

LAOJIU HEXIN CHENGQU
DITIE JIANZAO JISHU

老旧核心城区 地铁建造技术

潘秀明 周宏磊 雷崇红 韩 煊 著

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

老旧核心城区地铁建造技术

潘秀明 周宏磊 雷崇红 韩 煊 著

中国铁道出版社

2014年·北京

内 容 简 介

本书以北京市轨道交通 8 号线二期南段工程为背景,经过深入细致的总结与提炼,形成了在北京市老旧核心城区开展地铁建设中对环境风险的管控经验和相关研究成果,全面总结在老旧核心城区开展地铁建设所需要解决的关键问题,特别针对现场工程地质、水文地质情况以及特有的建成环境条件,开展了在老旧核心城区进行地铁建设的设计与施工关键技术、下穿运营地铁线风险控制技术、长距离下穿古旧平房群风险评估技术、施工变形影响分析及控制技术、施工振动影响及隔振减振技术、施工安全监控与反馈机制等一系列关键技术的研究,形成了一套地铁下穿北京老旧核心城区的综合技术,不仅为 8 号线二期南段下穿老旧城区提供了重要的技术支撑,确保了 8 号线南段的顺利建设、安全施工,还进一步提升了地铁施工下的环境影响安全控制技术水平,同时也将对未来其他在老旧城区的地铁建设工程提供借鉴示范,具有重要的理论和实践意义。

本书适合城市轨道交通工程、隧道及地下工程领域的工程技术人员使用,同时,也可作为轨道交通工程安全风险控制培训的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

老旧核心城区地铁建造技术/潘秀明等著. —北京:

中国铁道出版社,2014. 3

ISBN 978-7-113-18000-3

I. ①老… II. ①潘… III. ①地下铁道—铁路工程—北京市 IV. ①U231

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 022810 号

书 名:老旧核心城区地铁建造技术
作 者:潘秀明 周宏磊 雷崇红 韩 焯

策 划:徐 艳
责任编辑:徐 艳 编辑部电话:010-51873193 电子信箱:xy810@eyou. com
封面设计:崔 欣
责任校对:龚长江
责任印制:郭向伟

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街 8 号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:中国铁道出版社印刷厂

版 次:2014 年 3 月第 1 版 2014 年 3 月第 1 次印刷

开 本:880 mm×1 230 mm 1/16 印张:22.5 字数:780 千

书 号:ISBN 978-7-113-18000-3

定 价:120.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

撰写委员会

主 任：潘秀明

副主任：周宏磊 雷崇红 韩 煊

委 员：王 法 王 鑫 李 立 陈 浩 王军辉 刘 鑫
姜华龙 赵树才 徐福东 张建海 张晓岩 陆 群
艾菁菁 徐俊峰 黄广锴 周庆合 付仁鹏 营 升
侯 伟 赵德海 雷安定 韩云哲 米献芳 李国宝
贺文涛 周胜军 陈昌彦 张建坤 陈南风 白朝旭
张 辉 李凤豹 毛杨博 徐 骞 袁创辉

序

随着我国各地地铁建设的不断推进,各城市的地铁线网不断加密,越来越多的地铁线路从古旧核心城区下穿而过,从而大大缓解核心城区日益拥堵的交通问题,减少路面交通带来的污染、能源浪费。但是,在古旧核心城区进行地铁建设难度很大,同时存在着突出的工程风险。以北京为例,在古旧核心城区开展地铁建设面临更加复杂的建成环境,核心城区汇集了无数名胜古迹、古旧建筑物、密集的地下管线、多条既有地铁线路等等。这些地上、地下的建筑物、构筑物由于建成年代久远,结构现状大多较差,对变形、振动等施工扰动影响特别敏感,很容易受到邻近施工影响而发生破坏。同时由于长期人类活动的影响,古旧城区的地质条件也往往更加复杂。在这样的条件下建设地铁,一旦出现问题,不仅会造成直接的经济损失,还可能造成生命财产损失,甚至会影响社会和谐和稳定。因此,在古旧城区开展地铁工程所面临的一系列工程难题已经引起了各有关方面以及公众的日益广泛的关注,也为我国相关领域的科技工作者提出了一系列全新的研究课题和工程问题。

作为北京地铁一线的建设者们,本书的著者基于这些现实重大问题,以北京市轨道交通 8 号线二期南段工程为背景,认真研究,大胆实践,并经过深入细致的研究、分析、总结与提炼,在北京市古旧核心城区提出了地铁建设中对环境风险的管控经验和相关研究成果,全面总结在古旧核心城区开展地铁建设所需要解决的关键问题,特别针对现场工程地质、水文地质情况以及所特有的建设环境条件,开展了在古旧核心城区进行地铁建设的设计与施工关键技术、下穿运营地铁线风险控制技术、长距离下穿古旧平房群风险评估技术、施工变形影响分析及控制技术、施工振动影响及隔振减振技术、施工安全监控与反馈机制等一系列关键技术的研究,形成了一套地铁下穿北京古旧核心城区的综合技术,并撰写了这样一本理论研究与工程实践紧密结合的专著。他们在完成繁重的建设任务的同时,能有此精神与毅力,着实难能可贵!我深感欣慰和感动!

本专著的出版,不仅为 8 号线二期南段下穿古旧城区提供了重要的技术支撑,确保了 8 号线南段的顺利建设、安全施工,还进一步提升了地铁施工下的环境影响安全控制技术水平,同时也将对未来其他大量在古旧城区的地铁建设工程提供了借鉴示范,具有重要的理论和实践意义。这种保护古老历史文物的理念非常值得提倡和推广!

这是一部值得地铁建设相关领域的勘察、设计、施工、管理、研究人员参考的好书,我非常欣喜地看到这部凝聚着在第一线工作的作者辛勤劳动创新成果专著的问世。我相信本书的出版将引领更多业界同仁关注地铁建设的环境安全问题,并推动在这一领域进行更加深入和广泛的研究,从而促进我国地下工程行业的技术进步。



中国工程院院士

2014 年 3 月 2 日

前 言

根据《北京市“十二五”时期重大基础设施发展规划》,“十二五”时期将全面完成城市轨道交通近期规划线网建设,基本形成“三环、四横、五纵、八放射”的城市轨道交通网。同时加密中心城区轨道交通线网,新规划、建设一批中心城区、重点功能区城市轨道交通线路。在未来一段时间内,北京市中心城区,特别是老旧核心城区,是地铁规划建设相对集中的地区。然而与之对应的是,老旧核心城区存在大量的文物古建、老旧建筑物,具有典型的历史和文化特色,据不完全统计,旧城内分布有国家级、市级、区级文物保护单位约 800 处,在国内为仅见,在世界上也屈指可数。同时,由于旧城区胡同、道路狭窄,四合院房屋比较老旧,基础不稳固,对沉降、倾斜、差异变形、施工振动等问题比较敏感,此外,还要面临临近或穿越既有轨道交通设施、各类市政管线等一系列环境风险,给地铁施工带来了很大的工程难度,提出了较高的环境保护要求。

本书依托的北京地铁 8 号线二期南段工程,是一条穿越北京市老旧核心城区的地铁工程,基本沿北京市旧城南北向中轴线布置,线路从熊猫环岛站引出后,沿北辰路、鼓楼外大街、旧鼓楼大街、地安门外大街行进,向东经地安门东大街后折向南,到达美术馆东街,全长约 6.78 km,共设安华桥站、安德里北街站、鼓楼大街站、什刹海站、南锣鼓巷站、中国美术馆站 6 座车站及 7 段区间。工程沿线周边环境复杂,穿越(或邻近)大量既有建(构)筑物,如地下过街道、护城河、既有地铁站、医院、商场、文物保护性建筑、地下人防及大量古旧平房群等,对线路的设计和施工提出了较高的要求。

本书以北京地铁 8 号线二期南段土建工程为依托,介绍在北京市老旧核心城区开展地铁建设中对环境风险的管控经验和相关研究成果,对在老旧核心城区开展地铁建设所需要解决的几个关键问题进行了全面总结,突出介绍了设计与施工、老旧平房变形控制、盾构下穿既有车站、盾构施工振动控制等关键技术,希望能为以后的新线建设提供一定的借鉴。

全书主体内容分为五篇。主要包括以下内容:

第一篇:主要介绍了依托工程的概况,以及老旧城区工程地质与岩土工程条件的特点等;

第二篇:介绍了工程中因周边环境及工期要求,车站及区间多处所采取的非常规设计,并将该工程设计过程中的一些思路、技术和经验进行了总结;

第三篇:以工程长距离下穿古旧平房群工程为案例,系统介绍了穿越段工程的变形控制关键技术;

第四篇:针对安德里北街—鼓楼大街站区间下穿既有 2 号线鼓楼大街站工程案例,系统介绍了既有车站穿越段工程各阶段的风险管控关键技术;

第五篇:以工程长距离下穿古旧平房群工程为案例,系统介绍了穿越段工程的振动控制关键技术。

鉴于作者的水平及认识的局限性,书中难免存在错误和不足,恳请读者批评指正。

作 者
2013 年 11 月

目 录

第 1 篇 老旧核心城区地铁建设综述

第 1 章 老旧核心城区的地铁建设	1
1.1 我国城市轨道交通建设现状	1
1.2 国外老旧核心城区的地铁建设情况	1
1.3 国内中心城区地铁建设的工程事故案例和风险管理	4
1.4 北京市旧城区开展地铁建设的特点和难点	7
第 2 章 8 号线二期南段工程及其周边环境	10
2.1 安德里北街站—鼓楼大街站区间工程	10
2.2 鼓楼大街站—什刹海站区间工程	12
2.3 什刹海站—南锣鼓巷站区间工程	14
2.4 南锣鼓巷站—中国美术馆站区间工程	16
第 3 章 北京老旧核心城区工程地质与岩土工程条件	19
3.1 北京老旧核心城区所在的区域地质条件分析	19
3.2 地铁 8 号线二期沿线工程地质条件	21
3.3 工程地下水条件	24
3.4 主要地层参数变化特征及统计规律	27

第 2 篇 8 号线二期南段设计

第 1 章 结构设计关键	33
1.1 明挖法施工的车站结构	33
1.2 盖挖法施工的车站结构	40
1.3 暗挖法施工的车站结构	47
1.4 明暗挖结合施工的车站结构	50
1.5 盾构法隧道设计技术	52
第 2 章 风险源保护专项设计措施	60
2.1 矿山法施工的结构	60
2.2 盾构法施工的隧道	77

第3篇 盾构下穿古旧平房群施工沉降控制

第1章 概 述	85
第2章 旧城区古旧房屋建筑与结构特性	86
2.1 北京古旧平房的建筑历史	86
2.2 北京古旧平房民用建筑结构型式分类	87
2.3 8号线南段工程沿线典型古旧平房	88
2.4 北京古旧平房的地基条件	95
2.5 北京文物古建及古旧平房主要结构构造	95
2.6 北京古旧平房主要建筑材料特性	98
第3章 地表及古旧平房群沉降规律及其预测	102
3.1 盾构施工引起的地表沉降规律及其预测	102
3.2 盾构施工引起的结构沉降规律及其预测	108
3.3 盾构长距离下穿古旧平房群施工影响范围	116
第4章 盾构施工影响下的分层沉降规律	118
4.1 盾构施工引起的分层沉降理论	118
4.2 分层沉降监测方案设计	122
4.3 分层沉降规律	127
第5章 古旧平房变形控制指标及盾构施工影响范围	142
5.1 国外古旧房屋损坏及评价方法现状	142
5.2 现行建筑损坏的描述参数与损坏程度分类	143
5.3 盾构施工影响下的平房变形指标	146
5.4 盾构施工对古旧平房的影响范围划分	147
5.5 古旧平房变形指标的离散元能量法分析	150
第6章 盾构施工参数与变形控制	155
6.1 盾构隧道掘进施工引起的地层位移机理	155
6.2 盾构掘进参数规律	157
6.3 盾尾注浆参数规律	177
6.4 沉降规律与盾构施工参数的相关性关系	185
6.5 沉降规律与盾构施工参数的敏感性关系	187
第7章 盾构施工影响的数值模拟技术	191
7.1 土的本构模型及模型参数	191
7.2 盾构隧道管片及古旧平房建筑结构模拟	198

7.3 盾构隧道施工过程模拟	202
第4篇 盾构下穿既有车站工程	
第1章 工程概况	207
第2章 既有车站及附属结构现状调查与检测	209
2.1 既有线车站现状调查与检测内容	209
2.2 既有线车站现状调查与检测要点	209
2.3 既有2号线鼓楼大街站现状调查与检测结果	210
第3章 盾构下穿既有车站工程风险评估	213
3.1 盾构下穿既有车站工程风险评估内容	213
3.2 盾构下穿既有车站工程风险评估方法	213
3.3 盾构穿越工程评估结论及控制标准	215
第4章 盾构下穿既有工程专项设计方案	217
4.1 盾构下穿既有车站工程加固方案设计	217
4.2 特殊管片	218
4.3 保护措施及应急预案	219
第5章 盾构下穿既有工程施工	221
5.1 穿越段设备准备	221
5.2 站体下方型钢障碍物的探测	224
5.3 土体沉降控制理论分析	226
5.4 试验段方案及数据分析	228
5.5 始发准备	234
第6章 盾构下穿既有工程关键技术措施	235
6.1 对车站下方土体加固	235
6.2 初始掘进段施工措施	236
6.3 下穿既有站段施工措施	239
6.4 掘进姿态控制	239
6.5 土压力控制及土体改良	239
6.6 严格控制同步注浆和二次注浆	240
6.7 多次补浆	242
6.8 出土量控制	242
6.9 盾尾间隙控制	242
第7章 盾构下穿既有工程监控量测	243
7.1 监控量测设计	243

7.2 现场监测作业方法	244
7.3 盾构施工对既有线车站的影响监测结果	249
 第5篇 盾构施工引起的环境振动及其控制	
第1章 概 述	259
1.1 盾构施工引起的环境振动	259
1.2 盾构隧道工程引起的环境振动问题	259
第2章 盾构施工振动监测	263
2.1 振动测试系统	263
2.2 振动监测数据处理与分析方法	265
2.3 盾构施工引起环境振动的监测	270
第3章 盾构施工引起环境振动的振源	273
3.1 盾构施工振动振源的特性	273
3.2 盾构施工振动振源产生的机理	279
3.3 盾构施工振动振源的识别	286
第4章 盾构施工引起的环境振动	292
4.1 盾构施工引起地表振动	292
4.2 盾构施工引起建筑物振动	301
4.3 振动的数值模拟方法	310
4.4 盾构施工引起旧城区环境振动的预测	314
第5章 盾构施工振动对旧城区环境的影响及其控制指标	321
5.1 振动对生活环境及人体健康的影响及控制标准	321
5.2 盾构施工振动影响评价	329
5.3 盾构施工振动安全控制标准确定方法	333
第6章 盾构施工引起环境振动的风险评估与控制	336
6.1 风险评估技术	336
6.2 减振与隔振技术	341
6.3 监控量测与实时反馈联动控制技术	344
参考文献	347

第 1 篇 老旧核心城区地铁建设综述

第 1 章 老旧核心城区的地铁建设

1.1 我国城市轨道交通建设现状

近年来,随着我国经济建设的高速发展以及城市现代化建设步伐的加快,许多大城市都面临着日益严重的交通问题。轨道交通具有安全、正点、舒适、快捷、大容量、低成本的特点,是绿色交通工具,是实现可持续发展战略的必然选择。因此,各个城市纷纷兴建或筹建城市轨道交通系统。目前,中国城市轨道交通建设已经进入了空前快速的发展时期。从北京、上海到广州,从沈阳、青岛到成都,全国各大城市都处在地铁建设的热潮之中。

具体来看,2006 年全国只有 10 条地铁线路运行,开通地铁的城市只有 7 个(北京 113 km、天津 7.4 km、上海 123 km、广州 36.6 km、深圳 21.8 km、南京 16.9 km),线路总长共 318 km;2009 年全国地铁线路已增至 37 条;2010 年全国有 33 个城市正规划建设地铁,涉及的线路项目达 110 多条,预计到 2020 年全国规划地铁总里程将达 6 100 km。

1.2 国外老旧核心城区的地铁建设情况

国外城市地铁开发起步较早,迄今大约已经历了约 150 年的发展历程,地铁规划建设方面的经验相对比较成熟。英国伦敦 1863 年建成了世界上第一条地铁,开创了城市地下铁道建设的先河。美国纽约、法国巴黎、德国柏林、西班牙马德里、日本东京分别于 1865 年、1900 年、1902 年、1919 年和 1927 年建设了各国的第一条地铁。目前世界上已经修建地铁并运营的国家 and 地区有四十多个,城市有一百多个。

依据国外地铁规划建设经验,大都在人口密集的城市核心区域有非常高密度的地铁分布规划,有时甚至一个城市的核心区要密布六七条地铁,而且大量出现共线。以法国巴黎地下轨道交通系统为例,自 1900 年起运行至今,巴黎地铁总长度达 220 km,有 14 条主线和 2 条支线,合计 303 个车站(387 个站厅)和 62 个交汇站,因此巴黎地铁也被称为全世界最密集、层次最多的城市轨道交通系统之一,见图 1.1.1。



图 1.1.1 法国巴黎地铁线路图及旧城核心区沿线古建筑

由于建成历史等原因,国外城市核心区通常又与旧城重合,在此范围内施工地铁工程往往面临着一系列复杂的环境岩土工程问题。

(1) 伦敦 Jubilee 地铁延长线工程

伦敦 Jubilee 地铁延长线是地铁 Jubilee 线(即“银禧线”,得名于 1977 年伊丽莎白女王的银禧纪念日,即女王登基 25 周年纪念)的二期工程。Jubilee 线一期开通于 1979 年 5 月 1 日。由于资金短缺,直到 20 世纪 90 年代中期才开始修建二期工程,即 Jubilee 地铁延长线(Jubilee Line Extension,简称 JLE)。

JLE 线路在伦敦最繁华的西区(West End)的格林公园(Green Park)站和已有的 Jubilee 线连通,向东一直延伸到东伦敦的 Stratford,如图 1.1.2 所示。线路全长 15.5 km,其中西段的 11.5 km 为双线隧道。行车隧道的直径约为 4.4 m,埋深为地面以下 20~30 m。线路共包括 11 个车站,其中 4 座为明挖车站,5 座为在隧道基础上的扩挖或隧道扩挖和明挖的结合,另外 2 座为地面车站。

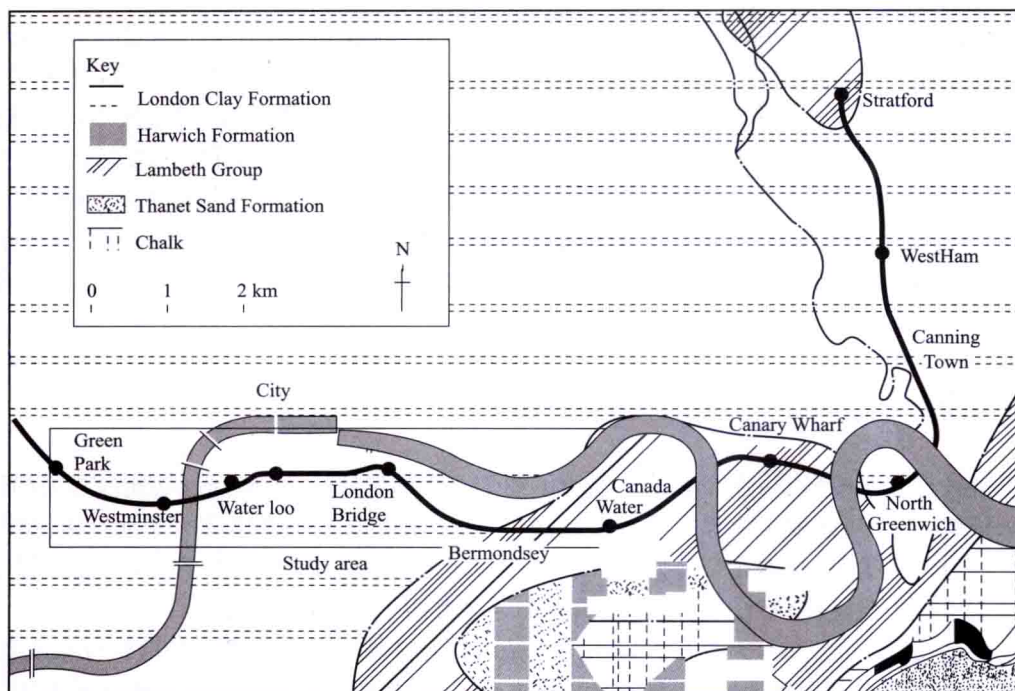


图 1.1.2 Jubilee 地铁延长线工程及沿线地质概况(Withers 等人,2001)

JLE 采用的隧道开挖方法包括以下四种:人工挖掘、开敞式盾构、新奥法(喷射混凝土法)以及土压平衡盾构法(EPB)。其中前三种主要应用于在伦敦黏土地层中的施工,而后一种则应用于含有砂、卵石的兰贝斯组地层的开挖。

JLE 线路工程共造价 18 亿英镑,其中土建工程造价 6.5 亿英镑,而其中的六分之一用于对建筑物的防护和加固。

为了研究 JLE 工程建设期间地下开挖引起的地层和建筑物的位移,以及由此引起的建筑物的损坏和建筑物的保护、修复方法,由英国帝国理工学院土力学研究所等近 20 家英国的企业、政府部门和高校(帝国理工学院)联合组成 CMR(即“建筑物维护与整修”,Construction Maintenance and Refurbishment)项目研究组^[1],由英国伦敦帝国理工学院具体负责有关技术工作。

在该项目的研究中,帝国理工学院课题组的实测研究主要涉及 JLE 的西段(从 Green Park 到 Canada Water),即图 1.1.2 中方框所包含区域。共选取了沿线的 26 个各类建筑物和 2 个天然地面剖面进行了深入全面的监测和分析工作。这 26 栋建筑物涵盖了不同建筑规模、结构类型、基础形式等。其中,有 13 栋建筑物位于伦敦黏土地区,除 Elizabeth 大厦外的绝大部分(12 栋)都采用了补偿注浆进行加固,对于在兰贝斯组地层中进行隧道开挖的地区,受影响的建筑物一般采用渗透注浆法进行加固。

(2) 荷兰阿姆斯特丹南北线工程

为了解决城市居民出行问题,阿姆斯特丹市政府早在 1965 年即规划了由 4 条地铁线组成的市中心地下

交通网络。其中于 2003 年开始建设的阿姆斯特丹南北线项目全长 9.8 km,从市中心区延伸到伊日河北部市区,见图 1.1.3^[3]。由于南北线沿线的市中心区如今仍保留着不少 17 世纪的建筑,一些建筑的主框架大都为木质结构,且所处地段地质情况复杂,如果处理不当,就可能造成建筑物倒塌,或引发附近道路塌陷,因此给地铁线路的施工带来很大不便。



图 1.1.3 荷兰阿姆斯特丹地铁南北线^[3]

仅以该线路中 Vijzelgracht 地区的中央火车站站点工程为例^[4]。该工程所处场地条件以黏性土、粉细砂、泥炭层为主,施工方法类似国内采用的盖挖法。该工程施工时发生的沉降造成了地上房屋出现变形、开裂,部分建筑物被拆除和重建,地铁工程工期也被迫一再推迟。

中央火车站以南的三个站点,埋深达 30 m 以上。由于线路埋深较深,对地面建筑物影响相对较小,但一些站点和地区也出现了不同程度的地面下沉及房屋开裂等问题。

由于阿姆斯特丹南北线项目工程施工复杂,因此工程预算不断飚升,且完工日期也是一再被推延。该工程最初的投资预算仅为 14 亿欧元,截止到目前预算已经超过 20 亿欧元。线路原计划于 2011 年开通运营,目前可能要推迟到 2015 年了。

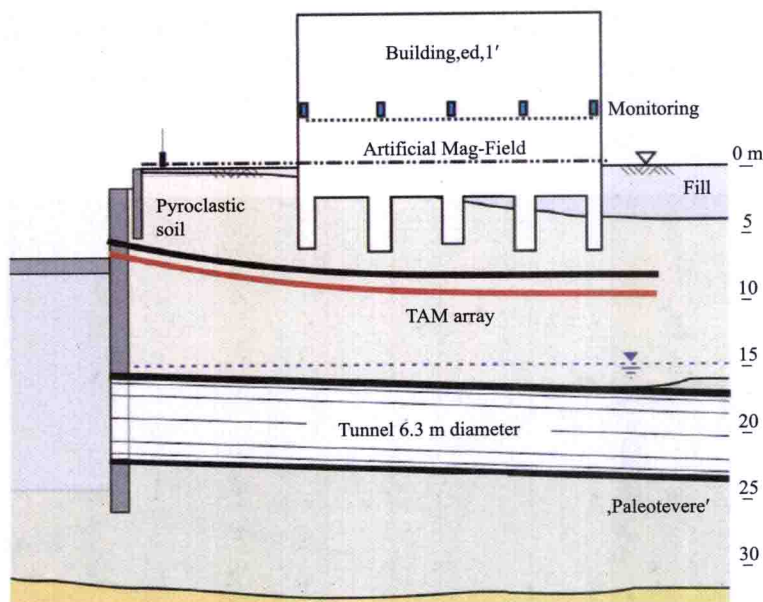
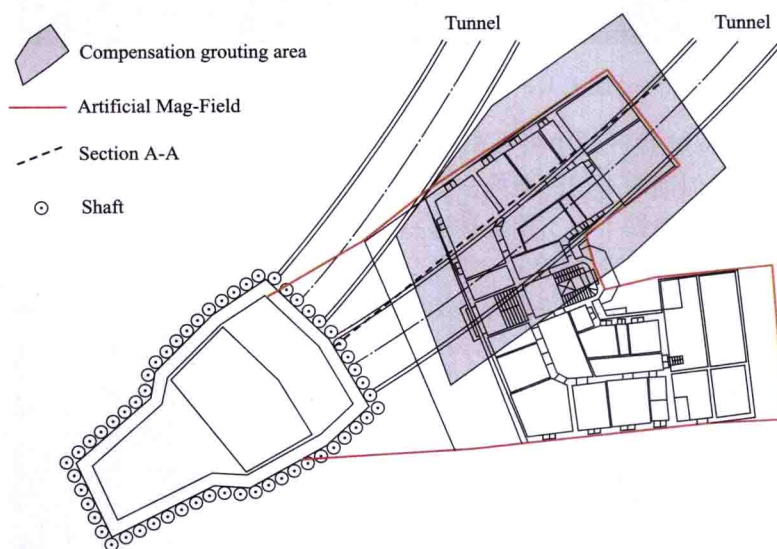
(3) 意大利罗马地铁 B1 线穿越中心城工程

意大利罗马市地下铁路系统全长 38 km,于 1955 年启用。目前罗马地铁已运营的线路有两条:A 线和 B 线(包括 B 线的支线 B1),共设有 51 个车站。罗马地铁的规模较其他西欧大城市的地铁系统小,甚至比不上米兰地铁。主要原因是罗马市地下埋有大量古罗马时代的历史文物,所以在地铁系统的扩建计划中经常需要暂停以评估线路对文物的影响,即使最终得以施工的线路也因为需要对文物古建进行防护和加固而使得造价大增。

以博洛尼亚广场站盾构始发工程为例^[5],该站是 B 线与 B1 线的交汇站。由于从该站始发的盾构施工需穿越某地上历史建筑物,见图 1.1.4,因此盾构施工前不得不采用水平深孔注浆工艺对建筑物下方土体进行加固,见图 1.1.5。加固范围见图 1.1.6 中阴影范围。诸如此类的工程问题均带来了极大的工程风险,并造成了工程造价的提升。



图 1.1.4 罗马博洛尼亚广场站盾构始发工程穿越某建筑物^[5]

图 1.1.5 盾构始发前采用水平深孔注浆工艺^[5]图 1.1.6 盾构始发前的水平深孔注浆范围^[5]

1.3 国内中心城区地铁建设的工程事故案例和风险管理

事实上,地层位移和地面沉陷问题在我国的城市地铁建设中是一个普遍关注的问题。在已经开始修建地铁的城市中,除了青岛、重庆等少数城市的隧道在基岩中施工外,其他多数城市隧道均埋设于土质地层中,埋深往往也不大,因此施工扰动的问题通常比较突出。而变形控制不利带来的环境影响问题在我国地铁建设的工程实践中,也不乏实例。限于本书篇幅,以下仅列出了其中部分典型事故:

(1)南京地铁1号线一期工程TA10标施工过程中,在汉口路与中山路交汇处曾发生面积约15 m²、深为2 m的地面道路沉陷,严重影响了地面交通的正常运营。

(2)在南京地铁1号线一期工程TA12标施工过程中,曾发生过中央路上一幢房屋变形开裂,最大裂缝宽度达2 mm。

(3)上海轨道交通4号线的施工事故,导致中山南路847号一幢8层楼房裙房坍塌(图1.1.7),靠近事

故现场的20多层临江花园大楼出现明显沉降(1h沉降最大超过了7mm,最大累计沉降量达到15.6mm)。此次事故中还造成了董家渡外马路段长约30m的防汛墙倒塌。

(4)1999年在广州一个交通繁忙地带的矿山法工地,一条5m长、直径600mm混凝土供水管与隧道走向几乎呈垂直相交,由于沉降速率较快,不足一周地表沉降接近30mm,水管突然爆裂。

(5)2006年1月3日凌晨0点40分左右,北京地铁10号线十四标段呼光区间(三环京广桥附近)产生坍塌,7点30分左右形成东西宽14m×南北长20m×深12m的陷坑(图1.1.8)。此次事故造成了这段道路封闭数日,在社会上造成很大负面影响。



图 1.1.7 上海轨道交通 4 号线的施工事故



图 1.1.8 北京地铁 10 号线十四标段呼光区间塌陷

(6)2005年11月30日下午2时20分,位于北京市朝阳区熊猫环岛的地铁10号线22标段发生坍塌事故,至少400m²范围内的基坑塌陷10余米(图1.1.9)。事故造成一根直径1.4m的自来水上水管悬空,一根直径60cm的水管断裂,一辆翻斗车被埋在土中。



图 1.1.9 北京地铁 10 号线熊猫环岛基坑坍塌

(7)2007年6月15日上午,北京海淀区学院南路西口北侧辅路地面发生塌陷。路面塌陷坑长约5m、宽3m、深3m,坑底布满各种管线(图1.1.10)。事故地点离正在施工的地铁4号线只有50余米。而在塌陷处以北约100m处,是正在建设的地铁4号线学院南路站出口。



图 1.1.10 北京学院南路地面塌陷

上述各种施工沉陷问题带来的经济损失是巨大的。国内尚没有相关统计资料,但是依据英国公开资料,每年由于地层的变形引起房屋的损坏的保险申请额就达到 4 亿英镑(约合 60 亿元人民币),并且逐年增加。

随着我国地铁隧道施工热潮的不断高涨,在老旧城区开展地铁工程所面临的一系列工程难题已经引起了各有关方面以及公众的日益广泛的关注,也为我国相关领域的科技工作者提出了一系列全新的研究课题和工程问题。

在地铁工程中,由于施工中所影响的范围非常广,所涵盖的安全不确定因素相对繁杂,即使施工期间参与各方高度重视,但由于缺乏系统的管理,因此工程事故仍时有发生,因此工程风险管理的引进尤其显得必要。虽然风险管理的理论与技术发展及应用已有相当完整的基础,且在隧道工程中的应用不乏先例,但真正对于地下空间建设工程有系统完整的风险管理却是在近些年才开始积极地发展。

在相关标准和规范逐步完善的同时,风险管理的内容也不断完善。早期从事风险管理的内容主要包括对风险的定义、风险辨识和风险评估。1991 年英国提出 UK MOD 风险管理模型,将风险的管理分为初始辨识、分析和规划管理三个部分,初步建立了现代风险管理流程的雏形。后来,随着各国研究的深入,尤其是荷兰和澳大利亚等工程技术人员的研究基本完善了当前的风险管理流程(Stewart MG and Melchers RE,1997)。美国工程风险管理研究专家 Reilly 和 Carr (2001)在上述研究的基础上又提出五阶段风险管理模式,即风险辨识、风险估计、风险评价、风险决策、风险控制,该风险管理流程在 2002 年国际隧道协会(ITA)起草颁布的隧道及地下工程风险管理指南中得到了应用。

土木工程中的风险应采用“系统化的风险管理”(Systematic risk management),即通过风险规划(Risk planning and context establishment)、风险辨识(Risk Identification)、风险分析(Risk analysis)、风险评价(Risk evaluation)、风险分类(Risk classification)、风险管控(Risk treatment)等将风险降至某合理的可接受的下限,见图 1.1.11。

在相关的风险管理控制中,一般包括 3 个方面,即预测(prediction)、预防(prevention)和保护(protection)。北京市轨道交通建设管理有限公司于 2007 年 10 月组织开展了“北京地铁工程建设安全风险控制及信息化管理平台的研究与应用”项目研究,初步建立了工程建设安全风险管理体系,该成果自 2008 年在新建地铁项目中推广应用,取得了良好的管控效果,积累了丰富的风险管控经验和做法,经过不断总结提炼,并于 2013 年正式出版《北京轨道交通工程安全风险管理体系》(罗富荣,曹伍富,2013)^[7]。

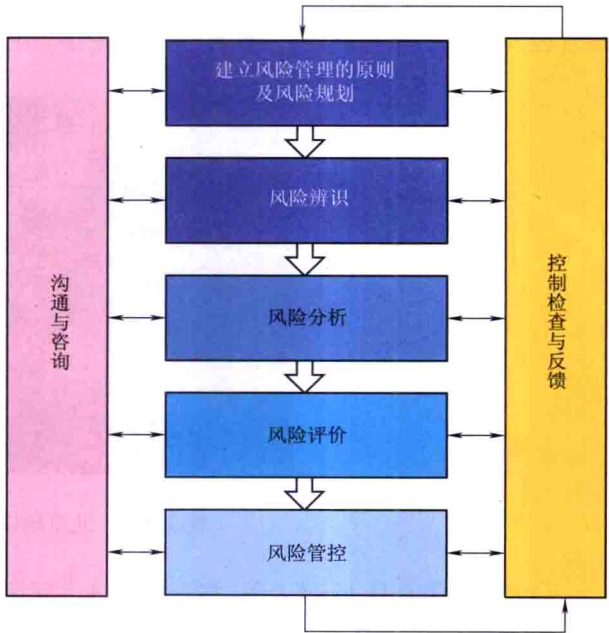


图 1.1.11 系统化的风险管理流程

1.4 北京市旧城区开展地铁建设的特点和难点

北京历史悠久,它作为城市的历史可以追溯到 3000 年前。秦汉以来,北京地区一直是中国北方的重镇,名称先后称为蓟城、燕都、燕京、大都、北平、顺天府等。1153 年,金朝设中都,是北京建都之始。此后元、明、清均建都于此,至今北京已有 800 多年的建都史。

金中都为元、明、清三代的北京城市建设奠定了基础。元大都时期北京呈长方形,总面积达 50 多平方公里。实测周长 28.6 km,南北长 7.4 km,东西长 6.65 km。北城墙在今安定门外土城一带,南城墙在今东西长安街南侧,东西两侧在今东西二环路上。

明朝北京城在元大都城的基础上进行了改建,其面积为 62.5 km²。北京城沿元大都城的北城墙向内缩进了 2.5 km,到了安定门和德胜门一带,又将南城向南推进到前门一带。九门城楼修建完成以后,分别改定以前的名称为:正阳门、崇文门、宣武门、朝阳门和阜成门等,这些名称沿用至今,其涵盖的范围也即通常所指北京内城。嘉靖三十二年(公元 1553 年)又在北京城的南面修筑外城,使得北京城变成了“凸”字的形状。

此后北京的格局基本沿袭了明朝北京城的格局。由于其“中轴对称、平缓开阔、轮廓丰富、节律有序”的特点,集中体现了中国传统的规划建设精华。本书提到的北京旧城即由目前北京市东城区和西城区(包含原宣武区和崇文区)二环以内部分组成。北京市旧城区的遥感影像见图 1.1.12。

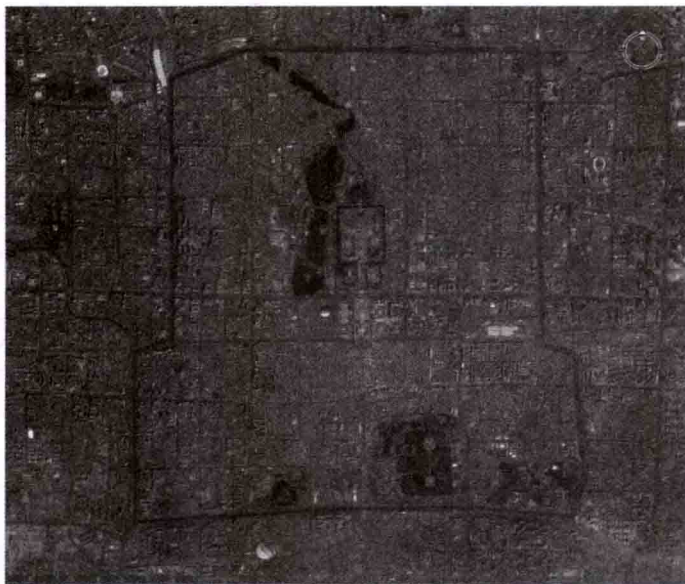


图 1.1.12 北京市旧地区范围遥感图(图片来源:Google Earth)

据不完全统计,目前北京市旧城区范围内常住人口约 160 多万人,人口密度接近每平方公里 3 万人。同时,旧城区用地功能过度集聚,包括了行政办公、国际交往、文化娱乐、商务办公、商业购物、旅游、教育、医疗、居住等众多功能。如此集中的人口聚集和城市功能聚集带来了大量的交通出行需求。据有关部门统计,北京市中心城区东西城间日交换量 24 万人次,城市东西部之间日交换量 55 万人次。然而与之相对的,受历史风貌保护限制,旧城道路改善余地不大,加之近年来机动车一直保持着 10%~15% 的较高年增长速度(徐加民,2004)^[1],目前市中心区道路网高峰期的平均负荷度已经超过 90%。在小汽车等机动化交通进一步发展的情况下,旧城道路网必将不堪重负。

针对北京旧城区的交通问题,《北京历史文化名城保护规划》中提出旧城的主要交通对策中特别提出交通出行采取以公共交通为主的方式以及加快地铁建设等措施。因此,在旧城区进行地铁建设能有效改善交通状况,促进旧城的发展。

根据《北京市“十二五”时期重大基础设施发展规划》(2011 年 11 月 16 日公布)的有关内容:针对轨道交通建设,将全面完成城市轨道交通近期规划线网建设,基本形成“三环、四横、五纵、八放射”的城市轨道交通网。同时加密中心城区轨道交通线网,新规划、建设一批中心城区、重点功能区城市轨道交通线路,建成 8 号