

# 激光雷达在水土保持监测中的应用

陈剑桥

(长江水利委员会 长江流域水土保持监测中心站, 湖北 武汉 430010)

**摘要:** 针对开发建设项目的水土保持监测, 提出了一种新的渣场测量方案, 即结合激光雷达技术和差分 GPS 技术, 优势互补。该方案运用于实际, 取得了很好的效果, 实践证明它是一种更加科学高效的技术和方法, 可应用于目前开发建设项目水土保持监测。(1) 它在测量精度上比传统方法测量结果要精细许多, 更真实、可信; (2) 可详细反映渣场形态, 轻松实现三维建模; (3) 真正实现了非接触式测量, 大大减少了外业工作量, 降低了外业危险; (4) 可对开挖边坡、崩岗、山体滑坡等许多形式的水土流失进行测量, 使传统水土保持走上“精耕细作”之路。

**关键词:** 激光雷达; 开发建设项目; 水土保持监测; 渣场测量; 差分 GPS

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2007)04-0015-03

中图分类号: S157, X85

## Lidar Application to Soil and Water Conservation Monitoring

CHEN Jian-qiao

(Monitoring Center Station of Soil and Water Conservation, the Water Conservancy Committee of Yangtze River, Wuhan, Hubei 430010, China)

**Abstract:** Aiming at soil and water conservation monitoring in development and construction projects, a new scheme that uses advantages of lidar and DGPS is presented for the application to reality. Some good effects of the scheme have been observed. It is proved that the scheme is a scientific and highly effective method, and thus can be widely used in development and construction projects at present. In addition, its measurement precision is much finer than traditional methods, and it is more real and more credible. The scheme can exquisitely reflect the change in shape of dregs field; easily realize the three dimensional modeling; truly realize the non-contact measurement; greatly reduce field workload and the risk. Moreover, the scheme is able to measure soil erosion of many forms, such as excavated slope, collapsed hill, and mountain landslide, and helps to promote the traditional soil and water conservation towards precision farming.

**Keywords:** lidar; development and construction project; soil and water conservation monitoring; residue measurement; DGPS

全国水土流失治理速度在加快, 但边治理边破坏的现象仍较为普遍, 局部区域的人为水土流失仍十分严重, 特别是各类开发建设活动由于忽视了水土保持工作, 导致水土流失加剧。据调查, 全国每年因开发建设项目新增水土流失面积在  $1.00 \times 10^4 \text{ km}^2$  以上, 弃土弃渣数亿吨, 严重影响着国家西部大开发战略和全面建设小康社会目标的实现, 制约着我国经济社会的可持续发展, 对国家的生态安全构成威胁。因此, 开展开发建设项目的水土保持监测工作, 强化对开发建设项目水土流失的监控和管理极为紧迫和重要。

开发建设项目施工过程中的弃土、弃渣必须按照相关法律法规, 倾倒在指定的区域和水土保持方案指定的渣场, 不得随意乱倒。因此, 开发建设项目中水土流失监测, 渣场是关键。通过对渣场的动态监测, 可计算工程建设取、用土石方量, 评估工程对生态安全的影响<sup>[1-4]</sup>。

### 1 传统渣场测量方案

目前渣场测量主要采用 GPS RTK 技术、激光测距仪、罗盘, 采用了差分 DGPS 技术进行量测。

收稿日期: 2007-05-20

基金项目: 金沙江溪落渡水电站 水土保持鉴别测项目(XLD/0340)

作者简介: 陈剑桥(1981-), 男(汉族), 湖北省武穴市人, 工程师, 硕士, 主要从事 GIS 应用研究。E-mail: cjql20@163.com。

(1) 测量原理。1 台基准站接收机、1 台或多台流动站接收机以及用于数据传输的电台, 在 RTK 作业模式下将一些必要的数据输入 GPS 控制手簿, 如基准站的坐标、高程、坐标系转换参数、水准面拟合参数等; 流动站接收机在若干个待测点上设置。基准站与流动站保持同时跟踪至少 4 颗以上的卫星, 基准站不断地对可见卫星进行观测, 将接收到的卫星信号通过电台发送给流动站接收机, 流动站接收机将采集到的 GPS 观测数据和基准站发送来的信号传输到控制手簿, 组成差分观测值, 进行实时差分及平差处理, 实时得出本站的坐标和高程。数据采集后, 在 GIS 软件中计算渣场方量。

(2) 测量难点。渣场测量精度受人为因素影响较大, 尤其是负责流动站接收机的工程人员。选取渣场特征点是否合理, 所选特征能否真实反映渣场形态, 直接影响测量精度。此外, 由于坡面坡度过大, 野外工作人员实际攀爬十分危险, 坡面的特征点数据不易采集。

## 2 激光雷达原理

(1) 激光测量原理。已知空间一点  $O_s$  的坐标  $(X_s, Y_s, Z_s)$  及该点到地面点  $P(X, Y, Z)$  的向量, 则可计算出  $P$  点的坐标。

(2) 激光雷达。为一种主动传感器, 包括 Transmitter (发射机) 和 Receiver (接收机) 两部分组成 (详见如图 1)。激光雷达测量原理类似于蝙蝠发射超声波探测墙壁形状的原理, 即激光雷达发射激光束到目标物表面并且反射回来被激光雷达接收, 根据激光速度以及发射返回时间可以计算得到所选地物到激光雷达的距离。

(3) 激光雷达数据形式——点云。扫描点都是离散分布的, 看上去就是一个由点组成的图像。这个图像就叫点云, 密集的点以云的形式存在, 任意一点均有精准坐标  $X, Y, Z$ 。点云细密, 从而完美反映渣场形状, 精度非常高, 可供建立高精度的数字表面模型 DSM。

(4) 激光雷达扫描过程。激光雷达发射激光到地物表面上并反射回来。根据差分 GPS 测得的激光雷达的准确坐标, 激光雷达到地物表面反射点距离, 再由扫描时的姿态、方位角便可计算出点云中所有点的准确坐标。

(5) 激光扫描控制。激光的发射速率是可以控制的, 从每秒发射几束到上万束都可以, 因此获得的数据量非常大。激光是具有大功率、高度方向性的光束。实际工作中可根据不同工作的测量精度需要, 设

定不同的发射功率进行激光扫描。因此, 激光雷达可以实现精细测量。

## 3 改进渣场测量方案

为了解决传统渣场测量方案的缺陷, 作者利用激光雷达原理, 结合实际工作, 制定了改进的渣场测量方案。

### 3.1 方案设计

在渣场测量中依然设置基准站, 在 RTK 模式下作业, 在激光雷达上装载 GPS 流动站接收机, 对渣场进行三维激光扫描。这种设计方案充分发挥了激光雷达技术、差分 DGPS 技术各自的优势。差分 GPS 实时定位, 激光雷达细致扫描地形, 二者达到了很好的互补效果。

此次测量系统集成了激光雷达技术、差分 GPS 技术, 由于激光雷达缺少光谱信息, 所以就在激光雷达旁加装一个数码相机或数码摄影机, 以增加激光扫描数据的光谱信息, 使得它们可以同步获得数据。该方案可以得到的数据类型有: GPS 数据、点云、影像, 这样可以获得 DEM, DTM, 再将影像叠加到 DEM 上, 还可实现三维建模。

### 3.2 应用实例

作者采取自行设计的改进渣场测量方案, 在金沙江溪落渡水电站水土保持监测项目 (XLD/0340) 中, 选取了杨家沟渣场进行了测量实验。此次测量, 根据杨家沟渣场的地形特点选取了 3 个视场, 分 3 次逐步完成扫描, 可完整覆盖整个渣场。扫描后的数据处理, 在激光雷达后处理软件中完成, 各部分数据自动拟合为一个整体, 再应用 ArcGIS 继续完成各种空间分析, 最终计算渣场的土石方量。激光雷达测量渣场流程见图 1。



图 1 Lidar 数据后处理流程

### 3.3 数据质量检测

3.3.1 差分 GPS 精度 必须保持基准站与激光雷达上的流动站接收机保持同时跟踪至少 4 颗以上的卫星并且卫星信号接收良好。

3.3.2 外露点 尽量选取良好的扫描地址, 避免激光打到植物上, 造成不必要外露点。关于施工车辆、植被等异常点妥善处理。务必保证影像上必须与点云同步反映, 保证点云处理过程中能够方便剔除。

3.3.3 点云覆盖完整性 选取合适的视场非常关键, 避免扫而不全的情况出现。必须充分考虑仪器的

各个指标,比如仰角、射程、摆度等等。点云要能完整反映整个渣场。野外工作时,每次激光扫描完以后必须认真核对。防止遗漏数据。

3.3.4 点云处理方式 人为影响因素大,处理过程中要充分结合差分 GPS 数据、影像、点云数据综合考虑,选取合适的过滤算法。对于不易自动处理的外露点,可人工对照影像剔除。

### 3.4 数据处理

3.4.1 点云数据处理 扫描点云数据如图 2 所示。lidar 数据缺少光谱,对 lidar 的自动过滤、分类和特征提取的效果不是很理想。有了影像数据,可以借助已经成熟的图像处理方法,把影像数据和 lidar 数据结合起来提高数据处理精度。由于激光雷达在测量时,只要能反射激光形成回波的物体,都能被测量出来,以一个点的形式记录下来。这样就有可能产生一些外露点(Outliers)。有些外露点源自系统误差的极点,有些外露点特征明显,一般设定一个阈值,对数据进行预处理消除这些点。在应用当中一般都需要的产品就是 DSM 和 DTM,要得到 DTM 就要把地物点从 DSM 中移除。在此次扫描中,由于这种过滤的自动处理得到的精度不够(主要是渣场上的植被、汽车、行人,以及激光打到的树叶等等),总会有把地物点分类成了地形点,或是把地形点分成了地物点。这些外露点可以结合对照数码相机的影像,人工选取并消除这些点。因此,需要大量的人工编辑,一般人工编辑消耗了数据处理时间的 60% 左右。

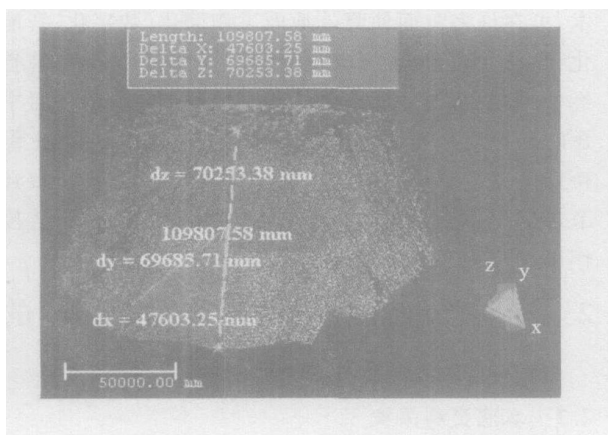


图 2 杨家沟渣场激光雷达扫描点云

3.4.2 DEM 生成 需要把离散点内插到规则格网里,这里要注意几个问题。

(1) 选择多大的格网间隔;(2) 当某格网内有若干原始数据或没有数据时,应选择什么内插方法;

(3) 怎样处理没有数据存在的区域。现在插值的方法很多,不同的插值方法可以得到不同的效果。这要看不同的应用和需要,比如说,假如一个格网里没有点,就依据邻近点取中值。如果有若干点,要生产 DTM 就取最低值。如果大面积区域没有点就找最近的点插值。

插值的方法可采用距离倒数加权插值法、最小曲率插值法、自然邻近点插值法、最近点插值法、移动平均插值法、改进的 Shepard 插值法、局部多项式插值法、径向基函数插值法、Kriging 插值法、线性三角网插值法等。

### 3.5 计算方量

将插值生成的 DEM 和以往渣场基底 DEM 叠合进行分析,在 ArcGIS 软件中即可计算出整个渣场方量、渣场体积变化量。根据开发建设项目水土保持方案报告书要求,可以分不同时间段进行监测,从而实现渣场的动态监测。

## 4 结论

测量数据结果表明,此次测量结果精度上比传统测量结果要精细许多,测量结果对比渣场实际方量参照以往测量结果更为可信、真实。

此次监测采用激光雷达技术对渣场进行测量,为开发建设项目水土保持监测提供了一种更加科学高效的技术和方法,提高了测量渣场的精度,可细腻反映渣场形态,轻松实现三维建模。并且不再需要工作人员爬坡测量特征点数据,轻松扫描,真正实现非接触式测量,大大减少了工作量,降低了危险。

利用激光雷达技术还可对开挖边坡、崩岗、山体滑坡等许多形式的水土流失进行测量,从而真正使传统水土保持走上“精耕细作”新台阶!

### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 刘震.水土保持监测技术[M].北京:中国大地出版社,2004.258—280.
- [ 2 ] 关泽群.机载激光雷达原理与应用[M].武汉:武汉大学出版社,2006.112—118.
- [ 3 ] 水利部水土保持司、水利部水土保持监测中心.水土保持监测技术规程[S].北京:中国水利水电出版社,2002.19—22,29—34.
- [ 4 ] 水利部水土保持监测中心,中国水土保持学会水土保持监测专业委员会.全国第二届水土保持监测学术研讨会论文集[C].150—156.