

## 基于 3S 集成技术的土壤侵蚀图野外校核<sup>①</sup>

潘贤章, 梁音\*, 李德成, 孙波, 罗明, 赵其国

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

**摘要:** 本文实现了基于 3S 集成技术的土壤侵蚀图野外校核, 即以越野车为平台, 应用 GPS 实时定位技术, 在 GIS 桌面系统的支持下, 借助遥感图像开展野外调查。该方法定位快速、准确, 实现了行进途中的不间断工作, 并将调查结果以全数字格式存储, 方便后续工作, 且可适应点、线和面等不同类型的野外调查, 因而具有很强的适应性和可扩展性。该方法对土壤调查以及其他野外工作具有较高的应用价值。

**关键词:** 土壤侵蚀; 制图; 野外校核; 3S 技术; 土壤调查

**中图分类号:** S127; S159.2

土壤侵蚀图野外校核是土壤侵蚀制图的一个必要过程, 也是土壤侵蚀调查的重要内容, 隶属于土壤调查范围<sup>[1]</sup>。传统的土壤调查一般被认为是经验性的工作, 是调查人员依据专业知识, 在综合考虑土壤性质、母质、地形、植被等因素之间关系后对土壤类型进行推断的过程<sup>[2]</sup>。土壤侵蚀图校核的核心也是在野外基于多种环境条件对土壤侵蚀类型进行推断的过程。除此之外, 土壤侵蚀图校核还包含野外定位、图斑类型比对以及图件修改存档等。早期的野外定位主要是依据地形图或者航片, 根据河流、道路、村庄、地形以及其他明显地物确定当前位置所在, 定位精度较低, 效率也不高。在检查侵蚀图斑时, 虽然依据既有的知识可以对土壤侵蚀类型进行判定和对比, 但是对于图斑界线则很难确定。对图斑的修改直接在纸质图上进行, 对野外状况的记录也主要使用纸质媒介, 难以及时形成数字式文档。因此, 传统的校核方式工作效率低下, 信息获取能力不高。

随着科学技术的进步, 这种低效率的野外调查模式正在得到不断改进, 特别是 3S (RS, GIS 和 GPS) 技术的应用有效地提高了野外调查的效率。O'Connell 和 Ryan<sup>[3]</sup>利用差分 GPS (DGPS) 进行土壤样品采样点定位, 改进了森林土壤调查方案和技术。Mulders<sup>[4]</sup>在综述了应用 RS 和 DEM 数据进行山区土壤调查的进展后, 指出 RS 技术和 GIS 方法应用在土壤调查中已经成为一个公认的方法。我国于 1999 年开始的国家 973 项目“土壤质量演变规律与持续利用”, 采用 RS 和

GPS 技术相结合的方法进行大规模野外采样<sup>[5]</sup>。

土壤侵蚀研究也很早就应用 RS 和 GIS 技术开展工作<sup>[6-8]</sup>, 结合了 GPS 技术的土壤侵蚀调查也得到了广泛应用。Cheng 等<sup>[9]</sup>使用高精度 GPS 测量黄土高原侵蚀沟参数研究侵蚀沟的形态学特征。Ramos 等<sup>[10]</sup>使用 GPS 监测坡地上由于土壤侵蚀引起的橄榄树移动情况, 并建立橄榄树移动距离和坡度的关系。刘凤飞等<sup>[11]</sup>使用野外静态 GPS 技术, 结合遥感图像和 GIS 技术对黑龙江土壤侵蚀状况进行了研究。林敬兰等<sup>[12]</sup>应用 GPS 进行野外样区定位, 并建立遥感图像解译标志, 进行福建全省土壤侵蚀调查。虽然很多野外工作都使用了 GPS 技术, 但是大多数都是基于静态 GPS 定位技术, 而其具有优势的实时定位技术并未得到充分发挥。此外, 现代信息技术如何有效集成并应用于野外调查工作中还需要更多的研究。

本研究以江西省土壤侵蚀图野外核查为例, 建立了基于实时 GPS 技术并集成应用 RS 和 GIS 技术的土壤侵蚀野外调查方法, 使野外工作更加快速和准确, 并能够实现行进途中的连续工作; 可将填图结果以数字格式保存, 方便后续工作; 而且可以适应点、线、面等不同目的的野外调查任务, 从而多方面提高野外工作效率, 因而具有很重要的实际应用价值。

### 1 研究思路

土壤侵蚀图野外校核的目的是通过实地比对, 发现和改正初期制图错误, 并建立更加完善的解译标志,

<sup>①</sup>基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目 (2005CB121108 和 2007CB407206) 资助。

\* 通讯作者 (yliang@issas.ac.cn)

作者简介: 潘贤章 (1965—), 男, 安徽肥东人, 副研究员, 主要从事遥感和 GIS 技术应用研究。E-mail: panxz@issas.ac.cn

以便返回修改原图。基于 3S 集成技术的野外校核方法则可提高效率。该方法以越野车和相应的信息获取及处理硬件系统为平台,在 GIS 软件系统上实现多种信息集成。研究思路是,以已定位的遥感图像和扫描地形图为底图,利用 GPS 实时动态定位信息,与初期解译的矢

量图叠加,在 GIS 系统中实现多种信息的实时和同时显示。调查人员则可现场比对和修改图斑类型,并实时记录有关信息(图 1)。该方法首次应用于江西省土壤侵蚀图校核工作中,此后应用于浙江和福建土壤侵蚀考察中,获得成功,并得到不断改进。

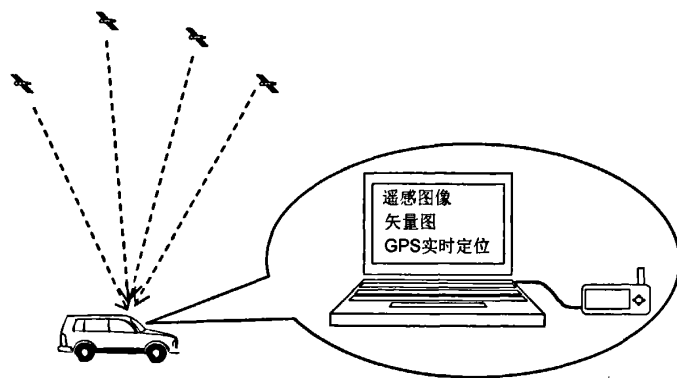


图 1 基于 3S 技术的土壤野外工作方法示意图

Fig. 1 Sketch map of the integrated real-time GPS, RS and GIS technology for fieldwork

## 2 研究材料与方法

### 2.1 软、硬件系统的构成

野外调查所需的硬件设备包括:野外用车、笔记本电脑、手持式 GPS 接收机、车载电源系统以及相关的连接线等。野外用车作为野外工作的移动平台,是大范围路线调查的必备工具,也是实现行进途中不间断工作的必要条件,因此,宽敞和稳定的车体可以保障野外工作的顺利开展。笔记本电脑因其具有方便携带的特点,经常作为野外调查的首选工具,本调查使用性能较高、能够稳定运行 ArcMap 和相关图像处理软件的 IBM 笔记本。GPS 接收机是实现本调查方法的核心组件,对其性能的要求则依野外调查类型的不同而不同,对于大比例尺制图类的野外工作要求米级的空间定位,可以选用差分 GPS 仪,而对于校核和路线踏勘类的野外工作,则选用性能较好的手持式 GPS 接收机已经能够满足要求。本研究使用 GARMIN 公司 etrex 系列中 SUMMIT 型号的手持式 GPS 接收机,水平和高程定位都比较精确。在商业 GIS 软件中, ArcMap 9.0 是一个成熟的、界面友好的桌面 GIS 软件系统,它不仅提供矢量和栅格图像处理的功能,而且提供实时 GPS 工具,可以实现多种类型数据的叠加显

示和编辑,因此本调查选择 ArcMap 作为 GIS 处理软件。

### 2.2 数字图件的准备

数字图件的准备包括地形图的扫描数字化、扫描图畸变校正和遥感图像的几何校正等。地形图使用 300 DPI 的分辨率进行扫描,由于仪器性能老化以及扫描进纸不均造成扫描图畸变,因此扫描后进行畸变校正<sup>[6]</sup>。畸变校正后,利用地形图的公里网格信息在 ArcMap 系统中进行定位。我们一般取 12 个点,用一次多项式进行拟合。定位后进行定位精度的判定,如果误差 $>10$  m,则重新定位。遥感图像的几何校正使用专业图像处理软件系统完成, ArcMap 也辅助用于图像校正。遥感图像校正采用图像对地图(image to map)的方式进行,校正后的遥感图像具有和地形图相同的投影坐标系。

本次核查时间是 2005 年 8 月,采用的土壤侵蚀解译图是 2001—2002 年遥感图像的解译结果。由于解译图采用 shape 文件格式,所以可以直接在 ArcMap 中使用,但是坐标系统与 GPS 有差异。该矢量图、数字化地形图和遥感图都采用北京 54 坐标系,而 GPS 采用的是 WGS84 坐标系,因此, GPS 定位信息和解译图以及遥感图像套合时需要进行不同坐标系之间的转

换。

坐标系之间的转换主要针对 GPS 数据进行, 一般采用两种方法: 一是从当地测绘部门获取转换参数, 直接在 GPS 接收机中进行坐标转换设定, 获得的 GPS 定位信息和图像套合效果最好, 但是转换参数较难获取; 另一种方法是根据实际差异进行估算。由于 GPS 路线图和遥感图像上道路之间存在位移, 而这种位移可以通过一些实际 GPS 数据计算出来, 因此, 我们通过少量的预工作来确定 GPS 接收机的坐标转换参数。

2.3 GPS 接收机和 PC 连接

手持式 GPS 接收机具有实时显示经纬度的功能, 然而早期的野外调查很少在行进中使用该项功能, 主要原因是 GPS 动态定位信息没有很好地集成到 GIS 系统中。随着 GIS 软件技术的发展, 这个问题已经得到解决。本文以 SUMMIT 型号的 GPS 接收机为例来说明如何在 ArcMap 系统中调用实时的 GPS 信息。

首先将 GPS “输入/输出” 项设置为 “RTCM/NMEA” 实时传输模式。然后运行 ArcMap 的 GPS 工具, 人工设置相应的 COM 口、传输波特率、坐标系统的 DATUM 以及其他参数。此后, GPS 接收到定位信息后, 就会以点的形式显示在 ArcMap 图层中, 当电脑移动时, 定位信息会实时更新, 以不同的点显示出来。

2.4 设备调试和野外调查

大规模野外工作之前先进行设备的联合调试, 检查软硬件系统运行的稳定性, 并让调查人员熟悉操作过程。野外实际调查时, 利用 GPS 的实时信息在 GIS 系统中直接跟踪当前的位置, 并与解译图和遥感图像叠加显示, 从而实现解译结果与实地状况的实时比对。为了记录更多的信息, 在 GIS 软件系统中还建立一个新的图层, 用于勾绘和记录实地地表状况。由于屏幕上显示了当地的遥感图像, 结合实地状况可以很容易确定土壤侵蚀等级和各种类型的边界。这些野外勾绘的信息, 同时具有了空间位置和属性, 又直接以数字格式保存, 因此非常方便进行室内处理。

从这个过程可以看出, 基于 3S 集成技术的野外调

查工作具有很多优势。首先由于使用了 GPS 实时定位功能, 定位信息可以动态地、实时地显示在 GIS 系统中, 并且与栅格图像和矢量图层及时叠加, 保障多种信息在行进途中同步更新, 实现调查工作的不间断开展。其次, 由于野外大量填图直接以数字方式开展, 调查结果又以数字格式存储, 可以实现调查结果与其他工作的方便对接。因此, 这种方法野外工作效率高, 获取信息能力更强。

3 野外校核结果

利用上述方法, 对江西省境内约 2000 km 沿线的土壤侵蚀图进行了野外校核, 路线图如图 2 所示。本次野外校核记录了大量的地面实际状况, 存储在多边形矢量文件中, 用于进行初期判读图精度的估算。野外校核的结果如表 1 所示。

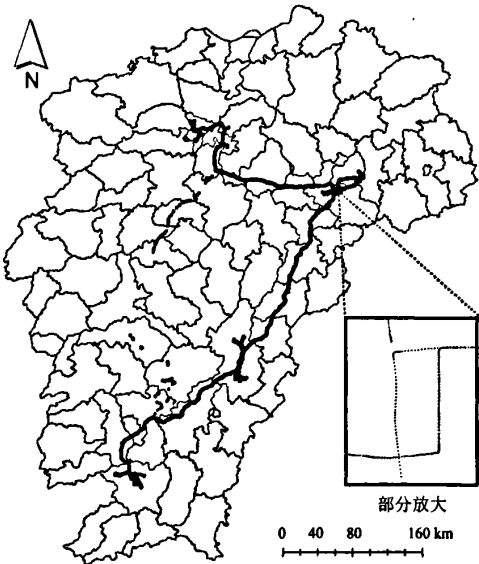


图 2 江西省土壤侵蚀图野外校核 GPS 路线图  
Fig. 2 The GPS route of the field check for the soil erosion map of Jiangxi Province

表 1 江西省 2001 年土壤侵蚀图野外校核结果  
Table 1 The checking results of the soil erosion map in 2001 of Jiangxi Province

| 考察图斑总数 | 等级相符 |          | 低于实地 |          | 高于实地 |          |
|--------|------|----------|------|----------|------|----------|
|        | 图斑数  | 所占比例 (%) | 图斑数  | 所占比例 (%) | 图斑数  | 所占比例 (%) |
| 294    | 146  | 49.7     | 22   | 7.5      | 126  | 42.8     |

表 1 中“考察图斑总数”是野外检查记录的图斑总数,“等级相符”指的是判读的侵蚀等级和实际侵蚀等级相一致的图斑数,“低于实地”和“高于实地”指判读的侵蚀程度分别比实地等级低和高的图斑数。“等级相符”图斑数和“考察图斑总数”之比例即为土壤侵蚀图解译精度,计算得知该精度为 49.7%。

由核查结果可知,江西省土壤侵蚀解译图精度较差。经过研究发现有几个原因:①由于解译基础图采用 2001—2002 年的遥感图像,而实际校核却在 2005 年,在这两个时间差内,地表覆盖状况和侵蚀强度都发生了变化,导致侵蚀等级相符的程度较低;②由于 Landsat TM 遥感图像解译土壤侵蚀图方法本身的限制,对于“远看绿油油,近看水土流”的“林下流”问题无法反映,也是导致解译精度较低的原因;③空间分辨率  $30\text{ m} \times 30\text{ m}$  的 TM 遥感图像解析力不够,不能识别水土保持工程措施,导致解译精度偏低。这些原因反映了遥感土壤侵蚀解译中的一些共性问题,也说明应用集成 3S 技术的土壤调查方法可以使野外工作更加细致,获取的信息对于后续研究具有指导意义。

#### 4 讨论

基于 3S 集成技术的土壤侵蚀图野外校核,不仅设备容易获取,技术上比较容易实现,获取的信息量也更大,而且野外作业更加快速,大大节约时间和考察费用。同时该调查方法还具有较好的适应性。一般来说,野外调查可以分为点、线、面 3 种类型。野外土壤采样是典型的点调查,该工作有充足的时间进行 GPS 定位,可消除由工作平台移动带来的定位误差,而且配合其他设备,比如数码相机、数码录像机等,可以收集更多的具有空间定位信息的野外资料。野外的路线踏勘是循交通线的一种调查方式,属于线调查。路线调查时调查人员可以在行进途中按照 GPS 的定位信息引导,同时进行填图,调查速度快,记录的信息更有广度。配合手持式摄像机或照相机可以获取更多的地面信息。第三种调查方式是常用的定位调查,属于面调查类型,即在特定研究范围内对地表状况进行详细的调查,往往需要确定各种地物的界限和类型,因而获取的信息更有深度。这种类型调查需要更高精度的 GPS 和遥感图像的支持。因此,无论从点、线还是面上的调查来看,基于 3S 的野外调查方法都有很好的适用性。

此外,基于不同的调查目的可以对本技术进行相应的调配。对于大比例尺制图而言,可以采用慢速的交通工具或者步行方式,使得 GPS 定位更加准确。这是因为 GPS 接收和处理卫星信号有一定的时间间隔,

快速交通工具会由于这个时间差带来定位误差。对于中小比例尺制图野外工作而言,可以采用比较快速的交通工具,保证在一定的时间内可以获取尽量多的信息。对于核查类的野外工作,如果时间和经费允许,可以采用半随机的方法,在全省交通便利地区随机抽取一定数量的图斑,确定各图斑的中心位置,把这些位置信息传输到 GPS 中,利用 GPS 导航技术进行实地检验。因此,本研究方法具有很大的灵活性,合理使用本调查方法可以极大地提高工作效率。

本方法还具有更大的扩展性,附加其他设备可以获取更多的野外信息。例如,使用土壤水分速测仪可以获取采样点不同深度的土壤水分状况等,这些信息可以很方便地整合到地理数据库中去,从而作为土壤研究的重要数据源。因此,基于 3S 集成技术的野外调查方法,对于土壤调查以及相关的野外工作具有较高的实际应用价值。

#### 5 结论

基于 3S 集成技术的土壤侵蚀图野外校核方法,不仅充分利用了快速的交通工具和现代信息技术使得野外工作效率大大提高,而且使用全数字处理方式使得室内工作和野外工作更加容易整合。该方法具有很强的适应性和可扩展性,能够满足点、线和面各类型的野外调查,可针对不同野外调查目的灵活应用,也可在野外配合其他仪器获取更多的具有空间特性的地理信息。该方法对土壤调查以及其他相关的野外工作都具有较高的应用价值。

#### 参考文献:

- [1] 赵其国, 龚子同. 土壤地理研究法. 北京: 科学出版社, 1989: 271-292
- [2] Bui EN, Moran CJ. A strategy to fill gaps in soil survey over large spatial extents: An example from the Murray-Darling basin of Australia. *Geoderma*, 2003, 111 (1): 21-44
- [3] O'Connell DA, Ryan PJ, McKenzie NJ, Ringrose-Voase AJ. Quantitative site and soil descriptors to improve the utility of forest soil surveys. *Forest Ecology and Management*, 2000, 138 (1): 107-122
- [4] Mulders MA. Advances in the application of remote sensing and GIS for surveying mountainous land. *International Journal of Applied Earth Observation and Geo-information*, 2001, 3(1): 3-10
- [5] 潘贤章, 史学正. 土壤质量数字制图方法浅论. *土壤*, 2002, 34 (3): 138-140
- [6] 曾志远, 潘贤章, 李硕. 激水流域产水产沙自然过程的计算机

- 模拟 II. 模拟结果与分析. 土壤学报, 2007, 44 (2): 212-219
- [7] Pan JJ, Zhang TL, Zhao QG. Dynamics of soil erosion in Xingguo County, China, determined using remote sensing and GIS. *Pedosphere*, 2005, 15 (3): 356-362
- [8] 叶永祺, 杨轩. 浙江省水土流失时空演变研究. 土壤, 2007, 39 (3): 400-403
- [9] Cheng H, Zou X, Wu Y, Zhang C, Zheng Q, Jiang Z. Morphology parameters of ephemeral gully in characteristics hill slopes on the Loess Plateau of China. *Soil & Tillage Research*, 2007, 94: 4-14
- [10] Ramos MI, Gil AJ, Feito FR, Garc'ia-Ferrer A. Using GPS and GIS tools to monitor olive tree movements. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2007, 57: 135-148
- [11] 刘凤飞, 王玉玺, 孙雪文. "3S"技术在黑龙江省土壤侵蚀 RS 调查中的应用. 黑龙江水利科技, 2002, 30(4): 7-9
- [12] 林敬兰, 杨学震, 陈明华. 基于"3S"技术的福建省土壤侵蚀动态监测研究. 水土保持学报, 2003, 17 (3): 155-157

## Field Check of Soil Erosion Map of Jiangxi Province Based on the 3S Technology

PAN Xian-zhang, LIANG Yin, LI De-cheng, SUN Bo, LUO Ming, ZHAO Qi-guo

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

**Abstract:** A new method that applies the 3S (integrated GPS, RS and GIS) technology was developed for the field check of soil erosion map. Land cruiser and some other hardwares were used as the working platform to obtain and integrate the real-time GPS data with the 3S satellite images and the soil erosion map by using ArcMap software system. The method was proved more efficient and accurate than the traditional inventory method, it could realize an uninterrupted inventory along the road and record field data in a digital form, which is convenient for later use. Furthermore, the method was adaptive to point, line-transect and plot surveys, thus it could be applied well to other kinds of soil survey activities.

**Key words:** Soil erosion, Mapping, Filed check, 3S (integrated GPS-RS-GIS) technology, Soil survey