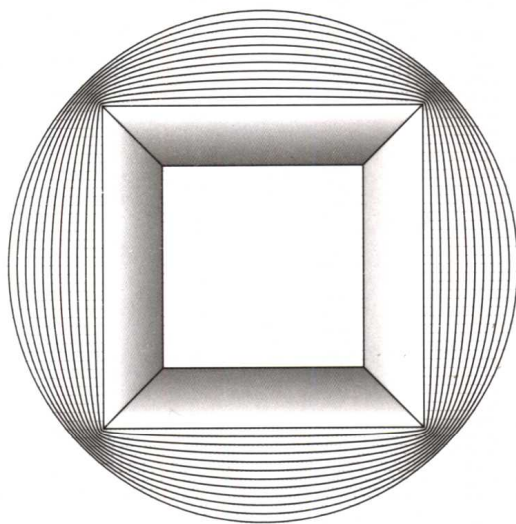


21世纪高等学校规划教材

工程监测技术 及其应用

高俊强 严伟标 编著 潘庆林 主审

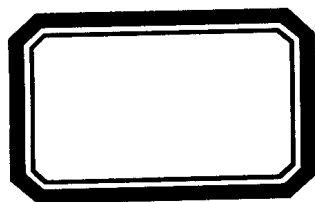


43



国防工业出版社

National Defense Industry Press



高等学校规划教材

工程监测技术及其应用

高俊强 严伟标 编著
潘庆林 主审

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书是作者在多年从事工程监测技术教学与应用研究的基础上撰写而成的。全书共八章,分别阐述了工程监测技术基础知识、基坑工程施工监测、公路工程施工监测、地铁盾构隧道工程贯通与导向测控技术、地铁盾构隧道工程施工监测、水利工程监测、边坡工程监测、GPS定位技术在工程监测中的应用等内容。

全书内容全面先进、资料翔实、实用性强,可作为高等学校有关专业的通用教材或教学参考书,也可供从事测绘、土木、交通及有关工程监测的设计、施工、科研人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程监测技术及其应用 / 高俊强, 严伟标编著. — 北京: 国防工业出版社, 2005. 12

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 7 - 118 - 04184 - X

I. 工... II. ①高...②严... III. 建筑工程 - 工程施工 - 监测 - 高等学校 - 教材 IV. TU712

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 112974 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)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 16 370 千字

2005 年 12 月第 1 版 2005 年 12 月北京第 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

随着建筑工程设计理论和施工技术的进一步发展,工程监测越来越成为工程设计的连接点和必要环节,因此工程监测的基本方法和技术在测绘工程及相关专业的知识结构中显得越来越重要。特别是地下工程的设计与施工普遍采用科学化的经验方法与工程实际密切结合的信息化监控设计、施工的方法,把地下工程开挖后周围环境和支护系统力学性态变化作为判断它的稳定性和可靠性的依据,将施工监测所获得的信息加以处理,与工程类比的经验方法相结合,建立了必要的判断准则,利用监测结果及时作出施工决策。因此,监测在这个过程中起着极其重要的“眼睛”作用。在城市基坑工程、地铁盾构隧道等工程施工中,基坑围护结构和周围环境监测已写入有关法规、规范中强制实施。

本书详细介绍了各种监测项目的原理、方法、仪器仪表、测点布设以及各种土木工程的监测要求。重点论述各种土木工程中所需要进行的监测项目的确定、监测手段的选择、仪器仪表量程以及监测精度、频率和预警值的确定,并结合工程实践给出了工程实例。

土木工程监测技术是一门综合性很强的技术,它是以土力学、岩体力学、工程测量学及土木工程设计理论和方法等学科为理论基础,以仪器仪表、传感器、计算机、测试和监测技术等学科为技术支持,同时还融合土木工程施工工艺和积累的工程实践经验。随着GPS卫星定位技术的精度不断提高,其应用范围将普及和深入到经济建设的各个领域,也将为传统的工程监测技术带来一场新的革命。为此,我们结合几年来从事教学与应用研究的成果,编著了《工程监测技术及其应用》,以满足测绘工程等地球空间信息科学学科的相关专业教学的需要。

本书由高俊强、严伟标主编,潘庆林主审。各章节具体分工如下:严伟标编写第一、六、七章,吉文来编写第二章,胡灿编写第三章,高俊强编写第四、五章,刘三枝编写第八章。最后由高俊强对全书进行了统稿和整理,潘庆林教授对全书进行了审查,并提出了具体建议,文稿打印、排版与插图由王维、汪洋完成。

本书力求做到深入浅出,详略得当,理论与工程实际相结合,反映了当前的最新技术。在本书中引用了许多书刊的资料,已在参考文献中列出,在此向有关书刊作者致以谢意。

尽管作者在编写过程中经过反复推敲,尽了很大的努力,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,同时由于作者水平有限,疏漏、错误之处在所难免,恳请各位专家、同行、读者批评指正。

作 者

于南京工业大学

2005年7月

目 录

第一章 工程监测技术基础知识	1
第一节 监测系统概况.....	1
第二节 变形监测的周期及其精度要求.....	7
第三节 高程控制网的建立及沉降监测	11
第四节 平面变形监测控制网的建立	15
第五节 水平位移监测方法	18
第六节 倾斜监测	22
第七节 建筑物裂缝和挠度监测	24
第二章 基坑工程施工监测	26
第一节 基坑工程及基坑施工监测的发展	26
第二节 基坑工程现场监测的目的和意义	27
第三节 基坑监测设计依据和监测项目要求	29
第四节 基坑工程现场监测的内容和方法	31
第五节 基坑工程现场监测的仪器仪表	46
第六节 基坑工程监测报表和监测报告	51
第七节 基坑工程监测实例	55
第三章 公路工程施工监测	59
第一节 概述	59
第二节 公路工程现场监测的内容及方法	61
第三节 公路工程施工监测工程实例	76
第四章 地铁盾构隧道工程贯通与导向测控技术	83
第一节 概述	83
第二节 地铁隧道贯通的误差来源及不同阶段误差限值分配	84
第三节 联系测量的方法及其精度	87
第四节 地下导线测量及其精度	96
第五节 加测陀螺方位角地下导线的计算及最佳位置讨论	98
第六节 盾构推进时地下导线逐段接测的可靠性检验.....	113
第七节 盾构姿态定位控制.....	118

第八节 工程实例	129
第五章 地铁盾构隧道工程施工监测	153
第一节 盾构隧道监测的意义和目的	153
第二节 盾构隧道监测的项目和方法	154
第三节 盾构隧道监测方案设计	157
第四节 盾构隧道内的监测	164
第五节 盾构隧道施工监测实例	177
第六章 水利工程监测	193
第一节 概述	193
第二节 大坝变形观测点的布置方案	193
第三节 基准点的选择与控制网的布设	197
第四节 大坝安全监测实例	201
第七章 边坡工程监测	209
第一节 概述	209
第二节 边坡变形监测	211
第三节 边坡应力监测	216
第四节 边坡地下水监测	221
第五节 边坡工程监测实例	223
第八章 GPS 定位技术在工程监测中的应用	228
第一节 GPS 简介	228
第二节 GPS 工程变形监测的试验研究	228
第三节 GPS 日照变形监测	230
第四节 超高层建筑 GPS 动态监测	232
第五节 大型桥梁 GPS 动态监测	234
第六节 大坝自动化 GPS 监测系统	238
第七节 GPS 地面沉降监测	243
第八节 GPS 地质灾害及生态环境监测	244
参考文献	247

第一章 工程监测技术基础知识

第一节 监测系统概况

随着现代科学技术的迅猛发展和生产水平的提高,各种监测技术已越来越广泛地应用于各种工程领域和科研工作中,监测技术水平的高低越来越成为衡量国家科技现代化的重要标志之一。当代监测技术的作用主要体现在四个方面:

- (1) 各种参数的测定;
- (2) 自动化过程中参数的反馈、调节和自控;
- (3) 现场实时检测和监控;
- (4) 试验过程中的参数测量和分析。

当代科技水平的不断发展,为监测技术水平的提高创造了物质条件,反过来,拥有高水平的监测理论和监测系统又会促进科技成果的不断出现和创新。当前,随着半导体技术新的突破和大规模集成电路构成的微处理器的出现,监测技术越来越朝着高精度、实时化、小型化和智能化方向发展,新型传感器的研制也是当代监测技术的重要发展内容。

只有对监测系统有一个完整的了解,才能按照实际需要设计或配置出一个有效的监测系统,以达到实际监测目的。按照信号传递方式来分,常用的监测系统可分为模拟式监测系统和数字式监测系统。

一、系统的组成

一个系统可以由一个或若干个功能单元组成。图 1-1 所示的是一个完整的监测系统,它由四部分组成:荷载系统、测量及信号处理系统、显示与记录系统以及数据处理和打印机外围设备。若要以最佳方案完成测试任务,就应该对整套系统的各个功能单元作全面和综合的考虑。当然,根据目的和要求不同,可以只有其中一两个部分,如弹簧秤,只有一根弹簧和刻度尺,它包含了传感、测量和显示等功能。图 1-2 所示的直剪试验计算机辅助监测系统,则是一个复杂的多单元系统。

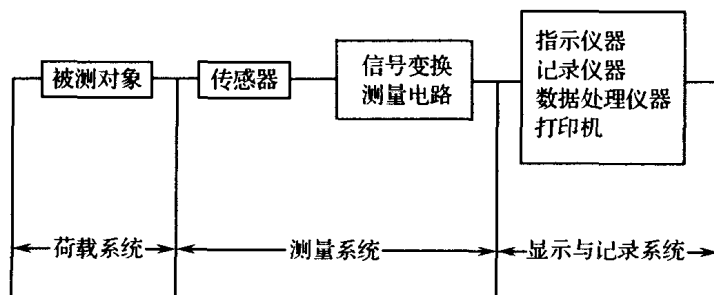


图 1-1 监测系统的组成

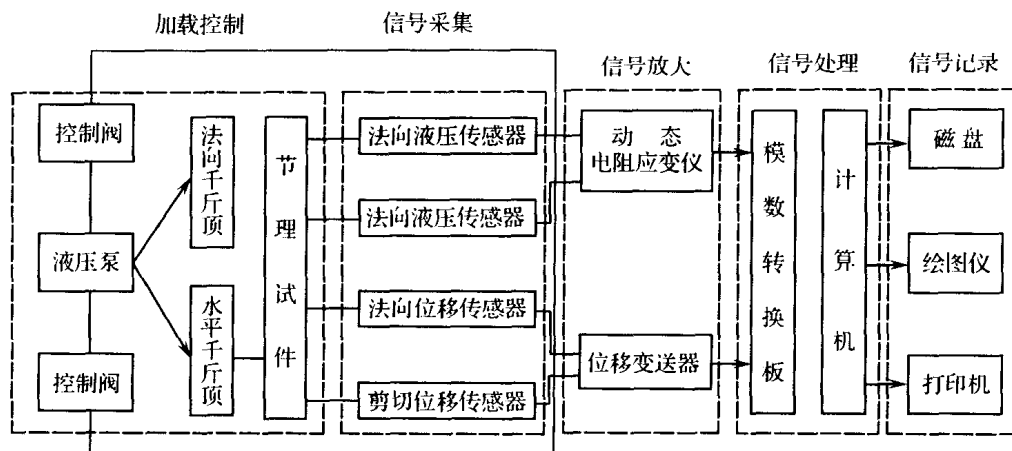


图 1-2 直剪试验计算机辅助监测系统图框

1. 荷载系统

荷载系统是使被测对象处于一定的受力状态下,使与被测对象有关的力学量之间的联系充分显露出来,以便进行有效测量的一种专门系统。测定岩石及结构面力学性质的直剪试验系统中的直剪试验架和液压控制系统就是一个荷载系统。它由直剪试验架、液压控制系统组成,液压泵提供施加到试件上的荷载,液压控制系统则使荷载按一定速率平稳地施加,并在需要时保持其恒定,从而使试件处于一定的法向应力水平下进行剪切试验。在土木工程中,荷载是通过施工和开挖等工程活动施加的。

2. 测量系统

测量系统由传感器和测量电路组成,它把被测参量(如位移、力)通过传感器变成电信号,经过后接仪器的变换、放大、运算,变成易于处理和记录的信号。传感器是整个测量系统中采集信息的关键环节,它的作用是将被测非电量转换成便于放大、记录的电量,所以,有时称传感器为监测系统的一次仪表,其余部分为二次仪表或三次仪表。在直剪试验系统中,需要观察在不同法向应力水平下,试件在剪切过程中法向和剪切方向的力和位移的变化。用四个位移传感器分别测量试件在法向和剪切方向的位移,用两个液压传感器分别测量试件在法向和剪切方向的荷载。其中,用荷载传感器和动态电阻应变仪组成力的测量系统,用位移传感器和位移变送器组成位移测量系统。动态电阻应变仪和位移变送器内的中间变换和测量电路中通常有电桥电路、放大电路、滤波电路和调频电路等。所以测量系统是根据不同的被测参量,选用不同的传感器和后接仪器组成的测量环节。不同的传感器要求与其相匹配的后接仪器。

3. 信号处理系统

信号处理系统是将测量系统输出的信号进行进一步处理以排除干扰,或输出不同的物理量,如对位移量的一次微分得到速度,二次微分得到加速度。在图 1-2 的计算机中需设计智能滤波等软件,以排除测量系统中的噪声干扰和偶然波动,提高所获得信号的置信度。对模拟电路则要用专门的仪器或电路等。

4. 显示和记录系统

显示和记录系统是测量系统的输出环节,它是将测得的被测对象的有用信号及其变

化过程显示记录下来,数据显示可以用各种表盘、电子示波器和显示屏实现,而数据记录则可以采用函数记录仪、光线示波器、磁盘等设备来实现,直剪试验计算机辅助监测系统中,以微机屏幕、打印机和绘图仪等作为显示记录设备。

二、系统选择的原则

选择系统的根本出发点是监测的目的和要求。但是,若要达到技术上合理和经济上节约,则必须考虑一系列因素的影响。下面针对系统的各个特性参数,就如何正确选用系统予以说明。

1. 灵敏度

系统的灵敏度高意味着它能监测到被测物理量微小的变化,即被测物理量稍有变化,测量系统就有较大的输出,并能显示出来。但灵敏度愈高,往往测量范围愈窄,稳定性也愈差,对噪声也愈敏感。在土木工程监测中,被测物理量往往变换范围比较大,所需要的是相对精度在一定的允许值,而对其绝对精度的要求不是很高,因此,在选择仪器时,最好选择灵敏度有若干挡可调的仪器,以满足在不同的阶段对仪器不同灵敏度的测量要求。

2. 准确度

准确度表示测量系统所获得的测量结果与真值的一致程度。准确度越高,测量结果中所包含的系统误差和随机误差就越小。测量仪器的准确度越高,价格就越昂贵。因此,应从被测对象的实际情况和监测要求出发,选用准确度合适的仪器,以获得最佳的技术经济效益,在土木工程监测中,监测仪器的综合误差为全量程的 1.0% ~ 2.5% 时,这样准确度基本能满足施工监测的要求。误差理论分析表明,由若干不同准确度组成的系统,其结果的最终准确度取决于准确度最低的那一台仪器。所以,从经济性来看,应当选择同等精确度的仪器来组成所需的测量系统。如果条件有限,不可能做到等准确度,则前面的环节的准确度应高于后面的环节,不要与此相反的配置。

3. 线性范围

任何测量系统都有一定的线性范围。在线性范围内,输出与输入成比例关系,线性范围越宽,表明测量系统的有效量程越大。测量系统在线性范围内工作是保证测量准确度的基本条件。然而,系统是不容易保证处于绝对线性的,在有些情况下,只要能满足测量的准确度,也可以在近似线性的区间内工作,必要时,可以进行非线性补偿或修正,非线性度是测量系统综合误差的重要组成部分,因此,非线性度总是要求比综合误差小。

4. 稳定性

稳定性表示在规定条件下,测试系统的输出特性随时间的推移而保持不变的能力。影响稳定性的因素是时间、环境和仪器的元件状况。在输入量不变的情况下,系统在一定时间后,其输出量发生变化,这种现象称为漂移。当输入量为零时,系统也会有一定的输出,这种现象称为零漂。漂移和零漂多数是由于系统本身对温度变化的敏感以及元件不稳定等因素引起的,它对系统的准确度将产生影响。

土木工程监测的对象是野外露天和地下环境中的岩石介质和结构,其温度、湿度变化大,持续时间长,因此对仪器和元件稳定性的要求比较高,所以,应充分考虑到在监测的整个期间,被测物理量的漂移以及随温度、湿度等引起的变化与综合误差相比在同一数量级。

5. 各特性参数之间的配合

由若干环节组成的一个系统中,应注意各个特性参数之间的恰当配合,使系统处于良好的工作状态。比如,一个多环节组成的系统,其总灵敏度取决于各环节的灵敏度以及各环节之间的联结形式(串联、并联),该系统的灵敏度与量程范围是密切相关的,当总灵敏度确定之后,过大或过小的量程范围,都会给正常的测量工作带来影响。对于连续刻度的显示仪表,通常要求输出量落在接近满量程的 $1/3$ 区间内,否则,即使仪器本身非常精确,测量结果的相对误差也会增大,从而影响到准确度。若量程小于输出量,很可能使仪器损坏。由此来看,在组成系统时,要注意总灵敏度与量程范围匹配。又如,当放大器的输出用来推动负载时,它应该以尽可能大的功率传给负载,只有当负载的阻抗和放大器的输出阻抗为共轭复数时,负载才能获得最大的功率,这就是通常所说的阻抗匹配。

总之,在组成系统时,应充分考虑各特性参数之间的关系。除上述必须考虑的因素外,还应尽量兼顾体积小、质量轻、结构简单、易于维修、价格便宜、便于携带、通用化和标准化等一系列因素。

三、监测的仪器设备

用于工程监测的仪器设备类型较多,限于篇幅,这里仅介绍当前先进的监测仪器——电子数字水准仪和智能型全站仪。

1. 电子数字水准仪

电子数字水准仪是能进行几何水准测量的数据采集与处理的新一代水准仪。这类仪器采用条形码标尺和电子影像处理原理,用 CCD 行阵代替人的肉眼,将望远镜像面上的标尺呈像转换成数字信息,可自动进行读数记录、各项限差的计算,实现了内外业一体化、自动化和数字化。

水准仪的自动化先是从光学微倾式水准仪发展到自动安平水准仪,但依然没有摆脱人工读数。随着数字电子学的发展,1990 年以来,瑞士徕卡(Leica)、德国蔡司(Zeiss)和日本拓普康(Topcon)等公司相继推出不同类型的电子数字水准仪。它们都以具有补偿装置的自动安平水准仪为基础,视准光束一部分通过一般光路,仍可进行光学读数;另一部分经过分光镜转折到 CCD 行阵传感器的像平面上,通过图像处理,实现电子读数。因此,电子数字水准可视为 CCD 像机、自动安平补偿式水准仪、微处理器和条形码标尺的集成地面水准测量系统。

由于专利权的原因,各公司的编码求值即数字图像处理方法各异,主要有以下三种:

- (1) 相关法(Leica NA 2002/3003);
- (2) 几何位置测量法(Zeiss DINI 10/20);
- (3) 相位法(Topcon DL 101/102)。

主要针对德国蔡司 DINI 20 和日本拓普康 DL 102 电子水准仪的基本原理、性能及我们的实验结果作一初步介绍,供读者参考(如图 1-3 所示)。

(1) 蔡司 DINI 10/20 电子数字水准仪。DINI 标尺上以 2cm 为一测量间隔(称一个比特),叫做基本码,其上都具有码信息。仪器可在 1.5m ~ 100m 的范围内用 30cm 的最小的不变视场间隔进行测量,也就是说当视场中有 30cm 的最小标尺截距时就可确定测量值。蔡司电子数字水准仪采用粗测和精测两个步骤工作。它的伪随机码在每个码元都可以进行读数(粗测),由于各条码的宽度分布很不均匀,必须而且可以用精测求出基本码的边界

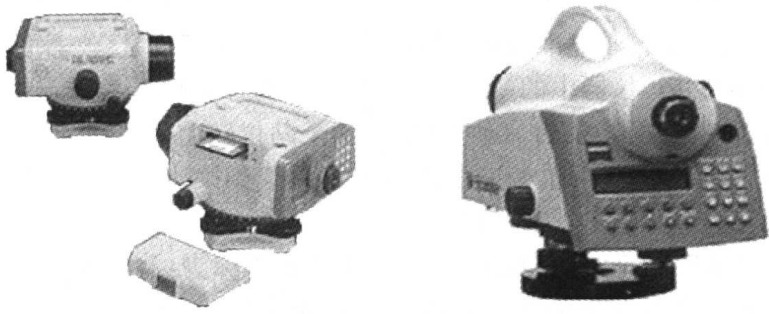


图 1-3 两种电子数字水准仪外形

值,因此每个基本码及其与其他码条的相互位置是已知的。伪随机码被双相位码叠加,使每一比特,即间隔的中点除取 1 或 0 值外,还有一个附加的亮度变化。这时双相位码在视场中的分布是最佳的,在几何上可采集到 15 个明暗过渡(边界)值,通过取均值提高精度。在标尺上还有 1mm~2mm 宽的黑色或白色线条,这些只是在近距离测量时才用到。

(2) 拓普康 DL 101/102 电子数字水准仪采用三种独立信息互相嵌套在一起的编码尺,即参考码 R 和信息码 A 和 B。R 码为三道等宽的黑色码条,以中间码条的中线为准,每隔 3cm 就有一组 R 码。信息码 A 和 B 位于 R 码的上、下两边,下边 10mm 处为 B 码,上边 10mm 处为 A 码。A 和 B 的码条宽度按正弦规律改变,其信号波长分别为 33cm 和 30cm,最窄的码条宽度不到 1mm。上述三种信号的频率和相位可以通过快速傅里叶变换 (FFT) 获得,由此可求得视距和视线高度。

2. 智能型全站仪

(1) 智能型全站仪是一种能自动识辨、照准和跟踪目标的一种全站仪,又称测量机器人。徕卡公司生产的 TCA1800、TCA2003 全站仪(如图 1-4 所示)以及拓普康自动跟踪全站仪(GTS-821A)均属于这一类。徕卡智能型全站仪的 ATR(Automatic Target Recognition)自动照准功能,如采用徕卡标准圆棱镜可达 1km。其中,TCA1800 标称精度指标为:测角精度 1"、测距精度 $(1 + 2 \times 10^{-6} \cdot D)$ mm; TCA2003 精度指标为:测角精度 0.5"、测距精度 $(1 + 1 \times 10^{-6} \cdot D)$ mm。

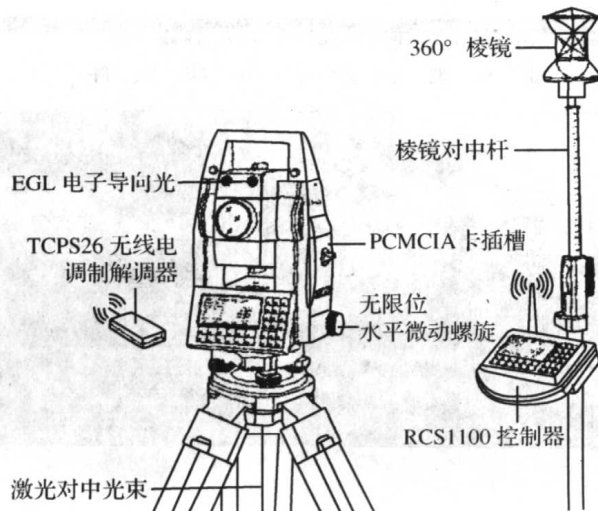


图 1-4 TCA-2003 智能型全站仪

(2) 智能型全站仪由伺服电机驱动照准部和望眼镜的转动和定位,在望眼镜中有同轴自动识别目标装置,能自动照准棱镜进行测量。它的基本原理是:仪器向目标发射激光束,经反射棱镜返回,并被仪器中的 CCD 相机接收,从而计算出反射光点中心位置,得到水平方向和天顶距的改正数,最后启动电机,驱动全站仪转向棱镜,自动精确照准目标。为提高观测速度,望远镜基本照准棱镜后,计算出相对于精确照准棱镜的水平方向和天顶距的改正数,进行改正后,给出正确读数。

(3) 拓普康自动跟踪全站仪(GTS-821A)的精度指标为:测角精度 $1.0''$ 、测距精度 $(2 + 2 \times 10^{-6} \cdot D)\text{mm}$;自动照准的距离:800m 旋转速度高达: $50(^{\circ})/\text{s}$;自动跟踪速度高达: $12(^{\circ})/\text{s}$,内置 MS-DOS 操作系统,防水防尘等级:IP54(图 1-5)。安装有大坝变形自动监测机载软件,可以设置测角和测距的各项限差(图 1-6)。在观测中机载软件将对观测过程实施监控,使测量成果满足限差要求。随机配有大坝变形处理软件,可直接将野外观测记录转成测角手簿,适用于附和网、经典自由网、秩亏网、拟稳网四种方法,可用于一、二、三维网的各种网型平差计算,同时可对已有多期观测的变形监测基准网的网点稳定性进行统计检验,并采用数据库管理监测网的多期观测结果、平差结果、位移量等数据。软件界面见图 1-7。另外也可输出平面网和水准网各种平差结果的精度,输出各种观测值的多余观测分量,以便评价网的可靠性,程序也能将某点多期位移量绘成过程线。



图 1-5 拓普康自动跟踪全站仪(GTS-821A)

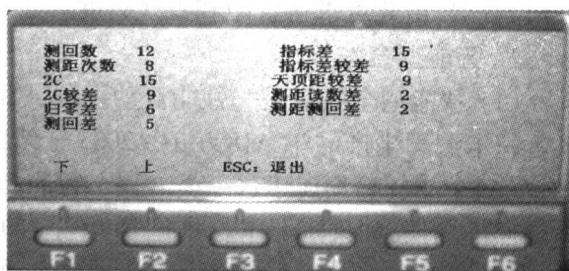


图 1-6 机载软件设置界面



图 1-7 变形监测数据处理软件界面

第二节 变形监测的周期及其精度要求

要达到变形监测的预期目的,必须通过对监测对象的分析,提出应有的监测精度、合适的监测周期,拟定相应的监测方案。

一、变形监测的周期

变形监测周期的确定应能系统反映所测建筑变形的过程,且以不遗漏其变化时刻为原则,综合考虑单位时间内变形量大小、变形特征、观测精度要求及外界因素影响情况,当观测过程中发生异常时,应及时增加观测次数或调整变形测量方案。

沉降监测周期应能反映出建筑物的沉降变形规律,如:在砂类土层上的建筑物,沉降在施工期间已大部分完成,根据这种情况,沉降监测周期应是变化的。在施工过程中频率应大些,一般有 3 d、7 d、15 d 三种周期。在竣工后,频率可小一些,一般有一个月、两个月、半年与一年等不同的周期。在施工期间也可以按荷载增加的过程安排监测,即从监测点埋设稳定后进行第一次监测,当荷载增加到 25% 时监测一次,以后每增加 15% 监测一次。建筑物使用阶段的观测次数,应视地基类型和沉降速度大小而定。除有特殊要求者外,一般情况下,可在第一年监测四次,第二年两次,第三年后每年一次,直至稳定为止。观测期限一般不少于如下规定:沙土地基 2 年,膨胀土地基 3 年,黏土地基 5 年,软土地基 10 年。

在观测过程中,如有基础附近地面荷载突然增减、基础四周大量积水、长时间连续降雨等情况,均应及时增加观测次数。当建筑物突然发生大量沉降、不均匀沉降或严重裂缝时,应立即进行逐日或几天一次的连续观测。

沉降是否进入稳定阶段,应由沉降量与时间关系曲线判定。对重点观测和科研观测工程,若最后三个周期观测中每周期沉降量不大于 $2\sqrt{2}$ 倍测量中误差可认为已进入稳定阶段。一般观测工程若沉降速度小于 $0.01\text{mm/d} \sim 0.04\text{mm/d}$,可认为已进入稳定阶段,具体取值宜根据各地区地基土的压缩性确定。

水平位移观测的周期,对于不良地基地区的观测,可与同时进行的沉降观测协调考虑确定;对于受基础施工影响的有关监测项目,应按施工进度需要确定,可逐日或隔数日观测一次,直到施工结束;对于土体内部侧向位移观测,应视变形情况和工程进展而定。

当建筑物又出现变形或产生可能出现第二次变形的原因时,应对它重新进行监测。这些原因一般是:在建筑物附近建筑新的建筑物,如打桩、降水、基坑开挖;修建削弱地基承载力的地下工程,如盾构或顶管在地下穿越;建筑物进行加层及大修或纠偏处理等。在这种情况下,监测周期要视对建筑物变形影响因素所产生的效应而定。

二、变形监测的精度

目前国内外对建筑物沉降观测主要有如下几种确定精度指标的方法。

1. 以建筑物的阶段平均沉降量为依据确定精度指标

所谓平均沉降量,是指对一座建筑物各个观测点的沉降量取平均值。平均沉降量与均匀沉降量有所不同,它除了直接表达建筑物总的沉降量以外,其均方差在一定程度上(可信度很差)能间接反映不均匀沉降的状况。但是它毕竟不能直接反映不均匀沉降量的大小。因此,用它来确定所需的观测精度,在监视建筑物安全方面就不怎么可靠了。

有关文献提出按阶段(即观测周期)平均沉降量的 20% 来确定观测精度。这种方法的实质,是先确定了观测精度,然后根据沉降速率和 20% 的取值反过来确定观测精度指标。可见,其精度指标并不是根据客观上的需要来确定的。

2. 以“固定”误差为依据确定精度指标

有的论文或书籍的作者未加论证就提出取沉降点的中误差的 $\pm 0.5\text{mm} \sim \pm 2\text{mm}$ 作为测量精度指标。我们认为,不作论证的取值是难以切合实际的。

3. 以“建筑物的变形最小值”为依据确定精度指标

有文章提出:“测定观测点标高的精度要求时,应该以所给出的各种形式的变形最小值为依据,……所谓变形最小值就是指通过观测记录下来的最小值”。问题是变形最小值的具体含义是什么?所谓“通过观测需要记录下来的最小值”,其概念很模糊。该文解释:“这个方法的基础,就是要求两倍的沉降观测中误差不得超过最小下沉值”。据此导出了相应的取值公式,并且给出了示例。但是细读该文,其取值公式实质上是在概率为 0.955 的条件下,沉降点高程的测量中误差不应大于建筑物不均匀沉降允许值的 $1/4$ 的结论。看来该文所谓的(在不均匀沉降方面)变形最小值,似乎就是指建筑物不均匀沉降的允许变形值。问题在于这个公式的根据实质上是:令建筑物不均匀沉降量(该文中的相对倾斜)观测的极限误差等于建筑物不均匀沉降的允许变形值。

4. 以基础地质条件为依据确定精度指标

也有文献指出,在不同情况下测定建筑物沉降允许误差,对于岩石和半岩石地基为 1mm ,对于沙土、黏土及其他压缩性的土地基为 2mm ,填土、沉陷土、泥炭土及其他高压缩性的土等为 5mm ,则相应的沉降观测中误差为 $\pm 0.5\text{mm}$, $\pm 1\text{mm}$ 和 $\pm 2.5\text{mm}$ 。这一规定完全凭借实际经验,缺乏足够的理论依据,其实质仍然是沉降量大则精度可以低一点,而沉降量小则精度必须高一些,而不是从安全角度出发来考虑问题。

5. 以 GB50026—93《工程测量规范》为依据确定精度指标

工程测量规范指出:变形特别敏感的高层建筑、工业建筑、高耸建筑物、重要古建筑,其沉降观测中误差为 $\pm 0.3\text{mm}$;而变形比较敏感的高层建筑、高耸建筑、古建筑等其沉降观测中误差为 $\pm 0.5\text{mm}$ 。但对如何来区别变形特别敏感、变形比较敏感没有进行解释,更没有提供区别依据或者无法进行区别。

6. 以经验公式为依据确定精度指标

有部分学者指出:根据工程测量人员多年来观测的实践经验认为,沉降观测的最大误差,应为不均匀沉降最大允许值的 $1/10$,而不均匀沉降最大允许值按下式计算,即

$$\delta_{允} = \frac{2}{1000}L \quad (1-1)$$

式中: L 为两相邻观测点的间距。

“假设按两相邻观测点的距离 8m 计算,则沉降量观测中误差为 $\pm 0.8\text{mm}$ 。从工程角度考虑,按建筑地基基础设计规范(GBJ7—89)中建筑物的地基变形允许值表规定:相邻桩基允许沉降差 $\delta_{允}$ 为 $0.002L$,为保证沉降量的精度,可取沉降量观测的最大误差比允许沉降量小一个数量级。则沉降观测中误差 $m\Delta = \delta_{允}/20$ 。经计算,沉降量观测中误差为 $\pm 0.8\text{mm}$ 。计算表明,从测量的角度和工程的角度计算的中误差一致。我们认为:高层建筑沉降观测的中误差为 $\pm 1\text{mm}$ 是符合实际情况的。”这实际上仍然是依不均匀沉降量的

允许值作为确定沉降观测中误差的依据,但是文中笼统地把所有建筑物的不均匀沉降允许值都定为一种情况,这是欠科学的。另外, $m\Delta = \delta_{允}/20$ 也是缺乏理论依据的。

上述国内外许多文献根据建筑物沉降的允许变形值来确定所需的观测精度。但是,有的文献是以沉降量的允许变形值为依据;有的是以不均匀沉降量的允许变形值为依据;有的则未具体明确。另外,各个文献的取值系数也常不相同,有取 1/3、1/10、1/20,等等。为什么要这样取,没有见到足够的论证。

国际测量学会(FIG)的变形观测研究小组的报告认为:“观测的中误差应小于允许变形值的 1/10 ~ 1/20”。这是对变形观测总的原则规定。运用到沉降观测,这里的“允许变形值”是指沉降量而言还是指不均匀沉降量而言,有待明确说明。此外,1/10 ~ 1/20 的取值范围,其幅度较大,精度要相差一倍,究竟取多少,需要针对不同情况作具体的规定。

另外,绝对沉降允许值在建筑设计、施工中通常不作为主要的控制指标,其变形值因地质环境影响复杂,变化较大,给出的允许值也带有较大的概略性,因此,以绝对变形值来确定观测的精度是欠妥当的。

建筑物的沉降,分均匀沉降和不均匀沉降(又称差异沉降)。均匀沉降一般对建筑物不具有破坏性,只是当沉降量过大时,有可能影响建筑物的正常使用。不过,均匀沉降量理论上可以事先进行计算,知道其预期值(尽管可能不准确),在进行建筑物设计时可以作预处理,也就不致影响到建筑物的使用。不均匀沉降则不同,超过其允许变形值会造成建筑物的破坏,威胁建筑物的安全。因此建筑物地基的安全,主要是由不均匀沉降来控制。这样,为监视建筑物安全所作的沉降观测,就应该以不均匀沉降的允许变形值为依据,来确定观测精度指标。

国家地基基础设计规范(下称地基规范)是建筑物地基基础设计的依据。它的主要任务之一,就是要保证建筑物地基的安全。而地基规范也是以不均匀沉降允许变形值作为监视建筑物安全的标准,我们在规定测量精度指标时,应该以此为依据,而简单地根据沉降量的允许值来确定测量精度指标是欠妥的。

由于监测的精度直接影响到监测成果的可靠性,同时也涉及到监测方法和仪器设备。因此,有关精度的问题,应综合考虑决定。表 1-1 参照《建筑变形测量规程》(JGJ 8-97),给出了变形测量等级、精度指标及适用范围。

表 1-1 建筑变形测量的等级、精度指标及其适用范围 (单位:mm)

变形测量等级	沉降观测	位移观测	主要适用范围
	观测点测站高差中误差	观测点坐标中误差	
特级	0.05	0.3	特高精度要求的特种精密工程的变形测量
一级	0.15	1.0	地基基础设计为甲级的建筑物的变形测量;重大的古建筑和特大型桥梁等变形测量等
二级	0.5	3.0	地基基础设计为甲、乙级的建筑物的变形测量;场地滑坡测量;管线变形测量;地铁施工及运营中变形测量;大型桥梁变形测量等

(续)

变形测量等级	沉降观测	位移观测	主要适用范围
	观测点测站高差中误差	观测点坐标中误差	
三级	1.5	10.0	地基基础设计为乙、丙级的建筑物的变形测量;地表、道路、管线的变形测量;中小型桥梁变形测量等
注:1. 观测点测站高差中误差,系指几何水准测量的测站高差中误差或静力水准测量、电子测距三角高程测量中相邻观测点相应测段间等价的相对高差中误差; 2. 观测点坐标中误差,系指观测点相对测站点(如工作基点)的坐标中误差、坐标差中误差以及等价的观测点相对基准线的偏差值中误差、建筑物或构件相对底部定点的水平位移分量中误差; 3. 建筑物地基基础设计等级按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007—2002 的规定			

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,其监测精度应根据建筑物的允许沉降值、允许倾斜度、允许相对弯矩等来决定,同时也应考虑其沉降速度。建筑物的允许变形值大多是由设计单位提供的,一般可直接套用。有关部分建(构)筑物允许变形值的规定列入表 1-2 中。

表 1-2 建筑物的允许变形值

项目 序号	变形特征或结构形式	允许变形值	
1	塔架挠度	任意两点的倾斜应小于两点间高差的 1/100	
2	桅杆的自振周期 T	$T \leq 0.01L$, T 为周期(s); L 为桅杆高度(m)	
3	微波塔在风荷载作用下的变形	1. 在垂直面内的偏角不应大于 1/100; 2. 在水平面内不扭转角不应大于 $1^{\circ} \sim 1.5^{\circ}$	
4	框架结构高层建筑物 $\frac{\delta(\text{层间位移})}{H(\text{层高})}$	风荷载 1/400;地震作用 1/250	
5	框架—剪力墙结构高层 δ/H	风荷载 1/600;地震作用 1/300 ~ 1/350	
6	剪力墙结构高层建筑物 δ/H	风荷载 1/800;地震作用 1/500	
7	桅杆顶部位移	不应大于桅杆高度的 1/100	
8	砌体承重结构基础的局部倾斜	沙土和中、低压缩性黏土	高压缩性黏土
		0.002	0.003
9	工业与民用建筑相邻柱基的沉降差: 1. 框架结构; 2. 当基础不均匀沉降时不产生附加应力的结构	0.002L	0.003L
		0.005L	0.005L
10	桥式吊车轨面倾斜(按不调整轨道考虑)	纵向:0.004	横向:0.003

(续)

项目 序号	变形特征或结构形式	允许变形值
11	高耸结构基础的倾斜 $H_k \leq 20$	0.008
	$20 < H_k \leq 50$	0.006
	$50 < H_k \leq 100$	0.005
	$100 < H_k \leq 150$	0.004
注: L 为相邻柱基的中心距离(mm); H_k 为自室外地面起算的建筑物高度(m)		

[例 1] 设某建筑物高 $H = 30\text{m}$, 基础宽 $D = 12\text{m}$, 设计时允许倾斜度 $\alpha = 0.4\%$, 试确定监测建筑物安全时, 沉降监测的精度要求。

[解]: 顶部允许偏移量 $\Delta_{\text{容}} = \alpha \cdot H = \frac{4}{1000} \times 30 \times 10^3 = 120\text{mm}$

若允许误差取允许偏移量的 $1/20$ 时, 则 $f_{\Delta} = 120 \times \frac{1}{20} = 6\text{mm}$

取三倍中误差为允许误差时, 则监测顶部位移量中误差 $m_{\Delta} = \pm \frac{1}{3} \times 6 = 2\text{mm}$

当利用测定基础两端的不均匀沉降量来计算倾斜度时, 则沉降量监测的中误差为

$$m_{\text{沉}} = \frac{m_{\Delta}}{\sqrt{2}} = \pm \frac{2}{\sqrt{2}} = \pm 1.4\text{mm}$$

[例 2] 某饭店为 12 层楼房, 两沉降点之间的距离为 $L = 8\text{m}$, 设差异沉降量最大容许值 $\delta_{\text{最大}} = \frac{2}{1000}L$, 试计算沉降量监测中误差。

[解]: 由题设知

$$\delta_{\text{最大}} = \frac{2}{1000} \times 8 \times 10^3 = 16\text{mm};$$

如取 $\frac{1}{10}\delta_{\text{最大}}$ 为差异沉降监测容许误差时, 则

$$\delta_{\Delta h} = \frac{1}{10} \times \delta_{\text{最大}} = \pm 1.6\text{mm};$$

由于差异沉降可直接由两点间的高差求得, 故取两倍中误差为容许误差, 则差异沉降监测中误差为

$$m_{\Delta h} = \frac{1}{2} \times \delta_{\Delta h} = \pm 0.8\text{mm}。$$

观测点沉降量中误差为

$$m_{\text{沉}} = \frac{m_{\Delta h}}{\sqrt{2}} = \pm 0.56 \approx 0.6\text{mm}。$$

第三节 高程控制网的建立及沉降监测

建筑物的沉降监测是采用重复精密水准测量的方法进行的, 为此应建立高精度的高程变形监测控制网。其具体做法是: 在建筑物的外围布设一条闭合水准环线, 再由水准环