

YANTU GONGCHENG XIANCHANG JIANCE YU
JIANCE JISHU JI YINGYONG

岩土工程现场检测与 监测技术的应用

尹俊涛 李新明 李志斌 等 编著



黄河水利出版社

岩土工程现场检测与 监测技术的应用

尹俊涛 李新明 李志斌 编著
尹 松 宋 广 许海标

黄河水利出版社
· 郑 州 ·

内 容 提 要

岩土工程现场检测与监测技术是从事岩土工程勘察、设计、施工和监理工作中所必须掌握的基本知识,也是从事岩土工程理论研究的重要手段。本书主要包括:绪论、测试技术的相关原理、原位测试技术、基桩检测、边坡工程监测、基坑工程施工监测、隧道围岩和支护系统施工监测、隧道地质超前预报技术等。

本书可作为土木工程、岩土工程相关专业研究生与高年级本科生教材,也可作为岩土工程相关专业技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

岩土工程现场检测与监测技术及应用/尹俊涛等编
著. —郑州:黄河水利出版社,2017.4
ISBN 978-7-5509-1735-4

I. ①岩… II. ①尹… III. ①岩土工程-检测②岩土工程-监测 IV. ①TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 076285 号

组稿编辑:王志宽 电话:0371-66024331 E-mail:wangzhikuan 83@126.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940,66020550,66028024,66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:河南承创印务有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:18.25

字数:420 千字

印数:1—1 000

版次:2017 年 4 月第 1 版

印次:2017 年 4 月第 1 次印刷

定价:80.00 元

前 言

随着社会经济的增长,土木工程向“高、深、大”方向发展,如修建跨海大桥、海底隧道、高速铁路以及开发地下空间等,各类复杂的岩土工程问题不断出现。岩土工程理论也随着实践的发展出现了新理论与新的设计方法,而岩土工程理论是以岩土工程测试技术及其成果为发展背景的。没有新的岩土工程测试技术的发展,设计所依据的各项测试也无法获得,设计结果也无从验证。因而,岩土工程测试对于岩土工程实践与岩土工程理论均非常重要。另外,岩土体是自然界的产物,其形成过程、物质成分以及工程特性是极为复杂的,并且随受力状态、应力历史、加载速率和排水条件等的不同而变得更加复杂。所以,在进行各类工程项目设计和施工前,必须对工程项目所在场地的岩土体进行室内试验与原位测试,以充分了解和掌握岩土体承载性能,从而为场地岩土工程条件的正确评价提供必要的依据。但由于勘察与试验结果存在一定的不确定性,如原状试样的代表性、取样过程的扰动以及应力的释放、试验边界条件与地基中实际情况不同等,还必须通过现场监测和测试,以确保岩土工程的安全性。同时,通过现场监测数据进行岩土工程参数的反分析,可以验证工程设计的合理性和进一步改进工程设计,同时也可以促进岩土工程相关理论的发展。所以,岩土工程测试技术与理论计算相辅相成,互为促进。

岩土工程是将土力学及基础工程、工程地质学、岩石力学三者逐渐结合为一体并应用于土木工程实际而形成的新学科,其涉及行业众多,如水利、矿井、建筑、城市地下空间、高速公路、高速铁路、城市轨道等。本书主要从高速公路与地铁建设中经常用到的岩土工程测试技术及其分析方法入手,着重进行了原位测试、桩基检测、边坡工程监测、基坑监测、隧道监控量测、隧道地质超前预报等相关内容的研究。其中,第1章在回顾岩土工程检测与监测发展历史的基础上,分析了岩土工程现场测试与监测的问题与展望;第2章对岩土工程检测与监测过程中常用测试技术的相关原理,尤其是传感器的工作原理进行了详细说明;第3章对原位测试技术的测试原理、方法及要点进行了介绍,重点分析了扁铲侧胀试验与旁压试验;第4章以桩基检测常用技术为统领,重点分析了黄泛区桩基静载的荷载传递机制,对拉压锚法与自平衡法的试验结果进行对比分析;第5章以洛嵩高速膨胀土边坡监测为背景,进行了边坡裂缝、地表位移及状体位移的监测,指出坡面绿化工程的完善和坡体排水设施的建立对减小边坡变形影响的重要性,研究成果可为同类工程提供参考;第6章以地铁基坑为对象,对其周边环境 and 围护结构监测,并分析讨论了监测报警及注意事项;第7章以新奥法隧道施工为背景,对隧道围岩与支护系统进行施工监测,分析研究了监控量测信息反馈及工程对策;第8章对崂山隧道的施工全程实施了地质超前预报。在崂山隧道地质调查和安全风险评估的基础上,参考模糊神经网络综合预报方法,结合在三浙高速公路崂山隧道中对断层破碎带、富水带和废弃采矿巷道的综合预报成果,分析并实践了综合地质超前预报在实际工程中的应用效果。

本书编写人员及分工如下:第1章和第5章由中原工学院李新明编写;第2章和第8

章由河南省交通规划设计研究院股份有限公司尹俊涛编写;第3章由中原工学院尹松编写;第4章由河南省交通规划设计研究院股份有限公司李志斌编写;第6章由河南省交通规划设计研究院股份有限公司宋广编写;第7章由河南省交通规划设计研究院股份有限公司许海标编写。全书由尹俊涛、李新明负责校审与统稿。同时,河南省交通规划设计研究院股份有限公司王春宇,中原工学院研究生卢天佑、刘晨辉也做了大量的资料整理工作。

本书在编辑出版过程中,得到了黄河水利出版社的大力帮助和支持,在此表示感谢。

由于作者受到知识面、资料收集面和理解分析及理论水平的限制,书中的不妥之处在所难免,希望读者在发现后及时给予指正,作者将不胜感激。

作 者

2016 年 11 月

目 录

前 言

第1章 绪 论	(1)
1.1 岩土工程概述	(1)
1.2 岩土工程现场测试与监测的意义	(4)
1.3 岩土工程现场测试与监测的内容	(5)
1.4 岩土工程现场测试与监测技术展望	(7)
参考文献	(8)
第2章 测试技术的相关原理	(10)
2.1 概 述	(10)
2.2 测试系统的组成	(11)
2.3 测试系统的传递特性	(12)
2.4 传感器的工作原理	(14)
2.5 计算机辅助测试系统基本原理及其特点	(30)
2.6 误差与数据处理	(31)
参考文献	(32)
第3章 原位测试技术	(34)
3.1 概 述	(34)
3.2 平板荷载试验	(36)
3.3 静力触探试验	(42)
3.4 圆锥动力触探和标准贯入试验	(49)
3.5 扁铲侧胀试验	(58)
3.6 旁压试验	(65)
参考文献	(73)
第4章 基桩检测	(75)
4.1 概 述	(75)
4.2 基桩检测方法	(75)
4.3 单桩静载试验	(111)
4.4 基桩检测实例	(120)
参考文献	(137)
第5章 边坡工程监测	(139)
5.1 概 述	(139)
5.2 边坡的变形监测	(145)
5.3 边坡应力监测	(152)

5.4	边坡地下水监测	(157)
5.5	边坡环境因素监测	(159)
5.6	边坡监测新技术	(159)
5.7	工程实例	(165)
	参考文献	(174)
第6章	基坑工程施工监测	(176)
6.1	概 述	(176)
6.2	监测仪器及方法	(178)
6.3	监测方案与设计	(182)
6.4	监测实例	(193)
	参考文献	(199)
第7章	隧道围岩和支护系统施工监测	(201)
7.1	概 述	(201)
7.2	监测目的与项目	(201)
7.3	现场监控量测计划与测点布设	(204)
7.4	监测仪器及实施方法	(210)
7.5	数据处理与反馈	(223)
7.6	隧道监测实例	(226)
	参考文献	(236)
第8章	隧道地质超前预报技术	(238)
8.1	概 述	(238)
8.2	隧道地质超前预报方法	(239)
8.3	常见地质超前预报方法评价	(249)
8.4	TSP 技术与改进	(253)
8.5	隧道地质超前预报应用实例	(256)
	参考文献	(285)

第1章 绪论

1.1 岩土工程概述

1.1.1 岩土工程的定义

岩土工程(Geotechnical Engineering)一词使用得很广泛,但迄今尚无统一的定义。按大百科全书土木工程卷定义:岩土工程指各项土木工程中涉及岩石或土的利用、整治或改造的科学技术。以土力学、工程地质学及岩体力学为理论基础,通过各种勘测技术和专门计算机及数值分析等方法并结合工程设计、施工条件及在动力地质作用下的场地地质性状,以及开挖、支护、降水等特殊工程要求,提出对岩土体的评价,并指导工程的设计和施工。

此外,在国内外的各类文献中还可以见到一些定义。例如,美国地质学术语辞典:岩土工程为解决工程问题,将科学方法和工程原理应用于对地壳物质知识的获得、阐明和利用,使地球更适于人类居住的科学,它包含土力学、岩石力学,以及地质学、地球物理学、水文学等有关学科的诸多方面;王钟琦所著的《岩土工程测试技术》一书的序言中说明“岩土工程是利用土力学、岩体力学及工程地质学的理论与方法,为研究各类土建工程中涉及岩土体的利用、整治或改造问题而进行的系统性工作”;中国土木建筑百科词典对岩土工程的释义为:“以工程地质学、岩体力学、土力学与基础工程学科为基础理论,研究和解决工程建设中与岩土有关的技术问题的一门新兴的应用科学”。

综合上述各家对岩土工程的定义,可以概括为三个层次:

- (1)岩土工程是以土力学与基础工程、岩石力学与工程为基础,并与工程地质学密切结合的综合性学科。
- (2)岩土工程以岩石和土的利用、整治或改造作为研究内容。
- (3)岩土工程服务于各类主体工程的勘察、设计与施工的全过程,是这些主体工程的组成部分。

1.1.2 岩土工程的发展历史

纵观古今,岩土工程的发展经历了以下几个阶段。

1.1.2.1 第一历史时期

在18世纪工业革命以前,岩土技术仅是在实践中积累了一些零星的工程经验,是岩土工程发展的第一历史时期。

第一历史时期的主要特征为:

- (1)此时期,特别是史前时期,缺乏对地质勘探的认识和手段。我国古代虽有“堪舆

学”与“择地术”,为房屋建筑选择场地,但只能讨论场地地面,没有可能了解地基的深部。因地基基础问题而引发的工程病害或事故并不少见,给先民留下了许多力不从心的遗憾。

(2)尚无地基基础的设计可言,主要凭工匠的经验。由于缺乏设计和施工计划,因此有些工程常边建边改,甚至经几次停工才建成。

(3)生产方式停留在手工劳动阶段,施工消耗巨大的人力、物力,施工周期长,效率低下。著名的历史遗址,如埃及金字塔、中国长城等,每项工程都历时几十年,动用数以万计的劳动力,耗资巨大。

(4)建筑材料以天然材料为主,石灰和砖瓦在当时已是最好的人工材料,材料限制了建筑物的高度与体量,对地基承载力的要求一般不高。

1.1.2.2 第二历史时期

从18世纪60年代工业革命开始,岩土工程进入了理性发展的第二历史时期,先后建立了一系列经典的土力学理论。

第二历史时期的主要特征为:

(1)出现了现代意义的土木工程、水利工程和铁路工程,工程规模和技术难度要求使用机械化的施工方法和理论的指导,社会生产力的发展也提供了这种可能。

(2)岩土工程的施工技术由于施工机械的产生而发生了根本的变化,奠定了近代岩土工程技术的物质基础,大型的、机械化的施工实践为理论的产生提供了丰富的工程经验。

(3)为了解决挡土墙、土坡、地基承载力等土体稳定性问题和地下水的渗流问题,库仑、达西、朗肯等科学家相继通过试验、观察和数学力学的分析计算,提出了一系列著名的理论和方法,奠定了近代岩土工程的理论基础。

1.1.2.3 第三历史时期

20世纪初,铁路、大坝和高层建筑的兴建为岩土工程的发展提供了客观条件;以太沙基提出的有效应力原理为代表,在试验技术和计算方法方面形成了完整的土力学体系,标志着岩土工程已进入了成熟的第三历史时期。

第三历史时期具有下列明显的特征:

(1)随着经济建设的发展,岩土工程所涉及的领域由传统的水利工程(堤坝)、建筑工程(基础、基坑)和公路铁路工程(路基、边坡、桥梁基础、隧道)扩大至地震工程、海洋工程、环境保护、地热开发、地下蓄能、地下空间开发利用等领域。

(2)钢材、水泥以及其他新材料的大量推广应用,改变了土木工程和岩土工程的基本面貌。土工合成材料的产生以及在岩土工程中的广泛使用,为重大工程和岩土工程疑难问题的解决提供了新的技术途径和方法。

(3)机械、电子工业的发展为岩土工程提供了各种重型的、自动化的施工装备,改变了岩土工程大量手工劳动的状况,提高了劳动生产力,为解决大型、深层、深水条件下的岩土工程施工技术创造了物质条件,促进了桩型和地基处理方法的不断创新。

(4)现代计算机和数值计算技术的出现与发展,离心模型试验机以及大型、高压三轴仪等现代量测、试验设备的问世,为岩土工程复杂问题的研究、计算与验证提供了先进的手段,推动了信息化施工方法的形成,促进了岩石力学和土力学的不断发展。

1.1.2.4 第四历史时期

进入21世纪,当人们展望新世纪岩土工程的发展趋势时,对于新的第四历史时期的特征、研究的核心问题,从不同的角度提出了许多有益的探讨。主要针对的是以人口增加、资源剧耗、耕地和森林锐减、土地退化、沙漠扩大、温室效应、酸雨危害、环境污染、城市密度较大等环境问题。作为环境友好工程,岩土工程的建设 and 作用对保护环境、改善环境已经发挥,并将发挥更加重要的作用,成为可持续发展的重要措施。第四历史时期的主要特征是改善城市环境,保护自然生态环境。

1.1.3 岩土工程的学科分支

岩土工程是将土力学与基础工程、岩石力学、工程地质学三者逐渐结合为一体并应用于土木工程实际而形成的新学科。其学科分支主要包括如下内容。

1.1.3.1 土力学与基础工程学

土力学是运用数学、力学方法研究土体的应力与应变、强度与稳定性状的学科,是力学的一个分支。但由于土是一种特殊的变形体材料,其应力应变关系不同于一般的变形体材料,因此土力学还要着重研究土的物理、力学性质的试验方法和工程特性的变化规律。在发展过程中形成了许多分支,从不同的研究角度,形成不同的分支学科,例如有的以土的类型划分,如研究冻土、非饱和土等不同的特殊土类;有的以研究方法划分,如侧重于计算或试验;有的以所研究的土的特性划分,如研究土的动力性或随机性等。近20年来,在土力学领域中形成了土动力学、计算土力学、实验土力学、非饱和土力学、冻土力学、随机土力学等分支学科。

基础工程学涵盖各种类型建筑物、构筑物的各类基础及地基处理的设计与施工技术,其研究领域非常广泛。基础工程服务于各种类型建筑物与结构物,包括建筑工程、桥梁工程、水工建筑物、海上平台等各种陆上、水上、水下和地下的结构物。以土作为材料的工程和以土作为结构物环境的工程,如堤坝、土中隧道等的设计与施工方法,也是土力学与基础工程基本原理的具体应用。基础工程的研究内容包括浅基础、深基础和桩基础、地基处理、支挡结构物、基坑工程以及现场监测技术、地基与基础的共同作用分析技术等。

1.1.3.2 岩石力学

陈宗基教授认为,岩石力学是研究岩石过去的历史、现在的状况、将来的行为的一门应用性很强的学科。其是以地质学为基础,运用力学和物理学的原理,研究岩石在外力作用下的物理力学性状的理论和应用的学科。岩石工程主要包括岩石地基、岩石边坡和洞室工程。按照研究内容与应用领域的不同,岩石力学的分支学科有岩石流变力学、岩石动力学、采矿岩石力学和石油工程岩石力学等。

1.1.3.3 工程地质学

工程地质学是在地质学与建筑工程学、矿山工程学、水利工程学等的边缘上形成和发展起来的学科,是通过调查、研究及解决与各类工程建设有关的地质问题的学科,但从体系上说,工程地质学属于地质学的一个分支学科。它按研究的内容划分的分支学科有普通工程地质学、专门工程地质学、区域工程地质学、海洋工程地质学等。近年来,也有计算工程地质学和大城市工程地质学的提法。

1.1.3.4 交叉学科

交叉学科是在岩土工程基本形成以后,由于工程实践的需要和科学技术发展的必然而逐步形成的分支学科,例如环境岩土工程学就是一门新兴的综合性交叉学科。岩土环境问题是大多数工业化国家面临的影响可持续发展的问题,工业发展愈迅速,废弃物也愈多。处理和处置日渐增多的废弃物是环境岩土工程研究中的一项重要课题。此外,水质与地下水污染以及污染质的传输也是环境岩土工程师面临的技术难题。环境岩土工程的另一个领域是废弃物和污染质的特性研究,研究其物理性质、力学性质与化学性质,研究岩土介质与污染质之间的相互作用。

1.1.4 岩土工程在经济建设和社会发展中的作用

人类生存和发展的历史就是一部对土和岩石的利用、处理和改良的历史,现代的经济建设和社会发展更离不开对岩石的整治、利用和改造。岩土工程是建设工程成败的关键,为社会可持续发展提供必要的保证。

由岩层和土层所构成的广袤大地是工程建设的基地,是建筑物的地基,是地下建筑的环境,为土工构筑物提供填筑材料,因此岩层和土层的构造与工程性质直接影响工程建设的质量与造价,对岩土条件认识的偏差可能会导致损失巨大的事故。人类在与大自然斗争的历史长河中,从正、反两个方面学会了认识岩土、利用岩土和改造岩土的本领,也逐步懂得了岩土工程的作用与重要性,在工程实践的推动下,对岩土工程的研究和应用日益发展。

由于岩土工程方面的事故具有突发性、灾害性和全局性的特点,为了防止工程事故的发生,在重要工程的各个阶段都应十分重视岩土工程的勘察、设计、施工和检测。

在工程可行性研究阶段,岩土工程问题是工程可行性评价决定性的内容,当工程地质、水文地质条件不容许建设项目时,只能放弃这一场地。

在施工图设计阶段,由于岩土的性状不符合工程要求而需采取相应的工程措施时,将使造价上升,事故发生的可能性也急剧增加。

在施工阶段,岩土工程的施工技术、施工质量、施工工期和造价对于整个工程常常是关键性的。特别是一些重大工程,例如三峡工程和南水北调工程,与岩土工程的关系更为密切,岩土工程的工程量和造价都占相当大的比例,这些工程的决策和设计、施工都在很大程度上依赖于岩土工程勘察和试验研究的成果。

1.2 岩土工程现场测试与监测的意义

随着社会经济的发展与土木工程向“高、深、大”方向发展,各类复杂的岩土工程问题不断出现。岩土工程理论也随着实践的发展出现了新理论与新的设计方法,而岩土工程理论是以岩土工程现场测试技术及其成果为发展背景的。没有新的岩土工程现场测试技术的发展,设计所依据的各项测试也无法获得,设计结果也无从验证。因而岩土工程现场测试对于岩土工程实践与岩土工程理论非常重要。另外,岩土体是自然界的产物,其形成过程、物质成分以及工程特性是极为复杂的,并且随受力状态、应力历史、加载速率和排水

条件等的不同而变得更加复杂。所以,在进行各类工程项目设计和施工前,必须对工程项目所在场地的岩土体进行室内试验与原位测试,以充分了解和掌握岩土体的物理性质和力学性质,从而为场地岩土工程条件的正确评价提供必要的依据。由于勘察与试验结果存在一定的不确定性,在岩土工程施工过程中,还必须通过现场监测和测试,以确保岩土工程的安全性。通过现场监测数据进行岩土工程参数的反分析,可以验证工程设计的合理性和进一步改进工程设计,同时也可以促进岩土工程相关理论的发展。

岩土工程现场测试与监测的意义主要体现在以下几个方面:

(1) 岩土工程现场测试与监测技术不仅在工程建设实践全过程中十分重要,而且在岩土工程理论的形成和发展过程中也起着决定性的作用。

通过现场测试与监测,可以完善工程师对上部结构与下部岩土地基共同作用性状的宏观认识。就岩土工程而言,理论分析、室内外测试和工程实践缺一不可。理论指导工程实践,工程实践反过来促进理论的发展,而室内外测试则是连接的桥梁。岩土工程中大家熟知的太沙基有效应力原理与达西定律即是如此。

(2) 岩土工程现场测试与监测技术是保证工程施工质量与安全的重要手段。

随着经济和社会的发展,工程结构趋向高、大、深,这对岩土工程提出了更高的要求。创新的设计方法需要新的测试技术为基础。提高岩土体物理力学参数的测试水平,从而保证工程实践的精度和安全性,防止事故发生,力争使工程达到质量、安全、效益的统一。互相关联的监测、反分析、预测对岩土体设计施工具有重要意义。目前,应用广泛的基于现场测试结果的反分析理论可以为岩土工程动态设计等提供第一手重要资料。

(3) 岩土工程现场测试与监测技术是大型岩土工程施工信息化施工与长期安全运营的重要保障。

岩土体是一个开放、动态变化的复杂巨大系统,对地质工程采用理论分析、专家群体经验和监测信息反馈相结合的方法进行信息化施工。在该过程中,监测是不可缺少的。为保证大型岩土工程的长期安全,也离不开长期监测。监测应达到修改设计、指导施工、验证设计和计算方法以及运行监督的目的,重要的是把测试数据在现场作为信息来处理。如在大型的边坡工程、地下工程、基坑工程、桩基工程中,现场测试与监测已成为岩土工程施工过程不可分割的重要组成部分,发挥着越来越重要的作用。在大坝、水电站地下厂房、城市地下轨道、高速铁路路基、海底隧道等重大岩土工程的运营过程中,需要对岩土工程及结构的变形、受力、温度、孔隙水压力、沉降等进行长期观测。

1.3 岩土工程现场测试与监测的内容

岩土工程现场测试包括室内试验、原位测试和现场监测等,它们具有各自的特点。室内试验包含了常规的土工试验和模型试验,其主要优点是可以控制试验条件,而其根本性的缺陷则在于试验对象难以反映其天然条件下的性状和工作环境,抽样的数量也相对有限,以至于所测的结果严重失真。岩土工程的原位测试与监测一般是指在工程现场通过特定的测试仪器对测试对象进行试验,并运用岩土力学的基本原理对测试数据进行归纳、

分析、抽象和推理以判断其状态或得出其性状参数的综合性试验技术。

1.3.1 室内试验

室内土工试验大致分为观察判别试验、物理性质试验、化学性质试验和力学性质试验等。室内岩石试验包括岩石物理指标测试、岩石常规力学指标测试、岩石变形与破坏机制等。模型试验根据相似理论,用与岩土工程原型力学性质相似的材料按照相似原理制作室内模型,在模型上模拟各种加载和开挖过程,研究岩土工程的变形和破坏等力学现象。数值仿真试验随着计算机硬件技术的发展而得到了广泛的应用,主要利用计算机进行岩土工程问题的研究,具有模拟大型岩土工程、可以模拟复杂边界条件、成本低、精度高等优点。常用的数值计算方法有:有限元法、离散元法、有限差分法、颗粒流法、流行单元法等。

1.3.2 原位测试技术

原位试验是指在保持岩土体天然结构、天然含水量以及天然应力状态的条件下,测试岩土体在原有位置上的工程性质的测试手段,它是岩土工程的重要组成部分。

无数实践经验和理论计算表明,在岩土工程中,岩土的工程性质试验成果和精度,会因其种类、状态、试验方法和技巧的不同而有较大的出入,选用正确的参数远比选用计算方法重要。和室内试验相比,原位测试的代表性好、测试结果精度较高,因而较为可靠。另外,岩土工程多为隐蔽性工程,由于岩土性质的复杂多变,加之结构体与岩土体之间的相互作用难以把握,故岩土工程中发生事故的概率很大而且难以发现和补救。所以,重视和强化岩土工程中的监测和检测工作是十分必要的,而原位测试(检测)是实际工作中最常用也是最直观可靠的技术手段。岩土工程中的原位测试技术可用于岩土工程的各个分支工程中,它贯穿于工程的各个阶段,在不同的阶段中有着不同的功能。

1.3.3 现场监测技术

现场监测是以实际工程为对象,在施工期及运营期对整个岩土体和地下结构及周围环境,于事先设定的点位上,按设定的时间间隔进行应力和变形的现场观测。现场监测技术是随着大型复杂岩土工程的出现而逐渐发展起来的,在水利电力工程、铁路、公路、矿山、城市建设、国防建设、港口建设、地下空间开发与应用中普遍应用,已成为保证水电工程大型地下厂房群、城市地铁、矿山巷道、隧道、高陡边坡等工程安全施工的重要手段。

岩土工程现场监测技术的分类方法较多。按开展监测的时间可分为施工期监测和运营期监测;按监测建筑物的类型,可分为大坝监测、地下洞室监测、隧道监测、基坑监测、边坡监测、支挡结构监测等;按监测物理量的类型,可分为变形监测、应力应变监测、渗流监测、温度监测和动态监测等;按监测变量分为原因量监测和效应量监测。原因量监测即环境参量,它们的变化将引起建筑物形态的变化;效应量是建筑物对原因量变化而产生的响应。

1.4 岩土工程现场测试与监测技术展望

1.4.1 岩土工程现场测试与监测技术的特点

岩土工程现场测试与监测过程中,特别是重大岩土工程监测,具有工期长、测点数量多、测点种类多、数据量大、数据来源复杂及多媒体化等特征。比如,城市轨道交通施工期监测时间一般为3年,水电工程则更长(三峡工程长达15年)。一座车站或者一段区间隧道设置300~600个第三方监测测点,全线包含上万个第三方监测测点(施工方监测的测点数量更多)。测点种类包括位移、应力、应变、压力、轴力、地下水位、振动等,数据类型包括数值、文本、图形、图像、音频及视频等。因此,获得的数据是极其庞大和复杂的。

1.4.2 岩土工程现场测试与监测技术的现状

(1)岩土工程现场测试手段单一。岩土工程现场测试是获得岩土工程相关参数的主要手段。针对不同的岩土工程项目,应采用不同的测试方法,以得到合理的岩土工程参数。

(2)由于监测工作能可靠地反映施工过程中工程结构和周边环境的安全状态,日益受到建设单位的重视,特别是城市轨道交通、水电和铁路部门,先后颁发了一些规程规范。岩土工程运营期间的长期健康监测系统的建立和研究已成为岩土工程领域的重要课题。

(3)随着传感器精度提高和价格持续走低,加上计算机及网络技术的高速发展,大规模、全方位、多维度、多场的岩土工程监测将得以实现。今后,使用宏观、细观和微观的监测方法和设备,“现场版的模型试验”将会出现,施工过程中结构和周边环境动态响应的高密度实时采集将不再是一个假设。

(4)数据简单汇总、粗略分析,然后提交监测报告的粗放模式已经不能满足业主高层次的需求,在大数据时代,以成因分析、关联分析、快速查询、及时反馈、决策支持为主的后续分析能力必将成为监测工作的核心。

(5)业界对岩土工程监测提出了新要求,即采集快速、分析可靠、反馈及时、避免风险,真正达到信息化施工的目的。

1.4.3 岩土工程现场测试与监测技术存在的问题与展望

尽管建设单位对监测工作越来越重视,国家和相关行业也相继颁发了部分规程规范,但一些工程项目在施工过程中仍然发生了事故,其中存在因监测工作不力的原因,反映出当前岩土工程监测工作中尚存在以下问题:

(1)现场测试、室内试验、理论分析和数值分析尚未有机结合。

室内试验是基础,并由此做出工程行为理论预测;现场监测能提供对预测做出重要的修正,并经过反分析得到按既有理论得出符合实际工程反应所需的测试值,从而进行再预测。此外,高精度测试仪器的出现使得测试结果的可靠性得到很大提高,最终将导致岩土工程方面测试结果可靠度的大大改进,室内外试验所得试验数据更加具有现实的工程

意义。

(2) 客观上数据采集的门槛越来越低,对分析人员的要求越来越高,但主观上重采集、轻分析的现象一直存在,监测工作未能发挥应有的作用。

一方面,随着电子和信息技术的发展,设备、传感器价格的持续降低,加上常规监测技术、方法的成熟普及,监测数据采集的门槛越来越低;另一方面,由于数据量采集量大、频高,加上目前工程所处地质条件、环境条件和施工设计难度越来越复杂,建设“两型社会”对环境的保护越来越重视,从而对监测结果分析的要求日益提高。但可能因节约成本,或者经验、认识不足的原因,一些监测单位只重视数据采集和提交简单报表,忽视了成果分析、解释和反馈,直接导致花费了大量人力、物力采集的数据没有得到充分及有效的应用,同时也给工程带来了潜在的风险。

事实上,岩土工程监测工作中数据采集是基础,数据分析和解释才是关键。监测工作的难点在于从大量、繁杂、结构各异的数据中挖掘观测量之间、原因量和效应量之间、观测量与施工过程之间的相关关系,进而动态判断施工过程中的风险,提出建议措施。

(3) 存在法规制度不完善、监管不严格、管理不到位的现象。

由于监测数据采集工作的门槛相对较低,造成监测人员素质和监测实施单位管理水平参差不齐,导致测点埋设不及时、监测方法不正确、数据处理分析不及时等现象出现,这也是某些事故发生的因素之一。因此,监测工作及监测管理的标准化非常重要。前述国内已经颁布的规范主要规定了监测设计和监测方法,但对于监测工作的管理流程、参建各方在安全监测方面的职责以及与监测工作有关的应急预案方面尚存在不足,因此进行监测管理体系的标准化总结势在必行,预计今后行业管理会日益严格和规范。可喜的是,在轨道交通建设中已经引入了第三方监测和风险管理制,值得进一步探索和在其他行业中推广。

(4) 传感器技术、监测方法和设备尚需进一步革新。

如前所述,科技的发展带来成本的快速下降,使全方位、大范围、自动化的监测越来越成为可能,精细化监测给工程安全带来的好处会进一步刺激新型传感器、监测方法和设备的研究。可以预见,精度更高、体积更小、耐久性更强以及更可靠的传感器将会出现。监测范围将从传统的按关键断面布置扩展到全空间布置,监测时间跨度将从施工期延伸到建(构)筑物全生命周期,监测项目将从少数物理量发展到位移、应力、应变,以及其他基本物理性质的多场耦合监测,监测的手段将从传统的光学、电磁、声学方法发展到地震、化学及重力等方法,监测数据的采集和传输将从人工、半自动化发展到以光纤、物联网及移动互联网为特征的全自动化。硬件的飞速发展必将为监测工作的大数据化提供坚实的基础。另外,高精尖设备传感器的研发利用的国产化仍需进一步发展将有利于设备的市场化和测试设备的推广,降低测试与监测成本。

参考文献

- [1] 马英明,程锡禄. 工程测试技术[M]. 北京:煤炭工业出版社,1988.
- [2] 胡中雄. 土力学与环境土工学[M]. 上海:同济大学出版社,1997.
- [3] 钱七虎. 岩土工程的第四次浪潮[C]//钱七虎. 钱七虎院士论文选集,2007:267-272.

- [4] 高大钊,孙钧. 岩土工程的回顾与前瞻[M]. 北京:人民交通出版社,2001.
- [5] 宰金珉. 岩土工程测试与监测技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [6] 任建喜. 岩土工程测试技术[M]. 武汉:武汉理工大学出版社,2015.
- [7] 刘汉龙. 岩土工程技术创新方法与实践[J]. 岩土工程学报,2013,35(1):34-58.
- [8] 沈小克,韩焯,周宏磊,等. 岩土工程在可持续发展中的新使命[J]. 工程勘察,2013(4):1-8.
- [9] 王浩,覃卫民,焦玉勇,等. 大数据时代的岩土工程监测——转折与机遇[J]. 岩土力学,2014(9):2634-2641.
- [10] 方晓阳. 21世纪环境岩土工程展望[J]. 岩土工程学报,2000,22(1):4-14.
- [11] 龚晓南. 21世纪岩土工程发展展望[J]. 岩土工程学报,2000,22(2):238-242.
- [12] 周镜. 岩土工程中的几个问题[J]. 岩土工程学报,1999,21(1):5-11.
- [13] 钱七虎. 岩土工程的第四次浪潮[J]. 地下空间,1999,45(4):267-272,338.
- [14] 陈云敏,施建勇,朱伟,等. 环境岩土工程研究综述[J]. 土木工程学报,2012(4):165-182.
- [15] 刘泉声,徐光苗,张志凌. 光纤测量技术在岩土工程中的应用[J]. 岩石力学与工程学报,2004,23(2):310-314.
- [16] 顾宝和. 漫谈科学技术与岩土工程[J]. 工程勘察,2006(3):1-5,49.
- [17] 袁建新. 环境岩土工程问题综述[J]. 岩土力学,1996(2):88-93.
- [18] 孔令伟,陈正汉. 特殊土与边坡技术发展综述[J]. 土木工程学报,2012(5):141-161.
- [19] 隋海波,施斌,张丹,等. 地质和岩土工程光纤传感监测技术综述[J]. 工程地质学报,2008(1):135-143.
- [20] 张强勇,陈晓鹏,刘大文,等. 岩土工程监测信息管理与数据分析网络系统开发及应用[J]. 岩土力学,2009(2):362-366,373.
- [21] 冯俊德,李建国,胡明鉴,等. 岩土工程数码监测无线传输方法及其装置[J]. 岩土力学,2009(S1):299-303.
- [22] 吕康成,赵久柄,张守一,等. 岩土工程位移实时监测系统研究[J]. 公路,2005(4):151-155.
- [23] 杨育文,殷建华,涂望新. 岩土工程自动化监测系统及其应用[J]. 城市勘测,2003(1):7-10.

第2章 测试技术的相关原理

随着岩土工程学科不断发展,岩土工程测试技术的准确性、便捷性及远程控制性显得尤为重要。岩土工程中,测试信号的检测需要传感器与多台仪器组合共同工作完成,这种共同工作的集合体称为测试系统,可以说测试系统是传感技术发展到现在一定阶段的产物。尤其是近年来电子计算机技术及信息处理技术的发展,测试系统也在不断的改进和发展,为了更好地掌握岩土工程测试技术的相关知识,需要对测试系统的组成、静态传递性及传感器原理等方面理论知识和操作方法进行学习和研究。

2.1 概述

测试技术是科学发展必不可少的手段,它们相互依赖,相互促进,是一门利用仪器、设备对任何量进行某种意义的测量的系统的技术科学。岩土工程测试技术是借助专用的仪器设备,获得岩土工程中客观存在的,与安全生产有关的各种物理量和各种因素,为岩土工程的研究与施工提供可靠的数据。门德列耶夫说过:科学是从测量开始的,没有测量就没有科学,至少是没有精确的科学、真正的科学。我国王大珩院士也说过:仪器是认识世界的工具;科学是用斗量禾的学问。用斗去量禾就对事物有了深入、精确的了解,就形成了科学。

在科技时代,现代科技的发展对测试技术提出新的要求,从而促进了测试技术的研发。测试技术迅速汲取各科技领域的新成果,开发出新的测试方法和先进的测试仪器,同时给科学研究提供更先进的手段。

岩土工程实践提出监测和检测的任务是正确、及时地掌握信息。处于源头的信息是最微弱、最容易受到干扰的。信息的准确性首先取决于源头信息,其次取决于测试。为了提高所获得信息的准确性,现代测试系统往往还包括信息的预处理、预存储、传输和控制,把从信息的获取到控制作为一个整体来对待。

检测系统这一概念是传感技术发展到现在一定阶段的产物。检测系统是传感器与测量仪表、变换装置等的有机组合。在实际工程中,需要有传感器与多台测量仪表有机地组合起来,构成一个整体,才能完成信号的检测,这样便形成了检测系统,即测试系统。随着计算机技术及信息处理技术的不断发展,检测系统所涉及的内容也不断得以充实。只有对测试系统有完整的了解,才能按照实际需要设计或配置出有效的测试系统,以达到实际测试的目的。

2.1.1 测试技术的主要任务和方法

测试技术的主要任务有:获得原始参数,如岩石的弹性模量、泊松比等,可以通过现场或实验室条件获得;测量岩体的变形,确定岩体位移变化规律,评价岩石稳定性同时根据