

余学祥 徐绍铨 吕伟才 著

GPS

变形监测数据处理自动化

——似单差法的理论与方法

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

P228.4
3

GPS 变形监测数据处理自动化

——似单差法的理论与方法

余学祥 徐绍铨 吕伟才 著

中国矿业大学出版社

内容简介

本书重点研究了获取 GPS 变形监测信息的似单差方法(SSDM 方法)、周期性重复观测方法中的数据处理与软件开发等方面的内容。在分析 GPS 变形监测信息获取方法现状的基础上,根据高精度 GPS 变形监测的特点,系统地论述了从监测时段的观测值中单历元直接解算监测点变形信息的似单差方法(SSDM 方法)。本书从 SSDM 方法的数学模型的建立、主要误差来源的分析和采取的相应克服措施、SSDM 方法的实施三方面,对 SSDM 方法进行了详细的讨论。对于周期性重复监测网,本书主要从监测网的质量评价、基准点位移的判别和观测粗差的剔除、静态和动态抗差数据处理方法等方面来保证变形分析成果的可靠性和正确性。根据本书中的理论开发研制了 GPS(监测)网数据处理软件包 GMDPS,对其六个主要软件模块的功能特点进行了较详细的介绍。

本书可以作为从事 GPS 变形监测的工程技术人员、高等院校教师和研究生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

GPS 变形监测数据处理自动化/余学祥,徐绍铨,吕伟才著. —徐州:中国矿业大学出版社,2004.10

ISBN 7 - 81070 - 976 - 3

I. G… II. ①余…②徐…③吕… III. 全球定位系统(GPS)—变形观测—数据处理—自动化 IV. P228.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 102443 号

书 名 GPS 变形监测数据处理自动化

著 者 余学祥 徐绍铨 吕伟才

责任编辑 朱明华

责任校对 周俊平

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

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

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 中国矿业大学出版社印刷厂

经 销 新华书店

开 本 787×960 1/16 **印张** 11.25 **字数** 211 千字

版次印次 2004 年 10 月第 1 版 2004 年 10 月第 1 次印刷

定 价 25.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

在我们生活的地球上,存在着大量的自然和人为的变形体,这些在平时看来相对稳定的建构物,往往隐含着潜在的危险,在一定条件下会导致灾害性事件的发生,给人民的生命财产造成不可估量的损失。为了安全需要,必须对这些局部变形进行监测。这是本书的主要研究对象。

自 1978 年 2 月 22 日第一颗 GPS 试验卫星发射成功,目前 GPS 技术在变形监测领域中得到了广泛的应用,如监测大坝、桥梁、高层建筑等的变形。与常规的测量方法相比,GPS 技术不仅可以满足变形监测工作的精度要求,而且有助于监测工作的自动化与实时化。

本书内容共 7 章,第 1 章重点介绍了 GPS 技术在变形监测领域中的应用及数据处理的方法和现状,提出单历元直接解算变形信息的基本思路及本文要研究的主要内容。第 2 章至第 4 章为本书的主要部分之一,重点讨论单历元直接解算变形信息的似单差方法。第 2 章根据 GPS 定位的基本原理和高精度 GPS 变形监测的特点,建立了单历元直接解算变形信息的似单差模型及其相应的算法,定性分析了模型的主要误差来源,利用实测数据对模型的正确性进行了初步检验。第 3 章主要讨论削弱各种误差的方法和措施,重点分析了大气延迟误差、接收机钟差和天线相位中心偏差和模型近似替代误差的改正方法,并利用计算结果对改正方法的正确性进行验证。第 4 章主要讨论采用似单差法进行变形监测的监测方案,如对起算数据的精度要求、对变形量的要求、对同步观测卫星数的要求、对采样率的要求等,为似单差法用于变形监测提供参考标准。第 5 章至第 6 章主要介绍周期性重复监测网的数据处理问题。第 5 章主要介绍周期性重复监测网的质量评价,采用静态数据处理方法时观测粗差和基准点位移的抗差估计方法。第 6 章主要介绍 Kalman 滤波理论在变形监测数据处理中的应用,建立了周期性重复监测网的标准 Kalman 滤波模型,为克服观测粗差对滤波成果的影响建立了抗差 Kalman 滤波模型。对于采用似单差法解算的监测点的变形量序列,建立了 Kalman 滤波平滑算法,改善了变形信息序列的可靠性和稳定性。第 7 章介绍了 GPS(监测)网数据处理软件包(GMDPS)的功能特点,重点介绍了

其中的两个核心软件：“GPS 单历元直接解算变形信息软件”和“GPS(监测)网数据处理软件”。该软件包既吸收了较为常用的数据处理方法,又具有本书中提出的新算法、新模型等特点;既可应用于生产,又可用于科研。

本书由安徽理工大学余学祥、武汉大学徐绍铨、安徽理工大学吕伟才共同完成。第 2 章、第 3 章、第 6 章的 6.3 节和 6.4 节、第 7 章由余学祥执笔,第 1 章和第 4 章由徐绍铨执笔,第 5 章和第 6 章的 6.1 节、6.2 节由吕伟才执笔。

本书的出版得到国土资源部“直接提取变形量的高精度快速 GPS 解算软件的研制”(编号:20001020304)和“GPS(监测)网综合数据处理软件包的研制”(编号:国地防灾[2003]031709)科研项目的资助。

在本书的出版过程中,得到中国矿业大学张华海教授的极大帮助,在此深表感谢!

由于作者水平有限,书中错误和不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

著 者

2004 年 5 月

目 录

1 引论	1
1.1 全球定位系统(GPS)应用现状	1
1.1.1 全球定位系统(GPS)简介	1
1.1.2 全球定位系统(GPS)应用	3
1.1.3 全球定位系统(GPS)在变形监测中的应用	8
1.2 GPS 变形监测信息获取方法的现状	10
1.2.1 变形监测模式.....	10
1.2.2 GPS 数据处理方法简介	12
1.2.3 变形监测数据处理方法简介.....	16
1.3 本书研究的主要内容.....	18
1.3.1 直接解算变形信息的似单差方法研究.....	19
1.3.2 周期性重复监测网数据处理方法研究.....	19
1.3.3 GMDPS 软件包的研制	20
2 单历元解算 GPS 变形监测信息的似单差方法	21
2.1 GPS 定位的基本观测方程	21
2.1.1 伪距测量的基本观测方程.....	21
2.1.2 载波相位测量的基本观测方程.....	23
2.2 载波相位双差观测方程.....	25
2.2.1 载波相位单差观测方程.....	25
2.2.2 载波相位双差观测方程.....	26
2.2.3 载波相位双差观测方程的线性化.....	27
2.3 GPS 变形监测信息单历元解算的似单差模型	28
2.3.1 高精度 GPS 变形监测的特点	28
2.3.2 GPS 变形监测信息单历元解算的似单差模型	29
2.4 GPS 变形监测信息单历元解算的似单差模型的算法	33

2.4.1	双差模糊度的约束解	33
2.4.2	变形信息的解算	34
2.5	测试算例与基本结论	36
2.5.1	简单试验数据	36
2.5.2	基本结论	36
2.5.3	似单差法的特点	39
3	误差改正模型及质量评价	40
3.1	误差改正模型	40
3.1.1	与卫星有关的误差	41
3.1.2	与传播路径有关的误差	44
3.1.3	与接收设备有关的误差	56
3.1.4	其他误差	62
3.2	模型误差的分析与改善	63
3.3	单历元解算变形信息的质量评价	66
3.4	小结	67
4	监测方案的研究	68
4.1	对起算数据的精度要求	68
4.1.1	监测工程本身的要求	68
4.1.2	模型本身的要求	70
4.2	对变形量的要求	74
4.3	采样率的选择	75
4.4	对同步观测卫星数的探讨	79
4.5	小结	81
5	GPS 监测网质量评价与抗差估计	82
5.1	外业观测成果检核	83
5.1.1	同步边观测数据的检核	83
5.1.2	重复边观测的检核	83
5.1.3	同步环闭合差的检核	84
5.1.4	异步环闭合差的检核	85
5.2	GPS 网空间无约束平差的质量评价	86
5.2.1	GPS 网空间无约束平差模型	88

5.2.2	GPS 网精确度评价	89
5.2.3	GPS 网可靠性评价	90
5.2.4	GPS 网置信度评价	94
5.3	抗差估计基本原理	95
5.3.1	抗差估计的必要性	95
5.3.2	抗差估计的特点	96
5.3.3	抗差估计基本原理	97
5.4	基于标准化残差的相关观测抗差估计模型	99
5.4.1	观测误差对参数 LS 估计的影响	99
5.4.2	相关观测抗差估计模型	101
5.4.3	基于抗差估计的 GPS 网精确度计算公式	102
5.5	GPS 自由网平差成果的转换	104
5.5.1	经典自由网平差成果转换为秩亏平差成果	104
5.5.2	经典自由网平差成果转换为拟稳平差成果	106
5.6	GPS 监测网基准点位移及观测粗差的抗差估计方法	108
5.6.1	基准点位移和观测粗差联合影响的误差方程	109
5.6.2	基准点位移和观测粗差联合影响的抗差估计模型	110
5.6.3	算例与分析	111
5.7	小结	114
6	GPS 监测网动态数据处理方法	117
6.1	GPS 监测网动态数据处理 Kalman 滤波模型	117
6.1.1	Kalman 滤波的状态方程和观测方程	117
6.1.2	标准 Kalman 滤波模型	120
6.1.3	GPS 监测网形变分析	123
6.2	GPS 监测网动态数据处理抗差 Kalman 滤波模型	124
6.2.1	观测粗差对状态向量的影响	124
6.2.2	抗差 Kalman 滤波模型	125
6.2.3	算例与分析	127
6.3	单历元变形信息序列的 Kalman 滤波算法	129
6.3.1	单历元变形信息序列的 Kalman 滤波方程	130
6.3.2	单历元变形信息序列的 Kalman 滤波算法	131
6.3.3	算例与分析	133
6.4	小结	137

7 GMDPS 软件包的研制	139
7.1 GPS 单历元直接解算变形信息软件简介	139
7.1.1 GPS 单历元直接解算变形信息软件的主要功能 与特点	139
7.1.2 GPS 单历元直接解算变形信息软件系统流程	142
7.1.3 GPS 单历元直接解算变形信息软件运行基本过程	143
7.2 GPS(监测)网数据处理软件简介	147
7.2.1 GPS(监测)网数据处理软件的主要功能与特点	147
7.2.2 GPS(监测)网数据处理主要功能软件简介	149
7.3 相关软件简介	154
7.3.1 常规平面(监测)网数据处理软件简介	154
7.3.2 水准(监测)网数据处理软件简介	155
7.3.3 GPS 网平面坐标系统转换软件简介	157
7.3.4 GPS 网高程系统转换软件简介	158
7.4 小结	160
 结束语	162
 参考文献	165

1 引 论

1.1 全球定位系统(GPS)应用现状

1.1.1 全球定位系统(GPS)简介

1.1.1.1 空间定位技术的发展

20 世纪上半叶,大地测量处于低潮,它的复苏始于 20 世纪 50 年代。使大地测量走出低谷的最初冲击,来自第二次世界大战期间及其以后电子学的发展。50 年代末,人造卫星的出现,为大地测量带来了崭新的面貌。卫星大地测量方法刚一出现,就显示出了非凡的能力。首先是由短期的观测数据求定了精确的地球扁率,接着推证了南北半球的不对称性。70 年代,卫星多普勒技术得到了广泛的应用,使得大地测量定位发生了巨大的变革;海洋卫星测高(SA)技术,为大地测量应用于海洋学研究开辟了道路;激光对卫星测距(SLR)技术,不仅可用于高精度定位,还可以测定地球自转参数和板块运动,推动了地球动力学的发展。进入 80 年代,全球定位系统(GPS)得到了全面发展,由于它具有用途广泛、定位精度高、观测简便及经济效益显著等特点,使大地测量发生了一场深刻的技术革命。以上这些卫星测量技术,形成了大地测量学的一个新的分支学科——卫星大地测量学。

20 世纪 60 年代出现的甚长基线干涉测量(VLBI)技术,同 SLR 技术一样,它可以测定地球自转参数和板块运动,但更为重要的是,它能提供高精度地球监测网与协议天球参考框架的联系。

卫星大地测量和 VLBI 是应用于大地测量的空间定位技术,因此人们又提出了空间大地测量学(Space Geodesy)这一术语,其内容是卫星大地测量学与 VLBI 的结合,其主体是卫星大地测量学。

大地测量领域中出现的空间大地测量技术,使经典大地测量学进入了空间大地测量学的新时代。空间大地测量技术,无论从测量精度上和作用范围上,都大大超过了经典大地测量技术。空间大地测量学的兴起,丰富了大地测量学的内容,并展示了新的发展方向。它不仅为测量学科的理论、技术和方法注入了新的内容,而且拓宽了大地测量的用途。它密切了与地球物理学、地质学和天文学的联系,并相互渗透,形成了地球外部与深部、区域与全球、时间与空间相结合的新

科学。

作为空间定位技术主体的卫星定位和跟踪技术,可分为两大类:一是利用无线电波,二是利用激光。卫星无线电波定位和跟踪系统,可分为单向和双向两类。其中,单向系统又分为两类:一是发射机在卫星上的空基系统,二是发射机在地面的地基系统。前者如美国的海军导航卫星系统(Navy Navigation Satellite System——NNSS)和全球定位系统(GPS),前苏联的全球导航卫星系统(GLObal Orbiting Navigation Satellite System——GLONASS)以及在建的欧盟 Galileo 卫星导航定位系统等。Galileo 系统的主要特点是多载频、多服务、多用户,它除具有与 GPS 系统相同的导航定位功能外,还具有全球搜索救援的功能。全球定位系统从其开始研制到整个系统的建成,历时 20 年,目前已在军事和民用部门得到了极为广泛的应用。

1.1.1.2 全球定位系统(GPS)简介

1973 年 12 月,美国国防部批准陆海空三军联合研制一种新的军用卫星导航系统——NAVSTAR GPS,其英文全称为 NAVigation by Satellite Timing And Ranging (NAVSTAR) Global Positioning System(GPS),我们称为 GPS 卫星全球定位系统,简称 GPS 系统。它是一种被动式卫星导航定位系统。GPS 系统是一种以空间卫星为基础的无线电导航与定位系统,能为世界上任何地方,包括空中、陆地、海洋甚至于外层空间的用户,全天候、全时间、连续地提供精确的三维位置、三维速度及时间信息,具有实时性的导航、定位和授时功能。

1978 年 2 月 22 日,第一颗 GPS 实验卫星的发射成功标志着工程研制阶段的开始;1989 年 2 月 14 日,第一颗 GPS 工作卫星的发射成功,宣告 GPS 系统进入了生产作业阶段;1993 年 12 月 8 日,美国国防部长阿斯平正式通知美国运输部:“GPS 卫星星座已达到了初始工作能力(IOC),我们所完成的整个 GPS 星座部署是这个长达 20 年计划中的一个重要的和长期等待的里程碑。”,从而正式宣布 GPS 整个系统已正式建成并开通使用。

GPS 系统由 GPS 卫星星座(空间部分)、地面监控系统(地面控制部分)和 GPS 信号接收机(用户设备部分)等三部分组成。

GPS 卫星星座由 21 颗工作卫星和 3 颗在轨备用卫星组成,这 24 颗卫星均匀分布在 6 个轨道平面上。卫星轨道平面相对地球赤道平面的倾角约为 55° ,各轨道平面升交点的赤经相差 60° ,在相邻轨道上,卫星的升交距角相差 30° 。轨道平均高度约为 20 200 km,卫星运行周期为 11 小时 58 分。这一分布方式,保证了地面上任何时间、任何地点至少可同时观测到 4 颗卫星。GPS 卫星的作用是接收和播发由地面监控系统提供的卫星星历。

地面监控系统由主控站、注入站和监测站三部分组成。它们主要负责编算

GPS 卫星星历并将其发射到 GPS 卫星上, 监测和控制 GPS 卫星的“健康”状态, 保持各颗卫星处于同一时间标准, 即处于 GPS 时间系统。

GPS 信号接收机的主要任务是接收 GPS 卫星发射的信号, 以获取必要的导航定位信息, 并经数据处理而完成导航定位工作。当 GPS 卫星在用户视界时, 接收机能捕获到按一定卫星高度截止角所选择的待测卫星, 并能跟踪这些卫星的运行; 对所接收到的 GPS 信号, 具有变换、放大和处理的功能, 以便测量出 GPS 信号从卫星到接收机天线的传播时间, 解译出 GPS 卫星所发射的导航电文, 实时地计算出测站的三维坐标位置, 甚至三维速度和时间。

GPS 卫星的核心是一个高质量的震荡器, 它产生两个相关的波段, 即 L 频段的 L_1 (1.575 4 GHz) 和 L_2 (1.227 6 GHz)。GPS 的信号是由相位调制技术加载在上述两个频段上发射的。由于 GPS 与美国的国防现代化发展密切相关, 为了保障美国的利益与安全, 限制非经美国特许的用户利用 GPS 定位的精度, 该系统除在设计阶段采取了许多保密措施外, 在系统运行中还采取了其他一些措施, 来限制用户进行 GPS 测量的精度。这些措施有: 对不同用户提供不同的服务方式 (PPS 服务和 SPS 服务); 实施 SA 政策; 加密精密测距码。2000 年 5 月 1 日, SA 政策被取消, 这使得一般用户的单点实时定位精度约为 30 m。

1998 年美国副总统戈尔提出了 GPS 现代化这一概念, 其实质是要加强 GPS 对美军现代化战争的支撑和保持全球民用导航领域中的领导地位。GPS 现代化包括军事和民用两部分。GPS 现代化的军事部分包括 4 项措施: 增加 GPS 卫星发射的信号强度, 以增强抗电子干扰能力; 增加具有更好的保密性和安全性的新的军用码 (M 码), 并与民用码分开; 军用接收设备比民用的有更好的保护装置, 特别是抗干扰能力和快速初始化能力; 创造新的技术, 以阻止或阻扰敌方使用 GPS。GPS 现代化的民用部分包括 3 项措施: 在一年一度的评估基础上, 决定是否将 SA 信号强度降为零 (已于 2000 年 5 月 1 日零点取消了 SA); 在 L_2 频道上增加第二民用码 (即 C/A 码), 这样有利于提高定位精度和进行电离层改正; 增加 L_5 民用频率, 这有利于提高民用实时定位的精度和导航的安全性。

1.1.2 全球定位系统(GPS)应用

由于 GPS 技术具有定位精度高、经济效益好、操作简便及布网自由度大等特点, 在国内外的军事、民用等部门得到了极为广泛的应用。

1.1.2.1 GPS 在精细农业中的应用

在现代农业生产中, 随着社会的进步人们对农业生产环境的能力要求不断提高, 农业生产正由传统的依赖性农业向现代的意志性农业转变。由于信息技术的快速发展, 农业生产过程中的许多复杂性问题, 如环境信息的采集、分析与传

递,生物效应反馈与环境控制等研究与实施,已进入可操作过程,实现农业生产过程数字化和可控制化成为可能。20 世纪 80 年代以来,以 RS、GIS 和 GPS 技术为支撑的精细农业技术研究付诸于实践,使农业生产数字化和可控制化进入一个崭新的阶段。

精细农业即国际上通用的“Precision Agriculture”或“Precision Farming”技术名词的中译,国内科技界尚有“精确农业”、“精细农业”和“精细农作”的不同译名。它是基于信息和知识的现代农业管理系统。精细农业是运用 RS、GIS 和 GPS 技术,对农业生产过程从宏观到微观、从空中到地面的实时定位检测,在时间和空间尺度获取农作物生长发育、病虫草害、水肥条件等众多信息,运用智能技术和优化模拟技术进行诊断和决策。以尽可能小的尺度水平制定出田间作业措施,并运用智能控制农业机械,最大限度地合理利用农业资源,优化组合、合理分配各种生产要素,以达到提高效益,减少环境污染和资源浪费的目的。

精细农业技术的早期研究与实践,在发达国家始于 20 世纪 80 年代初期。从事作物栽培、土壤肥力、作物病虫草害管理的农学家,在进行作物生长的模拟模型、栽培管理、测土配方施肥与植保专家系统应用研究与实践中,进一步揭示出农田内小区作物产量和生长环境条件的明显时空性差异,从而提出对作物栽培管理实施定位。在农业工程领域,自 20 世纪 70 年代中期,微电子技术的迅速实用化,推动了农业机械的机电一体化、监控技术的智能化,为精细农业技术体系的形成准备了条件。GPS 技术的民用化,为精细农业技术体系的广泛实践提供了必要的前提条件。近 20 年来,基于信息技术支持的作物科学、农艺学、土壤学、植保科学、资源环保科学和智能化农业装备与田间信息采集技术、系统优化决策支持技术等,在 GPS、GIS、RS 等空间信息科技支持下组装集成起来,形成和完善了一个新的精细农作技术体系。

精细农业的技术思想的核心,是获取农田小区作物产量和影响作物生长的环境因素(如土壤结构、地形、植物营养、含水量、病虫草害等)实际存在的空间和时间差异信息,分析影响小区产量差异的原因,采取技术上可行、经济上有效的调控措施,按需实施定位调控,即“处方农作”。

精细农业需要差分 GPS 定位系统(DGPS)、地理信息系统(GIS)、遥感技术(RS)、作物决策支持系统、田间信息采集系统、智能化农机系统为技术支撑。精细农业的真正实施,首先需要农业实现高度的现代化,这样许多操作才可以自动地完成,包括自动播种施肥、实时土壤分析、智能决策等,通过 GPS 技术进行土壤精确划分及导航定位是实现这一目标的基本。GPS 技术在精细农业中的作用主要有三点:其一,用于获取田间地块土壤信息采集点的位置坐标;其二,用于农业机械在田间作业时的导航定位;其三,用于田间工作的管理。

美国、日本、巴西和欧洲的一些国家,及我国的北京、上海、新疆等地区,已将 GPS 应用于精细农业中。

1.1.2.2 GPS 在气象学研究中的应用

GPS 在定位、导航和授时等领域中的应用,通常总是将大气的影响作为噪声予以改正和消除。20 世纪 90 年代起,随着 GPS 应用和测量精度的提高,这个噪声已成为探测可降水量的有用信号,由此形成了一门新兴的学科:GPS 气象学。地面 GPS 探测大气是 Askance 等于 1987 年提出的,他们将大气湿延迟和可降水汽量联系起来,推导出了它们之间的关系。到 90 年代,该技术才得以迅速发展,成为目前 GPS 前沿研究课题之一。

地面 GPS 探测大气是通过获得天顶湿延迟 ZWD,将其转化为可降水汽量 PWV,对它进行研究来探测大气中水汽含量的变化。由于水汽的时变性和空间分布的不均匀性,它不能用地面气象资料较精确地估计,但可以利用 GPS 观测的分段参数估计或随机模型而得到较好的估计。天顶湿延迟几乎正比于水汽的垂直积分,而水汽的垂直积分等价于气象学上的可降水量。在气象学上,它有着重要的作用:它所代表的大气潜热总量与水的相变有直接的关系,因而对天气预报特别是恶劣天气的预报有着重要的作用。

地面 GPS 探测大气的方法就是利用 GPS 相位观测资料减去卫星到接收机距离的理论值,用双频消除电离层延迟,用理论模型模拟对流层干延迟,再用两站的单差消除卫星钟误差,最后将相位模糊度的组合、接收机钟误差和天顶湿延迟(ZWD)作为参数,通过最小二乘参数估计或卡尔曼滤波得出 ZWD 的时间序列;然后利用气象学中可降水汽量(PWV)和 ZWD 的关系求出 PWV 的时间序列,从而进行天气预报。

在上海地区建立的综合 GPS 应用服务网,把 GPS 技术综合应用于上海地区的气象服务、大地测量、工程测量、监测地壳形变和地面沉降以及城市地理信息系统(GIS)等领域。该综合服务网下设的 GPS 气象网,由 14 个 GPS 基准站组成,以上海为中心,覆盖了整个长江三角洲地区,将为上海地区提供高精度、高时空分辨率,全天候、近实时的几乎连续的可降水汽量变化序列,并由此形成一个新的上海地区灾害性天气监测预报系统,将大大提高监视和预报上海地区中小尺度灾害性天气的能力。

1.1.2.3 GPS 在公共安全中的应用

公共安全是社会发展的重要保证,GPS 技术在公共安全中的应用是其重要应用之一,而车辆监控系统又是实现公共安全的重要手段之一。在当今的信息社会,如何最大限度地应用信息技术,特别是在一些紧急救援部门,与人民的生命财产安全汲汲相关。例如,在公安警察部门、医疗急救部门、消防火警部门等,在

千钧一发之际,几秒之差会造成迥然不同的结果。

GPS 在公共安全中的作用,是通过移动目标进行监控来实现的,其作用表现在:

(1) 建立快速反应系统,有效处置突发事件

在治安巡逻车、警务指挥车、交通及消防业务车以及武警特种部队用车上,安装 GPS 装置,建立卫星定位监控系统,完善动态环境下的治安防控,将大大提高对城市灾害和其他突发事件的应急能力。监控系统与公安 110 报警服务中心相连,就可形成一个快速的信息系统和指挥系统,确保重大警情接警后,就近准确、迅速地调动警力。

(2) 建立安防体系,挽回不必要的损失

在金融银行系统的运钞车、押运公司贵重物品的押运车、运输公司的大型高档出租车、出租公司的出租车、甚至私人专车上安装 GPS 装置,并形成监控系统,若车辆在运行过程中遇抢、遇盗或者出现故障事故,可立即向监控中心报警、求助,以便迅速得到控制和处理,挽回不必要的损失。

(3) 实现 110 报警定位,对侦控目标进行监控

目前 110 报警,无论是用固定有线电话还是移动手机报警,都需要通过查询或者报警人员说清楚警情地点。近年来,正在研究用类似 GPS 定位的方法,确定报警位置,接警中心就可一目了然,缩短宝贵时间,迅速出警。利用确定移动手机报警位置的方法,还可帮助公安侦察部门掌握侦察目标的行踪,实施更有效的侦控。

例如,利用车辆监控系统实现防盗反窃功能。从全国来看,近年来被盗抢汽车案以每年 26% 的速度上升,每天发案达 300 余起,给国家和人民的生命财产带来了巨大的损失。深圳市公安局自开通了以地面信标物定位、以有线电话联网的“地网”和以 GPS 定位、以 GSM 无线网络联网的“天网”的两套高科技网络化汽车定位、跟踪联网报警系统以来,在短时间内截获了 40 余辆被盗抢车辆,其中,一部分是在犯罪分子驾车逃跑途中,利用 GPS 技术断电断油,将被盗车辆截获,直接挽回经济损失数千万元。

1.1.2.4 GPS 在地球动力学中的应用

地球动力学的研究对象包括大到全球板块运动,小到局部活动断裂的运动。它研究地壳、地体、断裂带等现实的运动规律,揭示地球整体或局部的演化规律,预测其运动演化趋势,进而作出地质灾害预报,直接服务于社会生活。因此,地球动力学的研究作为一项基础研究,一直受到世界地学界的关注。随着观测手段的不断现代化,获取的数据越来越多,数据的时效性越来越现时,数据处理手段越来越先进,使得这一研究领域得到了飞速的发展。

以 GPS 为代表的空间大地测量,以其高精度、全天候、低成本和机动性强等特点,成为监测地壳运动及进行地球动力学研究的有力手段。自 1992 年以来,在国家攀登项目“现代地壳运动和地球动力学的研究”的支持下,我国建立了完全以 GPS 技术为支撑的、定期复测的中国地壳运动监测网。该网由 23 个 GPS 点组成,1994 年、1996 年和 1999 年进行了三期观测。自 1996 年以来,在国家重大科学工程“中国地壳运动观测网络”的支持下,又建立了以 GPS 技术为主、以 VLBI、SLR 和重力测量为辅的中国地壳运动观测网络。该网络由 23 个基准站、56 个基本站和 1000 个主要分布在主要地震带上的区域站组成。部分基准站有 VLBI 与 SLR 观测,其中有的是 IGS 站。基准站进行 GPS 连续观测,通过其中的 IGS 站与全球 GPS 连续观测网相连,从而将我国的 GPS 观测系统与全球坐标地心坐标系统相连,得到这些点在全球地壳运动模型中的位移及位移速率,为网络作精密定位、获取中国大陆地壳运动的时空变化总体趋势建立 ITRF 精密地心坐标。基本站作定期 GPS 观测,获取中国大陆主要块体的运动状况,同时传递精密地心坐标。区域站根据震情作不定期 GPS 观测,可获得中国大陆各区域地壳运动的详细情况,直接服务于地震预报。中国地壳运动观测网络同时服务于大地测量、经济建设、国防和其他科学研究,是目前我国将空间技术应用于地学研究精度最高、规模最大的科学工程。网络中的 25 个基准站和 56 个基本站于 1998 年 8 月 26 日至 9 月 6 日期间完成首次 GPS 联测,2000 年 6 月完成第二次联测。1999 年 3 月下旬起,25 个基准站开始连续观测。区域站于 1999 年 3 月 10 日至 10 月 9 日进行首次 GPS 联测。通过区域站的联测,将中国地壳运动监测网与中国地壳运动观测网络联系起来。

中国地壳运动监测网与中国地壳运动观测网络的建立,极大地推动了现代中国地壳运动的研究,在我国科学工作者的努力下取得了丰硕的成果。

自 20 世纪 90 年代以来,世界各国(如日本、加拿大、埃及、澳大利亚、菲律宾等)纷纷采用 GPS 建立地壳运动监测网,以预报地震,研究板块运动、地球动力学、地壳形变等。如 Argus 和 Heflin 利用 4 年的 GPS 观测资料,建立了全球 6 大主要板块(北美板块、欧亚板块、太平洋板块、澳大利亚板块和非洲板块)的运动模型,Larson 等利用 5 年的 GPS 观测资料建立了 8 个主要板块(北美板块、欧亚板块、太平洋板块、澳大利亚板块、非洲板块、南极洲板块、纳兹卡板块、南美板块)的运动模型,Sato 利用 34 个 GPS 站的 558 条基线变化建立了五个主要板块间的相对运动模型。

此外 GPS 在大地控制测量、海平面监测、时间和频率传输、农田水利、差分定位、导航(飞机、船舶、车辆等)、军事(导弹制导、战炮定向等)、航空摄影测量(如实现无地面控制的航空摄影测量、航线导航、航摄仪姿态参数测定等)、物探

测量、施工放样等领域中也得到了极为广泛的应用,正如业内人士所言:“GPS 应用只受到人们想像力的限制”。例如,国家 A 级和 B 级 GPS 大地控制网分别于 1996 年和 1997 年建成并先后交付使用。A 级网由 30 个点组成,平均边长为 650 km,水平方向重复精度优于 2×10^{-8} ,垂直方向不低于 7×10^{-8} ,绝对精度(相对于地心)不低于 ± 0.1 m。B 级网由 800 个点组成,平均边长为 150 km,水平方向重复精度优于 4×10^{-8} ,垂直方向不低于 8×10^{-8} ,绝对精度(相对于地心)不低于 ± 1 m。国家 A 级和 B 级 GPS 大地控制网的建成,标志着我国具有分米级绝对精度的三维大地坐标系统已基本建成,它将为我国空间技术和空间基础数据、实时动态定位等技术提供一个精确可靠的参照系。

1.1.3 全球定位系统(GPS)在变形监测中的应用

在我们生活的地球上,存在大量的自然和人为的变形体,这些在平时看来相对稳定的建构物,往往隐含着潜在的危险,在一定条件下会导致灾害性事件的发生,给人民的生命财产造成不可估量的损失。为了安全需要,必须对这些局部变形进行监测。GPS 与其他许多经典的测量方法均在该领域发挥过重要的作用,但与常规的测量方法相比,GPS 技术不仅可以满足变形监测工作的精度要求,而且有助于监测工作的自动化与实时化。

1.1.3.1 GPS 在滑坡监测中的应用

为了更好地开展长江三峡库区地质灾害的监测和防治、完善监测手段、形成高水平的立体综合监测网、推动动态监测、建立地质灾害现代化监测网络创造条件,原武汉测绘科技大学,于 1999 年 2 月~7 月,在三峡库区新滩至巴东段的 9 个崩塌体和 3 处斜坡上进行了 GPS 监测试验,进行了多方面的试验与研究。结果表明:在三峡库区进行变形监测,完全可以用 GPS 来代替常规的外观观测方法,且在精度、速度、时效性、效益等方面都优于常规方法。

2003 年 8 月 9 日至 2003 年 11 月 13 日,武汉大学采用 GPS 技术对长江三峡的 5 个滑坡体进行了周期为 15 天的 5 期变形监测,证明了这些滑坡体都存在不同程度的变形,其中有的滑坡体上个别点存在高达 0.12 m 的变形。

1.1.3.2 GPS 在大坝监测中的应用

隔河岩水库大坝位于长阳土家族自治县境内,是湖北清江三个梯级水利枢纽工程之一,其总装机容量为 120 万 kW,年发电量为 30 亿 kW,是华中电网调峰调频骨干电站。隔河岩水库大坝为三圆心变截面重力拱坝,外圆弧半径为 312 m,最大坝高 151 m,坝顶弧线全长 653 m,坝顶高 206 m。高程 150 m 以下为拱坝,150 m 以上为重力坝。坝址凹向河谷,基础为厚 145~190 m 的寒武纪石龙洞组灰岩,岩溶发育,地质条件比较复杂。坝区地壳稳定,地震基本烈度为 VI 度。