

基于GPS

的远程滑坡 实时监测系统 设计与实现

王仁波 著



HEUP 哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

基于 GPS 的远程滑坡 实时监测系统设计与实现

王仁波 著

哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书从工程研究与实现的角度系统地论述了采用 GPS 构建远程滑坡实时监测网络系统的理论依据、设计方法,以及电路及软件的具体实现手段。

本书共分为 8 章,主要包括:第 1 章,滑坡及其监测的意义;第 2 章,滑坡实时监测技术的现状与发展趋势;第 3 章,滑坡实时监测系统方案设计;第 4 章,滑坡位移检测手段与方法研究;第 5 章,数据采集与控制;第 6 章,数据传输与编码;第 7 章,滑坡监测后台处理软件;第 8 章,系统性能测试与误差分析。

本书适合作为高等院校相关专业本科及研究生作为教材使用,也可供从事相关工作的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

基于 GPS 的远程滑坡实时监测系统设计与实现/王仁波
著. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2012. 1
ISBN 978 - 7 - 5661 - 0305 - 5

I. ①基… II. ①王… III. ①全球定位系统 - 应用 -
滑坡 - 实时系统:监测系统 - 系统设计 - 研究 IV. ①P642. 22 - 39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 008910 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451 - 82519328
传 真 0451 - 82519699
经 销 新华书店
印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂
开 本 787mm × 960mm 1/16
印 张 7.75
字 数 159 千字
版 次 2012 年 2 月第 1 版
印 次 2012 年 2 月第 1 次印刷
定 价 18.00 元
<http://press.hrbeu.edu.cn>
E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

人类社会的发展进步是在与自然界的不断抗争中逐步取得的。大自然给人类提供了赖以生存的物质环境,也带来了无数的自然灾害。滑坡、崩塌和泥石流等就是其中最为严重的一类。长期以来,这类灾害在全球发生的数量之多,危害之大,损失之重可以说是有目共睹的。对滑坡灾害进行有效的控制和治理一直是人们倾力追求的目标,然而,治理的前提是必须对滑坡进行及时准确的监测和预报。

滑坡实时监测是一项综合性很强的技术,它涵盖了电子、计算机、通信、测量等多个领域,是多学科相互结合的产物。任何一种新理论和新技术的应用,都会使滑坡监测技术有一个大的提高。这种提高可以是监测精度的改善,使其能够更精确地反映滑坡发生的规律;同样,更可以是监测设备的创新,使其成本更低,推广更快。

据此,本书是在科研项目研究工作的基础上,以适合野外实际滑坡区域监测工程布设、高性能、低造价、产品化为目标,对滑坡实时监测系统的各个部分进行了深入细致的研究和设计,研制了从滑坡监测传感器开始,到单片机数据采集器、无线数据传输模块、野外太阳能电源及后台 PC 机解算和显示软件等一整套监测装置硬件和软件,并对其中的多项关键技术进行深入研究和分析。

本书的出版得到了成都理工大学周蓉生老师的倾心指导,同时也得到了“核科学与技术”江西省高水平学科、国家自然科学基金(项目编号:11165002)和江西省自然科学基金(项目编号:2008GZS0044)的资助,同时,作者在撰写本书的过程中参考或引用了国内外一些专家学者的论著,在此一并表示感谢。

此外,由于水平所限、时间仓促,书中疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

著 者

2011 年 10 月 26 日

于东华理工大学教育部核技术应用工程研究中心

目 录

第 1 章 滑坡及其监测的意义	1
1.1 选题依据及意义	1
第 2 章 滑坡实时监测技术的现状与发展趋势	6
2.1 滑坡监测技术的现状	6
2.2 滑坡监测技术的发展趋势	8
第 3 章 滑坡实时监测系统方案设计	10
3.1 传感器	11
3.2 数据采集器	13
3.3 数据收发模块	14
3.4 太阳能电源	15
3.5 数据处理软件	16
第 4 章 滑坡位移检测手段与方法研究	18
4.1 概述	18
4.2 GPS 静态差分位移测量	19
4.3 光电测距位移测量	48
4.4 小型崩塌传感器	49
第 5 章 数据采集与控制	50
5.1 数据采集器	51
5.2 野外太阳能电源	64
第 6 章 数据传输与编码	71
6.1 数据传输	71
6.2 数据编码与纠错	82
第 7 章 滑坡监测后台处理软件	93
7.1 监测数据与文件格式定义	93
7.2 串行数据通信编程	95
7.3 观测参数设置模块	98
7.4 GPS 基线解算模块	99
7.5 监测结果显示模块	102

第 8 章 系统性能测试与误差分析	103
8.1 误差来源及分类	103
8.2 GPS 观测误差	104
8.3 系统性能测试	108
参考文献	112

第1章 滑坡及其监测的意义

1.1 研究依据及意义

我国是世界上地质灾害最严重的国家之一,日趋严重的地质灾害直接危害着人民的生命财产安全,影响我国社会经济的可持续发展。据文献资料统计,我国目前有400个地质灾害重灾县(市),占全国县(市)的20%。每年地质灾害(不包括地震)造成的直接经济损失占各种自然灾害造成损失的20%~25%,年平均死亡近千人,伤近万人,直接经济损失近百亿元。

1.1.1 滑坡灾害的概况

在各类地质灾害中,滑坡类灾害是最为严重的。例如1998年全年我国共发生滑坡、崩塌、泥石流等突发性地质灾害18万起,其中重大者447起,造成10000余人受伤,1157人死亡,50多万间房屋被毁。滑坡灾害在我国南方地区尤其严重。以长江上游地区为例,据不完全测算,该地区100万 km^2 土地上就有大小滑坡15万处、泥石流沟道万余条,分布面积达10万多 km^2 。长江上游水土保持委员会办公室1990年调查资料显示,长江上游地区仅嘉陵江上游、三峡库区和金沙江下游及毕节地区就有大小滑坡16000多处、泥石流沟4000多条,灾多面广,突发性强,并常常酿成重大灾害。^[16]

1985年6月12日,位于长江西陵峡上段,兵书宝剑峡出口北岸新滩镇后的姜家坡发生了新滩滑坡,摧毁了整个新滩镇,由于预报及时,滑坡区内没有人员伤亡。但滑坡涌浪在新滩镇的长江上下游8千米江面上冲翻机动船和木船若干只,造成船员死伤、失踪10名。^[19]

1995年6月,位于三峡库区的湖北省巴东县黄土坡发生了体积约4万立方米的大滑坡,淹埋14人,死亡5人,直接经济损失1000多万元。见图1-1所示。



图 1-1 巴东县黄土坡滑坡^[21]

1995 年 10 月,巴东县黄土坡的三道沟发生体积约 16 万立方米的滑坡,有 4~5 万立方米土石滑入长江,在江中形成一座约 1 200 m² 的小岛,使这一段长江航道缩窄至 200 m,直接经济损失约 2 000 万元^[21]。

2001 年 1 月 17 日 0:40,位于重庆市云阳县老县城后山的五峰山峰顶及南坡——云阳西城滑坡后壁、侏罗系上统遂宁组砂泥岩发生顺层基岩滑坡,滑坡体从高程 405~607.9 m 顺层下滑,主体堆积在高程 375~500 m 的斜坡上,形成纵长约 225 m,宽 75~150 m,厚 2~5 m,体积约 5 万 m³ 的块石堆积体。滑坡堆积体前缘距下方县城城区建筑群水平距离仅 350 m。滑坡滑动时发生雷鸣般的巨响,滑坡整体滑动历时约 0.5 小时,局部崩塌,滑动至早晨 9:00 左右才告结束。滑坡体所经过地段,使约 3 万 m² 的长江防护林严重毁坏。滑坡产生的部分块石顺坡滚落至老县城城区,造成 16 户居民住房损毁,其中 1 户全部垮塌,砸坏高压输电线杆 1 根。^[27]

此外,长江下游地区近十几年来,年均发生重大崩塌、滑坡、泥石流灾害数十起,每年造成数百人乃至数以千计的人员伤亡,直接经济损失在 1 亿元左右,滑坡、泥石流已成为影响这一地区经济发展和社会稳定的因素之一。^[16]

国外情况亦如此,仅举一例说明。1963 年,意大利北部的瓦依昂特水库发生特大滑坡,近 3 亿立方米的岩体以每秒 25~30 米的速度下滑,水库中 5 000 万立方米的水被挤出,激起 250 米高的巨大涌浪,漫溢坝顶 100 余米溃入下游,洪水毁灭了下游的一座城市和几个小镇,大约 3 000 人死亡,同时水库因淤满而失效。^[18]

近 50 年来,人类生产活动增加,毁林开荒、陡坡耕作、不合理开矿、采石、筑路、修建水利工程以及各种开发建设等,造成山体裸露,加剧了不稳地质体的活动,使崩塌、滑坡不断发生,泥石流暴发更趋频繁。

1.1.2 滑坡形成的机理

滑坡形成的机理较为复杂。了解滑坡体的基本形态与形成因素,对于人们认识滑坡体及如何进行滑坡的监测具有重要的指导意义。这是因为不同的滑坡体具有不同的内部结构,而内部结构不同的滑坡体的主要滑动因素是不同的。

滑坡作为地壳表层的一种物质移动现象,是由内因和外因共同决定的,构造活动是一个重要的内在因素。构造活动可以表现在多个方面,如地壳的隆升、断层错动和地震等,它们都直接或间接地影响着滑坡的形成和发展。其他影响如降水、人类活动等则是促成滑坡的外在因素。

从地质学的概念上讲,一个发育完全的滑坡是由滑坡体、滑动面,滑动壁、滑坡阶、滑坡古丘和滑坡裂缝等要素组成的。滑坡体的体积差异极大,由数立方米至数亿立方米不等。形成滑坡的主要因素有如下几项:^[23]

(1)物质性质 滑坡体的物质性质是产生滑坡的重要因素,在滑坡体内最易产生滑动的为夹有软弱岩层的坚硬岩石和松软土层;

(2)地质构造 岩层倾向与斜坡向一致时,以及岩体多断裂时易产生滑动;

(3)斜坡坡度 超过边坡休止角时易产生滑动;

(4)降水 水的浸润降低滑动摩擦力是导致滑动的重要外因,实际调查表明,降雨尤其是暴雨是诱发滑坡的主要因素,雨季发生的滑坡占总数的 90% 以上;

(5)地震 地震诱发滑坡是极为普遍的,因为地震能改变滑坡体所处地域的地层状况,地震首先使斜坡土石结构破坏,在反复震动冲击下,土石沿原有裂缝或新产生的裂缝面滑动;

(6)其他因素 人类活动,如采挖矿石,开挖渠道等,如果施工不当,以致破坏滑坡体的平衡也会产生滑坡。

1.1.3 滑坡监测研究的意义

滑坡灾害给人类造成巨大损失,因而监视和测量滑坡,掌握滑坡发生、发展的规律,进一步控制和治理滑坡是人们倾力追求的目标。目前,灾害的监测与防治已越来越受到全社会、全人类的普遍关注,各国政府及各级主管部门对此问题十分重

视,诸多国际学术组织,如国际大地测量协会(IAG)、国际测量师联合会(FIC)、国际岩石力学协会(ISRM)、国际大坝委员会(ICOLD)、国际矿山测量协会(ISM)等,非常活跃地定期召开专业会议进行学术交流和研究合作。^[18]

经过广大科技工作者和工程技术人员近三十年的共同努力,我国在变形与滑坡监测领域,取得了丰硕的理论研究成果,并发挥了实用效益。例如,利用地球物理大地测量反演理论,于1993年准确预测了1996年发生的丽江大地震:1985年6月12日长江三峡新滩滑坡的成功预报,使得灾害损失减少到最低程度,被誉为我国滑坡预报研究史上罕见的奇迹^[19];隔河岩大坝外观变形GPS自动化监测在1998年长江流域抗洪错峰中所发挥的巨大作用,确保了安全度汛,避免了荆江大堤灾难性的分洪。

另一方面,滑坡堆积体又是自然界赐给人类赖以生息的地方。在四川和重庆地区,如果没有滑坡堆积体,历时几百、上千年的城镇如秭归、云阳、万县等县市都不可能存在,因为它们都是建在滑坡体上的。

目前,我国水利建设史上重中之重的三峡工程正顺利进行,三峡库区内分布广泛的滑坡体状况直接影响到工程的建设 and 日后当地群众的生产生活。

三峡工程位于长江中游、著名的三峡风景区最下游一个峡——西陵峡内,工程所在地三斗坪下距鄂西重镇宜昌市45 km。工程设计蓄水位175 m(吴松高程),控制流域面积 $100 \times 104 \text{ km}^2$,年均流量4 510 亿 m^3 ,年均输沙量约5.3亿吨。工程总装机容量18 200 MW,年均发电量846.8 亿kwh。枢纽为混凝土重力坝,坝顶高程185 m,水库正常蓄水位175 m,库尾延至重庆市,长约600 km,岸线长度5 927 km,库面面积1 084 km^2 。^[21]

在三峡水库长达5 927 km的岸线上,除了兴山运动,冰川和破坏性的地震等问题以外,几乎包罗着所有工程地质学和岩土工程问题,而最为人们关心的是岸坡的稳定性问题。库区稳定性较差(C级)和稳定性差(D级)的库段,沿长江干流有15段,长132.1 km(其中D级6段,长16.1 km);沿支流有157段1 253 km。其中D级出现在20条支流,计31段长41 km,占173条支流岸线长度的5.7%左右。不稳定或欠稳定库段主要是崩滑体分布段。到目前为止,调查出前缘高程低于175 m的崩滑体1 190处,总面积135.9 km^2 ,总体积约34 亿 m^3 ,其中,单个规模大的达1 亿 m^3 ,而滑坡群体体积最大可达7 亿 m^3 。高程低于175 m崩滑体,均作为淹没处理。据此,基本淹没403处,剩余787处。在这787处中,欠稳定的和正在变形的有438处。^[17]

近几十年来,由于库区人口的猛增,各种土建工程的兴建,滑坡区的原有应力平衡情况出现恶化,使滑坡体的形变加剧,时刻影响和威胁着人民的生命财产安

全。特别是当前三峡工程大坝已经蓄水,与工程配套的 100 万人口的大移民,涉及重建 13 座城市和 114 座集镇,其中新城市人口规模大的可达 30 ~ 50 万人,集镇人口可达几千至上万人。这些浩大的工程基本都已告一段落。这也就意味着,三峡库区的地质问题基本上构成了生存环境地质问题。库区目前以及蓄水后滑坡的稳态如何,人们必须掌握清楚,不允许出现任何疏忽和差错。因此,滑坡实时监测作为了解和掌握滑坡稳态的一个极其重要的手段,一直受到重视和发展。

此外,在全国每年由于突发性的山体滑坡造成公路、铁路路基损毁而导致的车毁人亡的事故屡见不鲜,给国家和人民造成的直接和间接经济损失难以估量。这一情况在我国西南地区尤为突出。由于山区地势的原因,西南地区的公路、铁路部门一直为路基崩塌事故所困扰,加之目前高速公路建设发展迅速,铁路提速也一轮接一轮,山体滑坡已经日益成为制约其发展的重大隐患。因此,作为滑坡治理的前提条件之一,一套易于使用、切实有效的实时监测系统,是各个应用部门提出的首要需求目标。

第2章 滑坡实时监测技术的 现状与发展趋势

人们用于滑坡形变监测的手段,随着科技的进步而不断地处于更新之中。最原始的方法是查看滑坡区哪里出现了裂缝,塌陷或冒水等迹象。后来,人们在滑坡体开挖竖井及平槽,埋设伸缩仪,布设引张线、正倒垂线,静力水准等观测设施。在地表面,常规的大地测量方法作为一种准确的监测手段,也得到广泛的应用,例如边角监测网,精密几何水准测量等。GPS 的出现使得工程测量有了一个大的飞跃,滑坡监测也随之走入高精度、数字化、全天候的新阶段。GPS 在滑坡监测中日益显示出巨大的优势。

2.1 滑坡监测技术的现状

滑坡监测技术的发展,很大程度上取决于监测仪器的发展。目前,国内常用的滑坡监测的方法和仪器大致有如下几种。

2.1.1 大地测量法

该法主要有:两方向(或三方向)前方交会法和双边距离交会法(以上监测二维水平位移(X, Y));视准线法、小角法、测距法(以上方法用以监测单方向水平位移);几何水准测量、精密三角高程测量法(观测垂直方向(Z 向)位移)。

一般常用高精度测角、测距的光学仪器和光电测量仪器。常用的有:WLLDT3 经纬仪(测角中误差 ± 1 秒)、N3 水准仪(0.2 mm)、Mekometer ME3000 光电测距仪(精度 $0.3\text{ mm} + 1\text{ ppm}$,测程 3 km)、NE5000 光电测距仪(精度 $0.2\text{ mm} + 0.2\text{ ppm}$,测程 5 km)、全站式电子速测仪(测角精度 2 秒,测距精度 $2\text{ mm} + 2\text{ ppm}$)等。^[24]

2.1.2 近景摄影测量法

把近景摄影仪安置在两个不同位置的固定测点上,同时对崩塌体的观测点摄

影构成立体相片,利用立体坐标仪量测相片上各测点的三维坐标进行测量。

其优点是:^[24]

- (1) 周期性重复摄影,外业工作简便,可同时测定许多测点的空间坐标;
- (2) 获得的相片是崩滑体变形的实况记录,并可以随时进行比较分析;
- (3) 近景(100 米以内)摄影法绝对精度不及传统测量法;
- (4) 设站受地形条件限制,内业工作量大。

2.1.3 电测法

利用传感器的电性特征或频率的变化来表征裂缝的变化,采用二次仪表(电子仪表)进行测量。

常用仪器:AFD-1 型电感调频式位移计,精度 0.03 ~ 0.07 mm,量程 50 mm,分辨率 1 Hz,可有线传输。配套 MFT-1 型多功能频率测试仪及 AFD-30 型位移自动巡回检测系统,可定时自动对 30 个测点进行巡回检测读数。

2.1.4 地下(钻孔)倾斜监测

常用的仪器主要有美制 Sinco 便携式数显钻孔倾斜仪,灵敏度 0.02 mm/500 mm,总精度 ± 7.5 mm/30 m,量程 0 ~ ± 15 度;国产 CX-01 型伺服加速度计式数显测斜仪,测头阈值 ± 0.02 mm/500 mm,总精度 ± 4 mm/15 m,量程 0 ~ ± 53 度。^[24]

此外还有声发射监测、应力监测、地下水监测、地表水监测、地震监测、人类相关活动监测等众多的方法和技术。

自 20 世纪 90 年代初开始,GPS 的出现为滑坡监测,乃至整个形变监测提供了新的手段,因为它具备了常规测量所不具备的优越性,诸如:不要求视线通视;不受测区环境限制;效率高等。

目前国内用 GPS 替代常规测量方法,进行大坝形变监测的成功典范是武汉测绘科技大学 1998 年完成的“湖北长阳隔河岩大坝 GPS 自动化监测系统”。该系统由 7 台美国 Ashtech Z-12 型测量型 GPS 接收机固定放置在观测墩上,数据的采集和传输采用光纤等自动化手段。系统采用定期连续观测,每次观测时间由几十分钟至几个小时不等,数据处理采用国外 GPS 静态差分数据后处理软件进行解算。系统总造价超过 100 万元。监测位移精度:垂直优于 1.5 mm,水平优于 1.5 mm (2 小时观测)。^{[1][18]}

国外,1997年1月美国国家地质调查局(USGS)的科学家采用GPS测量手段,对夏威夷火山喷发形成的大面积岩浆活动进行地表形变监测,及时得到岩浆活动对地壳形变的作用,为活火山地质作用研究提供了非常宝贵的数据资料。^[35]

USGS的专家Mark E. Reid和Richard G. LaHusen于1998采用表面伸缩位移测量和无线数据传输等方法设备,对发生于加利福尼亚州地区50号高速公路Eldorado段的大型山体滑坡和位于克利夫兰的Corral滑坡进行了实时监测,及时分析掌握了滑坡发展动态,有效降低了滑坡造成的损失。^[33]

但是,国内大多数不具备像隔河岩大坝监测条件的滑坡地点,如高速公路沿线、铁路沿线,乃至三峡库区众多滑坡体的形变监测,其情形是:各观测点位于野外荒坡,无电源;地形复杂,无法敷设有线通信线路;地处偏僻,需无人值守;监测面大,资金有限,无法采用昂贵的进口GPS接收机;监测点可能突发山体垮塌,造成监测设备损毁等。如此条件下,能否继续采用GPS等手段,构建一套性能好、精度高、造价低、易于安装、利于推广的实时滑坡监测系统,进行水平位移和垂直位移的监测呢?这还是一个需要进一步研究的课题。

2.2 滑坡监测技术的发展趋势

纵观国内外数十年滑坡变形监测技术的发展历程,传统的地表变形监测方法主要采用的是大地测量法和近景摄影测量法。常规地面测量方法的显著进步是全站型仪器的广泛使用,尤其是全自动跟踪全站仪(RTS, Robotic Total Stations),有时也称测量机器人(Georobot),为局部工程变形的自动监测或室内监测提供了一种很好的技术手段,它可进行一定范围内无人值守、全天候、全方位的自动监测^[20]。实际工程试验表明,测量机器人监测精度可达到亚毫米级。目前,在美国加州南部的一个新水库(Diamond Valley Lake)已安装了由8个永久性RTS和218个棱镜组成的地面自动监测系统。而地面摄影测量技术在滑坡变形监测中的应用虽然起步较早,但是由于摄影距离不能过远,绝对精度较低,使得其应用受到局限。近几年发展起来的数字摄影测量和实时摄影测量为地面摄影测量技术在滑坡变形监测中的深入应用开拓了非常广泛的前景。

GPS作为一种全新的现代空间定位技术,已逐渐在越来越多的领域取代了常规光学和电子测量仪器。自20世纪90年代以来,GPS卫星定位和导航技术与现代通信技术相结合,在空间定位与测量技术方面引起了革命性的变化。用GPS同时测定三维坐标的方法将测绘定位技术从陆地和近海扩展到整个海洋和外层空间,从静态扩展到动态,从单点定位扩展到局部与广域差分,从事后处理扩展到实

时(准实时)定位与导航,绝对和相对精度扩展到米级、厘米级乃至亚毫米级,从而大大拓宽了它的应用范围和在各行各业中的作用。计算机技术、数据通信技术和多种空间定位技术的日益发展和完善,使得 GPS 测量法由原来的周期性观测走向高精度、实时、连续、自动监测成为可能。^{[1][18]}

GPS 用于滑坡监测的作业方式可划分为周期性和连续性两种模式。周期性监测与传统的变形监测网没有多大区别,因为有的变形体的变化极为缓慢,在局部时间域内可以认为是稳定的,其监测频率可以是几个月,有的长达几年。此时,采用 GPS 静态相对定位法进行测量,数据处理与分析一般都是事后的。目前, GPS 静态相对定位数据处理技术已经相当成熟。

连续性监测指的是采用固定监测仪器进行长时间的数据采集,获得变形数据序列。虽然连续性监测模式也是对测点进行重复性观测,但其观测数据是连续的,具有较高的时间分辨率^[6]。根据变形体的不同特征, GPS 连续监测可采用静态相对定位和动态相对定位两种数据处理方法进行观测,一般要求变形响应的实时性,它对数据解算和分析提出了更高要求。

可以预计滑坡监测未来的发展方向是:

(1) GPS 以及多种传感器、数字近景摄影等技术的应用,向高精度、实时、连续、高效率的方向发展;

(2) 研制高可靠度、实用、先进的监测仪器和自动化数据采集系统,实现在恶劣环境下长期稳定运行;

(3) 应用现代最新的数据通信手段,实现观测数据远程实时传输及在线实时监控;

(4) 滑坡变形数据分析和处理走向自动化、智能化,为滑坡预测提供准确有效的依据;

(5) 成本逐渐降低,利于在公路和铁路、桥梁、大型建设工程的山体滑坡监测中大面积推广使用。

第3章 滑坡实时监测系统方案设计

比较目前国内外现有的滑坡监测技术和设备,可以认为它们一般都符合如下的一种或几种情况:

- (1) 观测设备落后,需要人工进行测量和记录数据,如常规的大地测量法;
- (2) 监测装置各自孤立,需要人工逐个进行数据的采集和整理,如伸缩位移计、测斜仪或一般的 GPS 测量等;
- (3) 观测设备虽然先进,观测精度也很高(达到毫米级),但设备造价昂贵,只适用于重点工程的精密变形监测,如隔河岩大坝所采用的变形监测系统;
- (4) 观测设备和装置过于贵重,价格极高,无法在野外无人值守的监测区大量并且长期地布设,如瑞士莱卡公司新近推出的测量机器人系统,市场售价为几万至几十万美元。

针对以上情况,本系统在方案设计时充分权衡监测精度、造价、使用方便等几方面因素,以适合野外现场条件,且具有最优的系统性价比为设计方向,提出如下的设计目标:

- (1) 滑坡位移测量精度达到厘米级,以满足中、长期预报的要求;
- (2) 对突发性垮塌能立即报警;
- (3) 监测装置野外无人值守,24 小时连续观测;
- (4) 监测数据采用无线方式自动传输至监测中心;
- (5) 监测中心采用微机对各监测点数据进行实时接收、记录和处理;
- (6) 设备造价尽可能低(平均每个监测点低于 5 000 元),适合大数量多点布设。

目前,静态差分 GPS 测量从理论到器件均已成熟,为系统的位移监测提供了最佳的测量手段;专用数传电台和 GSM 移动通信网络这两种无线数据通信方式也已经广泛使用;单片微机控制系统和 PC 机 Windows 环境下的可视化软件开发工具的采用,可使系统的远程控制部分和后台数据处理程序开发较为便捷。

因此,本系统最终确定的总体设计方案如图 3-1 所示。主要包括传感器、数据采集器、数据收发模块、后台微机数据处理软件及太阳能电源等。以下分别加以讨论。

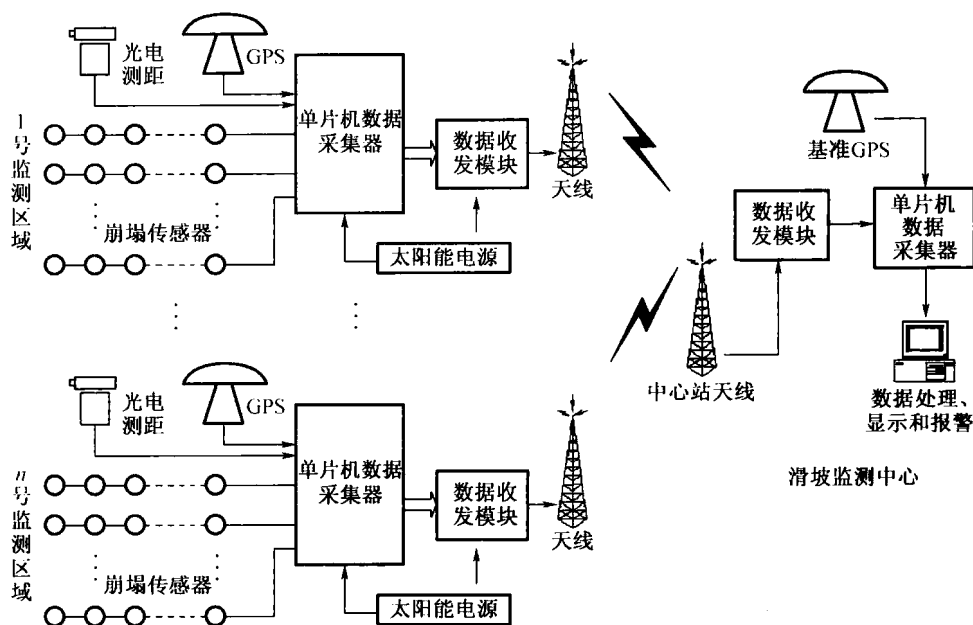


图 3-1 滑坡实时监测系统结构示意图

3.1 传 感 器

采用多重位移传感器:用 GPS 作为三维位移(X, Y, H)传感器,辅助以二维(距离)的光电测距,对滑坡体进行长期、不间断的相对位移监测;对监测区域内局部易发生崩塌的山体,埋设布置一定数量的小型崩塌传感器,当突发威胁到铁路、公路行车安全或居民生命财产安全的山体崩塌时,能及时发出报警信号。

3.1.1 GPS

GPS 的定位方式一般可分为单点绝对定位和多点相对定位。单点绝对定位就是用单台 GPS 接收机接收卫星信号并直接计算出该点的绝对坐标,定位精度(单频)为 5 ~ 20 m,一般用在导航等领域。多点相对定位是用多台 GPS 接收机同时接收信号,并通过差分运算等方式削弱信号中的干扰因素,得到多台接收机之间的相对位置坐标。其定位精度在 1 mm ~ 1 m 范围内,广泛应用于 GPS 测量,高精度变