

三维激光扫描技术在水土保持与荒漠化防治中的研究进展

张超, 高永, 党晓宏, 李婉娇, 韩彦隆, 丁延龙, 刘湘杰, 翟波

(内蒙古农业大学 沙漠治理学院, 内蒙古 呼和浩特 010011)

摘要: 三维激光扫描技术是近年来兴起的一种对于土壤侵蚀监测、风沙地貌、防沙措施效益评价的新手段, 对于水土保持研究与荒漠化防治具有重要的促进作用。本文对前人使用三维激光扫描技术在水土保持与荒漠化防治工作中的应用进行总结, 并对目前存在的问题和后续研究进行探讨, 以期三维激光扫描技术进一步发展与应用提供借鉴。

关键词: 三维激光扫描技术; 土壤侵蚀; 荒漠化; 展望

中图分类号: S157; P234.4

文献标识码: A

文章编号: 1001-3776(2018)03-0072-05

Application of 3D Laser Scanning Technique in Soil and Water Conservation and Desertification Control

ZHANG Chao, GAO Yong, DANG Xiao-hong, LI Wan-jiao, HAN Yan-long, DING Yan-long, LIU Xiang-jie, ZHAI Bo

(College of Desert Control Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China)

Abstract: Descriptions were made on application of 3D laser scanning technique in monitoring of soil erosion, evaluation of sand control measures in recent years. Propositions were offered such as further study on coupling technology and cost of the instrument.

Key words: 3D laser scanning technology; soil erosion; desertification; expectation

三维激光扫描技术是依托三维激光扫描仪在高时空分辨率下获取地面空间信息的技术手段^[1], 相比于传统的高精度智能型的全站仪, 三维激光扫描技术可以更快速、精准地对各种大型、复杂、不规则的实体进行多点测量, 高效地获取被测目标的三维坐标数据、色彩信息和点云数据, 其中点云数据包含了距离、角度、反射率等数值^[2]。近年来国内外学者对三维激光扫描技术的研究主要集中在大面积地形图绘制^[3]、桥梁变形检测^[4-6]、建筑物三维模型的重建^[7-8]、矿物学^[9-11]、植物学^[12]等众多领域, 对于滑坡和侵蚀沟稳定性监测以及沙丘移动监测、防沙治沙工程效益评价等方面鲜有报道。三维激光扫描仪在水土保持与荒漠化防治工作的应用还处于成长阶段, 虽然具有一定的优点, 但是同时也受自身的因素影响使其在工作中具有一定的限制性, 因此, 为了后续更好地将三维激光扫描技术应用于水土保持与荒漠化防治研究中, 本文通过总结前人使用三维激光扫描技术在水土保持与荒漠化防治工作中的应用成果, 并对目前存在的问题和后续研究进行探讨, 以期今后工作提供相关基础建议。

收稿日期: 2017-09-17; 修回日期: 2018-03-22

基金项目: 内蒙古自治区自然科学基金“高大密集流动沙丘上营建植被与沙丘活动的互控机制”项目

作者简介: 张超, 硕士研究生, 从事荒漠化防治研究; E-mail: zc1995777@126.com。通信作者: 高永, 教授, 从事荒漠化防治研究; E-mail: 13948815709@163.com。

1 在水土保持领域的研究现状

三维激光扫描仪是一种高精度非接触式测量仪器,利用激光脉冲二极管发射脉冲,经旋转棱镜射向目标,通过电子扫描探测器接收并记录返回的脉冲,再由后处理软件将数据转成坐标系中的模型,其测量误差小,可以真实的反映测量物体表面特征变化^[13],经过数据拼接转换及滤波消除噪音后可以描述被测物体表面细微的变化特征^[14]。三维激光扫描仪操作模式简单扫描时间快,测得点数据所生成 DEM(Digital Elevation Model, DEM),其精度最高分辨率能达到 $\pm 3 \text{ mm}$ ^[15],垂直测量精度在 $\pm 0.02 \text{ m}$ ^[16]。相比于传统的侵蚀测针、高精度 GPS 监测方法,三维激光扫描仪技术能够在短时间内更好更精细地描述面蚀演变过程,甚至可以明显地展现出由于片蚀作用而生成的细小侵蚀坑洼点,在三种测量方法中,三维激光扫描仪估算的侵蚀误差最小仅为 4.56%,高精度 GPS 的误差介于其他方法之间为 7.38%,侵蚀测针法误差最大为 -12.78%^[17]。基于上述高精度的测量原理和模式,三维激光扫描技术在探究侵蚀沟机理研究中具有很强的优势。利用三维激光扫描技术获取的多期高精度 DEM 数据,不仅可以从时间尺度和空间尺度对沟坡侵蚀进行差异研究,而且还可以对侵蚀沟的发育过程进行描述与建模。这方面目前已有一定的研究成果,如徐加盼等利用降雨前后 DEM 进一步分析得出,坡底主要分布高级别的坡度,冲沟现象易出现在坡底^[18]。余叔同^[19]、张姣^[20]等均利用三维激光扫描技术动态监测精细的揭示了沟蚀的发育过程。杨春霞等^[21]利用三维激光扫描技术证明了坡面中下部与沟坡中部是坡沟系统侵蚀强度最大的部位。覃超等在间歇性人工模拟降雨的条件下,通过三维激光扫描技术提取了高精度 DEM 数据,分析结果表明,细沟侵蚀速率和总侵蚀速率的最大值出现在以细沟沟底下切侵蚀为主的细沟发育活跃期,最小值出现在以沟头溯源侵蚀为主的细沟发育初期^[22]。但是利用三维激光扫描技术受天气影响较大,如果在连续降雨的过程中测定地表数据,野外试验由于机器自身的防水性不好,不能进行观测,而在室内试验过程中,降雨的雨滴会成为噪声点与粗差点,这样会对后续点云数据拼接建模造成很大的影响,目前点云去噪的方法有很多,可以根据具体情况选择合适的方法去噪,对于降雨过程中的去噪可以通过点云分层去噪^[23],删除独立的噪声点和非地面点,剩余的可以在软件中手动删除。

三维激光扫描仪技术不仅只应用在沟蚀和面蚀等方面的研究,同时还应用于崩岗侵蚀、滑坡、泥石流的监测中,国外学者 Abellán A 验证了该技术可以作为研究岩石崩塌的参考工具,且获取的高精度 DEM 可以记录落石情况以及更精确的模拟落石的轨迹和速度^[24]。崩岗侵蚀方式多样,造成崩岗流域内地形地貌的复杂多样^[25],并且对于崩岗的监测使用传统方法时,一方面测量困难,一些地方监测人员不能到达,且测量所得数据误差相对较大,另一方面,在观测过程中监测人员可能处于一个危险的测量环境,人身安全不能保障。因此刘洪鹄等发现三维激光扫描技术可以克服这些困难,给出高精度的崩岗的形态特征数据,分析崩岗的沟道发育特征^[26]。刘希林等利用三维激光扫描技术对崩岗侵蚀过程研究结果表明,地形是崩岗发育的主要影响因素,崩岗侵蚀量与崩岗表面坡度变化呈现正态分布^[27]。韩用顺使用三维激光扫描技术和高分辨率遥感影像等手段,进行了不同降雨条件下的山洪泥石流坡面、沟道、断面和小流域地表形变监测,构建高精度 DEM,提出了坡面泥石流和沟道泥石流的侵蚀、发育和演化特征,揭示了泥石流的变形破坏、冲淤变化和演化规律^[28]。

综上所述,三维激光扫描技术在水土保持方面的研究具有一定的优越性。第一,与传统监测手段相比,三维激光扫描技术获取侵蚀沟其形态变化的数据是高精度的,而且通过合理的数据分析,可以细致地分析整个侵蚀过程中各部位的变化,同时也可以建立侵蚀模型,更全面直观地反映侵蚀沟的发育过程。第二,测量效率高,速度快,使得在大面积侵蚀沟测量不需耗费大量的人工和时间,非接触式测量也提高了测量人员在外业测量中的安全性。

三维激光扫描技术在使用过程中也存在一定的局限性。一方面相比于道路、桥梁等建筑物扫描测量,不同尺度侵蚀地貌扫描测量,没有明显的标志点,人为布设标志点必须依据研究区的实际情况和后期数据处理的要求来合理布设,否则会加大工作量,后期数据拼接与校验困难。另一方面在测量过程中气候因素(降雨、刮风等),地面植被、电线杆等非需求物体,都会产生大量不可避免的噪声数据,如果不进行合理的去噪滤波处理,

会严重影响后期数据结果的处理。

2 在荒漠化监测领域的研究现状

荒漠化是目前全球性的生态环境问题,在设置合理的防沙治沙措施前对于各种风蚀地貌形态变化及发育演变特征的研究是非常有必要的,目前关于风沙地貌形态观测的手段分为两大类:传统监测研究手段、现代监测研究手段。传统监测研究手段有文字观测记录法、插标杆法,现代监测研究手段有 3S 技术航空航天遥感测量法、地面差分 GPS (RTK)、全站仪等方法^[29],但这些方法都存在一定的局限性,文字观测记录法在进行风沙地貌测量时,只适用于小尺度的定量研究,对于大、中尺度的测量获取精确的数据比较困难;插标杆法人为误差影响极大,测量结果有偏差;航天航空测量虽能进行大、中尺度的测量,但在进行长期动态监测过程中,费用极高;全站仪在工作过程中主机需与棱镜保持通视状态,这就限制了其对高大沙丘形态地貌的监测;使用 RTK 测量中虽然流动站和参考站无需通视,但对于大面积沙丘的形态测量耗时长,工作量大,同时在背风坡的测量过程中,测量人员行走困难,测量过程中遮挡、强磁场干扰及超远距离测量等原因都会导致连接失锁,测量误差和精度不高,达不到预期的效果。三维激光扫描仪不受这些自然及人为因素的影响,经过多次扫描可精细逼真的还原风沙地貌动态变化过程,对于风沙微观地貌有一定的适用性,在荒漠化防治研究中,尤其是沙丘形态变化、防沙治沙措施效益评估等方面有非常好的应用前景。2004 年 Nagihara 就验证了使用三维激光扫描仪对沙丘形态周期变化的可行性^[30]。Ochoa 使用三维激光扫描技术研究了一个沙丘的地貌演变过程^[31]。Nield 从三维激光扫描技术回波信号强度入手,通过获取沙粒跃变的点云的初步数据,并结合地表土壤水分和粗糙度,阐明了跃变在沙粒迁移过程中的重要性,并使用这种方法探究了干旱沙滩风沙带的移动和发育,其结果证明了三维激光扫描技术在研究海滩和沙漠环境的风沙过程有潜在的用途^[32-33]。国内很多学者陆续将三维激光扫描仪应用到荒漠化防治不同领域中,取得了一系列重要研究成果,促进了荒漠化研究的发展。其中针对观测环境恶劣,纹理特征不明显的风沙地物(例如:沙丘、雅丹体等),安志山等经过前期试验应用的总结和科学的探究,提出了一套从外业标靶、测站布设到内业数据处理的观测的方案,同时与传统全站仪测量进行对比,最终确定风沙地物测量测站不应该超过 6 站^[34]。张庆圆将三维激光扫描仪应用到沙丘监测的研究中,通过对比两次监测结果来分析沙丘的整体变化^[35]。丁连刚则应用于对草方格沙障障格内蚀积形态的监测,获得高精度障格内的蚀积量^[36]。张克存等利用三维激光扫描仪评价了青藏铁路沿线风沙工程防护体系的效益,结果表明砾石方格内垂直铁路方向易形成稳定凹曲面,固沙效果显著,阻沙栅栏有效防护距离为栅栏高度的 12 倍^[37]。

3 三维激光扫描技术应用与展望

三维激光扫描技术在水土保持监测与荒漠化监测中虽取得了一定程度的应用,但还有很大的发展空间,尤其是在沙丘各部位形态特征变化、沙丘移动、侵蚀沟发育过程中细微变化具有优越性。

(1) 后续的研究中要耦合技术,例如关于高大密集流动沙丘时空动态变化监测,形成“三维激光扫描仪+无人机+GIS”监测系统^[38],将三维激光扫描技术对沙丘形态年、季三维形态测量与航空航天大尺度多年测量相结合,如遇到云层、扫描盲区等因素的影响,可以使用小型无人机监测,同时配合地面传统测量方法进行补充与验证,可以更准确地为揭示高大密集流动沙丘时空动态变化提供一定数据支撑。土壤侵蚀地貌与风沙地貌建模中,可以将三维激光扫描仪生产的 DEM 形态数据与数学模型测算的数据相结合,把数字模型和数学模型结合起来共同运用,筛选最优模型,精细的描述和模拟地貌形态的演化机理。

(2) 仪器自身问题尚需解决,目前加拿大、奥地利、美国等国家已经规模化生产高精的三维激光扫描仪^[39],国外对三维激光扫描技术及产品上拥有关键技术,形成技术垄断,使得三维激光扫描仪价格昂贵,不具有普适性。同时为了满足仪器在无直流电源状态下的正常使用,电池被设计的质量重,体积大,在野外数据采集过程中搬运尤其困难;一些地物对激光光源的反射敏感性差,使得扫描过程中出现盲区;测量完成后获得数量极大

的点云数据,地面植被会产生大量不可避免的噪声数据,如何快速去噪、有效的筛选和处理点云数据是应用三维激光扫描仪目前存在的问题之一^[40]。因此需要加强这些方面的研究工作,除自身优化升级仪器及软件配套设施外,仪器设计人员应与相关的科研人员要合作攻关,进行技术创新,打破技术垄断,结合实际问题,合理设计,使其符合现在的需求。

参考文献:

- [1] 原玉磊. 三维激光扫描应用技术研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2009: 1-10.
- [2] 高珊珊. 基于三维激光扫描仪的点云配准[D]. 南京: 南京理工大学, 2008: 5-7.
- [3] 张志强. 地面三维激光扫描仪在大比例尺测图中的应用[D]. 北京: 中国地质大学, 2013: 1-5.
- [4] 王勋. 基于三维激光扫描的桥梁变形检测技术应用研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2015: 4-6.
- [5] 王红霞. 三维激光扫描技术在桥梁监测中的应用[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2012: 1-4.
- [6] 姚明博. 三维激光扫描技术在桥梁变形监测中的分析研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2014: 1-6.
- [7] 朱庆伟, 马宇佼. 基于三维激光扫描仪的建筑物建模应用研究[J]. 地理与地理信息科学, 2014, 30(6): 31-35.
- [8] 丁延辉, 邱冬炜, 王凤利, 等. 基于地面三维激光扫描数据的建筑物三维模型重建[J]. 测绘通报, 2010(3): 55-57.
- [9] ARMESTO-GONZÁLEZ J, RIVEIRO-RODRÍGUEZ B, GONZÁLEZ-AGUILERA D, *et al.* Terrestrial laser scanning intensity data applied to damage detection for historical buildings[J]. J Archaeol Sci, 2010, 37(12): 3037-3047.
- [10] FRANCESCHI M, TEZA G, PRETO N, *et al.* Discrimination between marls and limestones using intensity data from terrestrial laser scanner[J]. Isprs J Photogram Remote Sens, 2009, 64(6): 522-528.
- [11] ABELLÁN A, CALVET J, VILAPLANA J M, *et al.* Detection and spatial prediction of rockfalls by means of terrestrial laser scanner monitoring[J]. Geomorphology, 2010, 119(3-4): 162-171.
- [12] EITEL J U H, VIERLING L A, LONG D S. Simultaneous measurements of plant structure and chlorophyll content in broadleaf saplings with a terrestrial laser scanner[J]. Remote Sens Environ, 2010, 114(10): 2229-2237.
- [13] 马玉凤, 严平, 时云莹, 等. 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[J]. 水土保持通报, 2010, 30(2): 177-179.
- [14] 朱生涛. 地面三维激光扫描技术在地形形变监测中的应用研究[D]. 西安: 长安大学, 2013: 15-18.
- [15] 魏舟. 三维激光扫描技术在坡面微地形观测中的应用[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015: 10-15.
- [16] 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 Proc Landforms, 2007, 32(11): 1657-1674.
- [17] 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.
- [18] 徐加盼, 王秋霞, 邓羽松, 等. 基于三维激光扫描技术的花岗岩风化土体侵蚀表面特征研究[J]. 水土保持学报, 2016, 30(2): 14-19.
- [19] 余叔同. 黄土丘陵区坡沟系统沟蚀发育过程模拟与可视化[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010: 73-75.
- [20] 张姣, 郑粉莉, 温磊磊, 等. 利用三维激光扫描技术动态监测沟蚀发育过程的方法研究[J]. 水土保持通报, 2011, 31(6): 89-94.
- [21] 杨春霞, 李莉, 王佳欣, 等. 坡沟系统侵蚀时空分布特征试验研究[J]. 人民黄河, 2017, 39(1): 95-97.
- [22] 覃超, 吴红艳, 郑粉莉, 等. 黄土坡面细沟侵蚀及水动力学参数的时空变化特征[J]. 农业机械学报, 2016, 47(8): 146-154.
- [23] 吕娅, 万程辉. 三维激光扫描地形点云的分层去噪方法[J]. 测绘科学技术学报, 2014(5): 501-504.
- [24] ABELLÁN A, VILAPLANA J M, MARTÍNEZ J. Application of a long-range Terrestrial Laser Scanner to a detailed rockfall study at Vall de Núria (Eastern Pyrenees, Spain)[J]. Engin Geol, 2006, 88(3): 136-148.
- [25] 周红艺, 李辉霞. 华南活动型崩岗崩壁土体的崩解特性及其影响因素[J]. 水土保持学报, 2017, 31(1): 74-79.
- [26] 刘洪鹤, 刘宪春, 张平仓, 等. 南方崩岗发育特征及其监测技术探讨[J]. 中国水土保持科学, 2011, 09(2): 19-23.
- [27] 刘希林, 张大林. 基于三维激光扫描的崩岗侵蚀的时空分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(4): 204-211.
- [28] 韩用顺, 黄鹏, 朱颖彦, 等. 震区山洪泥石流野外监测与侵蚀产沙研究[J]. 水利学报, 2012(s2): 133-139.
- [29] 高永. 荒漠化监测[M]. 北京: 气象出版社, 2013: 50-59.
- [30] Nagihara S, Mulligan K R, Xiong W. Use of a three-dimensional laser scanner to digitally capture the topography of sand dunes in high spatial resolution[J]. Earth Surface Proc Landforms, 2004, 29(3): 391-398.
- [31] Ochoa R D. Repeated high-precision topographic surveys of a barchan sand dune at White Sands, New Mexico using ground-based LIDAR[D]. Texas: Texas Tech University, 2005: 72-73.

- [32] NIELD J M, WIGGS G F S. The application of terrestrial laser scanning to aeolian saltation cloud measurement and its response to changing surface moisture[J]. *Earth Surface Proc Landforms*, 2011, 36 (2) : 273 – 278.
- [33] NIELD J M, WIGGS G F S, Squirrell R S. Aeolian sand strip mobility and protodune development on a drying beach: examining surface moisture and surface roughness patterns measured by terrestrial laser scanning[J]. *Earth Surface Proc Landforms*, 2015, 36 (4) : 513 – 522.
- [34] 安志山, 张克存, 谭立海, 等. 三维激光扫描仪在风沙观测中的应用[J]. *测绘科学*, 2017, 42 (10) : 196 – 200.
- [35] 张庆圆, 孙德鸿, 朱本璋, 等. 三维激光扫描技术应用于沙丘监测的研究[J]. *测绘通报*, 2011 (4) : 32 – 34.
- [36] 丁连刚, 严平, 杜建会, 等. 基于三维激光扫描技术的草方格沙障内蚀积形态监测[J]. *测绘科学*, 2009, 34 (2) : 90 – 92.
- [37] 张克存, 安志山, 屈建军, 等. 基于三维激光扫描仪的青藏铁路风沙工程效益评价[J]. *地球科学进展*, 2014, 29 (10) : 1197 – 1203.
- [38] 闫阳阳, 李永强, 王英杰, 等. 三维激光点云联合无人机影像的三维场景重建研究[J]. *测绘通报*, 2016 (1) : 84 – 87.
- [39] 马立广. 地面三维激光扫描测量技术研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2005: 1 – 10.
- [40] 王丽辉. 三维点云数据处理的技术研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2011: 20 – 30.