



“十二五”国家重点图书出版规划项目
复合地层盾构工程技术系列丛书

丛书主编 竺维彬 鞠世健
丛书主审 史海欧

广州地铁三号线北延段盾构 隧道工程施工技术研究



主 编 王 晖 谭 文 黄威然
副主编 王洪东 王 虹 张家德



North Extension of Guangzhou Metro Lines 3
Shield Tunneling Construction Technology



人民交通出版社
China Communications Press



“十二五”国家重点图书出版规划项目
复合地层盾构工程技术系列丛书

丛书主编 竺维林
丛书主审 史海欧

广州地铁三号线北延段盾构 隧道工程施工技术研究

主 编 王 晖 谭 文 黄威然
副主编 王洪东 王 虹 张家德



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书对广州地铁三号线北延段隧道盾构施工进行了全面的技术总结。广州地铁三号线北延段工程共 11 个盾构施工标段,本书详尽记录了每个标段的工程概况、施工环境、盾构机选型和适应性评价、盾构施工技术、施工过程安全和质量控制,真实再现施工现场,资料翔实、数据丰富,对类似工程有借鉴和指导作用。

本书可供盾构施工、工程管理及教学、科研等相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

广州地铁三号线北延段盾构隧道工程施工技术研究/
王晖,谭文,黄威然主编. —北京:人民交通出版社,
2012.6

ISBN 978-7-114-09280-0

I. ①广… II. ①王…②谭…③黄… III. ①地下铁
道—铁路工程:隧道工程—盾构法—广州市 IV.
①U231

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 141822 号

书 名: 广州地铁三号线北延段盾构隧道工程施工技术研究

著 者: 王 晖 谭 文 黄威然

责任编辑: 刘彩云

出版发行: 人民交通出版社

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)59757969,59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京盛通印刷股份有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 29.5

字 数: 711 千

版 次: 2012 年 8 月 第 1 版

印 次: 2012 年 8 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-09280-0

定 价: 138.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)



复合地层盾构工程技术系列丛书

编审委员会

丛书主编:竺维彬 鞠世健

丛书主审:史海欧

本书编委会

主 编:王 晖 谭 文 黄威然

副主编:张家德 王洪东 王 虹

编 委:(按姓氏笔画排序)

仇培云 王小忠 石战利 吕鹏程 朱劲锋

汤新光 张生林 张会东 李学逊 李海波

阮艳妹 杨向东 沈冠群 肖瑞传 邱仕雄

陈丹莲 罗淑仪 罗信伟 贺小玲 郭广才

梁永钊 雷振宇 熊 辉

审查委员:张志良 叶建兴 林志元 刘智成 农兴中

孙成伟 廖鸿雁 王文锋 黄 辉 叶越胜

主要参编单位:广州地铁设计研究院有限公司 盾构技术研究所

广州轨道交通建设监理有限公司

广州市地下铁道总公司 建设事业总部

丛书著者简介

■ 竺维彬

丛书主编

教授级高级工程师,广州地铁总公司副总经理,长期从事广州地铁建设管理工作。曾获国家科技进步奖、詹天佑土木工程大奖、中国煤田地质总局科技进步一等奖等奖项



■ 鞠世健

丛书主编

高级工程师,广州地铁设计院有限公司盾构技术研究所、广州轨道交通建设监理有限公司顾问。长期从事盾构工程技术研究



■ 史海欧

丛书主审

教授级高级工程师,广州地铁设计研究院有限公司总工程师,广州地铁设计研究院有限公司盾构技术研究所所长,广东省土木建筑学会地下工程专业委员会主任。曾获国家科技进步奖、国家优秀设计奖



本书著作者简介

■ 王 晖 本书主编

教授级高级工程师,广州轨道交通建设监理有限公司副总经理兼总工程师,广东省土木建筑协会地下工程专业委员会秘书长,广州地铁设计院有限公司盾构技术研究所副所长



■ 张家德 本书副主编

高级工程师,时任建设总部土建二部经理,主管三号线北延段、九号线土建工程



■ 谭 文 本书主编

教授级高级工程师,广州地铁总公司副总工程师,总工程师室主任。时任建设总部副总经理,主管三号线北延段土建工程



■ 王洪东 本书副主编

高级工程师,广州轨道交通建设监理有限公司副总工程师,8~11标总监



■ 黄威然 本书主编

高级工程师,广东省土木建筑协会地下工程专业委员会副秘书长,广州地铁设计院有限公司盾构技术研究所副总工程师。曾任三号线北延段设计副总体



■ 王 虹 本书副主编

高级工程师,1~3标总监



序

中国工程院院士 施仲衡 ▶



欣闻广州地铁为迎亚运,在三个月的时间内,将在原开通线路的基础上,相继开通四号线北延段、三号线北延段、二/八号线拆解段、二号线北延段和广佛线首通段等六条线累计共 236 公里的惊世之举时,陆续收到广州地铁同仁们对其中的三号线北延段、二/八号线拆解段和广佛线首通段盾构工程的研究成果初稿,令我们这些早期指导过广州地铁建设的老一辈专家感动。广州地铁在地质环境非常复杂的条件下,顺利地实现了既定的地铁建设目标,说明他们在盾构工程管理和技术上已走上成熟的道路,他们踏踏实实的科学精神值得学习和推广。

广州地铁经过十几年的积累和沉淀,培养了一批人才,并以老带新,不断壮大。在出版《复合地层中的盾构施工技术》、《盾构施工监理指南》、《广州地铁三号线盾构隧道工程施工技术研究》和《地铁盾构施工风险源及典型事故的研究》几本专著的基础上,建设一条线,总结一条线,提升一条线,坚持不懈、持之以恒地使他们总结出来的盾构施工理论——地质是基础,盾构机是关键,人是根本——经过在新线建设中的应用和创新,更加完善和充实。

本书是作者编著“复合地层盾构工程技术系列丛书”的组成部分,通读全书,反映出以下几个特点及创新点:

(1) 进一步强调了地质在盾构施工中的基础作用,在每一个施工案例中都首先较为详细地介绍了地质环境特征;

(2) 特殊地质条件下的盾构施工技术创新:花岗岩球状风化体的爆破清除技术(已获专利)、盾构穿越岩溶地区的施工及岩溶的处理方法,等等。

(3) 盾构机到达和始发新技术的应用:

① 工作井端头围护结构采用玻璃纤维混凝土或合成纤维块材混凝土,盾构机直接破除法;

② 预制盾构机始发箱体,回填土后,模拟原状土环境的始发技术;

③ 采用套筒法接收盾构机到达技术。

(4) 开挖面不稳定条件下盾构机维修换刀技术的创新:

① 土压平衡盾构机先制泥膜,后气压作业方法;

②密封舱回填注浆开舱换刀方法。

(5) 特殊地层掘进盾构纠偏技术的应用。

(6) 本工程建设中基本稳定了在十分复杂的复合地层中盾构机的“类型”和“模式”的选择,刀盘形式及其开口率、刀具类型及其组合的选择已形成一项成熟的技术,盾构机的超前钻机、盾壳预留径向孔等建议已被制造商普遍采纳。

广州地铁自 20 世纪 90 年代使用盾构工法以来,为在全国推广和使用该工法作出了特殊贡献。本书的出版进一步丰富了“复合地层盾构工程技术系列丛书”的内容,也为广大科技人员提供了可贵的参考资料和类似的工程经验。

深表祝贺,并祝不断进步!



2012 年 3 月 18 日

前 言

广州地铁三号线北延段全长 30.84km,其中盾构隧道长 43689.82m(单线延长米),11 个盾构工程标段,共采用 24 台盾构机。第一个区间于 2007 年 3 月开工,最后一个区间于 2010 年 2 月完工,盾构工程前后历时约 3 年。

该项工程是在广州复合地层盾构施工中遇到困难最多的一个项目,其特点主要表现在如下两个方面:

一、盾构区间隧道穿越了从前寒武系到第四系几亿年地史的地层,遭遇了地球上的全部三大类岩石(沉积岩、岩浆岩和变质岩),在施工过程中要处理石灰岩岩溶、花岗岩球状风化体和各种软硬不均相互组合的复合地层。这种围岩环境就给盾构机选型及其功能提出了更严格的适应性要求,同时要求施工技术和管管理提供更多的应对措施。因此,本书不厌其烦地描述了每一个工点的地层和岩土特征以及相应盾构机特征和施工参数,就是要说明即便是地质环境的细微差别都会造成盾构施工技术的不同。

二、本工程是继广州地铁一号线、二号线、三号线、四号线和五号线盾构施工完成后进行施工的,汲取了前人的许多经验和教训,在盾构机选型和施工技术上有诸多改进,丰富了复合地层中盾构施工技术。主要表现在如下几方面:

1. 由于普遍加深了对“地质是基础”的理解,提高了对本区地质特征的研究深度,在施工过程中区别出本工程〈3-2〉富水砂层与广州近珠江地区同一地层含泥量不同,本工程钙质胶结的第三系沉积岩与其他地区泥质胶结的白垩系沉积岩在滚刀破岩是的反应不同,本工程花岗片麻岩中风化球状风化体与其他地区的花岗岩球状风化体在处理方法上的不同等。在此基础上通过合理选择刀具和施工参数,大大地提高了盾构施工效率,减少了工程事故。

2. 确立了在富水复合地层中端头加固的设计和施工方法。由于复合地层一般是由两种或两种以上岩土特性差异很大的地层的组合,因此无法像较为均一的地层那样一般通过较为简单的计算就可以确定加固体的范围和密封性,并据此进行设计。正因为这样,往往单独一种施工方法,比如旋喷法,很难能达到设计要求的效果。本工程将复合地层中的端头加固方法进行了系统的总结,认为在富水的复合地层中用素混凝土连续墙或素混凝土桩桩围壁加固体,并辅以其他方法加固是一种较为安全和可靠的方法,应推广。



3. 密封舱回填换刀技术是一项创新。在复合地层中施工要在中途换刀几乎是一项不可避免的程序,而这项工作又是有极大风险的。由于一些特殊的原因,比如地面或地下无法对围岩实施加固,或由于盾构机和地层的原因无法进行带压换刀,在这种情况下,换刀成了一道难以逾越的施工障碍。本工程应用密封舱回填技术有效地解决了这个难题,该技术在两方面取得了突破:一是将泥水盾构的原理应用到土压平衡盾构机中,通过使用泥浆对工作面进行泥膜护壁;二是利用砂浆置换土舱中的渣土,使工作面的空隙或裂隙被砂浆充填,从而达到稳定工作面的目的,并可继续实施下一步的换刀程序。

4. 本工程应用的水(土)中盾构进洞技术、富水砂层中在维护墙内竖井开挖联络通道技术、石灰岩岩溶区盾构通过技术、花岗岩球状风化体处理技术等,都极大地丰富了复合地层中的盾构施工技术。

本书的资料是我们的同事在深入一线过程中一点点搜集起来的,在这个过程中,得到了施工单位和业主的大力支持和帮助,因此本书的出版是工程参与各方辛勤工作和智慧的结晶。

全书共分十三章,其中第三、四、五、六、七、八、九、十、十一、十二、十三章分别对应施工1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11 标段。

竺维彬 鞠世健 史海欧

2012 年 5 月

目 录

第一章 工程概况和施工环境	3
第一节 线路概况	3
第二节 区域地质特征	3
一、区域构造背景	3
二、断裂	5
三、褶皱	6
四、地层与岩性	6
第三节 岩土工程特征	8
一、岩土分层及其特征	8
二、岩土物理力学指标统计	12
三、不良地质与特殊岩土	25
第四节 水文地质条件	26
第五节 岩土分区及其特点	28
第六节 各标段工程情况	30
第二章 盾构机选型	35
第一节 盾构机形式选择	35
第二节 盾构机主要参数	40
第三章 燕塘站—梅花园站区间盾构施工技术	49
第一节 工程概况和施工环境	49
一、区间位置和线路概况	49
二、盾构施工环境特点分析	50
三、工程特点及难点分析	54
第二节 盾构机使用情况	54
一、左线小松盾构机使用情况	54
二、右线海瑞克盾构机使用情况	57
第三节 盾构机	59
一、两种盾构机对比分析	60

二、盾构机设备改进·····	62
第四节 盾构施工的主要技术 ·····	63
一、盾构机刀具更换及使用分析·····	63
二、盾构开舱换刀技术·····	65
三、盾构穿越矿山法段施工技术·····	86
四、盾构掘进地面处理技术·····	95
五、盾构穿越房屋施工技术·····	106
六、刀盘被卡处理技术·····	116
七、始发洞门环板拉脱处理技术·····	118
八、空推段始发端预加固上软下硬地层·····	119
九、利用主动铰接辅助盾构机脱困·····	120
第四章 梅花园站一同和站区间盾构施工技术 ·····	125
第一节 工程概况和施工环境 ·····	125
一、区间位置和线路概况·····	125
二、投资和工期·····	126
三、盾构施工环境特点·····	126
第二节 盾构机 ·····	130
一、盾构机的形式、提供厂家·····	130
二、刀具更换情况·····	130
第三节 盾构施工的主要技术 ·····	132
一、盾构掘进过桩技术·····	132
二、盾构拼管片过矿山法隧道技术·····	135
三、玻璃纤维筋在盾构端头加固中的应用技术·····	140
四、球状风化岩(孤石)的处理技术·····	144
五、同和站到达端头加固及过暗渠技术·····	151
六、盾构切割锚索技术·····	156
七、盾构反力架位移原因分析及处理措施·····	156
八、管片错台防治技术·····	159
第五章 同和站—永泰站区间(一)盾构施工技术 ·····	167
第一节 工程概况和施工环境 ·····	167
一、区间位置和线路概况·····	167
二、投资和工期·····	167
三、盾构施工环境特点分析·····	168
四、工程特点及难点分析·····	169
第二节 盾构机掘进情况分析 ·····	170

第三节 盾构施工的主要技术	173
一、盾构空推拼管片过矿山法初期支护隧道	173
二、盾构过硬岩及上软下硬地层	178
三、1号联络通道废水泵房基坑开挖出现坍塌处理技术	185
四、盾构掘进过程中地面建筑物保护技术	188
第四节 本工点盾构施工技术经验总结	192
第六章 嘉禾站(南始发井)一同和站(吊出井)区间盾构施工技术	199
第一节 工程概况和施工环境	199
一、区间概况	199
二、盾构施工环境特点分析	199
第二节 盾构机适应性分析	203
一、盾构机主要参数	203
二、LOVAT 盾构机构造及主要设备	203
三、LOVAT 盾构机的适应性评价	206
四、盾构机在施工中存在的问题	207
第三节 盾构施工的主要技术	209
一、主要施工技术	209
二、施工4标端头加固及施工效果	220
第七章 嘉禾站(北始发井)一龙归站(吊出井)区间(一)盾构施工技术	231
第一节 工程概况	231
一、线路和限界	231
二、建设工期	231
三、工程投资	233
四、施工环境	233
第二节 盾构机	234
一、盾构机选型	234
二、刀具磨损记录	234
三、浆液的配置	235
第三节 盾构施工	236
一、端头加固及盾构始发和到达	236
二、盾构快速均衡掘进施工	238
三、盾构机拼装管片过中间风井	238
四、溶、土洞发育区盾构掘进	239
五、管片拼装开裂与破损情况及防治措施	241
六、联络通道施工技术	241

第八章 嘉禾站(龙归吊出井)一龙归站区间(二)盾构施工技术	245
第一节 工程概况和施工环境	245
一、区间位置和线路概况	245
二、盾构施工环境特点分析	246
三、建设工期	248
第二节 盾构机	248
一、盾构机选型	248
二、盾构机的适应性评价	248
第三节 盾构施工	249
第四节 盾构施工过程中的质量控制	250
第九章 龙归站一人和站区间(一)盾构施工技术	255
第一节 工程概况	255
一、线路概况	255
二、主要工程内容介绍	255
三、施工进度情况	256
四、工程概况	256
第二节 盾构机	259
一、盾构机选型	259
二、盾构机的适应性评价	260
第三节 盾构施工	263
一、复合地层的掘进	263
二、盾构过沙河涌	264
三、盾构过建筑物	264
四、盾构掘进过程中出现的问题及对策	268
五、施工中出现的的质量问题、原因分析及防治	276
第四节 安全和质量事故的总结与教训	281
一、右线 YDK-19-053 绿化带塌陷事故	281
二、左线泥浆管脱落事故	281
三、左线 824 环掘进 P2.1 泵进口负压处理	282
四、右线过北村桥(沙坑涌)河床塌陷事故处理	283
第十章 龙归站一人和站区间(二)盾构施工技术	291
第一节 工程概况和施工环境	291
一、区间位置和线路概况	291
二、盾构施工环境特点分析	292
第二节 盾构机	294

一、盾构机主要参数	294
二、本次三菱泥水盾构机型的改进措施	294
三、刀盘和刀具	295
四、压气设备	299
第三节 盾构施工	301
一、地层情况对掘进的影响	301
二、泥水管理	302
三、注浆参数和效果	303
四、隧道堵漏及盾构管片破损修补	304
第四节 主要地层加固施工设计	309
一、盾构始发端头加固方案设计	309
二、盾构到达端头水平加固方案设计	310
三、联络通道加固方案设计	313
第五节 盾构施工过程的安全和质量控制	314
一、始发端头洞门凿除时发生的 3 次涌水事件	314
二、左线盾构在 5 号联络通道加固区外受困事件经过及处理过程	321
三、左线盾构掘进线路超限事件及处理过程	327
第十一章 龙归站一人和站区间(三)盾构施工技术	335
第一节 工程概况及施工环境	335
一、区间位置和线路概况	335
二、盾构施工环境特点	335
三、工程特点及难点分析	343
四、盾构区间工程完成情况	343
第二节 盾构机使用情况	344
一、盾构机的形式、提供厂家	344
二、盾构机的刀盘和刀具	344
第三节 盾构施工的主要技术	346
一、始发到达技术	346
二、右线掘进 97~99 环地面塌方处理技术	353
三、软弱不均地层的盾构掘进姿态偏移处理技术	357
第十二章 高增站一人和站区间盾构施工技术	367
第一节 工程概况和施工环境	367
一、区间位置和线路概况	367
二、盾构施工环境特点分析	367
三、项目工期	370
四、工程投资	370

第二节 盾构机	371
一、盾构机选型依据和原则	371
二、盾构机选型结果与机型特点	371
三、同步注浆和二次注浆	382
四、添加剂系统	385
第三节 盾构施工的主要技术	385
一、盾构机回填式过中风井施工技术	385
二、富水砂层中水平注浆端头加固技术	387
三、盾构机在不同砂层中的掘进参数	392
四、盾构成型管片超限处理	393
第十三章 高增站—新机场南站区间盾构施工技术	401
第一节 工程概况和施工环境	401
一、区间位置和线路概况	401
二、盾构施工环境特点分析	401
三、工程特点及难点分析	406
四、盾构区间工程完成情况	406
第二节 盾构机	407
一、刀盘结构、刀具布置及刀具选择	407
二、刀具管理	409
三、灰岩中螺旋输送机技术要求	411
四、盾尾刷管理	411
第三节 盾构施工的主要技术	412
一、盾构始发阶段技术分析	412
二、盾构区间掘进技术分析	420
三、砂层中盾构到达技术措施及涌水涌沙案例分析	437
四、盾构隧道施工质量管理	442
跋	445
附录 1 广州地铁三号线北延工程建设单位项目管理负责人名单	453
附录 2 广州地铁三号线北延工程各盾构标段施工单位及项目负责人名单	454

执笔人 The Author

罗淑仪 ▷

工程师

广州轨道交通建设监理有限公司总工程师室技术主管



执笔人 The Author

雷振宇 ▷

高程工程师

广州地铁设计研究院有限公司建筑所所长，时任三号线设计总体，主持三号线北延段设计

