



“十二五”国家重点图书出版规划项目

中国隧道及地下工程修建关键技术研究书系

富水复杂地质浅埋暗挖隧道 修建技术

Fushui Fuza Dizhi Qianmai Anwa Suidao
Xiu Jian Jishu

主 编◎刘建国

副主编◎李元海 石 山



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

中国隧道及地下工程修建关键技术研究书系

富水复杂地质浅埋暗挖隧道 修建技术

Fushui Fuza Dizhi Qianmai Anwa Suidao
Xiujian Jishu

主 编◎刘建国

副主编◎李元海 石 山

参 编◎朱成杰 谭忠盛 黄明利

郑爱元 蒋小锐 赵巧兰

林志斌 张宏伟



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书以深圳地铁浅埋暗挖法隧道施工建设中的技术数据、经验和教训为素材,全面客观地对浅埋暗挖法隧道技术理论和施工方法进行研究、总结和提升,并加以系统阐述。

全书共分8章,涵盖了浅埋暗挖法隧道技术概况、深圳富水地层特点、浅埋暗挖法隧道技术研究、隧道施工技术应用实例和经验总结等内容。本书内容全面、系统,具有创新性,提出了诸多宝贵的理念、原则和经验,全面展现了我国目前浅埋暗挖法隧道的施工技术水平,对当前我国规模庞大的地铁隧道及地下工程建设,具有极大的指导意义。

本书可供从事隧道及地下工程修建的设计、施工、科研技术人员以及广大师生学习和参考,亦可作为国内外同行们的交流材料。

图书在版编目(CIP)数据

富水复杂地质浅埋暗挖隧道修建技术/刘建国主编.

--北京:人民交通出版社,2012.5

ISBN 978-7-114-09773-7

I. ①富… II. ①刘… III. ①富水性—复杂地层—浅埋暗挖—隧道施工 IV. ①U455

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 077863 号

书 名: 富水复杂地质浅埋暗挖隧道修建技术

著 作 者: 刘建国

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: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 17

字 数: 435 千

版 次: 2012 年 5 月 第 1 版

印 次: 2012 年 5 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-09773-7

定 价: 60.00 元

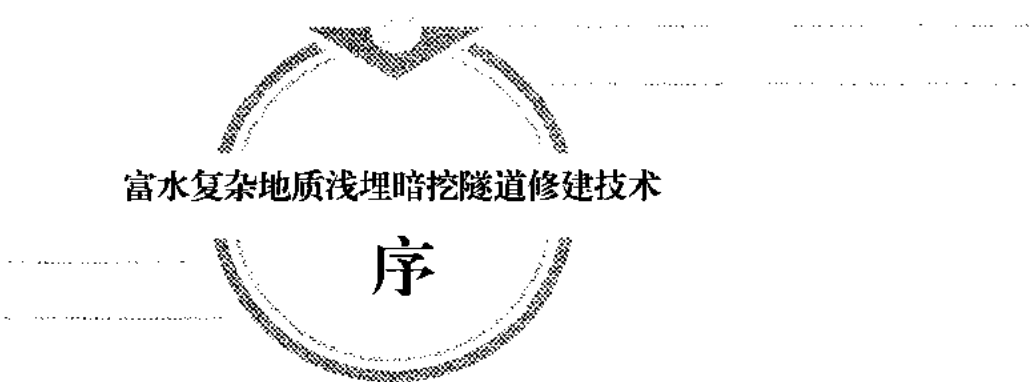
(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

富水复杂地质浅埋暗挖隧道修建技术

作者简介



刘建国 从事隧道及地下工程施工、设计和研究工作 28 年。现任深圳市市政设计研究院副总工程师、教授级高工,中国矿业大学、湖北工业大学兼职教授等职。曾任中铁隧道集团三处总工程师,主持并参加了许多大型铁路、公路、市政地铁工程的技术工作,主持并参加深圳地铁 5 号、7 号、11 号线的设计、科研和管理的工作。获国家科技进步二等奖 1 次,省、部级科技进步奖多次,国家专利 6 项等研究成果。在国家级杂志发表论文 30 余篇,主编并已出版著作 2 本。1999 年和 2000 年,分别荣获中国中铁、铁道部“青年科技拔尖人才”称号,2009 年获深圳市“高层次人才”称号,2010 年获得深圳市政府特殊津贴。



富水复杂地质浅埋暗挖隧道修建技术

序

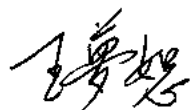
目前,我国的城市轨道交通建设方兴未艾,北京、上海、广州等城市已经开通运营地铁线累计里程在 200 公里以上。全国目前已批准建设地铁的城市有 25 个以上,每年投入地铁建设的资金在数千亿元以上,地铁建设市场前景广阔。在建筑物密集的繁华市区和复杂地质地铁隧道的施工方法中,浅埋暗挖法和盾构法是两种主要的施工方法,在特殊地段、盾构法不适用的地段,矿山法或明挖法是必然的选择。

隧道浅埋暗挖施工法于 20 世纪 80 年代中期创立,并于北京地铁隧道施工中首次成功应用。该法特别适合我国北方地下水较少、水位较低条件下的浅埋暗挖隧道施工,为不适合盾构机掘进施工的隧道提供了一种可行的方法。对于在深圳、广州等地下水极其丰富的南方地区,隧道施工是否适合采用浅埋暗挖法,作者从实践到理论,又从理论到实践,不断总结经验并系统地全面总结,形成此书,这对丰富我国地下工程建设经验作出了较大贡献,具有十分重大的意义。

深圳地铁的地质及周边环境的特点特别突出,具有地下水极其丰富、水位高,地层特性不均差异性大的特点,在其他城市地铁建设中是未曾遇到过的。该富水复杂地层对于浅埋暗挖隧道施工是极其困难的,所带来的施工风险和施工难度是相当大的。深圳地铁隧道施工中遇到了很多困难,也取得了许多宝贵成功和失败的经验,值得认真研究总结。《富水复杂地质浅埋暗挖隧道修建技术》一书,是一本专业性、技术性、实践性强的研究技术专著。该书共分八章,内容紧密联系实际,图文并茂,深入浅出,展现了浅埋暗挖隧道施工最新技术并突出应用,较系统真实地反映了其在深圳隧道工程实践中的研究成果、经验和教训,并通过工程实例进行解析,具有理论和现实的指导作用,是浅埋暗挖隧道技术领域的一部力作,极大地丰富了在我国南方地区富水复杂地质条件下浅埋暗挖隧道设计与施工技术,对我国地下隧道工程事业的发展具有推动作用。相信此书的出版,对读者会大有裨益,可供从事隧道设计、施工的同行人学习借鉴。

本书作者付出他们的智慧和汗水,认真钻研,和相关单位和人员紧密协作,攻克了浅埋暗挖隧道设计、施工中遇到的许多新的技术难题,取得了丰硕的技术成果。本书交付出版,为我国的地铁和隧道工程技术发展作出了贡献。

中国工程院院士
北方交通大学教授



2012 年 3 月

富水复杂地质浅埋暗挖隧道修建技术

前言

随着我国经济的发展,城市现代化进程的加快,我国的城市轨道交通建设如火如荼。浅埋暗挖法因适应城市特殊环境及我国经济实力,且避免了明挖法对地表的干扰性及盾构法对地层的局限性,已逐渐成为具有中国特色的城市地铁隧道修建的主要方法之一。实践表明,采用浅埋暗挖法修建城市地铁隧道如果使用不当,可能导致地层失稳或过大变形等工程病害问题,危及地面和周围建筑物以及交通、通信、供水、供电、煤气管线等各种城市生命线的安全,并会因此造成巨大的经济损失。因此,需要不断总结经验,根据地区地质等条件,研究确定合理可行的设计及施工方法,保证浅埋暗挖法修建隧道设计合理、施工安全,减少投资浪费。

深圳地铁开始建设十多年来,我们也一直在从事着深圳地铁的技术研究工作,也一直在进行着浅埋暗挖隧道施工的实践,希望能总结出具有南方地区特色的浅埋暗挖隧道施工技术和经验,出一本专著。在深圳市轨道交通工程一、二期工程的建设中,浅埋暗挖法隧道工程比重一直占30%左右,基于深圳特区属于我国南方富水地区,地下水位较高且地质条件复杂多变,线路周边建(构)筑物密集等工程特点,在深圳地铁集团有限公司和相关科研院所等单位的大力支持协助下,我们开展了深圳地铁隧道浅埋暗挖法穿越复杂地层和建(构)筑物等关键技术的研究,通过工程实践获得了成功并取得了丰硕的成果,藉此编著成书供同行参考。

笔者在研究编著过程中,得到了王梦恕院士等专家学者的具体指导和大力帮助。在现场调研、理论分析、试验和技术总结过程中,也得到了深圳地铁集团有限公司、中铁南方投资发展有限公司、深圳市市政设计研究院等单位 and 专家们的大力支持和帮助,在此对他们表示衷心的感谢。

尽管我们尽了最大的努力,但本书不妥之处仍在所难免,恳请专家及同行批评指正。

作 者

2012年3月于深圳

富水复杂地质浅埋暗挖隧道修建技术

目 录

第 1 章 浅埋暗挖隧道技术概论	1
1.1 浅埋地下工程概要	1
1.2 浅埋暗挖隧道技术发展历程	3
1.3 浅埋暗挖隧道技术基本原理及设计理论	4
1.3.1 浅埋暗挖隧道技术基本原理	4
1.3.2 浅埋暗挖隧道技术设计理论	5
1.3.3 浅埋暗挖法理论设计原则	5
1.3.4 浅埋暗挖隧道技术特点	6
1.4 浅埋暗挖隧道技术适用条件与施工要点	6
1.4.1 浅埋暗挖隧道技术适用条件	6
1.4.2 浅埋暗挖隧道技术施工要点	7
1.5 浅埋暗挖隧道技术发展前景	8
第 2 章 深圳地区工程地质与水文地质特点	10
2.1 深圳地区自然地理及区域地质概况	10
2.1.1 区域自然地理	10
2.1.2 区域地质	11
2.1.3 地震	12
2.2 暗挖区间土石可挖性分级及围岩分级	12
2.2.1 土石可挖性分级	12
2.2.2 围岩基本分级	12
2.2.3 特殊土与不良地质地层	13
2.3 深圳地铁 5 号线暗挖区间地层情况汇总	13

2.4 小结	17
第3章 深圳地区浅埋暗挖隧道综合技术	18
3.1 浅埋暗挖隧道施工工法研究综述	18
3.1.1 浅埋暗挖施工方法概述	18
3.1.2 全断面法	20
3.1.3 台阶法	21
3.1.4 单侧壁导坑超前导坑法开挖	23
3.1.5 中隔墙法(CD工法)和交叉中隔墙法(CRD工法)	23
3.1.6 双侧壁导坑法开挖和双CD工法	24
3.1.7 中洞法	25
3.1.8 柱洞法	25
3.1.9 侧洞法	26
3.1.10 桩柱法	27
3.2 富水软弱地层隧道施工引起沉降规律	29
3.2.1 浅埋暗挖隧道沉降的影响因素	29
3.2.2 富水复合地层的沉降机理	33
3.2.3 富水地层沉降的分析及计算	38
3.2.4 深圳富水软弱地层隧道施工引起的地表沉降规律	41
3.3 隧道洞内超前地层注浆和水平旋喷加固技术	47
3.3.1 隧道洞内超前地层注浆	47
3.3.2 水平旋喷桩加固技术	53
3.4 地表地层注浆加固技术	58
3.4.1 深圳富水地层注浆加固及止水机理	58
3.4.2 适合深圳富水地层的注浆方案	72
3.5 下穿或侧穿建(构)筑物施工控制沉降综合技术	80
3.5.1 地表建筑物保护技术	81
3.5.2 地铁隧道施工变形控制原则	82
3.5.3 深圳富水软弱地层隧道邻近建(构)筑物施工控制沉降综合技术	84
3.6 下穿或侧穿既有地铁线路隧道技术	90
3.6.1 既有地铁现状评估	90
3.6.2 既有地铁结构变形控制标准确定	90
3.6.3 既有地铁结构加固措施	91
3.6.4 既有结构加固技术	91

3.6.5 既有地铁构筑物变位的控制与管理	93
3.7 浅埋暗挖隧道降水辅助施工技术	98
3.7.1 轻型井点降水技术	99
3.7.2 喷射井点降水技术	101
3.7.3 电渗井点降水技术	103
3.7.4 管井井点降水技术	106
3.7.5 深井井点降水技术	108
3.8 超小净距双洞交叉重叠隧道群施工技术	110
3.8.1 近接隧道影响因素分析	110
3.8.2 近接施工的分类和影响范围的划分	111
3.8.3 重叠隧道开挖方法的选择与优化	112
3.8.4 净距交错重叠隧道施工参数优化及结构安全性分析	113
3.8.5 富水交错重叠隧道施工沉降控制技术	113
3.8.6 施工注意要点	115
3.9 不等跨连拱隧道施工偏洞法技术	116
3.9.1 不等跨连拱隧道简述	116
3.9.2 不等跨连拱隧道衬砌结构可靠度及敏感性分析	117
3.9.3 偏洞法施工方法及技术措施	118
3.9.4 偏洞法施工技术经验	119
3.10 大跨浅埋暗挖隧道施工技术研究	120
3.10.1 大跨的判定及对隧道施工的影响	120
3.10.2 开挖过程中的施工力学原理	121
3.10.3 大跨浅埋暗挖隧道施工中常见问题及影响	124
3.10.4 施工方法及措施	125
3.10.5 主要施工技术	127
3.10.6 施工注意事项	128
3.11 小结	129
第4章 浅埋暗挖隧道防水关键技术研究及经验	131
4.1 隧道防排水技术及适用条件	131
4.1.1 防排水技术	131
4.1.2 适用条件	132
4.2 浅埋暗挖隧道的防排水处理	132
4.2.1 围岩渗漏水注浆处理	132

4.2.2 施工缝和变形缝	132
4.2.3 防水层及排水系统施工	134
4.2.4 防水混凝土施工	136
4.2.5 二次衬砌背后回填注浆堵水	136
4.2.6 衬砌外防水	137
4.3 质量保证措施	138
4.4 施工经验	138
4.4.1 深圳地铁杨上区间施工经验	138
4.4.2 深圳区间隧道防水施工经验	139
4.5 小结	140
第5章 浅埋暗挖隧道监控量测及实时监测技术	141
5.1 监控量测的目的与意义	141
5.2 监控量测技术流程	142
5.3 监控量测项目内容及方法	142
5.3.1 监控量测方案设计原则	142
5.3.2 监控量测项目内容	143
5.3.3 测点布置及其注意事项	144
5.3.4 监测项目控制标准	147
5.3.5 施工监测的相关要求	150
5.4 监测数据采集与分析	150
5.4.1 监测数据采集	150
5.4.2 监测数据分析	151
5.5 实时监测技术	154
5.5.1 浅埋暗挖隧道实时监测系统设计理念	155
5.5.2 浅埋暗挖隧道实时监测系统组成	155
5.5.3 浅埋暗挖隧道实时监测系统特点	158
5.6 基于 GIS 的监测信息可视化管理	158
5.6.1 监测工作与反馈程序	158
5.6.2 施工监测可视化平台功能结构	159
5.6.3 施工监测数据库分类及其链接	160
5.6.4 施工监测数据预测分析与反馈	161
5.6.5 施工监测信息可视化管理系统	163
5.7 小结	165

第 6 章 浅埋暗挖隧道工程建设风险管理	166
6.1 城市隧道施工环境风险的定义	166
6.2 浅埋暗挖隧道施工风险的特点	167
6.3 浅埋暗挖隧道施工风险发生机理	167
6.3.1 工程地质及水文地质复杂性导致的自然风险和环境风险	168
6.3.2 工程建设中的机械设备、技术人员和技术方案复杂性引起的施工风险	169
6.3.3 工程建设的决策、管理和组织方案复杂性引起的施工风险	170
6.3.4 周边环境(建筑物、道路和地下管线等)复杂性引起的施工风险	170
6.3.5 重大事故风险:火灾、爆炸	170
6.4 浅埋暗挖隧道施工建设风险管理流程	171
6.4.1 风险辨识	172
6.4.2 风险估计	178
6.4.3 风险评价	179
6.4.4 风险控制	182
6.4.5 风险跟踪	187
6.5 小结	188
第 7 章 工程实例	189
7.1 小口径密集井群降水工程实例	189
7.1.1 工程概况	189
7.1.2 西大区间隧道小口径密集井群降水施工技术	190
7.1.3 降水效果分析	194
7.2 隧道水平旋喷桩加固工程实例	195
7.2.1 工程概况	195
7.2.2 水平旋喷桩加固技术	196
7.2.3 水平旋喷桩加固效果分析	198
7.3 全断面深孔注浆及效果检验实例	199
7.3.1 工程概况	199
7.3.2 注浆加固方案概况	200
7.3.3 旁压试验用于注浆效果检测的可行性分析	202
7.3.4 旁压试验用于梅子园暗挖段隧道的注浆效果检测	202
7.4 隧道邻近群房施工工程实例	204
7.4.1 5305 标隧道过老梅子园暗挖施工	204
7.4.2 5306 标隧道邻近左右家俚厂宿舍楼施工	204

7.5 小净距交叉隧道施工工程实例	210
7.5.1 工程概况	210
7.5.2 小净距交叉隧道施工沉降控制技术	214
7.6 单洞双层重叠暗挖隧道工程实例	222
7.6.1 工程概况	222
7.6.2 工程地质、水文地质及地下管线概况	223
7.6.3 设计概况	225
7.6.4 工程特点及难点	226
7.6.5 施工组织设计	227
7.6.6 施工方法、工艺	230
7.6.7 特殊地段辅助工法	246
7.6.8 施工监测	250
7.7 小结	252
第8章 经验总结	253
参考文献	255
后记	258

第1章 浅埋暗挖隧道技术概论



随着城市建设的迅猛发展,城市交通拥堵问题日益突出,伴随着大规模地下空间的开发与利用,许多城市都开始进行隧道工程建设。其中,浅埋暗挖法作为具有中国特色的城市地下工程主要施工方法,具有很多优点,可以避免明挖法对地表(包括地面交通)的干扰,而又较盾构法具有对复杂地层较强的适应性和高度的灵活性(如盾构法区间隧道在遇到软硬不均地层时,很多就采用浅埋暗挖法来通过),因此,目前广泛应用于城市地铁区间隧道、车站、地下通道和地下停车场等工程施工。

1.1 浅埋地下工程概要

1) 浅埋隧道的定义

对于铁路隧道,根据《铁路隧道设计规范》(TB 10003—2005)的规定,当单线或双线隧道拱顶埋深小于:Ⅵ级围岩 35 ~ 40m、Ⅴ级围岩 18 ~ 25m、Ⅳ级围岩 10 ~ 14m、Ⅲ级围岩 5 ~ 7m,为浅埋隧道。也可用实测压力 P 和垂直土柱重力 γh 之比来确定,根据实测资料统计,当 $P/(\gamma h) > 0.4 \sim 0.6$ 时为浅埋隧道。

对于城市地铁,由于地下工程结构断面变化很大,因此仅用拱顶埋深大小来确定深埋或浅埋是不妥的,还必须考虑地下工程的跨度大小。跨度大时,对覆土的影响范围也大。拱顶覆土厚度(H)与结构跨度(D)之比,即覆跨比 H/D 。当 $0.6 < H/D \leq 1.5$ 时,称为浅埋隧道;当 $H/D \leq 0.6$ 时,称为超浅埋隧道。

2) 浅埋隧道的特点

对于浅埋地下工程而言,其最大的特点是埋深浅。施工过程中由于地层损失而引起的地表移动明显,对周边环境的影响较大。因此,对各种开挖、支护衬砌、排水注浆方法提出了更高的要求,施工难度增加。所以,如何有效控制浅埋地下工程施工扰动诱发的地表移动变形就成为浅埋地下工程设计与施工研究的重点、难点和热点问题。基于从控制地表变形、减少对环境的不利影响、降低施工成本等方面考虑,形成了各种适用于浅埋地下工程的施工方法。为了达到及时支护,防止地层沉降的目的,必须采用复合式衬砌结构形式,即初期支护结构由喷、锚、网、钢拱架组成;当初期支护完全稳定后,再敷设防水隔离板,施加二次模筑混凝土或钢筋混凝土

土衬砌。

3) 浅埋地下工程的施工方法

目前,浅埋地下工程的施工方法主要包括明挖法(盖挖法)、盾构法和浅埋暗挖法。其中,明挖法是指在隧道的修建过程中,先将隧道设计处的岩土体全部挖除,然后修建隧道,最后回填隧道顶部岩土体的施工方法;盾构法是采用盾构机械进行施工的方法;而浅埋暗挖法是依据新奥法的基本原理,在施工中采用多种辅助施工措施加固围岩,充分调动围岩的自承能力,隧道开挖后及时支护、封闭成环,使其与围岩共同作用形成联合支护体系,有效地抑制围岩过大变形的一种综合配套施工方法。这三种施工方法的比较见表 1-1。

浅埋地下工程施工方法比较

表 1-1

方 法	明(盖)挖法	盾 构 法	暗 挖 法
地质	各种地层均可	各种地层均可	有水地层需特殊处理
占用场地	占用街道路面较大	占用街道路面较小	不占用街道路面
断面变化	适用于不同断面	不适用于不同断面	适用于不同断面
深度	浅	需要一定深度	需要深度比盾构法小
防水	较易	较难	有一定难度
地面下沉	小	较小	较小
交通影响	影响很大	竖井影响大	影响不大
地下管线	需拆迁和防护	不需拆迁和防护	不需拆迁和防护
振动噪声	大	小	小
地面拆迁	大	较大	小
水处理	降水、疏干	堵降结合	堵降或堵排结合
进度	拆迁干扰大,总工期较短	前期工程复杂,总工期正常	开工快,总工期正常
造价	大	中	小

德国地铁各施工方法的建造成本变化见图 1-1。

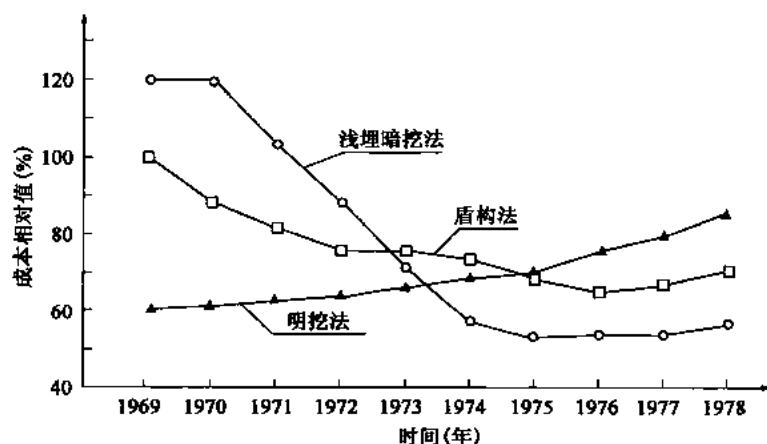


图 1-1 德国地铁各施工方法的建造成本变化

1.2 浅埋暗挖隧道技术发展历程

浅埋暗挖法追根溯源必然要涉及新奥法。新奥法(New Austrian Tunneling Method, 简称 NATM)是20世纪60年代奥地利专家 L. VRbaicewzi 总结前人在隧道工程中累积的经验后所提出的一套隧道设计、施工新技术,它的核心是利用围岩自身的承载能力以及围岩与隧道支护体系间的相互作用,来降低隧道支护体系的强度。新奥法最早用于奥地利阿尔卑斯山深层硬岩隧道施工,采用柔性支护,旨在充分利用“拱效应”——地层的自承能力。

20世纪70年代初,国外开始将新奥法应用于浅埋地层的研究,到70年代末80年代初已基本形成了一套完整的技术,并应用于城市地铁、市政工程等。目前,德国、日本、美国、法国、意大利、韩国、中国等都有新奥法应用的实例。日本的城市地铁大多修建在浅埋软弱地层中,1976年开始逐渐把山岭隧道施工中应用的新奥法技术移植到城市地铁建设中来。现在,日本在学习我国小导管技术的基础上,将大管棚改成小导管,应用新奥法修建的城市地下工程越来越多,如粟山、大贯、第一原、旭丘、北四番丁等城市隧道,横滨市地铁区间及地铁站等。德国是当今地下工程应用新奥法技术最多的国家,他们不仅在地铁区间隧道建设中应用,而且还在多层多线路大断面地铁站中广泛应用,如慕尼黑、法兰克福、埃森、波鸿、纽铁站等,其施工技术已发展到了较高水平。表1-2列举了部分国外工程应用新奥法施工的实例。

部分国外浅埋地下工程采用新奥法施工实例

表1-2

国 家	德 国		法 国	日 本	奥 地 利
长度(m)	420	60	1240	770	70~80
施工年代	1969~1971年	1975~1978年	1985年	1983~1985年	1983~1985年
工程名称	法兰克福地铁25号工区	慕尼黑地铁9号区段	里尔地铁1号线4号工区	北陆高速公路泊隧道	维也纳地铁U6-1工区
地质及水文地质条件	黏土层、石灰岩和含水砂层、无水	第三纪菱铁矿砂层和泥灰岩	黏土及砂等	冲、洪积黏土	第三纪流沙层、黏土层和砂卵石层、地下水位高
埋深(m)	11~13	8~26	约15	5~15	8~20
断面形式(m)	圆形直径6.68	最大跨度11.5, 最大高度7.5	最大跨度6.8, 最大高度5.8	最大跨度11.4, 最大高度8.6	最大跨度8.5, 断面面积约60m ²
施工方法	全断面台阶法施工,使用反铲挖掘机	双侧导坑法,使用掘进机及反铲挖掘机和地面井点降水	上下台阶分部开挖,两台掘进机,弃渣用泵输送至洞外	超前侧壁导坑及分部开挖法,人工开挖环形部分反铲开挖核心土	侧壁导坑法,使用掘进机及反铲挖掘机,必要时拱部插板支护
主要支护形式	锚杆长3~4m, 钢筋网喷厚15~18cm, 钢拱架 TH-48, 钢筋混凝土内衬厚15~18cm	锚杆长3.5~5m, 喷厚25cm, 钢支撑 TH-21 或网构拱 TH-21, 钢筋混凝土内衬厚40cm	钢支撑加背板, 钢筋混凝土内衬厚50cm	锚杆长4m, 喷厚20cm, 钢支撑 H-200, 衬砌厚60cm	喷厚20cm, 钢支撑钢筋混凝土内衬厚40cm

我国于20世纪70年代末80年代初开始将新奥法应用于地下工程施工,并于80年代中后期开始系统研究新奥法在浅埋软弱地层中的应用。1984年首先在大秦线军都山隧道进口

黄土段研究试验成功,之后又成功地运用在北京地铁复兴门车站折返线工程,在不拆迁、不扰民、不破坏环境的前提下,创新 8 项重大技术,攻克 24 项技术难点。由于取得了突出的环境效益、经济效益和社会效益,于 1987 年 8 月 25 日由北京市科委、铁道部科技司共同组织了国家级成果鉴定,与会专家和各级领导对该法进行了认真的讨论后,否定了“软弱地层新奥法”、“中国特色新奥法”、“北京地铁浅埋暗挖法”等名称后,将其正式命名为“浅埋暗挖法”。

在此基础上,20 世纪 90 年代,北京地铁复八线建设全面推广采用浅埋暗挖法施工技术,修建了长约 13.5km 的地铁区间段及西单、东单、王府井和天安门西 4 座地下暗挖车站。复八线的成功建设,丰富与发展了我国城市地铁的修建方法,创造出一整套暗挖修建城市地铁工程的新技术、新工艺和新方法,开创了我国地下工程暗挖施工的新篇章。在此之后,广州、深圳、沈阳、成都、西安等地铁工程都开始广泛采用浅埋暗挖施工技术。

广州地铁 1 号线林和村区间长度 543.1m,埋深为 3.5~7.5m,最大跨度 6.5m,采用台阶法进行开挖,主要支护方式为超前小导管、钢筋网、网构钢架以及混凝土内衬,其中钢筋网 15cm×15cm,喷厚 30cm,混凝土内衬厚 30cm。

深圳地铁 3A、3C 标国老区间在国内首次采用了单洞双层重叠结构,隧道断面宽 6.8m、高 13m,属高边墙结构,分四台阶开挖。预支护采用小导管注浆;初期支护为网喷混凝土(C20)与格栅钢架(主筋 $\phi 22$)、锚杆($R25/4, L=3.5\text{m}$,间距 750mm×800mm)联合支护;二次衬砌采用模筑混凝土。各台阶之间设立临时横撑(型钢钢架),并网喷混凝土。

沈阳地铁青年大街站位于十一纬路、大西路与青年大街交叉路口,为 1 号、2 号线换乘车站,平面上呈十字形架构。车站主体采用全暗挖法施工,其中 1 号线车站两端为两层三跨三连拱结构,采用 PBA 工法(洞桩法)逆筑施工,中间段为地下单层三跨三连拱结构,采用暗挖 CRD 工法(中柱法)施工;2 号线车站采用 PBA 工法(洞桩法)逆筑施工,为两层两跨两连拱结构。站体周围设管井封闭降水。

成都地铁 1 号线孵化园站—会展中心站区间在 YDK19+077~YDK19+144 里程范围内穿越外环高速路,采用浅埋暗挖 CRD 法施工,暗挖段右线长度 67m,左线长度 67.19m。暗挖隧道采用复合式衬砌,马蹄形断面,设中隔墙,隧道最大跨度 12.7m,高度 9.35m。

西安地铁 2 号线钟楼车站为明暗挖结合分离岛式车站,其车站站台隧道暗挖采用 CRD 工法施工,分四步开挖,初期支护采用格栅与网喷联合支护,喷层厚 0.40(扩大段)~0.35m(站台);暗挖横通道开挖均采用 CD 工法,初期支护采用格栅与网喷联合支护,喷层厚 0.35m。

现今,以北京地铁工程为实例形成的“隧道与地铁浅埋暗挖工法”经过多年来各个工程实践经验的不断总结、完善,已形成一套完整的配套技术,被广泛应用在城市地铁、市政、电力隧道、城市地下通道和地下停车场等工程中。

1.3 浅埋暗挖隧道技术基本原理及设计理论

1.3.1 浅埋暗挖隧道技术基本原理

浅埋暗挖法沿用了新奥法的基本原理:

(1)采用复合衬砌,初期支护承担全部基本荷载,二次衬砌作为安全储备,初期支护、二次