

三维激光扫描技术在复杂曲面中的应用

杨 敏¹, 马俊杰², 张 俊¹

¹华东建筑设计研究院有限公司, 上海

²上海中建海外发展有限公司, 上海

Email: min_yang@arcplus.com.cn

收稿日期: 2021年5月8日; 录用日期: 2021年6月24日; 发布日期: 2021年7月1日

摘 要

传统测绘手段在面对大型复杂曲面的工程应用中会面临数据采集困难、工作量大, 继而影响到成果精度及后续模型建立等一系列问题, 本文以三维激光扫描在山体岩壁的辅助设计和摩崖石刻的材料用量统计两个实际项目为例进行介绍, 前者将点云形成的山体现状三维模型转换为等高线来确定电梯与山体任意位置的三维空间关系, 同时通过三维模型进行后续的设计、计算及模拟工作, 为后续在该复杂地形环境下的设计分析提供可靠依据。后者则通过三维激光扫描高精度的特点, 通过现场精度切换和后处理中的面片调试来还原栩栩如生的石刻模型, 合理的进行累加和扣除部分的分类, 最终准确统计其用料面积, 取得传统测绘手段无法达到的测绘效果, 为类似的工程项目提供参考借鉴。

关键词

三维扫描, 曲面, 岩壁, 石刻

Application of 3D Laser Scanning Technique in Complex Surface

Min Yang¹, Junjie Ma², Jun Zhang¹

¹East China Architectural Design & Research Institute Co., Ltd., Shanghai

²China State Construction Overseas Development Co., Ltd., Shanghai

Email: min_yang@arcplus.com.cn

Received: May 8th, 2021; accepted: Jun. 24th, 2021; published: Jul. 1st, 2021

Abstract

In the face of large-scale and complex surface engineering applications, traditional surveying and

文章引用: 杨敏, 马俊杰, 张俊. 三维激光扫描技术在复杂曲面中的应用[J]. 测绘科学技术, 2021, 9(3): 82-89.

DOI: 10.12677/gst.2021.93010

mapping methods will face difficulties in data collection、heavy workload, and then a series of problems affecting the accuracy of the results and the establishment of subsequent models. This paper introduces two practical projects: the auxiliary design of 3D laser scanning in the mountain wall and the material consumption statistics of cliff carving for example. The former converts the 3D model of the status quo of the mountain formed by point cloud into contour line to determine the 3D spatial relationship between the elevator and any location of the mountain, at the same time, the 3D model is used to carry out subsequent design, calculation and simulation, providing a reliable basis for the subsequent design and analysis under the complex terrain environment. The latter based on the high precision characteristics of 3D laser scanning restores the lifelike stone carving model through on-site precision switching and surface debugging in post-processing, reasonably classifies the accumulated and deducted parts, gets the final accurate statistics of the material area, and gets the surveying and mapping effect that the traditional surveying and mapping means cannot achieve to provide a reference for similar engineering projects.

Keywords

3D Scanning, Curve, Cliff, Lithoglyph

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在数字化城市不断发展的今天, 三维激光扫描技术开始频繁出现在各大领域的视野之中, 该技术可在任何复杂的现场环境下对空间物体进行扫描作业, 并将直接将各种大型、复杂、不规则实体或实景的三维点云数据完整地采集到计算机中, 进而快速重构出目标的三维模型, 通过一系列后期处理工作, 在测绘、分析、仿真等方向上都取得一定价值的应用成果。

在建筑和工业领域, 采用传统测绘手段进行测量, 绘制图纸并使用一些成熟的三维建模软件也可以达到预期的测绘成果, 但面对一些复杂曲面的载体时, 如何高效、准确、可行地进行现状实体还原成为一个技术难题, 本文中将以山体岩壁的辅助设计和摩崖石刻的用料面积统计为例, 详细介绍采用三维激光扫描技术在大型复杂曲面的突破性成效, 为类似的工程应用提供参考借鉴。

2. 主要技术路线

三维激光扫描测绘技术是基于在短时间内采集海量的三维空间坐标, 形成能够显现测量目标整体三维结构及特性的高密度点阵, 将这些三维空间数据点的集合称之为点云, 点云数据是对被测物体表面的描述, 它具有数据量大、密度高、非规则、带光学及纹理特征信息等特点, 通过点云数据可以全面的分析测绘目标的复杂几何内容, 快速重构出目标的三维模型及线、面、体、空间等各种制图关键数据。

将应对复杂曲面的三维扫描技术路线主要分为前期现场勘察、现场扫描作业、点云数据处理、点云数据建模、模型成果转换这 5 部分内容, 其中根据不同复杂曲面项目的不同特点, 在技术路线的分支上需要进行合理的选择和考量, 才能获取可以达到项目实际要求的点云数据。在三维模型建立方面, 本次面对复杂曲面是基于 Geomagic 系列软件的面片模型, 该软件对模型的建立完全是基于三维数据直接生成,

不同于许多三维建模软件前期需要进行二次处理，这样保证了现状还原的精度，后续经过大量的网格处理得到三维模型，继而进行成果转换，主要技术路线见图 1 所示。

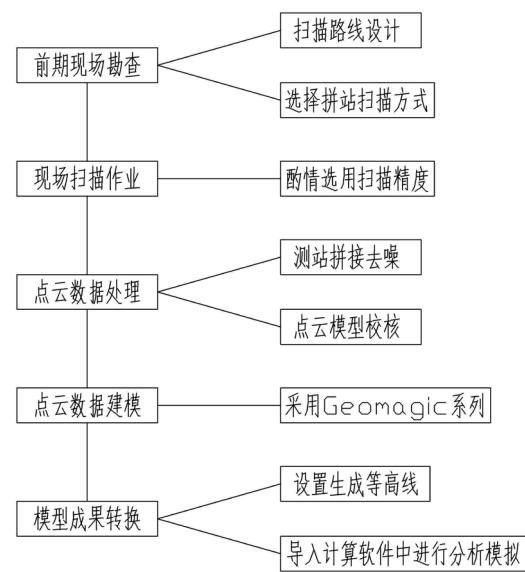


Figure 1. The main technical route of 3D scanning to deal with complex surface
图 1. 三维扫描处理复杂曲面的主要技术路线

3. 山体岩壁中的辅助设计

某地因风景区旅游开发的需要，拟在山上增加垂直观光电梯，从山体陡峭岩壁下方延伸至山顶。现场山体岩壁陡峭，地貌复杂，给拟建电梯选址以及设计方案带来难度，关键问题之一是如何确定拟建电梯与岩壁的相对位置关系[1]。采用传统的全站仪、经纬仪等测绘方法很难解决上述问题，一方面电梯位置未确定，另一方面地形复杂，现场测绘条件严重受限。采用三维激光扫描技术，通过建立复杂山体岩壁的三维模型，进行电梯与山体岩壁三维辅助设计，确定电梯与岩壁的相对位置关系，选取最优的设计方案，同时实现电梯与山体碰撞检查分析等。此外考虑到项目所在地为山区地形，可以采用点云数据与 GPS 坐标点拼接的方式将坐标系转为大地坐标，方便后续整个地块区域的设计开发。

根据扫描结果，将各测站点云数据拼接，去噪后的三维点云数据模型，图 2 为岩壁局部纹理点云模型，从点云数据中可以清晰真实的反应出岩体细节特征，扫描精度足够精确，可以满足设计需要。

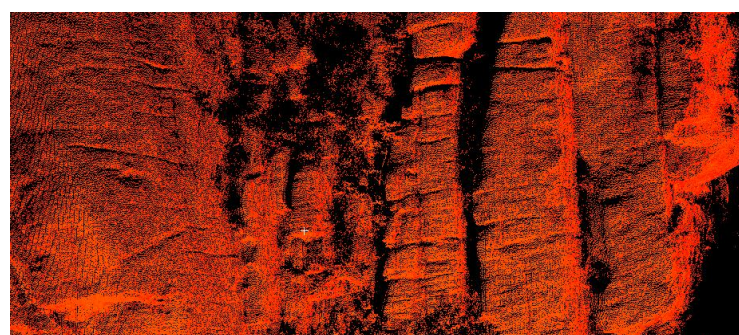


Figure 2. Point cloud model of local texture of rock wall
图 2. 岩壁局部纹理点云模型

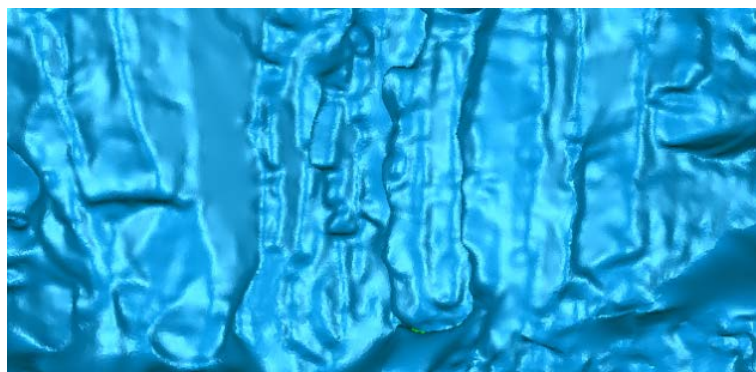


Figure 3. 3D point cloud model of local rock wall

图 3. 局部岩壁三维点云模型

将拼接好的三维点云数据模型，导入 Geomagic 建模软件中，建立岩体三维实体模型，图 3 为岩壁局部三维模型，根据三维实体模型，沿水平面，每隔 1 m 进行剖切，绘制岩壁等高线[2]，如图 4 所示，为电梯选址、设计以及施工提供帮助。

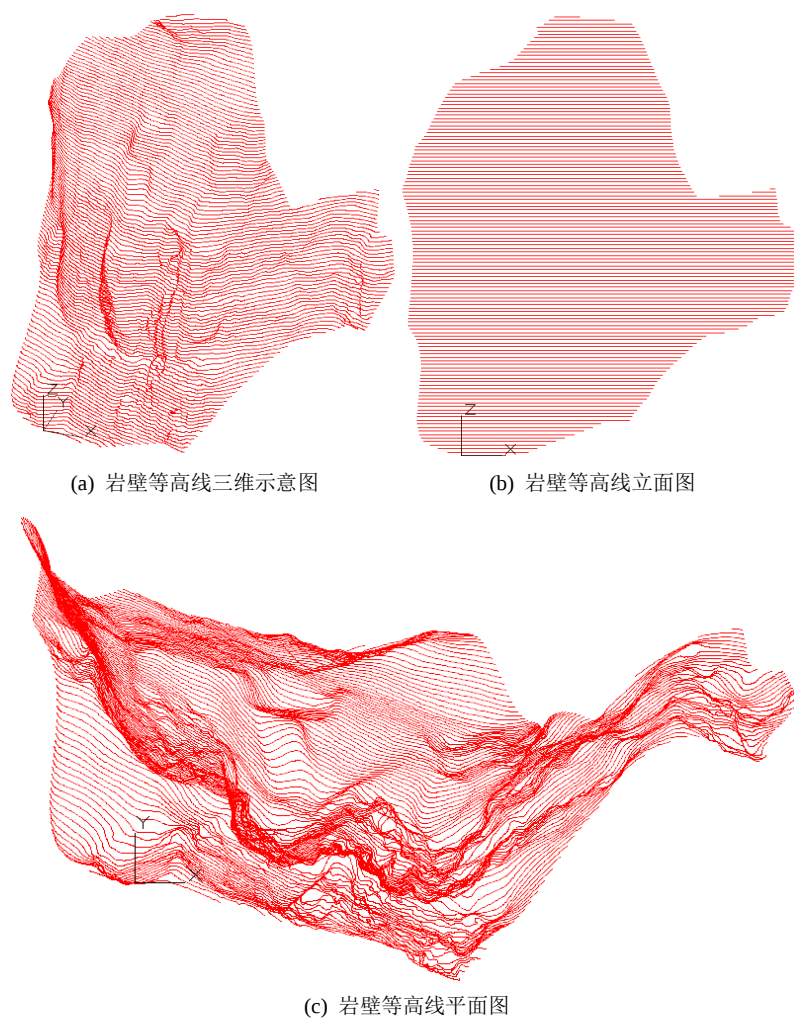


Figure 4. Schematic diagram of contour line of rock wall

图 4. 岩壁等高线示意图

根据现场条件,对拟建电梯位置区域范围内岩壁竖直剖切,得到岩壁剖面图。图 5 为剖切位置定位图,取 O 点作为相对坐标原点(0,0,0),以 O 点为基准点,沿 X 轴方向每隔 5 m 进行剖切。从岩壁底部向上引出垂线(简化模拟电梯),确定岩壁与垂线的相对位置关系[1],图 6 为局部剖面示意,根据设计需要,可以确定岩壁任意一点到垂线(电梯)的水平距离。

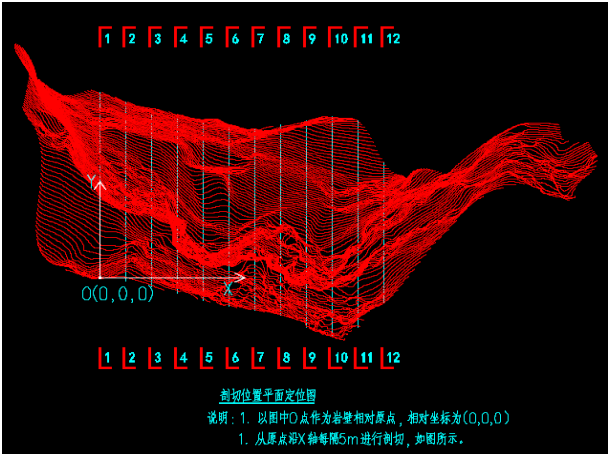


Figure 5. Plane positioning diagram of the cutting position
图 5. 剖切位置平面定位示意图

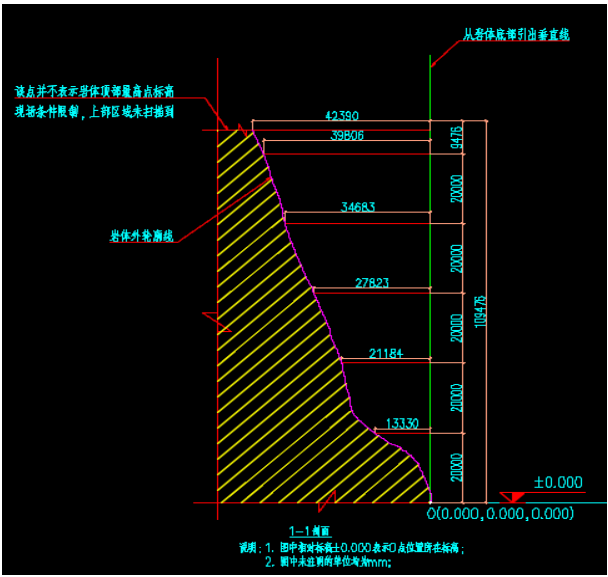


Figure 6. The relative oblique position relationship of the local rock wall profile
图 6. 局部岩壁剖面相对倾斜位置关系

通过山体三维模型,还可以将拟建电梯的承台基础导入模型中进行方案比对和碰撞检测工作,随后对于结构计算部分将拟定的方案导入有限元软件中进行二次模拟,计算分析岩体的抗滑移稳定性[3],为设计提供可靠依据,后续对于岩壁的开挖、加固进行方量统计,同样为施工提供参考帮助。

4. 摩崖石刻中的面积统计

国内某佛教圣地有一处以石刻方式充分展示佛禅文化的摩崖石刻,共分为两层,前排为牛首众生石

刻, 后排为灵山法会石刻, 包括人物圆雕、动物圆雕、洞窟人物高浮雕、众生听佛高浮雕、飞天浅浮雕等, 雕刻生动形象, 栩栩如生。摩崖石刻后侧依附一座假山, 高低错落, 凹凸有致, 且种植了绿化植被。

整个摩崖石刻与假山气势宏伟、内容丰富, 同时也因造型十分立体复杂, 给统计材料用量带来困难, 经研究, 解决该难题需要满足 3 个条件: 1) 现场采集数据的全面性和高效性; 2) 精度要求高; 3) 具备还原大体量复杂曲面的能力。因此考虑采用三维激光扫描技术, 建立摩崖石刻与假山三维模型, 用于满足解决上述技术条件, 达成面积统计的工程应用目的。

首先在现场进行全面细致的扫描工作, 根据扫描结果, 经拼接、去噪等工作后获取摩崖石刻三维点云模型如图 7 所示, 图 8 为假山三维点云模型。

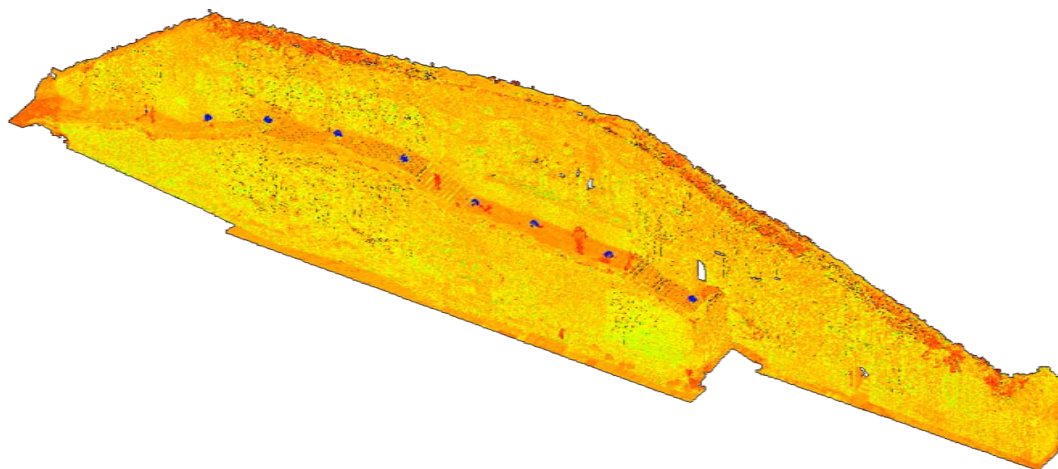


Figure 7. 3D point cloud data model of cliff stone carving
图 7. 摩崖石刻三维点云数据模型

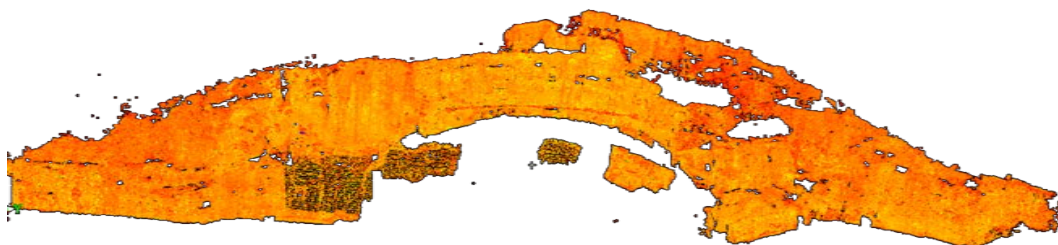


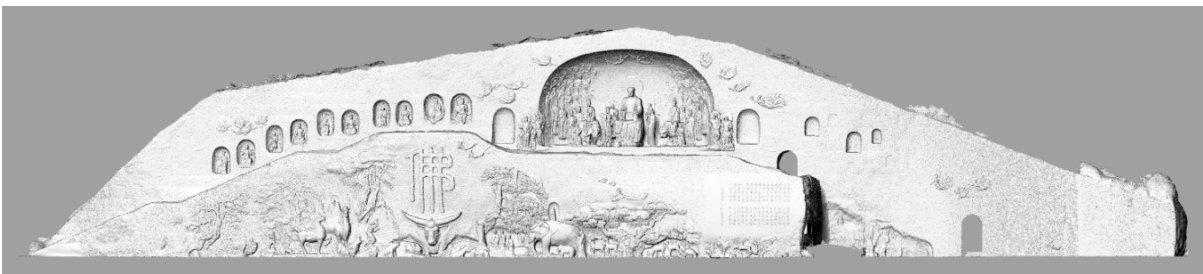
Figure 8. 3D point cloud data model of rockery
图 8. 假山三维点云数据模型

随后将点云数据导入 Geomagic 曲面拟合软件中, 此时核心在于需要不断的调试曲面生成的面片数量, 同时拟合的效果与现场扫描时的精度选择有重大关联, 因此在现场扫描中需要对尤为复杂的部分酌情采用适宜的扫描精度。在初步成模后进行细部修补和网格优化交替处理, 最后获得摩崖石刻各类型三维模型, 如图 9 所示, (a)为摩崖石刻整体三维模型(其中包括众生听佛圆雕细部和牛首众生浮雕细部三维型), (b)为摩崖石刻后的假山三维模型。

将这些三维模型导入分析软件中, 将面积统计类别分为累加和扣除两种情况, 累加项目主要为摩崖石刻平面、人物洞窟平面、假山主体及洞穴等, 扣除项目主要为假山上零星分散的树洞部分, 如图 10 所示, 沿树洞轮廓绘制闭合曲线, 然后以闭合曲线为边界生成曲面, 从而计算出曲面的面积, 即为树洞面积予以扣除。

通过上述方法可以准确统计出摩崖石刻圆雕、浮雕、洞窟, 假山主体、树洞、底部与地坪交线长度

等所有的材料用量面积，由上述成果可以看出基于三维扫描技术所能达到的精度和曲面的处理能力是一种极具突破性的技术手段。



(a) 摩崖石刻整体三维模型



(b) 摩崖石刻后的假山三维模型

Figure 9. Cliff stone carving of various types of 3D models

图 9.各类型三维模型的摩崖石刻

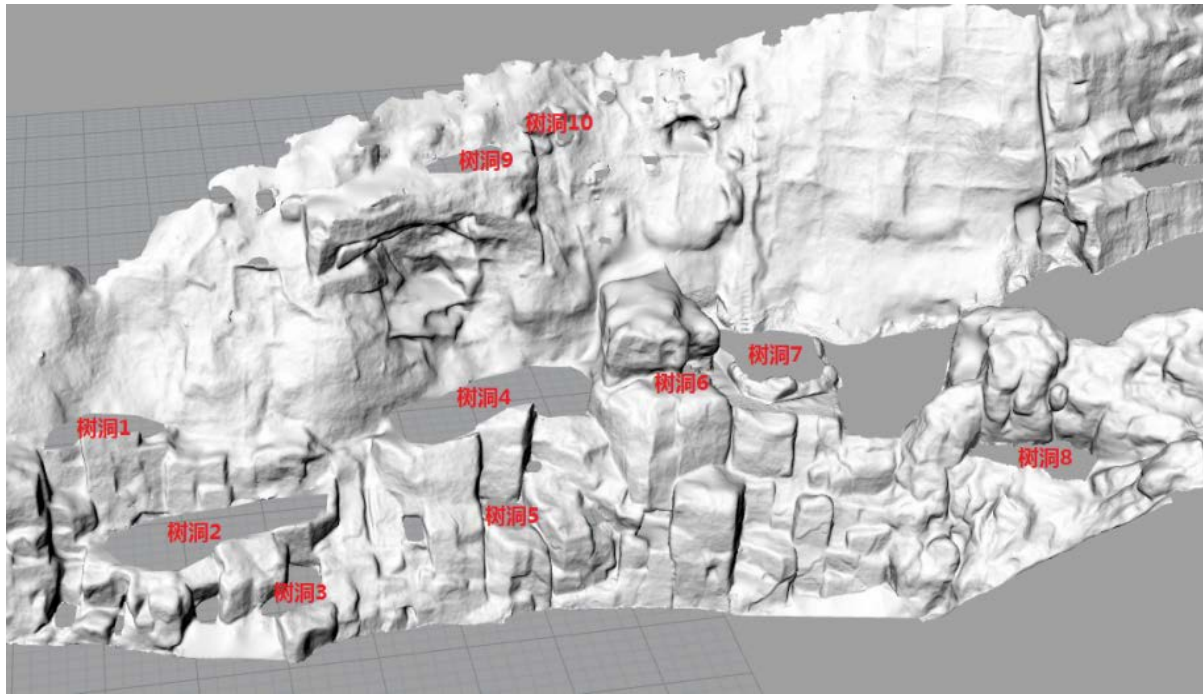


Figure 10. The distribution of some tree holes in the rockery model

图 10. 假山模型中部分树洞分布情况

5. 结论

本文以山体岩壁辅助设计和摩崖石刻面积统计为例，详细介绍了采用三维激光扫描技术在此类复杂

曲面中的实际应用,前者通过对复杂曲面地貌的现状还原为后续的设计及分析工作提供有力的技术支撑,避免了设计返工或施工碰撞等一系列问题,大大节约了时间和成本;后者则凭借三维激光扫描高精度采集的特点展现出更精细的曲面还原能力,解决了传统测绘手段所不能达到的预期成果。

参考文献

- [1] 蔡志伟, 向昭, 刘宇, 杨伟松. 贵州赤水大瀑布景区山体内电梯竖井工程设计[J]. 科学技术创新, 2021(18): 132-134.
- [2] 魏猛, 冯传勇, 罗兴. 清华山维在地形图等高线自动生成中的应用[J]. 长江工程职业技术学院学报, 2014, 31(4): 1-2.
- [3] 马俊杰, 刘智龙, 李承铭, 卢旦, 陆道渊. 基于三维激光扫描技术的复杂岩壁基础可视化协同设计研究[J]. 建筑结构, 2019, 49(21): 124-128.