



“十三五”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

地下工程安全风险 智能化监测与管控

朱瑶宏 张付林 何山 吴波

编著

Intelligent Monitoring and Control on
Safety & Risk
of Underground Works



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.



“十三五”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

地下工程安全风险 智能化监测与管控

朱瑶宏 张付林 何山 吴波 

Intelligent Monitoring and Control on
Safety & Risk
of Underground Works



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书结合地下工程技术特点和大量工程实例,详细介绍了地下工程安全风险智能化监测与管控的相关理论与技术方法。全书共分7章:第1章介绍了地下工程风险监测管控基本理论;第2章介绍了地下工程安全风险智能化监测技术;第3章介绍了地下工程安全风险管控大数据云计算技术;第4章介绍了地下工程安全风险管控仿真模拟技术;第5章介绍了地下工程智能化风险管控信息平台;第6章介绍了地下工程安全风险管控智能反馈技术;第7章介绍了地下工程安全风险智能化监测管控实例。

本书内容丰富、全面,突出学科交叉,反映前沿技术,密切联系实际,可供从事地下工程设计、施工、管理和科研人员使用,同时,可作为高等院校地下工程及相关专业的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

地下工程安全风险智能化监测与管控 / 朱瑶宏等编
著. — 北京:人民交通出版社股份有限公司, 2018. 1
ISBN 978-7-114-14406-6

I. ①地… II. ①朱… III. ①地下工程—工程施工—
安全管理 IV. ①TU94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 306128 号

中国隧道及地下工程修建关键技术研究书系

书 名: 地下工程安全风险智能化监测与管控

著 者: 朱瑶宏 张付林 何 山 吴 波

责任编辑: 王 霞 谢海龙

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

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)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

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: 21

字 数: 485 千

版 次: 2018 年 1 月 第 1 版

印 次: 2018 年 1 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-14406-6

定 价: 138.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

风险管理最早源于20世纪30年代的美国。近几十年来,随着世界经济的蓬勃发展,有关风险识别、风险评估和风险管理等在各行各业都有极其丰富的内涵。近年来,由于地下工程施工事故不断增多,对地铁工程的风险管理已经引起了国内业界同仁的普遍关注。在我国以城市地铁、大型地下空间等为代表的地下工程领域,风险管理的研究已经广泛涉及项目的前期规划、设计、施工、运营等各个阶段,无论是理论研究还是实践应用都取得了长足的进展。今见《地下工程安全风险智能化监测与管控》一书,不仅提出了一系列解决地下工程风险问题的对策和新技术,基于相关课题研究成果,以丰富、翔实的经验数据和资料对各种理论的科学性和各种方法的有效性做出考证和检验,对于促进该领域相关研究以及工程实践应用有重要意义。

首先,该书对各种类别地下工程风险监测管控的基本理论做了简扼的阐介;研发了一些新型智能化的风险监测管控方法;进而应用云计算、物联网、大数据等新兴技术,建立了智能化地下工程安全风险管理系统,使今天的地下工程的风险监测管控技术可逐步实现以信息化手段进行技术管理,这是该书的新贡献和新亮点。它对地下工程风险监测管控和预防预警,定将具有重要的实用和指导价值。

本书内容紧密结合地下工程技术特点和一系列工程实例,所自行研发的新型智能化风险监测管控系统,对提高地下工程风险监测的准确性和工作效率,提供了一种崭新的理论和办法,为工程安全施工建设提供了有力的技术保障。书中所研究的问题在理论上属于本门子学科前沿,研究成果十分丰硕,并在实际工程中获得了显著的技术效益和经济效益。该书是作者们多年来研究成果和宝贵实践经验的系统总结,将必然使广大读者深受助益,相信该书的出版将有助于推动我国地下工程技术的进步和发展。

以城市地铁、大型地下空间等为代表的地下工程受周边环境限制、不良地质条件与施工技术等因素影响,存在大量的工程建设安全风险。在目前地下工程建设高速发展的背景下,安全风险控制形势日趋严峻。因此,建立适合于国情的风险管理学科理论框架体系,推动地下工程风险管理应用最大程度的规范化、程序化和标准化,这是摆在工程风险管理的理论工作者和工程师

们面前的当务之急。

本书的出版,凝聚了作者团队创新发展的心血和智慧,仅此与广大工程技术人员共勉之,是为序。

中国科学院院士

孙 钧

2017年初冬佳日于上海

近年来,国家基础设施规模日益庞大,其中城市地下空间开拓,特别是轨道交通建设蓬勃发展,全国已有近四十个大中城市开展这项建设。此外,地下综合管廊、地下快速路、地下物流系统、地下仓库(地下油库)、地下车库、地下文化娱乐设施、地下商场等地下工程方兴未艾。

地下工程具有体量大、规模广、工艺难、工期长与投资大这五个特点,特别是对上、下及周边甚至较远与较深处的地质环境具有迅速不良的效应。采取工程措施不及时的话,还会产生灾害性的影响。地下空间开拓,涉及对水圈、大气圈、岩石圈的表层至深层,以及对生物圈的影响。当然,影响到岩土的量、质、水-气的流态和水-土、水-岩、水-生等作用。

地下空间开拓中,若对地质条件与环境的调查研究不够,必然会出现系列事故,所以,在规划初期,就需建立有关风险意识、风险机制。

2003年,上海地铁四号线产生大管涌与多栋地表建筑毁坏。当时结合其他地区地下空间开拓中出现的问题,我曾上书温家宝总理,强调地下空间开拓(地铁类)建设中,应加强统一规划、地质先行,并强调要有风险意识,建立风险施工与管理机制。

目前,在大数据计算、人工智能等技术大发展的背景下,研发新型智能化的风险监测管控技术,必将成为地下工程风险管控的重要方向和解决途径,以更好进行有关地质环境的评判与防治。

作者们长期从事地下工程实施和科研方面的工作,理论研究紧密联系工程实践,成绩斐然。结合本次承担的住房和城乡建设部有关科研项目,在开展有关理论研究和系列工程实践的基础上,进行深入总结而提炼其中精华内容,创写出内容丰硕的这本书,其中特别就地下工程风险监测管控的相关课题,进行了新的探索,并取得了可喜的成就。

本书另一特点在于紧密结合地下工程技术设施和工程实例,首先对地下工程风险监测管控基本理论做了简要的阐述,其次应用云计算、物联网、大数据等技术而研发了新型智能化元器件,进而总结建立系列智能化地下工程安全风险管理系统,使地下工程风险监测管控技术居于行业的制高点,这是该书所做出贡献的一个重要亮点,为提高地下工程风险监测的准确性和工作效率,提供了新的理论和方法。

本书所研究问题,在理论上属于学科前沿,更重要的是丰富的研究成果在实际工程中产生了显著的技术和经济效益。该书是著作者们的研究成果和宝贵实践经验的总结。相信该书的出版将受到读者欢迎,并有助于推动我国地下工程技术的进步。

城市地下空间开拓在我国蓬勃发展的同时,还将面临很多挑战,研究与实践的任务仍然艰巨,需要广大科技工作者继续努力研究和不断实践,争取更大的突破。特别是,在地下工程开拓与地质环境效应方面,我国的地下工程技术应得到更大的提升,不仅为实现伟大的中国梦贡献力量,还要在国际上产生积极引领效应。

谨此与作者们共勉之,是以为序。

中国工程院院士



2017年10月16日

国际隧道协会提出“大力开发地下空间,开始人类新穴居时代”的倡议得到了国际社会广泛的响应。世界各国都日益重视地下空间的开发与利用。地下空间利用是解决城市化进程所引起的人口爆炸、破坏性建设、资源短缺,以及越来越严重交通问题的有效途径,可以说地下空间的利用,已扩展到各个领域,带来了显著的社会和经济效益。进入21世纪以来,随着高层建筑不断向上部拓展,开发利用城市地下空间的步骤也进行得如火如荼,地下车库、高层建筑地下室、人防工程、地铁工程、地下商场及多种工业与民用等地下工程相继出现,作为一种重要的自然资源,三维城市空间已经开始被大量的开发和利用。

然而地下工程项目具有隐蔽性大、技术复杂、作业循环性强、建设工期长、作业空间有限等特点,而且动态施工过程中的力学状态是变化的,围岩的力学物理性质也在变化,在实施过程中存在着许多不确定的风险因素,使得地下工程成为一项高风险的工程项目。对于这些不确定的风险因素,如果未引起足够重视并进行科学管理就可能酿成重大灾害事故,造成重大损失。譬如,2003年7月,上海地铁某工程发生特大涌水事故,造成周围地区地面沉降严重,周围建筑物倾斜、倒塌,事故造成直接经济损失约1.5亿元人民币;2004年4月的新加坡地铁车站基坑塌方事故,造成4人死亡,紧邻道路下陷以及周围一些城市生命管道严重损毁;2006年1月,北京污水管线发生漏水断裂事故,污水灌入地铁正在施工的隧道区间,导致京广桥附近部分主辅路坍塌,造成了重大经济损失和恶劣的社会影响……从这些事故中,可以清晰地认识到地下工程建设中面临的巨大风险,亟须开展增强工程风险预防能力的风险监测技术和风险管理技术。

风险监测为保证工程安全提供了科学保障,为动态设计和反馈施工提供了可靠资料,在出现纠纷时为业主提供证据,同时,监测成果还深化了对岩土介质物理力学性质的认识,为促进地下工程理论发展和提高地下工程技术水平积累了丰富经验,是实现信息化施工的关键。

在实施国家大数据战略加快建设数字中国的新时期,工程监测风险信息对于解决大体量、长周期的建设项目所带来的工程风险管理难题有着更重要的意义,掌握丰富的动态信息能够提高工作效率,节约人工成本,加快企业和员工成长速度,帮助构建企业核心竞争力。因此,智

能化风险监测监控技术无论对单个企业还是整个监测行业的发展都非常重要,面临庞大的历史信息 and 不断更新的资讯,单依靠人力难以完成信息的整理分析,所以需要借助信息化技术、智能化技术来协助工程风险监测监控管理。

本书通过建立软土地区地下工程及周边环境监测大数据云计算技术,推动了新型监测技术和云计算技术在工程风险管控领域的探索和综合应用,为多工点数据集中管理提供了技术基础,利用人工报送、巡视信息、GIS 展现、监测曲线等多种手段相结合,形成物联网技术,为风险控制提供有力保障;同时完善了地下工程风险管理模型,与传统的管理方式相比,能更加有效防范施工风险。可以预见随着计算机和网络技术的发展以及今后智能化监测的进步,合理地利用图形监测技术将会大大提高工程监测效率并降低监测成本,并有效保障工程建设施工的安全。

本书结合宁波市轨道交通集团有限公司朱瑶宏牵头的住建部科研项目(2017-K4-018)的实施同步编写,由建设分公司张付林、何山、石雷具体分工组织;广西大学吴波和建设分公司何山负责统稿工作;全书由朱瑶宏负责审定。其中前言、第一章和第四章由广西大学吴波教授组织编写,蒙国往博士和研究生黄惟、赵勇博参与了编写。第二章由宁波市轨道交通集团有限公司建设分公司张付林和浙江华展工程研究设计院有限公司吴才德组织编写,江西飞尚科技有限公司(基础设施安全监测与评估国家地方联合工程研究中心)的刘国勇、孔禹、彭自强、骆成,福建汇川物联网技术科技股份有限公司的郑文、林升、潘志鸿,北京城建勘测设计研究院张建全、郑有常、曹宝宁,中电建华东院郭剑锋、赵焕,上海华测创实测控科技有限公司赵建周、姜建萍、薛甲山,深圳大铁检测装备技术有限公司周浩、王义、马传松、陈起金也共同参与了第二章部分编写工作。第三章由同济大学胡群芳组织编写,刘少飞、何山、邱波、熊欢欢参与编写。第五章由何山组织编写,北京城建勘测设计研究院王思锴、黄伏莲、郭士朋、钱峰编写“远程监控管理信息系统”,鲍春林、张雷、张力文、李军编写“自动化监测智能集成系统平台”;北京安捷吕培印、米保伟、林茂克、宋帅编写“隐患排查治理信息系统”;福建汇川郑文、林文及福州地铁陈开端参与编写“HMS 物联网远程大数据监管平台”。第六章由浙江华展工程研究设计院有限公司成怡冲、陈国芳、胡斌、谢长岭负责编写。第七章由华东勘测设计研究院陈文华、吴勇组织编写,钟聪达、黄江华参与编写。本书在编写过程中参考了大量的相关文献和有关研究成果,在此谨向这些文献和成果的作者致以真诚的感谢。

此外,还得到了同济大学白云、黄宏伟,福州地铁集团有限公司陈开端、广州地铁集团有限公司宋娱、佛山铁路投资建设集团有限公司周振华等专家学者的大力支持,在此一并表示感谢!

本书的出版还得到国家自然科学基金项目(NO. 51478118, NO. 51678164)、广西岩土与地下工程创新团队项目(2016GXNSFGA380008)、广西大学科研基金项目(XTZ160590)、广西特聘专家专项经费(20161103)的资助,在此深表感谢!

智能化监测与物联网大数据云计算技术正在改变人们的生活与生产实践理念,以本书为起点,随着相关研究的深入,智能化、物联网技术将极大推进地下工程风险管控技术的创新与变革。本书旨在抛砖引玉,由于时间仓促,一定存在诸多瑕疵,有待编著者与广大读者共同雕琢,希望再版时得以更正完善。

作 者

2017 年 12 月

第1章 地下工程安全风险监测管控基本理论	1
1.1 地下工程风险管理基本理论	1
1.2 地下工程监测的研究与应用	3
1.3 地下工程安全风险管控体系	6
第2章 地下工程安全风险智能化监测技术	18
2.1 光纤光栅自动化监测	19
2.2 光电式双向位移计自动化监测	23
2.3 分布式光纤自动化监测	26
2.4 三弦轴力计	28
2.5 坑底隆起监测新方法研究	35
2.6 3D 数字摄影测量监测技术应用	46
2.7 合成孔径雷达非接触自动化监测技术应用	53
2.8 三维激光扫描在隧道监测中的应用	59
2.9 远程视频测量系统在地铁监测中的应用	64
2.10 新型数字测斜仪	68
2.11 惯性导航系统在地铁轨道检测中应用	73
2.12 测量机器人自动化监测系统	78
2.13 围护结构变形控制与钢支撑伺服系统应用	84
2.14 其他	112
第3章 地下工程安全风险管控大数据云计算技术	113
3.1 大数据发展概况	113
3.2 地下工程监测主要指标和数据源	115

3.3	地下工程大数据分析理论与模型	123
3.4	地下工程中的云计算技术	130
3.5	地下工程大数据预报预警技术	134
第4章	地下工程安全风险管控仿真模拟技术	143
4.1	地下工程风险管控数值模拟基本理论	143
4.2	地下工程施工数值模拟技术	144
4.3	地下工程渗流—应力耦合分析	149
4.4	考虑时空效应的软土深基坑数值模拟	156
4.5	考虑承压水降水的深基坑施工变形数值模拟	163
4.6	地铁隧道下穿铁路施工数值模拟	182
第5章	地下工程安全风险智能化管控信息平台	190
5.1	城市轨道交通工程建设远程监控管理信息系统	191
5.2	自动化监测智能集成系统平台	204
5.3	隐患排查治理信息系统	215
5.4	HMS 物联网远程大数据监管平台	240
第6章	地下工程安全风险管控智能反馈技术	258
6.1	地下工程中的反分析简述	258
6.2	反分析中的智能算法	259
6.3	地下工程中的动态智能反馈分析实例	264
第7章	地下工程安全风险智能化监测管控实例	274
7.1	宁波轨道交通翠柏里站自动化监测实例	274
7.2	宁波地铁3号线高塘桥—句章路区间自动化监测实例	284
7.3	TJ3105 标明楼站车站基坑自动化监测实例	306
参考文献		319

第1章 地下工程安全风险监测管控基本理论

1.1 地下工程风险管理基本理论

1.1.1 地下工程风险及其特点

在地下工程中,风险是指事故发生的可能性(概率)及其损失(后果)的组合。事故,是指可能造成工程发生人员伤亡、伤害、职业病、设备或财产损失、环境影响、经济损失等的不利事件,也称为风险事件、风险事故。损失,是指工程建设中任何潜在的或外在的负面影响或不利的后果,包括人员伤亡、经济损失、环境影响、社会影响或其他等。

风险具有概率和后果的双重性,风险 R 可用不利事件发生概率 P 和后果或损失程度 C 的函数来表示,即:

$$R = f(P, C) \quad (1-1)$$

这一定义不仅确认风险是客观存在的,而且说明其大小也是可以科学度量的。根据定义可知,风险的存在与客观环境有关,与一定的时空条件有关,与人们对某一事件所抱的期望值有关。当这些情况发生变化时,风险也可能发生变化。地下工程风险的特征主要表现为:

1) 地下工程的复杂性

地下工程建设过程中要经历多次周边荷载、地下水情况、工况转变、降雨等不确定的因素,这些因素都影响着风险的发展,且互相影响,可能造成严重的后果。同时,地下工程包括多种专业施工,交叉作业,施工组织复杂且施工难度大。

2) 地下工程的时空效应

软土地区地下工程因其水文地质条件的不同,其工程风险表现出极大的差异性,特别是在宁波、杭州、上海等地淤泥质土层中,因其土层渗透系数较低,无法实现排水固结改良其力学性能,土层的蠕变效应极为明显,致使在基坑开挖中,支护结构完成前,围护结构持续变形,引起自身结构及周边环境的风险不断加大,体现出极强的时空效应特点,所以需要严格控制基坑土体开挖后的基坑支护体系的无支撑暴露时间,控制围护结构变形及周边土体的沉降。

3) 地下工程的环境敏感性

地下工程往往处于城市中心,周边建(构)筑物很多,地上交通系统和地下管道管线分布

复杂。地下工程基坑施工过程中若打破了原状土的平衡,改变了地下水的径流路径或者围护结构损坏都将导致周边土体发生变形,若变形过大就会产生各种环境问题。

4) 基坑支护体系的临时性

地下工程基坑支护工程往往是临时性工程,在建设中一旦资金投入不足或进度安排过紧忽视客观的规律和相关的工程规范的约束,将埋下重大的安全隐患,最终导致事故的发生。

5) 勘察设计的局限性

地下土层性质多变,水文地质条件复杂,但是目前的勘察技术水平还不能完全正确、全面地反映地下情况,随之给基坑的设计也带来了影响,不能提供准确的土质参数。而目前基坑的设计本身处于半经验半理论的状态,对基坑稳定性等计算理论和方法系统的研究还不完善,难以保证其结果的准确性。

1.1.2 地下工程风险管理的内容

1) 制订风险管理计划

工程风险管理计划是工程风险管理组织进行风险管理的重要工具,是全部风险管理过程的基础环节。施工阶段的风险管理应针对工程特点、设计阶段风险评估成果、施工水平,在对风险进行再识别、再评估的基础上等制订风险管理计划。风险管理计划中明确相关人员及组织机构,制订计划和策略,确定风险评估对象及目标、风险等级标准和接受准则,收集基本资料,提出风险识别和评价方法等。制订风险管理计划应包括下列内容:①确定风险目标、原则和策略;②规定相关报告的内容及格式;③提出阶段性工作目标、范围、方法与评估标准;④明确工程参与各方的职责;⑤组织开展各方自身与相互之间的风险管理及协调工作。

2) 风险辨识

风险管理的第二步是风险辨识。工程风险辨识就是明确风险辨识对象,选取适当的风险辨识方法,按照一定原则辨识出工程施工环节中可能存在的风险,哪些风险可能影响项目的进展,并记录每个风险因素所具有的特点。风险辨识是一个连续的过程。项目建设是一个发展的过程,情况在不断地变化,风险因素当然也就不会一成不变,即使某工程进行了一次大规模的风险识别工作,但在一段时间后,旧的风险可能消失或减少,新的风险可能出现,因此,风险识别是持续不断的。

3) 风险估计

在辨识出工程存在的主要风险后,接下来需要进行工程风险估计,对识别出来的风险尽可能量化,估算风险事件发生的概率,估计风险后果的大小,确定各风险因素的大小,对风险出现的时间和影响范围进行确认。或者说,风险估计是对个别风险因素及其影响进行量化并以此为基础形成风险清单。衡量工程风险时,可以采用模糊评估方法,根据风险属性将其定级,以不同的风险级别区分风险大小。风险因素的发生概率估计分为主观和客观两种。客观的风险估计以历史数据和资料为依据;主观的风险估计无历史数据和资料可参考,而凭借人的经验和判断力。一般情况下,这两种估计都要做。

4) 风险评价

风险评价就是对各风险事件的后果进行评价,并确定不同风险的严重程度顺序,重点是综合考虑各种风险因素对项目总体目标的影响。确定对风险应该采取何种应对措施,同时也要

评价各种处理措施可能需要花费的成本,也就是综合考虑风险成本效益。风险评价方法有定性和定量两种。进行风险评价时,还要提出防止、减少、转移或消除风险损失的初步办法,并将其列入风险管理阶段要进一步考虑的各种方法之中。在实践中,风险识别、风险估计、风险评价绝非互不相关,而常常是互相重叠,需要反复交替进行。

5) 风险处理

在明确了工程所有存在的风险,并估计和评价了风险损失对项目目标的影响程度之后,应该采取一定的风险处置对策来避免风险的发生或减少风险造成的损失。处置工程风险的方法有风险接受、风险减轻、风险转移、风险规避。根据工程风险环境的不同,每类工程风险处置方法中的具体处置措施是不同的,工程风险安排方案也是不同的。

6) 风险监控

风险因素以及风险管理的过程并非一成不变,随着工程项目的进展和相关措施的实施,影响项目目标的各种因素都会发生变化,只有适时地对风险的变化进行跟踪,才可能发现新的风险因素,并及时对风险管理计划和措施进行修改和完善。

1.1.3 地下工程风险管理流程

工程风险管理内容根据不同建设阶段分步实施。隧道安全风险管理与过程包括:风险界定或风险计划、风险识别、风险分析、风险评价、风险控制等。风险管理技术部分可以归结为主要由风险识别、风险评估、风险控制三大部分组成,具体关系见图 1-1。

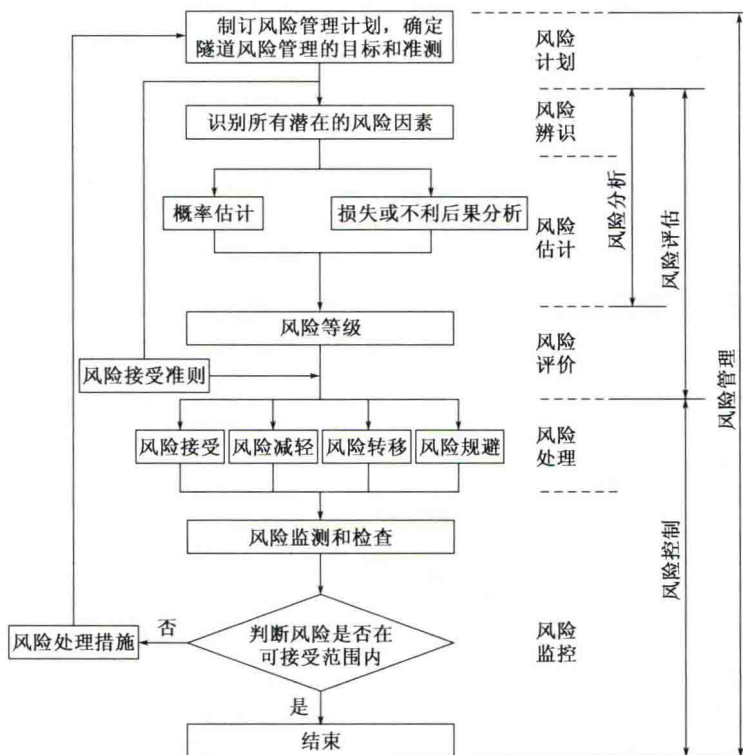


图 1-1 地下工程风险管理流程

1.2 地下工程监测的研究与应用

监测可以理解为监视、测定、监控等,具体是指长时间的对同一事物进行实时监视而掌握它的变化。监测广泛应用于生产生活的各个方面,如大家常见的水质监测、医学胎儿发育监测、地质灾害监测等。

工程监测是指采用仪器量测、现场巡查或远程视频监控等手段和方法,长期、连续地采集或收集反映工程施工、运营线路结构,以及周边环境对象的安全状态、变化特征及其发展趋势的信息,并进行分析、反馈的活动。

地下工程监测是近年来工程监测的重要领域。由于地下工程施工技术复杂,事故频发,因此在施工过程中必须进行监测。在地下工程施工期间对地下工程主体结构及周边环境进行监测,预警并防范过大位移、变形与工程事故的发生,地下工程因其复杂性,还需要对地质、水文进行密切监测。通过地下工程监测掌握周围边坡施工和使用过程状况,了解地下工程支护结构受力状况及其变形情况,为优化和修正设计提供可靠依据,达到动态设计与信息化施工的目的。地下工程监测也是地下工程结构长期安全运营维护的重要技术保障之一。

1.2.1 地下工程监测的基本内容

地下工程监测对象的选择应在满足工程支护结构安全和周边环境保护要求的条件下,针对不同的施工方法,根据地下工程支护结构设计方案、周围土体及周边环境条件综合确定。因此,监测的内容应该包括以下内容:

- (1) 基坑工程中的支护桩(墙)、立柱、支撑、锚杆、土钉等结构。
- (2) 盾构法隧道工程中的管片等支护结构,以及矿山法隧道工程中的初期支护、临时支护、二次衬砌等。
- (3) 地下工程周围岩体、土体、地下水及地表。
- (4) 地下工程周边建(构)筑物、地下管线、高速公路、城市道路、桥梁、既有轨道交通及其他城市基础设施等环境。

1.2.2 地下工程监测监控的基本方法

地下工程监测方法的选择应综合考虑各种因素。如工程类别不同,对工程及周边环境安全要求不同,相应的监测要求也不同;设计会根据工程类别和特点对监测方法提出相应的要求;而场地条件可能会适合或限制某种监测方法的应用;当地经验情况可能使某些监测方法更容易接受;监测方法对气候、环境等(宜调查当地的气象情况,记录雨水、气温、热带风暴、洪水等情况,监测自然环境条件对基坑的影响程度)的适应性也有所差别。综合考虑这些因素后选择的监测无疑具有更好的科学性、可行性和合理性。监测方法合理进行有利于适应施工现场条件的变化和施工进度要求。



根据《城市轨道交通工程监测技术规范》(GB 50911—2013),地下工程监测的基本方法如下:

1) 水平位移监测

测定特定方向的水平位移宜采用小角法、方向线偏移法、视准线法、投点法、激光准直法等大地测量法。当监测点与基准点无法通视或距离较远时,可采用全球定位系统(GPS)测量法或三角、三边、边角测量与基准线法相结合的综合测量方法。

2) 竖向位移监测

竖向位移监测可采用几何水平监测、电子测距三角高程测量、静力水准测量等方法。

3) 深层水平位移监测

支护桩(墙)体和土体的深层水平位移监测,宜在支护桩(墙)体或土体中预埋测斜管,采用测斜仪观测各深度处的水平位移。深层水平位移监测前,宜采用清水将测斜管内冲刷干净,并采用模拟探头进行试孔检查。

4) 土体分层竖向位移监测

土体分层竖向位移监测可埋设磁环分层沉降标,采用分层沉降仪进行监测;也可埋设深层沉降标,采用水准测量方法进行测量。采用磁环分层沉降标监测时,应对磁环距管口深度采用进程和回程两次观测,并取得进、回程读数的平均数,每次监测时均应测定分层沉降管管口高程的变化,然后换算得到分层沉降管外各磁环的高程。

5) 倾斜监测

倾斜监测应根据现场观测条件和要求,选用投点法、垂准法、倾斜仪法或差异沉降法等观测方法。

投点法应采用全站仪或经纬仪瞄准上部观测点,在底部观测点安置水平读数尺直接读取偏移量,正、倒镜各观测一次取平均值,并根据上、下观测点高度计算倾斜度。

垂准法应在下部测点安装光学垂准仪、激光垂准仪或经纬仪、全站仪加弯管目镜法,在顶部测点安置收靶,在靶上读取或量取水位置移量与位移方向。

倾斜仪法可采用水管式、水平摆、气泡或电子倾斜仪等进行观测,倾斜仪应具备连续读数、自动记录和数字传输功能。

差异沉降法应采用水准方法测量沉降差,经换算求得倾斜度和倾斜方向。

6) 裂缝监测

建(构)筑物、桥梁、既有隧道结构等的裂缝监测宜采用裂缝观测仪进行测度,也可在裂缝两侧贴、埋标志,采用千分尺或游标卡尺等直接测量,或采用裂缝计、粘贴安装千分表及摄影量测等方法监测裂缝宽度。

7) 净空收敛监测

矿山法初期支护结构和盾构法管片结构的净空收敛可采用收敛计、全站仪或红外激光测距仪进行监测。

8) 爆破震动监测

爆破震动监测系统由速度传感器或加速传感器、数据采集仪及数据分析软件组成,速度传