



全国高等职业教育“十三五”规划教材

变形监测 沉陷工程技术

王启春 汪佑武 主编

Bianxing Jiancé Yu
Chenxian Gongcheng Jishu



中国矿业大学出版社
国家一级出版社 全国百佳图书出版单位

全国高等学校教育“十三五”规划教材

变形监测与沉陷工程技术

主 编	王启春	汪佑武	
副主编	李 建	王瑞祥	毛 敏
参 编	孙宝明	王克晓	

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书充分考虑高等职业教育的教学要求与测绘工作实际情况,采用“项目—任务”模式,每个任务有“知识要点”和“技能目标”,并按照任务导入、任务分析、相关知识、任务实施及思考与练习五个模块编写。基础知识以“必需、够用”为度,在满足相应课程教学目标的前提下尽可能降低教材的难度,删繁就简;突出实用技能培养,所讲内容尽可能贴近测绘生产实际情况,侧重对专业技能的培养,着重介绍现代变形监测新技术、新方法的应用,体现高等职业教育的特色。本书分为两篇:第一篇为工程变形监测技术,包括变形监测基本概念、沉降监测技术、水平位移监测技术以及基坑变形监测、工业与民用建筑物变形监测、边坡工程监测、地铁工程变形监测、水利工程变形监测;第二篇为开采沉陷工程技术,包括开采沉陷基本概念、地表与岩层移动监测方法、地表移动变形规律与预计、开采沉陷防治技术。

图书在版编目(CIP)数据

变形监测与沉陷工程技术/王启春,汪佑武主编

—徐州:中国矿业大学出版社,2018.6

ISBN 978-7-5646-3888-7

I. ①变… II. ①王… ②汪… III. ①变形观测—高等职业教育—教材 IV. ①TV698.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第020528号

书 名 变形监测与沉陷工程技术

主 编 王启春 汪佑武

责任编辑 何晓明 孙建波

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 江苏淮阴新华印刷厂

开 本 787×1092 1/16 印张 16.5 字数 412 千字

版次印次 2018年6月第1版 2018年6月第1次印刷

定 价 38.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

近年来,新型、有高科技含量的仪器设备和测量技术的出现,极大促进了变形监测技术的发展,丰富了课程内容,相应的课程教材需要及时地更新,缩减和淘汰陈旧的方法和技术。本书共分为两篇:第一篇为工程变形监测技术,包括变形监测基本概念、沉降监测技术、水平位移监测技术以及基坑变形监测、工业与民用建筑物变形监测、边坡工程监测、地铁工程变形监测、水利工程变形监测;第二篇为开采沉陷工程技术,包括开采沉陷基本概念、地表与岩层移动监测方法、地表移动变形规律与预计、开采沉陷防治技术。

本书充分考虑高等职业教育的教学要求与测绘工作实际情况,采用“项目—任务”模式,每个任务有“知识要点”和“技能目标”,并按照任务导入、任务分析、相关知识、任务实施及思考与练习五个模块编写。基础知识以“必需、够用”为度,在满足相应课程教学目标的前提下尽可能降低教材的难度,删繁就简;突出实用技能培养,所讲内容尽可能贴近测绘生产实际情况,侧重对专业技能的培养,着重介绍现代变形监测新技术、新方法的应用,体现高等职业教育的特色。

本书由王启春、汪佑武任主编,李建、王瑞祥、毛敏任副主编。具体分工如下:项目一、项目九、项目十一、项目十二由王启春(重庆工程职业技术学院)编写;项目二由孙宝明(重庆工程职业技术学院)编写;项目三由王克晓(重庆市农业科学院)编写;项目四、项目五由王瑞祥(云南能源职业技术学院)编写;项目六、项目八由李建(重庆工程职业技术学院)编写;项目七由毛敏(云南能源职业技术学院)编写;项目十由汪佑武(淮南职业技术学院)编写。王启春、汪佑武对本书稿进行了统校工作。

在本书的编写过程中,中国矿业大学郭广礼教授和重庆工程职业技术学院冯大福教授、焦亨余副教授对本书进行了认真审阅,从内容到框架提出了许多宝贵的意见和建议,对本书质量的提高起到了促进作用。编者在编写过程中,参阅了大量的文献,引用了同类书刊的部分资料。在此,向以上同志和有关文献作者表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,在本书编写过程中,虽然编者做了很大努力,但书中难免有谬误和错漏之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2017年7月

目 录

上篇 工程变形监测技术

项目一 变形监测基本概念	3
任务一 变形监测基础知识	3
任务二 变形监测的内容与方法	6
任务三 变形监测技术的发展趋势	9
思考与练习	11
项目二 沉降监测技术	13
任务一 概述	13
任务二 沉降监测网点的布设方法	15
任务三 几何水准测量法	19
任务四 液体静力水准测量法	25
任务五 精密三角高程测量法	29
任务六 观测成果数据处理	31
思考与练习	34
项目三 水平位移监测技术	35
任务一 概述	35
任务二 水平位移监测点的布设方法	36
任务三 全站仪测量法	39
任务四 GNSS 测量法	42
任务五 激光准直法	44
任务六 测量机器人法	46
任务七 观测成果数据处理	47
思考与练习	49
项目四 基坑变形监测	50
任务一 基坑变形监测认识	50
任务二 基坑变形监测的内容与方法	52
任务三 基坑监测数据整理与分析	60

任务四 基坑工程监测实例	62
思考与练习	70
项目五 工业与民用建筑物变形监测	71
任务一 工业与民用建筑物变形监测认识	71
任务二 建筑物变形监测的内容与方法	72
任务三 监测数据整理与分析	82
任务四 工程实例	87
思考与练习	88
项目六 边坡工程监测	90
任务一 概述	90
任务二 边坡监测内容与方法	95
任务三 监测数据整理与分析	97
任务四 工程实例	99
思考与练习	104
项目七 地铁工程变形监测	105
任务一 地铁工程变形监测认识	105
任务二 地铁工程监测点布置要求及监测频率	107
任务三 地铁工程变形监测的内容与方法	109
任务四 地铁监测数据整理与分析	118
任务五 工程实例	122
思考与练习	125
项目八 水利工程变形监测	126
任务一 概述	126
任务二 水利工程变形监测内容与方法	128
任务三 监测数据整理与分析	135
任务四 工程实例	139
思考与练习	149

下篇 开采沉陷工程技术

项目九 开采沉陷基本概念	153
任务一 地下开采引起的岩层移动与变形	153
任务二 地下开采引起的地表移动与变形	156
任务三 地表移动与变形指标及其计算方法	161
任务四 地表移动盆地范围及其确定方法	163

思考与练习	166
项目十 地表与岩层移动监测方法	167
任务一 地表移动观测站的设计	167
任务二 地表移动观测站的观测工作	174
任务三 观测成果的数据处理	177
任务四 采动区建筑物变形观测方法	182
任务五 岩层内部移动变形监测方法	188
任务六 地表与岩层移动监测新方法	192
思考与练习	197
项目十一 地表移动变形规律与预计	198
任务一 地表移动盆地稳定后主断面内移动变形分布规律	198
任务二 采动过程中的地表移动变形的一般规律	202
任务三 地表移动与变形预计方法	208
任务四 地表移动与变形预计软件与实例分析	219
思考与练习	225
项目十二 开采沉陷防治技术	227
任务一 保护煤柱设计	227
任务二 建筑物下采煤防治技术	232
任务三 铁路下采煤防治技术	242
任务四 水体下采煤防治技术	249
思考与练习	254
参考文献	255

上 篇

工程变形监测技术

项目一 变形监测基本概念

任务一 变形监测基础知识

【知识要点】 变形监测的概念;变形监测的主要任务;变形监测的目的和意义;变形监测的特点和分类。

【技能目标】 了解变形监测的概念和主要任务;掌握变形监测的目的和意义;掌握变形监测的特点和分类。



任务导入

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、内部工程机械设备多、施工周期短、使用频率高等方向发展,因此工程变形监测有着特别重要的意义。



任务分析

为了掌握变形监测基础知识,需了解变形监测的概念和主要任务,从而掌握变形监测的目的与意义、特点以及分类。



相关知识

一、变形与变形监测的概念

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考物的位置变化。

物体自身的变形主要包括伸缩、裁剪、裂缝、弯曲和扭转等。物体相对于参考物的位置变化主要包括水平位移、垂直位移(沉降)、倾斜等。

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。工程变形监测是利用专门的仪器和方法对工程建筑物等监测对象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、高边坡、滑坡体、开采沉陷区、古建筑等)。

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。外部因素主要是指建筑物负载及其自重的作用使其地基不稳定,振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,地基土的荷载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振动作用。此外,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。

二、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、构筑物及时分析原因,采取加固措施,防止变形的发展,避免事故的发生。

三、变形监测的目的

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。

四、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。

五、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,变形监测具有以下特点:

(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、速度以及观测的目的。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 1 mm 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,因此根据工程点变形测量的要求,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科学合理的物理解释。

六、变形监测分类

(一) 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) 全球性变形监测是指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。

(二) 按照变形体产生变形的时间和过程分类

(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、矿区开采沉降等。

(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。

(三) 按照变形监测相对于变形体的空间位置分类

(1) 外部变形监测主要是测量变形体在空间二维几何形态上的变化,普遍使用的是常用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进行观测。这种测量手段容易实现连续自动的监

测及长距离遥控遥测,精度也高,但只能提供局部的变形信息。

(四) 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。

任务二 变形监测的内容与方法

【知识要点】 变形监测技术的主要内容;变形监测的方法。

【技能目标】 掌握变形监测技术的主要内容;了解变形监测的方法。



任务导入

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应有所不同。



任务分析

根据变形体的性质与地基情况来确定变形监测的内容,从而确定变形监测的方法。



相关知识

一、变形监测的分类

(一) 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几种:

(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的联系,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: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大小不一样造成的,如基础的不均匀沉降等。

(4) 挠度:是指变形体不同位置偏离其理论位置的变形。

(5) 裂缝: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最大。

(6) 日照变形: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: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振。

(8) 动态变形: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。

(二) 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。

(三) 按照几何量和物理量进行分类

(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、振动、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。

二、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,给出变形位与荷载(引起变形的有关因素)之间的函数关系,并作变形预报。

三、变形监测的方法

(一) 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。

(二) 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程度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。

(三) 数字近景摄影测量方法

使用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。

(四) 激光扫描方法

地面三维激光扫描应用于变形监测的特点如下:

- (1) 信息丰富。
- (2) 实现对变形体的非直接测量。
- (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。

(五) 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 进行地面变形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。

(六) 专用测量技术手段

变形测量除了上述测量方法外,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

应变测量根据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设)在变形体中,由于变形体中的应变而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,其他各观测头安置在目标点上,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。该方法无须点与点之间的通视,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、下标志中心点高差的比值)来表示。

任务三 变形监测技术的发展趋势

【知识要点】 变形监测技术的发展;新技术在变形监测中的应用。

【技能目标】 了解新技术在变形监测中的应用。



任务导入

现代科学技术的飞速发展,促进了变形监测技术手段的更新换代。现代变形监测正逐步迈向多层次、多视角、多技术、自动化的立体监测体系。



任务分析

了解变形监测技术的发展趋势以及新技术在变形监测中的应用。



相关知识

一、变形监测技术的发展

现代科学技术的飞速发展,促进了变形监测技术手段的更新换代。以测量机器人、地面

三维激光扫描为代表的现代地上监测技术,改变了经纬仪、全站仪等人工观测技术,实现了监测自动化。以测斜仪、沉降仪、应变计等为代表的地下监测技术,正在实现数字化、自动化、网络化。以 GPS 技术、合成孔径雷达干涉差分技术和机载激光雷达技术为代表的空间对地观测技术,正逐步得到发展和应用。同时,有线网络通信、无线移动通信、卫星通信等多种通信网络技术的发展,为工程变形监测信息的实时远程传输、系统集成提供可靠的通信保障,现代变形监测正逐步迈向多层次、多视角、多技术、自动化的立体监测体系。总之,现代变形监测技术发展趋势有以下几个方面的特征:

(1) 多种传感器、数字近景摄影、全自动跟踪全站仪和 GPS 的应用,将向着实时、连续、高效率、自动化、动态监测系统的方向发展。

(2) 变形监测的时空采样率会得到大大提高,变形监测自动化为变形分析提供了极为丰富的数据信息。

(3) 高度可靠、实用、先进的监测仪器和自动化系统,要求在恶劣环境下长期稳定可靠地运行。

(4) 实现远程在线实时监控,在大坝、桥梁、边坡体等工程中将发挥巨大作用,网络监控是推动重大工程安全监控管理的必由之路。

二、新技术在变形监测中的应用

(一) 测量机器人监测技术

TCA 自动化全站仪,又称测量机器人。该仪器由伺服马达驱动,在一定的范围内,由机载系统软件控制,自动识别目标、测量(水平角、垂直角、距离)目标和自动检测记录观测数据。测量机器人的测角测距精度高,目前徕卡 TCA2003 的测角标称精度达到 $\pm 0.5''$,测距标称精度 $\pm (1\text{ mm} + 1 \times 10^{-6} D)$, D 指以 GPS 为中心的方圆直径,单位是千米(km)。且在此仪器的基础上,对仪器进行实验检测,精确确定仪器的差分改正系数,实现温度、气压、大气折光等外部条件对测量距离、角度观测值的实时差分改正,提高观测的精度。相比于普通全站仪测量机器人,具有自动照准功能,随机携带变形监测程序,且能够基于 GeoBasic 进行二次开发,因此测量机器人在变形监测中已得到了广泛应用。

目前徕卡 TCA2003 已成功用于小浪底大坝外部变形监测、大型桥梁变形监测、溪洛渡电站变形监测等监测工程中。对于不同的工程实例,虽然具体的监测方法和使用的具体监测程序不同,但是其基本原理和步骤相似,都是基于 TCA2003 的自动照准功能开发监测程序,自动获取监测点在不同时间的三维坐标,进行前后对比分析。其基本步骤如图 1-1 所示。

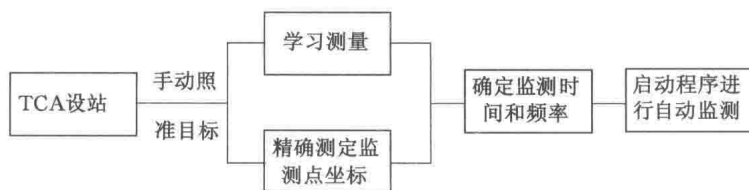


图 1-1 TAC 监测步骤

(二) 近景摄影测量技术

近景摄影测量是摄影测量学的一个分支,采用非接触量测手段,具有速度快、效率高、信