

RELATIVE DEFORMATION MEASUREMENT

# 相对变形测量

## 工程实践与研究

杨 浩 ■ 著



郑州大学出版社

RELATIVE DEFORMAT

# 相对变形测量

## 工程实践与研究

杨 浩 ■ 著



 郑州大学出版社  
郑州

图书在版编目(CIP)数据

相对变形测量:工程实践与研究/杨浩著. —郑州:  
郑州大学出版社,2016.5  
ISBN 978-7-5645-2789-1

I. ①相… II. ①杨… III. ①工程测量-研究  
IV. ①TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 316230 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

出版人:张功员

全国新华书店经销

河南鸿运印刷有限公司印制

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:15.25

字数:355 千字

版次:2016 年 5 月第 1 版

邮政编码:450052

发行电话:0371-66966070

印次:2016 年 5 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978-7-5645-2789-1

定价:65.00 元

本书如有印装质量问题,由本社负责调换



## 作者简介

杨浩(1957—),男,测绘高级工程师,计算机软件设计师、系统分析师。主要从事航空摄影测量与工程测量工作以及计算机软件研发。

Email: canyine@163.com



## 内容简介

本书将告诉读者,如何把自己所学专业与计算机紧密结合、融会贯通。凡是计算机能做的事情都交给计算机去做。借助计算机发挥专业优势,实现个人工作信息化,逐步形成专家系统,加速工程建设和提高工程质量。通过发明创造、技术革新改造来解决工作中遇到的技术难题。笔者把自己多年来针对相对变形测量方面的科研成果和四项发明专利的发明过程比较系统地介绍给大家共同交流,共同提高。并且,通过本书也将告诉广大读者:越是困难的工作,越能发挥创造力。

本书适合于测绘专业的研究人员和相关专业的高校师生以及科技工作者参考,尤其适合于有一定工作经验的同仁们参考。同时,也适合于计算机软件专业的系统分析人员、软件设计人员和程序员参考,以了解专业工作软件的一般开发方法。



## 前言

本书定名为《相对变形测量》(工程实践与研究),表明本书不是相对变形测量的系统性理论研究,而是根据工程实践进行总结、概括,从而结合实际进行的一些相对变形测量方面的探究。

相对变形测量采用三维直角坐标系,以水平面作为基准面。因此,不需要与国家基本控制点连接,适用于工程变形测量,例如各类建筑物、大坝、船闸、地质边坡、地物、隧道、局部地面等的变形测量。把不依赖于参考椭球体的一类变形监测方法归于相对变形测量,采用相对变形测量的方法进行变形监测可以减少工程开支。相对变形测量所适应的范围,以最大监测边长的平面投影误差允许忽略不计为原则。在这种情况下,对于高度监测,若采用全站仪不固定设站点对变形体进行周期性监测时,则需要考虑球气差改正。例如,免固定设站点的全站仪三维变形监测方法,因其允许初次观测与后次观测时的设站点位置不同,使得设站点到同一监测点的水平距离可能不同。

需要注意,在球气差改正中,当大气遮光系数取 0.14 时,地球曲率对高差的影响大约是大气折光对高差影响的 7 倍多,说明大气折光的影响较地球曲率影响的程度较小,但大气遮光系数可变性较大,因此对于高精度的变形监测其最大边长受大气折光影响之影响也必须加以考虑。必要时,对较长边实施水准测量进行高度变形监测。

尽管相对变形测量对于同一条边的平面投影误差在前后次监测中可以相互抵消,从而不影响平面位移的数值计算,但相对变形测量不提倡对过大的变形面积进行监测,因为目前的相对变形测量研究尚未对过大面积变形监测中的诸多影响因素进行考虑。因而,目前仅对最大观测边的平面投影误差达到可以忽略不计时的监测范围采用相对变形测量方法,这已经能涉及诸多工程的变形测量。

本书所涉及的主要测量仪器设备有全站仪和收敛计,也涉及全球定位系统(GPS)。

本书总结了本人在结合实际工作中预测和构思成熟的几种新技术方法,并

逐步在工作中得到应用。有的已经在本质工作中得到实际应用,并且效果很好,发挥了应有的作用。有的尚未得到实际应用,但一定会用到,因为研究的问题是实际变形监测工作中存在的且研究结果已经成熟,只是目前本人尚未真正实际遇到过,相信在今后的工作中也一定能够发挥其积极作用。希望本书能够帮助正在受困于这些技术问题的同仁们参考使用,助其一臂之力。本书的主要特点是,为解决工作中遇到的技术难题有备而来,胸有成竹,并且力求用最少的人力、设备、时间和经费完成与常规作业方法相同的任务,甚至困难的任务。本书主要内容有:

1. 等效法收敛计变形监测方法,已经获得国家发明专利,其中主要包括对隧道地质围岩收敛变形的监测、对洞顶的沉降监测和对洞底的隆起监测等。

2. 全站仪精密沉降监测方法,已经获得国家发明专利,其中主要包括虚拟观测墩技术、建筑物沉降开始发生或继续的判断法则,并对提高监测初始值精度和可靠性进行了理论方面的阐述等。

3. 扩展的等效法收敛计变形监测方法,已经获得国家发明专利,以解决更多的相关技术难题。

4. 免固定设站点的全站仪三维变形监测方法是对现有变形监测方法的一种明显改进,省去了变形监测工作中所涉及的诸多外业工作和参数依赖,因此使得外业工作速度快捷、监测精度自然也高,同时该方法还解决了相关的技术难题,因为有的工程受施工环境条件限制,不仅无法建立观测墩,而且也无法使用虚拟观测墩技术,这时候可以使用该方法对变形体进行监测。

对以上这些新技术方法进行了必要的规范讨论,以帮助实际应用实施。还对已有三角形面积法的拱顶沉降监测方法进行了全面的精度分析,并据此提出最佳监测精度的图形设计方案,还对该方法进行了必要的扩展研究。书中还用到一些先进理论,例如巴尔达理论在解决一维观测粗差时的应用等。还简单介绍了专业工作软件的研发和应用,使自己的工作实现数据处理、监测报告自动生成、智能化建筑物变形报警等高度办公自动化。最后,对已经投入使用的新技术的应用效果和专业工作软件的使用效果及数据挖掘进行了总结。

全书共分两篇,第一篇共9章,第二篇共8章,均由本人编写完成。

本书适合于测绘专业的研究人员和相关专业的高校师生以及科技工作者参考,尤其适合于有一定工作经验的同仁们参考。同时,也适合于计算机软件专业的系统分析人员和软件设计人员参考。

由于本人才疏学浅,书中的错误在所难免,殷切希望读者提出宝贵意见,以便更正。本人很希望得到各位专家、教授的帮助和指导,在这里首先向您们表示致敬!

杨浩

2015年5月15日



# 目 录

|    |                   |         |
|----|-------------------|---------|
| 12 | 第一章 绪论            | 1.1     |
| 12 | 1.1.1 绪论          | 1.1     |
| 22 | 1.1.2 绪论          | 2.2     |
| 22 | 1.1.3 绪论          | 3.3     |
| 22 | 1.1.4 绪论          | 4.4     |
| 16 | 1.1.5 绪论          | 5.5     |
| 22 | 第二章 全站仪精密三维相对变形测量 | 2.2     |
| 22 | 2.2.1 绪论          | 1.1     |
| 22 | 2.2.2 绪论          | 2.2     |
| 22 | 2.2.3 绪论          | 3.3     |
| 22 | 2.2.4 绪论          | 4.4     |
| 22 | 2.2.5 绪论          | 5.5     |
| 22 | 2.2.6 绪论          | 6.6     |
| 22 | 2.2.7 绪论          | 7.7     |
| 22 | 2.2.8 绪论          | 8.8     |
| 22 | 2.2.9 绪论          | 9.9     |
| 22 | 2.2.10 绪论         | 10.10   |
| 22 | 2.2.11 绪论         | 11.11   |
| 22 | 2.2.12 绪论         | 12.12   |
| 22 | 2.2.13 绪论         | 13.13   |
| 22 | 2.2.14 绪论         | 14.14   |
| 22 | 2.2.15 绪论         | 15.15   |
| 22 | 2.2.16 绪论         | 16.16   |
| 22 | 2.2.17 绪论         | 17.17   |
| 22 | 2.2.18 绪论         | 18.18   |
| 22 | 2.2.19 绪论         | 19.19   |
| 22 | 2.2.20 绪论         | 20.20   |
| 22 | 2.2.21 绪论         | 21.21   |
| 22 | 2.2.22 绪论         | 22.22   |
| 22 | 2.2.23 绪论         | 23.23   |
| 22 | 2.2.24 绪论         | 24.24   |
| 22 | 2.2.25 绪论         | 25.25   |
| 22 | 2.2.26 绪论         | 26.26   |
| 22 | 2.2.27 绪论         | 27.27   |
| 22 | 2.2.28 绪论         | 28.28   |
| 22 | 2.2.29 绪论         | 29.29   |
| 22 | 2.2.30 绪论         | 30.30   |
| 22 | 2.2.31 绪论         | 31.31   |
| 22 | 2.2.32 绪论         | 32.32   |
| 22 | 2.2.33 绪论         | 33.33   |
| 22 | 2.2.34 绪论         | 34.34   |
| 22 | 2.2.35 绪论         | 35.35   |
| 22 | 2.2.36 绪论         | 36.36   |
| 22 | 2.2.37 绪论         | 37.37   |
| 22 | 2.2.38 绪论         | 38.38   |
| 22 | 2.2.39 绪论         | 39.39   |
| 22 | 2.2.40 绪论         | 40.40   |
| 22 | 2.2.41 绪论         | 41.41   |
| 22 | 2.2.42 绪论         | 42.42   |
| 22 | 2.2.43 绪论         | 43.43   |
| 22 | 2.2.44 绪论         | 44.44   |
| 22 | 2.2.45 绪论         | 45.45   |
| 22 | 2.2.46 绪论         | 46.46   |
| 22 | 2.2.47 绪论         | 47.47   |
| 22 | 2.2.48 绪论         | 48.48   |
| 22 | 2.2.49 绪论         | 49.49   |
| 22 | 2.2.50 绪论         | 50.50   |
| 22 | 2.2.51 绪论         | 51.51   |
| 22 | 2.2.52 绪论         | 52.52   |
| 22 | 2.2.53 绪论         | 53.53   |
| 22 | 2.2.54 绪论         | 54.54   |
| 22 | 2.2.55 绪论         | 55.55   |
| 22 | 2.2.56 绪论         | 56.56   |
| 22 | 2.2.57 绪论         | 57.57   |
| 22 | 2.2.58 绪论         | 58.58   |
| 22 | 2.2.59 绪论         | 59.59   |
| 22 | 2.2.60 绪论         | 60.60   |
| 22 | 2.2.61 绪论         | 61.61   |
| 22 | 2.2.62 绪论         | 62.62   |
| 22 | 2.2.63 绪论         | 63.63   |
| 22 | 2.2.64 绪论         | 64.64   |
| 22 | 2.2.65 绪论         | 65.65   |
| 22 | 2.2.66 绪论         | 66.66   |
| 22 | 2.2.67 绪论         | 67.67   |
| 22 | 2.2.68 绪论         | 68.68   |
| 22 | 2.2.69 绪论         | 69.69   |
| 22 | 2.2.70 绪论         | 70.70   |
| 22 | 2.2.71 绪论         | 71.71   |
| 22 | 2.2.72 绪论         | 72.72   |
| 22 | 2.2.73 绪论         | 73.73   |
| 22 | 2.2.74 绪论         | 74.74   |
| 22 | 2.2.75 绪论         | 75.75   |
| 22 | 2.2.76 绪论         | 76.76   |
| 22 | 2.2.77 绪论         | 77.77   |
| 22 | 2.2.78 绪论         | 78.78   |
| 22 | 2.2.79 绪论         | 79.79   |
| 22 | 2.2.80 绪论         | 80.80   |
| 22 | 2.2.81 绪论         | 81.81   |
| 22 | 2.2.82 绪论         | 82.82   |
| 22 | 2.2.83 绪论         | 83.83   |
| 22 | 2.2.84 绪论         | 84.84   |
| 22 | 2.2.85 绪论         | 85.85   |
| 22 | 2.2.86 绪论         | 86.86   |
| 22 | 2.2.87 绪论         | 87.87   |
| 22 | 2.2.88 绪论         | 88.88   |
| 22 | 2.2.89 绪论         | 89.89   |
| 22 | 2.2.90 绪论         | 90.90   |
| 22 | 2.2.91 绪论         | 91.91   |
| 22 | 2.2.92 绪论         | 92.92   |
| 22 | 2.2.93 绪论         | 93.93   |
| 22 | 2.2.94 绪论         | 94.94   |
| 22 | 2.2.95 绪论         | 95.95   |
| 22 | 2.2.96 绪论         | 96.96   |
| 22 | 2.2.97 绪论         | 97.97   |
| 22 | 2.2.98 绪论         | 98.98   |
| 22 | 2.2.99 绪论         | 99.99   |
| 22 | 2.2.100 绪论        | 100.100 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| <b>第3章 有关定理和定律</b>              | 51  |
| 3.1 平均值修正定理                     | 51  |
| 3.2 提高初始值可靠性的定律                 | 55  |
| 3.3 初始值的近似真误差                   | 56  |
| 3.4 作为初始值均值的修正例子                | 59  |
| 3.5 单变量一维粗差检测问题                 | 61  |
| <b>第4章 虚拟观测墩技术</b>              | 63  |
| 4.1 虚拟观测墩和近距后视点                 | 64  |
| 4.2 数学仪器高的计算公式                  | 65  |
| 4.3 沉降量计算与精度估计                  | 68  |
| 4.4 规范讨论                        | 74  |
| <b>第5章 免固定设站点的全站仪三维变形监测方法</b>   | 78  |
| 5.1 概述                          | 78  |
| 5.2 在非统一坐标系中的位移量计算方法            | 83  |
| 5.3 在非统一坐标系中的位移量中误差估计           | 86  |
| 5.4 有关问题                        | 90  |
| 5.5 在统一坐标系中的相对位移量计算             | 94  |
| 5.6 在统一坐标系中的相对位移量中误差估计          | 97  |
| 5.7 在统一坐标系中的绝对位移量计算及误差估计        | 98  |
| 5.8 规范讨论                        | 101 |
| <b>第6章 软件开发过程概述</b>             | 104 |
| 6.1 系统分析高层图                     | 105 |
| 6.2 系统的主要功能需求                   | 105 |
| 6.3 数据库结构设计图                    | 107 |
| <b>第7章 软件的使用和变形监测分析</b>         | 108 |
| 7.1 主界面简介                       | 108 |
| 7.2 外业观测数据录入                    | 109 |
| 7.3 一键完成工作                      | 109 |
| 7.4 垂直变形分析                      | 111 |
| 7.5 平面变形分析                      | 111 |
| <b>第8章 工作效果和实际精度(数据挖掘)</b>      | 113 |
| 8.1 大亚湾中微子实验站进入隧道边坡地质变形监测成果精度统计 | 113 |
| 8.2 监测点的高程和沉降中误差统计              | 115 |
| 8.3 监测点的平面位移和点位中误差统计            | 117 |
| 8.4 仪器高中误差统计                    | 119 |
| 8.5 有益效果                        | 120 |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 第9章 精密沉降监测方案一般实施步骤 .....             | 128 |
| 9.1 实施方式1:地质边坡沉降监测 .....             | 128 |
| 9.2 实施方式2:隧道断面洞顶沉降监测 .....           | 129 |
| 第二篇 收敛计精密相对变形测量                      |     |
| 第0章 工作背景 .....                       | 133 |
| 0.1 高洞顶大型隧道围岩收敛变形监测各种方案考虑 .....      | 134 |
| 0.2 采用等效法收敛计地质围岩收敛变形监测的可行性和必要性 ..... | 135 |
| 第1章 等效法概论 .....                      | 137 |
| 1.1 操作方法概述 .....                     | 137 |
| 1.2 定长钢丝的选材、制作及温度改正系数测定 .....        | 139 |
| 1.3 特殊挂钩的制作和伸缩杆的规格选择 .....           | 143 |
| 1.4 误差来源与减弱措施 .....                  | 145 |
| 1.5 复位概念 .....                       | 146 |
| 1.6 有关收敛观测值的四种中误差 .....              | 147 |
| 1.7 关于位移误差的可区分性问题 .....              | 148 |
| 1.8 什么是收敛计 .....                     | 149 |
| 1.9 基康 GK-1610 型收敛计操作规程 .....        | 150 |
| 第2章 隧道断面的基本元素和等效法监测概述 .....          | 151 |
| 2.1 等效三角形 .....                      | 151 |
| 2.2 隧道围岩收敛变形监测 5 点法基本图 .....         | 152 |
| 2.3 偶基点概念 .....                      | 154 |
| 2.4 等效三角形初始边的观测 .....                | 156 |
| 2.5 快速了解等效法监测方法 .....                | 158 |
| 2.6 位移精度的提高 .....                    | 164 |
| 2.7 特征边的初始长度中误差与观测中误差的区别 .....       | 166 |
| 2.8 在监测点上建立环 .....                   | 169 |
| 第3章 隧道两拱脚和隧道两臂的收敛变形测量 .....          | 170 |
| 3.1 对于两拱脚位移测量的等效法 .....              | 170 |
| 3.2 近似计算方法 .....                     | 171 |
| 3.3 顾及水平位移的情况 .....                  | 172 |
| 3.4 考虑带垂直沉降的水平位移情况 .....             | 173 |
| 3.5 精度分析 .....                       | 174 |
| 第4章 洞顶收敛变形测量 .....                   | 180 |
| 4.1 洞顶的垂直沉降量计算 .....                 | 180 |
| 4.2 精度分析 .....                       | 183 |

|      |                         |     |
|------|-------------------------|-----|
| 4.3  | 三角形面积法求拱顶沉降的精度分析        | 185 |
| 4.4  | 误差三角形法求洞顶沉降             | 191 |
| 4.5  | 三角形面积法的优点               | 192 |
| 第5章  | 扩展的等效法收敛计变形监测方法         | 194 |
| 5.1  | 水平位移的扩展方法               | 195 |
| 5.2  | 垂直位移的扩展方法               | 198 |
| 5.3  | 带倾斜角 $\theta$ 的水平位移扩展方法 | 202 |
| 5.4  | 本章总结                    | 205 |
| 5.5  | 具体实施方式                  | 207 |
| 5.6  | 扩展的三角形面积法洞顶沉降计算         | 208 |
| 第6章  | 隧道内全站仪任意设站的围岩收敛变形监测     | 212 |
| 6.1  | 初始设想                    | 212 |
| 6.2  | 初始设想的细化和实施              | 213 |
| 第7章  | 规范讨论                    | 215 |
| 7.1  | 洞壁水平位移问题                | 215 |
| 7.2  | 洞顶沉降问题                  | 219 |
| 7.3  | 扩展方法的洞壁水平位移问题           | 222 |
| 7.4  | 扩展方法的洞顶沉降问题             | 223 |
| 7.5  | 设备使用问题                  | 224 |
| 第8章  | 软件设计要点和实际工作效果           | 226 |
| 8.1  | 等效法的软件开发                | 226 |
| 8.2  | 主要用户功能                  | 226 |
| 8.3  | 软件界面                    | 227 |
| 8.4  | 自动生成生产报告实例              | 227 |
| 8.5  | 隧道围岩收敛变形监测最终结果分析        | 230 |
| 参考文献 |                         | 232 |



## 第一篇

---

# 全站仪精密三维相对变形测量

第一章

全外群三乘非校变引圖量

## 第0章

## 绪论

大亚湾项目是中国科学院物理研究所的中微子实验站隧道开挖工程(以下简称本工程),其入口边坡需要进行地质变形监测,洞室内需要进行地质围岩收敛变形监测。这两项工作属于高精度地质变形监测,并且围岩收敛变形监测需要进行高空作业,工作一开始就是个难题,没有先例。由于经费问题,没有更多的选择余地,只有通过充分发挥创造力来完成任务。本篇主要论述高精度地质边坡变形监测问题,总结完成这项工作的主要过程。

本工程的山坡变形监测工作所采用的全站仪为GTS301,其一向观测中误差为 $2''$ ,测距精度为 $\pm(2+2\times 10^{-6})$  mm。

本工程有其特殊性,若4号镇墩沉降到一定程度将会拉断核电大型发电冷却水金属输水管道,由相关专业人员推算,4号镇墩下沉拉断输水管道的限值为10 mm,因此,其沉降限差应该高于国家规范的要求,特殊情况特殊对待。因此,本工程入口边坡4号镇墩下沉限差将采用10 mm。如此小的限差,对于精密地质变形监测工作将是一次挑战。同时,为了节约工程经费和有限资源,应该把现有仪器设备和资源的潜力发挥到淋漓尽致为止,使得既满足了工程要求,又节约了购买高精度仪器设备的工程费用,同时还节省了人力物力和财力。

为此,需要研究一种利用全站仪的高精度沉降监测方法,即全站仪精密沉降监测方法。

### 0.1 技术背景

对于地质、地物、建筑物等物体的沉降变形监测,目前主要有两种方法:第一种是水准测量,第二种是三角高程测量。

第一种方法精度高,但一般需要三个专业测量人员和两名配合人员,且外业工作量大,观测时间长。

第二种方法只需要一个专业测量人员和一名配合人员即可进行作业,且外业工作量少,观测时间短。该方法分两种情况:一是使用仪器三脚架的全站仪测量,二是使用观测墩的全站仪测量。后者与前者主要区别是,观测墩能够使得仪器高中误差从前者的 $\pm 2.0$  mm提高为 $\pm 0.3$  mm,甚至更高。但是这种传统的方法存在以下不足或升级空间:

(1)若需要建立观测墩但又无法建立观测墩,或者希望进行精密沉降监测而又因为使用仪器三脚架时的仪器高误差太大,从而造成只能满足较低等级的沉降监测精度;

(2)现有沉降量计算方法依赖的参数多,如基准点高程、监测点的高程或高差、初始仪器高、觇标高、垂线偏差改正、地球曲率改正和大气折光改正等,使得监测工作较为复杂;

(3)对于沉降的开始发生和继续应该有一个统一的判断法则;

(4)沉降量的精度和可靠性需要提高,以满足高精度的沉降监测预报工作。

## 0.2 需要解决的技术问题

本方法的目的是通过研究给出一种方法,使得三角高程测量能够满足大量精密沉降监测工作的精度要求,从而节约人力资源,并使得监测工作高效,监测方法简单快捷而且精度高、实施方便,减少依赖因素和观测量,以及提高沉降预告的可靠性。本方法将采用固定基准点沉降周期监测法(见1.3.2)作业获得沉降量。

(1)虚拟观测墩技术。建立虚拟观测墩的主要目的之一是要得到一个与观测墩等同精度的高精度仪器高。

(2)减少依赖因素,直接计算沉降量。新的无关性沉降量计算方法,使得与下列参数无关:基准点高程、监测点的高程或高差、初始仪器高、垂线偏差改正、地球曲率改正和大气折光改正。而只用垂直角、水平距和后视距直接计算出沉降量;当已知监测点只发生沉降而不发生平面位移时,则后次监测时只观测垂直角,不需要观测水平距,且在这种情况下,允许使用较大垂直角作业并允许水平距存在较大的误差,这都对监测工作有利。

(3)判断沉降发生或继续的法则。提出对沉降量的假设检验,并给出拒绝域和接受域临界值点的判断法则,以便发现沉降的开始或继续。应用本法则,可以发现较小的沉降量,以确保重点工程部位和建筑物的安全。

(4)提高沉降量的监测精度和沉降预报的可靠性。①将固定照准标志直接做在被监测目标上可以明显提高沉降量的精度,也不存在觇板安置误差。②在正式开始监测前,经过有限次观测获得的初始值,仍可能存在有较大的误差,因此,在监测初期,可利用尚未发生沉降的监测结果对初始值进行继续修正,使初始值更加逼近真值,使沉降预告更准确、更具可靠性。

(5)兼容问题。本方法同样兼顾适合于从事一般精度的沉降监测工作。除虚拟观测墩技术外,本方法也适合于使用观测墩、仪器三脚架的全站仪沉降监测工作。本方法不影响同时进行平面位移监测。

## 0.3 技术方案

在一定的设备和观测精度条件下,并采用了固定基准点沉降周期监测法,因此,本方法体现全站仪精密沉降监测的四个途径是:

(1)使用虚拟观测墩(或观测墩),获得高精度仪器高;

(2) 无关性沉降量计算方法,使得与多个包含误差的参数无关,只与垂直角和水平距有关;

(3) 提高被监测点的初始值精度,使其更加逼近真值,以提高沉降量的精度和可靠性;

(4) 沉降发生和继续的判断准则,以发现较小的沉降量,对保护可能会发生变形的重点工程部位效果显著。

除了上述实现高精度途径外,要想进一步提高沉降监测精度,就需要提高垂直角的观测精度,提高测距精度,或使用精度更高的全站仪。必要时还要限制垂直角大小,限制水平距长度,这要根据具体工程的需求而定。

沉降监测的主要监测平台为全站仪监测和精密水准监测。全站仪监测主要适用于高层建筑施工沉降监测,精密水准监测适用于大型工程沉降监测。精密水准监测的优点是精度高,但测量速度慢,且需要较多的人力物力。全站仪监测的优点是测量速度快,且可以同时测量多个点的沉降量,但精度相对较低。在实际应用中,应根据工程的具体情况选择合适的监测方法。例如,对于高层建筑施工沉降监测,可以采用全站仪监测;对于大型工程沉降监测,可以采用精密水准监测。此外,还可以采用多种监测方法相结合的方式,以提高监测的精度和可靠性。例如,可以采用全站仪监测和精密水准监测相结合的方式,对高层建筑施工沉降进行监测。这样可以充分发挥两种监测方法的优点,提高监测的精度和可靠性。在实际应用中,还需要根据工程的具体情况,对监测方法进行优化和改进,以满足工程的需求。

## 第1章

# 变形观测场的建立

变形监测工作的第一步是要在变形体范围区域建立起合乎观测要求的观测场。测量人员需要配合地质人员,通过野外勘察,划定变形范围,指定变形监测点位置,接着建立这些变形监测点,一般采用观测墩的形式。与此同时,也要选择好作为基准点的固定点的位置或范围。

由设站点和所有被照准的点组成变形观测场。变形观测场的观测系统由固定水平零方向、变形监测照准点、基准设站点观测墩组成。如果无法建立基准观测墩,还要建立虚拟观测墩(参见第一篇第4章 虚拟观测墩技术)。

观测场一般是对野外边坡或平地的地质变形进行观测所建立的观测场所。观测场建立的质量好坏直接影响到之后变形监测期间的工作质量。因此,应该围绕工程经费情况、易维护、生命期等因素建立起切实可行、满足一定工程需要的观测场。

观测场一开始只是一个变形观测实验场,因为各个工区的条件不同,地理位置不同,基础设施不同等原因,通过不断地试观测,及时发现各种误差源,加以减弱或消除,以便得到可用的初始值,逐渐演化为正式变形观测场,才能投入使用。因此,对于与整个工程施工期间密切相关的变形监测工作,变形观测场的建立要在正式动土施工的前期进行,到整个工程施工开始需要进行变形监测时,变形观测场必须建立就绪,不要等到施工爆破开挖开始后才去建立,那就晚了,此时边坡变形监测工作将不能很好地配合施工期间的地质变形监测工作。

在消除了各种误差源以后,根据选定的设备(现有的和购买的)和观测场基础(观测墩和照准墩或替代方法)估算可达到的精度(单位权中误差,或叫临近值,或叫标准差),这是现有资源条件下所能达到的临界能力,并报有关部门或负责人批准后正式实施。

建造这些变形监测点的设施(如观测墩)之前,一定要把变形监测点的点位足量选择,否则,如果将观测墩建立起来以后,又要添加补充一些变形监测点,就会浪费人力物力和财力。因为变形监测点一般位于山坡上,所以建造这些基础设施的设备和需要的资源,如电力线、电焊机、水、工具、建筑材料等都要临时搬运到山坡上才能施工建立这些观测墩。一旦建成后,就会撤掉这些设备和资源。但若随后又要增加变形监测点,还要重复上述工作,浪费很大。因此,建议当现场地质人员选定好变形监测点后,要让地质技术负责人到现场最后检查确认,此时需要补充点位与否就要定下来。然后,请施工人员一次建立这些观测墩,以免重复施工造成浪费。