

Fuza Huanjing Xia
Dungou Xiachuan Yunying
Suidao Zonghe Jishu

复杂环境下 盾构下穿运营 隧道综合技术



陈湘生 李兴高◎著



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

责任编辑 徐 艳
封面设计 崔 欣



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

地址：北京市宣武区右安门西街8号
邮编：100054
网址：<http://www.tdpress.com>

ISBN 978-7-113-12556-1



定 价：80.00元

复杂环境下盾构下穿运营 隧道综合技术

陈湘生 李兴高 著

中国铁道出版社

2011年·北京

内 容 简 介

本书针对深圳市复杂的地层环境、复杂的周边环境(地上和地下)以及建设各方力量摊薄的情况,结合小曲线半径盾构隧道下穿小曲线半径既有运营隧道的难题,阐述了业主主导下的多次技术方案研究和决策,既有线现状调查,工程地质补勘,施工技术和工艺参数选取方式(渣土改良、掘进参数选取和优化、注浆工艺设计等),专项施工预案编写,关键数据全过程的监测监控,下穿前对方案参数在特定土层的敏感性进行的推进预演,对每项风险源的应急预案制定,每项工作的人员组织分工和各项工作的流程及关联等。

本书可供隧道设计、施工、科研领域的人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

复杂环境下盾构下穿运营隧道综合技术/陈湘生,李兴高著
北京:中国铁道出版社,2011.3
ISBN 978-7-113-12556-1

I. ①复… II. ①陈… ②李… III. ①隧道工程—盾构(隧道)—
工程技术 IV. ①U455.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 020965 号

书 名: 复杂环境下盾构下穿运营隧道综合技术
作 者: 陈湘生 李兴高

策划编辑: 徐 艳
责任编辑: 徐 艳
封面设计: 崔 欣
责任校对: 焦桂荣
责任印制: 李 佳

电话: 51873193

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)
网 址: <http://www.tdpress.com>
印 刷: 北京盛通印刷股份有限公司
版 次: 2011年3月第1版 2011年3月第1次印刷
开 本: 880 mm×1 230 mm 1/16 印张: 19 字数: 630 千
书 号: ISBN 978-7-113-12556-1
定 价: 80.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部联系调换。

电 话: 市电(010) 51873170, 路电(021) 73170(发行部)

打击盗版举报电话: 市电(010) 63549504, 路电(021) 73187

前言

深圳经过 30 年的发展,已经建成初具规模的现代化城市,综合经济实力居全国大城市前列。预计全市 2010 年人口总数接近 1450 万,生产总值 9500 亿元。到 2010 年底,全市路上行驶的汽车已超过 190 万辆,城市路网的交通承载力已经逼近极限,高峰时段城市中心区主干道公交运营速度已经降到 10 km/h 以下。城市公交运力的现状已经严重落后于城市总体持续发展的需求。国内外解决大都市交通拥挤的实践证明:在深圳市区近一半为山地的条件下,大力发展公交尤其是作为骨干的轨道交通事业,让市民出行更为方便和舒适,才是实现城市资源、环境和人口之间和谐发展,解决深圳未来交通的出路所在。

1998 年 5 月中华人民共和国国家计划委员会(现称“中华人民共和国国家发展和改革委员会”)批准“深港罗湖、皇岗/落马洲口岸旅客过境轨道接驳工程”项目立项,并更名为“深圳地铁一期工程”,拉开了深圳城市轨道交通建设的序幕。目前深圳规划的轨道交通线路共 16 条,总长约 587 km。深圳地铁一期工程主要包括 1 号线(罗宝线)东段和 4 号(龙华线)线南段,于 2004 年 12 月 28 日开始运营。2006 年、2007 年开工建设的二期工程,标志着深圳轨道交通进入网络建设开始期,在建线路 5 条,即 2 号(蛇口线)、3 号(龙岗线)、5 号(环中线)号线和 1 号、4 号线延长段,总长 156.2 km。同时在建的还有广深港客运专线和厦深铁路深圳段。这其中,5 号线分别与 1 号、2 号、3 号、4 号、6 号、7 号、10 号、15 号、16 号线及穗莞深城际线、广深港城际线、东部城际线等轨道交通线路相交,并与 1 号线形成首个环线,必将充分发挥轨道交通网络效应,大大提高疏运能力。

在深圳有限地域空间环境里的轨道交通建设成网过程中,为方便线路之间的交叉换乘,必然会遇到新建盾构隧道穿越既有运营隧道的问题,这些问题直接关系到既有轨道交通线的正常运营,新建盾构隧道工程的施工安全、工期和工程造价。作为高速发展的新兴现代化都市,深圳不同时期城市建筑物的结构和基础千差万别,地下管网错综复杂,使得轨道交通建设的周边环境十分复杂。特别是深圳地处沿海,工程地质和水文地质条件环境更加复杂。在这种环境中新建隧道穿越既有隧道的施工,对深圳市轨道交通的快速发展提出了考验和挑战。由于岩土工程的地域性,其他地方的地铁施工经验只能借鉴,因此,仅靠技术部门或设计单位、仅靠施工乙方和工程监理,都不可能安全可靠地解决所有问题,必须通过全方位、系统性的综合手段来解决。

在成为经济特区的 30 年间,深圳从边陲小镇发展成人口过千万的现代化都市,各个阶段的市政设施、建(构)筑物集复杂多样。各类建筑物的基础千姿百态:桩基、箱基、条形基础、筏基、复合基础、天然基础等。各类建筑的上部结构也是形式多样:钢结构、混凝土结构、钢筋混凝土结构、砖混结构等。市政管网(供电、通信、燃气、给排水等)错综复杂,管网结构、质量、标准和敷设方式在不同建设阶段区别较大,相应档案资料也不尽完善甚至缺失。在城市中心区,地表建筑密集,高楼林立,河道纵横,地下管网密布,有的还是不知名管网等,形成了复杂的建筑环境。

和单一地层(岩石、淤泥、黏土、流砂(软土类))不同,深圳的工程地质和水文地质条件十分复杂。地层的构成主要是花岗岩风化残积土地层、岩石、淤泥、砂、回填杂土(石),或这些地层的混合体等。其分布特点是上软下硬花岗岩风化残积土地层,或者上部是软岩、下部是硬岩,或者是软硬交错(任意方向上),或者是软硬互层,或者是回填岩石杂土混合体,甚至还有沉积年代不同和风化程度不同的地层等。地层中往往有海水侵蚀,而且地下水位随潮汐变化而变化,有些地层对地下水非常敏感,稍微扰动就会崩解甚至液化。这些构成了深圳独特的工程地质和水文地质环境——复杂地层环境。

过去 30 年深圳城市发展主要集中在原来的特区内,呈带状分布。在特区内带状地域上集中了深圳的主要高层建筑物。而这些高层建筑物多数是桩基础。地铁线路在下面敷设小曲线半径的情况较多,且常常是在这些部位会出现盾构下穿既有运营隧道的工程问题。这又是隧道下穿既有线时遇到的复杂线路环境。

另一方面,由于全国 20 多个城市同时在建设地铁,同一个城市往往又有多条线路同时在施工,使得设计、施工、监理、科研咨询、盾构设备加工和售后服务、业主管理等多方面的力量全面摊薄。造成了盾构制造和服务、设计和施工技术力量、监理和业主管理很难全面到位的困难局面。

在深圳这种复杂地层环境、复杂周边环境(地上和地下)和建设各方力量摊薄的情况下,小曲线半径隧道

下穿小曲线半径既有运营隧道成为深圳轨道交通二期建设的关键难题。无论哪一方(技术和管理)不到位,都将会酿成重大事故。针对这些特点和难点,依据近30年地下工程科研、设计、施工和管理的经验、教训和思考,第一作者在工程一开始就提出了“以业主为主导制定和实施下穿安全风险管理综合措施”,以避免各方技术和管理力量摊薄带来的设计、施组和现场实施脱节甚至不能落实而出现事故的局面。

盾构下穿运营隧道工程建设中大多不具备实施地面加固的条件,这无疑大大增加了工程安全控制的难度。如上所述,地铁盾构隧道主要穿越上软下硬花岗岩风化残积土地层,这种地层既有黏性土的特点(黏聚力值较高),又有砂土的特点(内摩擦角较大)。残积土颗粒成分的不均匀分布,直接决定了盾构施工技术应用的复杂性。同时,城市轨道交通建设中上述各种条件的交互作用,形成了复杂环境条件下盾构下穿运营隧道的工程难题。盾构下穿运营隧道工程涉及既有线的正常运营和新建隧道的施工安全,安全控制等级高,若出现事故,社会影响面大。而且在穿越工程的安全控制过程中,涉及单位、部门较多,需要地铁建设单位、运营单位、新建隧道设计、施工和监理等单位的密切配合,仅技术层面是无法确保工程安全的,必须形成一整套完善的业主主导的综合控制措施(管理先于技术,管理和技术并重)。

本书不涉及盾构设备介绍和技术原理等,主要介绍业主主导下的多次技术方案研究和决策,既有线现状调查,工程地质补勘,施工技术和工艺参数选取方式(土渣改良、掘进参数选取和优化、注浆工艺设计等),专项施工预案编写,关键数据全过程的监测监控(信息化施工),下穿前对方案参数在特定土层的敏感性进行的试验推进预演,对应每项风险源的应急预案制定,以及每项工作的人员组织分工和各项工作的流程及关联等。每次穿越施工都成立了以第一作者(业主)为现场工作领导小组组长、施工企业负责人为副组长,统一现场决策的设计、施工、监理、监测、科研、应急抢险的全套班子,实现了全过程每个细节的跟踪记录及各项监测数据采集(和掘进控制在同一房间)的及时应用。先后完成了2号下穿1号线、2号线下穿4号线和广深铁路下等8次穿越工程,所有下穿全部安全通过,工后沉降控制在设计要求范围内。通过这些复杂环境下的隧道下穿运营隧道和铁路,形成了以业主为主导的独特下穿综合措施,同时培养了一批技术和管理团队。

为及时总结经验和教训,给深圳市轨道交通持续发展提供有力的技术支持和技术储备,特选取2号线东延线燕大区间和大东区间下穿1号线典型穿越工程,组织编写了本书。深圳市轨道交通2号线燕大区间盾构始发井—大剧院站区段以 $20^{\circ}\sim 23^{\circ}$ 的夹角下穿运营中的地铁1号线,重叠区域超过70m,盾构下穿施工距离长,1号、2号线结构轮廓最小净距约2m,新线和既有线皆位于350m半径的小曲线上。对于大东区间,新线与既有线之间的夹角约为 55° ,既有线位于350m半径的小曲线上,且为叠线隧道,新线和既有线之间的距离仅为1.7m。两处工程下穿范围内皆为上软下硬的风化花岗岩地层,工程安全控制难度大、风险高。两处穿越工程的承包商——中铁二局深圳地铁2号线2225—2标项目经理部和广东水电二局深圳地铁2号线2226标项目经理部,在工程建设中精心准备、精心组织、精心施工,确保了工程的安全、顺利和快速实施。

在穿越施工过程中,深圳市轨道办李筱毅副主任和蒋群峰处长等,深圳市地铁集团公司黄瑞董事长、林茂德总经理、肖民总工程师等,施工单位中铁二局和广东水电二局的领导,分别到现场检查和指导工作。深圳市地铁集团公司2号线建设分公司作为业主方(副经理黄力平,业主代表李林、胡浩、包长春等)管理本项工程。两处穿越工程的地表变形第三方监测单位皆为长勘院深圳分院;既有线洞内全站仪自动化监测单位分别为深圳市政院和广州重工院;既有线洞内静力水准自动化监测和两处穿越工程的科研单位为北京交通大学。监理单位为铁四院(湖北)工程监理咨询有限公司。设计单位为铁二院。参加值班的还有深圳市地铁集团总工办、安质部、地保办、设计部、运管办和运营分公司等。地铁公司技术委员会和有关专家全面审查了穿越工程专项方案。本书作者陈湘生博士(工程建设和项目的主要负责人)、李兴高博士(科研负责人)特别感谢黄力平高级工程师、刘世杰副总工程师、林世友副总工程师、刘树亚博士、郑爱元博士、郭帅副主任、黎忠文部长等,以及参建各方在技术、监测监控、安全控制及工程管理等方面的主要贡献。两处下穿运营隧道工程的成功实施是业主主导下各参建方群策群力的结果,是集体智慧的结晶。基于所有参建方的工作,两位作者对业主主导下复杂环境中盾构下穿运营隧道的技术、管理和实施等综合措施进行了系统分析、归纳和总结,并结合工程心得体会,完成了此书。在本书完成过程中得到了北京交通大学袁大军教授的支持和指导,在此一并表示感谢。

由于作者水平所限,书中难免存在不足和疏漏之处,恳请读者批评指正。

作者
2011年1月

目 录

1 概 述	1
1.1 工程背景	1
1.2 工程概况	2
1.3 穿越工程特点	6
1.4 穿越工程综合配套措施体系	6
2 穿越工程安全控制管理制度建设	8
2.1 引言	8
2.2 安全控制管理制度建设	9
2.3 结语	32
3 穿越工程专项方案	33
3.1 引言	33
3.2 专项施工方案	33
3.3 既有线洞内全站仪自动化监测系统实施方案	41
3.4 既有线洞内静力水准自动化监测系统辅助方案	48
3.5 人工监测实施方案	48
3.6 施工应急预案	49
3.7 小结	55
4 地质补勘技术	56
4.1 引言	56
4.2 大东区间穿越工程地质补勘	57
4.3 燕大区间穿越工程地质条件	66
4.4 结语	76
5 既有线现状调查技术	77
5.1 引言	77
5.2 既有线线路条件	77
5.3 隧道结构现状	78
5.4 轨道结构	97
5.5 接触网结构	98
5.6 裂缝现状确定	99
5.7 小结	100
6 盾构适应性分析技术	102
6.1 引言	102
6.2 穿越工程使用的盾构机	103
6.3 盾构机功能分析	113

6.4	盾构机功能成色分析	116
6.5	燕大区间右线结合换刀工作的分析	116
6.6	小结	117
7	试验段试验分析技术	118
7.1	引言	118
7.2	大东区间试验段	118
7.3	燕大区间试验段	119
7.4	小结	130
8	盾构施工技术参数选取技术	131
8.1	引言	131
8.2	掘进参数选取的指导思想和原则	131
8.3	掘进参数参考值	134
8.4	盾构生产参数监控	135
8.5	盾构生产参数记录	135
8.6	实际盾构掘进参数	142
8.7	出土量控制	156
8.8	小结	160
9	渣土改良技术	161
9.1	引言	161
9.2	渣土改良机理	161
9.3	渣土改良成功案例	167
9.4	刀盘前方注水渣土改良	168
9.5	渣土温度监测	174
9.6	实际渣土改良效果	175
9.7	小结	178
10	工序优化高效掘进技术	179
10.1	引言	179
10.2	不同编组列车出渣进料时间分析	180
10.3	实际工程工序时间统计分析	181
10.4	小结	185
11	综合注浆技术	187
11.1	引言	187
11.2	壁后注浆工艺	187
11.3	壁后注浆基础试验	191
11.4	浆液试验	193
11.5	穿越工程实际注浆方案	198
11.6	穿越工程注浆量统计	200
11.7	小结	209
12	综合监控量测技术	210
12.1	引言	210

12.2	既有线变形总体监控方案·····	212
12.3	大东区间监测工作·····	212
12.4	小结·····	229
13	地质雷达扫描既有有线及下方土体技术·····	231
13.1	引言·····	231
13.2	探测方法原理、仪器及方案·····	231
13.3	工程地质雷达探测·····	233
13.4	小结·····	241
14	进仓和换刀技术·····	242
14.1	引言·····	242
14.2	砂浆置换进仓换刀技术·····	242
14.3	带压进仓换刀技术·····	251
14.4	刀具磨损统计·····	269
14.5	小结·····	272
15	工程应急预案建设·····	273
15.1	引言·····	273
15.2	应急预案技术体系·····	273
15.3	穿越工程应急预案体系·····	276
15.4	工程应急预案检查·····	285
15.5	小结·····	286
16	工程体会、结论和建议·····	287
16.1	工程体会·····	287
16.2	结论和建议·····	287

1 概 述

1.1 工程背景

深圳市轨道交通线网大规模建设过程中不可避免地会遇到线路之间的交叉、换乘现象,以及新建线路在既有线路附近施工诱发的一系列新问题,其中包括车站及区间隧道相互穿越的工程问题。2号线东延线大东区间下穿地铁1号线国老区间,净距约2 m;2号线东延线燕大区间下穿地铁1号线科大区间,净距约3 m。新建盾构隧道施工不可避免地要对既有1号线结构和运营产生影响,带来一系列问题。这些问题直接关系到既有轨道交通线的正常运营、新建盾构隧道工程的施工安全、工期和工程造价,对于深圳市轨道交通的快速发展提出了考验和挑战,必须尽快加以解决。另一方面,地铁1号线位于深圳市最为重要的交通走廊上,是目前深圳市大多数居民出行最为重要的交通工具之一,在城市公共交通中正在发挥着骨干作用。深圳地铁1号线的安全及正常运营重要性不言而喻,不容许出半点差错,这就对新建盾构隧道施工提出了严格的工程控制要求,亟需有效、实用、系统的控制既有线变形的整套成熟技术,以指导在已建线路附近进行的新建盾构隧道施工。因而,亟需对深圳市地铁2号线大东区间和燕大区间盾构隧道施工下穿越既有1号线工程控制系统开展深入研究。

盾构隧道下穿越既有地铁线路问题涉及到既有线的正常运营和新建隧道的施工安全,安全等级控制要求较高,社会影响面较大。而且在穿越工程的安全控制过程中,牵扯单位较多,需要地铁运营部门、新建隧道设计、施工和监理等单位的密切配合,必须形成一整套完善的技术体系和管理流程。同时,从技术的角度出发,已经建成并正在运营中的地铁隧道对变形的要求极其严格,这与目前工程界如何有效预测和控制隧道变形的现状形成了一对矛盾。尤其是对于下穿既有线施工,既有线变形控制难度大,工程安全风险高,而且是在保证上部既有线正常运营的情况下实施下穿施工,涉及的不确定性影响因素较多,必须深入开展深圳地铁2号线大东区间和燕大区间盾构隧道施工下穿越既有1号线工程的系统风险评估,以确保穿越工程的安全可靠和经济合理。

为确保工程系统控制的安全可靠和经济合理,从狭义方面来讲,必须同时做好管理和技术两方面的工作。离开了完善的技术体系,仅谈工程管理,则工程系统控制为无源之水;离开了工程管理,仅谈技术,则工程系统控制为无本之木。在实践中,二者不可偏废,缺一不可,交织相互作用,共同构成了盾构近距离穿越既有线施工安全控制的综合配套技术体系。

对于盾构施工穿越既有线工程管理来讲,必须同时作好人员的组织计划和设备的维修保养,必须作好材料供应和物质运输,必须作好各项控制技术的落实。这方面的关键是建立健全各项规章制度建设,通过制度建议,形成穿越施工的高效组织体系,一方面可保障正常情况作业流程的顺利实施,另一方面,在紧急情况下,可以调动相关方面,甚至是全社会的力量投入到穿越工程的安全控制之中。

盾构施工穿越既有线工程系统从技术方面来讲,主要包括三方面的内容:第一是既有线结构体系;第二是盾构施工体系;第三为措施体系。既有线结构体系中主要包括隧道结构和轨道结构两方面内容。穿越施工过程中既有要保证隧道结构不产生较大变形,又要确保轨道结构的平顺性,不能危及行车安全。盾构施工体系主要又由三部分组成,即施工环境(主要是地质环境)、盾构机和人员。由于两处穿越工程的施工单位和人员已经确定,在穿越施工过程中应主要加强安全风险意识,严格过程质量控制。地质环境是盾构隧道的载体,是穿越工程的基础条件,其对赋存状况对穿越工程实施的影响不言而喻。盾构机是隧道施工过程中的唯一工具,是人发挥主观能动性,克服地质环境,实施成功穿越的凭借。事实上,地质环境的复杂性几乎无法让人随时随地地了解盾构机前面的实际特点和状态,特别是上述两处穿越工程所采用的盾构机又不是根据此两处盾构区间的地质特点“量身定做”,也就更无法保证盾构机具备百分之百的适应性。措施体系中的内容

可进一步细分为三个方面的内容,即应急措施、地面加固措施和监控量测。其中,监控量测又包括施工监测和既有线监控量测两方面的内容,而对于地面加固措施,由于本书涉及的两处穿越工程不具备实施地面加固的场地条件,对此也不再作进一步的分析。

1.2 工程概况

1.2.1 大东区间穿越工程概况

大东区间隧道位于深南路底下,总长约 1 651 m,线间距 12.24~25.35 m,轨面埋深 19.252~36.118 m,在里程 ZDK32+457.708~463.592、YDK32+466.674~472.37 下穿既有地铁 1 号线国老区间(单洞叠线结构),平面夹角约 55° ,如图 1.1 所示。采用一台海瑞克和一台维尔特土压平衡盾构机掘进,从大剧院站始发,由西往东掘进,最后在东门站西端头吊出,按右线在前、左线随后的顺序施工,区间中部约 550 m 为矿山法隧道,盾构拼装管片通过。左线、右线地层条件及与 1 号线的相对位置关系分别如图 1.2、图 1.3 和图 1.4 所示。

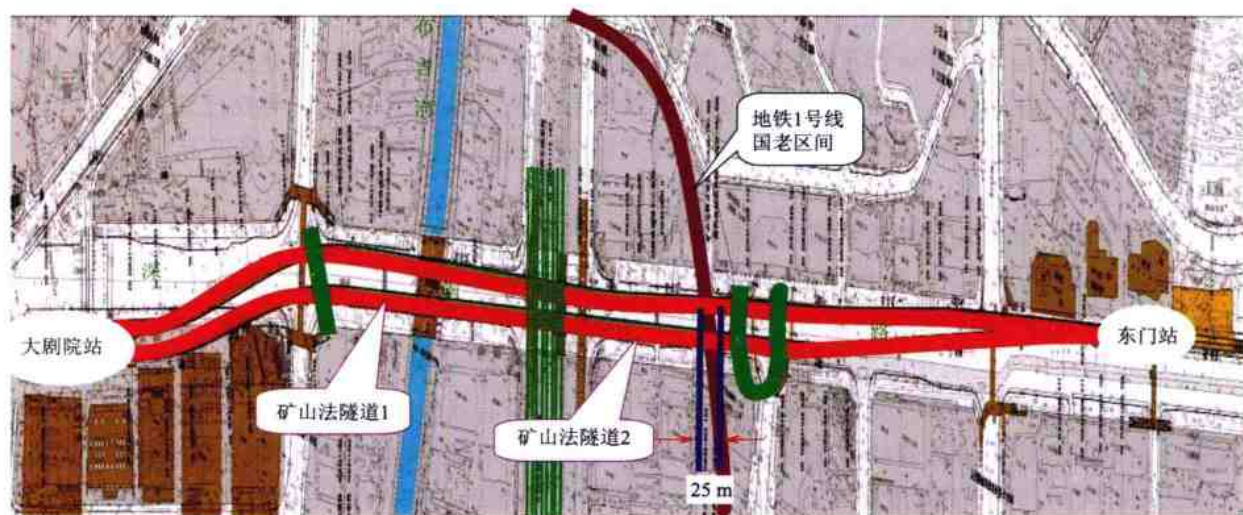


图 1.1 大东区间下穿地铁 1 号线国老区间平面图

左线地质条件:盾构隧道全断面为<21-3>中风化花岗片麻岩和<9-4>微风化花岗岩,岩石抗压强度高,洞顶覆盖<21-3>岩层约 0.15~0.5 m,岩面线以上为<9-2-1>和<21-2-1>强风化岩地层,均具有遇水易软化、强度低的特点。1 号线与 2 号线隧道净距 1.78 m,1 号线隧道底地质条件为<21-2-1>地层。

右线地质条件:地铁 1 号线与人民南天桥隧道全断面为<21-3>中风化花岗片麻岩和<9-4>微风化花岗岩,洞顶覆盖<21-3>岩层 2.8 m 以上。1 号线与 2 号线右线隧道的最小净距为 2.76 m,1 号线与 2 号线左线隧道的最小净距为 1.78 m,1 号线隧道底地质条件为<21-3>地层。

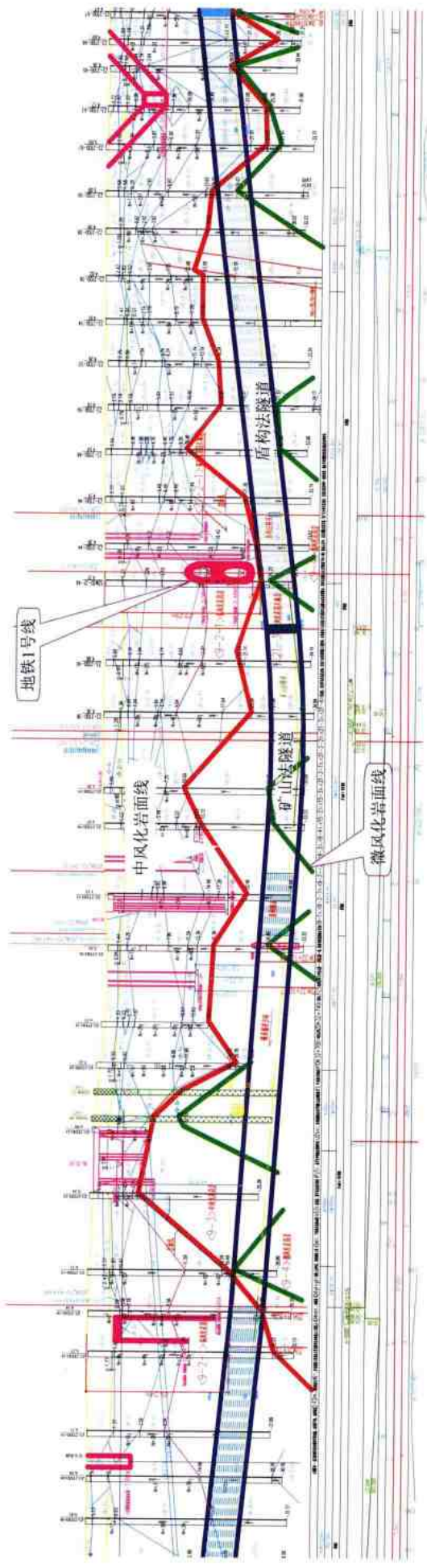


图1.2 大东区间左线盾构隧道下穿1号线地质剖面图

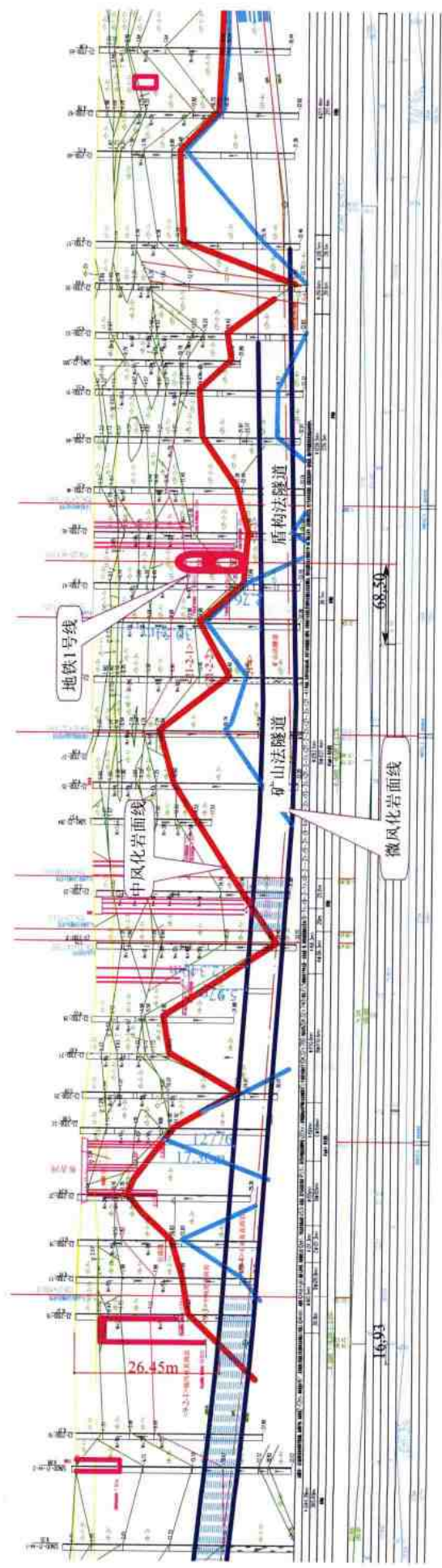


图1.3 大东区间右线盾构隧道下穿1号线地质剖面图 (单位:m)

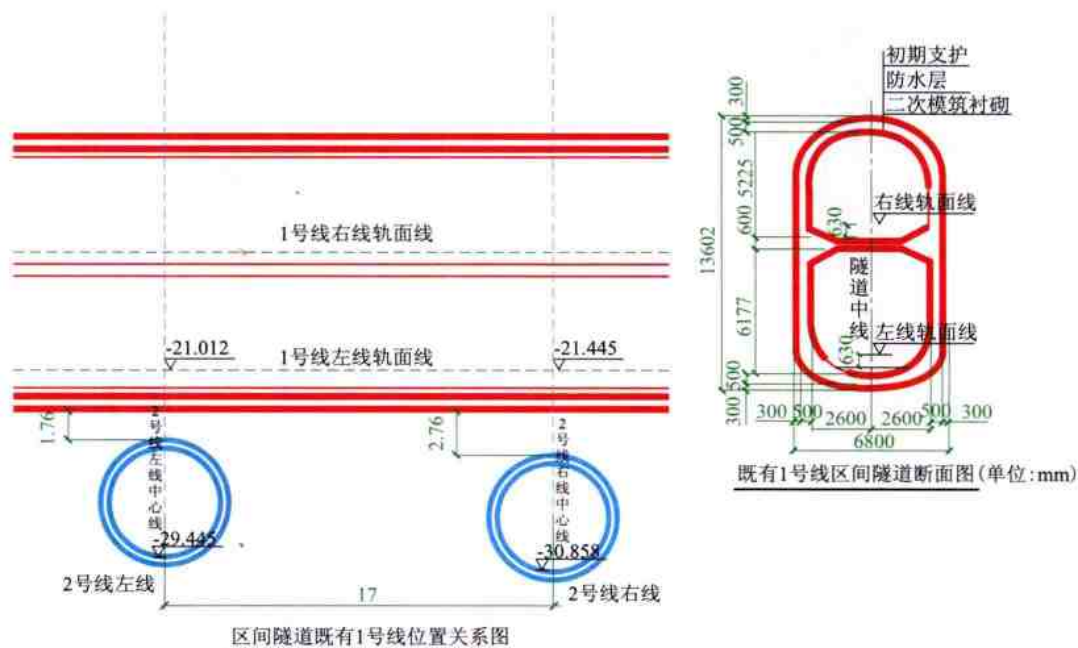


图 1.4 既有 1 号线大东区间与 2 号线国老区间相对位置关系剖面图

1.2.2 燕大区间穿越工程概况

本区间线路从燕南站往东前行,以水平的“S”形绕过深圳人民大会堂后下穿一机关游泳池及多层车库,在荔枝公园与人民大会堂间的绿地上设始发井,对应左线往东南向转向荔湖,下穿红岭中路、1 号线科学馆站—大剧院站区间及深南东路,往东到达大剧院站。盾构隧道在 YDK31+084.567~YDK31+155.052、ZDK31+124.004~ZDK31+197.848 下穿已建深圳地铁 1 号线科学馆—大剧院区间,已建 1 号线矿山法隧道与盾构隧道最小净距约 2.074 m,如图 1.5、图 1.6 和图 1.7 所示。

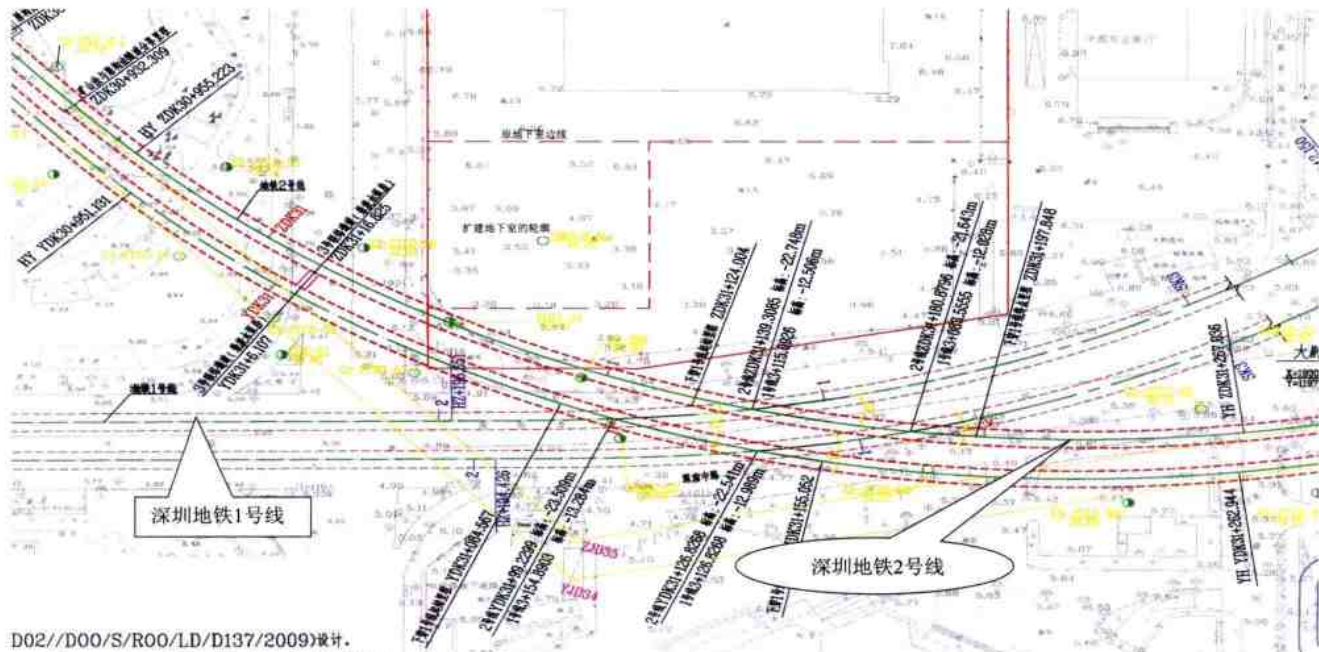


图 1.5 燕大区间下穿地铁 1 号线科大区间平面图

燕南站—大剧院站区间为冲洪积平原地貌,地形较平坦,地面高程 2~12 m,地面坡度小于 5°。区间范围上覆地层主要为第四系全新统人工填筑土(Q_{4ml})、冲洪积黏性土及砂层(Q_{4al+pl})、残积黏性土层(Q_{4cl}),下伏基岩为燕山期(γ_{53})花岗岩。区间范围内地表水发育,荔枝公园内的人工湖(荔湖)为段内较大的地表水体。荔湖原为老河道穿越地段,经人工改造后形成常年水体,水深 2~3m。区间范围地下水主要有第四系孔

隙水、基岩裂隙水。本区间隧道下穿 1 号线段洞身地层主要为<9-2-1>土状强风化花岗岩;与 1 号线所夹地层主要为<8-3>硬塑状砾(砂)质黏性土及<9-1>全风化花岗岩。1 号线隧道底部标高-12.02~-13.28 m,2 号线隧道顶部标高-16.58 m~-16.68 m。2 号线埋深 20.6 m,穿越地层为全、强、中等及微风化花岗岩层,地层代号分别为<9-1>、<9-2-1>、<9-2-2>、<9-3>、<9-4>。

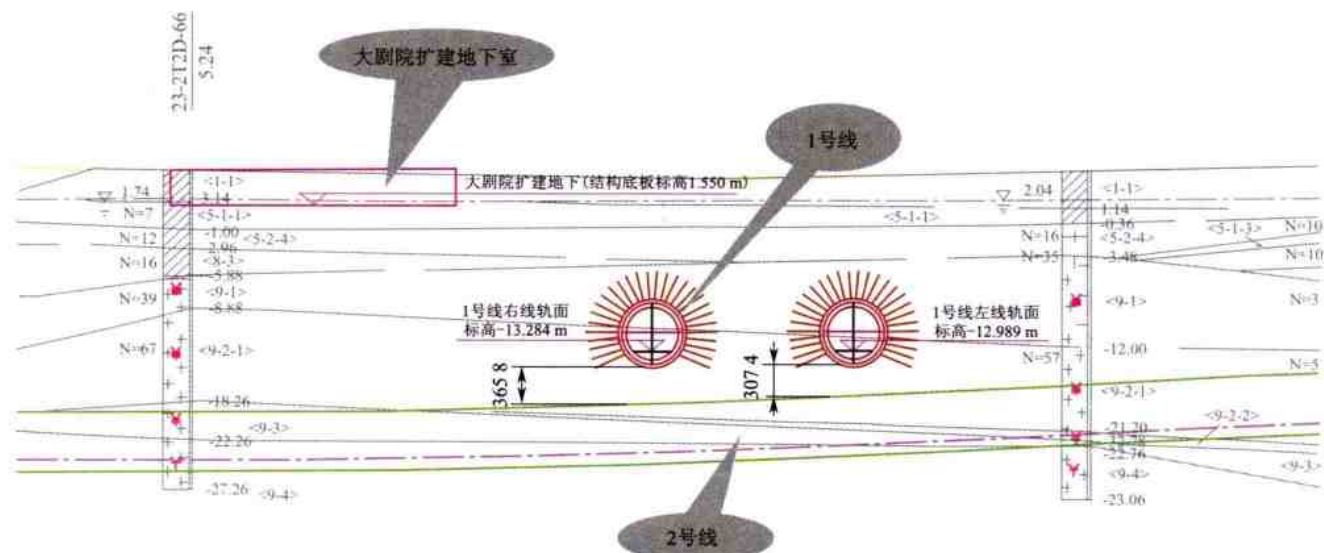


图 1.6 燕大区间下穿 1 号线段右线地质纵剖面(单位:mm)

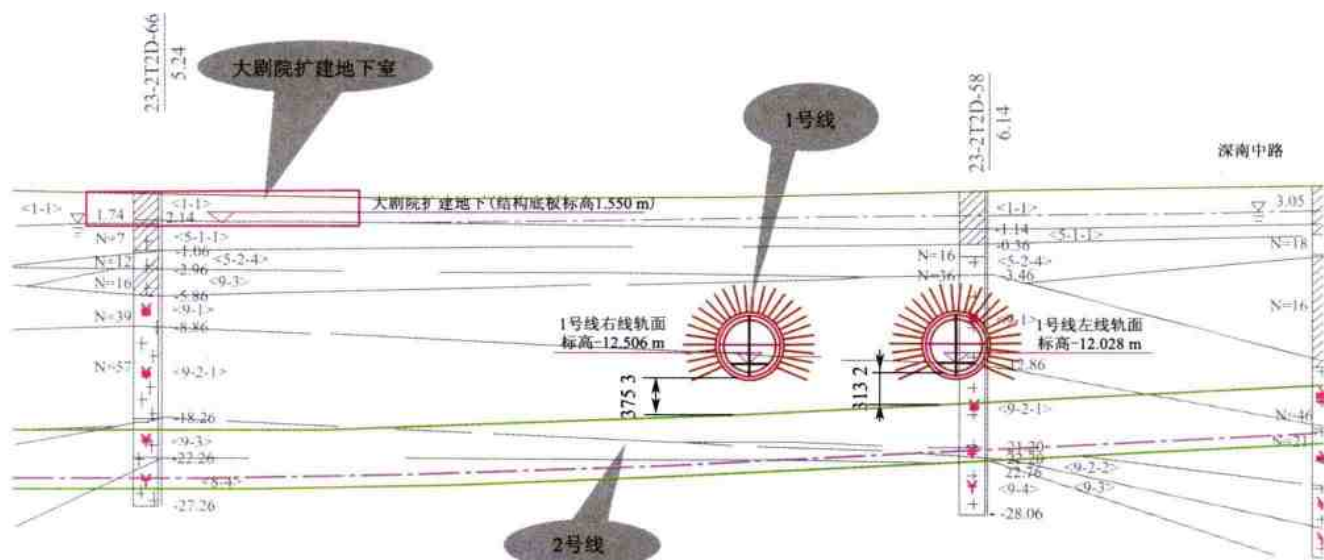


图 1.7 燕大区间下穿 1 号线段左线地质纵剖面(单位:mm)

根据已掌握的深圳市轨道交通 2 号线工程燕南站—大剧院站区间隧道以及地铁 1 号线区间隧道工程资料推算出,2 号线工程左线穿越地铁 1 号线左线里程为 SK3+107~SK3+133,右线里程为 SK3+70~SK3+105。2 号线工程右线穿越地铁 1 号线左线里程为 SK3+136~SK3+167,右线里程为 SK3+112~SK3+140。新线与既有线交点里程见表 1.1。

表 1.1 燕大区间与科大区间交点里程

线路	交点里程	交点轨面标高(m)	线路	交点里程	交点轨面标高(m)
地铁 1 号线(右线)	3+115.0926	-12.506	地铁 1 号线(右线)	3+154.8903	-13.284
地铁 2 号线(左线)	ZDK31+139.3085	-22.748	地铁 2 号线(右线)	YDK31+99.2299	-23.509
地铁 1 号线(左线)	3+083.5555	-12.028	地铁 1 号线(左线)	3+126.8268	-12.989
地铁 2 号线(左线)	ZDK31+180.8796	-21.643	地铁 2 号线(右线)	YDK31+126.8268	-22.541

1.3 穿越工程特点

(1)从穿越方式来看,隧道施工穿越既有轨道交通线施工,主要存在上穿、下侧和侧穿3种基本形式。当然,在实际工程中也出现了上穿和下穿同时存在的情况,如北京机场线东直门站上(下)穿城铁13号线后折返线工程。对于上述3种基本形式,一般来说,下穿既有线施工风险最大,施工难度也最大。如北京市轨道交通建设管理有限公司工程建设环境安全技术管理体系(试行)(北京市轨道交通建设管理有限公司,2005年6月),在环境安全分级中,将下穿既有轨道线路(含铁路)的新建线路定为特级环境安全风险,将上穿既有轨道线路的新建工程定为一级环境安全风险。而本书所涉及的地铁2号线穿越既有1号线的两处工程,皆为非直角斜下穿施工,最小间距只有2m左右,从穿越方式来看,对工程安全风险控制极为不利,必须进行全面、深入系统的研究,建立一整套技术体系和应对措施。

(2)从新建隧道施工方法来看,新建隧道采用盾构法施工,较以人工为主的矿山法施工,工程安全风险控制较易实施,但对技术人员提出了较高要求,各项掘进参数取值及盾构施工配套技术对工程安全控制极为重要。必须仔细研究2号线穿越既有1号线的两处工程的地层条件和环境条件,对盾构主要掘进参数,如土仓压力、推进速度、刀盘转速、刀盘推力等,进行定量分析,给出相应合理取值,并结合有线变形结果的实时监测分析,动态修正、调正各项掘进参数,同时做好壁后回填注浆及盾构掘进姿态控制等相关工作,确保新建盾构隧道施工对既有线的影响最小。

(3)从既有线的交通地位来看,深圳地铁1号线由罗湖站至世界之窗站,呈东西走向,线路路由大致沿人民南路及深南大道布置,位于深圳市最主要的交通走廊上,连接了深圳市的东门商业区、蔡屋围一带的中央商务区、华强北商业区、深圳市中心区、深圳华侨城的高级住宅区以及深圳的华侨城旅游区,承担了相当大部分通勤客流,是深圳市广大居民最为重要的交通工具之一。穿越施工过程中,保证既有线结构安全、线路安全和正常运营至为重要。在研究系统控制技术的同时,还需要对各种可能出现的情况,研究完备的应急预案,以确保万无一失。

(4)从地层条件来看,2号线东延线燕大区间(燕南站—大剧院站)于里程AK31+200附近下穿既有地铁1号线科学馆至大剧院区间,净距约3m,主要影响地层上部为素填土及粗砂,中部为砾(砂、粉)质黏土及全风化花岗片麻岩层,下部为强风化花岗岩。2号线大东区间(大剧院站—东门站)于里程YCK32+468.29下穿既有地铁1号线老街站至国贸站运营区间,净距约2m,两隧道间的土层为中等风化花岗片麻岩及强风化花岗片麻岩。从两处穿越位置处的地层条件来看,围岩条件不特别差,对于穿越工程盾构施工还是有利的。

(5)从既有线路特点来看,大东区间穿越工程中的既有线路为叠线隧道,燕大区间穿越工程中的既有线路和新建线路皆位于350m的小曲线半径上,两处穿越工程既有线路特点决定了既有隧道受邻近盾构施工影响的变形特征和安全保护措施在国内外研究中还是空白,必须进行专门研究和深入分析。

(6)从工程工期来看,由于受盾构机到场时间的制约,两处穿越工程的工期安排和时间进度还是比较紧张的,工期紧,任务重。在保证各项控制技术安全、可靠、适用的同时,应尽可能实施快速穿越,将对1号线的影响特别是社会影响控制到最小、最低。

1.4 穿越工程综合配套措施体系

通过对地铁新线盾构施工穿越既有线路工程系统构成的分析、穿越工程基本情况和特点的介绍,可以构建以下盾构隧道接近施工综合配套措施体系,如图1.8所示。

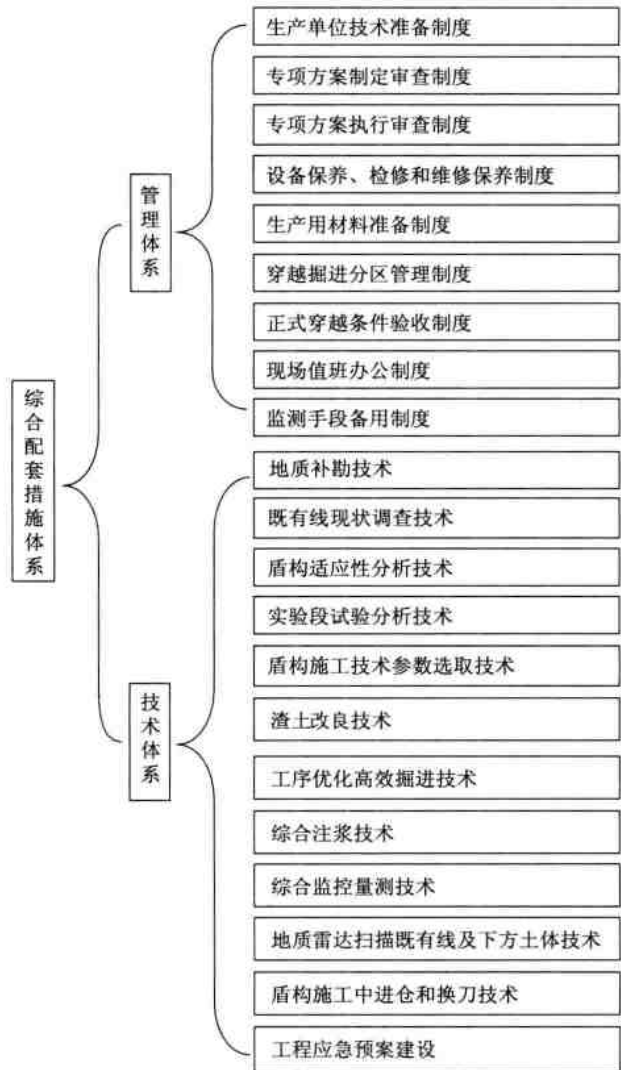


图 1.8 盾构隧道接近施工综合配套措施体系

2 穿越工程安全控制管理制度建设

2.1 引言

深圳地铁2号线东延线工程建设工期紧,任务重,这其中大东区间和燕大区间能否安全、顺利、如期完成1号线的穿越施工,其重要性更是不言而喻。而且,这两次下穿集中了盾构施工的诸多难点,施工风险大。以燕大区间为例,施工线路与运营线路水平夹角仅为 $20^{\circ}\sim 23^{\circ}$,从线型上属斜交下穿,下穿距离长,地铁2号线左右线对地铁1号线的影响范围均超过70 m,盾构施工对运营线路的影响周期长。新建线路位于350 m的曲线上,隧道洞身上部为<9-1>全风化花岗岩地层,下断面大部分为<9-2-1>强风化花岗岩地层,局部存在<9-3>中风化花岗岩地层,施工线路与运营线路之间的最小净距仅约为2 m,盾构掘进控制难度大。同时,运营线路亦位于350 m的曲线上,线路的纵坡也较大,对变形控制要求较高。而对于大东区间,虽然新线与既有线之间的夹角约为 55° ,但既有线也是位于350 m的曲线上,且为叠线隧道,新线和既有线之间的距离仅为1.7 m,新线隧道上部为<21-3>中等风化花岗片麻岩,下部为<9-3>中等风化花岗岩地层,上软下硬的特征特别明显,盾构快速、高效推进的难度亦不低。为确保地铁1号线运营安全,杜绝出现列车倾覆、人员伤亡等重大事故,施工单位建议在盾构下穿1号线过程中,地铁1号线停止运营。为此,深圳地铁大东区间和燕大区间在工程建设中严格了作业程序,切实把安全生产放在各项工作的首位,认真遵循了“安全第一,预防为主,综合治理”的安全生产方针,把安全生产放在坚持不懈、重在治理的突出位置上,为此加大了工程控制安全生产管理力度建设,细化管理责任和目标,确实保障了两次穿越工程的成功实施。

城市轨道交通作为大型公益性基础设施,是城市公共交通网络的骨干,其运营安全的重要性不言而喻。《城市轨道交通运营管理办法》(建设部令第140号)明确规定了城市轨道交通应当在以下范围设置控制保护区:(1)地下车站与隧道周边外侧50 m内;(2)地面和高架车站以及线路轨道外边线外侧30 m内;(3)出入口、通风亭、变电站等建筑物、构筑物外边线外侧10 m内。在城市轨道交通控制保护区内进行相关施工作业时,作业单位应当制定安全防护方案,在征得运营单位同意后,依法办理有关行政许可手续,并特别指出,上述作业穿过地铁下方时,安全防护方案还应当经专家审查论证。《上海市地铁沿线建筑施工保护地铁技术管理暂行规定》明确规定,在上海市人民政府(93)37号令地铁保护区内(隧道中心线两侧各30 m、车站中心线两侧各50 m)进行加载和卸载的建筑施工活动,必需慎重地采取可靠的技术措施对各种建筑活动引起的地铁结构设施的移动,控制到允许的限度内,以确保地铁安全运行。有关工程设计方案、对地铁影响的预测分析、施工组织设计、施工监测设计、监理大纲需报地铁总公司,经技术复核后予以批复,方可实施。

中华人民共和国住房和城乡建设部2009年5月13日印发的建质[2009]87号《危险性较大的分部分项工程安全管理办法》,明确规定,为加强对危险性较大的分部分项工程安全管理,施工单位应当在危险性较大的分部分项工程施工前编制专项方案,并对专项方案编制应当包括的内容作了规定。对于超过一定规模的危险性较大的分部分项工程,施工单位应当组织专家对专项方案进行论证。专项方案经论证后需作重大修改的,施工单位应当按照论证报告修改,并重新组织专家进行论证。施工单位应当严格按照专项方案组织施工,不得擅自修改、调整专项方案。如因设计、结构、外部环境等因素发生变化确需修改的,修改后的专项方案应当重新审核。专项方案实施前,编制人员或项目技术负责人应当向现场管理人员和作业人员进行安全技术交底。建设单位在申请领取施工许可证或办理安全监督手续时,应当提供危险性较大的分部分项工程清单和安全管理措施。施工单位、监理单位应当建立危险性较大的分部分项工程安全管理制度。显然,大东和燕大区间穿越工程属于危险性较大的分部分项工程,应该按照严格按照上述规定执行,建立健全各项安全生产管理制度。

为贯彻“安全第一,预防为主,综合治理”方针,加强盾构下穿轨道交通既有线等危险地段施工管理,切实做好盾构施工事前专项方案评审和事中信息化施工各项工作,落实全方位、全过程安全意外防范工作,提高盾构施工安全生产管理水平,深圳市轨道交通建设办公室文件深轨办[2010]28号文《关于盾构下穿既有线