

水土流失定量监测中 GPS 实测更新 GIS 数据的实用方法研究*

卜兆宏¹ 姜小三^{2†} 杨林章¹ 张祖兴³

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

(2 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

(3 水利部海河水利委员会, 天津 300170)

摘要 介绍了 GPS 实测更新 GIS 陈旧处数据的实用方法研究及其在水土流失定量监测中的应用。该方法由 GPS 软硬件接收设备组装的实测仪器、实施实测的要点、实测数据的投影系统转换与对 GIS 陈旧处数据的更新处理等部分组成。它在实测更新土地利用图的应用效果, 与测绘界所采用的 RTK 技术方法比, 更为经济、快速和实用, 而其所定位置和更新的 GIS 数据结果在消除系统误差后则更为可信。它在实验研究区应用表明: 利用原土地利用图和实测更新后的土地利用图所获得的水土流失定量监测的两个结果, 后者的监测精度明显高于前者 7 个百分点; 为提高监测水土流失和水质面源污染量的精度, 必须重视实测、更新变化了的山丘土地利用界线。

关键词 GPS; GIS; 水土流失; 坡耕地

中图分类号 S157 **文献标识码** A

水土流失, 是自然和人为诸多因素综合影响的结果。在水土流失定量监测中, 为使流失进入水域泥沙量的监测精度达到 90% 以上, 除监测模型及其软件应符合水土流失实际规律外, 还应确保用于计算模型因子的资料、图件和由其建立的 GIS(地理信息系统)数据(如数字高程模型 DEM、土壤、土地利用、降雨和植被与作物覆盖率等等)符合当地实际。

随着我国各地经济开发和水土流失治理的力度加大, 新增的公路、铁路、采石弃土区、坡改梯田区、退耕还林草区和毁林草新开荒区, 使原来的局部地形、土地利用现状发生了巨大变化, 并使所建的 GIS 数据变得陈旧而难以符合当地实际。还有, 我国的土地利用现状图中的旱地, 没有区分出坡旱地和平梯旱地, 也是不太符合当地实际的。这些不符合实际的情况, 必然要影响水土流失定量监测结果的精度。因此, 研究出实测更新 GIS 数据的实用方法, 不仅对提高水土流失定量监测的精度是十分必要, 而且对农林水行业专题图的更新也有其广泛实用价值。

自 1994 年美国 GPS(Global positioning system)全

球定位系统进入完全运行状态以来, 其技术理论和应用实践有着飞速发展, 使世界的专业测绘和各行业专题制图发生了重大变革^[1-6]。特别是美国总统颁布 2000 年 5 月 1 日起停止选择性定位能力(Selective Availability, SA)的法令以来, 使 GPS 技术应用更为广泛, 相应 GPS 仪器产品也增多, 有望用更低价的 GPS 接收设备获得定位精度适用的结果^[7-9]。这为我们用 GPS 实测更新包括专题图在内的 GIS 数据, 提供了极好的实验研究条件。

1 GPS 实测更新 GIS 数据的实用方法

1.1 GPS 实测仪器

1.1.1 GPS 实测仪器的选用要求 为使实测更新方法达到实用, 用于 GPS 实测的仪器应同时满足如下选用要求:

(1) 不同时日对同一地物(如公路、楼顶)实测定位的结果有良好的重复性, 且各次定位结果的互差值应 $\leq 0.2''$ (经坐标转换后应 ≤ 5 m)。这要求 GPS 接收机具有随时捕捉到 4 颗以上 GPS 卫星的能力,

* 国家自然科学基金项目(40171060 和 40301047)资助

† 通讯作者

作者简介: 卜兆宏(1940~), 男, 江西于都人, 研究员。主要从事水土流失定量监测方法和遥感应用的研究 E-mail: zhbu@issas.ac.cn

收稿日期: 2004-09-07; 收到修改稿日期: 2005-05-10

而当少于 4 颗时具有及时响铃报警和作标记的功能;

(2) 实测轨迹和原 GIS 图形数据在其屏幕上能叠加显示,以快速引导进入场地实施实测。这要求实测仪器具有 GPS 与 GIS 集成的能力,同时也有利于后续更新 GIS 数据的处理;

(3) 整套仪器应体积小、重量轻,总体积应小于 $20\text{ cm} \times 13\text{ cm} \times 10\text{ cm}$,总重量应 $\leq 500\text{ g}$,以便于一人能轻松携带到野外作业;

(4) 实测操作简单,且只需 1 人就能完成实测作业。其操作程序从开机到关机(实测轨迹数据结果能自动保存)的全过程应简单,使一般文化水平的人都能快速学会和掌握;

(5) 仪器价格应在 1 万元以内,使县、乡级的农林水企事业单位都有推广应用的可能。

1.1.2 GPS 实测仪器的组装 GPS 实测仪器,由 GPS 信号接受天线、信号处理 CF 卡、掌上电脑和 CF 充电卡座组装成。它还需在 Window CE 操作系统下,安装有关硬件驱动程序、GIS-GPS 数据采集与实时记录的软件 ArcPad 和设置 GPS 与掌上电脑之间通讯端口与各项参数。然后,只要启动 GPS 卫星服务和运行 ArcPad 程序,就可进行 GPS 卫星捕捉和实施实测了。当捕捉卫星数目达 4 个以上时,实时显示天线的经纬度、高程、时间等数据,并能以 shape file 格式自动保存在记录轨迹 Trackinglog 文件中。它还能标记并输入地物编号和属性等。组装后的 GPS 实测仪器,可利用 ArcPad 软件任意查询路径、距离、长度、多边形的面积等,还能直接与笔记本电脑或普通台式计算机通过 USB 或 COM 端口相连接,可用现行的 GIS 软件对野外实测的记录轨迹文件作进一步的处理。

1.2 GPS 实施实测的要点

1.2.1 GPS 实施实测前的准备 实测前的准备工作主要有三项:一是检验所组装的 GPS 实测仪器的定位精度;二是将更新场地的 GIS 数据(如等高线图、土地利用图等)转换为以经纬度表示的 WGS-84 坐标,并输入到 GPS 实测仪器中;三是确定实测更新的区域和界线。

为检验 GPS 实测仪器的定位精度,应选择有已知 WGS-84 经纬度坐标的且无遮蔽的点(如楼顶)和线(如公路)上进行。在点上进行检验时,先将 GPS 的外连接天线头固定在楼顶,然后在室内连续开机 8 h,观察所显示的红色、蓝色和黑色的卫星数,以及该点的经、纬度坐标数据轨迹记录。一般说来,黑

色卫星愈多时,解算出的经、纬度坐标数据愈接近该点的真值,其位置精度衰减因子(PDOP)应为 2~4。在线上检验时,可将 GPS 接收天线头(有磁力)固定在汽车的车顶或在人的帽顶,当开机显示有 4 颗以上黑色卫星后,以正常车速或步行速度分别沿公路往返实测 5~10 km 后,保存轨迹记录和关机。在线上检验,最好选择不同时日做 3 次。最后,将点和线上的所有轨迹记录回放在微机,就可评价 GPS 实测仪器的重复互差值和定位精度了。按上述方法,我们对组装的 2 套 GPS 实测仪器进行了检验,其重复互差值最大为 4 m,定位精度为 8 m,但其精度存有可消除的东移 60 m 的系统误差。

在将更新场地的 GIS 数据转换为 WGS-84 经纬度坐标时,最好加入 GPS 仪器的系统误差,以便于实测现场对照比较。

可实行“3S”有效结合,将较新的经校正的 RS 遥感数据与 GIS 专题图数据叠加显示,以发现和确定 GPS 实测更新的区域。需要实测更新的界线,则按项目的目标来确定,如在水土流失定量监测中,主要实测更新的是新老坡耕地与荒山林草地、水平区域(水田、村镇、路和水面等)三者之间的界线,同时也实测采石开矿弃土区的界线。

1.2.2 GPS 实施实测的要点 在完成实测前的准备后,就可到更新场地实施实测了。在更新场地用 GPS 实施实测的操作要点有:(1)将外接天线头固定帽顶和按下开机按钮后,依次要点击“程序”、“GPS-LP Server”、“ArcPad”和“GPS Position Window”、“GPS Active”,直到定位窗口显示有 4 颗以上黑色卫星且经纬度数据稳定和 PDOP 值在有效范围内时,才能打开要更新的 GIS 数据图形和实施实测;(2)当要自动记录下实测轨迹时,务必要点击“GPS Trackinglog”使它的标识符也显示为红框。反之,再点击它去除红框,则为不保存轨迹点数据;(3)当听到响铃时,务必看显示屏。若属少于 4 颗星的响铃,应停止行走,并作标记后再继续行走实测。若是“电源不足”的响铃显示,应在 30 min 内务必结束实测和按住开机按钮而关机,在此时限内实测,为省电应关闭 GIS 数据图形和减小响铃声;(4)回到住地或到有照明电源处,应及时用 CF 卡座充电器给 GPS 实测仪器充电,以避免其电源耗尽而丢失实测数据。

1.3 GPS 实测轨迹数据的投影转换

1.3.1 GPS 实测轨迹数据的导出 完成实测区域所有野外作业后,需将自动记录下的实测轨迹文件从 GPS 仪器中导出。导出的方法是,将 GPS 仪器

处于充电状态,并将充电器中的 USB 插头与微机的 USB 插口连接,当达到“已同步连接”时,要点击“我的电脑”中的“移动设备”后,显示出 GPS 仪器中的所有文件;将其中的“Tracklog.shp 和-.dbf、-.prj、-.shx”四个同名不同后缀的文件复制到适当的目录中,则完成 GPS 实测轨迹数据的导出。

1.3.2 GPS 实测轨迹数据的投影转换 导出的 GPS 实测轨迹数据为 WGS-84 表示的经纬度,需投影转换到以 m 表示的 Beijing-54 坐标。投影转换时,最好使用 ArcToolbox 中的“Project Wizard (shapefile, geodatabase)”工具,按其提示操作,可将 Tracklog.shp 快速转换为 Beijing-54 坐标的 *.shp 格式的 GPS 实测数据文件。

1.4 用 GPS 实测数据对 GIS 数据的局部更新处理

1.4.1 消除 GPS 实测数据系统误差处理 当 GPS 实测仪器存有系统误差时,在更新处理前应消除 GPS 实测数据的系统误差。消除其系统误差的方法,有两种:一种是在投影转换前,用 Excel 通过对 Tracklog.dbf 文件的经纬度值的运算后另存为新的 *.dbf 文件,并用 ArcMap 的 Tools“Add XY Data”打开该文件和将其存为 *.shp 格式加以解决,相对较简便。另一种是在投影转换后,先将 *.shp 格式的 GPS 实测数据点文件用 ArcView 变换为 2 m×2 m 栅格文件,再用 ArcGIS 的 ArcTools 模块,将栅格的文件变换为 ASCII 码的文件;然后,用从 Arc 到图像的专用软件将 ASCII 码的文件变换为纯图像和图像文本的两个文件,只需在图像文本文件中的最小、最大值中或增或减系统误差值(以米为单位)就可解决;最后,利用改正过的图像文本文件和纯图像文件,逆向变换为在 ArcView 中可观察的消除了 GPS 实测数据系统误差的 2 m×2 m 栅格文件。

1.4.2 对 GIS 图形界线的更新处理 利用消除了仪器系统误差和做了投影转换的 GPS 实测轨迹点的数据文件或其 2 m×2 m 栅格文件,就可对 GIS 的图形界线进行更新处理。首先,用 ArcView 或 ArcMap 将实测轨迹点文件和原 GIS 图形界线叠加显示,并完成将实测轨迹点连接成新的各类型图斑和赋以类别属性的更新编辑。然后,将更新编辑结果变换为与原 GIS 图形界线的栅格(10 m×10 m 或 30 m×30 m)图像相同行列数的实测更新栅格图像及其 ASCII 码的文件、纯图像和图像文本的两个文件。最后,用图像处理软件系统将实测更新的纯图像和图像文本的两个文件与原 GIS 图形界线的纯图像和图像文本的两个文件进行逻辑运算的结果,就

实现了对 GIS 图形界线的更新处理。若要将更新处理结果在 ArcView 或 ArcMap 中显示,则只需对逻辑运算的结果做逆向格式变换。

1.4.3 对 GIS 地形变化的更新处理 从固定点检验 GPS 实测仪器在不同时间所显示的高程看,其变化范围较大,重复性、稳定性或可靠性都较差,故在对 GIS 地形变化更新处理时,不能采用 GPS 实测轨迹记录的高程数据。为实现地形变化的更新处理,需用 ArcView 或 ArcMap 将完成 GIS 图形界线更新处理的结果图和原 GIS 的地形等高线图、高程点位图叠加显示,凡在野外标记地形变化了的图形,仍取图形界线与原等高线相交的高程值为准,而图形界线内的地形则依界线各交点的高程进行地形编辑,并且依据图形的地形编辑对原高程注记点的高程进行更新。最后,利用地形更新后的等高线图和 高程点位图,运行有关构建软件,获得更符合当地地形实际的数字高程模型 DEM^[10]。

2 应用结果与讨论

2.1 GPS 的应用与结果

2.1.1 应用区与实测更新应用简况 GPS 实用方法的实测更新应用区,选择在地跨江苏省南京溧水县和镇江句容市的方便水库流域,面积 76 km²。该流域内有沟谷平原、岗地、丘陵和低山,高程变化于 25~293 m,其地形在苏南甚至全江苏很具代表性。流域内土壤平原多为各类水稻土和少量潮土,山丘有各种黄棕壤和紫色土、棕色石灰土,土壤中含石英砂粒极少。山丘林草覆盖率较高,但前些年有在林草地中开荒的严重现象,尤其是两县市的边界山区,使土地利用发生了巨大变化。该水库库容 2 285 万 m³,是溧水县城十几万人的自来水水源地,确保库容和水质十分必要。2002 年起,江苏省水土保持办公室特将该流域确定为苏南水土保持的监测点,在其主要产沙的小流域建有 3 个水文观测站点。

该流域的 GIS 数据,有用 1:5 万地形图、土壤图和 1:1 万土地利用图及降雨资料等编辑、运算获得的各类矢量数据图形和 10 m×10 m 的各类栅格图(如 DEM)等。它们与经校正的 1999、2000 和 2001 年 TM 遥感数据叠加显示,发现山区林草地明显减少,需要用 GPS 实测更新。

2002 年 11 月,至少有 4 人参加的由省水土保持办公室组织的 GPS 野外实测队伍,在主要产沙的小流域上游山区和新公路,首次使用 30 多万元的差分

GPS 仪的 RTK 技术,从引大地点坐标、建基准站到完成 4.76 km² 的野外土地利用大类的实测,费时 6 d。因实测点偏少,室内编辑的更新图形界线明显失真,需参考遥感影像更动。顾及到 GPS 仪器沉重与价格高、必须参与人太多和实测更新效果不佳,认为此次实测更新远未达到实用。

在研究出 GPS 实测更新 GIS 数据的实用方法以后,为使该流域的 GIS 数据符合实际,2004 年 6 月在其主要产沙的整个 8.62 km² 小流域和所有公路进行了实测更新应用,参与野外实测 2 人,历时 6 d,室内更新 GIS 数据的处理 5 d,获得较为快速准确的实测更新结果。整个应用过程较为轻松。

2.1.2 应用结果 应用结果有直接应用结果和间接应用结果。直接应用结果主要是更新了产沙小流域的土地利用图(图 1),并获得近几年该小流域上游和整个产沙流域的土地利用变化(表 1)。其流域界线也是此次 GPS 依据灌渠、堤埂和公路边沟实测结果做了更新,比原来单纯依赖地形图划的界线更符合水流实际。同时,对其下游 2003 年冬季新开河道和填河的水田,及 2000 年以来该水库流域新修的水泥公路,也做了实测更新。利用上述实测更新图,对全流域的土地利用图、水系图和交通图的原 GIS 数据做了更新。因 2003 年的地形与原地形图没有明显变化,故不必作地形更新。

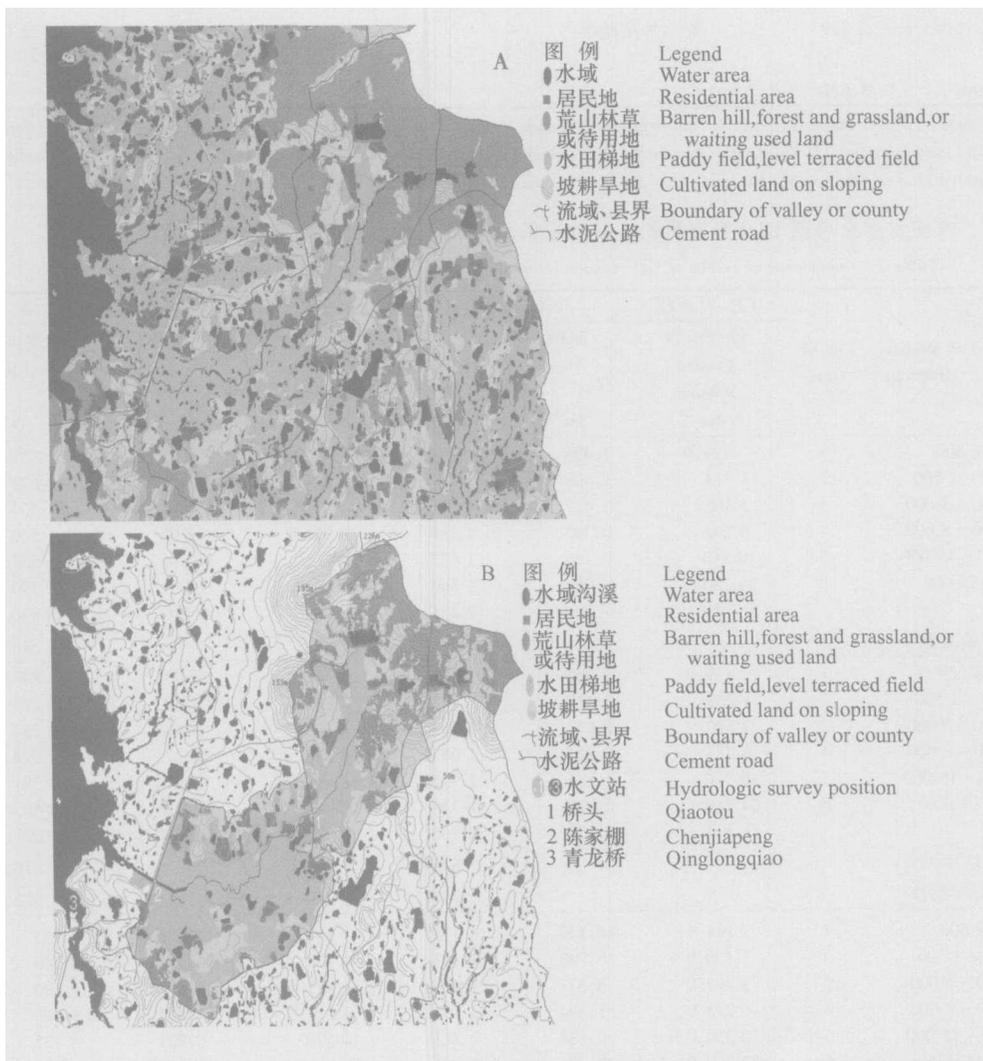


图 1 方便流域主要产沙的小流域原土地利用图(A)和 GPS 实测更新后的土地利用图(B)

Fig.1 Comparison of maps of land use in research area between the old map (A) and renew map (B) by GPS

间接应用结果,是将 GPS 实测更新 GIS 数据后应用于水土流失定量监测所取得的结果。表 2 中列有 GPS 实测更新 GIS 数据前后的全流域和各小流域

的监测结果,并通过与水文站实测的泥沙比作出了监测精度的评价。此外,还有水质面源污染量的监测结果。

表 1 主要产沙流域 1996~2004 年间的土地利用变化

Table 1 Change of land use in area of chief soil loss from 1996 to 2004

1996 年的司河上游小流域土地利用图 Map of land use of upper valley of Si stream in 1996		2004 年 GPS 实测更新的土地利用图 Map of land use renewed by GPS in 2004		变 化 Value of variety	
地 类 Types of land use	面积 Area (km ²)	大地类 Simplified types of land use	面积 Area (km ²)	来源/去向 Source/trend	增/减 Increase/reduce (%)
水域、水田、村镇、公路等 ^①	1.087	水平耕地、水泥路等 ^④	1.108	旱坡地改造 ^⑦	+ 1.93
旱地、果园、茶园、砖场等 ^②	1.042	旱作坡地 ^⑤	1.898	林草地开荒 ^⑧	+ 82.15
草地、针阔叶林、疏林、竹园、未用地等 ^③	2.627	荒山林草地等 ^⑥	1.750	旱作坡地 ^⑤	- 33.38
小流域总面积 Total area	4.756		4.756		

1996 年的司河流域土地利用图 Map of land use of Si-stream valley in 1996		2004 年 GPS 实测更新的土地利用图 Map of land use renewed by GPS in 2004		变 化 Value of variety	
地 类 Types of land use	面积 Area (km ²)	大地类 Simplified types of land use	面积 Area (km ²)	来源/去向 Source/trend	增/减 Increase/reduce (%)
水域、水田、村镇、公路等 ^①	3.949	水平耕地、水泥路等 ^④	4.004	旱坡地改造 ^⑦	+ 1.40
旱地、果园、茶园、砖场等 ^②	1.873	旱作坡地 ^⑤	2.715	林草地开荒 ^⑧	+ 44.95
草地、针阔叶林、疏林、竹园、未用地等 ^③	2.799	荒山林草地等 ^⑥	1.902	旱作坡地 ^⑤	- 32.05
整个流域总面积 Total area	8.621		8.621		

① Water area, paddy field, village, highway, etc; ② Non-irrigated farmland, orchard, tea garden, brick field etc; ③ Grassland, mixed forest, sparse woodland, bamboo garden, no used land etc; ④ Level cultivated land, cement highway, etc; ⑤ Cultivated land on sloping; ⑥ Barren hill, woodland, lawn, etc; ⑦ Transform from cultivated land on sloping; ⑧ Reclaim wild land from woodland and lawn

表 2 方便水库全流域 GPS 实测更新 GIS 数据前后 2003 年的水土流失定量监测结果比较

Table 2 Comparison of results of GIS's datum renewed by GPS before and afterwards in 2003

流域名称 Name of valley	部颁标准 Standard of Ministry of Water Conservancy (t km ⁻²)	级别 Grade	GPS 更新前 Before renewed			GPS 更新后 After renewed		
			侵蚀模数 Erosion Modulus (t km ⁻²)	面积 Area (km ²)	流失量 Soil losses (t)	侵蚀模数 Erosion Modulus (t km ⁻²)	面积 Area (km ²)	流失量 Soil losses (t)
司河上游 Small valley Of Si stream	< 500 500 ~ 2 500 2 500 ~ 5 000 5 000 ~ 8 000 8 000 ~ 15 000 ≥ 15 000	1 2 3 4 5 6	191.9 1 214 3 562 6 290 10 540 24 780	2.496 1.408 0.427 0.205 0.154 0.067	479 1 709 1 521 1 289 1 623 1 660	191.6 1 203 3 530 6 324 10 800 25 360	2.413 1.391 0.443 0.215 0.184 0.110	462.3 1 673 1 564 1 360 1 987 2 790
总计 Total			1 741	4.756	8 281	2 068	4.756	9 836
上游 Upper	水文站实测 ^①				546.0			546.0
司河整个 流域 All valley Of Si stream	< 500 500 ~ 2 500 2 500 ~ 5 000 5 000 ~ 8 000 8 000 ~ 15 000 ≥ 15 000	1 2 3 4 5 6	159.3 1 209 3 520 6 273 10 510 24 660	5.065 2.417 0.622 0.265 0.181 0.070	806.8 2 922 2 189 1 662 1 902 1 726	170.1 1 203 3 495 6 270 10 760 25 160	4.983 2.392 0.645 0.275 0.212 0.115	847.6 2 878 2 254 1 724 2 281 2 893
总计 Total			1 300	8.620	11 208	1 494	8.620	12 288
下游 Lower	水文站实测 ^① 监测入库泥沙 ¹⁾				678.8 738.6			678.8 682.0
方便水库全 流域 All Valley of Fangbian Reservoir	< 500 500 ~ 2 500 2 500 ~ 5 000 5 000 ~ 8 000 8 000 ~ 15 000 ≥ 15 000	1 2 3 4 5 6	144.4 1 179.0 3 487.0 6 233.0 10 520.0 23 320.0	44.149 16.700 3.877 1.494 0.888 0.321	6 375 19 680 13 520 9 312 9 342 7 486	144.3 1 178 3 483 6 236 10 570 23 430	44.056 16.676 3.902 1.507 0.921 0.367	6 357 19 640 13 590 9 398 9 735 8 599
总计 Total			863.5	76.101	65 715	884.6	76.101	67 319
	监测入库泥沙 ²⁾				3 982			3 716

1) 监测入库泥沙量 = (司河上游水文实测值/上游监测流失总量) × 司河流域流失总量 Soil losses of small valley monitored into reservoir = (losses observed by upper hydrologic station / monitored total losses of upper valley of Si-stream) × monitored total losses of the valley of Si-stream; 2) 全流域的监测入库泥沙量 = (司河下游水文实测值/其监测流失总量) × 全流域流失总量 Soil losses of all valley monitored into reservoir = (losses observed by lower hydrologic station / monitored total losses of valley of Si-stream) × monitored total losses of all valley; ① Losses observed by hydrologic station

2.2 讨论

2.2.1 GPS 实用方法的精度 GPS 实测点位的精度,关系到该实用方法能否确立,有无应用价值的关键问题。为讨论精度问题,我们特从车载 GPS 实测宽 4 m 公路的点位图和人持 GPS 实测土地利用界的点位图中分别输出了窗口图(见图 2 和图 3)。图中用黑三角表示的是国内外公认准确的差分 GPS(即 DGPS,国外产品)的实时动态测量(RTK)技术的实测点位,其中有个别 DGPS 的点位,因路边树遮挡基准台信号“失锁”而远离了公路。我们组装的 1 号(点位以黑字符表示)和 2 号(点位以圆符号表示)GPS 仪的实测点,主要靠接收天上 GPS 卫星(一般可捕捉到 5~7 颗)信号而不受路边树的影响,它们在不同时日有 4 次的公路实测点,皆有很好的稳定性和重复性,不同次的点位差都小于 4 m。如果与几何校正的 TM 遥感图像上的公路影像比,则 GPS 仪

实测的点位比 DGPS 仪 RTK 的实测点位好。在图 3 中黑三角 3 是基准点,3 与 4 和 1 与 2 的连线为小水库的库坝,它们与 GPS 仪相应的实测点(详见其连线附近的 GPS 实测点)的差距为 8 m。从上述两种 GPS 仪实测点位的比较表明:该方法的实测点位精度较为可信,完全能满足水土流失定量监测和农林水制图的要求,尤其能满足以卫星遥感像元(边长 10~30 m)为基础的定量监测的要求。

虽然理论上 DGPS 的实测点位精度因能消除 SA 干扰、电离与对流层延迟、多路径和时钟差等引起的 3~100 m 的误差而被公认为最高(可达 cm、mm 级)^[11],但在实际上用 DGPS 的 RTK 实测时,往往因顾及基准站信号接收、工作量等而导致点数少和位置不合适(详见图 3 的黑三角),很难依据实测点位编辑出符合实际的更新利用界线。正是 DGPS 的这个缺点,才迫使我们不得不研究精度更好、速度更快而较为实用的 GPS 实测更新方法。

2.2.2 GPS 实用方法的应用前景 从其直接应用的各项结果,尤其土地利用图的 GIS 更新结果表明,用 GPS 仪自动记录的实测轨迹点(线)由于点位多、连线形状真实和较少遗漏,较易编辑和更新出符合实际的结果图(详见图 3 和图 1B),具有比用 DGPS 的 RTK 实测更新的结果更真实和更高精度的特点。

从其应用于实测更新的全过程看,由于组装 GPS 重量特轻、只需一人操作、无需建基准站和受电波环境干扰小等,使整个实测实施比 DGPS 更为轻松、快速,尤其是其操作简单到能让当地农民快速掌握,突显了实用方法的快速、实用的特点,是 DGPS 所不具备的。

再从其仪器购置或组装费、实测更新实施费和差旅费的开支看:组装 GPS 在万元以下,比 DGPS 的购置费少 1/20~1/40;实测更新实施和差旅费,前者(因只需 1~2 人)则为后者的 1/3~1/6,而实施实测更新的面积(表 2)却是后者的 1.8 倍。因此,该方法具有更为经济的特点。

GPS 实用方法所具备的这些经济、快速、实用和满足农林水制图更新的精度要求的特点,使它有着比 DGPS 的 RTK 技术更为广泛的应用前景。

2.2.3 水土流失定量监测必须实测更新土地利用图 从表 1 可知,从 1996 年以来土地利用的变化是很大的,尤其是山丘区的林草地大幅减少,坡耕地面积则增加 82%,这必然要导致水土流失的各级面积和土壤流失量的剧增。表 2 的左右两边的流失面

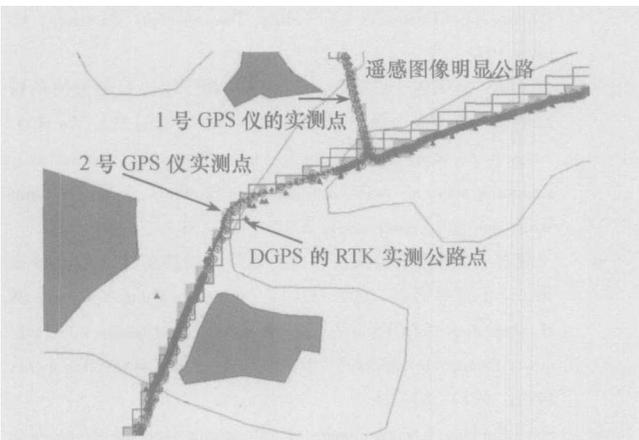


图 2 GPS 和 DGPS 实测公路的点位比较

Fig.2 Comparison of position of roads points between by GPS and by DGPS



图 3 GPS 和 DGPS 实测土地利用界的点位比较

Fig.3 Comparison of position of points on boundary lines between by GPS and by DGPS

积、流失量(特别是极强度以上的5和6级)差异达20%~68%,就反映了GPS实测更新前、后的这种流失变化的实际。通常,在上下游含石英砂极少或相同的土壤区,当水文站的实测泥沙数据和定量监测的流失量都准确时,其上下游的悬总比^[12]数值应基本相同。小流域流失总量在更新前、后的变化,必然导致用水文站实测泥沙数据计算上、下游的悬总比数值差异较大,从而使司河流域更新前的定量监测结果的精度为91.9%,而更新后的精度则为99.5%。同时,也因更新前下游的悬总比必然大于更新后的悬总比,使全流域入库泥沙的估算偏高。因此,为提高水土流失定量监测结果的精度,必须重视用GPS实测山丘变化了的土地利用界线 and 更新原土地利用图的GIS数据。

为更新土地利用界线,“3S”结合中的遥感RS只能在确定重点更新区时发挥作用,由于受RS的接收时物候影响,再高分辨率的RS也难以把坡耕地界线划准确,尤其是当作物与林草都在生长旺盛期。当然,在用GPS实测时也应选择作物换茬后的15天内或冬季,否则会影响实测效率。为防止坡耕地旁的密林遮蔽GPS信号,制备一个轻便的能拉高到4~5m长的拉杆(其上端装有用以吸放GPS仪的接收天线头小铁片),可提高林区GPS实测效果。

3 结论

基于上述实验研究,可得出如下结论:

1) 由组装GPS实测仪、实施实测要点、实测数据转换和更新GIS数据处理等四个部分组成的实测更新方法,具有经济、快速、实用和满足农林水制图更新的精度要求的特点,有着比DGPS更为广泛的应用前景;

2) 为提高监测水土流失和水质面源污染量的精度,必须重视实测、更新变化了的的山丘土地利用界线;

3) GPS实测更新GIS数据的实用方法,是我们定量监测水土流失的新方法之一。

参考文献

[1] 李德仁. 论RS, GPS与GIS集成的定义、理论与关键技术. 遥

感学报, 1997, 1(1): 64~68. Li D R. On definition, theory and key techniques of the integration of GPS, RS and GIS (In Chinese). *Journal of Remote Sensing*, 1997, 1(1): 64~68

- [2] 徐冠华, 田国良, 王超, 等. 遥感信息科学的进展和展望. 地理学报, 1996, 51(5): 385~397. Xu G H, Tian G L, Wang C, et al. Remote sensing information science progress and prospect (In Chinese). *Acta Geographica Sinica*, 1996, 51(5): 385~397
- [3] 周忠谟, 易杰军, 周琪. GPS卫星测量原理及其应用. 北京: 测绘出版社, 1997. Zhou Z M, Yi J J, Zhou Q. Principle and Its Application of GPS Measured by Satellite (In Chinese). Beijing: Survey and Drawing Press, 1997
- [4] 王爱朝, 张琰. GPS动态定位的初始化. 测绘通报, 1994, 6: 3~5. Wang A C, Zhang Y. Beginning initialization of dynamic position by GPS (In Chinese). *Journal of Survey and Drawing*, 1994, 6: 3~5
- [5] Hofmann B, Lichtenegger H, Collins J. GPS Theory and Practice. New York: Springer-Verlag Wien Press, 1992
- [6] Erickson C. Investigations of C/A code, and carrier measurements and techniques for rapid static GPS surveys. Publication No. 20044, Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary. Alberta: 1992
- [7] 赵永军, 巫明强, 张瑞珍, 等. GPS应用于水土保持监测的精度测试. 中国水土保持, 2001, 3: 30~31. Zhao Y J, Wu M Q, Zhang R Z, et al. Test of the precision of the GPS application in monitoring water and soil conservation (In Chinese). *Journal of China Water and Soil Conservation*, 2001, 3: 30~31
- [8] 王晓栋, 崔伟宏. 包头市郊区土地资源动态监测中的GPS应用. 国土资源遥感, 1999, 39(1): 20~24. Wang X D, Cui W H. Application of GPS in dynamic monitoring land resource at a suburb of Baotou (In Chinese). *Remote Sensing for Land & Resources*, 1999, 39(1): 20~24
- [9] Shen Rumping, Kheoruenromne. I. Monitoring land use dynamics in Chanthaburi Province of Thailand using digital remotely sensed images. *Pedosphere*, 2003, 13(2): 157~164
- [10] 卜兆宏, 王库, 杨林章, 等. 水土流失定量监测中的DEM精度评价新方法. 土壤学报, 2004, 41(5): 661~668. Bu Z H, Wang K, Yang L Z, et al. New method for accuracy evaluation of DEM (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(5): 661~668
- [11] 林永贤. 全球定位系统(GPS)及其在水土保持中的应用. 福建水土保持, 2000, 12(1): 54~57. Lin Y X. GPS and its application in monitoring water and soil conservation (In Chinese). *Journal of Fujian Water and Soil Conservation*, 2000, 12(1): 54~57
- [12] 卜兆宏, 孙金庄, 董勤瑞, 等. 应用水土流失定量遥感方法监测山东全省山丘区的研究. 土壤学报, 1999, 36(1): 1~8. Bu Z H, Sun J Z, Dong Q R, et al. Study on quantitative remote sensing method for soil erosion losses and its application in Shandong Province (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1999, 36(1): 1~8

THE EXPERIMENT OF OPTIMUM METHODS OF RENEWING GIS'S DATA BY GPS SOLID SURVEY IN THE SOIL EROSION FIXED QUANTITY MONITORING

Bu Zhaohong¹ Jiang Xiaosan^{2†} Yang Linzhang¹ Zhang Zuxing³

(1 *Institute of Nanjing Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

(2 *College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agriculture University, Nanjing 210095, China*)

(3 *Tianjing Haihe Water Conservancy Commission, Ministry of Water Resources, Tianjing 300170, China*)

Abstract This paper introduces how to use GPS on-the-spot survey to update outmoded GIS data in quantitative monitoring of soil erosion. This method involves field survey instruments composed of GPS software and receiving equipment, outline for field survey, conversion of projection of measured data, and updating of outmoded GIS data. In comparison with the RTK technology commonly used in the mapping circle to update land use maps, it is more economical, quicker and more practical, and moreover, its position finding and updated GIS's data are more reliable after systematic errors are eliminated. The result in the experimental area indicated that the precision of monitoring soil erosion quantitatively was increased 7 percent, comparing the updated land use maps by GPS to the old maps. For increasing the precision of monitoring soil erosion and water quality from non-point source pollution, it is attached to update the changed boundary of the land use maps on hill or massif by GPS on-the-spot.

Key words GPS; GIS; Soil loss; Land cultivated on sloping