



“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

天津站交通枢纽 深大基坑工程安全监测

焦莹 董新平 编著



人民交通出版社
China Communications Press

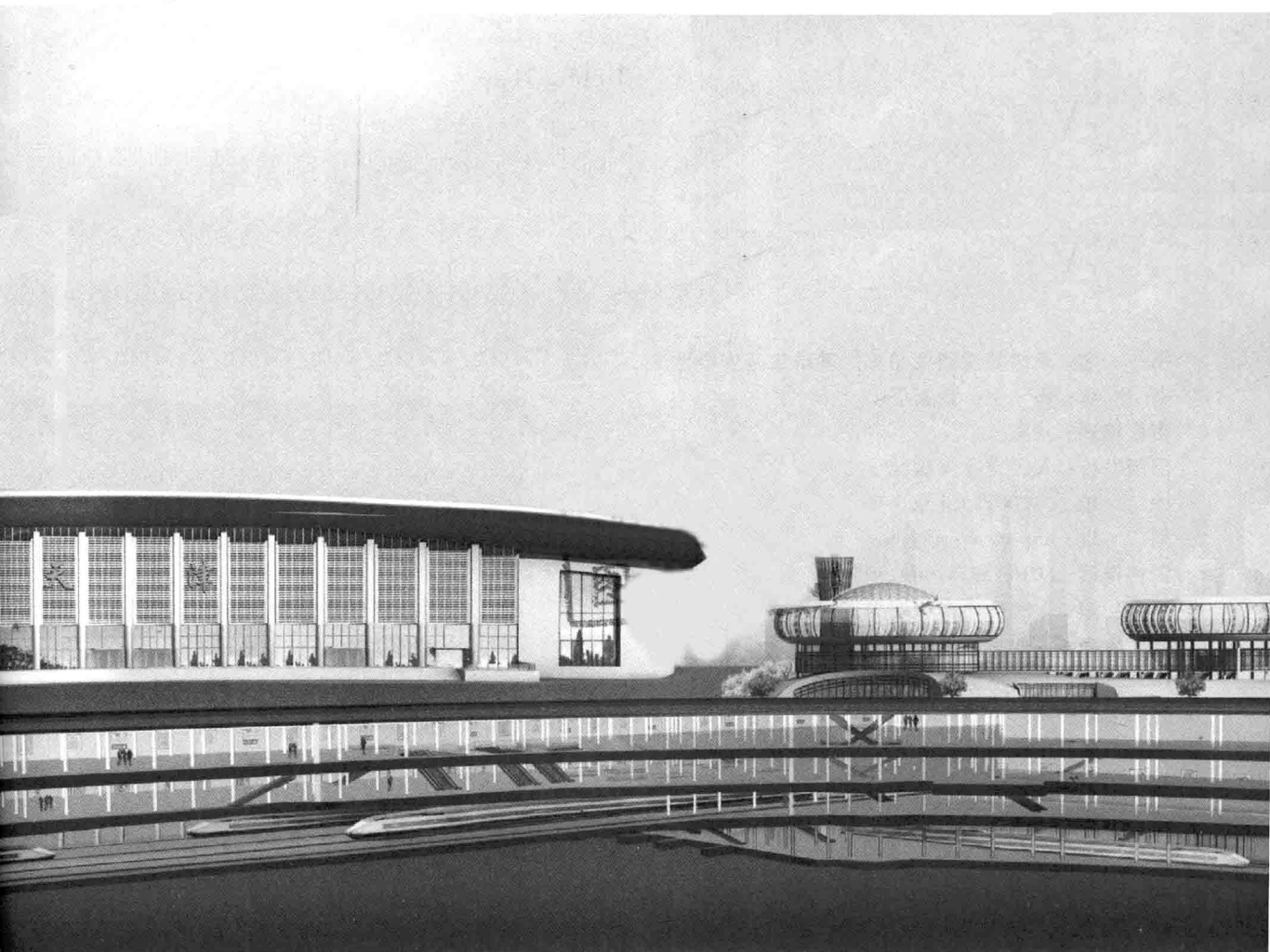


“十二五”国家重点图书出版规划项目

中国隧道及地下工程修建关键技术研究书系

天津站交通枢纽 深大基坑工程安全监测

焦莹 董新平 编著



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书以天津站交通枢纽工程的安全监控为背景和主线,以风险管理、事故预防作为工作思路,对复杂条件下超大深基坑工程的监测全过程进行了系统阐述,并结合本工程实施中的经验,提出了进行深大基坑安全监测的原则,以指导类似大型基坑工程的监测设计和实施。

本书不仅对从事监测工作的技术人员有重要的参考和指导作用,还对地下工程及建筑、市政工程的设计、施工、管理人员有实际借鉴作用。

图书在版编目(CIP)数据

天津站交通枢纽深大基坑工程安全监测/焦莹,董新平编著. —北京:人民交通出版社,2012.5

ISBN 978-7-114-08528-4

I. ①天… II. ①焦…②董… III. ①交通运输中心—
基坑—工程施工—安全管理—天津市 IV. ①U115②TU46

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 132927 号

书 名: 天津站交通枢纽深大基坑工程安全监测

著 作 者: 焦 莹 董新平

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.ccpress.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: 北京盛通印刷股份有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 18

字 数: 456 千

版 次: 2012 年 5 月 第 1 版

印 次: 2012 年 5 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-08528-4

定 价: 68.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

序

看到焦莹、董新平同志编写的《天津站交通枢纽深大基坑工程安全监测》一书的书稿后,我眼前一亮,监控量测是隧道及地下工程建设过程中验证设计参数和施工方案是否正确的眼睛,对于施工安全和工程质量都至关重要。目前国内专门针对市政及交通工程监测技术进行论述的著作不多,很需要这样的参考书,所以,这本书的出版非常及时,具有很大的参考价值。

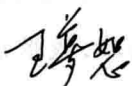
近些年来,国内外地铁基坑事故屡见报道,如2004年新加坡MRT环线地铁的基坑垮塌事故让世人震惊,而我国在近些年地铁建设大发展中,由于设计、施工、管理、不合理工期、不合理造价、不合理方案等诸多方面的原因,基坑建设中各种各样的事故频频发生,这些事故不仅直接导致人员伤亡、财产和经济损失、工程延期,也给建设各方、政府部门的声誉带来了损害。

为了减少失误和损害,一定要及时对工程各个方面进行总结,提炼出可供借鉴的理念、规律、方法和要点。本书作者结合天津站交通枢纽工程,把作为安全控制措施之一的监控量测作了较为深入系统的总结分析,具有很高的技术水平。干一项工程,出一本让后人可以借鉴的总结,培养一批人才,这是我们从事工程的责任。作者能在繁忙的科研工作之余及时写出这本专著的精神是应该表扬的。

天津站交通枢纽工程轨道换乘中心工程基坑面积近7万 m^2 ,总建筑面积17.56万 m^2 ,最大开挖深度32.5m,最大宽度125m,采用了明挖、盖挖、盖挖半逆作等方法施工,技术复杂,施工难度和风险很大。业主单位抓住了工程的关键,对监测进行了国内招标,并进行直接管理,采用了自动化远程监控系统的安全实时监测方案,在安全和质量控制方面取得了很好的效果和经验。

本书作者还收集了国内外近年来典型地铁基坑事故案例,对事故发生的原因进行了分析,并依据风险分析理论,对天津站交通枢纽安全监测进行了设计和实施,对所取得的一系列安全监控方面的成果进行了系统分析和阐述,提出了深大基坑安全监测的原则和要点。本书内容不仅对从事监测的技术人员有重要的参考和指导作用,同时,对于地下工程、建筑、市政工程的设计、施工、管理人员也有实际借鉴作用。

相信本书在以后的工程实践中能起到很好的指导作用,同时也希望作者能在以后的工程实践中不断总结,完善新技术、新经验,为祖国的工程建设作出新的贡献。

中国工程院院士 

2012 年 1 月

前 言

随着城市高层建筑、轨道交通和地下空间开发利用的不断发展,基坑工程的规模也得到迅速发展,特别是进入 21 世纪以来,伴随科学和技术的进步,基坑工程已开始向超大超深方向发展。一些轨道交通地铁车站和综合交通枢纽工程基坑开挖深度已超过 30m,且大多位于建筑密度大、人口密集的城市中心区,对基坑稳定、变形和环境影响的控制要求更严。在对基坑工程安全施工和技术发展提出更高挑战的同时,也迫切需要参建各方注重风险控制,研究制订切实可行的控制措施,探索、制定和完善相关的风险控制机制,并加大风险控制投入。

在深基坑监测领域,应用国内外最新风险理论研究成果,对典型基坑事故进行总结、分析,进而改进和完善监测设计与实施,具有重要的现实意义。本书就是以天津站交通枢纽工程的安全监控为背景和主线,以风险管理、事故预防作为工作思路,对复杂条件下超大深基坑工程的监测全过程进行了系统阐述,并结合本工程实施中的经验,提出了深大基坑安全监测的原则,以指导类似大型基坑工程的监测设计和实施。

本书主要包括以下内容:(1)为更具有可比性,收集了国内外地铁基坑事故的案例,分析基坑在常用支护形式下事故的主要破坏形态;(2)基坑风险管理及对监测工作的要求;(3)天津站交通枢纽工程基坑概况;(4)天津站交通枢纽工程基坑监测设计;(5)天津站交通枢纽工程基坑的安全监测实施和应用;(6)特殊深大基坑安全监测的原则。

本书由天津城投集团教授级高级工程师焦莹、董新平副教授编写,参加编写的主要人员还有鲍立楠、李竹、李颖、张文强、马召林、李明、黄桂兴、田巧焕、金淮、刘永勤、董雪、华福才等同志。

本书在编写过程中,得到了勘察、设计单位的大力支持,在此特别感谢铁道第三勘察设计院集团有限公司、北京城建勘测设计研究院有限责任公司、天津市市政工程设计研究院、上海长凯岩土工程有限公司等单位。

天津大学郑刚教授、中铁隧道集团技术中心李治国总工程师、北京城建勘测

设计研究院有限责任公司张建全博士分别审阅了本书,提出了宝贵的意见和建议,使本书增色不少,特此感谢。

由于目前深基坑工程特别是超深基坑安全监测研究领域尚处于起步阶段,又限于时间和水平,本书疏漏和错误之处难免,敬请读者提出批评和宝贵意见,以便今后进一步完善。

作 者

2011 年 12 月

目 录

1 绪论	1
1.1 深大基坑工程发展概况	2
1.2 深大基坑工程安全问题	3
1.3 深大基坑的安全监控现状	7
参考文献	9
2 深大基坑工程案例	11
2.1 南京地铁 1 号线新街口站	11
2.2 广州地铁 1 号线公园前站	14
2.3 北京轨道交通首都国际机场线东直门站	16
2.4 上海轨道交通 9 号线宜山路站	20
2.5 天津西站交通枢纽南广场工程	24
2.6 泰国曼谷地铁 Si Lom 站	29
参考文献	31
3 国内外地铁基坑工程事故	33
3.1 国外地铁基坑工程事故	33
3.2 国内地铁基坑工程事故	43
参考文献	66
4 基坑工程安全风险管	68
4.1 风险的概念	68
4.2 基坑工程项目特点	71
4.3 基坑工程项目风险管理	72
4.4 基坑工程项目风险识别	74
4.5 风险分级	76
4.6 风险估计	79
4.7 基坑工程项目风险评价	81
4.8 基坑工程项目风险控制	84
参考文献	92
5 天津站交通枢纽深大基坑工程	93
5.1 天津站交通枢纽工程概况	93
5.2 工程地质与水文地质	95
5.3 基坑工程	98
5.4 轨道换乘中心工程盖挖逆作法设计与施工	114
5.5 其他工程设计与施工	122
5.6 风险源辨识与分级	123

6	基坑工程安全监测设计	126
6.1	安全监测的目的及设计原则	126
6.2	监测内容和测点布设	127
6.3	监测方法及精度要求	139
6.4	安全监测控制基准	144
6.5	基坑工程安全预警与响应	154
	参考文献	155
7	远程自动化监控系统设计	156
7.1	国内外监测新技术应用综述	156
7.2	本工程采用远程自动化监控技术的必要性	162
7.3	远程自动化监控系统	163
7.4	监测数据采集及管理	167
	参考文献	168
8	轨道换乘中心基坑工程安全监测成果及应用	169
8.1	第1施工分区中柱隆沉	169
8.2	地下水位	196
8.3	土压力的实测研究	200
8.4	孔隙水压力	203
8.5	地下连续墙位移	203
8.6	坑外土体位移	208
8.7	支撑轴力	209
8.8	坑底土体回弹	212
8.9	建筑物(构筑物)沉降与倾斜	213
8.10	实测值与数值模拟结果对比	219
8.11	小结	227
9	主广场地下工程安全监测成果及应用	229
9.1	安全监测成果	229
9.2	三维模型数值计算与实测结果对比分析	235
10	五经路隧道基坑工程安全监测成果与应用	242
10.1	监测成果资料分析	242
10.2	基坑施工三维数值模拟与实测对比分析	250
10.3	小结	258
11	副广场地下工程安全监测成果及应用	260
11.1	监测成果资料分析	260
11.2	三维模拟与实测对比分析	268
11.3	小结	277
12	深大基坑工程安全监测体会与展望	278
12.1	体会	278
12.2	展望	279

1 绪 论

随着科学技术和人类文明的进步,农村人口大量向城市迁移,城市工业与经济的发展客观上也需要大量劳动力,导致城市人口激增。世界范围内,城市化进程的加快,给人类的生活带来了重大影响,自 1950 年以来世界城市人口的演变及预测情况如图 1-1 所示^[1],2009 年世界人口达到 68.3 亿,60 年内世界人口增长 270%,而城市人口增长高达 470%。根据预测,到 2050 年,世界城市人口将从 2009 年的 34 亿增长到 63 亿,城市化率达到 68.7%,届时世界城市人口总量将和 2004 年的世界人口总数相当。世界城市人口在不同规模城市地区的不均匀分布,使得在世界范围内部分城市的人口总数激增,如人口超过 1000 万的大都市(Megacity),1950 年全球有 2 个,1975 年为 3 个,2009 年则达到 21 个,预计 2025 年全球将达到 29 个。

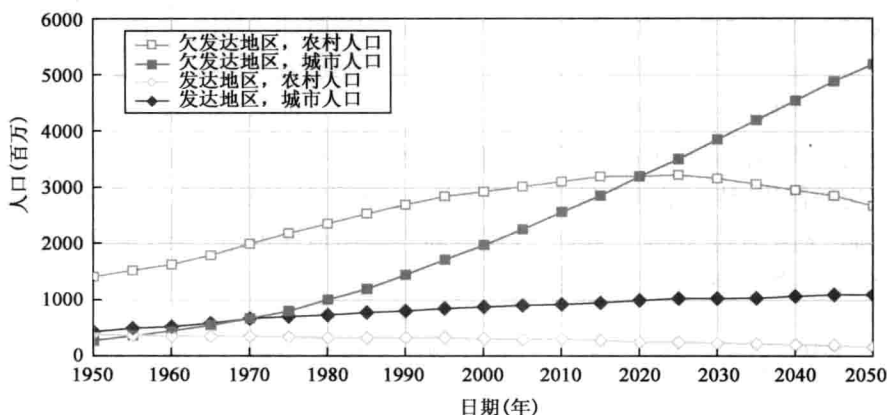


图 1-1 世界城市人口演变及预测

与此同时,城市规模迅速膨胀。城市人口激增和规模迅速膨胀,带来很多问题,如空间资源匮乏、交通拥挤、易遭受自然和人为灾难、环境问题突出(如景观恶化、绿地缺乏、空气污染、噪声)等,其中最突出和紧迫的是空间资源匮乏,城市大量人口的生产、生活、交通迫切需要大量的土地和空间,需求与供给矛盾非常突出。

以我国为例,我国改革开放后,城市化步伐显著加快。20 世纪 80 年代,城镇人口平均每年增加 1000 万人以上,到 90 年代又增长到 1500 万人以上。进入 21 世纪,城镇人口平均每年增长接近 2000 万人,规模进一步扩大。人口的增长意味着城市建设用地的增加。在 20 世纪 90 年代(1990~2000 年),全国城市建成区面积平均每年扩大 938km²,进入 21 世纪后(2000~2007 年),则平均每年扩大 1861km²^[2]。而对于我国而言,城市化进程任重道远,2009 年末,全国总人口为 13.3474 亿人,其中城镇人口为 6.2186 亿人^[3],预计 2050 年我国总人口为 16 亿,城镇人口将有 12 亿^[1],城市人口年增长 1410 万人,若按照现在的土地增长比例计算,到 2050 年我国对城市用地需求大约是 53792.2km²,若上海市区面积按照 800km² 计算,则相当于需要新建 68 个上海市。

城市土地资源的供需矛盾,决定了城市空间开发必须走立体式发展道路,极大地促进了世界范围内,城市高层建筑和地下空间的大规模开发。本书重点关注城市地下空间的开发。

1.1 深大基坑工程发展概况

城市地下空间开发主要用于地下综合管廊公共设施、地下交通体系、地下商业多功能综合体和平战结合地下人防工程等。国外几个城市中,地下空间利用情况如图 1-2 所示^[4];同时,对城市地下基础设施(简称 UII)按用途进行分类,不同类别所占比例情况如图 1-3 所示^[4]。

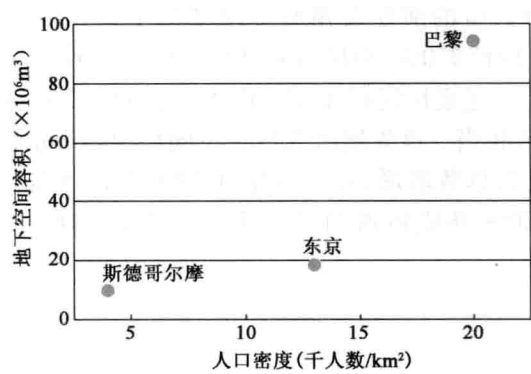


图 1-2 地下空间利用情况

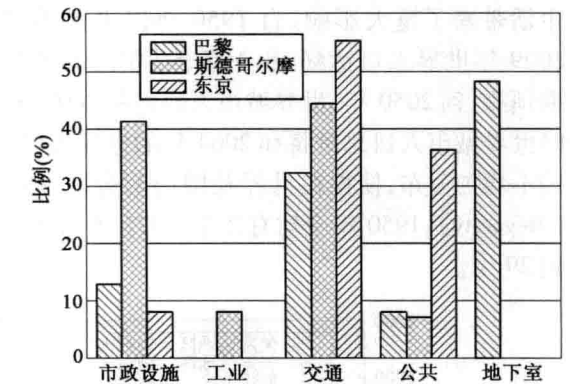


图 1-3 城市地下基础设施分类

轨道交通是当前世界范围内地下空间开发利用的主要用途之一,应用最广泛、投资最多的是城市地下交通网络,特别是地下铁道。且随着地铁网络的逐步形成,由于多数国家在地铁设计时一般遵循“先来后到”的设计原则,浅层空间为前期地铁占用,后续建设的地铁深度则越来越深,以东京为例,1934~2002 年地铁深度的演变情况如图 1-4 所示^[4]。

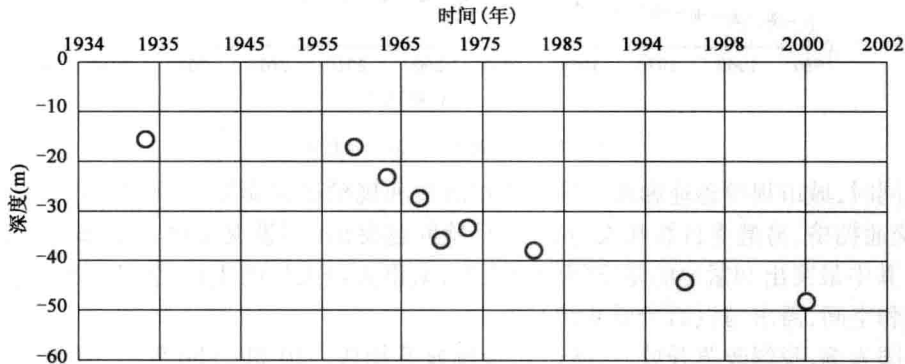


图 1-4 东京地铁深度演变

与地铁越挖越深对应的是地面建筑层数增多,高度增高,两者均意味着深基坑甚至超深基坑、极深基坑的涌现。同时,受规划功能复杂化和商业开发需要的驱动,基坑面积也越来越大,基坑工程朝大深度、大面积方向发展。

我国 20 世纪 80 年代末,高层建筑和地铁建设均较少,基坑深度大多在 15m 以内。自 20 世纪 90 年代初,高层建筑逐渐增多,90 年代中期后,以北京、上海、深圳、广州等为代表的城市,高层建筑如雨后春笋般开始大量建设,以地铁为代表的地下工程也已开始规模建设,基坑开挖深度逐渐接近 20m,少量超过 20m。20 世纪 90 年代末期以来,基坑开挖深度迅速增大至 30~40m。

以上海为例,超高层建筑的典型深大基坑有:

(1)1998 年竣工的金茂大厦(地上 88 层,地下 3 层,总高度 420.5m),基坑面积 $2 \times 10^4 \text{ m}^2$,塔楼的开挖深度 19.65m,裙房开挖深度 15.1m。

(2)2001 年竣工的恒隆广场(地上 66 层,地下 4 层,总高度 288m),基坑面积 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^2$,塔楼部分开挖深度 18.20m。

(3)2002 年竣工的外滩金融中心(地上 50 层,地下 3 层,总高度 198m)基坑面积 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^2$,基坑开挖深度 15.0m。

(4)2006 年竣工的长峰商城(地上 60 层,地下 4 层,总高度 238m),基坑面积 $2.2 \times 10^4 \text{ m}^2$,塔楼基坑开挖深度 22m(局部 24m)。

(5)2007 年竣工的上海环球金融中心(地上 101 层,地下 3 层,总高度 492m),塔楼区为直径 100m 的圆形基坑,面积约 $0.7855 \times 10^4 \text{ m}^2$,基坑大部分开挖深度 18.35m,电梯井、集水坑处基坑深 25.89m;裙房基坑开挖面积 $1.4613 \times 10^4 \text{ m}^2$,开挖深度 17.85m,局部达 19.85m。

(6)2008 年开工,预计 2014 年竣工的上海中心大厦(地上 121 层,地下 5 层,主楼建筑结构高度 580m,塔楼总高度 632m),基坑开挖深度 31.3m,基坑直径 121m。

早期建设的上海地铁 1、2 号线地下车站的基坑开挖深度一般为 14~23m,而随着上海地铁建设的高速发展,地铁不断向深度扩张。据 2006 年对在在建和拟建的 95 个地铁车站基坑进行统计^[5],车站标准段深度超过 15m 的占 92%,超过 20m 的占 31%;端头井超过 15m 的甚至达到了 100%,超过 20m 的占 35%。可见地铁车站基坑全部为深基坑,超深基坑超过 30% 以上,并出现了一些极深基坑,如:轨道交通 9 号线宜山路站,因需穿越已有的 3、4 号线,开挖深度达到 30.6m;上海地铁 4 号线董家渡修复工程基坑开挖深度接近 41m。

与上海类似,北京、天津、广州、深圳、香港、台北、高雄等城市在三维立体开发中,也相继涌现了大量深、大基坑工程,如:北京京城大厦地上 52 层,高度 183m,地下 4 层,基坑深 23.76m;台北 101 大厦高 508m,基坑开挖深度 21.7m,面积 $2.41 \times 10^4 \text{ m}^2$;高雄捷运大港浦车站圆形基坑深 27m,直径 140m。

目前,对基坑深度和规模的划分没有统一的分类标准,根据天津市工程地质与水文地质条件,本书采用的分类标准是:

基坑深度 15~20m,为深基坑;

基坑深度 20~30m,为超深基坑;

基坑深度大于 30m,为极深基坑。

本书中的深大基坑如不特别说明,一般是指基坑深度在 15m 以上,且基坑面积不小于 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^2$ 的基坑。

1.2 深大基坑工程安全问题

基坑工程具有受自然条件(工程地质、水文地质、气候等)和周围环境影响大、隐蔽工程质量控制难、技术综合性强等特点,一直以来事故率较高,1995 年前上海市基坑工程事故率为 20% 左右,深基坑工程的故事率全国为 10% 左右,软土地区可高达 30% 左右^[6]。近年来,城市轨道交通领域的基坑工程呈现出“深、大、近、紧、难、险”等突出特征(本书将在后续章节选取其中几个典型地铁车站基坑的设计、施工等情况予以说明),更是事故频发。

(1)深:开挖深度大,可达到 20m 甚至 30m 以上。

(2)大:规模越来越大,很多基坑面积超过 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。

(3)紧:工程场地紧凑,往往处于建筑密集区,有些地方紧贴建筑红线。

(4)近:基坑周边环境复杂,各种构筑物、地下管线、既有地铁隧道或地铁车站、高架道路等,对变形控制要求高。

(5)难:工程地质与水文地质复杂,不确定因素多,施工常面临新问题,充满挑战性;功能复杂,结构形式多样,施工方法变换多,技术难度大,工期压力大。

(6)险:事故多发,且后果严重,工程具有高风险性。

因此,深基坑工程成为一项高风险、高难度、高挑战性的岩土工程。

近些年,在地铁的大规模建设中,由于地质勘察不足、设计失误、施工缺陷、缺乏信息沟通、不可抗力等诸多方面原因,国内外在地铁基坑施工过程中出现了不少事故,轻则导致周边临近建筑物开裂、倾斜,路面沉陷,地下管线错位、断裂、爆炸,重则发生基坑垮塌、邻近建筑物倒塌等恶性事件。这些事故不仅导致重大经济损失和人员伤亡,延误工期,同时也产生了不良的社会影响。如:2001年8月20日,上海轨道交通4号线鲁班路车站基坑施工过程中,突然发生土方滑坡,造成4人死亡;2003年10月8日,北京地铁5号线崇文门车站发生临时钢管架体倒塌事故,正在地铁隧道里施工的3名工人死亡,另有1名工人受伤;2004年3月17日,广州地铁3号线大石车站发生塌方事故,1名正在清理杂物的工人被土方埋没,经抢救无效死亡;2004年4月20日,新加坡尼浩大道(Nicoll Highway)附近的地铁环线区间明挖基坑发生其有史以来最为严重的地铁施工事故,引起尼浩大道坍塌,造成4人死亡,另有3人受伤,坍塌路面长100m、宽150m;2004年5月29日,台湾高雄地铁施工发生透水、涌沙引起地层下陷的严重事故,地面出现坍塌,附近居民紧急疏散;2008年11月15日,杭州地铁1号线湘湖车站基坑发生垮塌,造成21人死亡,24人受伤,基坑附近100m道路塌陷,11辆汽车下沉陷落,附近河水倒灌入基坑。

笔者统计了近年来国内外地铁基坑工程事故87起,其中基坑失稳、破坏事故32起,对周边环境造成较大影响的事故42起,周边环境造成的事故4起,施工过程中因机械倒塌等原因导致人身伤亡的事故9起。部分较为典型事故的原因及分类见表1-1。

典型地铁车站基坑工程事故

表 1-1

城 市	时 间	工 程	事 故	原 因
新加坡	2004-4-20	环线明挖区间段	基坑垮塌	腰梁屈服破坏
韩国	2000-1-1	大邱地铁某车站	基坑垮塌	连续墙受力过大
巴西	2007-1-15	圣保罗地铁站	基坑垮塌	隧道塌方引起
高雄	2005-12-4	捷运中正路 07 车站	基坑坍塌	地层加固效果差
高雄	2004-8-9	捷运鼓山 01 车站	邻房下陷	围护墙渗漏水
高雄	2004-7-16	捷运中山一路、八德路口明挖隧道	路面下陷	连续墙接缝夹泥
杭州	2008-11-5	1 号线湘湖车站	基坑垮塌	支护体系破坏
杭州	2009-1-26	1 号线凤起路站	土体滑移	土体剪切破坏
上海	2001-8-20	4 号线鲁班路站	坑内滑坡	降水不到位
上海	1997-8-27	2 号线人民公园站	坑内滑坡	降水问题,土坡太陡
上海	2004-9-21	9 号线松江新城站	管涌	下水管破裂
北京	2005-11-31	10 号线熊猫环岛站	基坑坍塌	坑周堆载,降水问题
北京	2007-3-28	10 号线苏州街站	出入口塌方	地质勘察不明

续上表

城 市	时 间	工 程	事 故	原 因
北京	2006-6-26	4 号线宣武门站	坑内滑坡	土体加固效果差,降水不到位
深圳	2008-3-10	1 号线大新站	基坑大变形	支撑失稳,机械碰撞
深圳	2008-3-9	1 号线鲤鱼门—新安区间	基坑垮塌	围檩不按图施工
深圳	2010-8-1	5 号线宝安中心站 1 号风道	基坑塌方	连续墙变形过大
广州	2006-10-4	4 号线 10 标明挖段	基坑坍塌	机械碰撞,支撑脱落
广州	2004-4-1	3 号线沥胶站	基坑塌方	渗流破坏,降水问题
广州	2004-3-17	3 号线番禺大石站	坑内滑坡	降水不到位,土体加固问题
南京	2007-5-28	2 号线茶亭站	坑内滑坡	桩间渗水,降水问题
南京	2006-10-29	2 号线元通站	管涌	围护结构渗漏
南京	2006-12-24	2 号线集庆门大街站	突涌	降水井损坏
南京	2007-1-13	2 号线集庆门大街站	管涌	围护桩开叉
西安	2008-12-13	2 号线北大街站	被水淹	周边电力井出水

深基坑工程事故根据其主要特征,从宏观安全管理角度可分为以下四类:

第一类:支护体系整体稳定失去平衡或者承载能力丧失导致的整体或局部失稳、破坏;

第二类:支护体系及坑周土体变形过大;

第三类:周边环境的突发影响;

第四类:其他的偶然事故,如机械倾倒、触电、作业平台倒塌等引起的人员伤亡事故。

其中,第三类事故的发生是受周边环境,主要是各种地下水管线的影响,事故的发生非基坑工程本身的问题,所以应在基坑工程开始前,对地下管线的埋深、走向、用途、材质、管径、压力(水压)等进行详细调查并进行防范。第四类事故主要属于施工安全管理的范畴,主要表现为机械伤人、触电、坠落等,最大特征是有人员伤亡,该类事故应主要通过加强职工职业培训,提高安全防范意识,遵守安全规则,注意施工机械的检查、维修、保养等进行防范。第一、二事故类型是地铁基坑工程事故的主要表现形态。

1.2.1 基坑及坑周土体异常变形

基坑开挖中不可避免地引起不同程度的坑周土体应力释放和地下水流动,导致支护结构体系和坑周地层的位移,从而造成周围建(构)筑物、地下管道等建筑设施的变形,当变形过大时则可能使建筑设施发生开裂乃至破坏。因基坑及坑周土体异常变形导致的事故,不仅给施工企业造成巨大经济损失,而且威胁到周围居民的生命、财产安全,影响人们的正常生活,给社会带来严重的负面影响。该类事故的表现形式,主要包括以下四个方面:

- (1)邻近建(构)筑物的开裂、倾斜甚至倒塌;
- (2)基坑周边交通道路开裂、塌陷,交通中断;
- (3)基坑邻近地下管线断裂破损,使电力、通信、供水中断,煤气泄露、爆炸等;
- (4)使地下隧道(包括已建隧道和在建隧道)变形,管片产生裂缝、漏水甚至破损。

发生该类事故的主要原因可分为:

(1)基坑支护体系变形过大。开挖不合理、支撑施作不及时、地面大量超载、支护刚度不足等多种因素,可导致基坑发生异常变形,进而导致周边环境发生破坏,如图 1-5a)所示。

(2)基坑降水。基坑降水将不可避免地导致坑周土体局部地下水位下降,土体因失水固

结而产生沉降,同时,因降水漏斗效应以及地层的差异性将使坑周土体的沉降呈现出差异性,从而使得地表上方的建筑物或地层内部的构筑物(管线)随之呈现出均匀沉降。一般而言,与基坑或降水井越近则沉降越大,当不均匀沉降过大时,将导致基坑周围的建(构)筑物发生建筑或功能性的破坏。

(3)围护结构渗漏。在饱和含水地层,由于围护墙的止水效果不好或因连续墙接缝处夹泥、桩墙开叉、变形过大产生裂缝等缺陷导致局部渗水,致使大量的水夹带砂粒涌入基坑,严重的水土流失会造成如地面塌陷、房屋倾斜等情形,还可能在墙后形成洞穴后突然发生地面塌陷,如图 1-5b)所示。

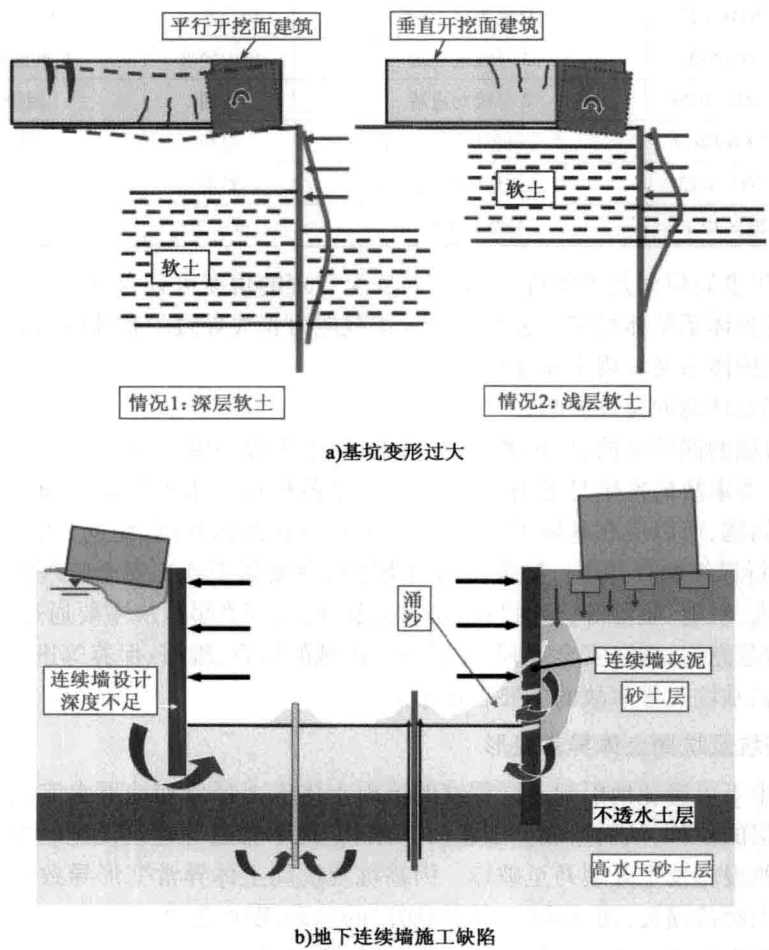


图 1-5 基坑周边建筑物灾害^[7]

1.2.2 基坑失稳与破坏

由于设计方面的过错或施工措施不当,常造成基坑的失稳破坏。基坑的失稳破坏,根据其形态可分为基坑稳定性破坏和强度破坏。

1) 基坑稳定性破坏

(1)整体失稳。软弱地层中,因地下连续墙入土深度不够或围护系统刚度原因使围护体系位移过大,导致基坑外土体产生大滑坡或塌方,致使基坑支护系统整体失稳破坏,如图 1-6a)所示。

(2)倾覆失稳。因基坑边堆载、重型施工机械行走等引起墙后土压力增加,或因设计抗倾覆安全系数不够,导致墙体倾覆垮塌,如图 1-6b)所示。

(3)踢脚破坏。由于支护体系支护刚度过小或被动区土体(强度破坏)失稳导致的踢脚破坏,如图 1-6c)所示。

(4)基坑底隆起。由于基坑围护结构入土深度不够,或由于基坑底部土体的抗剪强度较低等原因,导致墙体及附近土体整体滑移破坏、基底土体隆起,如图 1-6d)所示。

(5)流砂及突涌。在砂层或粉砂层中开挖基坑时,在不打井点或井点失效后,会产生冒水翻砂(管涌),严重时会导致基坑失稳。在隔水层中开挖基坑时,当基底以下承压含水层的水头压力冲破基坑底部土层,发生坑底突涌破坏,如图 1-6e)所示。

(6)坑内土体滑坡。在基坑内分区放坡挖土,由于坡度较陡、降雨或其他原因引起滑坡,甚至冲毁基坑内已经施工好的支撑及立柱,导致基坑破坏,如图 1-6f)所示。

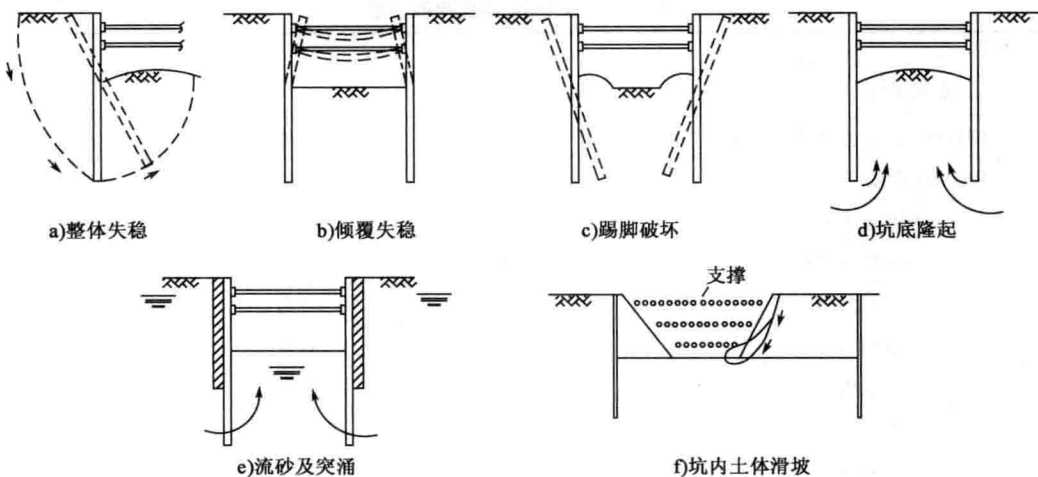


图 1-6 基坑失稳破坏形式

2)强度破坏

(1)支撑系统(支撑、围檩)强度不足或压屈。因支撑构件设计缺陷,或施工措施不当,致使构件受力过大失稳,并导致基坑支撑系统毁坏。

(2)墙体强度不足。由土压力引起的墙体应力过大,超过墙体的强度(抗剪强度、抗弯强度),导致墙体大裂缝或断裂而破坏。

1.3 深大基坑的安全监控现状

基坑工程作为一类岩土工程,也具有岩土工程的共性。由于地层分布的不均匀性、地层特性的多变性、结构—地层相互作用的复杂性、结构受力特性与施工过程的关联性等因素的影响,依靠计算来获得各阶段围护结构的受力以及安全状态,在目前是具有相当难度的,基本上是不可能实现的。因此,施工中通过埋设各类传感器,来获取结构的实际受力、变形等信息,进而推断其安全状态,即进行监控(monitoring and instrumentation),这是目前岩土工程界实际采用的途径。

一般而言,基坑工程监测主要服务于以下目的:

- (1) 了解基坑围护结构和周边构筑物的安全状态,服务于施工安全;
- (2) 了解围护结构的受力和变形规律,反馈设计,为修正设计计算模型和选择关键参数服务;
- (3) 作为研究手段,对特别的项目进行监控,服务于科研。

当前,监控量测对于基坑工程的重要性已为工程界所普遍认识,也是当前各国及地区普遍通过规范和规程强制实施的工程的一个重要环节和组成部分,其实施相对而言也更规范。以我国为例,国家和一些地区、城市在制定基坑勘察、设计、施工规范(规程)时,对监控量测的实施单位资质、监测项目选择、监测仪器等级、控制标准、监测频率等均有较明确规定,这些规范和规程的制定促进了监控工作在基坑工程中的普及和规范,如《建筑基坑工程监测技术规范》(GB 50497—2009)规定基坑工程的现场监测应采用仪器监测与巡视检查相结合的方法,对于仪器监测项目应根据表 1-2 进行选择。

建筑基坑工程仪器监测项目表

表 1-2

基坑类别 监测项目		一 级	二 级	三 级
围护墙(边坡)顶部水平位移		应测	应测	应测
围护墙(边坡)顶部竖向位移		应测	应测	应测
深层水平位移		应测	应测	应测
立柱竖向位移		应测	宜测	宜测
围护墙内力		宜测	可测	可测
支撑内力		应测	宜测	可测
立柱内力		可测	可测	可测
锚杆内力		应测	宜测	可测
土钉内力		宜测	可测	可测
坑底隆起(回弹)		宜测	可测	可测
围护墙侧向土压力		宜测	可测	可测
孔隙水压力		宜测	可测	可测
地下水位		应测	应测	应测
土体分层竖向位移		宜测	可测	可测
周边地表竖向位移		应测	应测	宜测
周边建筑	竖向位移	应测	应测	应测
	倾斜	应测	宜测	可测
	水平位移	应测	宜测	可测
周边建筑、地表裂缝		应测	应测	应测
周边管线变形		应测	应测	应测

注:基坑类别的划分按照现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》(GB 50202—2002)执行。

对于深基坑,尤其是安全等级较高的深基坑,监测工作是规范规定的必须的和强制性的工作之一。但目前,规范一般均没有明确区分监测的目的,以《建筑基坑工程监测技术规范》(GB 50497—2009)为例,规定开挖深度大于 5m 或者开挖深度小于 5m,但现场地质情况和周围环境较复杂的基坑工程以及其他需要监测的基坑工程应实施基坑工程监测,总则