DOI:10.14048/j.issn.1671－2579.2019.03.064

基于机载激光扫描的山区高速公路环保选线研究

邵艳[1]，余绍淮[2]，徐乔[2]

（1.贵州高速公路集团有限公司，贵州 贵阳 550025；2.中交第二公路勘察设计研究院有限公司）

摘要：针对山区高速公路线形设计制约因素多、工程难度大的实际问题，提出一种基于机载激光扫描的山区高速公路环保选线方法。在高精度机载三维激光扫描基础上，通过公路地质灾害遥感识别与分析、生态环境影响分析和公路纵、横断面设计，实现山区高速公路环保选线选址研究。贵州省都匀至安顺公路的应用结果表明：该方法科学、合理地确定了工程方案，将公路建设对生态环境的影响程度降至最小，为山区绿色公路建设提供了技术支撑。

关键词：山区；绿色公路；环保选线；激光扫描

1 引言

推进绿色交通发展，建设绿色公路，是交通运输行业加强生态文明建设和实现绿色发展的战略举措，是落实“四个交通”发展要求、实现公路建设健康可持续发展的重要组成部分。为深入推进绿色交通发展，交通运输部发布了《关于实施绿色公路建设的指导意见》、《关于全面深入推进绿色交通发展的意见》，分三批实施了33项绿色公路建设典型示范工程，达到了各省（区、市）全覆盖。

绿色公路以资源节约、生态环保、节能高效、服务提升为主要特征，绿色公路建设需要把生态保护理念贯穿到交通基础设施规划、设计、建设、运营和养护全过程。目前，已有不少学者对绿色公路的评估方法进行了初步探索，绿色公路设计虽十分注重设计的优化与理论的创新，但设计方法仍以常规方法为主：① 基础数据以人工外业实测离散点为主，数据量小，地形表达不精细，方案变更需要二次进场测量；② 工程设计以二维设计为主，在二维环境下分别进行平、纵、横设计，要求设计者具有一定的想象力、创造力和较强的空间概念，缺乏直观感受；③ 对生态环保设计考虑较少，缺乏对生态环境信息的定性定量分析，无法根据生态环境信息优化评价设计结果。如何利用先进的技术手段，在山区兼顾生态环境的情况下，快速、高效进行环保选线设计是山区绿色高速公路建设首要解决的技术难题。

为此，该文针对山区高速公路线形设计制约因素多、工程难度大的实际问题，提出一种基于机载激光扫描的山区高速公路环保选线方法。利用机载三维激光扫描获取的公路建设基础地理信息，通过地质灾害遥感识别与分析、生态环境影响分析及公路纵、横断面CAD协同设计，实现山区高速公路的环保选线选址研究，科学、合理地确定工程方案，达到对生态环境“最小程度破坏、最大程度恢复”的目的。

2 山区高速公路环保选线原则

公路选线是一个复杂的系统工程，是体现一个项目设计特点和设计水平的关键，是线、路、桥、隧各工程的综合体现。山区高速公路选线的特点是高差大，地形、地质条件复杂，工程艰巨，可比较方案多。山区高速公路环保选线应遵循以下主要原则：

（1）加强地质选线的深度，避免线路通过严重地质不良地段和防止发生严重工程地质病害，减少必须通过的不良地质地段路线长度。

（2）顺应山区地形地貌条件，科学选线、合理布线，达到平面顺适、纵面均衡、横面合理。线路尽可能短直，减少敷设长度，控制桥隧比，合理安排桥梁与隧道位置。合理设计纵、横断面，尽量少填少挖，追求取

收稿日期：2018－10－12

基金项目：交通运输部公路工程行业标准制修订项目（编号：JTG－201502）；中国交通建设股份有限公司科技研发项目（编号：2017－ZJKJ－06）

作者简介：邵艳，女，高级工程师，E－mail：410690153@qq.com

弃平衡。

(3) 突出生态选线，主动避让自然保护区、水源地保护区等生态环境敏感区，加强对自然地貌、原生植被、表土资源、湿地生态等方面的保护。严格保护土地资源，贯彻节约用地、少占耕地的原则，禁止耕地超占，减少土地分割。

(4) 统筹布设公路施工临时设施，合理设置公路沿线取弃土场、弃渣场位置，减少施工便道修建及改扩建工程，做到充分利用，减少重复建设，降低施工临时设施对环境的影响。

3 基于机载激光扫描的山区高速公路环保选线

基于机载激光扫描的山区高速公路环保选线的核心思想：采用机载三维激光扫描，快速获取高密度、高精度激光点云数据和高分辨率影像数据；基于激光点云数据和影像数据，建立 DEM＋DOM 的虚拟地表三维模型，进行公路地质灾害的遥感解译与定性定量分析；基于激光点云数据进行植被三维重建与植被高度分析，结合高分辨率影像数据进行可见光植被指数计算，综合分析评价公路建设生态环境影响；基于密集激光点云数据采集高精度道路纵、横断面数据，进行公路 CAD 协同设计，最终实现山区高速公路环保选线设计。

3.1 高精度机载三维激光扫描

机载三维激光扫描突破了传统的单点测量方法，具有高效率、高精度的独特优势。为确保成果数据的完整性、准确性和可靠性，机载三维激光扫描的数据采集范围需覆盖各路线走廊或通道所处的带状区域，并不少于路线方案两侧各 300 m；地面 GNSS 基准站间隔最远不超过 40 km，且基准站数量不少于 2 个；激光点云应分布均匀，点云密度大于 4 点/m^2，原始影像地面分辨率高于 0.2 m；激光点云成果的平面位置和高程中误差应分别小于±0.50 m、±0.20 m。

3.2 地质灾害遥感识别与分析

利用激光点云构建的高精度 DEM 数据和高分辨率影像数据，建立工程勘察区域的虚拟地表三维模型，对区域内各种地质现象与不良地质体进行有效、准确的遥感识别，并对灾害地质体的分布位置、形状、边界范围等空间信息进行数字采集。在此基础上，通过 DEM 计算快速获取灾害地质体的面积、高程、高差、坡度、坡向等几何要素，预估灾害地质体的规模大小及其影响范围，实现地质灾害的定性分析与定量分析相结合，确保地质灾害对工程的可能影响降至最低。

3.3 公路建设的生态环境影响分析

基于绿色植被的可见光光谱反射特性，利用机载三维激光扫描的高分辨率影像计算可见光植被指数，如过绿指数 *EXG*、归一化绿红差值指数 *NGRDI*、归一化绿蓝差值指数 *NGBDI* 和红绿比值指数 *RGRI* 等，对区域植被信息进行提取与分析。对机载三维激光点云数据进行滤波处理，基于激光点云数据进行植被三维重建，对植被覆盖度、植被高度等进行统计分析。采用系统聚类法、动态聚类法等方法，对可见光植被指数和植被高度等进行聚类分析，进行公路沿线的土地类型划分。线路方案应尽可能从荒地和低矮植被区通过，尽量绕避大面积耕地和高植被分布区，以使公路工程建设对生态环境做到最小程度破坏。

3.4 公路纵、横断面设计

常规的纵、横断面测设方法是针对路基、桥梁、隧道洞口等不同部位，采用不同间距测定中桩位置，如路基 20 m、桥梁 10 m、隧道洞口 5 m 等，然后再测定中桩对应的横断面地面线，测量工作量大，路线方案变更后需要重新测量。基于高密度、高精度激光点云数据，密集提取路线两侧一定阈值范围的地面激光点用作中桩点，并直接基于地面激光点云数据内插相应中桩的横断面三维地面线，避免了基于激光点云数据先构建 DEM 再内插生成横断面地面线的精度损失，代替人工野外测量。计算机自动生成的纵、横断面数据量更大，数据精度更高，在此基础上进行公路纵、横断面设计更加合理，土石方计算更精确，通过优化调配方法，真正做到零弃方、少借方。

4 应用效果

贵州省都匀至安顺公路是交通运输部公布的第三批绿色公路建设典型示范工程，项目位于贵州省黔南布依族苗族自治州都匀市、贵定县、惠水县和安顺市的镇宁县，都匀至安顺公路主线全长 218 km，另建都匀支线 43 km、贵安支线 23 km，全线共分 5 个设计标段。测区地形主要为丘陵及山地，海拔较高，云层低，雨量多，阴雨天气持续时间长，项目工期紧，人工测量困难。

项目采用恩斯特龙 480B 直升飞机为飞行平台，搭载 RIEGL VUX 激光扫描仪进行高精度机载三维激光扫描，数据采集宽度为路线中心线两侧各 800 m，

激光点云密度为 4.1 点/m^2，原始影像地面分辨率为 0.07 m。为保证数据成果精度，项目加大了地面 GNSS 基站的布设密度，共布设 15 个地面基站，全部架设在测区四等 GNSS 控制网上，采用静态基站模式；并在测区布设测量 48 个参考面，平均间距约 5 km，用于对激光点云数据进行精度检测与控制。项目利用3 243个外业实测数据对激光扫描测量成果进行精度检测，精度满足工程详测与施工图设计要求(表 1)。

表 1 机载三维激光扫描测量成果中误差 m

激光点云高程	数字正射影像图平面	数字线划地形图	
		平面	高程
±0.156	±0.183	±0.601	±0.512

采用该文方法对贵州省都匀至安顺公路第 DASJ－1 标段进行山区高速公路环保选线研究。第 DASJ－1 标段为项目起点路段，路线全长 55.542 km，该标段是全线地形起伏最大、地质条件最复杂、植被生长最茂密路段，沿线旅游景观生态资源丰富。

第 DASJ－1 标段采用三维地质遥感解译方法共识别滑坡 3 处、崩塌堆积体 13 处和不稳定斜坡 1 处，其中 1 处滑坡和 3 处崩塌堆积体对路线有一定影响，采取绕避或以桥梁形式通过以降低地质灾害对公路工程的危害。利用 SPSS 软件对第 DASJ－1 标段的过绿指数 EXG、植被高度等进行系统聚类分析，将区域土地类型划分为荒地(包括宅地、道路等)、低矮植被区、中等高度植被区、高植被区等土地类型，最终的路线方案主要从中、低植被区通过，将公路建设对生态环境的破坏降至最低。

第 DASJ－1 标段路线方案生态环境分析结果见表 2。

表 2 第 DASJ－1 标段路线方案生态环境分析结果

土地类型	里程/km	占比/%
(桥梁、隧道)	35.092	63.18
耕地(旱地、水田)	8.183	14.73
荒地(包括宅地、道路等)	0.793	1.43
低矮植被区	7.844	14.12
中等高度植被区	2.828	5.09
高植被区	0.802	1.45
合计	55.542	100

基于高密度、高精度激光点云数据，第 DASJ－1 标段共提取 6 310 个地面激光点用作中桩点，直接基于激光点云数据生成相应中桩的横断面三维地面线，横断面地面线单侧宽度为 80～200 m，地面线总长度达 1 586 km。该标段地形起伏大，桥隧比例高，公路设计尽可能避免了高填深挖，该标段总挖方 994.8 万 m^3，填方 976.1 万^3，做到了少弃方、零借方。

5 结论

通过贵州省都匀至安顺公路工程实践，得出以下结论：

(1) 机载三维激光扫描的数字正射影像图平面精度达到 0.183 m，激光点高程精度达到 0.156 m，满足高速公路详测与施工图设计的高精度要求。

(2) 建立虚拟三维环境进行遥感解译可有效识别、分析地质灾害，评价灾害体规模大小及其影响范围，为地质灾害的危险性分析与地质选线提供依据。

(3) 基于机载三维激光扫描进行可见光植被指数计算与植被三维重建，实现公路建设生态环境影响量化分析，使公路建设对沿线环境做到最小程度破坏。

(4) 采用激光点云数据直接生成纵、横断面地面线，断面数据量大、精度高，确保公路纵、横断面设计合理，土石方计算准确、调配科学。

参考文献：

[1] 中华人民共和国交通运输部.交通运输节能环保“十三五”发展规划[R],2016.

[2] 中华人民共和国交通运输部办公厅.交通运输部办公厅关于实施第三批绿色公路建设典型示范工程的通知[Z/OL], http://zizhan.mot.gov.cn/zfxxgk/bnssj/glj/201705/t2017 0505_2200629.html.

[3] 中华人民共和国交通运输部.交通运输部关于实施绿色公路建设的指导意见[Z/OL],http://zizhan.mot.gov.cn/zfxxgk/bnssj/glj/201608/t20160803_2071084.html.

[4] 中华人民共和国交通运输部.交通运输部关于全面深入推进绿色交通发展的意见[Z/OL],http://zizhan.mot.gov.cn/zfxxgk/bnssj/zcyjs/201712/t20171206_2945749.html.

[5] 曾伟,赵建雄,王朝辉,等.绿色公路评估现状与发展[J].筑路机械与施工机械化,2016(11).

[6] 杨晓清.浅谈山区公路选线[J].公路,2013(9).

[7] 麻丁一,艾长发.复杂山区高速公路选线的思路和体会[J].中外公路,2008(4).

[8] 余飞,余绍淮,陈楚江.机载激光雷达测量技术在高速公路勘察设计中的应用研究[J].中外公路,2016(2).