

高职高专测绘类专业“十二五”规划教材·规范版

教育部测绘地理信息职业教育教学指导委员会组编

# 工程变形监测

■ 主 编 李金生

■ 副主编 王占武 张 博 黎晶晶



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

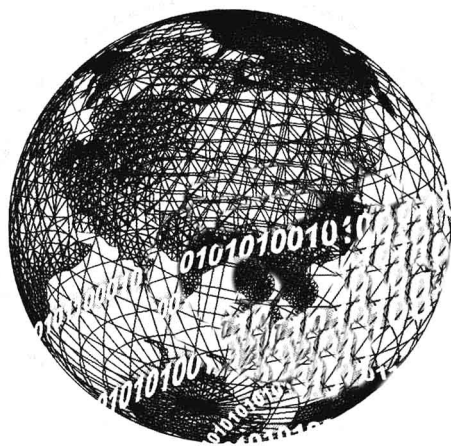
高职高专测绘类专业“十二五”规划教材·规范版

教育部测绘地理信息职业教育教学指导委员会组编

# 工程变形监测

主 编 李金生

副主编 王占武 张 博 黎晶晶



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

工程变形监测/李金生主编;王占武,张博,黎晶晶副主编. —武汉:武汉大学出版社,2013. 2

高职高专测绘类专业“十二五”规划教材·规范版

ISBN 978-7-307-10448-8

I. 工… II. ①李… ②王… ③张… ④黎… III. 建筑工程—变形观测—高等职业教育—教材 IV. TU196

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 022521 号

责任编辑:胡 艳      责任校对:刘 欣      版式设计:马 佳

---

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.whu.edu.cn)

印刷:湖北恒泰印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:12.25 字数:286千字 插页:1

版次:2013年2月第1版      2013年2月第1次印刷

ISBN 978-7-307-10448-8/TU·116      定价:24.00元

---

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

高职高专测绘类专业 “十二五” 规划教材·规范版  
编审委员会

**顾问**

宁津生 教育部高等学校测绘学科教学指导委员会主任委员、中国工程院院士

**主任委员**

李赤一 教育部测绘地理信息职业教育教学指导委员会主任委员

**副主任委员**

赵文亮 教育部测绘地理信息职业教育教学指导委员会副主任委员

李生平 教育部测绘地理信息职业教育教学指导委员会副主任委员

李玉潮 教育部测绘地理信息职业教育教学指导委员会副主任委员

易树柏 教育部测绘地理信息职业教育教学指导委员会副主任委员

王久辉 教育部测绘地理信息职业教育教学指导委员会副主任委员

**委员** (按姓氏笔画排序)

王 琴 黄河水利职业技术学院

王久辉 国家测绘地理信息局人事司

王正荣 云南能源职业技术学院

王金龙 武汉大学出版社

王金玲 湖北水利水电职业技术学院

冯大福 重庆工程职业技术学院

刘广社 黄河水利职业技术学院

刘仁钊 湖北国土资源职业学院

刘宗波 甘肃建筑职业技术学院

吕翠华 昆明冶金高等专科学校

张 凯 河南工业职业技术学院

张东明 昆明冶金高等专科学校

李天和 重庆工程职业技术学院

李玉潮 郑州测绘学校

李生平 河南工业职业技术学院

李赤一 国家测绘地理信息局人事司

李金生 沈阳农业大学高等职业学院

杜玉柱 山西水利职业技术学院

杨爱萍 江西应用技术职业学院

陈传胜 江西应用技术职业学院

明东权 江西应用技术职业学院

易树柏 国家测绘地理信息局职业技能鉴定指导中心

赵文亮 昆明冶金高等专科学校

赵淑湘 甘肃林业职业技术学院

高小六 辽宁省交通高等专科学校

高润喜 包头铁道职业技术学院

曾晨曦 国家测绘地理信息局职业技能鉴定指导中心

薛雁明 郑州测绘学校

# 序

武汉大学出版社根据高职高专测绘类专业人才培养工作的需要，于2011年和教育部高等教育高职高专测绘类专业教学指导委员会合作，组织了一批富有测绘教学经验的骨干教师，结合目前教育部高职高专测绘类专业教学指导委员会研制的“高职测绘类专业规范”对人才培养的要求及课程设置，编写了一套《高职高专测绘类专业“十二五”规划教材·规范版》。该套教材的出版，顺应了全国测绘类高职高专人才培养工作迅速发展的要求，更好地满足了测绘类高职高专人才培养的需求，支持了测绘类专业教学建设和改革。

当今时代，社会信息化的不断进步和发展，人们对地球空间位置及其属性信息的需求不断增加，社会经济、政治、文化、环境及军事等众多方面，要求提供精度满足需要，实时性更好、范围更大、形式更多、质量更好的测绘产品。而测绘技术、计算机信息技术和现代通信技术等多种技术集成，对地理空间位置及其属性信息的采集、处理、管理、更新、共享和应用等方面提供了更系统的技术，形成了现代信息化测绘技术。测绘科学技术的迅速发展，促使测绘生产流程发生了革命性的变化，多样化测绘成果和产品正不断努力满足多方面需求。特别是在保持传统成果和产品的特性的同时，伴随信息技术的发展，已经出现并逐步展开应用的虚拟可视化成果和产品又极好地扩大了应用面。提供对信息化测绘技术支持的测绘科学已逐渐发展成为地球空间信息学。

伴随着测绘科技的发展进步，测绘生产单位从内部管理机构、生产部门及岗位设置，进而相关的职责也发生着深刻变化。测绘从向专业部门的服务逐渐扩大到面对社会公众的服务，特别是个人社会测绘服务的需求使对测绘成果和产品的需求成为海量需求。面对这样的形势，需要培养数量充足，有足够的理论支持，系统掌握测绘生产、经营和管理能力的应用性高职人才。在这样的需求背景推动下，高等职业教育测绘类专业人才培养得到了蓬勃发展，成为了占据高等教育半壁江山的高等职业教育中一道亮丽的风景。

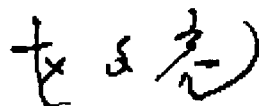
高职高专测绘类专业的广大教师积极努力，在高职高专测绘类人才培养探索中，不断推进专业教学改革和建设，办学规模和专业点的分布也得到了长足的发展。在人才培养过程中，结合测绘工程项目实际，加强测绘技能训练，突出测绘工作过程系统化，强化系统化测绘职业能力的构建，取得很多测绘类高职人才培养的经验。

测绘类专业人才培养的外在规模和内涵发展，要求提供更多更好的教学基础资源，教材是教学中的最基本的需要。因此面对“十二五”期间及今后一段时间的测绘类高职人才培养的需求，武汉大学出版社将继续组织好系列教材的编写和出版。教材编写中要不断将测绘新科技和高职人才培养的新成果融入教材，既要体现高职高专人才培养的类型层次特征，也要体现测绘类专业的特征，注意整体性和系统性，贯穿系统化知识，构建较好满足现实要求的系统化职业能力及发展为目标；体现测绘学科和测绘技术的新发展、测绘管理

与生产组织及相关岗位的新要求；体现职业性，突出系统工作过程，注意测绘项目工程和生产中与相关学科技术之间的交叉与融合；体现最新的教学思想和高职人才培养的特色，在传统的教材基础上勇于创新，按照课程改革建设的教学要求，让教材适应于按照“项目教学”及实训的教学组织，突出过程和能力培养，具有较好的创新意识。要让教材适合高职高专测绘类专业教学使用，也可提供给相关专业技术人员学习参考，在培养高端技能应用性测绘职业人才等方面发挥积极作用，为进一步推动高职高专测绘类专业的教学资源建设，作出新贡献。

按照教育部的统一部署，教育部高等教育高职高专测绘类专业教学指导委员会已经完成使命，停止工作，但测绘地理信息职业教育教学指导委员会将继续支持教材编写、出版和使用。

教育部测绘地理信息职业教育教学指导委员会副主任委员



二〇一三年一月十七日

# 前 言

工程变形监测技术是工程测量学中的一项重要内容，在工程建设中应用非常广泛，对工程建筑物安全施工和运营管理有着非常重要的作用，特别是近年来大型、重型、超高层及特种工程建筑物逐渐增多，变形监测工作显得尤为重要。本课程是测绘工程及其相关专业的专业必修课。变形监测技术发展较快，书中较为详细地介绍了当前各个领域变形监测常用的仪器设备、监测方法、数据处理及分析方法。

本书前两章分别介绍变形监测技术基础知识、变形监测常用仪器及设备；第3章和第4章分别介绍了垂直位移监测技术和水平位移监测技术；第5章到第8章分别介绍了基坑工程、工业与民用建筑工程、地铁工程、水利工程的变形监测技术；第9章介绍了变形监测资料整编与分析方法。

本书由沈阳农业大学高职学院李金生任主编，王占武(辽宁省交通高等专科学校)、张博(沈阳农业大学高职学院)、黎晶晶(湖北水利水电职业技术学院)任副主编。李金生编写第2、3、4、6、7、9章；王占武编写第5章；张博编写第1章；黎晶晶编写第8章。

本书在编写过程中参考了国内诸多行业前辈及专家学者在变形监测领域的相关文献，有关的书刊作者在参考文献中列出。另外，还有部分资料来自百度文库，因不知资料来源，无法一一列出作者，在此一并致以由衷的谢意。

尽管在编写过程中竭尽全力，然而变形监测技术发展非常迅速，再加上编者水平有限，书中难免出现不妥甚至错误之处，恳请各位专家、同行、读者批评指正。

编 者  
2012年10月

# 目 录

第1章 绪论	1
1.1 变形监测基本概念	1
1.2 变形监测的目的与意义	2
1.3 变形监测的特点与分类	3
1.4 变形监测的内容与方法	4
1.5 变形监测的精度与周期	7
1.6 变形监测技术的发展趋势	9
第2章 工程变形监测基础知识	11
2.1 工程变形监测系统概况	11
2.2 变形监测项目技术设计	11
2.3 变形监测项目技术总结	13
2.4 工程变形监测常用仪器简介	14
第3章 沉降监测技术	35
3.1 沉降监测技术概述	35
3.2 沉降监测网(点)布设	37
3.3 几何水准测量法	42
3.4 液体静力水准测量法	49
3.5 精密三角高程测量法	52
3.6 沉降观测成果整理	55
第4章 水平位移监测技术	59
4.1 水平位移监测技术概述	59
4.2 水平位移监测网(点)布设	60
4.3 常规大地测量法	66
4.4 基准线法	69
4.5 激光准直法	73
4.6 垂线法	76
4.7 GPS 测量法	78
4.8 测量机器人法	80



4.9	水平位移观测成果整理	81
<b>第5章</b>	<b>基坑工程变形监测</b>	<b>83</b>
5.1	基坑工程变形监测概述	83
5.2	基坑工程变形监测的内容与方法	85
5.3	基坑工程监测资料及报告	91
5.4	基坑工程监测实例	92
<b>第6章</b>	<b>工业与民用建筑变形监测</b>	<b>101</b>
6.1	工业与民用建筑变形监测概述	101
6.2	建筑物变形监测的内容与方法	103
6.3	建筑物变形监测资料及报告	115
6.4	建筑物沉降监测实例	115
<b>第7章</b>	<b>地铁工程变形监测</b>	<b>125</b>
7.1	地铁工程变形监测概述	125
7.2	地铁工程变形监测的内容	127
7.3	地铁工程监测点布置要求及监测频率	130
7.4	地铁工程变形监测的方法	132
7.5	地铁工程变形监测资料及报告	140
7.6	地铁工程变形监测实例	144
<b>第8章</b>	<b>水利工程变形监测</b>	<b>149</b>
8.1	水利工程变形监测概述	149
8.2	水利工程变形监测内容与方法	151
8.3	水利工程变形监测资料及报告	159
8.4	水利工程监测实例	162
<b>第9章</b>	<b>变形监测资料整编与分析</b>	<b>169</b>
9.1	变形监测资料整编与分析概述	169
9.2	变形监测资料整编与分析的内容	170
9.3	变形监测资料整编与分析的方法	171
9.4	变形监测最后提交成果、成果表达、成果解译	184
	<b>参考文献</b>	<b>187</b>

# 第1章 绪 论

## 【教学目标】

学习本章，要了解工程变形监测基础知识；掌握变形监测的目的与意义、特点及分类，掌握工程变形监测的主要内容、监测方法、监测精度及监测周期等要求；了解工程变形监测技术的发展情况。

## 1.1 变形监测基本概念

### 1.1.1 变形及变形监测的概念

物体的形状变化称为变形。变形通常分为两类：自身的变形和相对于参照物的位置变化。

物体自身的变形主要包括伸缩、剪切、裂缝、弯曲(平面上)和扭转(空间内)等。物体相对于参照物的位置变化主要包括水平位移、垂直位移(沉降)、倾斜、旋转等。

变形监测又称变形观测，是对变形体进行测量以确定其自身变形，或者通过测量确定其空间位置随时间的变化特征。《工程测量规范》(GB50026—2007)中提出，变形监测是指对建(构)筑物及其地基、建筑基坑或一定范围内的岩体及土体的位移、沉降、倾斜、挠度、裂缝和相关影响因素(如地下水、温度、应力应变等)进行监测，并提供变形分析预报的过程。

工程变形监测就是利用专用的仪器和方法对工程建筑物等监测对象(也称变形体)的变形进行周期性重复观测，从而分析变形体的变形特征、预测变形体的变形态势。

对于工程变形监测来说，变形体一般包括工程建(构)筑物、机械设备以及其他与工程建设有关的自然或人工对象(如高层建筑物、重型建筑物、地下建筑物、大坝、桥梁、隧道、大型科学实验设备、古建筑、储油罐、储矿仓、高边坡、滑坡体、采空区等)。

### 1.1.2 引起变形体变形的主要原因

影响工程建筑物变形的因素有外部因素和内部因素两个方面。外部因素主要是指由于建筑物负载及其自重的作用使地基不稳定，震动或风力等因素引起的附加载荷，地下水位的升降及其对基础的侵蚀作用，地基土的载荷与地下水位变化影响下产生的各种工程地质现象以及地震、飓风、滑坡、洪水等自然灾害引起的变形或破坏。内部因素主要是指建筑物本身的结构、负重、材料以及内部机械设备震动作用。此外，由于地质勘探不充分、设计不合理、施工质量差、运营管理不当等引起的不应有的额外变形和人为破坏也是重要

因素。

### 1.1.3 变形监测的主要任务

工程变形监测的主要任务是周期性地对观测目标进行观测，从观测点的位置变化中了解建筑物变形的空间分布，通过对各次观测成果分析比较，了解其随时间的变化特征，从而判断建筑物的质量、变形的过程以及变形的趋势，对超出变形允许范围的建筑物、构筑物及时地分析原因，采取加固措施，防止变形的发展，避免事故的发生。

## 1.2 变形监测的目的与意义

### 1.2.1 变形监测的目的

各种工程建筑物都有规定的使用年限，要求在使用期限内稳定安全，并能经受住一定的外力破坏作用。从开工建设到使用结束，均希望达到设计的质量标准，确保安全使用，并尽量延长使用期限。现代工程建筑物正朝着体积大、重量大、结构复杂、内部工业机械设备多、施工周期短、使用频率高等方向发展，因此建筑物的变形监测有着特别重要的意义。

工程变形监测的主要目的是要获得变形体的空间位置随时间变化的特征，科学、准确、及时地分析和预报工程建筑物的变形状况，同时还要正确地解释变形的原因和机理。

工程变形监测的目的大致可分为三类，第一类是安全监测，即希望通过重复观测，能第一时间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，这实质上也是为了收集资料，验证设计方案，也可能是为了安全监测，只是它在一个较短时期内，在人工条件下让建筑物产生变形。

计算变形量、变形速度等数据的工作称为变形的几何分析；分析变形的产生原因、演变规律等的工作称为变形的物理分析。

### 1.2.2 变形监测的意义

变形监测有实用上和科学上两方面的意义。

实用上的意义主要是监测各种工程建筑物及其地质结构的稳定性，及时发现异常变化，对其稳定性和安全性做出判断，以便采取措施处理，防止发生安全事故。

科学上的意义在于积累监测分析资料，以便能更好地解释变形的机理，验证变形的假说，建立有效的变形预告模型，为研究灾害预报的理论和方法服务，验证有关工程设计的理论是否正确、设计方案是否合理，为以后修改完善设计、制定设计规范提供依据，如改善建筑物的各项物理参数、地基强度参数，以防止工程破坏事故，提高抗灾能力等。

## 1.3 变形监测的特点与分类

### 1.3.1 变形监测的特点

与工程建设中的地形测量和施工测量相比，变形测量具有以下特点：

(1) 重复性观测。这是变形监测的最大特点。重复观测的频率取决于变形的大小、速度以及观测目的。第一次观测称为初始观测周期或零周期观测。每一周期的观测方案中，监测网的图形、使用仪器、作业方法乃至观测人员都要尽可能一致。

(2) 观测精度高。相比其他测量工作，变形观测精度要求高，典型精度要求达到 1mm 或相对精度达到  $10^{-6}$ 。但对于不同的任务或对象，精度要求有差异，即使对于同一建筑物的不同部位，观测精度也不尽相同。制定变形监测的精度取决于变形的大小、速率、仪器和方法所能达到的实际精度以及监测的目的等。

(3) 综合应用多种测量方法。由于各种测量方法都有优缺点，因此根据工程的特点和变形测量的要求，综合应用地面测量方法（如几何水准测量、三角高程测量、方向和角度测量、距离测量等）、空间测量技术（如 GPS 技术、合成孔径雷达干涉等）、近景摄影测量、地面激光雷达技术以及专门测量手段，可以起到取长补短、相互校核的目的，从而提高了变形测量精度和可靠性。

(4) 数据处理过程的严密性。变形量一般很小，有时甚至与观测精度处在同一量级，要从含有误差的观测值中分离出变形信息，需要严密的数据处理方法。观测值中经常含有粗差和系统误差，在估计变形模型之前要进行筛选，以保证结果的正确性。变形模型一般是预先不知道的，需要仔细地鉴别和检验。对于发生变形的原因还要进行解释，建立变形和变形原因之间的关系。变形监测资料可能是由不同的方法在不同的时间采集的，需要综合地利用。再者，变形观测是重复进行的，多年观测积累了大量资料，必须有效地管理和利用这些资料。

(5) 多学科综合分析。变形观测工作者必须熟悉并了解所要研究的变形体，包括变形体的形状特征、结构类型、构造特点、所用材料、受力状况以及所处的外部环境条件等，这就要求变形观测工作者应具备地质学、工程力学、岩土力学、材料科学和土木工程等方面的相关知识，以便制定合理的变形观测精度指标和技术指标，合理而科学地处理变形观测资料和分析变形观测成果，特别是对变形体的变形做出科学合理的物理解释。

### 1.3.2 变形监测的分类

#### 1. 按照变形监测的研究范围分类

可分为全球性变形监测、区域性变形监测和工程变形监测。

(1) 全球性变形监测是对地球自身动态变化（如自转速率变化、地极移动、海水潮汐、地球板块运动、地壳形变等）的监测。

(2) 区域性变形监测是指对一个城市或一个工矿厂区等区域性地域进行的监测，如三峡库区周边地表沉降监测等。

(3) 工程变形监测是指对某个具体的工程建筑物进行的监测。

## 2. 按照变形体产生变形的时间和过程分类

可分为静态变形和动态变形。

(1) 静态变形通常指在某一时间段内产生的变形，是时间的函数，一般通过周期观测得到，如高层建筑物的沉降。

(2) 动态变形指在某个时刻的瞬时变形，是外力的函数，一般通过持续监测得到，如地震、滑坡、塌方等。

## 3. 按照变形监测相对于变形体的空间位置分类

可分为外部变形监测和内部变形监测。

(1) 外部变形监测主要是测量变形体在空间三维几何形态上的变化，普遍使用的是常规测量仪器和摄影测量设备，这种测量手段技术成熟、通用性好、精度高，能提供变形体整体的变形信息，但野外工作量大，不容易实现连续监测。

(2) 内部变形监测主要是采用各种专用仪器，对变形体结构内部的应变、应力、温度、渗压、土压力、孔隙压力以及伸缩缝开合等项目进行观测，这种测量手段容易实现连续、自动的监测，长距离遥控遥测，精度也高，但只能提供局部的变形信息。

## 4. 按照变形监测的目的分类

可分为施工变形监测(在施工过程中对其变形的监测)、监视变形监测(在工程竣工投入使用后的监测)和科研变形监测(为了研究变形规律和机理而进行的监测)等。

# 1.4 变形监测的内容与方法

## 1.4.1 变形监测技术的主要内容

### 1. 按照变形性质进行分类

变形体在平面位置、高程位置、垂直度、弯曲度等方面发生的变形，按照其变形性质一般可以归纳为以下种类：

(1) 位移。变形体平面位置随时间发生的移动称为水平位移，简称位移。水平位移监测就是测定变形体沿水平方向的位移变形值，并提供变形趋势与稳定预报而进行的测量工作。产生水平位移的原因主要是建筑物及其基础受到了水平应力的影响。适时监测建筑物的水平位移量，能有效地监控建筑物的安全状况，并可根据实际情况采取适当的加固措施。

(2) 沉降。变形体在高程方向上的变形，本应称为垂直位移，但由于历史的沿袭和特定情况下的需要，以及考虑与建筑学、岩石力学、土力学等相关学科之间融会贯通，常称为沉降或沉陷。建(构)筑物垂直位移监测是测定基础和建(构)筑物本身在垂直方向上的位移。当前，在建筑物施工或使用阶段进行沉降监测，其首要目的仍是为了保证建筑物的安全，通过沉降监测发现沉降异常，分析原因并采取必要的防范措施。

(3) 倾斜。这是指变形体在垂直度方面的变形。倾斜一般是由于变形体不同侧变形量的大小不一样造成的，如基础的不均匀沉降等。

(4) 挠度。这是指变形体不同位置偏离其理论位置的变形。

(5) 裂缝。这是指变形体自身材料在拉、压应力的作用下产生的缝隙，是由于变形体各部分变形不均匀引起的，对变形体的安全危害重大。

(6) 日照变形。这是指变形体由于向阳面与背阳面温差引起的偏移量及其变化规律。

(7) 风振变形。这是指超高层建筑或其他构筑物上部结构在风的作用下产生的位移或偏移。

(8) 动态变形。这是指变形体在可变荷载作用下的变形，其特点是具有一定的周期性。

## 2. 按照监测方式进行分类

国内有些从事变形监测的学者将变形监测的内容分为以下四类：

(1) 位移监测。主要包括垂直位移(沉降)监测、水平位移监测、挠度监测、裂缝监测等，对于不同类型的建筑物或地区，观测项目有一定差异。

(2) 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。

(3) 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、扬压力监测等。

(4) 应力、应变监测。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。

## 3. 按照几何量和物理量分类

还可以按几何量和物理量的方法进行如下分类：

(1) 有关几何量的变形监测。主要内容包括水平位移监测，垂直位移监测，偏距、倾斜、挠度、弯曲、扭转、震动、裂缝等监测。水平位移是监测点在平面上的移动，它可分解到某一个特定方向；垂直位移是监测点在铅垂线上的移动；而偏距、倾斜、挠度等也可归结为沉降和水平位移监测。

(2) 有关物理量的变形监测。主要内容包括应力、应变、温度、气压、水位、渗流、渗压、扬压力等监测。

总的来说，变形监测的内容应根据变形体的性质与地基情况来确定。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。

### 1.4.2 变形监测的过程

变形监测工作通常有如下几个步骤和过程：

(1) 变形监测网的优化设计与观测方案的实施。包括监测网质量标准的确定、监测网点的最佳布设以及观测方案的最佳选择与实施。

(2) 观测数据处理。包括观测数据质量评定与平差、观测值之间相关性的估计以及粗

差和系统误差检测与剔除。

(3)变形的几何分析。包括变形模型的初步鉴别、变形模型中未知参数的估计、变形模型的统计检验和最佳模型的选择以及变形量的有效估计。

(4)变形的物理解释与变形预报。包括探讨变形的成因,给出变形值与荷载(引起变形的有关因素)之间的函数关系,并作变形预报。

### 1.4.3 变形监测的方法

#### 1. 常规大地测量方法

常规大地测量方法通常指的是利用常规的大地测量仪器测量方向、角度、边长、高差等技术来测定变形的的方法,包括布设成边角网、各种交会法、极坐标法以及几何水准测量法、三角高程测量法等。常规的大地测量仪器有光学经纬仪、光学水准仪、电磁波测距仪、电子经纬仪、电子全站仪以及测量机器人等。

常规大地测量方法主要用于变形监测网的布设以及每个周期的观测。

#### 2. GPS 方法

GPS 技术在测量的连续性、实时性、自动化及受外界干扰小等方面表现出了越来越多的优越性。使用 GPS 差分技术进行变形测量时,需要将一台接收机安放在变形体以外的稳固地点作为基准站,另外一台或多台 GPS 接收机天线安放在变形点上作为流动站。

GPS 方法可以用于测定场地滑坡的三维变形、大坝和桥梁水平位移、地面沉降以及各种工程的动态变形(如风振、日照及其他动荷载作用下的变形)等。

#### 3. 数字近景摄影测量方法

数字近景摄影测量方法观测变形时,首先在变形体周围的稳固点上安置高精度数码相机,对变形体进行摄影,然后通过数字摄影测量处理获得变形信息。与其他方法相比较,数字近景摄影测量方法具有以下显著特点:

- (1)信息量丰富,可以同时获得变形体上大批目标点的变形信息;
- (2)摄影影像完整记录了变形体各时期的状态,便于后续处理;
- (3)外业工作量小,效率高,劳动强度低;
- (4)可用于监测不同形式的变形,如缓慢、快速或动态的变形;
- (5)观测时不需要接触被监测物体。

#### 4. 激光扫描方法

地面三维激光扫描应用于变形监测的特点:

(1)信息丰富。地面三维激光扫描系统以一定间隔的点对变形体表面进行扫描,形成大量点的三维坐标数据。与单纯依靠少量监测点对变形体进行变形监测研究相比,具有信息全面和丰富的特点。

(2)实现对变形体的非直接测量。地面三维激光扫描系统采集点云的过程中完全不需要接触变形体,仅需要站与站之间拼接时,在变形体周围布置少量的标靶。

(3)便于对变形体进行整体变形的研究,地面三维激光扫描系统通过多站的拼接,可以获取变形体多角度、全方位、高精度的点云数据,通过去噪、拟合和建模,可以方便地获取变形体的整体变形信息。

## 5. InSAR 方法

合成孔径雷达干涉测量(InSAR)技术使用微波雷达成像传感器对地面进行主动遥感成像,采用一系列数据处理方法,从雷达影像的相位信号中提取地面的形变信息。

用 InSAR 进行地面形变监测的主要优点在于:

- (1)覆盖范围大,方便迅速;
- (2)成本低,不需要建立监测网;
- (3)空间分辨率高,可以获得某一地区连续的地表形变信息;
- (4)全天候,不受云层及昼夜影响。

## 6. 专用测量技术手段

变形测量除了上述测量手段外,还包括一些专门手段,如应变测量、液体静力水准测量、准直测量、倾斜测量等。这些专门的测量手段的特点主要有:测量过程简单,容易实现自动化监测和连续监测,提供的是局部的变形信息。

(1)应变测量。应变测量采用应变计工作原理,分为两类:一类是通过测量两点距离的变化来计算应变;另一类是直接用传感器,实质上是一个导体(金属条或很窄的箔条)埋在变形体中,由于变形体中的应变使得导体伸长或缩短,从而改变导体的电阻。导体电阻的变化用电桥测量,通过测量电阻值的变化就可以计算应变。

(2)液体静力水准测量。这是利用静止液面原理传递高程的方法,即利用连通管原理测量各点处容器内液面高差的变化,以测定垂直位移的观测方法,可以测出两点或多点间的高差。适用于建筑物基础、混凝土坝基础、廊道和土石坝表面的垂直位移观测。一般将其中一个观测头安置在基准点,其他各观测头放置在目标点上,通过它们之间的差值就可以得出监测点相对基准点的高差。该方法无需点与点之间的通视,容易克服障碍物之间的阻挡,另外,还可以将液面的高程变化转化成电感输出,有利于实现监测的自动化。

(3)准直测量。准直测量就是测量测点偏离基准线的垂直距离的过程,它以观测某一方向上点位相对于基准线的变化为目的,包括水平准直和铅直两种。水平准直法为偏离水平基线的微距离测量,该水平基准线一般平行于被监测的物体。铅直法为偏离垂直线的微距离测量,经过基准点的铅垂线作为垂直基准线。

(4)倾斜测量。基础不均匀的沉降将使建筑物倾斜,对于高大建筑物影响更大,严重的不均匀沉降会使建筑物产生裂缝、甚至倒塌。倾斜测量的关键是测定建筑物顶部中心相对于底部中心或者各层上层中心相对于下层中心的水平位移矢量。建筑物倾斜观测的基本原理大多是测出建筑物顶部中心相对于底部中心的水平偏差来推算倾斜角,常用倾斜度(上下标志中心点间的水平距离与上下标志点高差的比值)来表示。

## 1.5 变形监测的精度与周期

变形监测应能确切地反应工程建筑物的实际变形程度,并以此作为确定变形监测精度和周期的基本要求。



### 1.5.1 变形监测的精度

变形监测的精度要求主要取决于该项工程变形监测的目的和允许变形值的大小。

如何根据允许变形值来确定观测的精度，国内外还存在着各种不同的看法。国际测量师联合会（FIG）第十三届会议（1971年）工程测量委员会在讨论中提出：“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值小得多。”也有人认为精度越高越好，应尽可能提高观测的精度。由于观测的精度直接影响到观测成果的可靠性，同时也涉及观测方法、仪器设备和投入费用等。因此，有关精度的问题，值得进一步研究。

在工业与民用建筑物的变形监测中，由于其主要监测内容是基础沉降和建筑物本身的倾斜，其观测精度应根据建筑物基础的允许沉降值、允许倾斜度、倾斜相对弯矩等来决定，同时也应考虑其沉降速度。例如，我国建筑设计部门在研究高层建筑物的倾斜时，根据前述的观点，以允许倾斜值的 $1/20$ 作为观测的精度指标。某综合勘察院在监测一幢大楼的变形时，根据设计人员提出的允许倾斜度为 $4\%$ ，求得顶部的允许偏移值为 $120\text{mm}$ ，以其 $1/20$ 作为观测中误差，即 $\pm 6\text{mm}$ 。在生产实践中，求得必要的中误差以后，如果根据本单位的仪器设备和技术力量能够比较容易地达到精度要求，而且在不必花费很大的精力、不增加很多工作量的情况下还能达到更高的精度时，也可以将观测的精度指标提高。例如前述情况，在求得 $\pm 6\text{mm}$ 后，即按此思想将精度指标提高，取 $\pm 2\text{mm}$ 作为最后的观测中误差。对于根据沉降速度来确定观测精度，是指沉降延续的时间很长而沉降量又较小的基础，其观测的精度就应当高些。

一般来讲，从实用的目的出发，对于连续生产的大型车间（钢结构、钢筋混凝土结构的建筑物），通常要求观测工作能反映出 $1\text{mm}$ 的沉降量；对于一般的厂房，没有很大的传动设备、连续性不大的车间，要求能反映出 $2\text{mm}$ 的沉降量。因此，对于监测点高程的测定误差，应在 $\pm 1\text{mm}$ 以内。而为了科学研究的目的，则往往要求达到 $\pm 0.1\text{mm}$ 的精度。

对于水工建筑物，根据其结构、形状不同，观测内容和精度也有差异。即使对于同一建筑物（如拱坝）的不同部位，其观测精度也不相同，变形大的部位（拱冠）的观测精度可稍低于变形小的部位（如拱座）。对于混凝土大坝，测定变形值的精度一般为 $\pm 1\text{mm}$ ；对于土工建筑物，测定其变形值的精度不低于 $\pm 2\text{mm}$ 。

### 1.5.2 变形监测的周期

变形监测重复观测的时间间隔称为观测周期。变形观测周期应该以能反应变形体的变形过程并且不遗漏其变化时刻为基本原则。观测周期取决于变形量的大小、变形速度及变形监测的目的和要求。变形监测的初始周期通常在变形监测控制网建立完毕，即基准点、工作基点、监测点都稳定后立即进行。由于初始周期是以后各期计算的基础，所以应特别重视观测质量，通常需要连续测若干次，取其平均值作为初始观测成果，以提高初始观测值的可靠性。

工程施工开始后，由于载荷的不断增加，地基下的土层逐渐压缩沉降，此阶段变形较