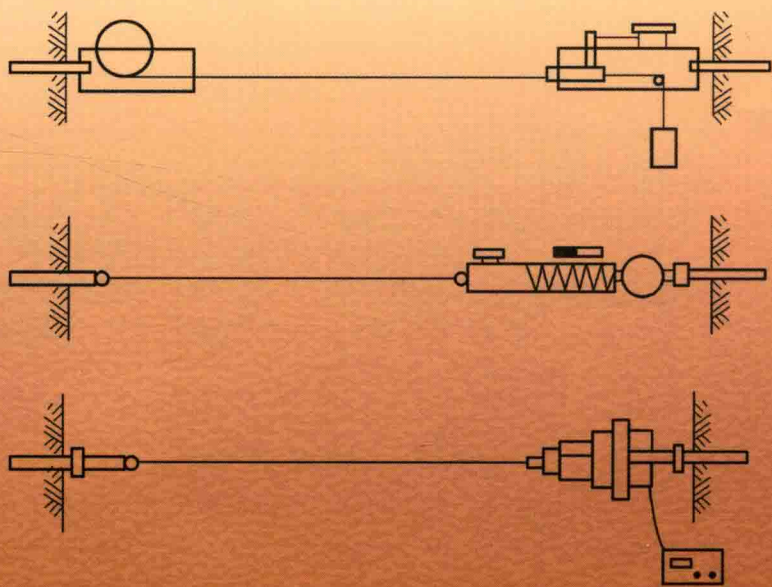


国家一类特色专业 国家卓越工程师教育培养计划
地质工程专业系列教材

CONSTRUCTION SITE MONITORING OF GEOTECHNICAL ENGINEERING

岩土工程现场监测

● 李欣 冷毅飞 等编著



地质出版社

国家一类特色专业 国家卓越工程师教育培养计划

地质工程专业系列教材

岩土工程现场监测

李欣 冷毅飞 等编著

唐大雄 (吉林大學)

鄭春宇 (中國地質)

潭周地 (吉林·北

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书共分九章,第一章简要介绍了岩土工程现场监测的对象、内容以及基本方法和技术发展现状;第二、三章详细介绍了现场监测的基本方法、原则以及主要的监测仪器;第四、五、六、七、八章则分别从基坑监测、滑坡监测、隧道监测、冻土工程地温长期监测、道路地基沉降变形监测五个方面对岩土工程中的常见工程监测进行了讲解;第九章则以高层建筑沉降监测、水利工程监测、管道工程监测为例简要介绍了其他常见工程的监测。

本书可作为地质工程、土木工程专业本科教学用书,也可供勘察、设计、施工、监理等技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

岩土工程现场监测/李欣等编著. —北京:地质出版社, 2015. 8

ISBN 978 - 7 - 116 - 09393 - 5

I. ①岩… II. ①李… III. ①岩土工程—监测 IV. ①TU413

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 199845 号

Yantu Gongcheng Xianchang Jiance

责任编辑:李惠娣

责任校对:关风云

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话: (010) 66554528 (邮购部); 66554579 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

传 真: (010) 66554582

印 刷:北京地质印刷厂

开 本: 787 mm×1092 mm $\frac{1}{16}$

印 张: 12.5

字 数: 300 千字

印 数: 1—2000 册

版 次: 2015 年 8 月北京第 1 版

印 次: 2015 年 8 月北京第 1 次印刷

定 价: 21.00 元

书 号: ISBN 978 - 7 - 116 - 09393 - 5

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

国家一类特色专业 国家卓越工程师教育培养计划
地质工程专业系列教材

编写委员会

主任委员：孙友宏

副主任委员：陈剑平 陈 晨

委 员：（按姓氏笔画排序）

王茂森 王常明 牛建军 代树林 刘宝昌

李 欣 杨志双 陈宝义 范建华 佘 磊

赵大军 徐会文 徐佩华

编审委员会

主任委员：苏义脑（中石油集团钻井工程技术研究院）

何满潮（中国矿业大学〈北京〉）

委 员：（按姓氏笔画排序）

王 达（中国地质调查局）

石智军（中煤科工集团西安研究院）

肖树芳（吉林大学）

伍法权（中科院地质与地球物理研究所）

刘佑荣（中国地质大学〈武汉〉）

刘宝林（中国地质大学〈北京〉）

张 伟（中国地质调查局）

郑达辉（吉林大学）

殷 琨（吉林大学）

唐大雄（吉林大学）

鄢泰宁（中国地质大学〈武汉〉）

谭周地（吉林大学）

薄景山（防灾科技学院）

序 一

地质工程专业包括传统的工程地质与探矿工程两个专业方向，它是我国国民经济建设不可缺少的专业。随着人类社会的发展和技术进步，其地位愈加重要，应用领域也日益广泛。地质工程专业除了为传统的地质找矿服务外，当前还广泛应用于工业与民用建筑、重大基础设施建设、地质灾害防治、非常规油气资源开发、海洋资源调查等领域，与人们的生产和生活密切相关。

吉林大学地质工程专业办学已有 63 年的历史，经过几代教师的栉风沐雨、辛勤耕耘，为国家培养了一大批杰出人才，取得了一批高水平的研究成果；而该专业所在的建设工程学院，其学科建设和专业特色也享誉海内外。2007 年，吉林大学地质工程学科被评为国家重点学科，2008 年，勘查技术与工程专业（含地质工程专业）被评为“国家一类特色专业”。2010 年，吉林大学首批进入教育部“国家卓越工程师教育培养计划”，勘查技术与工程专业（地质工程方向）为首批实施专业。

吉林大学建设工程学院的老师们，根据地质工程专业教学大纲要求并结合自身教学和科研经验，编写了本系列教材。这个系列教材具有如下特点：一是内容新，不仅保留了原有教材的精华，还增加了地质工程学科的国内外最新科研成果，做到继承与创新的统一；二是自成专业体系，全套教材共 20 种，涵盖了地质工程专业两个方向的专业基础课程、专业主干课程和专业特色课程，满足了专业教学的需要；三是通俗易懂，充分利用现代信息技术手段，将大量的工法原理和非可视化的地下过程，变成图像、图形、图示、表格等形式，可供相关专业人员参考。

我认为，这套系列教材反映了吉林大学地质工程专业 60 多年来深厚的学科积累，凝结了几代教师的心血和智慧，值此谨向参加本套教材编写的教师们表示由衷的敬意！相信这套教材的出版将为我国地质工程专业的发展起到更大的促进作用。

是为序。

中国工程院院士

2015 年 7 月 20 日

序 二

地质工程属于工程技术学科，主要服务于资源开发、工程建设、地质灾害防治与地质环境保护等领域。地质工程学科需要面向我国“走新型工业化道路”和“‘走出去’发展战略”的国家目标，以培养和造就一批创新能力强，适应社会对人才培养多样化的需要，满足学生继续深造或就业的不同需要为导向，以此制定专业培养方案。吉林大学地质工程专业是国家“国家卓越工程师教育培养计划”首批实施专业，为此，该校建立了多样化的人才培养模式和与之相适应的课程体系，改革了教学内容、教学方法，设计了多门优势特色课程。这些措施为培养探索研究型、拔尖创新型地质工程专业人才奠定了基础。

教材建设是专业建设、课程建设的重要组成部分，是“传道、授业、解惑”的重要工具。吉林大学建设工程学院组织编写的“国家一类特色专业、国家卓越工程师教育培养计划地质工程专业系列教材”涵盖了工程地质和钻掘工程两个方向，包括：工程岩土学、土力学、岩体力学、碎岩工程学等专业基础课，环境地质与工程、工程地质勘察、钻探工艺学、冲击回转钻进、油气钻探等专业主干课，以及岩土工程分析与设计、岩土工程施工等专业特色课程。创编地质工程专业系列教材在我国尚属首次，求全不易，创新更难。吉林大学建设工程学院有60多年学科建设的经验积累，有一大批优秀的专家学者在此耕耘和奉献，取得了一批国内外知名的研究成果，为本套教材的编写与出版奠定了扎实的基础。希冀本套教材能够遵循继承与发展的原则，尽快出版，以助推我国地质工程专业教育的进步和发展。

当今社会的科技发展日新月异，地质工程学科也是如此。近年来，室内常规试验、物理模拟及试验、原位测试等新技术不断应用于地质工程，地质灾害的理论和地基处理技术的研究等都取得了令人瞩目的进展。将这些新理论、新方法、新技术及时应用于专业教育，方能培养出具有创新思维和科学素养的专门人才。唯其如此，方能体现教材的科学性、先进性和实用性。这是教材编写者需要关注的一个重要方面。

会当凌绝顶，一览众山小。寄语攻读地质工程专业的莘莘学子，继承前

欣然应邀，特作此序。

ने काळिङ

| IV |

前 言

各类重大岩土工程,如大坝、地下硐室、隧道和深基坑等涉及的场地地质条件、施工工序复杂,受岩土力学理论、技术和经济条件的限制,目前几乎不可能在设计阶段就准确预测和评估岩土体在施工、运行过程中的动态响应。因此,岩土工程的安全不仅取决于合理的设计、施工,而且取决于贯穿在工程始终的安全监测。安全监测为保证工程安全提供了科学依据,为设计的调整和指导施工提供了可靠资料。而且,监测成果深化了对岩土介质物理力学性质的认识,为提高岩土工程的理论和技术水平积累了丰富的经验。

岩土工程监测技术是从事岩土工程勘察、设计、施工和监理等项目的工作人员所必需的基本知识,同时也是从事岩土工程理论研究所必需的基本手段。因此,对土木工程专业本科生而言,岩土工程监测技术是一门必须掌握的专业基础课程。

本书主要是针对土木工程专业的本科教学而编写的,因此,在内容选取方面,作者本着尽可能全面反映岩土工程现场监测的基本技术、仪器、原理和方法的原则,尽量使内容通俗易懂,便于学生理解和接受。

本教材由李欣编写第一、二、三、四、六章以及第五章第一、五、六、七、八、九节和第九章第二、三节;冷毅飞编写第七、八章;郑孝玉编写第五章第二、三、四节;金开鑫编写第九章第一节;硕士研究生胡晓、苏征和谢金儒负责绘图、校对以及排版工作;全书由李欣统编定稿。

本书编写过程中引用了多种电子版、纸质版的参考文献,如书籍、论文、期刊、会议论文等的某些内容和图表,参阅了国内外多家网站的内容,在此谨向原作者表示感谢。

吉林大学建设工程学院院长孙友宏教授对本书的出版给予了鼓励与支持。副院长陈晨教授以及作者的同事、校友、朋友和学生也先后给作者提出了许多宝贵意见,在此表示深深的谢意。

限于作者的水平,书中难免有错误和不妥之处,诚恳欢迎读者批评指正。

李 欣

2015年1月于长春

目 录

序 一	
序 二	
前 言	
第一章 绪论	1
第一节 岩土工程监测的对象、内容与分科	1
一、岩土工程监测的对象与任务	1
二、岩土工程监测的内容	2
三、岩土工程监测分科及监测目的	2
第二节 常用的监测方法	2
一、重要的构筑物 and 大型建设工程的变形、位移、沉降的监测方法	2
二、地质灾害体监测方法	3
第三节 岩土工程监测技术发展及应用状况	4
一、岩土工程监测技术发展现状	4
二、岩土工程监测技术应用状况	6
三、岩土工程安全监测发展趋势	7
第二章 监测技术基础知识	8
第一节 岩土工程现场监测分类	9
一、按监测工程分类	9
二、按监测项目分类	9
三、按监测仪器分类	10
第二节 监测系统的构成与建立	12
一、监测系统的构成	12
二、监测系统的建立	15
第三节 监测方案流程图	16
一、岩土工程安全监测方案的设计	16
二、监测系统的测点布置	17
三、岩土工程安全监测的资料分析与信息反馈	17
四、信息化施工	18
第三章 岩土工程监测仪器	20
第一节 基坑工程常用监测仪器	20
一、围护体系内力监测仪器设备	20
二、深层侧向位移监测(测斜)——测斜仪	22
三、地下水位监测仪器设备	24

四、土体分层垂直位移监测仪器设备	25
五、自动化监测	26
第二节 滑坡监测的常用仪器	26
一、位移监测仪器	27
二、降水量监测仪器	29
三、地下水位监测仪器	29
四、TDR 系统	29
五、SRL-16 型自动位移计	30
六、WLT-1020 地下水动态监测仪的工作原理和特点	31
七、HYJ-3008 滑坡诱发因素监测仪	31
八、用于滑坡防治的 BMS-2 型锚索预应力测量系统	31
九、步进式变形监测仪器	32
第三节 地下工程常用的仪器	33
一、全站仪遥测技术	33
二、光纤传感监测系统	35
三、改进的 TMS 隧道监测系统	35
第四章 基坑监测	38
第一节 基坑工程施工现场监测内容、方法及原理	38
一、观察和描述	39
二、围护墙顶沉降监测	39
三、围护墙顶水平位移监测	40
四、深层水平位移测量	41
五、土体分层沉降监测	43
六、基坑回弹监测	44
七、土压力监测	45
八、孔隙水压力监测	45
九、支护结构内力监测	46
十、地下水位监测	47
十一、邻近建筑物变形监测	48
十二、相邻地下管线监测	48
第二节 基坑监测方案编制	49
一、建筑基坑监测方案编制的依据	49
二、建筑基坑监测方案编制的原则	50
三、建筑基坑监测内容的设置	50
四、选择监测项目应考虑的因素	51
五、建筑基坑监测的项目	51
第三节 基坑监测系统的布设	52
一、监测系统设置原则	52
二、基坑支护结构变形监测网的布设	53
三、监测点的埋设方法	54

第四节	监测仪器和设备的选定	57
一、	监测仪器	57
二、	各种仪器在不同观测项目中的选定与应用	58
第五节	监测频率、报警值	63
一、	监测监控报警值的确定	63
二、	监测期限与频率	65
第六节	监测报表、监测报告及施工组织流程	68
一、	监测报表、监测报告	68
二、	施工组织及流程	69
第七节	基坑变形监测技术研究	70
第八节	工程实例	70
一、	工程概况	71
二、	监测方案	71
三、	监测数据分析	73
第五章	滑坡地质灾害的监测	79
第一节	地质灾害防治工程中监测的必要性	79
一、	我国主要的地质灾害形式及危害	79
二、	地质灾害防治工程中监测的必要性	80
三、	当前地质灾害监测的主要内容	80
四、	边坡监测	81
第二节	滑坡监测的目的、内容	82
一、	滑坡监测的目的和特点	82
二、	滑坡工程监测的内容	83
三、	滑坡监测可以按监测对象和监测手段的不同进行分类	83
第三节	滑坡监测方法与仪器	89
一、	滑坡监测方法	89
二、	滑坡监测仪器分类	90
第四节	滑坡监测方法和手段的优选原则	91
第五节	滑坡监测系统	93
一、	滑坡远程无线监测系统	93
二、	基于光纤传感的滑坡监测系统	93
三、	区域性监测预警系统	96
四、	地面变形监测系统	97
五、	GPS 位移监测系统	98
六、	锚索应力监测系统	100
七、	雷达监测系统	100
第六节	监测仪器的选定、使用及布置	100
一、	仪器的选定和使用	101
二、	仪器的布置和监测	102

第七节 滑坡监测的数据处理	102
一、数据的曲线拟合	102
第八节 滑坡工程监测方案的设计	104
一、设计原则	104
二、监测项目的选择	104
三、监测断面与测点布置	105
四、监测频率与周期	106
五、监测实施和监测资料汇总及分析	106
第九节 工程实例	106
一、官家滑坡	106
二、某隧道出口(西口)的滑坡问题	107
第六章 隧道地下工程监测	109
第一节 概述	109
一、国内外施工监测技术现状	110
二、新传感器技术在地下工程监测中的应用	111
第二节 监测的内容及仪器的选定	111
一、现场监测项目	111
二、围岩压力及位移量测仪器的选定	112
第三节 围岩位移量测	114
一、内空收敛位移量测	115
二、拱顶下沉量量测	115
三、围岩内部位移量测	115
四、地表下沉量测	117
第四节 隧道围岩稳定监测项目的选定及量测数据结果的分析	117
一、监测的项目和工作流程	118
二、量测数据结果的分析与归纳	122
第五节 隧道稳定性影响因素及围岩稳定判据的建立	125
一、隧道稳定性影响因素	126
二、围岩稳定判据的建立	129
第六节 隧道监测方案设计	130
一、监测的目的	130
二、隧道监控量测项目	130
三、量测部位的确定和测点的选择	131
四、测试实施计划	133
五、监测数据资料的整理分析	136
六、监控量测工作注意事项	137
七、变形管理等级	137
八、监测反馈及信息化施工管理——监测数据处理与应用	138
九、监测信息反馈程序	139

十、监控量测组织机构	141
十一、监控量测技术要求和质量保证措施	141
十二、紧急情况下的监测应急预案	142
十三、监测点的保护措施	143
第七节 工程实例	143
一、隧道围岩监控的必要性	143
二、工程概况	144
三、洞内外地质和支护状况观察	144
四、地表下沉量测	145
五、周边位移、拱顶下沉量测	145
六、量测数据的处理和应用	146
七、项目管理措施	146
八、结语	146
第七章 冻土工程地温长期监测	147
第一节 概述	147
第二节 地温监测工程实例	147
一、测试元件的加工与设计	147
二、现场埋设和安装调试工作	147
三、监测工作	149
四、监测工作的技术条件	150
五、地温观测数据的整理分析	151
第八章 道路地基沉降变形观测	152
第一节 沉降板观测法	152
一、沉降板观测法应用原理	152
二、水准仪的观测精度	152
三、沉降板观测法安装、工作步骤	152
四、沉降板观测法存在的问题	153
第二节 分层沉降仪观测法	153
一、分层沉降仪的应用原理	153
二、钢尺沉降仪的观测精度	154
三、分层沉降仪的安装、工作步骤	154
四、分层沉降仪存在的问题	155
第三节 位移观测桩观测法	155
一、位移观测桩法的工作原理	155
二、水准仪的观测精度	156
三、位移观测桩法的安装、工作步骤	156
四、位移观测桩法所存在的问题	157
第四节 水管式沉降仪观测法	157
一、水管式沉降仪的工作原理	157

二、水管式沉降仪的规格	158
三、水管式沉降仪测读装置的观测精度	159
四、水管式沉降仪的安装、工作步骤	159
五、水管式沉降仪存在的问题	160
第五节 道路横剖面沉降观测系统	160
一、沉降变形观测管	161
二、二次观测仪	162
三、道路横剖面沉降观测仪的安装工作步骤	163
四、道路横剖面沉降观测系统存在的问题	163
第九章 其他工程监测	165
第一节 高层建筑施工中沉降观测技术	165
一、沉降观测的基本要求	165
二、具体施测程序及步骤	166
三、问题探讨	168
第二节 水利工程监测	168
一、各地水利监测系统现状	169
二、水利港口的监测原理	169
三、GPRS 技术在水利监测系统中的应用研究	170
四、光纤遥测传感技术在水利监测系统中的应用研究	171
第三节 管道工程监测	174
一、监测原则	174
二、观测点的安置原则与保护	175
三、测量精度控制措施	175
四、沉降计算方法	175
参考文献	177

第一章 绪 论

岩土工程是近 30 年来在一些先进国家发展起来并隶属于土木工程范畴的专业，它以土力学、岩石力学、工程地质水文地质学和地基基础工程学为基本理论基础。其主要内容包括四个方面。

1. 岩土工程勘测

按现行有关技术规范、规程的要求，岩土工程勘测要在继续做好工程地质勘测工作的基础上，紧密结合各类岩土工程的特点和要求，进行勘测的技术经济论证和分析，提出有针对性的勘测报告。报告要按照技术可靠、经济合理和切实可行的原则，提出岩土工程评价、建议和设计基准。

2. 岩土工程设计

岩土工程设计主要包括边坡设计、滑坡防治设计、地下洞室设计、地基处理和加固设计、深基坑支挡设计、基坑降水设计、地基防渗设计和地基抗震设计等内容。

3. 岩土工程施工

岩土工程施工主要包括强夯、振冲、换土、地基挤密、地基化学加固等地基处理和加固施工。

4. 岩土工程监测

岩土工程监测主要包括基础开挖以后的地基验槽、地基回弹观测，各类岩土工程施工期间的检验与监测，地下工程的围岩压力及变形监测，重要建筑物和构筑物的长期变形观测，边坡监测，滑坡体的位移观测以及地下水位长期观测等内容。

第一节 岩土工程监测的对象、内容与分科

一、岩土工程监测的对象与任务

现场监测就是以实际工程为对象，在施工期及施工后期对整个岩土体和地下结构以及周围环境，在事先设定的点位上，按设定的时间间隔进行应力和变形现场观测。岩土工程监测是岩土工程的一个重要环节。主要是对一些重要的构筑物 and 大型建设工程的变形、位移、沉降等进行监测，如水利水电大坝、大型桥梁、重要厂房、大型地下隐蔽工程、矿山边坡和尾矿坝等。对复杂的地质灾害体进行监测，对一般工程而言，现场监测可以保证工程的施工质量和安全，提高工程效益，优化设计；对科研工作而言，现场监测可以提供相对可靠的试验参数，直观地观测到岩土体性状的变化规律，是理论研究的基础和检验手段。因此，无论在生产实践还是科学研究中，岩土工程监测都被广泛地应用。

岩土工程监测始于 20 世纪 30~40 年代。早期通常是用一些简单的力学及水利仪器来

监测变形、土压力及孔隙水压力。近年来,随着对岩土工程问题研究的深入,监测仪器和监测手段也在不断地更新发展。

二、岩土工程监测的内容

岩土工程监测内容包括:①开展桩质量检验及单桩承载力的测定;②检验加固地基的效果;③观测滑坡位移及建筑物沉降;④监测地下水污染。

岩土工程监测的具体内容如下:

(1) 工程场地及周边的变形、变位监测。按作用力方向,可分为垂直和水平两类,具体是基础不均匀沉降,地基土的分层变形,基坑边坡稳定和地基土的回弹,打入桩侧向挤压变形,支护结构垂直和水平位移等。

(2) 结构应力监测,包括基底压力(或反力),结构的钢筋应力,桩身应力,锚杆压力,支撑轴力等。

(3) 地下水及孔隙水压力监测,包括地下水动态水位,必要时需监测地下水位面的倾斜和起伏,补给和流向,以及上述不同情况下孔隙水压力的变化。

(4) 相邻建筑物的沉降、倾斜及地下管线的沉降、位移监测。

上述内容并不是每项工程的必需条件,而是根据工程特点、环境条件、水文工程地质情况、工程设计和施工方案等因素进行综合分析,有针对性地拟订监测方案。

三、岩土工程监测分科及监测目的

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、整治和改造问题而进行的系统工作。

测试技术是从根本上保证岩土工程设计的精确性、代表性以及经济合理性的重要手段。对岩土工程专业的学生来说,这是一门必须掌握的专业基础课程。

岩土工程安全监测的目的就是通过对岩体和土体变形的监测,掌握其活动情况、破坏机理及对工程的影响,进而分析监测信息以预测工程可能发生的破坏,为防灾减灾提供依据。岩土工程监测的主要目的与任务如下:

(1) 根据监测结果,发现可能发生危险的先兆,判断工程的安全性,防止工程破坏事故和环境事故的发生,采取必要的工程措施;

(2) 以工程监测的结果指导现场施工,确定和优化设计施工方案和参数,进行信息化施工;

(3) 检验工程勘察资料的可靠性,验证设计理论和设计参数选定的正确性;

(4) 校核理论(为理论解析、数值分析提供计算数据与对比指标),完善工程类比方法(为工程类比提供参数指标);

(5) 为验证和发展岩土工程的设计理论服务,为新的施工方法、技术提供可靠的实践资料和科学依据,促进技术和经济效益的提高。

第二节 常用的监测方法

一、重要的构筑物 and 大型建设工程的变形、位移、沉降的监测方法

目前,监测方法、技术要求等,尚未制订行业标准,针对国内外已有的方法总结

如下:

(1) 地面变形、变位监测。通常采用以精度的测量方法作定点重复观测。即有针对性地设置监测点,用高精度的水准仪监测沉降,用交会或控制导线监测水平位移,如对地基设置沉降杆,建筑物上射钉设置标志,地下管线做抱箍等。

(2) 地下土体的变形、变位监测。采用分层沉降仪监测其垂向变形,即监测前在钻孔内设置刚性很小的波纹管,并对监测的土层安置若干个金属“环刀”,监测时环刀的位置即反映了土层的垂向变位。国内这类仪器型号较多,灵敏度可达 $\pm 1\text{ mm}$ 。

土体的水平方向变形、变位,通常采用高精度测斜方法,对监测的井孔安置带“十”字槽的测斜管,用测斜仪进行两个方位的测斜。国外见报道的测斜仪有美国的加速度计式测斜仪,日本的差动变压器式测斜仪;国内研制的伺服式管孔测斜仪,性能比较稳定,有的型号还可以进行连续观测。

(3) 应力及土压力监测。是在结构物上串接钢筋应力计和埋设土压力盒,这两种设备简单而且实用。近年来我国研制的 RYC 系列,除测量应力、应变等物理量外,还能对水位、水温等进行测量,并实现了无人值守、自动记录数据、储存、打印、绘图,同时还配备应力场计算软件。

(4) 地下水的监测,采用水位仪监测地下水位,对于需长期、连续监测的井孔,设置磁性浮子液位计。

孔隙水压的监测采用孔隙水压力计,常见的有液压式、气压式和电感式,比较先进的有电脑全自动智能化水位及孔隙水压力仪。

对地下水流速、流向监测除采用地下水流速仪(测速范围 $0.2\sim 80\text{ cm/s}$)外,我国开发研制的同位素流速、流向测试系统,具有单孔测试的特点,具有较高的检测灵敏度,多探头还可做弥散试验等,配合地下水参数仪,还可测试渗透流速、渗透系数、有效孔隙度等参数。

(5) 建筑物倾斜和沉降的监测。除采用测量方法外,对重点监测的建筑物设置电子倾角仪和连通管形变监测仪,它们都可以安置多个探头,自动连续地监测。

上述测试技术,我国已达到国际先进水平,有的甚至还高于国际水平,关键是对监测工作的重视和规范。

二、地质灾害体监测方法

对复杂的地质灾害体进行监测,是近些年才逐渐开始应用的,当前采用的主要监测方法有以下几种。

1. 地面绝对位移监测

绝对位移监测是最基本的监测方法,测量崩(塌)滑(坡)体测点的三维坐标,从而得出测点的三维变形位移量、位移方位与变形位移速率,主要使用经纬仪、水准仪、红外测距仪、激光准直仪、全站仪和 GPS 仪等,应用大地测量法来测得变形体上某点的三维坐标。

2. 地面相对位移监测

地面相对位移监测是测量崩滑体重点变形部位点与点之间相对位移变化(张开、闭