

文章编号: 1000-7709(2011)12-0095-04

基于激光扫描技术的复杂工程挖填方计算

刘昌军¹, 叶长锋², 赵 雨², 解家毕¹

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038; 2. 国核电力规划设计研究院, 北京 100094)

摘要: 以唐海幸福花园小区复杂基坑为例,介绍了利用激光扫描仪进行复杂挖填方量计算的流程与方法,提出了基于激光点云数据的非地面点的自动滤波算法、基于移动最小二乘法拟合地表的 DEM 数据和任意边界的挖填方计算方法等;并利用 IDL 语言编制了基于激光点云数据的复杂工程挖填方计算软件 LIDARVIEW,计算了唐海幸福花园复杂基坑工程不同设计高程的挖填方量。结果表明,该方法简单、快速、精度较高。

关键词: 三维激光扫描; 复杂工程; 挖填方量; 移动最小二乘法; DEM

中图分类号: TV221.1; TN249

文献标志码: A

复杂工程挖填方计算采用断面法和等值线法计算往往因难以获取复杂地形的精细数据而使计算不准确,同时利用全站仪、GPS 等传统的测量工具获取复杂地形的高精度数据往往费时、费力,有时还难以实现。近年来,快速发展的三维激光扫描技术为解决这一难题提供了新的技术手段^[1~3]。但激光测量技术仍存在大量激光点云数据的非地面点过滤问题^[4]、海量激光点云快速构网^[5,6]、DEM 数据的生成^[4]和基于激光点云数据的任意边界挖填方计算等难点^[7]。鉴此,本文研究了基于激光技术计算挖填方的野外工程流程和室内数据处理方法,采用 IDL 语言编制了基于海量激光点云数据的复杂工程挖填方计算软件 LIDARVIEW^[4],计算了唐海幸福花园小区复杂基坑的挖填方量。结果表明,该方法简单、快速、可计算不同设计高程下的挖填方量。

基于激光测量的挖填方计算的关键技术

三维激光测量的技术原理

RIEGL 公司的三维激光扫描仪主要由一部激光测距仪加一组可导引激光以等速度扫描的反光棱镜和高清晰照相机组成。激光测距仪采用脉冲式测量方法,可主动发射激光且同时接受自然物体的反射信号进行测距,针对每一扫描点测得测站至扫描点的斜距,配合扫描的水平角和竖直

角,可求得每一扫描点与测站点间的坐标差,若测站点和一定向点的坐标为已知值,则可求出每一扫描点的三维坐标。该款激光扫描仪的标定扫描范围为 200~800 m。激光扫描获取的激光点云单点精度约为 $\pm 10\text{ mm}$,平均测量精度为 $\pm 5\text{ cm}$ 。

非地面点快速过滤技术

对获取的大量激光点云,快速获取准确的地面点数据是挖填方计算的难点之一。为此,本文提出了基于最小二乘法拟合地表的激光点云非地面点快速过滤算法,即将海量激光点云分块并建立相应的空间索引关系后,对分块数据进行快速自动滤波处理,滤波后的点云数据再以索引的方式进行动态存储,经多次迭代后即可得到地面点数据。具体滤波流程见图 1。

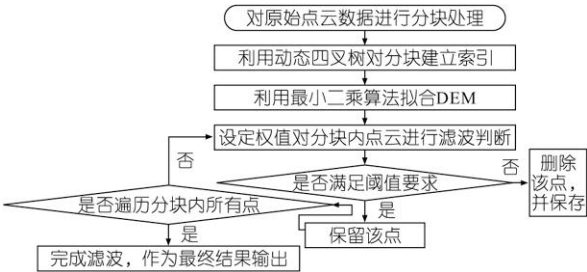


图 1 点云滤波处理流程图

Fig. 1 Filtering flow chart of point clouds

移动最小二乘法拟合

为精确得到地表的 DEM 数据,对每个分块激光点云数据采用移动最小二乘法拟合 DEM^[8~10],拟合的 DEM 较平滑,与实际地形接

收稿日期: 2011-06-15, 修回日期: 2011-11-02

基金项目: 国家国际科技合作计划基金资助项目 (2010DFA74520); “十一五”国家科技支撑计划基金资助项目 (2008BAB42B05, 2008BAB42B06)

作者简介: 刘昌军(1978-),男,工程师,研究方向为地面激光测量和水利工程的渗流数值模拟等, E-mail: lcj2005@whr.com

近,基于网格分块的最小二乘拟合函数为:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n p_i(x) \cdot x = p^T \cdot x \quad (1)$$

其中 $p^T \cdot x = p_1 \cdot x_1, p_2 \cdot x_2, \dots, p_n \cdot x_n$
 $x = x_1, x_2, \dots, x_n$

式中, x 为空间坐标向量; i 为分块编号; n 为基函数的项数; $p_i(x)$ 为基函数, 是一个 k 阶完备的多项式; $x_i(x)$ 为待求系数, 是坐标 x 的函数; $p^T \cdot x$ 为基函数向量, 通常需选择完备多项式; x 为待求系数向量。

待求系数 $x_i(x)$ 通过有权重的最小二乘拟合得到:

$$J = \sum_{l=1}^m w(x - x_l) [f(x_l, x) - f(x_l)]^2 = \sum_{l=1}^m w(x - x_l) \left[\sum_{i=1}^n p_i(x_l) \cdot x_i - f(x_l) \right]^2 \quad (2)$$

式中, $w(x - x_l)$ 为权重函数; m 为计算域内节点总数。

式(2) 写为矩阵形式:

$$J = P(x) \cdot f^T \cdot W \cdot x - P(x) \cdot f \quad (3)$$

其中 $f^T = [f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_m)]$ (4)

$$P = \begin{bmatrix} p_1(x_1) & p_2(x_1) & \dots & p_n(x_1) \\ p_1(x_2) & p_2(x_2) & \dots & p_n(x_2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_1(x_m) & p_2(x_m) & \dots & p_n(x_m) \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$W \cdot x = \begin{bmatrix} w(x - x_1) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & w(x - x_2) & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & w(x - x_m) \end{bmatrix} \quad (6)$$

待求系数向量 x 通过求取目标函数 J 的极值获取, 即:

$$\partial J / \partial x = A \cdot x - B \cdot f = 0 \quad (7)$$

其中

$$A \cdot x = P^T \cdot W \cdot x \cdot P; B \cdot x = P^T \cdot W \cdot x \quad (8)$$

由式(7)、(8) 可得:

$$x = A^{-1} \cdot B \cdot f \quad (9)$$

类似传统有限元方法, 可得到拟合函数:

$$f(x) = \sum_{l=1}^m N_l^k(x) f_l(x) = N^k \cdot f \quad (10)$$

其中

$$N^k = p^T \cdot x \cdot A^{-1} \cdot B \cdot x \quad (11)$$

式中, k 为多项式基函数的序号。

任意边界的挖填方量计算方法

本文通过 IDL^[4] 编制了三维可视化海量激光点云数据处理与管理软件 LIDARVIEW, 其软件界面见图 2。IDL 语言在数值计算、三维图形可视化方面具有较大优势, 尤其在三维图形建模及数据可视化方面具有独特的优势^[11]。

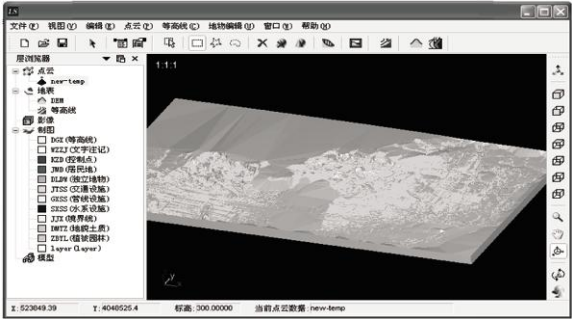


图 2 LIDARVIEW 软件界面

Fig. 2 Interface of software LIDARVIEW

对复杂挖填方工程的方量计算问题, 先要解决挖填区域的边界问题, 其具体处理方法为: 在边界范围内进行三角划分; 在划分后的三角网内获取边界范围内的 DEM 高程数据; 对获取的高程点建立地表 TIN 模型; 采用网格数据统计法, 计算任意边界的挖填方量, 具体算法见文献[4]。

流程

基于激光扫描技术的复杂挖填方工程的方量计算主要分为野外测量、内业整理和数据分析三个步骤, 其中野外测量部分包括激光扫描和 GPS 测量等, 资料整理包括坐标转换、激光点云的非地面点过滤和 DEM 构建等, 数据分析包括建立挖填方区域边界和挖填方量计算等。其主要工作流程见图 3。

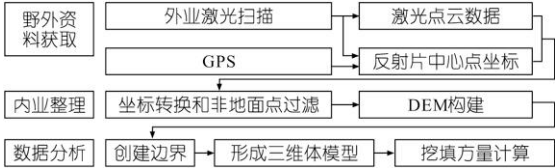


图 3 研究流程图

Fig. 3 Flow chart of investigation

实例

工程概况

唐海幸福花园小区位于唐海市, 规划总面积 904 005 m², 一期占地 392 393 m²。规划中的幸福花园小区一期共有 11 个小区, 平面布置见图 4。目前施工的 9 个(图 4 中 C~K 区)小区共包括 85 座商品楼。施工现场中除有 85 个大小不一且形状复杂的基坑外, 亦堆放有大量的渣土。

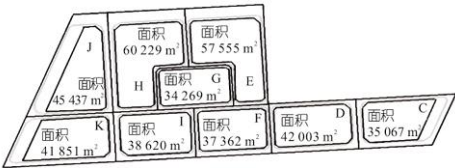


图 4 幸福小区一期工程平面布置图

Fig. 4 Plane layout diagram in first phase of Happiness Community

野外资料获取

利用地面三维激光扫描仪和高精度 GPS 设备对唐海幸福花园一期工程的 9 个小区进行了激光测量。现场激光测量共扫描 297 站,共获取精度为 1 cm、间距 10 cm 的三维激光点云坐标约 5×10^7 个。图 5 为拼接后的三维激光点云数据(C 区内)。

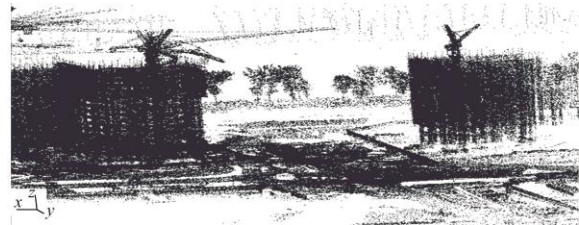


图 5 扫描后获取的三维激光点云数据

Fig. 5 3-D point clouds obtained from laser scanning

数据整理及挖填方计算

将扫描获取的激光点云数据导入 LIDAR-VIEW 软件,将非地面点数据过滤后得到 9 个小区地面点数据(图 6),利用移动最小二乘法拟合地表的 DEM 数据(图 7),将 9 个小区的外边界和每个小基坑的内边界(图 8)导入软件后,利用上述方法对该复杂工程挖填方量进行计算。本文以 C、D 小区为例,具体计算方案和结果见表 1。由表可知: C、D 小区基坑平整到设计高程 2.5 m 的填土量分别为 29 599、39 828 m³。采用三维激光扫描技术和本文编制的基于激光点云数据的挖填方计算软件进行复杂挖填方量计算,现场采集速度快、计算精度高且流程较为简单。



图 6 过滤非地面点后的地表激光点云

Fig. 6 Terrain point clouds obtained from laser scanning

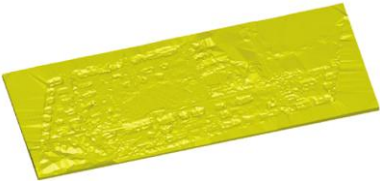


图 7 拟合得到的 DEM 数据

Fig. 7 DEM fitted by MLS

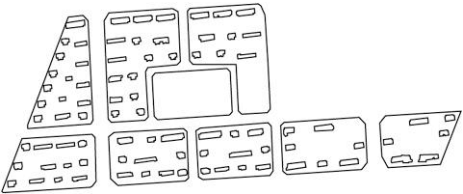


图 8 各小区计算边界图

Fig. 8 Calculation boundary for communities

表 1 计算方案及挖填方量

Tab. 1 Calculation schemes and excavation and embankment volume

区域	填土面 积/ m ²	平场高 程/ m	填土方 量/ m ³	挖土方 量/ m ³	填挖方 量差/ m ³	备注
C	35 066	2.50	30 254	695	29 559	到设计高程
		2.30	25 405	1 536	23 869	的填土量
		2.10	20 894	2 714	18 180	29 559 m ³
		1.90	16 735	4 245	12 500	
		1.70	13 137	6 337	6 800	
		1.50	10 297	9 186	1 110	
		1.45	9 676	9 988	- 312	
D	41 962	2.50	40 176	348	39 828	到设计高程
		2.30	33 591	918	32 673	的填土量
		2.10	27 716	2 198	25 518	39 828 m ³
		1.90	22 777	4415	18 362	
		1.70	18 568	7 361	11 207	
		1.50	14 934	10 882	4 051	
		1.40	13 293	12 820	474	

结语

- a. 介绍了利用激光扫描技术进行复杂挖填方工程方量计算的流程与方法,提出了非地面点云数据的自动过滤方法、采用移动最小二乘法拟合地表 DEM 的方法和基于点云数据的任意边界方量的计算方法等。
- b. 工程实例表明,该技术方法在工程中具有较大的应用价值和应用前景。

参考文献:

[1] 范海英,杨伦,邢志辉,等. Cyra 三维激光扫描系统的工程应用研究[J]. 矿山测量,2004(3):16-18.

[2] 毛方儒,王磊. 三维激光扫描技术[J]. 宇航计测技术,2005,25(2):1-6.

[3] 刘昌军,高立东,丁留谦,等. 应用激光扫描技术进行岩体结构面的半自动统计研究[J]. 水文地质工程地质,2011,38(2):52-57.

[4] 刘昌军,丁留谦,孙东亚. 三星堆月亮湾城墙遗址覆土方量计算[J]. 水利水电科技进步,2011,31(2):81-84.

[5] 刘昌军,丁留谦,孙东亚. 基于激光点云数据的岩体结构面全自动模糊群聚分析及几何信息获取[J]. 岩石力学与工程学报,2011,30(2):358-364.

[6] 李逢春,龚俊,王青. 基于三维 TIN 的精细表面建模方法[J]. 计算机应用研究,2006(8):159-161.

[7] 刘昌军,丁留谦,孙东亚. 三维激光测量技术在复杂挖填方工程计算中应用[A]. 全国第一届激光雷达对地观测高级研讨会论文集[C]. 北京:中国水利水电出版社,2010:114-119.

[8] Lancaster P, Salkauskas K. Surfaces Generated by Moving Least Squares Methods[J]. Mathematics of Computation,1981,37(155):141-158.

闭或延时关闭规律时,蜗壳压力第 1 峰值大幅度降低,使得调保参数有较大安全裕度。同时,尾水管最大、最小压力也得到一定的改善。

综上所述,由于高水头抽水蓄能电站甩负荷后,蜗壳水击压力第 2 峰值并非为“导叶关闭时间越长,水击压力越小”的特点,且在某一直线关闭时间下可超越第 1 峰值成为控制值。为此,考虑球阀联动的关闭规律来削减压力的第 2 峰值,使蜗壳压力极值仍在第 1 峰,当第 1 峰值仍不能满足要求,则考虑采用折线关闭或延时关闭规律来降低蜗壳压力第 1 峰值。

结语

分析了高水头抽水蓄能电站机组甩负荷过程

中,调保参数在导叶直线关闭和球阀联动关闭规律下的内在特性,并对球阀与导叶联动的关闭规律进行了优化整定,获得了一些有益的结论。

参考文献:

- [1] 水电水利规划设计总院. 水力发电厂机电设计规范 (DL/T 5186-2004) [S]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [2] 侯才水,程永光. 高水头可逆式机组导叶与球阀的协联关闭[J]. 武汉大学学报(工学版), 2005, 38(3): 59-62.
- [3] 齐央央,张健,李高会,等. 抽水蓄能电站球阀联动-导叶滞后关闭规律研究[J]. 水电能源科学, 2009, 27(5): 176-178, 148.
- [4] 杨建东. 导叶关闭规律的优化及对水力过渡过程的影响[J]. 水力发电学报, 1999(2): 75-83.

Study on Linkage Closing Rule between Ball Valve and Guide Vane in High Head Pumped Storage Power Station

ZHANG Chun, YANG Jiandong

(State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering science, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: Aiming at the load shedding of hydroelectric sets in high head pumped storage power station, taking a pumped storage power station for an example, this paper discusses the straight-line closing rule of guide vane and linkage closing rule between ball valve and guide vane. And then the numerical calculation of pumped storage power station is simulated in terms of pump-turbine characteristic curve. The results show that the linkage closing rule can effectively reduce turbine flow and the second peak value of spiral case pressure while the maximum pressure remains to occur the first wave crest; the first peak pressure of spiral case depends on the initial (the first straight-line) closing rate of the guide vane.

Key words: high head pumped storage power station; ball valve; guide vane; closing rule; pump-turbine; characteristic curve

(上接第 97 页)

- [9] Belytschko T, Lu Y Y, Gu L. Elements-Free Galerkin Methods [J]. International Journal For numerical Methods in Engineering, 1994, 37: 229-256.
- [10] Levin D. The Approximation Power of Moving Least-Squares [J]. Mathematics of Computation, 1998, 67(224): 1 517-1 531.
- [11] 韩培友. IDL 可视化分析与应用 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2006.

Excavation and Embankment Volume Calculation for Complicated Engineering Based on Laser Scanning

LIU Changjun¹, YE Changfeng², ZHAO Yu², XIE Jiabi¹

(1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 2. State Nuclear Electric Power Planning Design and Research Institute, Beijing 100094, China)

Abstract: Taking the foundation pit of Tanghai Happiness Community for an example, processing and methodology of the excavation and embankment volume calculation in complicated engineering with laser scanner is introduced in this paper. Automatic filtering algorithm that eliminates the non-ground points from the obtained massive laser point cloud, digital elevation models (DEM) generated by moving least squares (MLS) fitting as well as method of calculating excavation and embankment volume with arbitrary boundary are put forward. LIDARVIEW software for excavation and embankment volume calculation based on laser point clouds is developed through interactive data language (IDL) programming. The excavation and embankment volumes for the complicated foundation pit project in Tanghai Happiness community are calculated under different design elevations. The results show that this method is simple, fast and has high precision.

Key words: three-dimensional laser scanning; complicated engineering; excavation and embankment volume; moving least squares method; digital elevation model



论文写作，论文降重，
论文格式排版，论文发表，
专业硕博团队，十年论文服务经验



SCI期刊发表，论文润色，
英文翻译，提供全流程发表支持
全程美籍资深编辑顾问贴心服务

免费论文查重：<http://free.paperyy.com>

3亿免费文献下载：<http://www.ixueshu.com>

超值论文自动降重：http://www.paperyy.com/reduce_repetition

PPT免费模版下载：<http://ppt.ixueshu.com>
