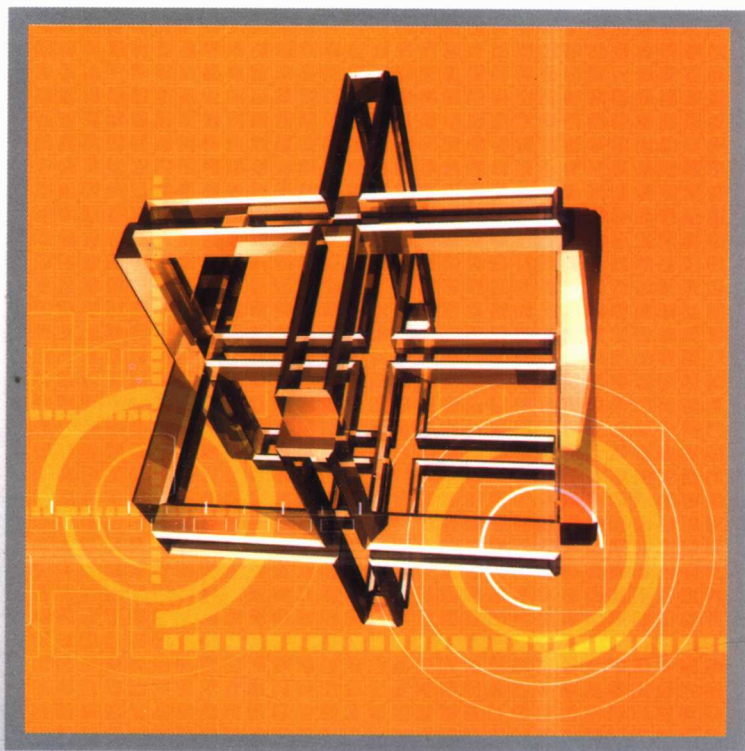


普通高等教育21世纪优秀教材

# 变形监测技术 与应用



岳建平 田林亚 主编

国防工业出版社  
National Defense Industry Press

普通高等教育 21 世纪优秀教材

# 变形监测技术与应用

岳建平 田林亚 主编

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本教材共分15章,前8章主要介绍变形监测的原理和方法,后7章主要介绍这些原理和方法在典型工程中的应用。在基本原理中,主要介绍了变形监测的目的意义、精度要求、观测周期,以及变形监测系统的设计等原理。在变形监测方法中,重点介绍了水平位移、垂直位移、挠度、裂缝等的监测技术。为扩大读者的知识面,还补充介绍了应力、渗流等安全监测的技术内容。为反映现代变形监测技术的研究进展,本教材简要介绍了光纤监测技术、GPS监测技术,以及自动化监测技术。为全面反映变形监测工作的全过程,本教材对监测资料的整编,以及变形监测数学模型作了系统的介绍。在实际应用方面,本教材重点介绍了工业与民用建筑物、基坑工程、桥梁工程、地铁隧道工程、水利工程、边坡工程、软土地基工程等的变形监测技术和方法。读者可根据实际工作需要选读其中的有关章节。

### 图书在版编目(CIP)数据

变形监测技术与应用/岳建平,田林亚主编. —北京:  
国防工业出版社,2007.6  
普通高等教育21世纪优秀教材  
ISBN 978-7-118-05063-9

I. 变... II. ①岳...②田... III. 变形观测—高等学校—教材 IV. P227

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第029499号

※

国防工业出版社 出版发行  
(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100044)

腾飞胶印厂印刷  
新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 15½ 字数 359千字  
2007年6月第1版第1次印刷 印数1—4000册 定价24.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

# 前 言

变形监测理论和技术是工程测量学中的一重要研究内容,也是目前监测建筑物安全的一种重要手段,对保障国民经济建设和工程的正常运营有着重要的意义。该课程也是测绘工程专业的必修专业课。本教材按照高等院校测绘工程专业培养方案的要求编写而成。编者在总结多年教学经验的基础上,广泛征求同行的意见和建议,并根据当今工程测量技术的研究进展,重点介绍了变形监测的原理和方法,同时对全站仪、GPS、光纤和自动化监测等先进监测技术进行了适当的介绍。本教材适用于测绘工程、土木工程等相关专业的教学,也可作为工程技术人员的参考书。

本教材的前8章主要介绍变形监测的基本原理、方法和技术,以及监测数据处理理论和方法;后7章侧重于监测技术在工程中的应用。本教材以基础理论和基本概念为重点,力求理论与实际相结合,传统技术与现代技术相对照,重点和难点阐述分析详细,各部分内容由浅入深,循序渐进。

参加本教材编写的作者及分工如下:

岳建平(河海大学),撰写第1、3、4、6、7、11、13章,负责全书的组织和统稿。

田林亚(河海大学),撰写第2、10、14、15章,负责全书的校对。

黄红女(河海大学),撰写第8章。

石杏喜(南京理工大学),撰写第5章。

赵显富(南京信息工程大学),撰写第9章。

郑加柱(南京林业大学),撰写第12章。

本书的部分图表和内容取自所列的参考文献,在此向原作者致谢。

由于编者水平有限,书中难免存在谬误之处,敬请读者批评指正。

编者

# 目 录

<b>第 1 章 概述</b> .....	1
1.1 变形监测的目的与意义 .....	1
1.2 变形监测的主要内容 .....	5
1.3 变形监测的精度和周期 .....	7
1.4 变形监测系统设计.....	10
1.5 变形监测技术进展.....	12
思考题 .....	15
<b>第 2 章 沉降监测技术</b> .....	16
2.1 概述.....	16
2.2 精密水准测量.....	17
2.3 精密三角高程测量.....	23
2.4 液体静力水准测量.....	25
思考题 .....	29
<b>第 3 章 水平位移监测</b> .....	30
3.1 概述.....	30
3.2 交会法观测.....	32
3.3 精密导线测量.....	34
3.4 全站仪观测.....	39
3.5 视准线测量.....	44
3.6 引张线测量.....	47
3.7 垂线测量.....	51
3.8 激光准直测量.....	54
思考题 .....	57
<b>第 4 章 建筑物内部监测</b> .....	58
4.1 内部位移监测.....	58
4.2 应力/应变监测 .....	60
4.3 地下水位及渗流监测.....	63
4.4 挠度监测.....	66
4.5 裂缝监测.....	68
4.6 光纤监测技术.....	70
思考题 .....	75
<b>第 5 章 GPS 在变形监测中的应用</b> .....	76

5.1	概述	76
5.2	GPS 定位基本原理	79
5.3	GPS 实时监测技术	86
5.4	GPS 一机多天线监测技术	89
	思考题	92
<b>第 6 章</b>	<b>自动化监测技术</b>	<b>93</b>
6.1	概述	93
6.2	自动化监测系统设计	95
6.3	通用分布式测量控制单元(MCU)原理及应用	100
6.4	安全监测自动化系统设计示例	103
	思考题	108
<b>第 7 章</b>	<b>监测资料的整编与分析</b>	<b>109</b>
7.1	监测资料的整编	109
7.2	监测资料的分析	112
7.3	监测数据的预处理	115
	思考题	118
<b>第 8 章</b>	<b>变形监测数学模型及应用</b>	<b>120</b>
8.1	概述	120
8.2	统计模型的建立	121
8.3	灰色系统分析模型	125
8.4	时间序列分析模型	132
	思考题	139
<b>第 9 章</b>	<b>工业与民用建筑物变形监测</b>	<b>140</b>
9.1	概述	140
9.2	建筑基础沉降监测	140
9.3	建筑物倾斜监测	147
9.4	工程实例	151
	思考题	152
<b>第 10 章</b>	<b>基坑工程施工监测</b>	<b>153</b>
10.1	概述	153
10.2	监测内容及方法	154
10.3	监测技术设计	159
10.4	监测数据整理与分析	163
10.5	基坑监测实例	165
	思考题	169
<b>第 11 章</b>	<b>桥梁工程变形监测</b>	<b>170</b>
11.1	概述	170
11.2	桥梁基础垂直位移监测	174
11.3	桥梁挠度观测	176

11.4	桥梁结构的健康诊断	178
	思考题	182
<b>第12章</b>	<b>地铁盾构隧道施工监测</b>	<b>183</b>
12.1	概述	183
12.2	施工监测内容与方法	186
12.3	地铁盾构隧道监测方案设计	191
12.4	监测数据整理与分析	192
12.5	工程实例	194
	思考题	197
<b>第13章</b>	<b>水利工程变形监测</b>	<b>198</b>
13.1	概述	198
13.2	监测项目及要求	200
13.3	监测系统设计	204
13.4	小浪底大坝安全监控系统设计	207
13.5	大坝安全评判专家系统设计	212
	思考题	215
<b>第14章</b>	<b>边坡工程监测</b>	<b>216</b>
14.1	概述	216
14.2	监测内容与方法	217
14.3	监测技术设计	221
14.4	监测数据整理与分析	224
14.5	边坡监测实例	225
	思考题	228
<b>第15章</b>	<b>软土地基沉降与稳定监测</b>	<b>229</b>
15.1	概述	229
15.2	高速公路软基监测	230
15.3	堤防工程软基监测	234
15.4	堤防工程施工监测实例	237
	思考题	240
	<b>参考文献</b>	<b>242</b>

# 第 1 章 概 述

变形监测是对被监测的对象或物体(简称变形体)进行测量以确定其空间位置及内部形态随时间的变化特征。变形监测又称变形测量或变形观测。变形体一般包括工程建筑物、技术设备以及其他自然或人工对象,例如,古塔与电视塔、桥梁与隧道、船闸与大坝、大型天线、车船与飞机、油罐与贮矿仓、崩滑体与泥石流、采空区与高边坡、城市与灌溉沉降区域等。工程建筑物和技术设备变形以及局部地表形变的监测乃是工程测量学的重要内容。

变形监测是掌握建筑物工作性态的基本手段,但仅对建筑物进行位移特征的监测是不够全面的,还需要对结构内部的应力、温度以及外部环境进行相应的监测,只有这样才能全面掌握建筑物的性态特征,为此,在变形监测的基础上发展成为安全监测。安全监测的成果不仅可以反映建筑物的工作性态,同时还能反馈给生产管理部门,以控制和调节建筑物的荷载,所以,安全监测有时又称安全监控。

安全监测的主要目的是确定建筑物的工作性态,保证建筑物的安全运营。为此,需要建立一套完整的安全评判理论体系,以分析和评判建筑物的安全状况,由此而产生和发展了一种新的建筑物健康诊断理论。

## 1.1 变形监测的目的与意义

### 1.1.1 目的与意义

由于大型建筑物在国民经济中的重要性,其安全问题受到普遍的关注,政府和地方部门对安全监测工作都十分重视,因此,绝大部分的大型建筑物都实施了监测工作。对建筑物进行变形监测的主要目的有以下几个方面。

#### 1. 分析和评价建筑物的安全状态

工程建筑物的变形观测是随着工程建设的发展而兴起的一门年轻学科。改革开放以后,我国兴建了大量的水工建筑物、大型工业厂房和高层建筑物。由于工程地质、外界条件等因素的影响,建筑物及其设备在施工和运营过程中都会产生一定的变形。这种变形常常表现为建筑物整体或局部发生沉陷、倾斜、扭曲、裂缝等。如果这种变形在允许的范围之内,则认为是正常现象。如果超过了一定的限度,就会影响建筑物的正常使用,严重的还可能危及建筑物的安全。例如,不均匀沉降使某汽车厂的巨型压机的两排立柱靠拢,以至巨大的齿轮“咬死”而不得不停工大修;某重机厂柱子倾斜使行车轨道间距扩大,造成了行车下坠事故。不均匀沉降还会使建筑物的构件断裂或墙面开裂,使地下建筑物的防水措施失效。因此,在工程建筑物的施工和运营期间,都必须对它们进行变形观测,以监视建筑物的安全状态。



随着经济建设的发展和水利资源的不断开发利用,大坝和其他水工建筑物的数量和规模都在不断增加和发展。我国的水利水电事业取得了举世瞩目的成就,建国以来,我国共修建 8.6 万余座堤坝,这些工程在国民经济中发挥了巨大的作用。然而,相当一部分大坝存在着某些不安全因素,有的已运行 30 多年,甚至更长,坝体材料逐渐老化,有些大坝出现危及大坝安全的裂缝和病变,有些大坝的坝址地质条件复杂,导致大坝的安全度偏低,还有些大坝的防洪标准偏低等,这些因素不同程度地影响工程效益的发挥,甚至威胁着下游千百万人民的生命财产安全。法国的马尔巴塞大坝(Malpasset)、美国的提堂大坝(Teton)、意大利的瓦依昂拱坝(Vaiont)以及我国的板桥、石漫滩和沟后等大坝失事,都给下游人民群众的生命财产造成了严重灾难。

## 2. 验证设计参数

变形监测的结果也是对设计数据的验证,为改进设计和科学研究提供资料。这是由于人们对自然的认识不够全面,不可能对影响建筑物的各种因素都进行精确计算,设计中往往采用一些经验公式、实验系数或近似公式进行简化,对正在兴建或已建工程的安全监测,可以验证设计的正确性,修正不合理的部分。例如,我国刘家峡大坝,根据观测结果进行反演分析,得出初期时效位移分量、坝体混凝土弹模、渗透扩散率及横缝作用等有关结构本身特性的信息。

## 3. 反馈设计施工质量

变形监测不仅能监视建筑物的安全状态,而且对反馈设计施工质量等起到重要作用。例如,葛洲坝大坝是建在产状平缓、多软弱夹层的地基上,岩性的特点是砂岩、砾岩、粉砂岩、黏土质粉砂岩互层状,因此,担心开挖后会破坏基岩的稳定,通过安装大量的基岩变形计,在施工期间及 1981 年大江截流和百年一遇洪水期间的观测结果表明,基岩处理后,变形量在允许范围内,大坝是安全稳定的。

## 4. 研究正常的变形规律和预报变形的办法

由于人们认识水平的限制,对许多问题的认识都有一个由浅入深的过程,而大型建筑物由于结构类型、建筑材料、施工模式、地质条件的不同,其变形特征和规律存在一定的差异。因此,对已建建筑物实施安全监测,从中获取大量的安全监测信息,并对这些信息进行系统的分析研究,可寻找出建筑物变形的基本规律和特征,从而为监控建筑物的安全、预报建筑物的变形趋势提供依据。

变形监测的意义具体表现在:对于机械技术设备,则保证设备安全、可靠、高效地运行,为改善产品质量和新产品的设计提供技术数据;对于滑坡,通过监测其随时间的变化过程,可进一步研究引起滑坡的成因,预报大的滑坡灾害;通过对矿山由于矿藏开挖所引起的实际变形的观测,可以采用控制开挖量和加固等方法,避免危险性变形的发生,同时可以改进变形预报模型;在地壳构造运动监测方面,主要是大地测量学的任务,但对于近期地壳垂直和水平运动以及断裂带的应力积聚等地球动力学现象、大型特种精密工程如核电厂、粒子加速器以及铁路工程也具有重要的工程意义。

### 1.1.2 变形监测的特点

变形监测与常规的测量工作相比较,它们既有相同点,又有各自不同的特点和要求。具体来说,变形监测具有以下特点。

### 1. 周期性重复观测

变形观测的主要任务是周期性地对观测点进行重复观测,以求得其在观测周期内的变化量。周期性是指观测的时间间隔是固定的,不能随意更改;重复性是指观测的条件、方法和要求等基本相同。

为了最大限度地测量出建筑物的变形特征数据,减小测量仪器、外界条件等引起的系统性误差影响,每次观测时,测量的人员、仪器、作业条件等都应相对固定。例如,在进行沉降观测时,要求在规定的日期,按照设计线路和精度进行观测,水准网形原则上不准改变,测量仪器一般也不准更改,对于某些测量要求较高的情况,测站的位置也应基本固定。

### 2. 精度要求高

在通常情况下,为了准确地了解变形体的变形特征和变形过程,需要精确地测量变形体特征点的空间位置,因此,变形监测的精度要求一般比常规工程测量的精度要求高。例如,在大坝变形监测中,坝体的水平位移监测精度一般要求达到 $\pm 1\text{mm}$ 的精度,对于坝基等特殊部位的监测精度甚至更高。因此,高精度的测量要求对测量的仪器和作业方法提出了更高的要求。

另外,由于变形监测点大多布设在变形体上,它是根据建筑物的重要性及其地质条件等布设的,变形体的形状特征决定了监测点的空间分布特征,同时也决定了监测网的形状特征。由于许多工程建筑物呈狭长的条状分布,所以,变形监测网也基本上只能按这种形状分布,测量人员无法按照常规测量那样考虑测点的网形,这给测量工作及测量的精度带来一定的影响。

### 3. 多种观测技术的综合应用

随着科学技术的发展和进步,变形监测技术也在不断丰富和提高。相对而言,变形监测的技术和方法较常规大地测量的技术方法更为丰富。目前,在变形监测工作中,通常用到的测量技术包括以下几个方面。

(1) 常规大地测量方法。大地测量方法是变形监测的传统方法,主要包括三角测量、水准测量、交会测量等方法。该类方法的主要特征是可以利用传统的大地测量仪器,理论和方法成熟,测量数据可靠,观测费用相对较低。但该类方法也有其很大的缺陷,主要表现在观测所需要的时间长,劳动强度高,观测精度受到观测条件的影响较多,不能实现自动化观测等。因此,该类方法在快速、实时、高精度等要求的场合,其应用受到一定的限制。

(2) 专门的测量方法。对于某些只需要监测某些特定位移特征量的场合,可以采用专门的测量方法。如利用视准线、引张线测量方法,可以测量直线型大坝垂直于坝轴线方向的水平位移,利用垂线可以监测大坝或高大型建筑物的挠度等。又如,利用倾斜仪可以观测建筑物及其基础的倾斜和转动角等。目前,这种专门用于土木工程变形监测的专用仪器在品种、型号等方面相当丰富,用户有很大的选择余地。

(3) 自动化监测方法。变形监测的自动化是监测工作的发展方向。目前,大多数重大工程的主要监测工作都实现了自动化监测,这不仅提高了测量的速度,降低了测量作业的劳动强度,而且对实时监控建筑物的安全、提高测量精度等都有着重要的意义。自动化监测除了需要布设自动监测的传感器外,还要建立测量控制和数据传输的通信网络,以及进行数据采集、传输、管理、分析等的计算机软件系统。目前,该项技术已进入实用阶段,

但还有许多技术问题需要进一步研究。

(4) 摄影测量方法。在利用变形监测点监测变形体的变形特征时,由于测点的数量有限,有时难以反映变形体变形的细节和全貌,特征信息不够全面。而采用摄影测量方法则可以将变形体变形的特征信息全面地进行采集,具有快速、直观、全面的特点,该方法已广泛应用于高边坡、滑坡等的监测工作。但该方法也存在一定的缺陷,主要是测量的精度相对较低,对于高精度要求的监测工作还需要进一步的研究。

(5) GPS 等新技术的应用。GPS 在许多领域都有成功的应用,在变形监测领域,该技术的应用研究也是一个热点课题,它可以实现高精度、全天候的实时监测,较常规的大地测量方法有许多独特的优点。该技术的成功应用,不仅减轻了测量作业的劳动强度,而且实现了监测工作的自动化,特别是该方法受观测条件的影响较小,从而可保证测量数据的连续性和完整性。另外,应用于变形监测的新技术还有 CT 技术、光纤技术、测量机器人技术等,这些高新技术的成功应用,将大大提高变形监测的整体水平。

#### 4. 监测网着重于研究点位的变化

变形监测工作主要关心的是测点的点位变化情况,而对测点的绝对位置并不过分关注,因此,在变形监测中,常采用独立的坐标系统。虽然坐标系统可以根据工程需要灵活建立,但坐标系统一经建立一般不允许更改,否则,监测资料的正确性和完整性就得不到保证。例如,在沉降监测中,一般采用独立的高程系统,该系统可以和国家或地方的高程系统联测,也可以不进行联测,只需要在成果资料中予以说明即可。另外,对于某些建筑物,其监测的位移量要求在某个特定的方向上,这时,若采用国家坐标系统或地方坐标系统,将难以满足这样的要求,因此,只能建立独立的工程坐标系统。例如,在大坝变形监测中,要求测量的水平位移是坝轴线方向和垂直于坝轴线方向的位移,这时的坐标系统就应该根据坝轴线来建立。

### 1.1.3 变形的分类

引起建筑物变形的原因有很多,但主要可分为外部原因和内部原因两个方面。外部原因主要有:建筑物的自重、使用中的动荷载、振动或风力等因素引起的附加荷载、地下水位的升降、建筑物附近新工程施工对地基的扰动等。内部原因主要有:地质勘探不充分、设计错误、施工质量差、施工方法不当等。分析引起建筑物变形的原因,对以后变形监测数据的分析解释是非常重要的。

对变形体的变形特征进行合理的分类,有利于科学合理地开展监测工作,对变形的机理及变形监测的数据进行有效的分析和解释。变形体的变形特征按照其自身的特点和研究的不同目的,有不同的分类方法,主要方法如下。

#### 1. 变形的一般分类

在通常情况下,变形可分为静态变形和动态变形两大类。静态变形主要指变形体随时间的变化而发生的变形,这种变形一般速度较慢,需要较长的时间才能被发觉。动态变形主要指变形体在外界荷载的作用下发生的变形,这种变形的大小和速度与荷载密切相关,在通常情况下,荷载的作用将使变形即刻发生。

#### 2. 按变形特征分类

根据变形体的变形特征,变形可分为变形体自身的形变和变形体的刚体位移。变形

体自身形变包括:伸缩、错动、弯曲和扭转 4 种变形;而刚体位移则包含整体平移、整体转动、整体升降和整体倾斜 4 种变形。

### 3. 按变形速度分类

变形按照其速度一般可分为:长周期变形、短周期变形和瞬时变形。长周期变形一般指在比较长的时间段内发生的循环变形过程,如大坝在运营期由于受水压、温度等的影响而产生的年周期变形等。短周期变形是指在较短的一段时间内发生的循环变形过程,如高大建筑物在日照的作用下而发生的周日变形等。瞬时变形是指在短时间荷载作用下发生的瞬间变形,例如,烟囱、塔柱等高大建筑物在风力的作用下发生的变形等。

### 4. 按变形特点分类

变形按其特点可分为弹性变形和塑性变形两类。当作用的荷载在构件的弹性范围内时,其发生的变形一般为弹性变形,其特点是当荷载撤销后,变形也将消失。当荷载作用在非弹性体或者荷载超过了构件的弹性限度,则会产生塑性变形,其特点是当荷载撤销后,变形没有或者没有全部消失。在实际工程中,弹性变形和塑性变形会同时存在。

## 1.2 变形监测的主要内容

对于不同类型的变形体,其监测的内容和方法有一定的差异,但总的来说可以分成现场巡视、位移监测、渗流监测、应力监测等几个方面。

### 1.2.1 现场巡视

现场巡视检查是变形监测中的一项重要内容,它包括巡视检查和现场检测两项工作,分别采用简单量具或临时安装的仪器设备在建筑物及其周围定期或不定期进行检查,检查结果可以定性描述,也可以定量描述。

巡视检查不仅是工程运营期的必需工作,在施工期也应十分重视。因此,在设计变形监测系统时,应根据工程的具体情况和特点,同时制定巡视检查的内容和要求,巡视人员应严格按照预先制定的巡视检查程序进行检查工作。

巡视检查的次数应根据工程的等级、施工的进度、荷载情况等决定。在施工期,一般每周 2 次,正常运营期,可逐步减少次数,但每月不宜少于 1 次。在工程进度加快或荷载变化很大的情况下,应加强巡视检查。另外,在遇到暴雨、大风、地震、洪水等特殊情况时,应及时进行巡视检查。

巡视检查的内容可根据具体情况确定,例如,对于大坝的坝体其主要检查内容如下:

- (1) 相邻坝段之间的错动;
- (2) 伸缩缝开合情况和止水的工作状况;
- (3) 上下游坝面、宽缝内及廊道壁上有无裂缝,裂缝中渗水情况;
- (4) 混凝土有无破损;
- (5) 混凝土有无溶蚀、水流侵蚀或冻融现象;
- (6) 坝体排水孔的工作状况,渗漏水的漏水量和水质有无明显变化;
- (7) 坝顶防浪墙有无开裂、损坏情况。

巡视检查的方法主要依靠目视、耳听、手摸、鼻嗅等直观方法,也可辅以锤、钎、量具、

放大镜、望远镜、照相机、摄像机等工器具进行。如有必要,可采用坑(槽)探挖、钻孔取样或孔内电视、注水或抽水试验、化学试剂、水下检查或水下电视摄像、超声波探测及锈蚀检测、材质化验或强度检测等特殊方法进行检查。

现场巡视检查应按规定做好记录和整理,并与以往检查结果进行对比,分析有无异常迹象。如果发现疑问或异常现象,应立即对该项目进行复查,确认后,应立即编写专门的检查报告,及时上报。

### 1.2.2 环境量监测

环境量监测一般包括气温、气压、降水量、风力、风向等。对于水工建筑物,还应监测库水位、库水温度、冰压力、坝前淤积和下游冲刷等;对于桥梁工程,还应监测河水流速、流向、泥沙含量、河水温度、桥址区河床变化等。总之,对于不同的工程,除了一般性的环境量监测外,还要进行一些针对性的监测工作。

环境量监测的一般项目通常采用自动气象站来实现,即在监测对象附近设立专门的气象观测站,用以监测气温、气压、降雨量等数据。

对于特定类型建筑物的特定监测项目,应采用特定的监测方法和要求。如对于水利工程的坝前淤积和下游冲刷监测,应在坝前、沉沙池、下游冲刷的区域至少各设立一个监测断面,并采用水下摄像、地形测量或断面测量等方法进行监测。又如,库水位监测应在水流平稳,受风浪、泄水和抽水影响较小,便于安装设备的稳固地点设立水位观测站,采用遥测水位计和水位标尺进行观测,两者的观测数据应相互比对,并及时进行校验。

地震是一种危害巨大的自然灾害,对于一些重大工程,为保证其安全,降低地震灾害所造成的损失,需要在工程所在地设立地震监测站,以分析和预报可能发生的地震。

### 1.2.3 位移监测

位移监测主要包括沉降监测、水平位移监测、挠度监测、裂缝监测等,对于不同类型的工程,各类监测项目的方法和要求有一定的差异。为使测量结果有相同的参考系,在进行位移测量时,应设立统一的监测基准点。

沉降监测一般采用几何水准测量方法进行,在精度要求不太高或者观测条件较差时,也可采用三角高程测量方法。对于监测点高差不大的场合,可采用液体静力水准测量和压力传感器方法进行测量。沉降监测除了可以测量建筑物基础的整体沉降情况外,还可以测量基础的局部相对沉降量、基础倾斜、转动等。

水平位移监测通常采用大地测量方法(包括交会测量、三角网测量和导线测量)、基准线测量(包括视准线测量、引张线测量、激光准直测量、垂线测量)以及其他一些专门的测量方法。其中,大地测量方法是传统的测量方法,而基准线测量是目前普遍使用的主要方法,对于某些专门测量方法(如裂缝计、多点位移计等)也是进行特定项目监测的十分有效的手段。

### 1.2.4 渗流监测

渗流监测主要包括地下水位监测、渗透压力监测、渗流量监测等。对于水工建筑物,还要包括扬压力监测、水质监测等。

地下水位监测通常采用水位观测井或水位观测孔进行,即在需要观测的位置打井或埋设专门的水位监测管,测量井口或孔口到水面的距离,然后换算成水面的高程,通过水面高程的变化分析地下水位的变化情况。

渗透压力一般采用专门的渗压计进行监测,渗压计和测读仪表的量程应根据工程的实际情况选定。

渗流量监测可采用人工量杯观测和量水堰观测等方法。量水堰通常采用三角堰和矩形堰两种形式,三角堰一般适用于流量较小的场合,矩形堰一般适用于流量较大的场合。

### 1.2.5 应力、应变监测

应力、应变监测的主要项目包括:混凝土应力应变监测、锚杆(锚索)应力监测、钢筋应力监测、钢板应力监测、温度监测等。

为使应力、应变监测成果不受环境变化的影响,在测量应力、应变时,应同时测量监测点的温度。应力、应变的监测应与变形监测、渗流监测等项目结合布置,以便监测资料的相互验证和综合分析。

应力、应变监测一般采用专门的应力计和应变计进行。选用的仪器设备和电缆,其性能和质量应满足监测项目的需要,应特别注意仪器的可靠性和耐用性。

### 1.2.6 周边监测

周边监测主要指对工程周边地区可能发生的对工程运营产生不良影响的监测工作,主要包括:滑坡监测、高边坡监测、渗流监测等。对于水利工程,由于水库的蓄水,使库区岸坡的岩土力学特性发生变化,从而引起库区的大面积滑坡,这对工程的使用效率和安全将是巨大的隐患,因此,应加强水利工程库区的滑坡监测工作。另外,对于水利工程中非大坝的自然挡水体,由于没有进行特殊处理,很可能会存在大量的渗漏现象,加强这方面的监测,对有效地利用水库、防止渗漏有很大的作用。

## 1.3 变形监测的精度和周期

### 1.3.1 变形监测的精度

在制定变形观测方案时,首先要确定精度要求。如何确定精度是一个不易回答的问题,国内外学者对此作过多次讨论。在1971年国际测量工作者联合会(FIG)第十三届会议上工程测量组提出:“如果观测的目的是为了使变形值不超过某一允许的数值而确保建筑物的安全,则其观测的中误差应小于允许变形值的 $1/10 \sim 1/20$ ;如果观测的目的是为了研究其变形的过程,则其中误差应比这个数小得多。”

变形监测的目的大致可分为3类。第一类是安全监测,希望通过重复观测能及时发现建筑物的不正常变形,以便及时分析和采取措施,防止事故的发生。第二类是积累资料,各地对大量不同基础形式的建筑物所作沉降观测资料的积累,是检验设计方法的有效措施,也是以后修改设计方法、制定设计规范的依据。第三类是为科学试验服务。它实质

上可能是为了收集资料,验证设计方案,也可能是为了安全监测。只是它是在一个较短时期内,在人工条件下让建筑物产生变形。测量工作者要在短时期内,以较高的精度测出一系列变形值。

显然,不同的目的所要求的精度不同。为积累资料而进行的变形观测精度可以低一些。另两种目的要求精度高一些。但是究竟要具有什么样的精度,仍没有解决,因为设计人员无法回答结构物究竟能承受多大的允许变形。在多数情况下,设计人员总希望把精度要求提得高一些,而测量人员希望他们定得低一些。对于重要的工程(如大坝等),则要求“以当时能达到的最高精度为标准进行变形观测”。由于大坝安全监测的极其重要性和目前测量手段的进步,加上测量费用所占工程费用的比例较小,所以,变形观测的精度要求一般较严。现将我国《混凝土大坝安全监测技术规范》中有关变形监测的精度列于表1-1中。

表 1-1 混凝土大坝变形监测的精度

项 目			位移中误差限值	
水平位移	坝 体	重力坝	$\pm 1.0\text{mm}$	
		拱 坝	径向	$\pm 2.0\text{mm}$
			切向	$\pm 1.0\text{mm}$
	坝 基	重力坝	$\pm 0.3\text{mm}$	
		拱 坝	径向	$\pm 0.3\text{mm}$
			切向	$\pm 0.3\text{mm}$
坝体、坝基垂直位移			$\pm 1.0\text{mm}$	
坝体、坝基挠度			$\pm 0.3\text{mm}$	
倾 斜	坝 体		$\pm 5.0''$	
	坝 基		$\pm 1.0''$	
坝体表面接缝与裂缝			$\pm 0.2\text{mm}$	
近坝区岩体	水平位移		$\pm 2.0\text{mm}$	
	垂直位移	坝下游	$\pm 1.5\text{mm}$	
		库 区	$\pm 2.0\text{mm}$	
滑坡体和高边坡	水平位移		$\pm 0.3\text{mm} \sim \pm 3.0\text{mm}$	
	垂直位移		$\pm 3.0\text{mm}$	
	裂 缝		$\pm 1.0\text{mm}$	

在确定了变形监测的精度要求后,可参照《建筑变形测量规程》确定相应的观测等级(参见表1-2)。当存在多个变形监测精度要求时,应根据其中最高精度选择相应的精度等级;当要求精度低于规范最低精度要求时,宜采用规范中规定的最低精度。

表 1-2 建筑物变形测量等级及精度

变形测量等级	沉降观测	位移观测	适用范围
	观测点测站 高差中误差/mm	观测点坐标中 误差/mm	
特级	≤0.05	≤0.3	特高精度要求的特种精密工程和重要科研项目变形观测
一级	≤0.15	≤1.0	高精度要求的大型建筑物和科研项目变形观测
二级	≤0.50	≤3.0	中等精度要求的建筑物和科研项目变形观测;重要建筑物主体倾斜观测、场地滑坡观测
三级	≤1.50	≤10.0	低精度要求的建筑物变形观测;一般建筑物主体倾斜观测、场地滑坡观测

注: 1. 观测点测站高差中误差,系指几何水准测量测站高差中误差或静力水准测量相邻观测点相对高差中误差。  
2. 观测点坐标中误差,系指观测点相对于测站点(如工作基点等)的坐标中误差、坐标差中误差以及等价的观测点相对于基准线的偏差值中误差、建筑物(或构件)相对于底部定点的水平位移分量中误差

### 1.3.2 变形监测的周期

变形监测的时间间隔称为观测周期,即在一定的时间内完成一个周期的测量工作。观测周期与工程的大小、测点所在位置的重要性、观测目的以及观测一次所需时间的长短有关。根据观测工作量和参加人数,一个周期可从几小时到几天。观测速度要尽可能快,以免在观测期间某些标志产生一定的位移。

变形监测的周期应以能系统反映所测变形的变化过程且不遗漏其变化时刻为原则,根据单位时间内变形量的大小及外界影响因素确定。当观测中发现变形异常时,应及时增加观测次数。不同周期观测时,宜采用相同的观测网形和观测方法,并使用相同类型的测量仪器。对于特级和一级变形观测,还宜固定观测人员、选择最佳观测时段、在基本相同的环境和条件下观测。

观测次数一般可按荷载的变化或变形的速度来确定。在工程建筑物建成初期,变形速度较快,观测次数应多一些;随着建筑物趋向稳定,可以减少观测次数,但仍应坚持长期观测,以便能发现异常变化。对于周期性的变形,在一个变形周期内至少应观测 2 次。

如果按荷载阶段来确定周期,建筑物在基坑浇筑第一方混凝土后就立即开始沉陷观测。在软基上兴建大型建筑物时,一般从基坑开挖测定坑底回弹就开始进行沉陷观测。一般来说,从开始施工到满荷载阶段,观测周期约为 10 天~30 天;从满荷载起至沉陷趋于稳定时,观测周期可适当放长。具体观测周期可根据工程进度或规范规定确定。表 1-3 列出了大坝变形观测的周期。

表 1-3 大坝变形观测周期

变形种类	水库蓄水前	水库蓄水	水库蓄水后 2 年~3 年	正常运营
混凝土坝:				
沉陷	1 个月	1 个月	3 个月~6 个月	半年
相对水平位移	0.5 个月	1 周	0.5 个月	1 个月
绝对水平位移	0.5 个月~1 个月	1 季度	1 季度	6 个月~12 个月
土石坝:				
沉陷、水平位移	1 季度	1 个月	1 季度	半年



在施工期间,若遇特殊情况(暴雨、洪水、地震等),应进行加测。

及时进行第一周期的观测有重要的意义。因为延误最初的测量就可能失去已经发生的变形数据,而且以后各周期的重复测量成果是与第一次观测成果相比较的,所以,应特别重视第一次观测的质量。

## 1.4 变形监测系统设计

### 1.4.1 设计的原则与内容

设计一套监测系统对建筑物及其基础的性态进行监测,是保证建筑物安全运营的必备措施,以便发现异常现象,及时分析处理,防止发生重大事故和灾害。

#### 1. 设计原则

##### 1) 针对性

设计人员应熟悉设计对象,了解工程规模、结构设计方法、水文、气象、地形、地质条件及存在的问题,有的放矢地进行监测设计,特别是要根据工程特点及关键部位综合考虑,统筹安排,做到目的明确、实用性强、突出重点、兼顾全局,即以重要工程和危及建筑物安全的因素为重点监测对象,同时兼顾全局,并对监测系统进行优化,以最小的投入取得最好的监测效果。

##### 2) 完整性

对监测系统的设计要有整体方案,它是用各种不同的观测方法和手段,通过可靠性、连续性和整体性论证后,优化出来的最优设计方案。监测系统以监测建筑物安全为主,观测项目和测点的布设应满足资料分析的需要,同时兼顾到验证设计,以达到提高设计水平的目的。另外,观测设备的布置要尽可能地与施工期的监测相结合,以指导施工和便于得到施工期的观测数据。

##### 3) 先进性

设计所选用的监测方法、仪器和设备应满足精度和准确度的要求,并吸取国内外的经验,尽量采用先进技术,及时有效地提供建筑物性态的有关信息,对工程安全起关键作用且人工难以进行观测的数据,可借助于自动化系统进行观测和传输。

##### 4) 可靠性

观测设备要具有可靠性,特别是监测建筑物安全的测点,必要时在这些特别重要的测点上布置两套不同的观测设备以便互相校核并可防止观测设备失灵。观测设备的选择要便于实现自动数据采集,同时考虑留有手工观测接口。

##### 5) 经济性

监测项目宜简化,测点要优选,施工安装要方便。各监测项目要相互协调,并考虑今后监测资料分析的需要,使监测成果既能达到预期目的,又能做到经济合理,节省投资。

#### 2. 主要内容

对于一个变形监测系统的设计应包括以下内容:

(1) 技术设计书。测量所遵照的规范及其相应规定;合同主要条款及双方职责等。

(2) 有关建筑物自然条件和工艺生产过程的概述。主要是说明各部分观测的重要性