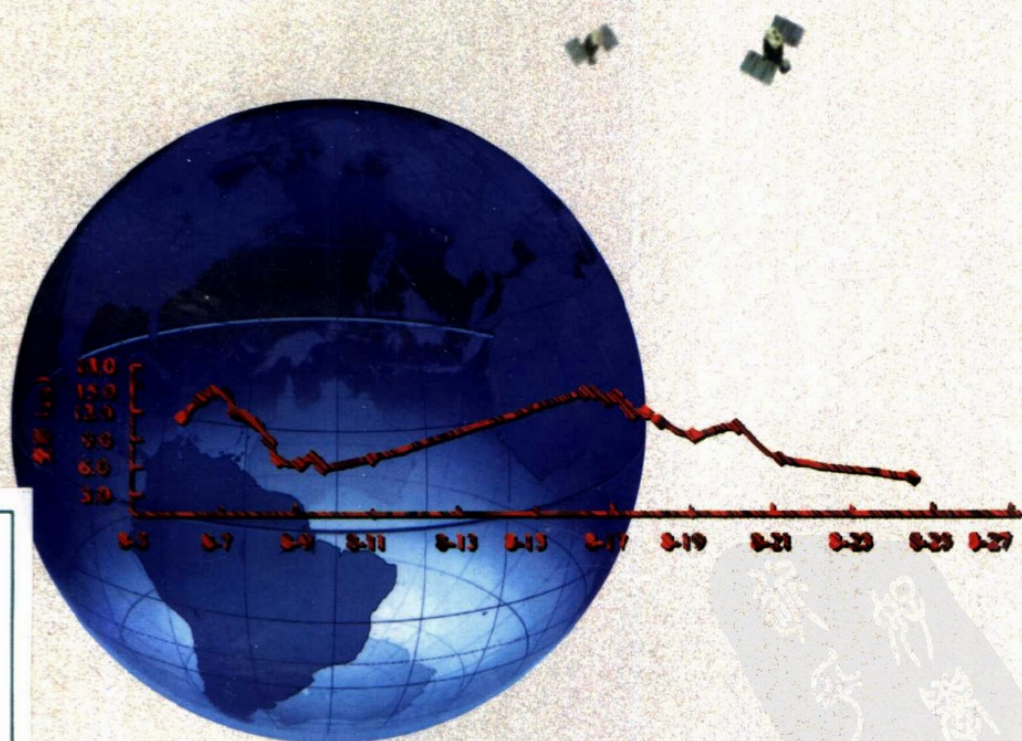


GPS定位技术在地面形变 测量中的应用

张华海 金继读 李景芝 余学祥 徐仁龙 编著



中国矿业大学出版社

责任编辑 陈玉和

封面设计 肖新生

ISBN 7-81070-274-2



9 787810 702744 >

ISBN 7-81070-274-2 / P.16

定价: 18.00 元

P642.26
Z-379

GPS 定位技术在地面形变 测量中的应用

张华海 金继读 李景芝 编著
余学祥 徐仁龙

中国矿业大学出版社

责任编辑 陈玉和

图书在版编目(CIP)数据

GPS 定位技术在地面形变测量中的应用/张华海著.
徐州:中国矿业大学出版社,2000.11

ISBN 7 - 81070 - 274 - 2

I. G… II. 张… III. 全球定位系统(GPS)-应用
-变形测量 IV. P228

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 57490 号

中国矿业大学出版社出版发行

(江苏徐州 邮政编码 221008)

出版人 解京选

中国矿业大学印刷厂印刷 新华书店经销

开本 850×1168 1/32 印张 5.5 字数 142 千字

2000 年 11 月第 1 版 2000 年 11 月第 1 次印刷

印数 1~1000 册 定价 18.00 元



前 言

全球定位系统(GPS)以全天候、高精度、自动化、高效益等显著特点,成功地应用于大地测量、工程测量、航空摄影测量、地壳运动监测、工程变形监测、地球动力学研究、运载工具导航等多种学科,给测绘领域带来一场深刻的技术革命。

目前,GPS 系统在硬件和软件方面不断得到完善。在短距离静态相对定位中,采用 GPS 卫星广播星历,GPS 定位精度达毫米级。如果采用精密星历和相应的数据处理软件,定位精度可达亚毫米级。长距离静态相对定位可达 10^{-8} 的相对精度。这就有可能将 GPS 定位技术应用于地面形变测量。自从 GPS 系统投入运行之后,国内外已有不少应用的实例。

根据多年的应用研究,本书首先论述地面形变测量的内容、方法以及精度要求,然后论述 GPS 相对定位的原理以及 GPS 定位技术用于地面形变测量的方法,着重论述 GPS 形变监测网的布设、数据处理方法与变形分析,最后介绍 GPS 定位技术在地面形变测量中的应用实例。

全书共分五章,由中国矿业大学张华海、李景芝,徐州师范大学金继读,淮南工业学院余学祥,霍煤集团地勘公司徐仁龙等共同完成。全书由张华海统稿。其中第一章、第四章、第五章由张华海执笔,第二章、第三章由金继读执笔,李景芝、余学祥参加了第四章第六节、第五章第六节和第八节的编写。徐仁龙参加了第三章第二节的编写并参加了实际应用的数据处理。李景芝最后进行了全书的校对。

鉴于我们的水平有限,书中难免存在不当之处,望广大读者批评指正。

编 著 者

2000 年 10 月 30 日

ABF 13/12 04

内 容 简 介

在简述地面形变测量的基本内容与各种方法的基础上,重点介绍 GPS 定位技术在地面形变测量中的应用,包括 GPS 形变监测网的设计、野外观测、数据处理、变形分析等内容。章节编排如下:

第一章,地面形变测量概论。简述地面形变测量的基本内容和方法。

第二章,GPS 精密定位原理。主要叙述 GPS 静态相对定位的基本原理。

第三章,GPS 定位技术用于地面形变测量的方法。主要论述 GPS 形变监测网的设计与观测方法。

第四章,数据处理与变形分析。GPS 观测数据处理的各种方法以及变形结果分析。

第五章,应用实例。

本书可作为大专院校工程测量专业课程的参考教材,也可供各类形变测量科技人员参考使用。

目 录

前言

第一章 地面形变测量概论	1
§ 1.1 地面形变引起的破坏及变形观测的任务	1
一、地面形变引起的破坏	
二、变形观测的任务	
§ 1.2 地面形变测量方法简介	4
一、常规大地测量方法	
二、液体静力水准等物理方法	
三、近景摄影测量方法	
四、应用 GPS 技术进行地面形变测量	
§ 1.3 地面形变测量的精度要求与频率	8
一、地面形变测量的精度要求	
二、变形观测频率的确定	
§ 1.4 地面形变测量变形分析指标.....	10
一、移动指标	
二、变形指标	
§ 1.5 变形观测数据处理的基准选择.....	12
一、常规测量经典平差中的基准选择	
二、变形观测数据处理的基准选择	
第二章 GPS 相对定位原理	16
§ 2.1 概述.....	16
一、GPS 卫星的导航电文	

二、GPS 卫星的测距信号	
三、绝对定位与相对定位	
四、动态定位与静态定位	
五、GPS 绝对定位的基本原理	
§ 2.2 伪距测量	23
一、伪距测量原理	
二、伪距定位观测方程	
§ 2.3 载波相位测量	26
一、载波相位测量原理	
二、载波相位测量的观测方程	
三、整周未知数 N_0 的确定	
§ 2.4 GPS 绝对定位	32
一、伪距观测方程的线性化	
二、伪距法绝对定位的解算	
三、绝对定位精度的评价	
§ 2.5 GPS 相对定位	37
一、载波相位观测值的线性组合	
二、观测方程的线性化及平差模型	
三、精度评定	
§ 2.6 差分 GPS 定位技术	45
一、单站 GPS 的差分(SRDGPS)	
二、局部区域 GPS 差分系统(LADGPS)	
三、广域差分 GPS 系统(WADGPS)	
第三章 GPS 定位技术用于地面形变测量的方法	51
§ 3.1 GPS 测量的误差来源及其影响	51
一、与卫星有关的误差	
二、与信号传播有关的误差	

三、与接收机有关的误差	
§ 3.2 GPS 形变监测网的技术设计	55
一、GPS 形变监测网技术设计的依据	
二、GPS 形变监测网的精度与密度	
三、GPS 形变监测网的基准设计	
四、GPS 形变监测网形设计	
五、技术设计说明书的编写	
§ 3.3 GPS 形变监测网的外业观测	62
一、外业准备	
二、实地选点与埋设标石	
三、外业观测	
§ 3.4 观测数据的预处理及质量检核.....	65
一、观测数据的预处理	
二、观测成果的质量检核	
三、外业返工	
 第四章 数据处理与变形分析	 68
§ 4.1 概述.....	68
一、数据传输与数据预处理	
二、基线向量的解算及网平差	
§ 4.2 GPS 定位成果的表达方法	76
一、在 WGS-84 坐标系中点位的表示方法	
二、在地平坐标系中的表示方法	
三、在国家大地坐标系或地方独立坐标系中的表示方法	
四、用高斯平面坐标表示点的平面位置	
§ 4.3 GPS 定位成果的坐标转换	80
一、同一大地坐标系内三维直角坐标(XYZ)与大地 坐标(BLH)之间的转换	

二、地心空间直角坐标系(XYZ)与站心地平 直角坐标系(xyz)之间的关系	
三、将大地坐标(BL)变换为高斯平面坐标(xy)	
四、不同空间直角坐标系之间的转换	
五、不同大地坐标系的换算	
六、GPS 时间系统及其换算	
§ 4.4 GPS 形变监测网的平差模型与抗差估计 在平差中的应用.....	86
一、概述	
二、GPS 监测网的静态平差	
三、抗差估计模型	
四、变形分析基准的统一	
五、坐标转换参数与坐标改正数一起解算的平差模型	
§ 4.5 GPS 基线向量网在国家坐标系或地方 独立坐标系中的约束平差.....	95
一、GPS 基线向量网三维约束平差	
二、二维约束平差	
三、GPS 基线向量网与地面网联合平差	
§ 4.6 GPS 形变监测网动态数据处理	102
一、标准卡尔曼滤波模型	
二、GPS 监测网形变分析	
三、GPS 监测网数据处理抗差卡尔曼滤波模型	
§ 4.7 GPS 高程	113
一、解析内插法	
二、曲面拟合法	
三、多项式曲面拟合精度评定	
四、提高 GPS 水准精度的措施	
§ 4.8 GPS 监测网变形分析	121

- 一、观测资料的整理与变形值的计算
- 二、对变形观测资料的分析
- 三、监测网点位稳定性分析
- 四、回归分析方法在变形观测中的应用
- 五、模糊聚类分析在变形观测中的应用

第五章 应用实例..... 129

§ 5.1 GPS 定位技术在露天矿边坡变形监测中的应用 129

- 一、边坡变形测量的精度要求
- 二、边坡变形监测网的布设及施测
- 三、数据处理

§ 5.2 GPS 定位技术在矿区或城市地面沉降中的应用 133

- 一、应用例一
- 二、应用例二

§ 5.3 GPS 定位技术在大坝变形监测中的应用 140

- 一、基准控制点与变形监测点的布设
- 二、GPS 自动化监测系统的构成
- 三、系统运行与结果分析
- 四、实测精度
- 五、关于坐标转换问题

§ 5.4 GPS 定位技术在滑坡监测中的应用 143

- 一、GPS 形变监测网的布设
- 二、作业实验
- 三、GPS 监测网基准点稳定性分析
- 四、GPS 监测网滑坡区监测点的水平位移
- 五、GPS 监测网点的垂直位移

六、GPS 定位技术用于滑坡监测经验总结	
§ 5.5 GPS 定位技术用于高层建筑动态变形监测	147
一、GPS 定位技术用于高层建筑物位移测试原理	
二、用 GPS 技术测量卡尔加里高塔的振动	
三、用 GPS 定位技术测量深圳地王大厦在强 台风下的位移	
§ 5.6 GPS 监测网动态数据处理算例	150
一、模拟数据	
二、标准卡尔曼滤波模型	
三、抗差卡尔曼滤波模型	
四、总结	
§ 5.7 GPS 定位技术用于地壳形变监测的几个 实例	155
一、龙门山 GPS 地壳形变监测网	
二、首都圈 GPS 地壳形变监测网	
三、喜马拉雅山局部地区板块与地壳形变监测网	
§ 5.8 GPS(监测)网数据处理软件包简介	160
一、GPS(监测)网数据处理软件包系统流程	
二、GPS(监测)网数据处理软件	
三、常规平面(监测)网数据处理软件	
四、GPS 网平面坐标系统转换软件	
五、水准(监测)网数据处理软件	
六、GPS 高程系统转换软件	
参考文献	166

第一章 地面形变测量概论

地面形变是指一定范围内地面形态的变化。地面形态的变化包括地面上升、下降、水平移动、倾斜、裂缝、滑坡等现象。

随着时代的进步,人类生产、生活领域不断扩大。高大建筑物和工业设施遍布城乡。基于生产和生活的需要,大量抽取地下水,不断进行地下矿物的开采等等因素的影响,造成城市和矿区地面下沉,地面建筑物倾斜、变形,加上地震、山体滑坡、露天矿边坡变形等地面形变,严重威胁着人类的生产和生存。迫切需要监视地表、地面建筑和各种工程设施以及生存空间的点位移动状况,进行地面形变测量。

本章论述地面形变测量的一般概念:变形测量的任务、基本方法、精度要求、变形分析的衡量指标以及参考基准等问题。

§ 1.1 地面形变引起的破坏及变形观测的任务

一、地面形变引起的破坏

地壳板块运动引起大面积地区地质构造发生变化,使地层产生变形和破坏,使区域地表产生垂直(升高或沉降)形变、地表倾斜、断裂,引起滑坡、地震,对地面建筑物和各种设施造成不同程度的破坏。位于运动板块边缘的建筑物将造成较大程度的破坏。由地壳构造等引起的地震力达到5级以上,就可以使建筑物产生裂缝或倒塌。山体滑坡造成村庄的埋没、河流堵塞改道。

过量抽取地下水(如居民用水,工业用水,农业灌溉等)影响土

层结构,会产生地表沉降,引起建筑物破坏。70 年代山东泰安塌陷、秦皇岛柳江盆地塌陷是比较典型的例子。近年来,江苏南部的苏州、无锡、常州等地市,由于地下水的过量抽取,加上地面建筑物的增加,使城市地表下沉严重,一些地方出现塌陷漏斗。

自然条件的变化也会引起地表的变形。如大气温度、降雨量的变化使地表土层收缩或膨胀,地基变形。冰冻和融化可使地表膨胀或下沉,破坏道路路面或使建筑物遭受破坏。

地下矿物的开采引起地表移动和破坏。采空区面积扩大到一定范围后,岩层移动发展到地表,使地表产生移动和变形,出现裂缝或塌陷。在沉陷区形成下沉盆地,引起地表的垂直、水平位移,坡度发生变化。对位于影响范围内的建筑物、道路、河流等带来不同程度的影响。平原地区因地面下沉使盆地积水,造成大量耕地被水淹没。在下沉盆地边缘地区,地表受到压缩或拉伸,产生裂缝。位于其上的建筑物会发生倾斜,产生水平变形,出现裂缝并遭到不同程度的破坏。

露天矿的边坡变形及其造成的危害不可忽视。随着露天矿物的开采深度的增加,露天矿的边坡受到排土的压力及自身重力的影响会产生变形甚至滑坡,给矿物的生产和安全造成危害。

二、变形观测的任务

由于种种原因造成地表移动、变形,影响建筑物的安全,影响人类生存空间的安全,造成空间环境的破坏。人们迫切需要监视地表移动变形,测量建筑物和各种工程设施以及空间环境的点位移动状况,进行变形观测。

变形观测的任务是首先在地表变形区域布设若干变形监测点(或曰观测点),然后定期进行观测,采集变形观测点的各期变形信息,对观测数据进行处理,计算出变形观测点的变形量及其变化速率,进行变形分析,找出变形规律,并作出预测,对其变形引起的破坏提出防范措施。

随着变形观测的类型以及观测目的的不同,变形观测的内容也不同。由前述可知,变形观测的内容大致有以下几个方面。

1. 大地形变测量与地震预报

大地形变测量是在大范围内通过形变测量了解地壳的动态。观测的内容是地面的垂直形变(即地面的上升或下沉)、水平形变(即地面点间的距离变化、水平位移或扭转),得出地壳的移动大小、速度和方向等规律,为采取安全措施提供有关数据,进行地震的预报。

2. 地表沉降观测

地下矿物的开采、过量抽取地下水引起的地表沉降属于此类观测的内容。通过对沉降地区(矿物开采地区、城市范围)的变形监测点的高程及水平位置的观测,计算出变形点的点位变化量及其变化速率,进行变形分析。对下沉盆地地表的影响范围内的建筑物进行变形观测,提供安全措施。

在城市地下,在交通路线下面,在河湖下面采矿(简称“三下采矿”)对地表沉降观测提出了更高的要求。

3. 露天矿边坡变形观测

露天矿边坡移动变形以及山体滑坡观测属于此类观测。在露天矿边坡范围或山体滑坡范围布设若干变形监测点,通过测量变形监测点的高程变化、水平位值变化,计算出边坡移动速度和方向,预测其变化规律,提出安全防范措施。

4. 工程建筑及其各种设施的变形观测

此类变形观测一般在较小范围内对各种工程建筑如工业与民用建筑物、土工或钢筋混凝土建筑(如大坝等)的变形测量。观测的主要内容仍然是变形观测点的高程变化、水平位移。计算建筑物的倾斜、弯曲、变形,大坝的稳定性和坝体的弯曲变形。对高大建筑物除进行静态的变形观测外,对受大风、气温、水位等影响的动态变形观测也是非常重要的。

综上所述,各类变形观测都是在变形区域布设若干变形监测点,用一定的方法测量出变形点的位置移动数据,即点的高程和水平位置随时间的变化,以期获得变形规律,用于解决经济社会生活中的问题。

§ 1.2 地面形变测量方法简介

地面形变测量的基本方法有传统的常规大地测量方法;利用液体静力水准、激光准直、应变计等物理仪器的物理方法;近景摄影方法;GPS 测量方法等。目前,形变测量正朝着自动化和半自动化方向发展。

一、常规大地测量方法

常规大地测量方法包括几何水准测量、三角测量、三边测量、导线测量、基准线法等测量方法。由于所使用的观测仪器如精密水准仪、精密经纬仪、测距仪以及全站仪等比较普及,常规测量方法仍然是目前较多采用的方法。

常规大地测量方法首先要在地面形变区域布设变形监测网。变形监测网由变形监测控制点(基准点)和观测点组成。有的变形监测网的布设由控制点、工作基点、观测点组成,工作基点实际上是控制过渡点。根据不同的测量方法,监测网点构成不同的网形。如应用三角测量法时,监测点互相通视构成三角网;应用导线测量法时,监测点构成相邻点通视的导线网。用多种测量方法时,监测网布设成综合监测网。图 1-1 表示某矿区地面形变综合监测网。图中采动影响区即为地面沉降区。(对于水库大坝的形变监测网其布设形式与图 1-1 类似)。图中,“ $\triangle$ ”和“ $\square$ ”分别为变形监测控制点的三角点和导线点。 $ABCD$ 构成大地四边形,用精密测距仪测量了 AD 、 BC 水平边长,用四等三角测量了水平角。“ $\bigcirc$ ”为变形观测点,与导线点和三角点一起构成 5 秒级导线网。监测网的高程用四

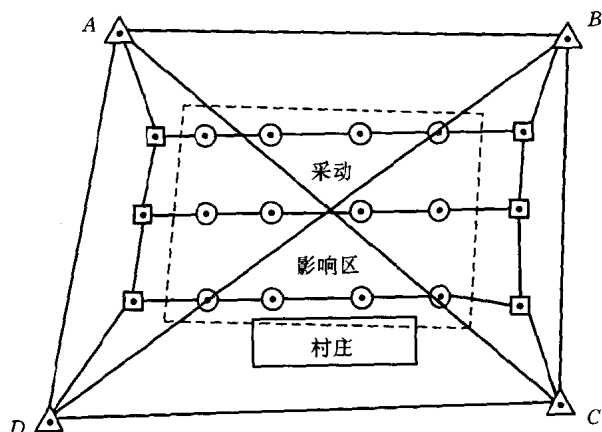


图 1-1 某矿区地面形变监测网

等水准测量方法测定。

变形监测网布设好后,进行定期观测。每期观测之后进行经典自由网或附合网平差。以第一期平差结果作为基准数据,以后各期平差结果与第一期结果进行比较,各期之间也进行比较,求得高程和平面坐标的变化量及其变化速率,进行变形分析。

常规大地测量方法的优点是能充分发挥现有仪器设备的作用;能够满足变形观测的精度要求。缺点是要求点间通视,工作量大,观测时间较长,只能定期进行不连续的观测。

二、液体静力水准等物理方法

液体静力水准测量是利用特制的液体静力水准仪测定观测点高程的方法。液体静力水准仪是利用两个相联接的容器中装有同类均质液体、液体表面处于同一水平面上的原理制成的。

影响确定液面位置精度的误差主要有仪器误差和外界条件变化引起的测量误差。仪器误差主要有仪器安置、倾斜、读数及其温度变化对仪器观测部件的影响等。外界条件的影响主要有温度、气