



高等学校土建类专业**应用型本科**“十三五”规划教材
高等学校土建类专业**“互联网+”**创新教材

地下工程监测方法与检测技术.....

DIXIA GONGCHENG JIANCE FANGFA YU JIANCE JISHU ▶

主编 李晓乐 郎秋玲



武汉理工大学出版社
WUTP Wuhan University of Technology Press

高等学校土建类专业应用型本科“十三五”规划教材
高等学校土建类专业“互联网+”创新教材

地下工程监测方法与检测技术

主 编 李晓乐 郎秋玲
副主编 黄 非 王 伟

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

内 容 提 要

本书为高等学校土建类专业应用型本科系列教材之一,以培养学生能够全面了解和掌握地下工程监测和检测的基本知识和基本理论为目标,旨在提高学生从事地下工程监测与检测的基本技能,服务于地下工程实践。全书共分11章,包括2个部分,其中监测的基础理论、地下工程的监测仪器、地下工程监测项目及监测点布置、地下工程监测项目的实施方法、地下工程监测的信息反馈技术、地下工程现场监测的组织与施工为监测方法部分,地下工程常规检测技术、声波检测技术、地下工程的无损检测技术、模型试验为检测技术部分。

本书可作为高等学校土木工程专业、城市地下工程专业、地质工程专业及其他相关专业的教材或参考书,也可供从事地下工程研究、设计和施工的相关专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

地下工程监测方法与检测技术/李晓乐,郎秋玲主编. —武汉:武汉理工大学出版社, 2018. 11

ISBN 978-7-5629-5553-5

I. ①地… II. ①李… ②郎… III. ①地下工程测量-高等学校-教材 IV. ①TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 188261 号

项目负责人:王利永(027-87106428)

责任编辑:张明华

责任校对:陈 平

封面设计:博壹臻远

出版发行:武汉理工大学出版社

社 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮 编:430070

网 址:<http://www.wutp.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:湖北恒泰印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:15.25

字 数:380 千字

版 次:2018 年 11 月第 1 版

印 次:2018 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1—2000 册

定 价:38.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87391631 87664138 87785758 87165708(传真)

· 版权所有 盗版必究 ·

高等学校土建类专业应用型本科“十三五”规划教材

编 审 委 员 会

顾 问:马成松 江义声 杜月中 孟高头 郑 毅 唐友尧 熊丹安

主 任:李新福 杨学忠

副 主 任:(按姓氏笔画排列)

王 琳	刘 鹏	向惠生	许立强	许程洁	张伯平	张志国
张秀成	杨子江	杨和礼	沈建增	苏宝胜	邹建奇	陈升平
陈礼和	陈宜虎	陈俊杰	陈 蓓	姚金星	姜 袁	柳立生
胡铁明	荀 勇	袁海庆	黄开平	蒋沧如		

委 员:(按姓氏笔画排列)

牛秀艳	王 伟	王有凯	王晓琴	邓 训	史兆琼	宁文峰
刘广杰	刘 伟	刘 江	刘红霞	刘 芳	刘莉莎	刘富勤
刘 斌	刘黎虹	吕丽平	孙 艳	毕 艳	许汉明	吴秀丽
宋 平	宋非非	张 敏	张淑华	张朝新	张端丹	张耀东
李永信	李武生	杜文学	杜春海	杨双全	沈中友	苏 卿
邹祖绪	陈华菊	陈金洪	周文昉	周 燕	罗 章	郎秋玲
施鲁莎	柯于锴	胡忠君	赵元勤	赵 亮	赵 峰	徐中秋
徐 珍	贾 贞	高成梁	高 洁	黄 非	彭 第	程 瑶
董晓琳	韩东男	熊海滢	熊瑞生	赫桂梅		

总责任编辑:于应魁

秘 书 长:王利永

地下工程监测方法与检测技术是一门实践性很强的工程应用型专业类课程。随着地下工程设计理论和施工技术的发展,在获得地下工程设计的基本数据、进行设计方案的试验论证以及施工过程的监测和监控中,测试、监测与检测越来越成为地下工程设计和施工的关键和必需环节,因而,地下工程测试、监测和检测的基本方法和技术在地下工程专业方向的知识结构中显得越来越重要。

地下工程专业监测和检测的重要性,主要在于地下工程设计、施工的复杂性和特殊性。地下工程的建造程序有别于一般地面工程建筑遵循的“勘察—设计—施工”的流程,在施工完成以前,地下工程的计算模型和输入参数都是变化的,因而,地下工程的设计与施工普遍采用科学化的经验方法与工程实际密切结合的信息化监控设计施工方法。它是把地下工程开挖后周围岩土和支护系统力学性态的变化作为判断其稳定性和可靠性的依据,把施工监测所获得的信息加以处理,与工程的经验方法相结合,建立一些必要的判别准则,利用量测结果及时地调整、确定支护参数并做出施工决策。由此可见,监测和检测在这个过程中起着极其重要的“眼睛”作用。

编写本书的目的是使学生在熟悉和掌握地下工程基本的测试原理和技术的基础上,提高监测技能和试验研究能力,增强试验设计和监测、检测方案制定的实际动手能力。本书分监测方法和检测技术两大部分,前者主要阐述地下工程监测的基本概念、原理和方法,后者则重点介绍检测技术的基本原理和操作。本书结合现行国家规范编写,紧密结合工程实际,突出应用性,可作为高等学校土木工程专业、城市地下工程专业、地质工程专业及其他相关专业的教材或参考书,也可供从事地下工程研究、设计和施工的相关专业人员参考。

本书除配套有多媒体教学课件外,正文部分还依托互联网技术手段,配有视频、动画等数字教学资源,扫描书中二维码即可演示,便于学生对课堂相关专业知识的学习和理解。

本书由长春工程学院、长春建筑学院、长春科技学院、廊坊师范学院教师联合编写。其中长春建筑学院李晓乐、长春工程学院郎秋玲担任主编,长春工程学院黄非、王伟担任副主编,长春科技学院郑莲婧、廊坊师范学院冷毅飞参编。具体编写分工如下:第1章、第2章由黄非编写,第3章、第4章由王伟编写,第5章、第6章由李晓乐编写,第7章由郑莲婧编写,第8章、第9章、第10章由郎秋玲编写,第11章由冷毅飞编写。全书由郎秋玲、黄非负责统稿。

由于各所高校地下工程专业对该门课程的要求各有侧重,也没有统一的教学大纲,本书在深度和广度两方面不一定都能满足各所高校对该门课程的要求。书中难免存在缺点和错误,敬请广大读者、同行和专家批评指正。

编 者

2018年2月

1 绪论	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 地下工程特点与施工方法	(1)
1.2.1 地下工程特点	(1)
1.2.2 主要施工方法	(2)
1.3 监测和检测的必要性及其目的	(3)
1.3.1 监测和检测的必要性	(3)
1.3.2 监测和检测的目的	(3)
1.4 国内外研究现状	(4)
1.4.1 国内外的监测新技术	(4)
1.4.2 当前存在的问题及发展方向	(5)
1.5 本课程的特点	(6)
2 监测的基础理论	(7)
2.1 测试系统的组成及其主要性能指标	(7)
2.1.1 测试系统的组成	(7)
2.1.2 测试系统的主要性能指标	(8)
2.2 线性系统及其主要性质	(10)
2.2.1 测试系统与线性系统	(10)
2.2.2 线性系统的主要特性	(10)
2.3 测试系统的静态传递特性及其主要参数	(11)
2.3.1 静态方程和标定曲线	(11)
2.3.2 测试系统的主要静态特性参数	(12)
2.4 测试系统的动态传递特性及其测定	(13)
2.4.1 测试系统的动态传递特性	(13)
2.4.2 系统在典型输入下的动态响应	(18)
2.4.3 测试系统实现信号不失真传递的条件	(19)
2.4.4 测试系统的负载效应	(20)
2.4.5 测试系统特性参数的测定方法	(21)
2.5 测试系统选择的原则	(23)
本章小结	(25)
3 地下工程的监测仪器	(26)
3.1 监测仪器	(26)
3.1.1 经纬仪	(26)
3.1.2 水准仪	(27)

3.1.3	全站仪	(27)
3.1.4	收敛仪	(28)
3.1.5	测斜仪	(28)
3.1.6	分层沉降仪	(29)
3.1.7	多点位移计	(29)
3.1.8	电阻应变仪	(29)
3.1.9	钢弦频率接收仪	(30)
3.1.10	水位计	(30)
3.1.11	爆破振动监测仪	(31)
3.2	监测传感器	(31)
3.2.1	钢筋计	(31)
3.2.2	土压力计	(32)
3.2.3	孔隙水压力计	(32)
3.2.4	轴力计	(33)
3.2.5	混凝土应力计	(33)
3.2.6	应变计	(33)
3.2.7	锚杆测力计	(34)
3.2.8	爆破振动速度传感器	(34)
	本章小结	(35)
4	地下工程监测项目及监测点布置	(36)
4.1	一般规定	(36)
4.2	地下工程主要监测项目	(36)
4.2.1	基坑及支护结构的主要监测项目	(36)
4.2.2	钻爆法的主要监测项目	(42)
4.2.3	盾构法的主要监测项目	(44)
4.3	监测控制基准的确定	(45)
4.3.1	控制基准确定的基本原则	(45)
4.3.2	地表沉降控制基准的确定	(45)
	本章小结	(49)
5	地下工程监测项目的实施方法	(50)
5.1	常规项目的监测方法	(50)
5.1.1	地表沉降监测	(50)
5.1.2	支护体系水平位移监测	(52)
5.1.3	支撑轴力监测	(53)
5.1.4	支护结构的钢筋应力监测	(54)
5.1.5	支护结构的混凝土应变监测	(56)
5.1.6	土压力的监测	(57)
5.1.7	孔隙水压力的监测	(58)
5.1.8	地下水位监测	(60)
5.1.9	围护结构水平位移监测	(61)

5.1.10	深层土体位移监测	(63)
5.1.11	地下管线变形监测	(65)
5.1.12	拱顶下沉监测	(66)
5.1.13	净空收敛监测	(67)
5.1.14	爆破振动监测	(68)
5.1.15	地质状况观察和素描	(71)
5.2	地下工程的远程监测系统	(71)
5.2.1	近景摄影测量系统	(71)
5.2.2	多通道无线遥测系统	(73)
5.2.3	光纤监测系统	(74)
5.2.4	自动全站仪非接触监测系统	(75)
5.2.5	巴赛特(Bassett)结构收敛系统	(77)
5.2.6	轨道变形监测系统	(77)
5.3	光纤传感系统	(77)
5.3.1	系统简介	(77)
5.3.2	光纤系统组成	(78)
5.3.3	工作原理	(78)
5.3.4	光纤传感器的埋设	(80)
	本章小结	(82)
6	地下工程监测的信息反馈技术	(85)
6.1	信息反馈的目的及内容	(85)
6.1.1	信息反馈的目的	(85)
6.1.2	信息反馈的内容	(85)
6.2	监测数据的处理方法	(86)
6.2.1	散点图与回归分析法	(86)
6.2.2	位移监测数据分析中常用的回归函数	(88)
6.3	信息反馈	(90)
6.3.1	监测反馈的程序	(90)
6.3.2	收敛约束法	(91)
6.3.3	参数控制法	(91)
6.3.4	工程类比法	(93)
6.3.5	有限元法	(95)
6.3.6	反分析法	(97)
6.4	稳定围岩与支护结构的技术措施	(100)
6.4.1	钻爆法施工的围岩与支护结构稳定技术措施	(100)
6.4.2	盾构法施工时围岩与支护结构的稳定措施	(105)
6.4.3	明挖法施工时地层与围护结构的稳定措施	(109)
	本章小结	(111)
7	地下工程现场监测的组织与施工	(112)
7.1	监测方案的编制	(112)

7.1.1	监测方案编制原则	(112)
7.1.2	编制监测方案的基础资料	(112)
7.2	监测的组织与实施	(114)
7.2.1	监测前期准备	(114)
7.2.2	监测项目和工作流程	(115)
7.3	监测资料的整理与分析	(119)
7.3.1	监测资料的搜集和整理	(119)
7.3.2	地下工程监测资料的分析方法	(119)
7.3.3	监测数据的分析与反馈	(120)
7.4	测量误差分析与数据处理	(121)
7.4.1	概述	(121)
7.4.2	测量误差及其分类	(121)
7.4.3	单随机变量的数据处理	(123)
7.4.4	多变量的数据处理	(127)
	本章小结	(129)
8	地下工程常规检测技术	(131)
8.1	载荷试验	(131)
8.1.1	浅层平板载荷试验	(131)
8.1.2	深层平板载荷试验	(136)
8.2	静力触探试验	(139)
8.2.1	试验目的	(140)
8.2.2	试验基本原理	(140)
8.2.3	试验设备	(140)
8.2.4	静力触探试验的技术要求	(142)
8.2.5	静力触探试验的成果及应用	(142)
8.3	圆锥动力触探试验	(149)
8.3.1	试验目的	(149)
8.3.2	试验基本原理	(149)
8.3.3	试验设备	(149)
8.3.4	圆锥动力触探试验的技术要求	(150)
8.3.5	圆锥动力触探试验的成果及应用	(150)
8.4	标准贯入试验	(153)
8.4.1	试验目的	(153)
8.4.2	试验基本原理	(153)
8.4.3	试验设备	(153)
8.4.4	试验的技术要求	(154)
8.4.5	影响因素及其校正	(155)
8.4.6	标准贯入试验的成果及应用	(155)
8.5	十字板剪切试验	(161)
8.5.1	试验目的	(161)

8.5.2	试验基本原理	(161)
8.5.3	十字板剪切试验设备	(162)
8.5.4	试验的技术要求	(163)
8.5.5	试验成果及应用	(163)
8.6	旁压试验	(164)
8.6.1	试验目的	(164)
8.6.2	试验基本原理	(164)
8.6.3	旁压试验的设备	(165)
8.6.4	试验技术要求	(166)
8.6.5	试验成果及其应用	(166)
	本章小结	(167)
9	声波检测技术	(169)
9.1	概述	(169)
9.2	声发射技术	(169)
9.2.1	基本原理	(169)
9.2.2	声发射检测仪	(170)
9.2.3	地音仪	(171)
9.2.4	岩音频度与岩性的关系	(172)
9.2.5	岩体破坏程度与岩音频度的关系	(172)
9.2.6	岩音定位简介	(173)
9.2.7	发射技术在工程中的应用	(175)
9.3	声波测试技术	(177)
9.3.1	基本原理	(177)
9.3.2	声波的激发方式	(178)
9.3.3	声波测试设备	(179)
9.3.4	声波测试的工作方式	(181)
9.3.5	声波测试中应注意的几个问题	(183)
9.3.6	声波(弹性波)在岩体中的传播规律	(184)
9.3.7	声波测试在岩体工程中的应用	(185)
	本章小结	(189)
10	地下工程的无损检测技术	(191)
10.1	概论	(191)
10.2	回弹法检测	(191)
10.2.1	基本原理与标定	(191)
10.2.2	回弹值的量测	(192)
10.2.3	碳化深度值的测量	(193)
10.2.4	混凝土强度评定	(193)
10.2.5	评定报告和有关表格	(194)
10.3	超声波检测	(195)
10.3.1	超声波检测仪	(195)

10.3.2	回弹值量测	(195)
10.3.3	测区声速值计算	(196)
10.3.4	混凝土强度评定	(196)
10.4	超声回弹综合检测	(196)
10.4.1	测试仪器	(197)
10.4.2	回弹值的测量与计算	(197)
10.4.3	声速的测量与计算	(197)
10.4.4	测区混凝土强度换算值	(197)
10.4.5	结构或构件的混凝土强度推定值	(197)
10.5	地质雷达检测技术	(198)
10.5.1	地质雷达原理及特点	(198)
10.5.2	地质雷达仪器及其发展	(198)
10.5.3	地质雷达数据采集的最优化分析	(199)
	本章小结	(203)
11	模型试验	(205)
11.1	相似理论	(205)
11.1.1	相似及相似条件	(205)
11.1.2	量纲分析法(π 定律)	(209)
11.1.3	单值条件	(210)
11.2	相似材料模型试验	(210)
11.2.1	相似材料	(210)
11.2.2	物理相似及相似比的选择	(211)
11.2.3	荷载的模拟和加载系统	(212)
11.2.4	量测系统	(213)
11.2.5	相似材料模型试验实例	(213)
11.3	结构模型试验	(217)
11.3.1	结构模型试验原理	(217)
11.3.2	结构模型试验实例	(218)
11.4	离心模型试验	(221)
11.4.1	原理	(221)
11.4.2	试验	(221)
11.5	光弹性模型试验	(223)
11.5.1	原理	(223)
11.5.2	试验	(225)
	本章小结	(229)
	参考文献	(230)

数字资源目录

(1)经纬仪的认识与使用·····	26
(2)水准仪的使用·····	27
(3)测斜仪操作·····	28
(4)电阻应变测量系统介绍及静态应变测试仪使用说明·····	29
(5)围护结构水平位移(测斜)监测·····	38
(6)基坑坡顶水平位移全站仪坐标法监测·····	38
(7)地表沉降监测·····	45
(8)地表沉降监测点——成孔取芯·····	45
(9)静力触探试验·····	140
(10)现场标准贯入度实验 SPT·····	153
(11)标准贯入试验·····	154
(12)一体式数显回弹仪安装方法·····	191
(13)回弹仪保养方法·····	191
(14)回弹法检测混凝土强度操作·····	193
(15)混凝土强度缺陷检测操作·····	196
(16)地质雷达在隧道检测中的应用·····	203

1 绪 论

1.1 概 述

与地面建筑相比,地下构筑物处于岩土介质之中,使得其在变形特性、物理组构、初始应力场分布、温度和水侵蚀效应等众多方面具有明显的非均质性、离散性、非连续性和非线性特点,致使地下建筑在施工、使用阶段表现出相当独特和复杂的力学特征,其变形规律和受力特点很难以纯理论的方法、按一般封闭解的形式予以描述并获得令人满意的解答和结果。借助于现代计算机技术,数值模拟方法具有考虑各种复杂因素、描述材料非线性和几何非线性等特点,突破了经典弹塑性理论有关介质与材料连续、均质、各向同性和小变性等假定的限制,使得分析方法及其成果更加贴近工程实际。然而,由于数值方法在介质力学模型建立、材料参数确定等方面所存在的困难和问题,其分析成果在工程上的应用还有待于在实践中积累经验,其中通过将分析结果与实测数据进行对照校验是促使该计算手段日益成熟与可靠的重要途径。

在地下工程领域,监测方法和检测技术不仅对计算理论,而且对整个工程施工技术水平产生了巨大和深刻的影响。20 世纪 60 年代,首先在工程界,然后在学术界开展了以地下硐室开挖支护过程中,洞壁围岩收敛-位移量测为基础,以反分析为导向的新奥法隧道施工新技术的研究和实践,在铁道、公路、水利水电、煤炭、采矿等领域取得了成功。新奥法以局部的和实时的量测信息作为依据,通过力学分析计算确定结构和岩土介质的物理参数、所满足的本构方程,以及地层初始地应力分布,在此基础上对全局的和后期的变形及受力进行预测和估算。这里,将原先需要求算的诸如洞周围岩收敛-位移等作为输入参数,而本应该作为计算前提条件的材料参数和边界条件(初始的应力场分布等)则作为计算所谋求的结果。再正视地下工程及其周围介质复杂性和多样性,进而更多地通过工程实测数据获得准确信息,从而有针对性地提出隧洞支护方案方面,新奥法和反分析方法的思路更为清晰和明确,以致它们迅速成为地下工程计算理论和施工实践中的重要分支,在当代大型岩土工程建设中发挥着重要的作用。由于来自施工现场的量测数据中包含应力场、结构与地层相互作用等,因此具有相当的准确性,这对于认识和把握地下结构这种特殊和复杂的工程的规律性是必要的,也是可行的。与此同时,工程的顺利开展对现场量测的准确性和精确度则提出更高的要求。从此意义上说,现场量测已经远远超出原来一般工程勘察的含义和覆盖范围,而成为工程设计和施工的一部分。

1.2 地下工程特点与施工方法

1.2.1 地下工程特点

随着社会的发展,人类面临日益突出的居住、交通、环境等与有限土地资源之间的矛盾,为

解决上述矛盾,国际上提出“21 世纪是人类开发利用地下空间的时代”。特别是城市地区,随着人口急剧膨胀,居住困难、交通阻塞、环境恶化,开发利用地下空间、发展地下交通系统是城市面临的主要课题之一。

随着我国经济实力不断增强,城市现代化程度不断提高,城市规模不断扩大,城市人口越来越多,交通更加拥堵,为提高土地的空间利用率,交通线路由地面转入地下是大势所趋,各大城市纷纷在筹建城市地铁工程。同时为了利用有限土地资源,大力发展城市地下管廊、地下停车场、地下商场等地下工程,大力发展地下空间。

归纳起来,城市地下工程具有以下几个特点:

- (1)地质条件差,地层条件复杂多变,具有复杂性与不确定性,因此对地下工程设计合理性进行理论分析比较困难,受工程地质和水文地质等条件影响较大,通常施工难度比较大;
- (2)周边环境复杂;
- (3)结构埋深浅,与邻近结构相互影响;
- (4)围岩稳定性难于判断。

特别是城市地下工程施工引发的周边环境问题,如地表下沉、建筑物倾斜、影响道路交通乃至地下管线正常运作等。因此,如何不引发周边环境问题是选择施工方法的重要考虑因素之一。

1.2.2 主要施工方法

随着技术的进步和科技的不断发展,地下工程的施工方法越来越丰富,根据地质条件、周边环境条件、机械设备配备情况,地下工程施工方法一般可分为三大类,即明挖法、暗挖法和沉管法,具体分类见图 1.1。

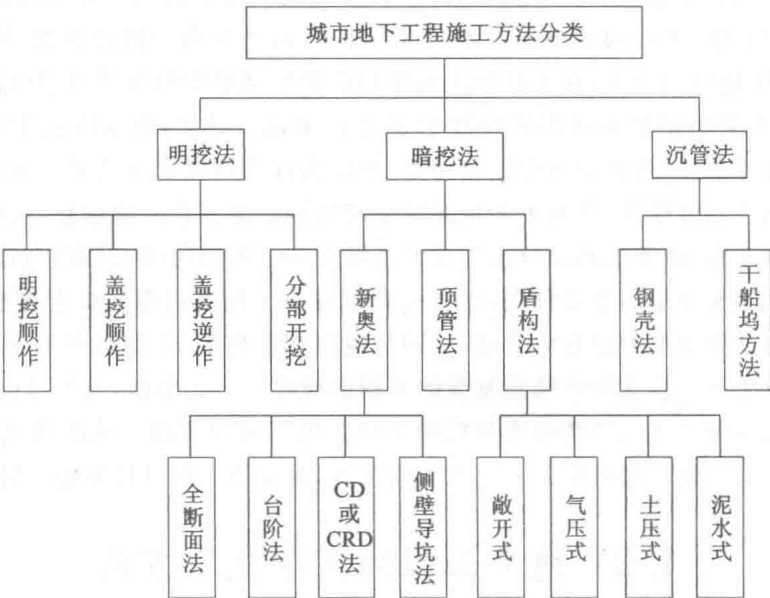


图 1.1 城市地下工程施工方法分类

1.3 监测和检测的必要性及其目的

1.3.1 监测和检测的必要性

1.3.1.1 地下工程复杂性的要求

地下工程具有隐蔽性、复杂性和不可预见性的特征。一方面,隧道周围及掌子面前方的工程地质和水文地质情况对隧道施工的质量和安全的关系重大。不良的地质条件极易引起隧道塌方、涌水突泥,不仅在技术上给隧道施工带来极大的困难,也常常因突发事件导致人身伤亡、设备损失、工期延误,从而造成巨大的经济损失。另一方面,由于普通工程地质勘察手段的局限性,无法完全准确地查明洞身围岩状况,导致围岩划分不准确或偏保守,施工中如果完全照搬就有可能导致巨大浪费或安全事故。同时城市地下工程周围环境一般比较复杂,因此有必要通过信息化施工,通过分析围岩、支护的应变、应力、压力的量测数据,对隧道支护状态进行评价,预报险情,评定设计的合理性,根据反馈信息及时变更设计,从而确保地下工程施工和周围建(构)筑物的安全。

1.3.1.2 规范的要求

《铁路隧道新奥法指南》规定:新奥法设计以工程类比法为主,并通过现场监控量测进行工程实际检验、确认和修正,必要时可辅以理论计算演算法确定支护参数的方法进行隧道设计。

《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》(GB 50086—2015)规定:锚喷支护的工程类比法设计应根据围岩级别及隧洞开挖跨度确定锚喷支护类型和参数。

1.3.2 监测和检测的目的

城市地下工程监测和检测的主要目的有:

(1)指导施工:通过监测了解地层在施工过程中的动态变化,明确工程施工对地层的影响程度及可能产生失稳的薄弱环节,了解施工方法的实际效果,了解施工对周边环境的影响等,以便采取相应的工程措施。

(2)安全评价:通过监测了解支护结构及周边建(构)筑物的变形及受力状况,掌握施工过程中工程自身结构所处的安全状态,并对其安全稳定性进行评价。

(3)修正设计:用现场实测的结果弥补理论分析过程中存在的不足,并把监测结果反馈设计,调整相应的设计支护参数。

(4)积累资料:通过监控量测,收集数据,为以后的工程设计、施工及规范修改提供参考和积累经验。

施工过程中进行的监控量测是信息化施工的基础,具有重要作用。在地下工程施工过程中进行现场监控量测,及时获取围岩变位与地下工程支护结构的动态信息,从而修正支护参数与纠正施工措施,以期达到安全与经济合理的目的,这是信息化施工的实质。

地下工程监测方法与检测技术历来受到隧道与地下工程界的高度重视而作为工程设计和施工不可分割的重要组成部分。从场地地层水文地质和工程地质物理力学特性试验到开挖和支护过程中的施工同步监测,以及地下构筑物建成投入使用运营期的长期变形和沉降观测,监测技术在地下工程建设中起到十分重要的作用:一方面,作为工程建设预测预估的依据,保证

建筑物和相邻土层的安全和稳定;另一方面,为今后的工程实践提供有价值的经验和第一手资料。

1.4 国内外研究现状

1.4.1 国内外的监测新技术

监测应贯穿于地下工程设计、施工和运营的全过程。地层力学参数的不确定性和离散性及施工的不可预见性,使得地下工程设计和施工中难免出现与实际地层条件不相符的情况,需要在施工过程中通过监测信息的反馈来修正设计和指导施工。

20 世纪 60 年代,奥地利学者和工程师总结出了以尽可能不恶化地层中应力分布为前提,在施工过程中密切监测地层及结构的变形和应力,及时优化支护参数,以便最大限度地发挥地层自承受能力的新奥法施工技术。经过长期的实践发现,地下工程周边位移和浅埋地下工程的地表沉降是围岩与支护结构系统力学形态最直接、最明显的反应,是可以监测并控制的。因此,普遍认为地下工程周边位移和浅埋地下工程的地表沉降监测是最具有价值的,既可全面了解地下工程施工过程中的围岩与结构及地层的动态变化,又具有易于观测和控制的特点,并可通过工程类比总结经验,建立围岩与支护结构的稳定判别标准。基于以上认识,我国现行规范中,有关围岩与结构稳定的判据都是以周边允许收敛值和允许收敛速率等形式给出的,作为评价地下工程施工质量、判断地下工程稳定性的主要依据。监测以位移监测为主,应力、应变监测等为辅。城市地下工程的监测内容还包括以下三类:

- (1)结构变形和应力、应变监测;
- (2)结构与周围地层即围岩与结构之间的相互作用;
- (3)与结构相邻的周边环境的安全监测。

由于监测与信息反馈技术对技术人员专业水平要求较高,因此国内外在监测管理方面开始走专业化的道路,将监测作为一个独立的工序从工程项目中分离出来,由有资质的专业队伍来实施,以保证监测的客观性与公正性。目前,在地下工程建设中,开始引入第三方监测。监测方受业主委托,对地下工程施工影响范围内的建筑物、地下管线、地下水位等进行监测,其目的主要有以下两个方面:

- (1)对施工单位的监测进行复核,以便对环境的影响进行客观、公正的评估,提供给业主或主管部门作为施工决策的依据;
- (2)当发生重大环境安全事故时,监测结果是判定责任的主要依据。

因此,在地下工程建设中开展第三方监测具有重要意义。

随着地下工程施工技术的发展,地下工程安全监测技术的发展也非常迅速。主要表现为监测方法的自动化和数据处理的软件化,监测设备及传感器不断发展与完善,监测技术向系统化、远程化、自动化方面发展,从而实现实时数据采集、数据分析,监测精度不断提高,数据分析与反馈更具有时效性。目前发展的远程监测系统主要有:近景摄影测量系统,多通道无线遥测系统,光纤监测技术,非接触监测系统,电容感应式静力水准仪系统,巴赛特结构收敛系统,轨道变形监测系统等。

1.4.2 当前存在的问题及发展方向

1.4.2.1 现状及存在的问题

近年来我国相继颁布实施的有关地下工程设计和施工的规程和规范都对监控量测做了具体规定,监控量测是城市地下工程施工中必不可少的组成部分。

城市地下工程不论采用何种施工方法,都借鉴了山岭隧道新奥法有关信息化设计与施工的理念,实施过程中,不仅要考虑地下工程结构的稳定,而且要考虑地下工程施工对周围环境的影响。

目前,在地下工程设计中都有较完善的监控量测设计,包括监测管理、监测方法及监测设备等。但在实施过程中仍然存在很多问题:

(1)监控量测与信息反馈应作为重要工序编入施工组织设计,但目前实施不规范,应用效果较差。

(2)监测造价偏低。各方对于监测的重视程度虽较过去有了明显的提高,但总体来讲还仅仅是口头强调。监测造价相对于工程造价普遍偏低,尤其是施工监测价格更低。我们发现对于同一个工程,在设计单位、施工单位、监理单位、监测单位这四方里,监测单位“价时比”最低。费用过低不仅不能有效保证工程安全,制约了监测技术的发展,还在某种程度上造成了浪费,进一步恶化了监测的市场环境。

(3)监测设计与测试。目前监测设计工作只是设计图中很小的一个组成部分,设计人员往往对监测方面了解甚少。现场监测人员没能真正领会和掌握信息化设计与施工技术,实施过程中缺少专业人员。特别是信息反馈方面,很少能结合施工情况对监测信息进行合理分析,进而对工程设计和施工起指导作用。

(4)监测定位不明确。施工监测、第三方监测两者均需要同时具备,而目前有的地下工程只有两者之一。只有在这些基础体系完善后才有可能为之后进行相关咨询等技术服务提供平台。

(5)缺乏环境的评估标准。有必要就地下工程施工对周围环境影响的评估程序、评估方法以及控制标准进行研究。监测工作伴随工程始末,周期较长,但由于监测造价太低,照抄照搬现象普遍;在制定监测控制值时无据可依,目前较多监测项目并没有制定统一的控制标准,现有控制标准值来源于工程经验,仅针对个别项目,适用性较差。

(6)监测手段。目前监测手段逐步多样化,但总体来说手段较为古老和陈旧,涉及的仪器设备数量很少,实现监测项目的方法基本依赖人工静态观测。现在虽然也陆续采取一些先进监测手段,但毕竟只在少数工程里用到。监测手段需要及时更新,从而推动监测技术的发展和与时俱进。

1.4.2.2 监测的展望

以后地下工程监测应该往以下几个方面改进和发展:

(1)充分重视日常巡视监测。

(2)有充裕的经济支撑。任何地位的提升和认可归根到底是经济上的提高,否则一切都是空话。通过我们测算,将工程造价的1%~2%作为监测费用是较为合理的,对于重大工程或具有研究意义的工程还应有所提高。对于这一点亟待解决,否则监测发展举步维艰。

(3)监测设计专业化。监测设计人员必须有丰富的监测经验,监测设计同土建设计、防排