶（土）洞区域掘进技术 / 105
- 第八节 复合地层盾构掘进对地面沉降和周边环境影响 / 110

第六章 盾构辅助施工技术 / 117

- 第一节 盾构始发和到达 / 117
- 第二节 压气作业技术 / 144
- 第三节 盾构机洞内调头技术 / 149
- 第四节 特殊条件下的盾构吊出技术 / 153
- 第五节 复合地层掘进中衬背注浆 / 161
- 第六节 添加剂应用技术 / 169
- 第七节 端头加固技术 / 177

第三篇 矿山法施工技术

第七章 矿山法概述 / 195

- 第一节 矿山法简介 / 195
- 第二节 矿山法发展趋势 / 202
- 第三节 广州地铁矿山法应用与创新概况 / 203

第八章 矿山法施工 / 205

- 第一节 大断面隧道矿山法施工技术 / 205
- 第二节 联拱隧道施工技术 / 210
- 第三节 变断面及工法转换施工技术 / 221
- 第四节 小间距隧道施工技术 / 225
- 第五节 先盾构通过后矿山法扩挖施工技术 / 233

第六节 上下重叠隧道施工技术 / 237

第七节 悬臂式掘进机施工技术 / 248

第九章 地层加固技术 / 253

第一节 WSS注浆技术 / 253

第二节 TSS型注浆管注浆技术 / 259

第三节 冻结法加固技术 / 265

第四节 水平旋喷桩加固技术 / 279

第五节 MJS工法加固技术 / 282

第六节 综合加固措施 / 286

第四篇 明（盖）挖法施工技术

第十章 明（盖）挖法概述 / 295

第一节 明（盖）挖法简介 / 295

第二节 广州地铁明（盖）挖法应用与创新简介 / 300

第十一章 明（盖）挖法施工 / 303

第一节 超深基坑施工技术 / 303

第二节 半盖挖法 / 309

第三节 双轮铣槽机应用 / 313

第四节 旋挖钻机应用 / 320

第五节 可回收锚索应用 / 323

第六节 先盾构通过后明挖车站施工技术 / 326

第七节 凹凸形橡胶止水接头应用 / 331

第八节 SMW工法应用 / 336

第九节 吊脚连续墙在深基坑围护结构中的应用 / 338

第十二章 特殊地层处理技术 / 340

第一节 岩溶处理 / 340

第二节 软弱地层处理 / 349

第三节 花岗岩风化层处理 / 351