

全国高职高专工程测量技术专业规划教材

工程监测技术 及应用

杨晓平 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

全国高职高专工程测量技术专业规划教材

工程监测技术及应用

杨晓平 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

本书是全国高职高专工程测量技术专业规划教材。本书以工程监测的基本理论和基本方法为基石,以监测技能技术和应用方法为主要内容,以突出监测技术在工程中的应用为核心,并结合具体工程给出了工程监测实例。本书在教材框架的编写上有所创新,力求有别于本科及中专教材。

全书共九章,分别讲述了工程监测技术基础知识、基坑工程变形监测、建筑物变形监测、公路工程及边坡工程施工监测、地铁盾构隧道工程施工监测、水利工程监测、GPS定位技术在工程监测中的应用以及工程监测新技术及发展趋势等内容。

全书内容前沿、实用性强,可作为高职高专工程测量技术专业的教材,也可作相关土木工程技术专业的工程监测的通用教材或教学参考书,还可供从事测绘、土木、道路市政及有关工程监测的设计、施工的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程监测技术及应用/杨晓平主编. —北京:中国电力出版社,2007

全国高职高专工程测量技术专业规划教材

ISBN 978-7-5083-5493-4

I. 工… II. 杨… III. 土木工程-工程施工-监测系统-高等学校:技术学校-教材 IV. TU712

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第055201号

中国电力出版社出版发行

北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>

策划编辑:王晓蕾 责任编辑:关 童

责任印制:陈焊彬 责任校对:李 亚

北京博图彩色印刷有限公司印刷·各地新华书店经售

2007年8月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm 1/16·11.75印张·291千字·1插页

定价:28.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

本社购书热线电话(010-88386685)

前 言

随着工程设计理论和工程施工技术的快速发展,工程变形监测逐渐成为工程设计的耳目,成为确保工程施工安全的重要手段。工程监测已成为工程建设实施阶段中不可缺少的重要环节。由此,工程监测的基本理论和方法及技术在工程测量专业及其专业知识结构中显得越来越重要,工程监测技术已脱离传统的工程测量范畴而成为一门独立的新学科。

工程监测技术是一门综合性极强的技术,它是以岩土力学、工程测量学及工程设计理论和方法等学科为理论基础,以仪器、传感器、计算机、监测技术等相关知识为技术支持,并结合工程施工工艺和工程建设的实践经验所形成的一门向多学科渗透的技术学科。

现今的地下工程设计与施工采用科学化的经验方法与工程实践相结合的信息化监控设计、施工手段,把地下工程开挖后周围管线、周边建筑物及工程支护结构系统的力学性态变化作为判断工程的稳定性和可靠性的依据,将工程施工监测所获取的各项监测数据信息进行分析处理,并与类似工程的经验方法相结合,建立起必要的判断准则,最终利用监测结果及时作出安全预报;并以此对设计的合理性作出验证,对工程施工作出决策。目前,在我国的一些相关的建设法规、强制性的规范中,已将对基坑围护结构和周围环境进行监测纳入其中,并作为一项强制性规定,要求在进行城市地下基坑、地铁盾构隧道等工程施工时,必须进行工程监测。

本书具体讲述工程建设中常见的各项监测项目的原理、方法、监测用的仪器仪表、各监测点的布设以及相关工程建设对监测的要求,并结合具体工程给出了工程监测实例。本书还吸纳了先进的监测技术与方法,对全站仪、GPS接收机等现代测绘仪器及其在工程施工监测中的具体应用方法作了介绍。本书力求基础理论知识适度,注重实用性,尽可能做到通过对监测技术的学习,可以很快地将监测技术与方法应用到工程实践中。同时为了便于教学,每章均有学习要求和小结,且均附有习题,以利学习与复习。

本书由杨晓平主编。徐景田、张冬菊、王金玲、肖伦波、袁江红、吴晓群为副主编。各章节具体分工为:杨晓平主要编写第1,第3,第5,第6章,金幼君编写第3章的3.1节,王金玲编写第6章的6.3节;张冬菊、袁江红合作编写第2章,文学编写第2.8节;肖伦波和吴晓群合作编写第4,第8章;徐景田编写第7,第9章,张细权编写第9章的9.2节。最后由杨晓平对全书进行修改、统编和定稿工作。

在本书编写过程中,得到了编者所在学院、中国电力出版社有关领导及编辑的鼓励与积极支持,同时还参阅了许多参考文献,有关的书刊作者已在参考文献中列出。在此,一并致以由衷的谢意。

尽管编者在编写过程中竭尽全力，但由于工程监测技术是一门新兴的科学技术，发展日新月异，再加上编者水平有限，书中难免存在一些不妥和错误之处，恳请专家、同行、读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 工程变形监测的内容、目的与意义	1
1.2 变形监测技术的现状及其发展趋势	3
1.3 工程变形分析的内涵	4
小结	6
习题	6
第 2 章 工程变形监测技术基础知识	7
2.1 工程变形监测系统概况	7
2.2 变形监测方案设计	9
2.3 工程变形监测仪器简介	14
2.4 工程变形监测高程控制网的建立及沉降观测	17
2.5 工程变形监测平面控制网的建立	25
2.6 水平位移监测方法	27
2.7 倾斜监测方法	33
2.8 建筑物裂缝和挠度监测	35
2.9 变形监测资料的处理方法介绍	38
小结	40
习题	41
第 3 章 基坑工程变形监测	42
3.1 基坑工程及基坑变形监测技术	42
3.2 基坑工程现场监测的重要性和目的	44
3.3 基坑监测方案设计和监测基本要求	46
3.4 基坑工程现场监测的内容和方法	47
3.5 基坑工程监测的实施方法及仪器仪表	52
3.6 基坑工程监测报表和监测报告	61
3.7 基坑工程监测实例	63
小结	78
习题	79
第 4 章 建筑物变形监测	80
4.1 建筑物变形监测的目的和意义	80
4.2 建筑物变形监测内容、方法及要求	81
4.3 建筑物变形监测资料及监测报告	88
4.4 建筑物变形监测实例	89

小结	91
习题	92
第 5 章 公路工程及边坡工程施工监测	93
5.1 公路及边坡工程变形监测概述	93
5.2 公路及边坡工程监测的项目和监测工作实施及实例	99
5.3 桥梁施工和运营期的变形监测	115
小结	118
习题	119
第 6 章 地铁盾构隧道工程施工监测	120
6.1 地铁盾构隧道工程监测的意义和目的	120
6.2 地铁盾构隧道工程监测方案设计	121
6.3 地铁盾构隧道工程监测项目及方法	125
6.4 地铁盾构隧道工程监测实例	127
小结	130
习题	130
第 7 章 水利工程监测	131
7.1 水利工程监测的内容、方法	131
7.2 水利大坝和坝基安全监测	132
7.3 地质灾害监测	147
7.4 监测实例	153
小结	166
习题	166
第 8 章 GPS 定位技术在工程监测中的应用	167
8.1 GPS 定位技术在工程监测中的应用概述	167
8.2 GPS 在滑坡外观变形监测中的应用	167
8.3 GPS 在大坝变形监测上的应用	170
8.4 GPS 在其他变形监测中的应用	173
小结	175
习题	175
第 9 章 变形监测新技术及发展趋势	176
9.1 变形监测技术发展趋势	176
9.2 变形监测新技术	177
小结	179
习题	179
参考文献	180

第1章 绪 论

通过本章的学习,要求了解变形及变形监测的概念,认识变形对工程建设的影响,以及进行工程变形监测的目的和意义。搞清楚变形监测的基本内容,并对变形分析有一定的认识,对工程变形监测的实施过程有清晰的概念。

1.1 工程变形监测的内容、目的与意义

1.1.1 工程变形监测的定义

变形是自然界普遍存在的一种客观现象,通常是指变形体在各种荷载及自然力作用下,变形体的形状、大小和空间位置随时间而变化的现象。变形体的变形在一定范围内(安全范围内)被认为是允许的,但若超出规定的允许值,则可能引发安全事故,造成灾害。自然界的变形危害现象极其普遍,如山体滑坡、地震、火山爆发、地表沉陷、溃坝、桥梁及建筑物的倒塌等。

对工程建设而言,为了保证工程项目顺利实施及安全营运,必须对工程变形体进行周期性的监测,且在监测前应根据工程项目的具体特点制定出切实可行的、有针对性的监测方案。

所谓变形监测,就是利用测量仪器及专用特制设备采用一定的监测方法对变形体的变形现象进行监视观测的一种工作,并通过这种工作确定变形体空间位置随时间变化而变化的特征。变形监测又称变形测量或变形观测,它包括全球性的变形监测、区域性的变形监测和工程变形监测。本书主要介绍工程变形监测技术。对于工程变形监测来说,变形体一般包括工程建(构)筑物、机器设备以及其他与工程建设有关的自然或人工对象,如水利大坝、桥梁、隧道、高层建筑物、地下建筑物、崩滑体、高边坡等都可称为变形体。一般,工程变形体均可用一定数量的有代表性的位于变形体上的监测点(或目标点)来代表。由于监测点空间位置的变化可以用来描述变形体的变形,所以通过对监测点观测,即可分析得出变形体的变形特征。

工程变形监测的任务是确定在各种荷载和外力作用下,各工程变形体的形状、大小及其位置变化的空间状态和时间特性。从一定意义上讲,变形监测工作是保证工程项目正常实施和安全营运的必要手段。变形监测为变形分析和安全预报提供基础数据,对于工程建设的安全来说:监测是基础,分析是手段,预报是目的。

1.1.2 工程变形监测的内容

工程变形监测的内容主要包括对各工程变形体进行的水平位移、垂直位移的监测。对变形体进行偏移、倾斜、挠度、弯曲、扭转、裂缝等的测量,主要是指对所描述的变形体自身形变和位移的几何量的监测。水平位移是监测点在平面上的变动,一般可分解到某一特定方向;垂直位移是监测点在铅直面或大地水准面法线方向上的变动。偏移、倾斜、挠度等也可归结为监测点(或变形体)的水平或者垂直位移变化。偏移和挠度可以看作是变形点在某一

特定方向的水平位移；倾斜可以换算成水平或垂直位移，也可以通过水平或垂直位移测量和距离测量得到。

对一具体工程的监测工作而言，在确定监测内容时，应根据工程变形体的性质及其地基情况来相应制定。通常要求有明确的针对性，既要有监测的重点，又要作全面考虑，以便能正确地反映出变形体的变化特征，达到监视变形体的安全，掌握其变形规律的目的。

普通的工业与民用建筑物，其监测内容主要包括基础的沉陷观测和建筑物本身变形的观测。基础的沉陷是指建筑物基础的均匀沉陷与非均匀沉陷；建筑物本身变形是指观测建筑物的倾斜与裂缝；对于高层及高耸建筑物，还必须进行动态变形观测；对于各种工业设备、工艺设施、导轨等，主要进行水平位移和垂直位移观测。

对于水工建筑，如土坝和混凝土重力坝等，主要是进行水平位移、垂直位移以及渗透、裂缝和伸缩缝等的观测，必要时还应对混凝土坝进行混凝土应力、钢筋应力、温度等的观测。

对桥梁而言，其观测内容主要有桥墩沉陷观测、桥墩水平位移观测、桥墩倾斜观测、桥表沉陷观测、大型公路桥梁挠度观测以及桥体裂缝观测等。

除此之外，还应对工程项目的地面影响区域进行地表沉降观测，以掌握其沉降与回升的规律，进而可采取有针对性的防护措施。因为在工程建设的影响范围内，若发生较严重的地表沉降现象，可能会造成地下管线的破坏，甚至危及工程项目的安全。

1.1.3 工程变形监测的特点、目的和意义

变形监测的最大特点是需进行周期性观测。所谓周期性观测就是多次的重复观测，第一次称初期观测或零周期观测。每一周期的观测内容及实施过程如监测网形、监测仪器、监测的作业方法以及观测的人员等都要求一致。

在监测精度的确定方面，对于不同工程项目的监测，变形监测所要求的精度是不同的。一般情况下，对普通工程项目所实施的监测，其监测精度可以低一些；而对大型、重点的精密工程项目和对安全相关程度要求高的工程项目，在对其开展监测工作时，则要求有较高的监测精度。但在实际工作中，具体要达到多高的精度，却仍然是一个难以解答的问题。通常，应根据工程项目的要求并结合以往的经验数据资料来合理确定。总体说来，变形监测工作对工程建设安全施工和营运而言，是一个极为重要的环节，而从工程测量的角度来看，其工程测量技术正得以快速发展，其测量手段也越来越丰富，相应的测量精度水平也可以达到较高的程度，加之，精度要求再高的监测工作，其花费的监测费用在整个工程建设费和运营费中所占的比重却相对较小，故工程项目的变形监测的精度从安全监控的角度来讲，一般要求达到较高的精度水平（从测量技术层面来讲，也是很容易达到的）。同时，设计人员也总希望把监测的精度提得更高一些，以尽可能的保障工程项目的安全实施和安全营运，对于重要工程，一般要求“以当时能达到的最高精度为标准进行变形监测”。

另外，现代工程建设项目的规模、造型和施工的难度对变形监测也提出了更高的要求。许多新设计生产的专用变形监测仪器大都实现了自动化，且能在极其恶劣环境下长期稳定可靠地工作。同时，现代的变形监测，获取变形信息的空间分辨率和时间分辨率都得到了很大的提高。

工程变形监测的首要目的是要掌握工程变形体的实际性状，为判断其是否安全提供必要的信息。这是因为保证工程建设项目安全是一个十分重要且很现实的问题。人类社会的进步

和经济建设的快速发展,加快了工程建设的进程,且现代工程建筑物的规模逐步增大,造型愈加复杂,施工难度亦较前增加,因而变形监测工作对工程实施的意义也就更加重要。我们知道,工程建(构)筑物在施工和运营期间,由于受多种主观和客观因素的影响,会产生变形,变形如若超出了允许的限度,就会影响建(构)筑物的正常使用,严重时还会危及工程主体的安全,并带来巨大的经济损失。从实用上来看,变形监测工作可以保障工程安全,监测各种工程建筑物、机器设备以及与工程建设有关的地质构造的变形,及时发现异常变化,并对监测对象的稳定性、安全度作出判断,以便采取相应的处理措施,防止事故发生。所以,为了防止和减小变形对工程建设造成损失,必须进行工程变形监测,同时为进一步进行变形分析和工程安全预报提供基础数据。

科学、准确、及时地分析和预报工程及工程建(构)筑物的变形状况,对工程项目的施工和运营管理都极为重要;这一工作也属于变形监测的范畴。目前,变形监测技术已成为一门跨学科的应用性技术,并向边缘学科方向渗透发展。变形监测技术主要涉及变形信息的获取、变形信息的分析以及变形预报三个方面的内容。其研究成果对预防灾害及了解变形规律是极为重要的。对工程主体而言,变形监测除了作为判断其安全与否的耳目之外,还是验证设计及检验施工安全的重要手段,它为工程主体的安全性诊断提供必要的信息,以便及时发现问题并采取补救措施,最终保障工程项目的安全施工与使用。

1.2 变形监测技术的现状及其发展趋势

1.2.1 变形监测技术的现状

变形监测技术是集多门技术学科为一体的综合应用型技术,主要发展于20世纪末期。伴随着电子技术、计算机技术、信息技术和空间技术的发展,变形监测的相关理论和方法也得到了长足发展,主要表现在如下几方面:

(1) 常规监测方法。技术更趋成熟,设备精度、设备性能都具有很高水平。位移监测均可以达到毫米级的监测水平,高精度位移监测方法可以识别0.1mm的位移变形。

(2) 监测方法多样化。三维立体化。现今的工程变形监测已形成了空中、地面到变形体内部的立体化监测网络方法,使得变形监测系统的综合判别能力得以加强,促进了变形监测分析评价及安全预报能力的提高。

(3) 其他领域的先进技术在逐渐向变形监测领域进行渗透。随着高新技术的发展和应用的深入,卫星遥感、航空遥感等空间技术的精度逐渐提高;全球定位系统(GPS)的应用,使得变形体的勘察技术与监测技术趋于融合,通过技术上的处理、提升,该类技术逐渐应用于工程和局部区域性的变形监测工作。

在现今的变形监测技术中,其变形信息获取方法的选择应取决于变形体的特征、变形监测的目的、变形大小和变形速度等因素。对工程变形监测而言,地面常规测量技术、地面摄影测量技术、特殊和专用的测量手段以及以GPS为主的空间定位技术等均得到了较好的应用。

变形监测技术的首要工作是合理编制变形监测方案并对变形监测网进行设计,而对于周期性变形的监测网设计来说,其主要内容包括:确定监测网的质量标准;选择合适的观测方法;监测点位的最佳布设和观测方案的最优选择。经过二十多年的发展,变形监测方案设计和监测网优化设计的研究已经较为深入和全面。目前在变形监测方案与监测系统设计方面,

其主要发展是监测方案的综合设计和监测系统的数据管理与综合处理。例如,在工程水利大坝的变形监测中,要综合考虑外部和内部观测设计,要对大地测量与特殊测量进行综合处理与分析。

就变形监测的发展历史来看,目前大多的工程变形监测方法主要是采用大地测量法和地面近景摄影测量法。具体体现在以下几方面:

(1) 常规地面测量方法的完善与发展。常规地面测量方法显著的进步是全站仪的广泛使用,特别是全自动跟踪全站仪(也称测量机器人)的使用,为工程变形的自动监测和室内监测提供了一种很好的技术手段。

(2) 地面摄影测量技术在变形监测中的应用起步较早,但由于摄影距离不能过远,且绝对精度较低,因而其应用有一定的局限性,以前仅大量应用在高耸建(构)筑、古建筑、边坡体、船闸等的变形监测中。近些年来,数字摄影测量和实时摄影测量技术的发展为地面摄影测量技术在变形监测中的深入应用开拓了非常广阔的前景。

(3) 光、机、电技术的发展,研制出了一些特殊和专用的监测仪器,促进了变形监测工作中自动监测的发展,可以用来进行应变测量、垂直测量和倾斜测量,且使之自动化。这样在极其恶劣的环境下,便可组成遥测系统,实现在线分布式实时监测。

(4) GPS作为一种全新的现代空间定位技术,已逐渐在诸多的领域中取代了常规光学和电子测量仪器。现在,GPS技术也已应用于工程变形监测中,且取得了极为丰富的理论研究成果,并逐步走向实用阶段。

1.2.2 变形监测技术的未来发展趋势

根据国内外测量学者的研究,变形监测技术的未来发展方向主要有以下几个方面:

(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,将向实时、连续、高效、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) 可靠、实用。先进的监测仪器和自动化的监测系统,要求在恶劣环境下能长期稳定可靠地运行。

(4) 远程在线实时监控的实现,在大坝、边坡体等工程监测中将发挥巨大作用,网络监控是推进重大工程安全监控管理的发展之路。

1.3 工程变形分析的内涵

变形分析是变形监测技术的重要手段。通过对所获取的变形信息的分析,可以透过各变形监测点的变形现象来看整个变形体的变形本质,从大量的杂乱无章的观测数据中找出变形体的内在的变形规律,既可遵循此规律进行合理处理,对监测对象的稳定性、安全度作出判断,又可以积累监测分析资料,解释变形机理,验证设计与施工是否合理,为以后的工程建设提供宝贵的可借鉴资料。这就是变形分析的真正内涵。

变形分析的内容涉及到变形数据处理与分析、变形机理解释和变形预报等几个方面。通常分为变形的几何分析和变形的物理解释两部分。所谓变形的几何分析是对变形体的形状、大小的变形作几何描述,描述出变形体变形的空间状态和时间特性,一般可以用一些图表来形象表达;变形物理解释的任务是解释变形体变形的原因,并确定变形与变形原因之间的相

互关系,最终把握变形体变形的内在规律。

1.3.1 工程变形分析的基本方法

1.3.1.1 变形的几何分析

传统的变形几何分析主要包括参考点(即基点)的稳定性分析,观测值的平差处理和质量评定以及变形模型参数估计等内容。

监测点的变形信息是相对于参考点或一定基准的。在工作中,若所选基准本身不稳定或不统一,则由此获得的观测点的变形值就不能反映出变形体真正意义上的变形。所以,变形的基准是否稳定是变形监测数据处理与分析首先必须考虑的问题。对参考点的稳定性分析的方法有很多,传统的方法大都局限于周期性的监测网,如:以方差分析进行整体检验为基础的平均间隔法;以 t 检验法为基础的单点位移分量法;以方差分析和点的位移向量为基础的Karlsruhe法;考虑大地基准的Munich法;以位移的不变函数分析为基础的Frederickson法等,还有后来发展的逐次定权迭代法。

观测值的平差处理和质量评定非常重要,观测值的质量好坏直接关系到变形值的精度和可靠性。观测值的平差处理和质量评定主要包括观测值质量,平差基准,粗差处理,变形的可区分性等内容。其方法有在固定基准的经典平差基础上发展的重心基准的自由网平差和拟稳定基准的拟稳平差等。

对于变形模型参数估计,我国学者陈永奇教授提出了直接法和位移法两种基本分析方法。所谓直接法是直接用原始的重复观测值之差计算应变分量或它们的变化率;位移法是用各测点坐标的平差值之差(位移值)计算应变分量。后来陈永奇教授又提出了变形分析通用法。

多年来,对几何分析研究的较为完善的方法是用常规地面测量技术进行周期性监测的静态模型方法,但该模型仅仅考虑了变形体在不同观测时刻的空间状态,没有很好地建立各个状态间的联系,因而很难对变形监测自动化系统进行变形分析研究。事实上,由于变形体在不同空间状态之间是具有时间关联性的,因而后来学者通过对时序观测数据的动态模型研究,形成了一些动态模型的建模方法,如:变形的时间序列分析方法建模;基于数字信号处理的数字滤波技术分离时效分量;变形的卡尔曼滤波模型等。

在变形分析中,为了弥补单一方法的缺陷,将多种分析方法结合在一起应用,并已得到了一定程度的发展,在大坝、边坡等工程变形监测中已得以应用。

1.3.1.2 变形的物理解释

变形物理解释的方法可分为统计分析法、确定函数法和混合模型法三类。

统计分析法是以回归分析模型为主,通过分析所观测的变形(效应量)和外因(原因量)之间的相关性,来建立荷载—变形之间关系的数学模型。统计分析法具有“后验”的性质,是目前应用比较广泛的变形成因分析法。回归分析模型包括多元回归分析模型,逐步回归分析模型,主成分回归分析模型和岭回归分析模型等。

确定函数法是以有限元法为主,是在一定的假设条件下,利用变形体的力学性质和物理性质,通过应力与应变关系建立荷载与变形之间关系的数学模型,然后利用确定的函数模型预报在荷载作用下变形体可能的变形。确定性模型具有“先验”的性质,与统计模型相比具有更明确的物理概念,但计算工作量大,且对用作计算的监测基础资料有一定的要求。

混合模型分析是统计模型和确定性模型的进一步发展,目前已在大坝安全监测中得到了

较好的应用。混合模型是对那些与效应量关系比较明确的原因量用有限元法计算数值,而对另一些与效应量关系不很明确或采用相应的物理理论计算成果难以确定它们之间函数关系的原因量,则仍然采用统计模型,然后与实际值进行拟合而建立的模型。

由于变形的物理解释涉及到多学科的知识,已不是测量工作者能独立完成的,需要相关学科专家的共同合作,在本书中此方面对学生不作要求,因而将不予介绍。

1.3.2 工程变形分析研究的发展趋势

根据国内外学者对变形分析方面的研究,并展望变形分析研究的未来,其发展趋势体现在以下几个方面:

(1) 数据处理与分析将向自动化、智能化、系统化、网络化方向发展。且注重时空模型和时频分析的研究,加强数字信号处理技术更深程度的应用。

(2) 加强对各种方法和模型的实用性研究,开发更多实用性的变形监测系统软件,研究更多的变形分析新方法,推进变形监测技术的发展,以适应变形监测体的多样化。

(3) 基于变形体变形的不确定性和错综复杂性,在研究时应跳出原有的思维模式,产生新的思维方式和方法。由系统论、控制论、信息论、分形与混沌动力学等所构成的系统科学和非线性科学在变形分析中的应用研究将得到加强。

(4) 几何变形分析和物理解释的综合研究将深入发展,以知识库、方法库、数据库和多媒体库为主体的安全监测专家系统的建立是未来发展的方向,变形的非线性系统问题将是一个长期研究的课题。

小 结

(1) 主要讲述变形是一种客观现象,对工程实体而言,变形是有一定限度的,为了保证工程建设施工与运营安全,应进行变形监测。说明了变形监测对工程建设的作用及意义,以及变形监测工作的基本内容和特点。

(2) 阐明了变形监测技术的现状及其发展趋势。变形监测技术是一门集多门技术学科为一体的综合应用型技术,其作随着电子技术、计算机技术、信息技术和空间技术发展,变形监测方法和相关理论得到长足发展,并具有极其广阔的发展前景。

(3) 介绍了工程变形监测的基本分析方法,包括变形的几何分析和变形的物理解释。要求学生重点了解变形分析的几何分析方法。

习 题

1. 什么叫变形监测? 什么叫工程变形监测?
2. 对于工程的变形监测来说,变形体一般包括哪些? 试举例说明。
3. 工程变形监测的任务是什么? 试述工程变形监测的内容,并简述变形监测工作的意义。
4. 变形监测的方法有哪些? 而述 GPS 在变形监测中的应用特点,其应用前景如何?
5. 试述变形分析的内涵。一般的变形分析方法有哪些?

第2章 工程变形监测技术基础知识

通过本章的学习,要求对变形监测系统有一定的了解,掌握变形监测网方案设计的原则及编制方法和具体包含的内容;重点掌握沉降观测和水平位移监测方法,了解变形监测网的高程控制网及平面控制网建立的常用方法;掌握倾斜观测、裂缝及挠度观测的方法;了解变形监测资料的整理工作,并学会编写监测报告。

2.1 工程变形监测系统概况

2.1.1 工程变形监测系统的组成及分类

一个监测系统可以由一个或若干个功能单元组成。一般包括进行监测工作的荷载系统(在工程建设中,荷载是通过施工和对地面的开挖等工程活动施加的)、测量系统、信号处理系统、显示和记录系统以及分析系统等几个功能单元。就目前我国工程监测实际来说,其工程变形监测系统一般有人工监测系统和自动化监测系统两大类。

2.1.1.1 人工监测系统

由人工进行变换时间和地点的监测操作,各监测数据的读取与记录以及向计算机进行输入,并进行变形分析所组成的系统,称为人工监测系统。它一般由观测设备和传感器、采集箱、测读仪器、电子计算机等几部分组成。

1. 观测设备和传感器

观测设备通常为传统的测量仪器和针对具体工程所设计的专用仪器,而传感器是指埋设在土体或结构中的测量元件,传感器通过感知(即测量)被测物理量,并把被测物理量转化为电量参数(电压、电流或频率等),形成便于仪器接受和传输的电信号。观测设备和传感器是进行工程变形监测不可缺少的监测工具。

2. 采集箱

采集箱是传感器与测读仪表的连接装置,利用切换开关可实现多个传感器对应一个测读仪表的连接。

3. 测读仪器

把传感器传输的电信号转变为可测读的数字符号,便于记录和后期处理成所需的物理量值。接收的数字量成为观测值,运用相应的计算公式,由观测值计算得出物理量,最终形成观测成果。

4. 电子计算机

在人工变形监测系统中,电子计算机主要用于数据汇总、计算分析、制表制图、打印监测报告。

2.1.1.2 自动化监测系统

利用一些特定的测量技术和设备(如测量机器人等)来进行工程建设项目的变形监测,以实现全天候的无人值守监测,高效、全自动、准确、实时的进行监测并分析的一种代替人

工操作的监测系统,称为自动化监测系统。它一般由传感器和观测设备、遥测采集器、自动化测读仪表、计算机系统等几部分组成。

1. 传感器和观测设备

自动化监测系统中的传感器与人工监测系统中所采用的基本相同,一般可视具体的监测项目具体选用。而观测设备一般是一些高精度的自动电子测量仪(全站仪等)、测量机器人、GPS接收机等。

2. 遥测采集器

通过计算机或自动检测仪表进行自动切换,实现一台测读仪表能快速读取数十(甚至数百)个传感器,这样可以节约大量传输电缆,提高了测读的可靠程度和监测工作的效率。

3. 自动化测读仪表

自动化测读仪表的功能与人工监测系统中的测读仪表相似,自动测读仪表能够自动切换测点,定时、定点地测读数据,具有数据的切换、存储和显示功能,并可连接多种外围设备(如打印机、绘图仪、磁带机等)。

4. 计算机系统

计算机系统包括主机系统、外围设备和功能强大的软件系统,其在自动监测系统中不仅可以实现对整个监测系统的控制,而且能够对监测数据进行实时处理,使许多先进的技术和手段能够在监测系统中得以应用。

2.1.2 工程变形监测系统的应用及其发展

目前,在一些大型水利工程建设中所用的GPS变形监测系统,如湖北清江上游的隔河岩大坝外观变形GPS监测系统,便是一种自动化的监测系统,该系统由数据采集、数据传输、数据处理、分析和管理等几个部分组成,并采用了7台高精度的GPS接收机来进行数据的自动采集和传输。

全球定位系统的应用是测量技术的一项变革,它使建立三维的监测网变得简单可行,且GPS定位技术不需要测站间相互通视,这样可以免去建标(即建高大的观测觇标)、砍树之类的工作,并使监测网的一类设计有更多优化的余地。全球定位系统可以提供 1×10^{-6} 的相对定位精度。因此,GPS在精度和经济上的优越性将使它取代很多传统的地面测量方法有了可能。

现在,GPS定位技术已广泛应用于各种变形监测工作中。GPS连续变形监测系统已研制成功,并应用于进行San Andreas断层地壳运动和大坝变形的实时监测。

除此之外,现今的变形监测系统还在向大型的综合变形监测系统发展,如四维形变监测系统。

四维形变监测系统是根据变形观测的特殊要求而建立的一种可对 x 、 y 、 z 三向移动和变形进行同时观测,并考虑时间因素对监测工作的影响的变形监测系统。其观测数据包括水平角、垂直角、光电测距边长、支距、仪器高、目标高、温度和时间。有关参考数据可用GPS测定,也可在全站型电子经纬仪上自动记录,在电子计算机上自动进行数据处理。四维形变观测系统的出现为大面积的形变观测提供了一种快速、经济的监测手段。基于形变监测的目的是观测地表在 x 、 y 、 z 三个方向或沿特定的纵、横方向的移动和变形值,以确定移动和变形对建筑物的破坏程度以及形变的时空变化。所以在采用该综合监测系统时,一般要求采用假定的变形坐标系,即首先按照工程设计资料,确定出变形体特定变形移动的重要方向,并将该方向作为变形坐标系的 x 轴方向或 y 轴方向。

2.1.3 变形监测系统的调试和管理

不管是人工监测系统还是自动监测系统,在进入正常监测工作状态前都应对系统进行调试。首先是进行室内单项和联机多项调试,它包括利用试验室内各种调试手段和设备对测量元件、仪器仪表以及组建好的系统进行模拟试验;最终的调试是在监测现场安装完毕后进行。调试目的在于检查系统各部分功能是否正常,其中包括传感器、二次仪表和通信设备等运转是否正常;测量仪器是否满足自身的各项几何条件及其精度是否满足监测要求;采集的数据是否可靠;精度能否达到安全监测控制指标的要求等。

监测系统的管理是指除了严格地按照监测系统的操作方式进行量测外,必须对数据的采集实行现场质量控制。为确保监测资料的可靠性,应定期检查监测系统的工作性能。管理检查工作包括以下内容:

- (1) 传感器或表面测点是否遭受人为或自然的损坏,性能是否稳定;
- (2) 各种测试仪表是否按期校验鉴定,以确定功能是否正常;
- (3) 仪表设备的工作环境是否符合测试条件;
- (4) 电缆电线是否完好,绝缘性能是否达到设计要求;
- (5) 对采集到的数据进行分析,以检查是否能将由仪器本身引起的有严重误差的数据予以剔除。

2.1.4 变形监测工作中的常用控制网

变形监测网一般分为绝对网和相对网。绝对网是指有部分点位于变形体影响范围之外的监测网。一般将设置于变形体影响范围之外的点作为监测工作的基准点或工作点(这些点也称为参考点,其所组成的网称为基准网),以用来测量变形体上监测目标的绝对变形。绝对网测量时,务必要通过测量来验证作为监测基准的基准点本身的稳定性。绝对网多用于工程项目的变形监测,因为在工程建设中,变形体的范围(包括其变形影响范围)一般较小。相对网是指监测网的全部测点都位于变形体影响范围内的监测网,这种网一般用在变形区域较大的情形下,如地壳形变的监测网等。

从测量的角度来看,工程变形监测工作中所布设的变形监测网一般有高程监测网和水平位移监测网。为了保证监测工作达到预期的要求,应对变形监测网进行控制测量。

1. 高程监测网

高程监测网通常可与国家大地水准网适用,其独立的水准网也常与国家水准网联测,无异于国家水准网。其网形可布设成带结点的水准网、闭合环或附合水准路线等形式。

2. 水平位移监测网

水平位移监测网可采用三角网、导线网、边角网、GPS网和测边网等形式。

2.2 变形监测方案设计

变形监测方案是变形监测工作的实施性的指导文件,监测方案的好坏在一定程度上可以决定工程变形监测工作的成败。因此,对工程建设来说,为了有针对性的进行变形监测工作,以便为工程项目的设计、施工和安全营运提供第一手的基础数据资料,务必制定出合理有效的工程变形监测方案。

变形监测方案设计是变形监测中非常重要的一项工作,方案设计的好与不好将影响到变形监测工作实施时的观测成本,影响到各项监测成果数据的精度和可靠性。所以,应当在充

分掌握工程项目的各项基础资料及项目的工程特点,设计者及业主的具体监测要求的基础上,认真、仔细的进行监测方案设计。变形监测方案设计工作包括:相关工程资料的收集、监测系统与各项监测项目的测量方法的确定和选择、监测网布设、应达到的监测精度和观测周期的确定等。

确定变形监测模型是变形监测方案设计的基础工作。通过对变形体的诸多变形影响因子(如变形体所受的外加力及其荷载等的预估大小、时间特性及其对变形体发生作用等)的推断分析,可得到一个概略模型。由该模型计算出变形的预计值及其时间特性。然后,以此为基础,可确定出测量精度、观测周期数、一周期允许的时间长短以及各监测周期间的时间间隔。但应注意,变形监测方案随变形体自身的具体特点而异,不可能有一个统一的模式。

变形体可由离散化的多个监测目标点来代表;监测目标点与监测参考点(即基准点)组合起来,便构成变形体监测的几何模型。参考点和目标点一般应定义在一个统一的坐标系中,根据目标点坐标随时间的变化可导出变形体的变形规律。

采用变形监测技术获取工程变形体的变形量及其随时间变化的特征应确定好以下几项:

(1) 描述或确定变形状态所需要的测量精度。对于监测网而言,则为确定出测量目标点坐标或坐标差所应达到的允许精度。

(2) 所要施测的次数(观测频率)和各次观测之间的时间间隔 Δt 。

(3) 进行一次观测所允许的观测时间。

以上三点在变形监测方案设计中都应该考虑。

2.2.1 变形监测方案的设计原则及编制步骤

1. 变形监测方案设计的依据和原则

变形监测方案的设计应在充分收集若干工程建设资料的基础上进行,一般说来,在进行方案设计之前,应收集如下资料:工程结构设计图或桩位布置图;工程地质勘察报告;降水挖土方案或打桩流程图;工程建设场区地形的各种比例尺地形图;场区周边管线平面布置图;周边受影响区内的拟保护对象的建筑结构图;地下主体结构的结构图;基坑支护结构和主体结构施工方案;最新监测元件和设备样本;国家现行的有关规定、规范、合同协议等;结构类型相似或相近工程的经验资料等。然后,在详细分析这些资料的基础上,按照以下原则着手进行变形监测方案设计。

(1) 变形监测方案应以安全监测为目的,根据不同的工程项目(如基坑工程、水利大坝工程)确定监测对象[基坑、水工建(构)筑物、管线、隧道等],针对监测对象安全稳定的主要指标进行方案设计。

(2) 根据监测对象的重要程度确定监测工作的规模和内容,各监测项目和测点的布置应能够比较全面地反映出监测对象的工作状态。

(3) 设计先进的变形监测系统。应尽量采用先进的测试技术,如计算机技术、遥测技术,积极选用或研制效率高、可靠性强的有针对性的先进仪器和设备。

(4) 为确保能提供可靠、连续的监测资料,各监测项目应能相互校验,以利于进行监测数据的处理计算、变形分析和变形体的变形状态及规律的研究。

(5) 监测方案应在满足监测性能和精度要求的前提下,力求减少监测元件的数量和各测试用的电缆长度,减低监测频率,以降低监测工作总费用。

(6) 方案中临时监测项目(测点)和永久监测项目(测点)应相互衔接,一定阶段后取