

三维激光扫描仪在土壤侵蚀监测中的应用

——以青海省共和盆地威连滩冲沟监测为例

马玉凤, 严平, 时云莹, 董刚, 展秀丽, 杨典正

(北京师范大学 减灾与应急管理研究院 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875)

摘要: 通过在青海省共和盆地多次野外调查的基础上, 以威连滩冲沟沟头的南支沟为研究案例, 采用三维激光扫描仪和亚米级的差分 GPS 分别对该支沟进行了侵蚀边界的监测, 利用点云处理软件 Real works Survey, AutoCAD 和 GIS 软件对 2 种测量数据进行了处理计算和对比分析。结果表明, 三维激光扫描仪在土壤侵蚀监测中非接触的高精度测量, 可以真实反映地表形态; 对于扫描仪没有扫描到的黑洞数据, 高精度的差分 GPS 可作为一个局部的数据补充, 并探讨了三维激光扫描技术在土壤侵蚀研究应用中的缺陷及其改进, 旨在为水土流失监测提供一种新的思路和方法。

关键词: 三维激光扫描仪; 土壤侵蚀; 监测

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2010)02-0177-03

中图分类号: S157, P204

Application of Laser 3D Scanner in Soil Erosion Research

- Taking Gully Erosion Monitoring in Weiliantan, Gonghe Basin, Qinghai Province as an Example

MA Yu-feng, YAN Ping, SHI Yun-ying, DING Lian-gang, ZHAN Xiu-li, YANG Dian-zheng

(Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, and State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Based on several traditional field investigations in Gonghe basin, Qinghai Province, laser 3D scanner and sub-meter differential GPS were used to monitor the boundary of branch gully erosion in the south of Weiliantan gully head. After the data were collected, point-cloud data processing software-Real Works Survey, AutoCAD, and GIS software were used to compare and analyze the raw data. Results showed that high precision and non-contact measurement of laser 3D scanner could accurately simulate landform surface in soil erosion monitoring. High precision GPS data can be used as part of supplement data in the area where laser 3D scanner can not reach. Moreover, the limitations and improvements of laser 3D scan technology applied in soil erosion research were discussed. Our study is expected to provide a feasible method in the research on soil erosion monitoring.

Keywords: laser 3D scanner; soil erosion; monitoring

三维激光扫描技术是一个使用高激光和像机捕获坐标和图像信息的高精度立体扫描技术。在考古、文物保护、土木工程、医学、工业、应急服务等领域已经逐步得到了应用^[1-2]。由于三维激光扫描仪的适时性、精准性、高效性好, 近年来, 地学研究也开始引入该项技术, 在滑坡、泥石流、矿区地表沉陷、地质构造等多方面的监测发挥了其优势^[3-5], 其在水土流失监测领域中的应用也初见端倪。

Milan 等^[6]使用三维激光扫描仪连续观测一条

河流, 计算出河流侵蚀和堆积量以及河道的变化情况; 张鹏等人^[7]采用连续模拟降雨实验, 结合高精度 GPS、三维激光扫描仪和测针板 3 种方法在沟蚀过程监测和侵蚀量估算进行了对比研究; 于泳等人^[8]分析了基于 GIS 的三维激光扫描仪在水土保持方案编制中应用的可行性和突出优势; 赵军等人^[9]使用微地貌扫描仪对相同初始条件下不同坡度土槽放水和降雨实验后的地表形态进行监测, 得出坡度对坡面侵蚀及沟蚀影响的初步规律。上述研究均是通过扫描的点

收稿日期: 2009-06-15

修回日期: 2009-10-9

资助项目: 国家科技支撑项目(2006BAD2680302; 2007BA C30B05); 科技基础性工作专项(2008FY210300); 地表过程与资源生态国家重点实验室开放基金(2008-ZZ-02)

作者简介: 马玉凤(1981—), 女(汉族), 河南省新乡市人, 博士研究生, 主要从事土壤侵蚀研究。E-mail: mayufeng@ires.cn.

通信作者: 严平(1966—), 男(汉族), 安徽省宁国市人, 教授, 博士生导师, 主要从事干旱半干旱地区的环境演变研究。E-mail: Yping@bnu.edu.cn.

云建立 DEM 模型以及模型断面的二维投影信息来分析计算土壤的侵蚀特征,可以在扫描仪的数据处理软件来完成计算,但是对于以点云为边界所围成的无云区平面信息鲜见关注,而这种在局部地形监测土壤侵蚀二维空间信息,尤其是与遥感影像结合的平面分析在水土保持研究中有着重要意义。

本研究在青海共和盆地野外多次调查的基础上,以威连滩冲沟沟头的一条支沟为研究案例,采用亚米级差分 GPS 和三维激光扫描仪分别对该支沟进行了侵蚀边界的监测,利用点云处理 Real Works Survey 软件, AutoCAD 和 GIS 软件对 2 种测量数据进行了处理计算和对比分析,并探讨了三维激光扫描技术在土壤侵蚀研究应用中的缺陷及其改进,旨在为水土流失监测提供一种新的思路和方法。

表 1 威连滩冲沟土壤粒度组成

样品	粒级含量/%							分选系数 S_0
	细砾 ($> 1\text{ mm}$)	粗砂(1 $\sim 0.25\text{ mm}$)	细砂(0.25 $\sim 0.05\text{ mm}$)	粗粉砂(0.05 $\sim 0.01\text{ mm}$)	细粉砂(0.01 $\sim 0.005\text{ mm}$)	粗黏粒(0.005 $\sim 0.001\text{ mm}$)	黏粒($< 0.001\text{ mm}$)	
表层砂黄土	0	0.011	50.772	34.202	2.503	2.294	10.218	1.38
下伏风成砂	0	0.094	94.209	1.831	1.424	0.814	1.628	1.21

注:根据中国土壤分级标准(1975)。

2 研究方法

2.1 测量方案

2009年3月中旬,采用集思宝 E718CM GPS 对研究区的支沟沿沟岸边界进行连续点的监测,在沟形状弯曲部点采集间距为 0.3~0.5 m,在平直区段点采集间距为 0.5~1 m。将易测 E640 静态 GPS (平面精度: $\pm 5\text{ mm} + 1\text{ ppm}$, 高程精度: $\pm 10\text{ mm} + 1\text{ ppm}$) 作为基准站架设在长期观测的定桩点(图 1),通过接收静态机的载波信号记录载波相位数据。

同时使用 Trimble GX 3D 激光扫描仪对支沟的边界进行扫描(图 2),扫描的标准差为 2.5 mm,在 100 m 范围内测量,位置精度为 12 mm,距离精度为 7 mm,角度精度为 0.003° ,视野范围垂直水平 $60^\circ \times 360^\circ$,设置扫描点云的水平与垂直分辨率为 80 mm。以连续导线的方式建设基准站扫描,每一基站通过扫描前一站 3 个标靶作为后期数据处理拼接的的参照公共点,其中第二基准站架在固定的打桩点。

2.2 数据处理

对于差分 GPS 采集的数据,通过 E640 后处理软件下载相应的基准站数据,同时在 E718CM 上下载流动站数据,通过 FieldMapper Tools 输入打桩点的经纬度坐标,然后用基准站数据对流动站数据进行后差分处理,后差分精度为 0.1~0.2 m。将处理过的数

1 监测区简介

监测区位于青海省贵南县沙沟乡威连滩,地理坐标为 $35^\circ 53.891' \text{ N}$, $100^\circ 50.365' \text{ E}$,海拔 2 767 m。该区属于半湿润森林草原地带与干旱荒漠地带之间高原温带内半干旱草原和干旱荒漠草原的过渡性生物气候亚带。年平均气温为 2.3° C ,年降水量为 398.7 mm,多年平均干燥度为 $3.9^{[10]}$ 。冲沟发育在共和盆地内含古沙丘和黄土丘陵的河湖相冲淤积平原上,所在的滩地土壤表层 30 cm 为砂黄土,下伏古风成砂,抗蚀能力较差(表 1)。冲沟呈西北东南走向,沟壁陡峭,平均深在 21 m,沟头平均深 30 m。冲沟侵蚀变化主要表现在沟头发育的 3 条支沟上,对该区的农牧业生产、居住环境和交通构成严重威胁^[11]。

据导入 ArcGIS 软件,根据 GPS 采集点,数字化提取支沟的边界信息(图 1)。



图 1 差分 GPS 支沟监测图

对于三维激光扫描仪采集的点云数据,首先根据公共参照点在扫描仪配套的 Real works Survey 软件对扫描的每一基站数据进行自动配准,剔除误差点云,组成完整的点云图景(图 2)。利用处理软件提取支沟 Top 平面图,并将图添加比例尺后导出。对于该图无点云区边界的勾勒计算有两种方法,一种是将支沟图直接导入 AutoCAD 软件中,通过 Sketch 命令徒手绘制边界轮廓线,但是由于拖动鼠标绘制边界不灵巧,易滑动,轮廓线效果不佳,出入大;另一种是将二维图导入 GIS 软件,数字化边界后转成*.dwg 格式导入 AutoCAD 软件,本研究采用了后者,根据比例尺和其所在图中的实测线段长之比,对冲沟的二维信息进行换算。

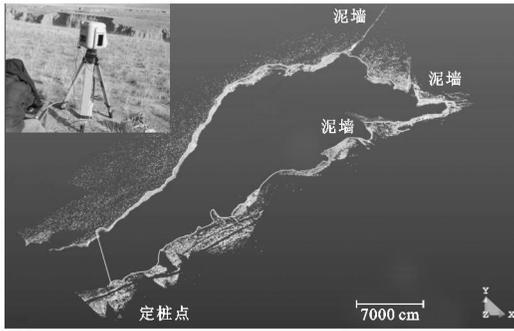


图 2 三维激光扫描仪切沟监测图

3 结果与讨论

由于监测区人工设置的泥墙, 阻碍了扫描支沟沟头末端, 因此在 2 种数据对比分析时, 把差分 GPS 和激光扫描仪扫描的边界统一在一个区域范围(表 2), 计算得到差分 GPS 测得的支沟侵蚀面积为 $36\,524.792\,1\text{ m}^2$, 三维激光扫描仪所测得的侵蚀面积为 $36\,435.144\,9\text{ m}^2$, 相差 $89.647\,2\text{ m}^2$, 而 2 种测量方法监测的支沟侵蚀周长相差 28.13 m , 差分 GPS 测得的侵蚀量大于三维激光扫描仪所测得的。侵蚀量差别的出现主要有 2 方面的原因: (1) GPS 是由人工监测, 涉及到安全问题, GPS 的移动位置只能逼近沟岸, 该研究在测量当中与实际边界有 0.3 m 左右的间距, 对于弯曲的边界线, GPS 的点测量还是未能更好的体现实貌, 所以两种测量的侵蚀周长差值并不大; (2) 两种仪器本身存在着误差^[12], 差分 GPS 的误差要高于三维激光扫描仪。三维激光扫描仪在土壤侵蚀监测中非接触的高精度测量, 较真实地反映地表形态是其最大优势。

表 2 差分 GPS 与三维激光扫描仪支沟监测侵蚀量

监测仪器	周长/m	面积/ m^2
差分 GPS	1 224.49	36 524.792 1
三维激光扫描仪	1 196.36	36 435.144 9
差值	28.13	89.647 2

本次监测的侵蚀区较为平缓, 但仍有扫描死角, 存在数据缺损, 造成数据黑洞(图 1)。支沟前端未扫描到的侵蚀面积, 差分 GPS 计算为 $105.179\,7\text{ m}^2$ 。以扫描仪的监测面积为基准, 差分 GPS 与激光扫描仪每平米差 0.002 m^2 , 尚在安全的地形监测中差值更小。从数据处理的角度上来看, 通过 AutoCAD 的二次开发软件南方 CA SS, 将两种测量数据的定桩点设为统一基准点, 有利于不同监测技术的对比分析, 且对于扫描仪没有扫描到的黑洞数据, 高精度的差分 GPS 可作为一个局部的数据补充。

三维激光扫描仪扫描容易, 但数据处理难, 与遥感、GIS 软件兼容性较差^[1], 需要图形处理软件的多次转换, 也是制约应用于土壤侵蚀研究中的一个重要因素。在今后的研究中尝试着用高精度的静态机测量扫描控制点的坐标和方位, 再进行坐标转换, 获得实体点云数据在统一的坐标系中的坐标^[13], 这样就能和遥感影像匹配起来进行更全面详细的研究分析。此外对于深而陡的负地形, 由于扫描仪的扫描俯角有限, 高精度差分 GPS 采集的沟底数据也可与扫描的点云数据相匹配, 构建较为完整的负地形 DEM 模型, 为土壤侵蚀和区域生态环境保护提供可靠的基础数据。

[参 考 文 献]

- [1] 徐进军, 余明辉, 郑炎兵. 地面三维激光扫描仪应用综述[J]. 工程勘察, 2008 (12): 31-34.
- [2] 宋宏. 地面三维激光扫描测量技术及其应用分析[J]. 测绘技术装备, 2008, 10(2): 40-43.
- [3] Du J C, Teng H C. 3D laser scanning and GPS technology for landslide earthwork volume estimation[J]. Automation in Construction, 2007, 16: 657-663.
- [4] 郭祥, 刘卉. 三维激光扫描技术及其在地质中的应用展望[J]. 软件导刊, 2009, 8(3): 183-185.
- [5] 李秋, 秦永智, 李宏英. 激光三维扫描技术在矿区地表沉降监测中的应用研究[J]. 煤炭工程, 2006(4): 97-99.
- [6] Milan D J, Heritage G L, Hetherington D. Application of a 3D laser scanner in the assessment of erosion and deposition volumes and channel change in a proglacial river[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2007, 32: 1657-1674.
- [7] 张鹏, 郑粉莉, 王彬, 等. 高精度 GPS, 三维激光扫描和测针板三种测量技术监测沟蚀过程的对比研究[J]. 水土保持通报, 2008, 28(5): 11-15, 20.
- [8] 于泳, 王一峰. 浅谈基于 GIS 的三维激光扫描仪在水土保持方案编制中应用的可行性[J]. 亚热带水土保持, 2007, 19(2): 53-55.
- [9] 赵军, 雷廷武, 张晴雯, 等. 激光微地貌扫描仪的开发研制及在坡面侵蚀研究初步应用[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2001, 32(2): 201-206.
- [10] 董光荣, 高尚玉, 金炯, 等. 青海共和盆地土地沙漠化与防治途径[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 10-33.
- [11] 马玉凤, 严平, 王耿锐, 等. 青海共和盆地威连滩冲沟侵蚀遥感监测的初步结果[J]. 水土保持研究, 2009, 16(2): 1-5.
- [12] 郑德华, 沈云中, 刘春. 三维激光扫描仪及其测量误差影响因素分析[J]. 测绘工程, 2005, 14(2): 32-34, 56.
- [13] 马立广. 地面三维激光扫描仪的分类与应用[J]. 地理空间信息, 2005, 3(3): 60-62.