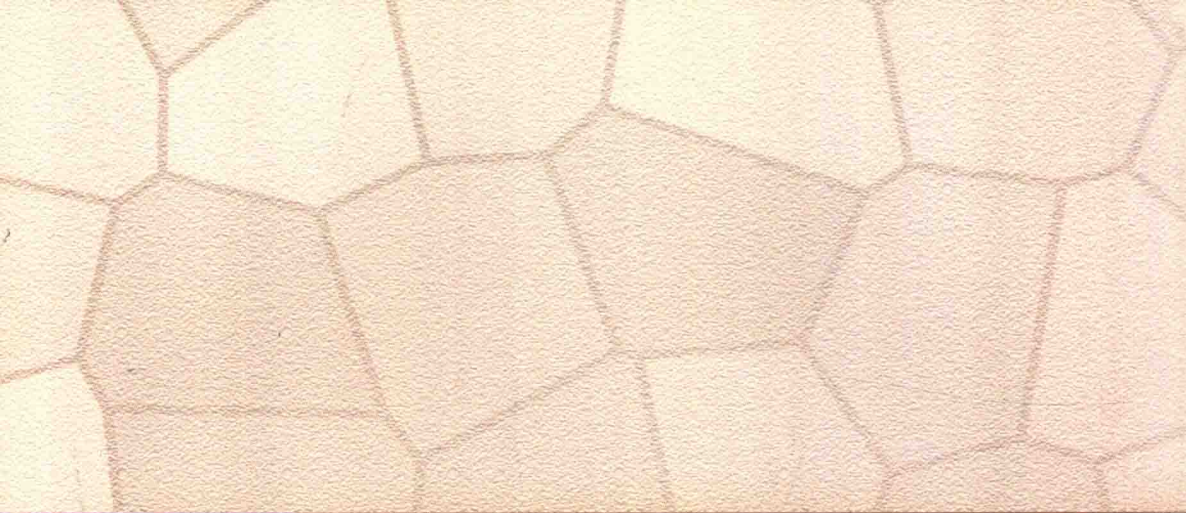




周顺华 著

地铁盾构法隧道下穿工程



科学出版社

地铁盾构法隧道下穿工程

周顺华 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书针对近年来大量出现地铁盾构法隧道下穿铁路和其他既有建筑物所面临的工程风险,从设计理论和施工控制技术两方面系统阐述下穿工程涉及的理论问题和实践问题。全书共 12 章,包括下穿施工对环境的影响、下穿施工变形分析、辅助措施、施工监测、设备管理、设计方法和工程实例等。本书具有如下特点:①在设计理念上将传统下穿工程以被动防护为主改为主动控制;②在技术措施上将单一措施改为系统控制;③将控制应力释放作为下穿安全的基本原理。

本书可作为城市轨道交通工程、隧道及地下工程领域的相关技术人员的参考书,也可以供相关专业的研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

地铁盾构法隧道下穿工程/周顺华著. —北京:科学出版社,2017. 10
ISBN 978-7-03-054697-5

I. ①地… II. ①周… III. ①地铁隧道-隧道施工-盾构法-研究
IV. ①U231

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 244236 号

责任编辑:杨向萍 张晓娟 / 责任校对:桂伟利

责任印制:张 伟 / 封面设计:熙 望

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 10 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2017 年 10 月第一次印刷 印张:21 3/4

字数:438 000

定价:128.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

从第一次接手地铁盾构法隧道下穿运营铁路的专题研究算起,至今已有十多年了。十多年来,百余项下穿工程的方案设计、计算分析、施工控制方法以及实施中的监测是我这个研究团队引以为豪的工作之一,这些工作也不断地丰富着我对工程和科学的认识。受业界多位前辈的鼓励,我决定对这些成果进行系统总结,以便为更多的工程建设提供服务。我虽犹豫,但还是在几年前就着手这项工作,无奈繁杂之事缠身,进展缓慢,幸好自前年开始,团队中陆续有几位年轻朋友加入,分担了我的许多事务,书稿的进展才得以提速。

盾构法隧道本是在地层中利用盾构机穿越施工的一种方法,所谓盾构法隧道下穿似有画蛇添足之嫌。其实就工程而言,虽然同为穿越,但当上部的制约条件不同时,对施工控制来说差别悬殊,有时甚至不是通过施工控制就能解决的,而需要从方案着手才能实现穿越施工。所以本书之下穿,是有严格变形控制或功能要求的建筑物或构筑物存在之下穿。

团队中与我共事多年的王炳龙、宫全美两位教授对本书稿的完成挥发了非常重要的作用,正是他们无私的支持才使得这个团队能够发展壮大,正是拥有一个团结的团队,才使得我们能够承担一些具有高难度的科研项目。肖军华、孙永、杨永平、张银屏、庄丽、周冠南、代仁平、向科、王春凯、臧延伟、吕培林、汪江、贾剑、季昌、陕耀、吴迪、李雪、王培鑫、张继鹏等 20 多位博士后、博士生、硕士生先后参与下穿工程的专题研究;近年加入团队的杨新文副教授也参与了部分专题的研究工作;许恺教授、余儿忠工程师、刘宇宏、姚西平、刘畅、庞晨睿等承担了若干现场监测工作,为下穿专题研究提供了现场第一手资料,这些资料使得我们的计算精度不断地提高,控制方法也更具针对性。

盾构法隧道的下穿施工是一项系统工程,计算分析是为决策服务的,离开计算的决策是经验,仅仅依靠计算的决策可能会导致失误,只有考虑了方案、设备、地层、人员技术水平等因素的决策才是科学合理的。因此,在做下穿专题研究中需要具有不同专长的研究成员,只有团队的组合才使得研究结果更为可靠。

本书是对我们团队近十多年来针对下穿工程研究所取得成果的总结,书中的成果包含了同济大学轨道交通结构建养课题组所有成员的贡献,感谢这个集体,感谢曾经在这个集体中生活过的每一个成员。

前言的上述部分是我在 2015 年春节期间写的,当时已完成了几章书稿。2015 年至今,我国城市轨道交通发展迅猛,无论建设还是运营都面临越来越复杂的技术问题和理论问题,尤其在这一时期,下穿高铁的工程数量迅速增加,我们团队承担了《公路与市政工程下穿高速铁路技术规程》的制定工作,书稿的工作一度中断。《公路与市政工程下穿高速铁路技术规程》的初稿基本完成之后,才恢复书稿的写作。这期间,团队又增加了新的成员:付龙龙和金浩加入了团队的研究工作,宋福贵和吴挺主要承担下穿铁路工程的专题论证。书稿的整理和绘图是一项非常烦琐的工作,研究生舒瑶、张佳伟、张润来等承担了大量文整工作。

随着 2017 年“五一”小长假的来临,全书终于进入了最后的编排阶段。希望通过本书中 12 章的内容,将盾构法隧道下穿施工所涉及的工程问题分别从工程、理论、技术三个方面介绍给读者。首先,从工程视角,主要通过物理概念、工程地质、环境和管理等要素来理解下穿所面临的独特问题;其次,在理论方面,本书试图回避传统的本构理论,而是以应力释放作为下穿施工的切入点,结合盾构机掘进施工的工作原理,进行相关的理论分析;最后,在技术方面,本书则从设计、施工控制、监控量测、辅助措施这几个方面构成下穿施工的安全控制技术体系。对于下穿工程,本书希望以主动控制解决施工安全并保障运营期间结构的性能。全书的最后一章提供了下穿铁路的几个典型案例,因为在所有下穿工程中,下穿铁路涉及行车安全,从技术层面分析是最为复杂的。

由于个人认识的局限,书中难免存在不足之处,恳请读者指正。

周顺华

2017 年 4 月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 我国轨道交通的规划建设概况	1
1.2 下穿类型	3
1.3 下穿施工面临的问题	4
1.4 本书的宗旨	5
第 2 章 下穿施工的影响	6
2.1 下穿施工的特点	6
2.2 下穿建筑物	6
2.2.1 下穿多层建筑	7
2.2.2 下穿高层建筑	7
2.2.3 下穿厂房高塔等其他建筑	9
2.3 下穿交通线	10
2.3.1 下穿普通铁路	10
2.3.2 下穿高速铁路	13
2.3.3 下穿既有地铁盾构法隧道	17
2.4 下穿管线	19
2.5 特殊河流	24
第 3 章 盾构穿越施工变形	30
3.1 盾构掘进施工变形的影响因素	31
3.1.1 盾构超挖	31
3.1.2 掘进参数	34
3.1.3 地层特性	37
3.2 基于应力释放的盾构掘进施工变形计算	39
3.2.1 盾构掘进施工中的应力释放	39
3.2.2 开挖应力释放计算法	40
3.2.3 开挖应力释放的有限元计算方法	46
3.3 位移法计算开挖施工变形	52
第 4 章 盾构下穿施工变形控制	55
4.1 开挖面处应力释放与控制	55

4.1.1	土仓压力设定影响因素分析	56
4.1.2	盾构掘进面应力释放控制方法	57
4.2	超挖时应力释放与控制	61
4.2.1	超挖刀的选用	61
4.2.2	超挖量控制方法	63
4.2.3	盾构机灵敏度选择	66
4.2.4	盾构铰接选择	67
4.3	盾尾间隙的应力释放与控制	70
4.3.1	同步注浆	71
4.3.2	二次注浆	80
第5章	下穿施工辅助措施	83
5.1	盾构机姿态控制	83
5.1.1	盾构机纠偏计算	84
5.1.2	盾构机姿态优化控制	91
5.2	土体和渣土改良	93
5.2.1	常见改良剂及其机理	93
5.2.2	土体和渣土改良试验	96
5.3	主动预加固	99
5.3.1	地基预加固	99
5.3.2	结构预加固	102
第6章	下穿施工信息采集	104
6.1	下穿施工信息特征	104
6.2	下穿施工信息采集方法	106
6.2.1	人工信息采集	107
6.2.2	自动化信息采集	108
6.3	下穿铁道	112
6.3.1	铁道轨面监测	113
6.3.2	测点布置方法及原则	116
6.3.3	铁道桥墩变形监测	121
6.4	下穿建筑物	124
6.4.1	沉降监测	125
6.4.2	倾斜监测	125
6.4.3	裂缝观测	126
6.5	施工信息处理	128
6.5.1	测量误差的处理	129

6.5.2 变形信息分析预测	133
6.6 施工信息管理	134
第7章 下穿施工管理	136
7.1 施工设备管理	136
7.1.1 盾构机	136
7.1.2 加固设备	141
7.1.3 监测设备	145
7.2 施工技术措施管理	146
7.2.1 流程管理	146
7.2.2 工序管理	147
7.2.3 工艺管理	148
7.3 施工风险管理	149
7.3.1 风险识别	149
7.3.2 风险评估	151
7.3.3 风险管控	158
第8章 下穿建筑物	159
8.1 下穿建筑物的分类	159
8.1.1 按照建筑结构特点分类	159
8.1.2 按建筑物与隧道的空间关系分类	165
8.2 下穿建筑物的工程分级	166
8.2.1 下穿工程分级的影响因素	167
8.2.2 下穿工程分级方法	167
8.3 下穿区段建筑物附加应力计算方法	170
8.3.1 竖向集中力作用下土的附加应力	170
8.3.2 集中力作用下土中其余应力分量计算	170
8.3.3 均布条形分布荷载下土中应力计算	171
8.3.4 成层地基中附加应力的分布规律	172
8.4 下穿深基础建筑物	176
8.4.1 桩基的分类	176
8.4.2 承载力损失估算与附加沉降计算	178
8.4.3 桩基切割	178
8.4.4 桩基托换	183
8.5 下穿建筑物区段的施工参数控制	185
8.5.1 土仓压力计算	186
8.5.2 不同方式穿越单个建筑物时的土仓压力变化	186

8.5.3	不同方式穿越建筑群时的土仓压力变化	190
8.5.4	同步注浆量计算	191
8.5.5	同步注浆压力计算	195
第9章	下穿铁道	197
9.1	铁道的技术条件	197
9.1.1	铁道等级	197
9.1.2	线路状况	198
9.1.3	线路类型	198
9.2	行车平稳性与安全性指标	199
9.2.1	行车安全性评价指标	199
9.2.2	行车平稳性评价指标	201
9.3	下穿施工变形与轨面变形的对应关系	201
9.3.1	既有的轨道不平顺	201
9.3.2	下穿施工引起的轨面变形计算	204
9.3.3	叠加施工引起的轨面变形的轨道不平顺	210
9.4	施工期铁道行车速度目标值控制	211
9.4.1	车辆-轨道耦合动力学模型	211
9.4.2	施工变形对车辆运行安全性和舒适性的影响	213
9.5	下穿施工的安全保障	222
第10章	土压平衡盾构下穿大型江河湖泊	224
10.1	盾构法隧道下穿江河湖泊面临的问题	224
10.1.1	盾构法隧道下穿含沼气层	224
10.1.2	盾构法隧道下穿高水压地层	226
10.1.3	盾构法隧道长距离下穿砂层	228
10.1.4	盾构法隧道下穿高强度砂卵石、圆砾地层	228
10.1.5	盾构法隧道浅覆土下穿河床	229
10.2	盾构法隧道穿越含沼气地层的处理措施	229
10.2.1	盾构掘进施工前对线路影响范围沼气进行预释放处理	230
10.2.2	施工期的安全措施	231
10.3	盾构法隧道水下长距离掘进的防突水措施	235
10.3.1	长距离掘进的螺旋输送机保压	236
10.3.2	盾构机尾部密封刷长距离防水控制	246
10.4	土压平衡盾构穿越大型江河湖泊掘进系统减磨	249
10.4.1	盾构掘进系统减磨原理	249
10.4.2	盾构掘进系统减磨处理	251

10.5 土压平衡盾构下穿大型江河湖泊隧道质量控制	256
10.5.1 局部特殊地段盾构法隧道管片上浮控制	256
10.5.2 盾构法隧道管片接缝高防水能力	258
第 11 章 下穿工程设计方法	260
11.1 下穿结构的线位和线型设计	260
11.1.1 下穿结构的线位设计	260
11.1.2 下穿结构的线型设计	267
11.2 变形控制指标	271
11.2.1 变形控制指标的个性化设计	272
11.2.2 以规范为基础的变形指标设计	273
11.2.3 下穿铁道	273
11.2.4 下穿建筑物	277
11.2.5 下穿其他结构物	278
11.3 变形协调控制	279
11.3.1 下穿建筑物的协调变形控制	281
11.3.2 下穿普通铁道	282
11.3.3 下穿高速铁道	283
11.4 下穿工程的辅助措施设计	283
11.4.1 施工安全控制的主动加固	283
11.4.2 运营阶段减振措施	288
11.4.3 被动性措施	294
11.5 方案设计要点	298
11.5.1 方案设计目标	298
11.5.2 技术措施对比分析	299
11.5.3 施工工艺设计	300
11.5.4 安全监控设计	301
第 12 章 下穿工程案例	303
12.1 下穿Ⅰ级铁路干线	303
12.1.1 工程概况	304
12.1.2 技术特点及控制标准	306
12.1.3 主动预加固设计理念	306
12.1.4 主动注浆预加固方案设计	308
12.1.5 盾构掘进控制	312
12.1.6 实施效果	314
12.2 下穿高速铁路	316

12.2.1	工程概况·····	317
12.2.2	技术特点及控制指标·····	319
12.2.3	下穿方案设计理念·····	319
12.2.4	变形阻隔方案设计·····	320
12.2.5	盾构掘进控制·····	322
12.2.6	实施效果·····	323
12.3	下穿铁路枢纽·····	325
12.3.1	工程概况·····	325
12.3.2	技术特点及控制指标·····	329
12.3.3	方案设计理念·····	329
12.3.4	设计方案·····	330
12.3.5	盾构掘进控制·····	332
12.3.6	实施效果·····	332
	参考文献·····	335

第 1 章 绪 论

我国于 1953 年首次采用 $\phi 2.66\text{m}$ 手握式盾构机在辽宁阜新煤矿修建疏水巷道,1957 年又在北京分别采用 $\phi 2.0\text{m}$ 和 $\phi 2.6\text{m}$ 手握式盾构机修建了下水管道,1962 年在上海塘桥试验基地试推了 $\phi 4.2\text{m}$ 手握式普通敞胸盾构机,1965 年又在上海 02 工地试推了 $\phi 5.8\text{m}$ 网格挤压式盾构机。上述工作对我国盾构法隧道的发展起到了非常重要的推动作用。1966 年,我国第一条越江盾构交通隧道正式于上海打浦桥开建,该工程采用 $\phi 10.22\text{m}$ 网格挤压式盾构机。我国地铁工程的盾构法隧道于 1980 年在上海曹溪河地铁试验段开工,采用 $\phi 6.4\text{m}$ 网格挤压式盾构机。1990 年,上海轨道交通 1 号线正式采用 $\phi 6.43\text{m}$ 土压平衡盾构机开工建设,此后盾构法在我国得到了飞跃式发展。迄今,我国已建成地铁盾构法隧道近 3000km ,在今后的若干年里仍将以每年数百公里的建设速度快速发展。目前,我国已经是世界上最大的盾构法隧道运营和建设国家。

1.1 我国轨道交通的规划建设概况

截至 2015 年底,我国内地已有北京、上海、广州、天津、重庆、佛山、深圳、武汉、南京、沈阳、长春、哈尔滨、大连、长沙、郑州、宁波、成都、无锡、西安、昆明、苏州、杭州、南昌、青岛、淮安等 25 个城市共开通 93 条城市轨道交通运营线,总里程达到 3010.6km 。其中,隧道里程近 2100km ,除北京地铁部分隧道采用浅埋暗挖,哈尔滨地铁部分隧道利用既有人防工程改建,广州、深圳、青岛和南京地铁个别区间采用浅埋暗挖法修建之外,其余均采用盾构法修建。除了上述已开通城市轨道交通运营的 25 个内地城市外,目前在建的城市还有青岛、合肥、常州、太原、乌鲁木齐、兰州、南宁、石家庄、厦门、东莞、福州、绍兴、昆山等,预计我国需要修建城市轨道交通的城市将超过 40 个。

我国城市轨道交通的修建始于北京、上海、广州等特大城市,这类城市除了人口规模大,也是国家的政治、文化和经济中心。随着综合国力的提升,城市轨道交通的建设也由国家级中心向区域级中心或地区级中心扩展,形成了庞大的建设市场。此外,我国高速铁路的快速发展超越了许多城市发展规划,在短短几年中建成的高速铁路网已经改变了一些城市的格局,不得不使后建的城市轨道交通面临穿越运营高铁的困境。

各地城市轨道交通的规划极少有真正长远的远景规划,以北京市为例,1957

年规划的城市轨道交通网为两横两纵两斜一环共 7 条线;1983 年的规划改为四横三纵一环共 8 条线 1993 年规划了 8 条地铁线加 4 条市郊铁路共 12 条线;到了 1999 年又调整为 13 条线;2003 年规划了三环四横五纵七放射共 19 条线。上海市的情况也大致相同,20 世纪 50 年代开始规划了 3 条线,1979 年调整为四线一环,1984 年进一步调整为 4 条直径线、1 条半径线、1 条环线、1 条半环线的 7 线规划。从 1990 年开始,上海市的轨道交通规划基本稳定在 17~19 条线的规模。

从上述情况可以发现,无论哪个城市对城市轨道交通的规划都是动态的,每过若干年就需要调整一次,调整的实际效果更多体现在线路数量的增加和总里程的增加,而这种扩张式的增加势必会遇到下穿已有的重要建(构)筑物。以杭州地铁 1 号线为例,图 1.1 是杭州地铁 1 号线的“Y”字形线路走向。线路由南至北先在萧山区下穿沪昆铁路,接着穿越钱塘江,然后在铁路杭州城站下穿 17 股道的站场和站房,到了艮山门下穿 26 股道的铁路编组站,再下穿沪昆铁路的杭州东站,最后在余杭区下穿行车速度为 300km/h 的沪杭高铁(设计速度 350km/h),从城



图 1.1 杭州地铁 1 号线“Y”字形线路走向

站到艮山门区段将穿越老杭州城区。老杭州城区的特点是街道狭窄、历史建筑物密集。杭州地铁线路施工的最大困难在于上述这些穿越工程。

1.2 下穿类型

城市轨道交通的盾构法隧道在地层中穿越施工会遇到各种形式的下穿工程,就一般工程而言,下穿施工只需进行常规的控制,但对于一些重要或特殊的建(构)筑物,由于其重要性或对变形的敏感性,因此需要采取特别严格的施工措施才能保证下穿施工的成功完成。此外,对某些工程来说,下穿施工仅仅是一方面,更重要的是施工完成之后,轨道交通车辆运行与被穿体之间存在某种复杂的相互影响,这种持续且长期的相互影响会对运行造成无法想象的危害,这也是下穿工程所必须面对的。

下穿工程的类型可以根据几种不同的方式进行划分:根据被穿体的不同,可以分为下穿交通线、下穿建筑物(单体)、下穿建筑群、下穿管线、下穿堤坝、下穿特殊的河流等;根据盾构法隧道与下穿体之间的平面几何关系,可以分为正交下穿、斜交下穿、小角度斜交下穿、部分下穿、切角下穿、侧下穿等;根据埋深关系,可以分为浅埋下穿和深埋下穿。

盾构机从桥墩侧面穿越、从堤坝下穿越或从建筑物下穿越,所产生的变形可以形象地表示为图 1.2 所示的情况,很显然,变形的大小与施工控制、土层等诸多因素有关。

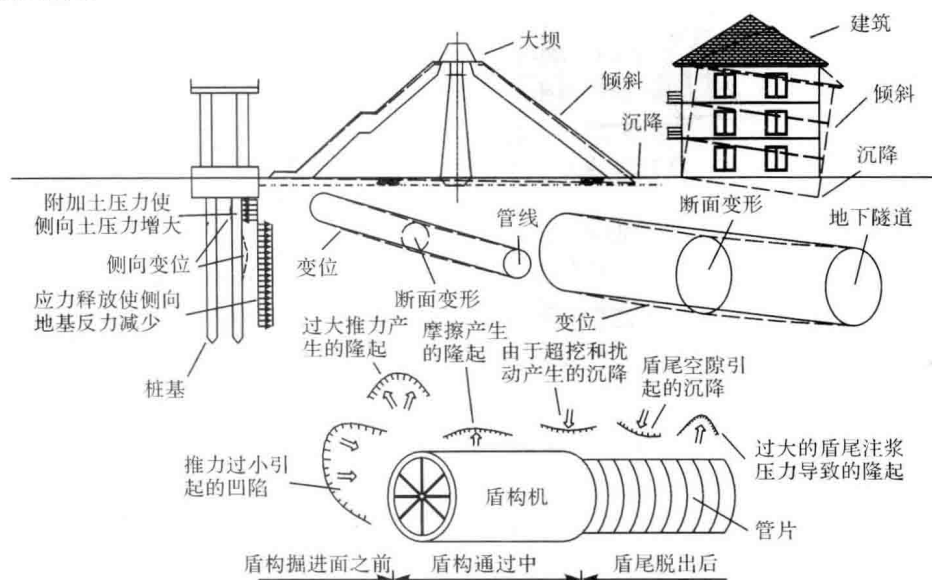


图 1.2 下穿施工的影响

工程地质条件对下穿方案的影响至关重要,是决定下穿施工措施乃至后续运营条件的重要因素。因此,在下穿工程分类时,需要考虑地质条件的特性。根据已有的实践,下穿工程所处的地层特性可以分为软黏土、黏土、软岩、复合地层和硬岩五类。其中,软黏土又可以进一步细分亚类:高灵敏性淤泥质土层、淤泥质土层、易液化土层等。软黏土由于强度低,地层损失难以控制,从而引起的变形量比较大,是下穿工程需要研究的重点。

1.3 下穿施工面临的问题

下穿施工面临的根本问题是变形控制。变形控制需要根据被下穿结构的特征,分绝对量和相对量两个方面进行控制。当绝对量控制得非常严格时,相对量便自然满足要求。当某些条件下绝对量难以严格控制时,相对量的控制就显得尤为重要。相对量的控制要从随着盾构掘进动态移动的三维沉降盆来考虑差异沉降的控制方面入手。以下穿铁路为例,如图 1.3 所示,随着盾构临近线路,两根钢轨会发生差异沉降,这是对行车安全最为不利的。

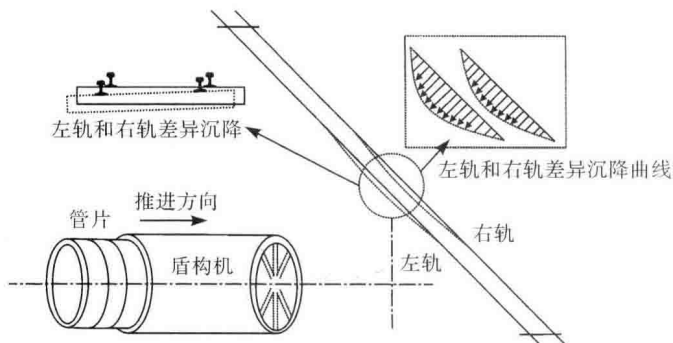


图 1.3 某隧道下穿路基时钢轨差异沉降

无论是对绝对沉降的控制还是差异沉降的控制,都要根据被穿结构的抗变形要求制定合理的控制值,这是下穿施工的关键。合理变形控制值的确定是非常困难的,因为在此次下穿施工之前,难以确定此前有多少次工程行为对结构物产生过影响。也就是说,下穿施工之前结构的已有变形是个未知量,这需要对结构物的状态进行综合判断。

变形控制的难易很大程度上取决于地层的工程特性和力学性质以及特定地层条件下盾构机型和配置的选择。随着施工机械化程度的不断提高,设备的适应性常常影响工程的成败。就盾构施工下穿而言,刀盘与面板的形式、开口率和刀盘的配置、同步注浆管路系统的设置以及注浆泵的数量和容量,都会影响施工中变形控制的效果,这些工作都是在下穿施工之前必须考虑的。

解决了施工机械的配置之后,接着需要研究的是施工参数。相同的装备在不同的土层中,应该对应不同的施工参数;相同的土层采用不同的施工机械时,也应该采用不同的施工参数;此外,隧道的线型也对施工参数的选择有所影响。除上述因素外,被穿结构与土层之间的作用特性对施工参数的确定也会产生影响。所以施工参数的正常确定是下穿施工中的一个重要环节,以前的施工主要靠经验,由经验上升到科学,这是工程师和科学家所要解决的问题。

有了合适的施工机械和合理的施工参数,还必须保证在实施中能够贯彻和执行,这是下穿施工中不可忽视的环节。要解决这一问题,需要从信息化、管理和监管三方面着手。信息化施工是现代施工的一大特征,它不仅能够提供施工所需要的各种信息数据,更重要的是能够为管理和监管提供科学依据。除了组织构架和规章制度,管理还应该有其内在的技术理念、应变处置等方面的内容,这与队伍的总体素质密切相关。监管是独立于施工和监理的机构。

信息化技术一方面需要不断地引入新技术,另一方面需要实现信息化的取点更加合理和可靠,尤其是对于下穿铁路等具有动力响应的结构物,信息点的布置是相当重要的。

1.4 本书的宗旨

在过去的20年中,我国是世界上最大的盾构法隧道施工市场,20年前我国的盾构机多数是进口的。近10年来,我国已经逐渐开始合资生产或自行生产盾构机,在今后的20年中,我国依然是世界上最大的盾构法隧道施工市场。20年前盾构法隧道遇到地表有重要建筑物时,大多采用避让方式,以牺牲隧道线型为代价,后来逐渐能够穿越一些比较重要的建筑物。工程的建设总是先易后难、循序渐进的。可以预见,随着建设规模的增加,今后盾构法隧道下穿施工的难度将越来越大,数量也会越来越多。及时对过去的理论方法和技术成果进行系统总结,有助于指导今后的实践。

本书试图从系统的理论方法着手,通过下穿施工引起被穿结构的变形和盾构掘进施工原理,来阐述盾构法隧道下穿施工的控制措施和方法,希望从理论上对下穿施工控制给予解释,如果能够解答工程师们的某些疑惑,那么作者认为这本书就成功了。

需要指出的是,盾构法隧道下穿工程是一项系统工程,影响因素众多,而重要的影响因素会随现场情况的变化而发生变化,某些前期是次要影响因素,因外部情况变化会转变成主要影响因素;相反,某些前期是主要影响因素,由于外部条件的变化也会降为次要因素。工程人员只有熟知原理,及时掌握施工现场的动态,才能因时、因势采取针对性措施,使施工按照预想的轨迹进行。

第2章 下穿施工的影响

下穿施工与其他隧道工程的区别在于:下穿工程必须保证被穿体的安全 and 功能。换言之,被穿体的结构特征与功能直接决定了下穿施工的控制要求,而不同的控制标准决定了不同的技术措施。因此,需要先讨论下穿施工对被穿体的影响问题。

2.1 下穿施工的特点

下穿施工具有以下特点:

(1) 与其他隧道工程的施工相比,下穿施工对变形的控制更为严格,需要更高精度的变形计算理论。

(2) 因为变形控制严格,在下穿施工时需要更为精细的施工控制方法,对施工设备而言,应该采用智能化的装备,以提高实际的控制效果。

(3) 需要更高精度的变形监控量测方法,以保证下穿施工的顺利进行。

可见,适应小变形控制贯穿于下穿施工全过程。另外,由于被穿体的不同,在穿越区产生的附加应力也不相同。例如,房屋建筑仅产生静止附加力,穿越铁路就面临列车产生的振动附加力,这两者对施工的影响也不相同。反之,由于被穿体的不同,对穿越施工产生的变形控制要求也各不相同。例如,下穿有砟轨道和下穿无砟轨道相比,由于轨道类型不同,对允许发生的施工变形值也相差甚大,这就导致因被穿体结构类型和功能不同而对下穿施工控制提出了显著差别的要求。因此,必须从下穿施工对不同被穿体的影响着手,讨论下穿施工对环境的影响问题。

2.2 下穿建筑物

下穿建筑物施工产生的影响主要体现在建筑物的变形方面,于是建筑物的类型、结构特征、使用年限等均要逐一考虑。对于建筑物的类型,要区分多层、高层,砖混结构和框架结构,还要进一步区分基础的类型,如筏板基础、复合地基、深基础等,类型不同,对变形的适应要求也不同。下面分别讨论下穿施工对不同类型建筑物产生的影响。