引文格式：陈朵,耿利川,杨宽才,等. 基于三维模型的边坡土方计算分析[J]. 地理空间信息, 2024, 22(1): 85-87. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.01.020

基于三维模型的边坡土方计算分析

陈　朵[1]，耿利川[2]，杨宽才[1]，席善峰[1]，李　行[1*]
（1. 河南省第四地质勘查院有限公司，河南 郑州 450000；2. 许昌学院 城市与环境学院，河南 许昌 461000）

摘　要：利用传统GPS-RTK方法量算废弃矿山高陡边坡的土石方量具有一定局限性，且不同方法计算的结果存在差异。为了解各方法优劣，精准计算边坡治理土石挖方量，以矿区内一处高陡边坡为研究对象，基于实景三维模型，分别采用DTM法、方格网法、断面法计算土石方，并对结果进行了对比分析。结果表明，在高程点提取密度大的情况下，DTM法和方格网法精度均可靠，但随着高程点提取密度的降低，方格网法精度迅速降低，DTM法精度缓慢降低；断面法受剖面间距变化的影响较小，计算结果相对稳定。

关键词：土方计算；实景三维模型；精度对比
中图分类号：P258　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）01-0085-03

Calculation and Analysis of Slope Earthwork Based on 3D Model

CHEN Duo[1], GENG Lichuan[2], YANG Kuancai[1], XI Shanfeng[1], LI Hang[1]
(1. Henan Fourth Geological Exploration Institute Co., Ltd., Zhengzhou 450000, China;
2. College of Urban Planning and Environmental Sciences, Xuchang University, Xuchang 461000, China)

Abstract: The traditional GPS-RTK method has some limitations in earthwork calculation, and there are differences in the results calculated by different methods. Taking a high and steep slope in a mine site as the research object, we used the DTM method, grid method and section method to calculate the earthwork based on the real scene 3D model, and compared and analyzed the results. The results show that both DTM method and grid method are accurate and reliable under the case of large extraction density of elevation points. However, as the extraction density of elevation points decreases, the accuracy of grid method decreases rapidly and the accuracy of DTM method decreases slowly. In contrast, the section method is less affected by the change of section spacing, and the calculation results are relatively stable.

Key words: earthwork calculation, real scene 3D model, precision comparison

山水林田湖草生态修复治理是近年来国家重点强调的生态文明建设的重要组成部分。在鹤壁淇县的废弃矿山生态修复治理中，高陡边坡治理是重点。高陡岩质边坡是指具有一定高度的被赋予工程和环境含义的天然斜坡或由人类活动所形成的人工斜坡[1]。目前常用的治理手段是对高陡边坡进行削坡退台，实现消危维稳的目的，多采用断面法计算土石方开挖量；而小型边坡缺少退台空间，则多采用削坡改平的方案，可利用TIN法、方格网法、断面法等方法计算开挖量[2-3]。受施工区地形图精度、计算方法、参数选取等因素影响，对于同一区域土石方量，不同技术人员得出的结果往往不一致，甚至差别明显；而挖填方计算是平整场地的基础准备工作，其精度对建设的工期、成本有直接影响[4]，因此选择合适的测量手段和计算方法是测量人员需解决的较棘手的问题[5]。为探寻精确计算边坡治理土石开挖量的方法，本文以项目区一处小型边坡为研究对象，首先利用无人机倾斜摄影测量技术生成三维模型；再基于CASS软件，利用TIN法、方格网法和断面法分别计算选定区域的挖方量；最后对比分析成果数据，确定最优的计算方法。

1　准备工作

1.1　基于矿区三维模型制作地形图

GPS-RTK结合全站仪测量是采集矿区土石方数据的传统技术手段，但高陡边坡无法通视区域需攀爬作业较危险，特征坐标点采集需要测量人员丰富的经验，且由于密度和分布的限制，采集的坐标点无法完整还原测区地形，直接制约了测区地形图的制作精度。随着测绘技术的发展，无人机倾斜摄影测量方法生成的三维模型精度可靠，克服了传统GPS-RTK测

收稿日期：2022-11-09。
项目来源：河南省重点生态保护修复治理基础奖补资金资助项目（Z135060009003）；河南省科技厅重点研发与推广专项资助项目（212102310419）。
第一作者简介：陈朵（1989—），工程师，研究方向为地质测绘、无人机航测数据处理，E-mail：814087753@qq.com。
通信作者：李行（1989—），高级工程师，注册测绘师，研究方向为地质测绘、无人机航测，E-mail：814087753@qq.com。

量方法的局限性，已为南太行地区的矿山生态修复治理工作提供了有力的测绘技术支撑[6-7]。基于三维模型制作的地形图效果见图1。

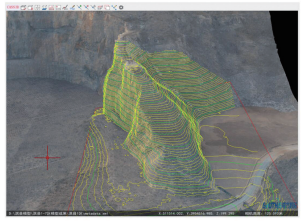


图1 三维模型下的边坡示意图

1.2 实验对象选取

为使实验尽量理想化，且贴近施工实际，以项目区内一处小型高陡边坡为研究对象，该边坡整体呈直角三角锥形，西侧为山体，南侧因石料开采形成了近乎垂直的陡崖，其余两侧无明显开挖破坏痕迹，是典型的高陡边坡。为降低边坡周边微地形起伏的干扰，进一步缩小区域，只保留边坡标高215 m以上的区域，并优化西侧边界，最终保留区域面积为4 254.73 m^2（图2）。

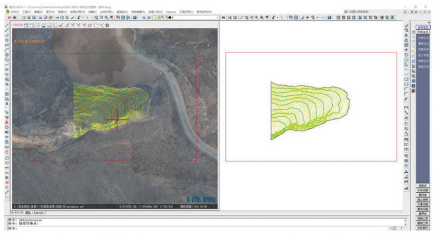


图2 实验区优化后示意图

1.3 实验方法确定

DTM法、方格网法和断面法是土石方计算最常用的方法。对于高陡边坡的治理多采取削坡退台的方式，在勘查设计阶段，削挖石方量一般采用断面法计算。由于边坡削挖区的底部呈近似台阶状，不同平台间存在坡度（约为45°～75°），而DTM法和方格网法适用于底面是一个面（整体平面或斜面）的情况，因此不适用于这种情况。为理清3种方法的准确性和适用条件，首先分别采用3种方法对实验区进行挖方计算，并设置参与计算的高程点密度为实验变量；然后分析同一方法在不同变量下的实验数据；最后整体对比3种方法的实验数据，并通过分析、判断得出结论。

2 不同方法的土石方计算与对比

为保证计算结果的可靠性，3种方法的源数据均采用从三维模型中提取的区域内高程点，提取间距为1 m，共提取高程点4 558个。

2.1 DTM法计算土方量

DTM法也称三角网法，其原理是通过不规则分布的数据点生成连续的三角面逼近地形表面[8]，即以三角形连接地形特征点处的高程点形成紧贴地形表面的三角形网，在地形简单区域三角网较稀疏，地形复杂区域三角网较密集，地形细节反映较真实。在CASS 9.1软件中，首先展投高程点数据，展投点间距依次设置为1 m、2 m、5 m、10 m和20 m；再根据这些高程点建立DTM模型；最后利用DTM法土方计算功能，根据图上三角网计算挖填方量，平场标高设置为215 m。实验结果见图3，可以看出，展投高程点间距在5 m以内时，计算结果在78 000 m^{3}上下浮动，3次计算结果均值为77 725.5 m^3，取作此次实验的代表值；间距超过5 m，计算结果逐渐减小，当间距为20 m时，降至约67 000 m^3，降幅为14.1%。

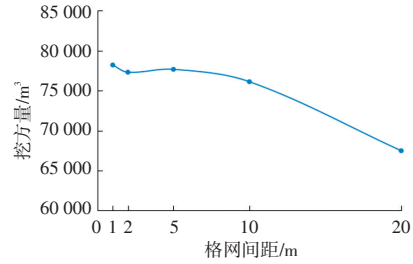


图3 DTM法不同格网间距计算结果

2.2 方格网法计算土方量

方格网法常用于平坦地形或地形起伏较平缓区域的土方量计算。实验同样采用高程点间距控制方格网的格网间距，展投高程点间距依次设置为1 m、2 m、5 m、10 m、20 m。实验结果见图4，可以看出，展投高程点间距在2 m以内时，计算结果在78 000 m^{3}上下浮动，两次计算结果均值约为77 915.7 m^3，取作此次实验的代表值；间距超过2 m，随着格网间距变大，计算结果减小较快，当间距为20 m时，降至约52 000 m^3，降幅为33.3%。

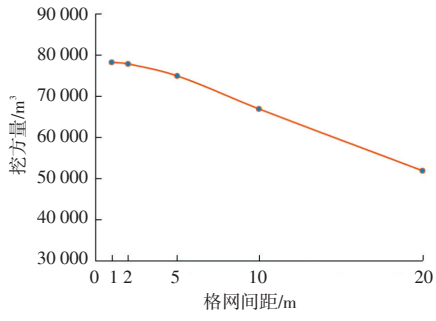


图4 方格网法不同格网间距计算结果

2.3 断面法计算土方量

断面法利用一系列剖面线将矿体分为若干矿段或块段，根据各断面矿体面积和断面间距计算各矿段体积，再将各矿段体积相加得矿体总体积和储量[9]，一般用于线状工程的土方量计算，计算精度与断面测量质量和断面间距有很大关系[10]。由于实验以倾斜摄影三维模型为高程点数据提取的载体，断面测量质量稳定可靠，本文只研究断面间距对断面法计算精度的影响。实验选用常规断面法，纵剖面线方向与山脊方向大致平行，呈一条直线（图5）。高程点提取间距设置

为1 m，并以高程点数据生成等高线，等高线间距设置为1 m，横切剖面根据图上等高线生成，剖面间距分别设置为1 m、2 m、5 m、10 m、20 m，5次计算结果见图6，可以看出，断面间距设置大小对实验结果无显著影响，5次结果均在78 000 m³附近上下浮动，5次计算结果均值约为78 075.6 m³，取作此次实验的代表值。

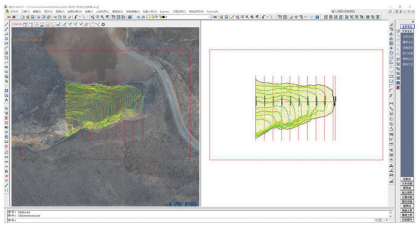


图5　横纵断面设置示意图

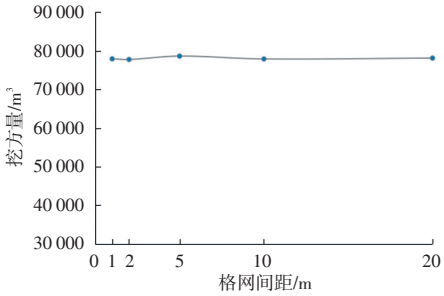


图6　断面法不同剖面间距计算结果

2.4　各方法计算精度对比

3种方法土方量计算结果的对比见图7、表1，可以看出，在高程点提取密度大、格网边长小的情况下，DTM法和方格网法的计算结果接近，代表值分别为77 725.5 m³和77 915.7 m³，比值为99.76%，但随着高程点提取密度的降低，方格网法的计算结果迅速减小，DTM法的计算结果缓慢减小；剖面间距变化对断面法的计算结果影响较小，计算数据相对稳定，代表值为78 075.6 m³，分别是DTM法、方格网法代表值的100.45%和100.21%；另外，在格网间距（剖面间距）不大于5 m的阶段，DTM法和断面法的曲线均有一个先抑后扬的波浪线，初步判断是受微地形的影响，有待进一步探究。

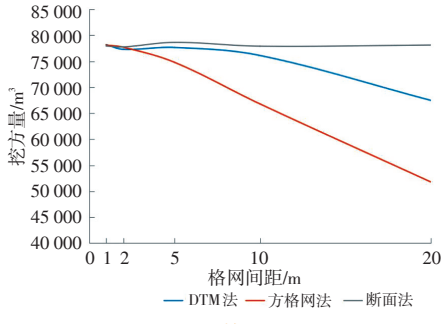


图7　各方法计算的挖方量对比

综上所述，对于较规则三角锥体边坡，借助倾斜摄影三维模型提取高程数据计算土方量，在点位提取密度较高（间距2 m以内）的情况下，DTM法、方格网法均可用于边坡土方量的计算；在点位提取密度较低（间距约为5 m）的情况下，应选用DTM法进行计算；剖面间距设置长短，对断面法整体计算结果影响较小，计算结果较稳定可靠，由于实际施工中边坡多存在凹坑、突出孤崖等微地形，采用断面法计算土石方开挖量时，同一剖（断）面上提取的地表高程点间距应尽量小，并取不同的断面间距、多次计算求平均值，以抵消部分微地形的影响。

表1　实验测量点位统计表

间距/m	DTM法/m³	方格网法/m³	断面法/m³
1	78 207.7	78 112.1	77 931.9
2	77 305.4	77 719.2	77 768.5
5	77 663.3	74 804.8	78 642.3
10	76 118.2	66 804.0	77 908.1
20	67 482.3	51 782.2	78 127.4

3　结　语

三维模型能克服传统测量方法在边坡土方量算中测量数据获取的局限性[11-12]。本文对比分析了3种常用边坡土方量计算方法，知悉了各方法在不同参数下的计算精度和适用范围，对于涉及边坡土方计算的场景，具有一定的参考价值。

参考文献

[1]　黄润秋. 岩石高边坡发育的动力过程及其稳定性控制[J]. 岩石力学与工程学报,2008,27(8):1 525-1 544

[2]　罗德仁,邹自力,汤江龙. 工程土方量计算比较分析[J]. 东华理工学院学报,2005,28(1):59-64

[3]　毛志芳,刘开红. “三角网法”和“方格网法”在土方量计算中的应用[J]. 江西煤炭科技,2014(3):50-53

[4]　董琪. 黄土挖填方结合场地建筑物基础及管道工程变形机理破坏研究:以延安新区建设工程为例[D]. 西安:长安大学,2016

[5]　周海波,罗洪军,周鲜明. 不同测绘方法在土石方量计算中的应用与对比研究[J]. 测绘与空间地理信息,2022,45(4):184-186

[6]　李行,陈朵. 倾斜模型在矿山测绘内业制图中的应用[J]. 地理空间信息,2022,20(7):138-141

[7]　原明超,仇俊. 无人机倾斜摄影测量在三维模型测图中的应用[J]. 测绘通报,2020(7):116-119

[8]　戴程琳,辜睿光,刘安,等. 基于TIN的三维地质挖填方计算分析研究[J]. 工程勘察,2019,47(7):42-46

[9]　刘勇,李博. 露天开采资源量计算方法的比较分析[J]. 测绘与空间地理信息,2019,42(10):206-209

[10]　陈爱梅,吴昊,吴北平,等. 四种土方量计算方法的对比研究与应用[J]. 北京测绘,2015,29(1):104-108

[11]　曹娟. 无人机倾斜摄影测量在土方量计算中的应用[J]. 矿山测量,2019,47(1):53-56

[12]　李东升,徐景中,万保峰. 无人机技术在露天土石挖填方计算中的应用[J]. 地理空间信息,2020,18(3):23-26