

GPS 在构建黄土高原数字流域中的应用研究

阎慧敏¹, 李壁成^{2,3}, 李世华⁴

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;
2. 中国科学院水利部水土保持研究所; 3. 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100;
4. 中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室, 北京 100101)

摘 要: 数字化管理是 21 世纪信息管理的主要方式, 构建数字流域将成为黄土高原土壤侵蚀研究、土地利用/土地覆被变化、流域生态环境动态监测等重要的分析和信息管理平台。我们应用 GPS 技术在黄土高原固原、安塞、长武三个不同地貌与生态区, 在复杂地形条件下进行了三维空间定位的试验研究。以固原试区为例, 对 GPS 定位精度、工作效率及在黄土高原数字流域建设中的作用、意义进行了研究和探讨。

关键词: GPS; 黄土高原; 数字流域

中图分类号: T P79 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2005)03-0104-03

Study on the Use of GPS in Building
Digital Watershed of Loess Plateau

YAN Hui-min², LI Bi-cheng^{2,3}, LI Shi-hua⁴

(1. Institute of Geographical Sciences and Natural Resource Research of CAS, Beijing 100101, China;
2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resource;
3. Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;
4. The State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing
Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: Digitalized management is the main management way in the 21st century. Building digital watershed will be the key of improving precision and efficiency on dynamic inspection and analysis to soil erosion and land-use change and land planning etc. A successful experiment to build digital watershed in Guyuan, Ansai and Changwu experiment and demonstration section is conducted, in which GPS has made important role. The key methods of 3-dimension positioning with GPS are presented, and its roles and significance in construction of digital watershed are analyzed and discussed.

Key words: global positioning system; Loess Plateau; digital watershed

1 引 言

随着数字与计算机技术的迅猛发展,为“数字地球”在不同层次、领域实现数字化管理创造了平台。为了提升水土保持与生态环境研究水平与创新能力,构建数字流域,实现数字化管理,势在必行。建设数字流域首先要解决的问题是如何快速采集高精度的三维空间信息,并实时更新数据及高效率管理。GPS 以全天候、高精度、自动化、高效益等显著特点在现代战争、科学研究、城市规划、资源环境监测等领域得到广泛的应用^[1]。将 3S 集成运用于数字流域的构建,是值得试

验研究的重要课题^[2]。为此我们在黄土高原固原、安塞、长武三个不同地貌与生态类型区,应用 GPS 静态相对定位的方法完成了 1:50000 DEM、DOQ 开发的外业测量试验,进行了三维空间定位与数字流域建设的试验研究。本文以固原试区为例加以介绍。

固原试区位于黄土高原西部的固原市原州区河川乡上黄村,属于黄土宽谷丘陵沟壑区(第五副区),东经 106°26′~106°30′,北纬 35°59′~36°02′,海拔 1534~1822 m,土地总面积 7.6 km²,测区面积 14 km²。本区是全国有名的“西海固”老少边穷地区。中国科学院水土保持研究所于 1982 年在

① 收稿日期: 2004-12-22
基金项目: 国家“十五”重大科技攻关课题(2001BA606A-4)半干旱退化山区生态农业建设技术与示范
作者简介: 阎慧敏(1974-),女,博士生,主要从事地理信息系统与遥感应用研究。

上黄村建立了科研基点,进行长期定位试验研究和示范,上黄试区的科技成果和“三化两提高”治理开发模式,已在南宁山区大面积推广应用。

2 GPS 概述

GPS(Global Positioning System)全球定位系统是 1973 年 12 月美国国防部批准陆海空三军联合研制的以卫星为基础的无线电导航定位系统。GPS 具有全能性、全球性、全天候、连续性和实时性的导航、定位、定时的功能,能为各类用户提供实时、精密的三维坐标、速度和时间数据^[3]。应用 GPS 进行像控测量不受地形和通视条件的限制,避免了传统方法中的因受加密级次、作业员素质等影响产生的逐级控制误差的传递积累,点位精度高且均匀一致,成果可靠,工作效率可大大提高。^[4-6]GPS 作为全新的现代定位方法,已将测绘定位技术从静态扩展到动态,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、厘米级乃至毫米级,从而大大拓宽了应用范围,这为构建“数字流域”的空间基础,提供高精度的数据与图件成为可能。

3 试验材料与方法

3.1 试验材料

本研究以 1995 年彩红外航片为主要信息源,地形图、地面控制点资料作为基础数据。

(1) 固原试区 1995 年彩红外航片 3 幅(0269- 0271),像幅 23 cm × 23 cm,摄影比例尺为 1 30 000,航行方向为南北方向,内方位元素如表 1。

表 1 固原试区航空摄影内方位元素

焦距(f)	像主点坐标	框标距
153. 169 mm	$X_0 = - 0. 0054$	2- 4 211. 991 mm 4- 6212. 003 mm
	$Y_0 = + 0. 0020$	6- 8211. 999 mm 8- 2211. 995 mm

(2) 1976 年版固原试区范围 10 000 地形图:J- 48- 141 - (64)和 I- 48- 9- (8)。

(3) 固原试区及周边保存完好的三角点和水准点成果(两个三角点,一个水准点)。

3.2 GPS 像控测量试验方案

(1) 像控点布设方法:由于黄土高原地形破碎复杂,我们采用了全野外方式布点,以提高内业加密精度。本次研究区面积涉及 1 35 000 彩红外航片两个像对,我们共布设 10 个点,6 个是像片控制点,4 个作为辅助点。象片控制点分别布设在地形起伏特征明显、视野较开阔的梁峁顶或平缓川地;布设辅助点的目的在于以下三方面:调节测站距离;在地形特别复杂处增设控制点提高精度;在试点附近埋桩供数据更新时作为已知点使用。

(2)GPS 网布网方案:采用三角形网布设,联测 2 个四等三角点、1 个四等水准点及新布设的 10 个像片控制点。

(3) 仪器及观测方案:采用 3 台加拿大产 GN8 单频 GPS 接收机按静态相对定位模式进行数据采集,接收机标称精

度为 1 cm+ 2 ppm。观测时段为 60 min,采样间隔 10 s。

(4) 平面、高程系统及分带:平面、高程系统分别采用 1954 年北京坐标系与黄海高程系,按 3 度带分带计算。

4 GPS 像控定位测量试验研究

4.1 GPS 网设计及测量

GPS 测量参照《全球定位系统测量规范》中规定的 E 级网标准设计,接收机标称精度更要优于 10 mm+ 3 ppm。本次 GPS 数据采集使用 3 台加拿大产 GN8 单频 GPS 接收机按静态相对定位模式进行数据采集,接收机标片控制点,共 14 个同步环及 32 条基线组成(图 1,表 2)。

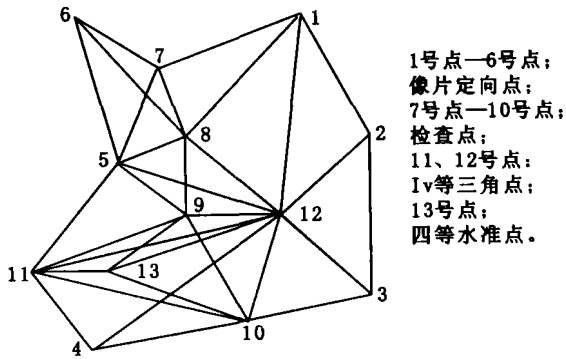


图 1 GPS 网示意图

表 2 GPS 网布设情况统计表

总点数	已知点数	同步环个数	最长边长	最短边长	平均边长
13	3	14	18. 981 km	0. 436 km	4. 768 km

在编制观测计划时要充分考虑交通条件对工作效率的影响及地形条件对卫星接收数目和分布状况的影响,对困难点实施多时段连续观测,对地势较低且封闭处的点进行不同时段多次重复观测。观测时段为 60 min,采样间隔 10 s。观测的整个过程中,接收机信号接收良好,接收的有效观测卫星数最少为 7 颗,同步接收卫星数最少 5 颗,卫星高度角均大于 15 °PDOP 值在 1. 6 ~ 2. 6 之间。

经根据 E 级网标准进行重复观测边的检核,同步观测环的检核和异步观测环的检核数据检核,对超限的数据进行剔除和重测后的所有基线向量均满足精度要求。

我们以韭菜渠、西湖塔两个三角点为平面控制条件进行国家 54 坐标系约束平差,并以其与 IV 固王 4 水准点的高程进行高程拟合,得到网点坐标与精度估计(如表 3)。

4.2 GPS 网精度分析与评价

(1) 环闭合差。本网共组成 16 个 GPS 闭合环,最大相对闭合差 7. 64 ppm(1 13. 10 万),平均环相对闭合差 2. 41 ppm(1 41. 42 万)。16 个环的相对闭合差已经全部达到了四级网 10 ppm 的精度要求。

(2) 基线中误差。基线平均相对中误差 9. 13 ppm,最大基线相对中误差 19. 12 ppm(1 52 301),最弱边相对中误差满足 E 级网 1 10 000 的精度要求。

(3) 点位中误差。通过对点位成果统计分析表明,13 个测点经 GPS 网平差后点位中误差小于 0.1 m 的有 12 个,最弱点点位中误差 0.134 m;13 个测点的高程中误差均小于 0.2 m,其中有 8 个点小于 0.1 m(表 4)。由此可见,本次 GPS 测量成果的精度足以满足 1 5 000、1 10 000 航空摄影测量外业规范的要求(该研究区控制点的平面、高程定位精度为 0.5 m)。

表 3 平差后网点坐标与精度估计							
NO	点号	B	SIG M(M)	L	SIG M(M)	H	SIG M(M)
1	12	36 00 24	0.0299	106 29 05	0.0299	1802.60	0.0691
2	03	35 59 42	0.0345	106 29 35	0.0345	1689.56	0.0691
3	01	36 02 06	0.396	106 28 30	0.396	1729.49	0.1817
4	08	36 00 34	0.0325	106 27 38	0.0325	1612.72	0.0723
5	07	36 01 36	0.0389	106 27 11	0.0389	1622.36	0.1429
6	05	36 00 42	0.0362	106 26 54	0.0362	1674.10	0.0779
7	11	36 00 09	0.1342	106 16 28	0.1342	1758.10	0.0691
8	04	35 58 54	0.0443	106 26 47	0.0443	1713.37	0.1012
9	10	35 59 26	0.0335	106 28 35	0.0335	1605.44	0.0737
10	09	36 00 20	0.0322	106 27 38	0.0322	1643.31	0.0612
11	13	35 59 12	0.0635	106 24 03	0.0635	1640.36	0.0691
12	02	36 00 58	0.0333	106 29 22	0.0333	1696.16	0.1012
13	06	36 01 44	0.0436	106 26 30	0.0436	1749.26	0.1525

参考文献:

[1] 李壁成. 国际全球卫星定位系统发展动态与趋势[N]. 中国科学报,1996- 05- 20.

[2] 李壁成. 小流域水土流失与综合治理遥感监测[M]. 北京: 科学出版社,1995.

[3] 周忠谟,易杰军.GPS 卫星测量原理与应用[M]. 北京: 测绘出版社,1992.

[4] 潘宝玉,傅文祥,等. GPS 三维信息在山区航测成图中的应用[J]. 测绘通报,1998,(10): 25- 28.

[5] 江声跃.GPS 技术在瑞金市数字化地籍测量控制网中的应用[J]. 测绘通报,1997,(11): 18- 23.

[6] 韩明锋,丁万应.GPS 误差概论[J]. 测绘通报,1999,(5): 4- 7.

[7] 蔡世川.GPS 在军事上的应用[N]. 中国科学报,1997- 10- 07.

[8] 李壁成. 法用 GPS- RTK 技术实时监测世界上最长的斜拉桥[N]. 中国科学报,1996- 09- 04.

《山仑论文集》出版发行

由李锐先生主编的《山仑论文集》(以下简称《文集》)已于 2003 年 9 月由陕西科学技术出版社出版发行。该《文集》共收入了我国旱地农业领域的学术带头人和旱地农业生理研究方向的开拓者,中国工程院院士山仑先生自 1956 年至 2002 年发表的主要学术论文 97 篇。

全书分为论黄土高原综合治理,旱地农业与节水农业研究,作物抗旱生理生态研究 3 个部分,代表了作者 50 年来从事作物抗旱生理与半干旱地区农业科研工作的主要业绩和贡献。对于从事干旱农业、节水农业、生态环境建设的广大科技人员、教学人员、研究生、领导干部有一定参考价值。

《山仑论文集》总计的 80 万字,精装本,定价 100 元,需购者可与吕惠民联系。

联系地址: 陕西省杨凌区中国科学院水利部水土保持研究所

联系电话: 029- 87012872 邮政编码: 712100

5 结论与讨论

GPS 测量不受通视条件的影响,可快速提供测区三维空间信息。在黄土高原地形破碎复杂、交通不便,通视条件较差的条件下,GPS 比传统测量方法工作效率提高 10 倍以上,平面定位精度达亚米级水平,满足大比例尺测图规范要求。这为黄土高原数字流域建设空间数据的获取和更新提供了技术保证。

表 4 平差结果精度分析统计表					
最弱点点位	点位中误差	最弱点高程	高程中误差	最弱边相对	基线平均相对
中误差/m	< 0.1 m 占比例/%	中误差/m	< 0.1 m 占比例/%	中误差/ppm	中误差/ppm
0.1342	92.3	0.1817	61.5	19.1244	9.1286

GPS 测量是数字流域建设的基础工作,基于 GPS 测量成果开发的流域“4D”数字地图产品(数字高程模型、数字正射影象图、数字专题图、数字线划图)经应用结果表明,不仅完全满足土地利用/土地覆被变化等研究与制图,而且与传统的以地形图控制、单张航片调查转绘方法相比,不仅精度和便捷程度大大提高,而且减少了野外工作量,提升了研究水平和创新性。

初步调研认为,用于土壤侵蚀变化动态监测与定量分析研究,其监测精度应达到厘米级水平。据美国、法国等国外资料报道,已有用 GPS- RTK 技术进行地震、大桥形变测量,精度达到厘米-毫米级水平。本次试验仅限于较宏观的流域数字制图,对于流域土壤侵蚀定量监测与预测预报研究,尚待以后进行。