



地铁结构安全保护 典型事故案例分析

DITIE JIEGOU ANQUAN BAOHU
DIANXING SHIGU ANLI FENXI

罗凤霞 史海欧 陈玉清 刘庭金 编著



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

地铁结构安全保护 典型事故案例分析

罗凤霞 史海欧 陈玉清 刘庭金 编著



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

地铁结构安全保护典型事故案例分析/罗凤霞等编著. —广州:华南理工大学出版社, 2015. 3

ISBN 978 - 7 - 5623 - 4534 - 3

I. ①地… II. ①罗… III. ①地下铁道 - 铁路工程 - 工程结构 - 结构安全度 - 案例
IV. ①U231

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 015844 号

地铁结构安全保护典型事故案例分析

罗凤霞 史海欧 陈玉清 刘庭金 编著

出 版 人: 韩中伟

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

<http://www.scutpress.com.cn> E-mail: scutcl3@scut.edu.cn

营销部电话: 020 - 87113487 87111048 (传真)

策划编辑: 赖淑华

责任编辑: 庄 彦

印 刷 者: 广州星河印刷有限公司

开 本: 787mm × 960mm 1/16 印张: 10.75 字数: 215 千

版 次: 2015 年 3 月第 1 版 2015 年 3 月第 1 次印刷

定 价: 49.00 元

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

编委会

编著单位：广州市地下铁道总公司

编 著：罗凤霞 史海欧 陈玉清 刘庭金

编 委：兰 闯 冯国健 胡国新 刘应山
夏志球

近年来，全国许多城市已进入轨道交通时代。城市轨道交通具有运量大、快速、准时、安全、资源节约、环境友好等优点，是解决城市交通问题、人口与土地资源问题的有效途径，是提升城市价值的重要举措。城市轨道交通的大规模建设和开通运营，深刻地影响着城市的发展和空间形态，极大地提升了城市轨道交通沿线土地资源的利用价值，促进了沿线土地资源及地下空间的开发利用。但是，城市轨道交通沿线高强度高密度的物业开发，也给城市轨道交通结构安全带来了隐患。

地铁主要为地下工程，一般呈线网状分布，空间封闭，加上地铁系统庞大、复杂，车辆穿梭频繁、快速，进出站台人员众多、拥挤，通风和疏散受限制。与地面交通工程相比，乘客的地下快速疏散和地下救援较为困难，潜在的事故风险大。一旦出现安全应急情况，将影响地铁的正常运营，严重影响广大市民的正常出行。

地铁结构安全是保障地铁运营安全的重要前提。然而，现阶段由于与地铁结构安全保护的相关法规、规定尚不完善，各城市地铁保护的经验和参差不齐，这也使得外部施工作业诱发地铁结构发生事故的情况时有发生，地铁结构安全保护的形势越来越严峻，严重地影响和制约了地铁的建设和安全运营。

结合多年来从事地铁结构安全保护的工作实践，通过整理部分地铁病害事故原因分析及病害治理等案例资料，并通过大量查阅相关资料，从中遴选出部分地铁结构安全保护典型事故案例进行分析，以期为今后有效地进行安全保护提供参考和借鉴。

本书的案例主要为地铁结构安全保护事故工程，部分案例的相关资料未曾公开发表过，且部分案例由于未参与病害事故的后续处理工作，故收集到的资料较为有限，主要依据地铁管理、设计、监理、监测、第三方安全评估等单位提供的相关素材编著而成，在此，对提供资料的相关人员深表感谢！

在本书编著过程中，得到了周书扬、夏文字、邹家南、蔡仁贤、唐欣薇、李根的鼎力协助，在此致以诚挚的感谢！

编著者
2015年1月

目录

第1章 绪论 / 1

- 1.1 地铁设施保护的重要性和迫切性 / 1
- 1.2 地铁设施保护的相关法规、规定 / 4
- 1.3 地铁结构保护的基本知识 / 5
- 1.4 地铁结构保护典型事故案例 / 9

第2章 某深基坑坍塌事故及重新开挖对邻近地铁隧道影响案例 / 11

- 2.1 坍塌前深基坑工程的基本情况 / 11
- 2.2 深基坑坍塌过程、事故处理及原因分析 / 15
- 2.3 地块重新开发的深基坑工程情况 / 18
- 2.4 深基坑施工对邻近地铁隧道的影响分析 / 24
- 2.5 地铁保护采取的主要措施 / 29
- 2.6 地铁保护的经验和事故教训 / 30

第3章 某桩锚支护深基坑施工诱发地铁盾构隧道病害事故案例 / 33

- 3.1 工程概况 / 33
- 3.2 盾构隧道主要病害情况 / 36
- 3.3 事故应急抢险处理措施 / 39
- 3.4 事故原因分析 / 41
- 3.5 盾构隧道结构安全计算分析 / 47
- 3.6 病害隧道结构加固措施 / 52
- 3.7 地铁保护经验及事故教训 / 52

第4章 某基坑施工诱发明挖箱型地铁隧道病害事故案例 / 55

- 4.1 工程概况 / 55
- 4.2 地铁隧道主要病害情况 / 62
- 4.3 事故主要原因分析 / 65
- 4.4 地铁运营安全初步分析 / 88
- 4.5 隧道结构安全分析 / 88
- 4.6 病害隧道内、外部治理措施 / 90
- 4.7 地铁保护经验及事故教训 / 93

第5章 基坑施工诱发地铁车站出入口病害事故案例 / 95

- 5.1 工程概况 / 95
- 5.2 A 出入口主要病害情况 / 100
- 5.3 诱发 A 出入口病害的主要原因分析 / 104
- 5.4 地铁保护经验及事故教训 / 115

第6章 软土地区某基坑施工诱发地铁盾构隧道病害事故案例 / 117

- 6.1 工程概况 / 117
- 6.2 盾构隧道主要病害情况 / 128
- 6.3 事故主要原因分析 / 130
- 6.4 C1—5 地块基坑施工诱发隧道位移的预测分析 / 132
- 6.5 盾构隧道钢支撑临时加固处理及加固效果分析 / 133
- 6.6 应急处理实施效果分析 / 134
- 6.7 地铁保护经验及事故教训 / 138

第7章 其他地铁保护典型事故案例简介 / 140

- 7.1 某地铁盾构隧道被违法勘探凿穿事故 / 140
- 7.2 某未运营地铁盾构隧道被 PHC 桩基击穿事故 / 142
- 7.3 某地铁隧道上方违规堆土导致盾构隧道病害事故 / 145
- 7.4 某浅埋矿山法隧道二衬开裂事故 / 148

第8章 总结 / 155

- 8.1 规划报建阶段和施工报建阶段 / 155
- 8.2 施工过程 / 157
- 8.3 应急处置 / 158
- 8.4 相关单位责任 / 158
- 8.5 结语 / 159

参考文献 / 161

第 1 章 绪 论

1.1 地铁设施保护的重要性的迫切性

近年来,随着城市化进程的加快,越来越多的城市开始修建地铁,鉴于地铁具有运量大、速度快、安全、准点、保护环境、节约能源和用地等优点,它也逐渐成为人们出行的首选。地铁的大规模开通运营有效地解决了城市交通问题、人口与土地资源等问题,也促使城市交通体系由传统的地面交通模式向地面、地下立体式交通模式进行转变。

截至 2013 年 12 月 31 日的统计结果显示,我国内地有北京、上海、广州、深圳、南京、天津、重庆、大连、沈阳、长春、成都、武汉、西安、佛山、苏州、杭州、昆明、哈尔滨、郑州等 19 个城市拥有了城市轨道交通,运营线路总里程达 2539 km。仅 2013 年一年,全国就新增运营城市 2 个(哈尔滨和郑州),新增的运营线路有 15 条,总里程达 395 km,如表 1-1 所示。

地铁的大规模建设和开通运营,深刻地影响着城市的发展和空间形态,极大地提升了地铁沿线土地资源的利用价值,促进了其土地资源及地下空间的开发利用。以广州为例,作为国家中心城市、中国的南大门,广州目前已开通一至六号线、八号线、APM 线、广佛线共 9 条线路,总里程达 260.5 km。根据广州市轨道交通建设规划,广州市政府力争到 2016 年再新建成开通 284 km 线路,届时累计开通里程将超过 500 km。图 1-1 为广州地铁运营线网。为了集中体现中国第三大城市的国际都市形象,将珠江新城 CBD 打造成为区域性总部经济和金融中心的核心区域。广州市政府对珠江新城进行了大规模的地下空间开发,地块下方已修建广州地铁 5 号线,并建立了珠江新城核心区市政交通项目旅客自动输送系统(APM 线)。图 1-2 为广州珠江新城地下空间开发效果图。

表 1-1 2013 年底中国内地城市轨道交通运营线路统计

单位: km

序号	城市及最早通车年份	线路名称	运营里程	总里程	序号	城市及最早通车年份	线路名称	运营里程	总里程
1	北京 1969	1 号线	31	465.4	4	天津 2003	1 号线	26.2	138.8
		2 号线	23				2 号线	22.7	
		4 号线	28.18				3 号线	29.7	
		5 号线	27.6				9 号线	52.25	
		6 号线	30.4				滨海有轨电车	7.9	
		8 号线	27.6		5	深圳 2004	罗宝线（1 号线）	40.8	178.6
		9 号线	16.5				蛇口线（2 号线）	35.75	
		10 号线	57.1				龙岗线（3 号线）	41.7	
		13 号线	40.9				龙华线（4 号线）	20.34	
		14 号线	12.4				环中线（5 号线）	40	
		15 号线	33		6	南京 2005	1 号线	44.54	81.6
		机场线	28				2 号线	37.01	
		八通线	19		7	重庆 2005	1 号线	37	169.9
		亦庄线	24				2 号线	19.2	
		大兴线	21.76				3 号线	56.1	
昌平线	21	8	长春 2002	6 号线	57.6	48.3			
房山线	24			3 号线	31.96				
2	上海 1995	4 号线	16.33	465.4	9	武汉 2004	1 号线	28.9	73.1
		2 号线	60.3				2 号线	27.73	
		3 号线	40.2		10	大连 2002	4 号线	16.5	86.9
		4 号线	33.8				3 号线	63.45	
		5 号线	16.6		11	沈阳 2010	有轨电车 201	10.8	114.6
		6 号线	32.7				有轨电车 202	12.6	
		7 号线	43.9				1 号线	27.926	
		8 号线	37				2 号线	27.143	
		9 号线	49.8				有轨电车 1 号线	12	
		10 号线	35.2				有轨电车 2 号线	15.1	
		11 号线	71.5				有轨电车 3 号线	11.3	
		12 号线	19				有轨电车 5 号线	21.1	
		13 号线	9.4		12	成都 2010	1 号线	18.5	115.2
		16 号线	52				2 号线	29.7	
		磁悬浮	29.9				成灌线	67	
3	广州 1999	张江有轨电车	9	245.5	13	佛山 2010	1 号线	14.8	14.8
		1 号线	18.5		14	西安 2011	1 号线	25.4	45.9
		2 号线	31.75				2 号线	20.5	
		3 号线	67.3		15	苏州 2012	1 号线	25.2	51.3
		4 号线	46.7				2 号线	26.1	
		5 号线	31.9		16	杭州 2012	1 号线	48	48
		6 号线	24.5				6 号线	18	
		8 号线	14.97		17	昆明	1、2 号线	22.14	40.1
		广佛线首通段	5.93				1 号线	17.5	
					18	哈尔滨 2013	1 号线	17.5	17.5
					19	郑州 2013	1 号线	26.2	26.2
合计		运营城市 19 个（新增 2 个），运营里程 2539 km（新增线路 15 条共 395 km）							



图 1-1 广州地铁运营线网



图 1-2 广州珠江新城地下空间开发效果图

然而,地铁沿线高强度、高密度的物业开发,给地铁的安全带来了隐患。邻近地铁的诸如基坑开挖、工程勘探及桩基础施工等外部作业可能会诱发地铁结构的内力发生改变并产生一定的位移,对地铁结构的安全产生不利影响。一旦地铁结构受外部作业影响发生安全应急情况时,势必会影响到地铁的日常运营,给广大市民的日常出行带来阻碍。情况严重时,甚至会产生重大的安全事故,导致群死群伤,造成严重的社会负面影响及重大的经济损失。

地铁设施的结构安全是保障地铁正常运营的重要前提,因此,如何有效地预防和控制沿线物业开发等外部活动给地铁结构带来的安全隐患,在地铁飞速发展的今天,就显得尤为重要和迫切。

1.2 地铁设施保护的相关法规、规定

为保护地铁设施的结构和运营安全,中华人民共和国建设部自2005年8月1日起颁布施行了《城市轨道交通运营管理办法》,中华人民共和国住房和城乡建设部自2014年3月1日起颁布施行了CJJ/T202—2013《城市轨道交通结构安全保护技术规范》。

开通运营轨道交通的各大城市也相继颁布了关于地铁设施保护的相关法规、规定等。如北京市人民政府自2009年6月16日起颁布施行了最新修订的《北京市城市轨道交通运营管理办法》,上海市人民政府自2014年1月1日起施行了最新修订的《上海市轨道交通管理条例》,广州市人民政府自2008年1月1日起也颁布施行了《广州市城市轨道交通管理条例》。表1-2为2002—2014年颁布的关于地铁设施保护的法规、规定汇总表,这些法规、规定的施行,一定程度上为地铁设施的安全保护工作奠定了重要的法律依据。

表1-2 2002—2014年颁布施行的关于地铁设施保护的法规、规定汇总表

适用区域	法规名称	颁布施行/最新修正年份
全国	城市轨道交通运营管理办法	2005
	城市轨道交通结构安全保护技术规范	2014
北京市	北京市城市轨道交通运营管理办法	2004/2009
	北京市轨道交通运营突发事件应急预案	2007
上海市	上海市轨道交通管理条例	2002/2014
	上海市轨道交通保护区暂行管理规定	2002/2006
	上海市轨道交通运营安全管理办法	2010
广州市	广州市城市轨道交通管理条例	2008

由于地铁具有建设造价昂贵、施工技术相对薄弱以及运营复杂且保护难度大等特点,在一定程度上阻碍了它的推广和发展。在内地,除首都北京地铁的历史较为久远以外,其他城市开通运营的时间都在 20 年以内。如上海地铁自 1995 年开通运营第一条线,距今仅有 19 年,而广州作为中国第三大城市,开通运营地铁的时间也只有 15 年。通过表 1-1 可以看出,在目前已开通运营地铁的城市里面,大部分城市的运营时间都不超过 10 年。这导致许多城市对于建设和保护地铁设施缺乏必要的技术力量和经验,给现阶段健全地铁设施保护的立法工作带来难度。表 1-2 关于地铁设施保护法规、规定的汇总表也说明了这一点。目前,除了北京、上海、广州等几个开通运营地铁时间较长的城市结合自身多年来在地铁保护方面的教训和经验,制定了较为详细的关于地铁设施保护的法规、规定外,大部分城市仍未有专门的关于地铁设施保护的法规正式出台,这也使得很多城市地铁保护的工作无法有效地推进,并陷入缺乏系统性法规、规定支撑的困境。

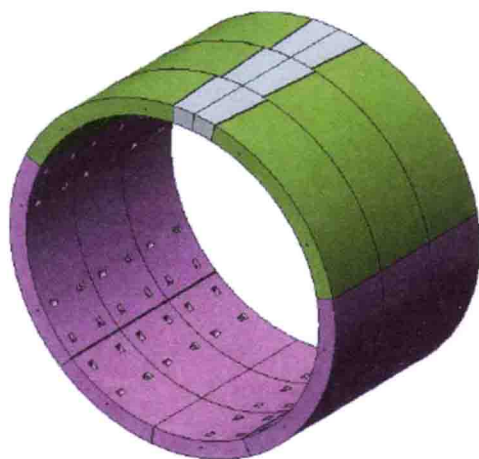
1.3 地铁结构保护的基本知识

为了针对地铁设施开展安全有效的保护,首先要明确需保护的地铁设施对象,其次要分析地铁控制保护区内的典型外部作业影响的类型及特点,最后根据相关流程开展具体的保护。

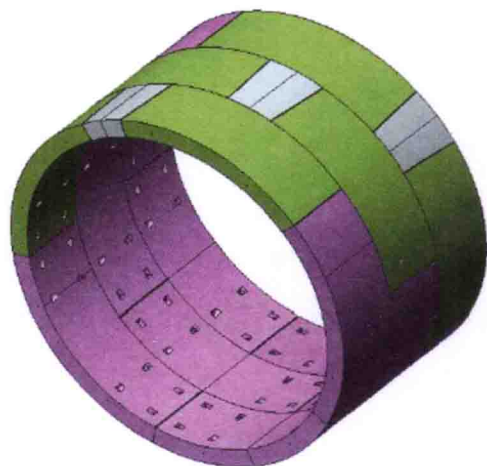
1.3.1 地铁设施

地铁设施包括城市轨道交通的路基、轨道、隧道、高架道路、车站、通风亭、车辆段及控制中心、站场、车辆、机电设备、供电系统、通信信号系统及其附属设施等。但考虑到邻近地铁设施外部作业时,地铁的隧道及车站结构等为直接受害主体,更易受到外部作业的不利影响,因此,本书研究的对象主要是地铁隧道和车站结构。其中,地铁隧道结构按照施工工法可分为盾构法隧道、矿山法隧道、明挖箱型隧道,地铁车站结构又可详分为地铁车站主体结构和地铁出入口、通风亭等附属结构。

盾构隧道是指采用盾构机掘进、预制钢筋混凝土管片拼装而成的隧道。以广州为例,大部分区间隧道采用盾构法修建。盾构隧道外径为 6.0m,内径为 5.4m,由 6 块预制钢筋混凝土管片通过螺栓连接而成,均采用错缝拼装。图 1-3 为错缝、通缝拼装的地铁盾构隧道三维效果图。受隧道断面形状、大小以及线路的工程地质条件等影响,广州地铁的部分区间隧道采用了矿山法修建。矿山法隧道一般采用复合式支护结构,常采用马蹄形断面形状。图 1-4 为典型的地铁隧道结构形式。



(a) 通缝拼装



(b) 错缝拼装

图 1-3 错缝、通缝拼装的地铁盾构隧道三维效果图



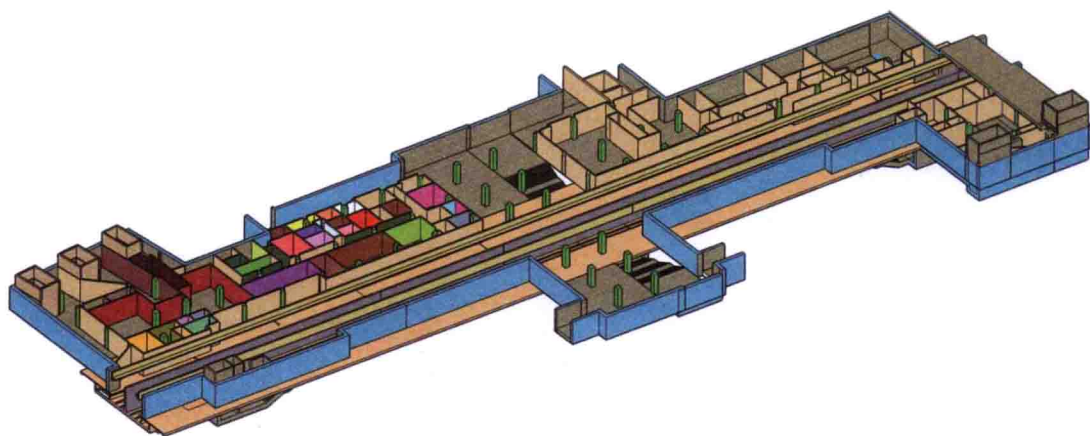
(a) 盾构隧道现场照片



(b) 矿山法隧道现场照片

图 1-4 典型的地铁隧道结构形式

广州地铁地下车站的结构形式新颖多样，主要修建方法为明挖现浇钢筋混凝土框架结构，也有部分地下车站采用暗挖法修建。其中最常见的地下车站为两层两跨钢筋混凝土结构形式。图 1-5 为单层明挖现浇、暗挖地铁车站结构的三维效果图。图 1-6 为某换乘地铁车站的三维效果图。



(a) 单层明挖现浇地铁车站结构



(b) 暗挖地铁车站结构

图 1-5 地铁车站的三维效果图

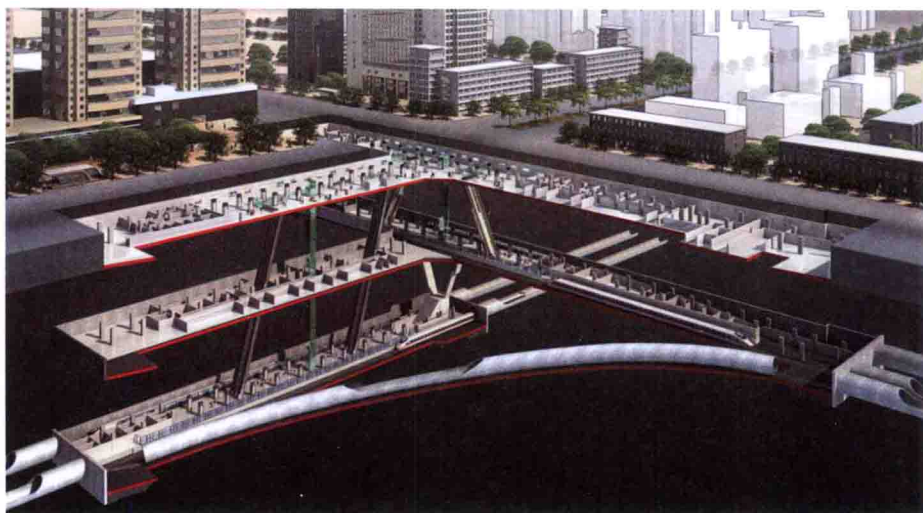


图 1-6 某换乘地铁车站的三维效果图

1.3.2 控制保护区

为保护城市轨道交通设施安全，重点就是管制可能对其产生影响的外部作业，需在其周边设置一定范围的控制保护区，CJJ/T202—2013《城市轨道交通结构安全保护技术规范》中规定具体范围包括：

(1) 地下车站与隧道结构外边线外侧 50 m 内，地下车站与隧道结构控制保护区效果图如图 1-7 所示；

(2) 地面和高架车站以及线路轨道结构外边线外侧 30 m 内，高架结构控制保护区示意图如图 1-8 所示；

(3) 出入口、通风亭、车辆段、控制中心等建筑物结构外边线外侧 10 m 内；

(4) 过江隧道结构外边线外侧 100 m 内。

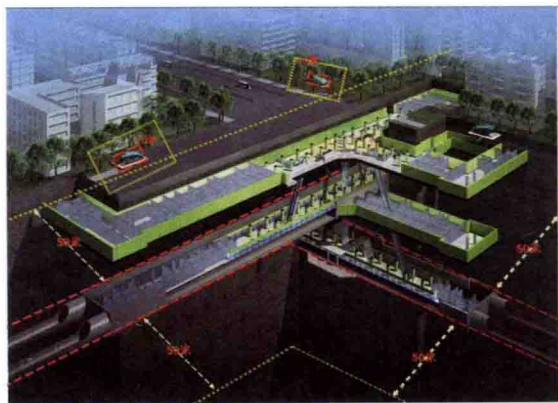


图 1-7 地下车站与隧道结构控制保护区效果图



图 1-8 高架结构控制保护区示意图

1.3.3 典型外部作业

控制保护区内的外部作业有多种不同的行为，如图 1-9 所示，各城市条例和管理办法中主要是针对有可能对城市轨道交通结构和运营安全产生不利影响的典型工程活动做出要求，建设部令 2005 年第 140 号中明确规定在控制保护区内进行下列作业应当制定安全保护方案：

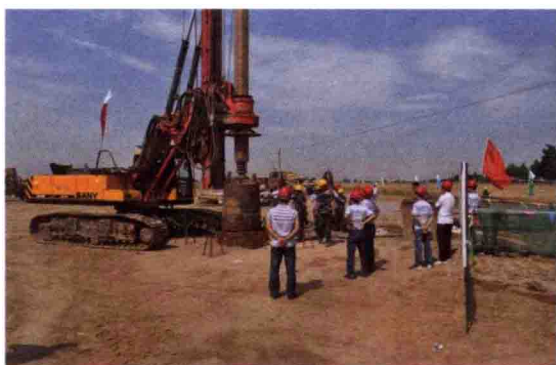
- (1) 新建、扩建、改建或者拆除建筑物、构筑物；
- (2) 敷设管线、挖掘、爆破、地基加固、打井；
- (3) 在过江隧道段挖沙、疏浚河道；
- (4) 其他大面积增加或减少载荷的活动。



(a) 基坑开挖



(b) 钻探工程



(c) 桩基施工



(d) 河道疏浚

图 1-9 部分典型的外部作业

《广州市城市轨道交通管理条例》在上述规定的基础上进一步明确典型的外部作业，包括：

- (1) 建造、拆卸建筑物；
- (2) 取土、地面堆载、基坑开挖、爆破、桩基础施工、顶进、灌浆、锚杆作业；
- (3) 修建塘堰、开挖河道水渠、采石挖沙、打井取水；
- (4) 敷设管线或者设置跨线等架空作业；
- (5) 在过江隧道段疏浚河道；
- (6) 工程勘探作业、地下管线作业；
- (7) 其他可能危及城市轨道交通设施的作业。

1.4 地铁结构保护典型案例

随着城市化进程的进一步加快，导致地铁结构周边的外部作业不可避免地日趋频繁。然而，现阶段由于地铁结构保护的相关法规、规定尚不完善，各城市关于地铁结构保护的

经验又参差不齐，这也使得外部作业诱发地铁结构发生事故的情况时有发生，地铁结构保护的形势越来越严峻，严重地影响和制约了地铁的建设和安全运营。

笔者结合多年来从事地铁结构安全保护的工作实践，通过整理部分参加处理过的地铁病害事故原因分析及病害治理等工程案例资料，并通过大量查阅相关的文献资料，从中遴选出部分地铁结构保护典型案例进行汇编分析，以期为今后安全有效地进行地铁结构保护提供参考和借鉴。