

广西交通运输行业指南

《公路工程实景三维应用规范》

编制说明

一、任务来源、起草单位和主要起草人

(一) 任务来源

根据《广西壮族自治区交通运输厅关于下达 2022 年度广西交通运输标准化项目计划的通知》(桂交科教发〔2022〕27 号)文,《公路工程实景三维应用规范》列入 2022 年广西交通运输标准化项目计划,被批准立项为广西交通运输行业指南,项目编号为 2022-32。

(二) 起草单位和主要起草人

主编单位:广西路桥工程集团有限公司。

参编单位:武汉天际航信息科技股份有限公司、广西壮族自治区自然资源调查监测院、武汉大学、广西产研院时空信息技术研究所、广西交通设计集团有限公司、广西北投交通养护科技集团有限公司、广西新发展交通集团有限公司。

本标准编制人员组成:解威威、盘贻峰、林广泰、覃子秀、冯学茂、李雍友、苏强、邓希、刘先林、畅振超、邓非、陈博文、董杰、陈孝强、李洋、左天惠、李新建、薛小战、黄海峰、吕立波、严远方、王红伟、张立波、聂品、韦凯。

本标准编制单位分工:

1) 广西路桥工程集团有限公司:负责项目组织实施全面工作,负责应用标准的整体编制工作,负责本项目的成果转化实施,提供工程依托项目及实际工程的施工。

2) 武汉大学: 负责应用标准的技术内容开发及部分技术内容编制, 参与项目实施全过程。

3) 武汉天际航信息科技股份有限公司: 负责应用标准的技术内容开发及部分技术内容编制, 参与项目实施全过程。

4) 广西壮族自治区自然资源调查监测院: 调研汇总广西实景三维数据处理流程, 协助编制实景三维生产技术流程及相关要求。

5) 广西产研院时空信息技术研究所: 调研汇总实景三维在公路工程相关领域的应用, 编制相关应用案例。

6) 广西交通设计集团有限公司: 调研汇总实景三维在公路工程勘察设计阶段的应用, 编制相关应用要求及编制应用案例。

7) 广西北投交通养护科技集团有限公司: 调研汇总实景三维在公路工程运营养护阶段的应用, 编制相关应用要求及编制应用案例。

8) 广西新发展交通集团有限公司: 调研汇总实景三维在公路工程建设各阶段的应用, 编制相关应用要求及编制应用案例。

二、制定标准的必要性和意义

党的十八大以来, 习近平总书记多次考察信息化建设情况, 强调要加快建设数字中国。党的十九大报告明确提出建设数字中国, 以更好服务我国经济社会发展和改善人民生活。实景三维中国建设是落实数字中国、平安中国、数字经济战略的重要举措, 是落实国家新型基础设施建设的具体部署, 是服务生态文明建设和经济社会发展的基础支撑。

2015 年国务院批复同意的《全国基础测绘中长期规划纲要(2015—2030 年)》指出要加快推进新型基础测绘体系建设, 不断提升基础测绘保障服务能力和水平。2019 年印发的《自然资源部信息

化建设总体方案》提出“推进三维实景数据库建设”。2020年全国国土测绘工作会议提出新时期测绘工作“两服务、两支撑”的根本定位，明确要求大力推动新型基础测绘体系建设，构建实景三维中国。2021年全国自然资源工作电视电话会议要求“加快建设实景三维中国、自然资源一张底图”。

在《广西高速公路网规划（2018-2030）》中，广西计划新增高速公路里程约6600公里，改扩建里程1260公里，建成后我区高速公路网将形成“1环12横13纵25联”的布局，并在2030年全区高速公路总规模达到15200公里，庞大的建设规模以及公路工程固有的长线性分布、现场环境和人员复杂等特征，使得管理人员难以及时了解施工现场情况，对公路工程管理提出了巨大挑战。如何加强公路工程施工现场进度、质量、计量管理、加强施工过程管控，降低施工成本，是公路工程建设亟需解决的关键问题。

在此背景下，建设公路工程的实景三维，并应用于公路工程建设管理，在此基础上结合施工矢量资料，进行进度、质量、计量管理，实现将工地现场搬到计算机上进行管理的目标，既为公路工程过程管控提供了全新高效的解决方案，也为实景三维中国的建设提供了先行经验。然而目前国内基于公路工程的实景三维建模技术尚无应用标准，无法满足广西大规模公路工程建设高效管理需求。

编制公路工程实景三维应用规范，能为广西地区公路工程实景三维的推广应用提供有力参考，对公路工程项目建设提质增速和加快建设实景三维中国具有重要意义。

在已有工作基础方面，编制组已成功开展了《无人机技术在公路工程中的应用研究》等多项集团内部课题研究，并于广西交通厅和住建厅分别立项开展了《无人机低空遥感技术在公路工程建设中的应用研究》和《无人机技术在建筑工程建设中的应用研究》课题的研究；已申报并获受理发明专利《一种用于土石方测量及施工系统》、《一种基于 BIM+GIS 的电子沙盘系统及其构建方法》等多项，发表中文核心论文《超低空遥感技术在工程建设中的应用》等 4 篇；研发了基于 BIM+GIS 的电子沙盘系统及基于无人机测绘的土石方自动算量平台，可实现施工方案的三维可视化推演及工程质量和进度的有效管控与现场土石方计量的有效管理，并已成功应用于巴平路、龙门大桥、信梧路、吴隆路等多个项目。

三、主要起草过程

（一）成立标准编写组，召开编写组第一次工作会议

广西交通运输行业指南《公路工程实景三维应用规范》项目任务下达后，广西路桥工程集团有限公司成立了标准编制工作组，制定了标准编写方案，明确任务职责，确定工作技术路线，开展标准研制工作，具体标准编制工作由武汉天际航信息科技股份有限公司、广西壮族自治区自然资源调查监测院、武汉大学、广西产研院时空信息技术研究所、广西交通设计集团有限公司、广西北投交通养护科技集团有限公司相关人员配合。

（二）收集整理文献资料

本标准起草人员的前期研究工作分为资料调查与研究、工程案例及数据收集检验、总结完善 3 个步骤进行：1、调研了国内外大量的无人机技术在公路工程中的实际应用案例和相关的标准规范、规程、政策文件及研究成果；2、搜集了国内及广西地区部分实景三维项目的案例及数据资料；3、对搜集到的检测资料进行分类整理和研究，为下一步的规范研究提供必要的指导和技术支撑。

实际案例的资料主要包括实景三维模型应用于公路工程土石方量测算、实景三维与 BIM 模型结合应用于工程电子沙盘、激光雷达采集的点云等数据应用于工程原地面复测。相关规范的资料主要包括《公路工程无人机倾斜摄影测量技术规程》（DB34/T 3713-2020）、《测绘地理信息成果质量检查与验收 第 4 部分：实景三维模型》（DB23/T 2646-2020）、《机载倾斜摄影三维地理信息模型数据成果质量检验技术规程》（DB43/T 1769-2020）、《无人机航摄系统技术要求》（CH/Z 3002-2010）、《可量测实景影像》（CH/Z 1002-2009）、《近景摄影测量规范》（GB/T 12979-2008）等相关行业和地方标准。

（三）研讨确定标准主体内容

标准编制工作组在对收集的资料进行整理研究之后，标准编制工作组召开了标准编制会议，对标准的整体框架结构进行了研究，并对标准的关键性内容进行了初步探讨。经过研究，标准的主体内容确定为范围、规范性引用文件、术语和定义、外业数据采集技术要求、外

业作业安全注意事项、内业数据处理技术要求、数据检查、数据成果应用、附录等9个部分。

(四) 召开大纲评审会，完善形成征求意见初稿

为确保本标准的编写工作有序开展，编写工作组在前期大量的研究工作的基础上，于2022年8月初完成了《公路工程实景三维应用规范》的编制大纲和工作大纲，并经内部评审讨论后，于2022年8月29日召开了大纲外部评审会，评审会针对大纲共提出了18条建议和意见。根据大纲评审专家的意见，以修改完善后的大纲作为项目的工作指导，编写工作组开展了标准正式的编写工作，并于2023年8月上旬完成了征求意见初稿。

(五) 召开征求意见初稿讨论会，完善形成征求意见稿

为评价本标准成果的结构、内容及可操作性，以及能否开展下阶段的征求意见工作。于2023年8月29日对本标准的征求意见初稿进行了会审，征求意见初稿讨论会共提出了17条建议和意见，根据专家的意见，编写工作组于2023年10月下旬完成工作讨论会意见修改，完善形成了征求意见稿。

(六) 开展征求意见，完善形成送审稿

为确保本标准的可行性和适用性，于2023年11月6日向社会公开征求意见，于2023年12月8日，完成征求意见工作，并对征集到的意见进行汇总处理。反馈意见汇总及处理情况如下：共征求20家单位意见，其中5家单位回函并提出意见，反馈意见15条，共征求5位专家意见，5位专家均回函并提出意见，反馈意见23条，其中采纳33条，部分

采纳1条，不采纳4条。2023年12月20日，根据征求反馈的意见进行修改完善后形成送审初稿，并聘请专家进行审稿。2024年1月8日，按照审稿专家意见进行修改完善后形成送审稿。

（七）召开技术审查会，形成报批稿

2024年4月23日召开技术审查会，对标准送审稿进行技术审查。编写小组会后根据专家意见进行修改完善，形成报批初稿。2024年6月聘请统稿专家和格式专家对报批初稿进行统稿和格式审查，修改完善后形成报批稿，之后申请开展标准报批工作。

四、制定标准的原则和依据，与现行法律、法规的关系与有关国家标准、行业标准的协调情况

（一）标准制定原则

本标准的编制遵循国家、行业和广西壮族自治区现行有关标准的规定。编写工作组充分调研了国内外大量的无人机技术在公路工程中的实际应用案例和相关的标准规范、规程、政策文件及研究成果，搜集了国内及广西地区部分实景三维项目的案例及数据资料，并对搜集到的检测资料进行分类整理和研究，经过编写工作组成员讨论，确定标准编制遵循以下基本原则：

（1）科学性原则

本标准分析了国内外关于无人机技术在公路工程中的实际应用案例和相关的标准规范、规程、政策文件及研究成果，结合国内及广西地区公路工程项目的地形分布特点及实景三维的应用现状，在此基础上对已发布的相关标准、规范、规程进行整理、归纳和分类，建立

了科学、实用、合理的广西地区公路工程行业实景三维数据采集处理及在建设各阶段的应用标准。

（2）承接性原则

本标准术语、符号、条文尽量与相应国家、国际、行业和地方标准的规定内容相一致，条文未出现自相矛盾的地方。标准技术内容与国家、国际、行业和地方标准兼容，未出现冲突，保证了一致性。标准技术内容中引用其他标准时，已明确指出所引用标准的内容或名称，增强了标准的可读性和可操作性。

（3）可操作性原则

本标准的起草充分调研了国内外、广西壮族自治区地区公路工程实景三维的应用场景、应用过程中的痛点及解决措施，征求了高校、公路管理、设计院、施工单位等领域的专家意见。编写组在此基础上进过反复讨论和修改，编制此标准。标准内容针对性强，可操作性高，易于推广。

（二）标准与现行法律、法规的关系，与有关国家、行业标准的协调情况

自然资源部于 2021 年 8 月印发的《实景三维中国建设技术大纲（2021 版）》文件中指出，要加快推进实景三维中国的建设，实景三维的建设应用正处于加速推进时期，但目前可执行的标准和规范仍然比较少。以实景三维为关键字查询全国标准信息公共服务平台和国家标准全文公开系统，获得黑龙江省地方标准《测绘地理信息成果质量检查与验收第 4 部分：实景三维模型》（DB23/T 2646-2020）、测绘

行业标准《实景三维地理信息数据激光雷达测量技术规程》(CH/T 3020-2018)和正在征求意见的国家标准《实景三维地理信息数据产品》(20142133-T-466)三项检索结果。查询广西交通运输标准项目清单《广西交通运输标准项目清单》则未见相关标准。

上述检索的标准均为关于测绘领域实景三维生产的相关要求，而未涉及实景三维在公路工程领域的应用，随着国家加速推进实景三维中国的建设，其在公路工程中的应用也是大势所趋。而编制公路工程实景三维应用规范，能为实景三维在公路工程领域的深入应用提供技术支撑，也为其实现其他各个领域的深入应用提供借鉴，具有较强的创新性和先进性。

标准编制组承诺：本标准的各项指标不低于国家强制性标准和国家推荐性标准，内容与现行的法律、法规及强制性标准无冲突。标准的编写符合GB/T 1.1-2020的要求。

五、主要条款的说明，主要技术指标、参数、试验验证的论述

广西交通运输行业指南《公路工程实景三维应用规范》主要章节内容包括：术语和定义、总则、数据采集、数据处理、数据检查与成果归档、勘察设计阶段应用、施工阶段应用、运营养护阶段应用。

本标准的编制遵循国家、行业和广西壮族自治区现行有关标准的规定。编写工作组充分分析了国内外关于无人机技术在公路工程中的实际应用案例和相关的标准规范、规程、政策文件及研究成果，结合国内及广西地区公路工程项目的地形分布特点及实景三维的应用现

状，在此基础上对已发布的相关标准、规范、规程进行整理、归纳和分类，形成了科学、实用、合理的广西地区公路工程行业实景三维数据采集处理及在建设各阶段的应用标准。

1、标准名称

为保证标准的全面性和针对性，拟定本标准名称为《公路工程实景三维应用规范》。本标准名称一方面界定了其应用范围为公路工程领域，另一方面限定了其应用对象为实景三维产品。

2、范围

本标准规定了适用对象为广西壮族自治区行政区域内新建及改建扩建公路工程项目在勘察设计、施工、运营养护阶段的实景三维应用。

3、规范性引用文件

本标准列举了通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。

4、术语和定义

本标准涵盖了公路工程实景三维应用的相关术语和定义。

5、总则

本标准对应用过程所采用的坐标系统、航摄仪选用原则等要求做出了统一规定。

6、数据采集

本标准对公路工程实景三维前期数据采集的航飞条件、设备要求、航测范围、航测方法的条件及原则等做出了规定。

6.1 航飞条件

第 6.1.1 条：中国民用航空局发布的《民用无人机驾驶员管理规定》规定对无人机系统驾驶员实施分类管理。

在室内运行的无人机，I、II类无人机，在人烟稀少、空旷的非人口稠密区进行试验的无人机，由无人机系统驾驶员自行负责，无须执照管理。

在隔离空域和融合空域运行的除 I、II 类以外的无人机，其驾驶员执照由航空局实施管理。

A. 操纵视距内运行无人机的驾驶员，应当持有按规定颁发的具备相应类别、分类等级的视距内等级驾驶员执照，并且在行使相应权利时随身携带该执照。

B. 操纵超视距运行无人机的驾驶员，应当持有按规定颁发的具备相应类别、分类等级的有效超视距等级的驾驶员执照，并且在行使相应权利时随身携带该执照。

表 1 分类等级

分类等级	空机重量（千克）	起飞全重（千克）
I		$0 < W \leq 0.25$
II	$0.25 < W \leq 4$	$1.5 < W \leq 7$
III	$4 < W \leq 15$	$7 < W \leq 25$
IV	$15 < W \leq 116$	$25 < W \leq 150$
V		植保类无人机
VI	$116 < W \leq 5700$	$150 < W \leq 5700$
VII		$W > 5700$

根据国务院发布的《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》（自 2024 年 1 月 1 日起施行）规定，操控微型、轻型民用无人驾驶航空器飞行的人员，无需取得操控员执照，但应当熟练掌握有关机型操作方法，了解风险警示信息和有关管理制度。

操控小型、中型、大型民用无人驾驶航空器飞行的人员应当具备完全民事行为能力，接受安全操控培训，并经民用航空管理部门考核合格，无可能影响民用无人驾驶航空器操控行为的疾病病史，无吸毒行为记录，近 5 年内无因危害国家安全、公共安全或者侵犯公民人身权利、扰乱公共秩序的故意犯罪受到刑事处罚的记录，并向国务院民用航空主管部门申请取得相应民用无人驾驶航空器操控员执照。

从事常规农用无人驾驶航空器作业飞行活动的人员无需取得操控员执照，但应当由农用无人驾驶航空器系统生产者按照国务院民用航空、农业农村主管部门规定的内容进行培训和考核，合格后取得操作证书。

表 2 机型分类

机型	空机重量 (kg)	最大起飞重量 (kg)	最大飞行真高 (m)	最大平飞速度 (km/h)	其他要求
微型	<0.25	/	≤50	≤40	无线电发射设备符合微功率短距离技术要求，全程可以随时人工介入操控的无人驾驶航空器。
轻型	<4	≤7	/	≤100	具备符合空域管理要求的空域保持能力和可靠被监视能力，全程可以随时人工介入操控的无人驾驶航空器，但不包括微型无人驾驶航空器。
小型	<15	≤25	/	/	具备符合空域管理要求的空域保持能力和可靠被监视能力，全程可以随时人工介入操控的无人驾驶航空器，但不包括微型、轻型无人驾驶航空器。
中型	/	≤150	/	/	不包括微型、轻型、小型无人驾驶航空器。
大型	/	>150	/	/	/
农用	/	/	≤30	≤50	最大飞行半径不超过 2000

					米，具备空域保持能力和可靠被监视能力，专门用于植保、播种、投饵等农林牧渔业，全程可以随时人工介入操控的无人驾驶航空器。
--	--	--	--	--	---

未取得操控员执照操控民用无人驾驶航空器飞行的，由民用航空管理部门处 5000 元以上 5 万元以下的罚款；情节严重的，处 1 万元以上 10 万元以下的罚款。

第 6.1.2 条：根据《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》规定，国家根据需要划设无人驾驶航空器管制空域（以下简称管制空域）。真高 120 米以上空域，空中禁区、空中限制区以及周边空域，军用航空超低空飞行空域，以及机场以及周边一定范围的区域；国界线、实际控制线、边境线向我方一侧一定范围的区域；军事禁区、军事管理区、监管场所等涉密单位以及周边一定范围的区域；重要军工设施保护区、核设施控制区域、易燃易爆等危险品的生产和仓储区域，以及可燃重要物资的大型仓储区域；发电厂、变电站、加油（气）站、供水厂、公共交通枢纽、航电枢纽、重大水利设施、港口、高速公路、铁路电气化线路等公共基础设施以及周边一定范围的区域和饮用水水源保护区区域；射电天文台、卫星测控（导航）站、航空无线电导航台、雷达站等需要电磁环境特殊保护的设施以及周边一定范围的区域；重要革命纪念地、重要不可移动文物以及周边一定范围的区域；国家空中交通管理领导机构规定的其他区域上方的空域应当划设为管制空域。

管制空域的具体范围由各级空中交通管理机构按照国家空中交通管理领导机构的规定确定，由设区的市级以上人民政府公布，民用航空管理部门和承担相应职责的单位发布航行情报。

未经空中交通管理机构批准，不得在管制空域内实施无人驾驶航空器飞行活动。

管制空域范围以外的空域为微型、轻型、小型无人驾驶航空器的适飞空域（以下简称适飞空域）。

未经批准操控微型、轻型、小型民用无人驾驶航空器在管制空域内飞行，或者操控模型航空器在空中交通管理机构划定的空域外飞行的，由公安机关责令停止飞行，可以处 500 元以下的罚款；情节严重的，没收实施违规飞行的无人驾驶航空器，并处 1000 元以上 1 万元以下的罚款。

第 6.1.5 条：通过调研市面上大部分的主流无人机作业温度范围，取大部分无人机作业温度中间值，故设置温度条件为室外温度宜在-10℃ ~ 40℃。

第 6.1.6 条：在陡峭山区和高大建筑物密集的城镇地区宜在正午前后各 1 小时内摄影，减少阴影对地物细节影响，条件允许时，可实施低空云下摄影。

6.2 设备要求

第 6.2.1~6.2.4 条，参考《公路工程 无人机倾斜摄影测量技术规程》（DB34/T 3713—2020），结合项目实际给出各项规定值。

第 6.2.4 条: CH/Z 3005 中的规定相机检校应满足以下要求:

- a) 通过摄影测量平差方法解算相机检校参数, 包括主点坐标、主距、畸变参数、像元尺寸、面阵大小等, 并提供检校数学模型;
- b) 主点坐标中误差不应大于 $10 \mu\text{m}$, 主距中误差不应大于 $5 \mu\text{m}$, 残余的畸变差不应大于 0.3 像素;
- c) 当航摄相机出现大修、关键部件更换、或者遭受剧烈振动和冲击等情况下, 应重新检校;
- d) 航摄相机应定期检校。一般不超过 2 年, 采用弹射伞降起降方式等频繁使用的相机检校期原则上不超过 1 年。

第 6.2.5.2 条: CH/T 8024 中的规定对 POS 系统的选择和要求如下:

- a) 应采用双频航空型 GPS 接收机, 具备高动态, 高准确度双频数据接收能力, 具有精确定义和稳定的相位中心, 采样频率不低于 2 Hz;
- b) IMU 测角精度要求: 侧滚角和俯仰角不大于 0.005° , 航偏角不大于 0.02° ;
- c) IMU 记录频率一般不低于 64 Hz;
- d) 具有信号示标输入器 (event marker) 接口, 能够将数码相机快门开启脉冲通过接口准确写入 GPS 数据流, 脉冲延迟一般不大于 1ms, 特殊情况下可适当放宽;
- e) 电源系统应满足长时间无间断作业要求;
- f) 机内移动存储器应满足长时间记录和存储所有数据的容量;
- g) GPS 接收机的检定应符合 CH/T 8016 的规定, IMU 的检定应符合相关标准的规定;

h) 系统具有良好的抗加速能力。

第 6.2.5.3 条： GB 50167 中的规定机载激光雷达测量点间距和点云密度应符合下表要求

表 3 点间距和点云密度要求

成图比例尺	1:500	1:1000	1:2000
测量点间距 (m)	≤0.4	≤0.7	≤1.2
点云密度 (点/m ²)	≥6	≥2	≥0.7

第 6.2.5.4 条： GB 50167 中的规定机载激光雷达测量高程中误差应符合表 4 要求

表 4 机载激光雷达测量高程中误差

单位： m

高程中误差 \ 比例尺	1: 500	1: 1000	1: 2000
地形类别			
平坦地	0.15	0.2	0.3
丘陵地	0.3	0.4	0.4
山地	0.4	0.6	1.0
高山地	0.6	1.2	1.2

注：隐蔽或困难地区可放宽 50%。

第 6.2.5.5 条：机载激光雷达测量成果检查进行外业实测检查相关参数，参照《山区公路路堤与高边坡监测技术规程》（DB51/T 3090-2022）获得。

6.3 航测范围

根据公路功能型等级和应用阶段，以道路中心线为中心，实景三维模型的有效宽度 W 取值，参照《公路工程无人机倾斜摄影测量技术规程》（DB34/T 3713-2020）测区带宽，并结合公路工程各功能型等级以及各应用阶段的施工范围进行确定。

6.4 航测方法

6.4.1 条：像控点全称为像片控制点，是直接为摄影测量的控制点加密或测图需要而在实地布设并进行测定的控制点。

第 6.4.1.2 条：像控点地面标志的形状宜按图 1 选取

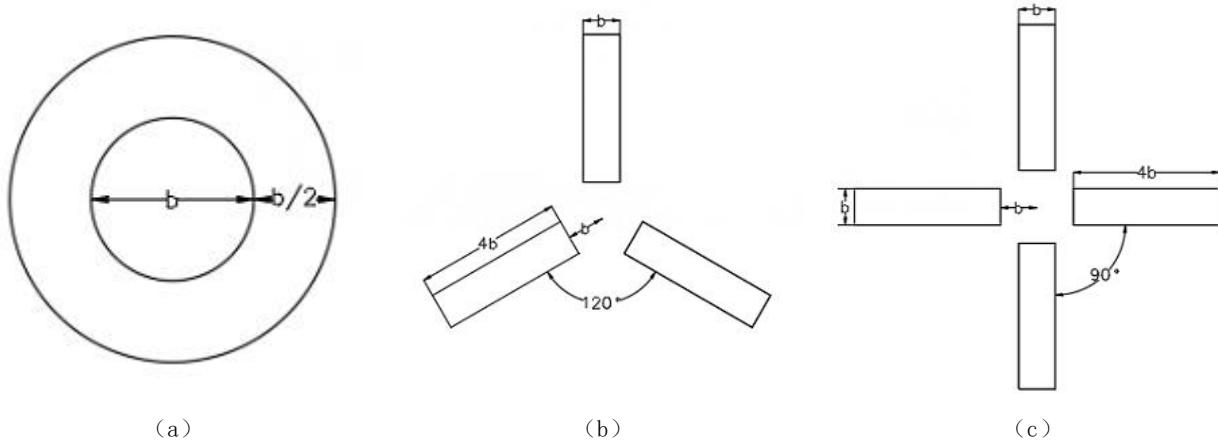


图 1 地面标志形状

像控点地面标志的尺寸大小可根据摄影像片比例尺分母 M ，并按照下式计算确定： $b=0.04M$ (mm)

第 6.4.1.3~6.4.1.4 条：像控点布设与测量要求参照《公路工程无人机倾斜摄影测量技术规程》（DB34/T 3713-2020）设置。

第 6.4.1.3 条：像控点在像片中的位置宜选在像片旁向重叠中线附近，尽量远离像片边缘。

CH/Z 3004 中规定像片控制点的布设可分为单航线布点或区域网

布点。区域网布点应满足以下基本要求：

- a) 区域网的划分应依据成图比例尺、地面分辨率、测区地形特点、航摄分区的划分、测区形状等情况全面进行考虑，根据具体情况选择最优实施方案；
- b) 区域网的图形宜呈矩形；
- c) 区域网的大小和像片控制点之间的跨度以能够满足空中三角测量精度要求为原则；
- d) 相邻像对和相邻航线之间的控制点宜公用；
- e) 特殊困难地区（大面积沙漠、戈壁、沼泽、森林、湖泊、河流、滩涂、岛礁等）的可到达区域，应适当增加像片控制点数量。

第 6.4.1.4 条：CH/T 3004 中规定像片控制点选点、测量与整饰应按下列要求进行：

- a) 在数字影像上选点、标记，准确标示出刺点位置；
- b) 根据刺点片在现场选点时，应根据现场情况确认刺点位置是否满足控制点刺点和观测要求。如不满足时可与内业沟通在附近重新选点；
- c) 像片控制点测量时，拍摄像片控制点的现场照片，分别为清晰地反映像片控制点与周边地物相对方位关系的现场照片、清晰地反映像片控制点实地准确位置的现场照片。像片控制点的测量方法和要求按照 CH/T 3006-2011 的第 7 章执行；
- d) 对像片控制点测量成果进行检查、平差、坐标转换，坐标转换成果应使用未参与坐标转换参数计算的点位进行检核；

- e) 制作点之记文件，格式见附录 B 点之记；
- f) 将像片控制点的最终成果数据整理、制作像片控制点成果表，格式见附录 C 像片控制点成果表；
- g) 点之记、刺点片、像控点成果表宜制作成电子数据。

GB/T 7931 中规定：

像片控制测量的基础为除使用国家等级点外，可根据测区的实际情况和具体要求，合理地布设测角中误差小于或等于 $5''$ 的小三角点和导线点，以及施测等外水准作为像片控制测量的基础。对于采用独立坐标系的小测区，也可布设 $5''$ 级小三角网和导线网作为像片平面控制测量的基础。

像片控制点测量的精度要求为平面控制点和平高控制点相对邻近基础控制点的平面位置中误差不应超过地物点平面位置中误差的 $1/5$ 。高程控制点和平高控制点相对邻近基础控制点的高程中误差不应超过基本等高距的 $1/10$ 。

RTK 控制测量前，应根据任务需要，收集测区高等级控制点的地心坐标、参心坐标、坐标系统转换参数和高程成果等，进行技术设计。

RTK 平面控制点按精度划分等级为：一级控制点、二级控制点、三级控制点。RTK 高程控制点按精度划分等级为等外高程控制点。一级、二级、三级平面控制点及等外高程控制点，适用于布设外业数字测图和摄影测量与遥感的控制基础，可以作为图根测量、像片控制测量、碎部点数据采集的起算依据。

平面控制点可以逐级布设、越级布设或一次性全面布设，每个控制点宜保证有一个以上的等级点与之通视。

RTK 测量可采用单基准站 RTK 测量和网络 RTK 测量两种方法进行。在通信条件困难时，也可以采用后处理动态测量模式进行测量。

已建立 CORS 网的地区，宜优先采用网络 RTK 技术测量。

RTK 测量卫星的状态应符合表 5 规定。

表 5 RTK 测量卫星状态基本要求

观测窗口状态	截止高度角 15° 以上的卫星个数	PDOP 值
良好	≥6	<4
可用	5	≥4 且≤6
不可用	<5	>6

第 6.4.3.2 条：相机倾角指倾斜放置相机主光轴与垂直放置相机主光轴在它们所确定的平面内所形成的夹角。单镜头相机在进行倾斜摄影拍摄时，相机倾角宜设置为 45°，进行正射影像拍摄时，相机倾角宜设置为 90°，使相机镜头垂直与航摄区域。五镜头相机可同时从一个垂直、四个侧视等不同角度采集影像，相机倾角宜设置为下视镜头 90°、倾斜镜头 45°，所获得的影像更接近人眼对立面纹理信息的真实视觉体验。

第 6.4.3.3 条：低空数字航空摄影规范规定“航向重叠度一般应为 60% ~ 80%，最小不小于 53%；旁向重叠度一般应为 15% ~ 60%，最小不小于 8%”。在无人机倾斜摄影时，旁向重叠度是明显不够的。不论航向重叠度还是旁向重叠度，按照算法理论建议值是 66.7%。可以区分为建筑稀少区域和建筑密集区域两种情况来进行介

绍。

(1) 建筑稀少区域

考虑到无人机航摄时的俯仰、侧倾影响，无人机倾斜摄影测量作业时在无高层建筑、地形地物高差比较小的测区，航向、旁向重叠度建议最低不小于 70%。要获得某区域完整的影像信息，无人机必须从该区域上空飞过。以两栋建筑之间的区域为例，如果这两栋建筑由于高度对这个区域能形成完全遮挡，而飞机没有飞到该区域上空，那么无论增加多少相机都不可能拍到被遮区域，从而造成建筑模型几何结构的粘连。

(2) 建筑密集区域

建筑密集区域的建筑遮挡问题非常严重。航线重叠度设计不足、航摄时没有从相关建筑上空飞过，都会造成建筑模型几何结构的粘连。为提高建筑密集区域影像采集质量，影像重叠度最多可设计为 80% ~ 90%。当高层建筑的高度大于航摄高度的 1 / 4 时，可以采取增加影像重叠度和交叉飞行增加冗余观测的方法进行解决。如著名的上海陆家嘴区域倾斜摄影，就是采用了超过 90% 的重叠度进行影像采集以杜绝建筑物互相遮挡的问题。影像重叠度与影像数据量密切相关。影像重叠度越高，相同区域数据量就越大，数据处理的效率就越低。所以在进行航线设计时还要兼顾二者之间的平衡。

第 6.4.3.4 条：地面分辨率 GSD 取值参照《公路工程无人机倾斜摄影测量技术规程》(DB34/T 3713-2020) 选定。

第 6.4.3.5 条：航摄分区划分要求参照《数字航空摄影规范 第

一部分：框幅式数字航空摄影》（GB/T 27920.1-2011）设置。

第 6.4.3.6～6.4.3.8 条，各参数参照《公路工程无人机倾斜摄影测量技术规程》（DB34/T 3713-2020）设置。

第 6.4.3.9 条：影像质量要求参照《低空数字航空摄影规范》（CH/T 3005-2021）设置。

第 6.4.4.5 条：边界覆盖数据质量检查参数参照《低空数字航空摄影规范》（CH/T 3005-2021）设置。

第 6.5.1.2 条：SLAM 三维激光扫描系统，最大的用途是可以进行实时移动式的测量，快速进行采空区的数据采集，其主要是依靠 SLAM 算法。SLAM 的全称是 Simultaneous Localization and Mapping 即时定位与地图构建。SLAM 算法根据激光测距仪所获得三维数据中时间轴上共同的特征点加上 IMU 获取的姿态数据，进行实时解算设备从出发点移动的距离，角度信息，逆向的构建连续的空间场景数据。即被动式依据当前周围场景的数据实时计算出连续的空间数据。

第 6.5.2 条：获取卫星影像要求参照《全球地理信息资源卫星遥感影像区域网平差生产技术规程》（CH/T 9038-2023）设置。

7、数据处理

本标准对实景三维相关数据处理的格式、相机畸变校正、瓦片命名及大小、软硬件等条件做出了要求，对于数据整理、数据预处理、空三流程以及检查、实景三维模型的构建、数据的更新与导出的流程与要求做出了规范。

7.1 基本要求

本条对于在采集生产过程中使用的数据的格式、相机畸变差校正、瓦片名称及大小、软硬件要求以及生产流程进行了规定。

第 7.1.4 条：设置瓦片格网大小时应考虑内存预估使用量，根据硬件配置不同适当调整，最大不宜超过硬件运行内存的 2/3。如若超过硬件运行内存的 2/3 有可能会导致硬件崩溃。

7.2 数据整理及预处理

本条对于数据如何整理和分析的具体条例以及数据预处理的方法及具体内容进行了说明。

第 7.3.2.1 条：相对定向参照《公路工程无人机倾斜摄影测量技术规程》（DB34/T 3713-2020）选定。

第 7.3.3 条：模型重建结果检查即通过软件自动化完成的建模结果，未经后处理时需要检查的内容。

第 7.4.5 条：实景三维模型成果按照模型块进行存储，以测区中心为原点，以便重新打开模型后经过缩放能够最快的看到测区的全貌；测区中心点坐标取整，方便对中心坐标进行记忆和记录。

块与块之间重叠 1%，如若后期需要合并区块使得各分块有重叠部分可以进行匹配和融合。

第 7.5.1 条：遵循现势性原则的原因在于基础地理信息数据是包括自然地理信息中的地貌、水系、植被以及社会地理信息中的居民地、交通、境界、特殊地物、地名等信息的反应，因此必须保证其现势性，基础地理信息数据库才会体现其更新的价值。

如果更新部分和未更新部分不相匹配，那么在数据叠加入库的过程中就会出现信息数据的披露。采用多项式变换或者是用精度较高的空间数据来纠正精度较低的空间数据都可以有效的减少披露的出现。

由于城市基础地理信息数据库更新的任务量极其繁重，在这种情况下，数据库的更新要求不仅仅是停留在对图形信息数据的更新上，而是要求对其属性数据进行同时的更新，二者不分先后顺序，否则也会给数据库更新工作带来不必要的麻烦。

由于信息数据库中的图种数量繁多，因此，在更新的过程中，如何保证各个图种之间数据的一致性以及同一个图种内的坐标系统的一致性显得尤为重要。只有他们的一致性得到保持，才能保持通过这些数据信息制定的决策的准确性。

第 7.5.3 条：基础地理信息数据库更新的基本流程如下：

- a) 确定更新策略。在进行数据更新的工作之前，应该先制定本次更新工作想要达到的目的，除此之外，还要划分出要进行更新工作的区域以及制定相应的更新措施等；
- b) 获取变化信息。这个过程可以通过专业队伍进行实地调查、卫星遥感影像以及其他社会途径等确定变化的信息；
- c) 采集变化信息。采集的方式有：将图画进行技术处理、室外探查、卫星遥感影像处理等；
- d) 现势数据生产。这个过程是将采集的新信息与现有数据库中不需要更新的数据信息进行结合以形成新的信息数据库。结合方式可以采用插入、删除、替换等；

e) 现势数据提供。这个过程可以采用批量替代的方式。然而，用户会对所购买的数据进行相应的加工并且储存下来，在这种情况下就需要仅仅对发生变化的数据进行输出，保证用户与其所处理的数据的一致性。

8、数据检查与成果归档

本标准对数据检查的依据做出了解释，对于数据检查的内容与方法以及流程、数据抽样的程序做出了规范，对成果的质量元素和权重划分、错漏分类进行了说明，对于成果的质量评定做出了规定，明确了成果归档的内容及其要求。

第 8.1 条：数据采集及处理后，需要对数据成果进行检查，以保证其满足项目生产需要。

第 8.3.3.3 条：采用差分 GPS 定位，IMU 和 GPS 数据联合解算的平面、高程和速度偏差不应大于表 6 的规定。

表 6 IMU 和 GPS 数据联合解算偏差限值

成图比例尺	平面偏差限值/m	高程偏差限值/m	速度偏差限值/m/s
1:100000 1:50000	0.15	0.8	0.7
1:25000 1:10000	0.15	0.5	0.6
1:5000 1:2000	0.1	0.4	0.5
1:1000 1:500	0.08	0.3	0.4

采用 GPS 精密单点定位，IMU 和 GPS 数据联合解算的平面位置偏差不应大于 0.15 m，高程位置偏差不应大于 0.5 m，速度偏差不应大于 0.6 m/s。

第 8.6.3.3 条：单位成果中出现 A 类错漏，即为前期准备工作都未按要求开展，严重不符合生产需求。

9、勘察设计阶段应用

本标准对于实景三维在公路工程在勘察设计阶段的数据精度、设备仪器的条件做出了要求，对于在地形图制作、方案比选、迁地拆迁等方面的应用做出了规范，应用案例详见附件 1。

第 9.2 条：实景三维模型地面分辨率参照《数字航空摄影规范 第 1 部分：框幅式数字航空摄影》（GB/T 27920.1-2011），三维模型平面和高程精度参照《三维地理信息模型数据产品规范》（CH/T 9015-2012），航向旁向重叠度参照《低空数字航空摄影规范》（CH/T 3005-2021），正射影像分辨率参照《基础地理信息数字成果 1:500、1:1 000、1:2 000 数字正射影像图》（CH/T 9008.3-2010），点云高程精度和密度参照《机载激光雷达数据获取技术规范》（CH/T 8024-2011），并结合工程实际应用常用参数给出设置。

第 9.3.1 条：用于倾斜摄影测量和垂直摄影的相机，单个相机镜头不宜小于 3000 万像素，小于 3000 万像素则模型精度无法达到建模要求；倾斜相机的倾斜角度不宜大于 60 度，倾斜角度过大视线很容易被遮挡，除了大树、高楼和途径车辆，还会被高茎杂草、电力线所遮盖。

第 9.4 条：图上地物点的点位中误差、基本等高距参照《1:500 1:1 000 1:2 000 地形图航空摄影测量数字化测图规范》（GB/T 15967-2008）设置。等高线插求点高程中误差参照《1:500 1:1 000 1:2

000 外业数字测图规程》（GB/T 14912-2017）设置。

第 9.6 条：横断面检测互差限差参照《公路勘测规范》（JTG C10-2007）设置。

10、施工阶段应用

本标准对于实景三维在公路工程在施工阶段的临建策划、沙盘制作、施工进度管理等方面的应用做出了规范，应用案例详见附件 1。

第 10.2.1 条：项目无要求时，隧道口、项目驻地、弃土场、钢筋加工场等场站附近应扩大模型覆盖范围，扩大半径应不小于 500m 以便更好地分析场站附近的地理情况。

第 10.5 条：通过激光雷达获取地面点密度和高程中误差参照《机载激光雷达数据获取技术规范》（CH/T 8024-2011）1:500 比例尺要求设置。

第 10.6 条：三维模型平面精度和高程精度参照《三维地理信息模型数据产品规范》（CH/T 9015-2012）I 级要求设置；施工进度管理更新频率每次更新时间间隔应小于 3 个月为宜，长于 3 个月则与上次时间间隔较长，可能会导致两次模型差别较大，对于部分施工过程缺少记录。

11、运营养护阶段应用

本标准对实景三维模型在公路工程运营养护阶段的分辨率和精度进行了规定，对于路面养护管理、道路设施管理、桥梁检测、应急抢险等方面的应用提供了建议，应用案例详见附件 1。

第 11.2.2 条：当路面出现宽度 2mm 以上裂缝，面积 0.01m² 以上

坑槽时，则需对裂缝和坑槽产生的原因进行分析，及时进行处理。

第 11.4.1 条：当边坡形状为规则形状时，布设像控点应在航飞区域内各角各一个，区域中间 1 个。当边坡为三角形时，则需在三角形的三个顶点附近和三角形的中间区域设置像控点，共四个像控点，此为所需像控点最少的情况，故边坡变形监测需设置不少于 4 个像控点。

12、附录

附录 A：本标准资料性附录给出了数据检查内容，以便在工程项目实际使用过程中参照使用；

附录 B：本标准资料性附录给出了精度检查报告，以便在工程项目实际使用过程中参照使用；

附录 C：本标准规范性附录给出了成果质量元素和权重划分，以便在工程项目实际使用过程中参照使用；

附录 D：本标准规范性附录给出了成果质量的错漏分类，以便在工程项目实际使用过程中参照使用。

附录 E：本标准规范性附录给出了成果规定资料，以便在工程项目成果归档的实际使用过程中参照使用。

六、重大分歧意见的处理依据和结果

本标准研制过程中无重大分歧意见。

七、标准实施的措施

1. 宣传推广：制定标准宣传推广计划，包括媒体宣传、行业培训、专家讲座等，提高社会对标准的认识和了解。通过广泛的宣传和教育，

鼓励企业和个人采用标准，培养标准应用的意识和习惯。

2. 奖惩激励机制：建立奖惩激励机制，对符合标准要求的企业和个人进行奖励，鼓励和推动标准的实施。对违反标准要求的企业和个人进行处罚，并对其进行整改，以强化标准的执行效果。

3. 监督检查：建立标准的监督检查机制，定期进行检查和评估，以确保标准的实施情况和效果。监督检查应具备独立性和权威性，对违反标准的行为进行及时的纠正和处理。

标准编制组承诺：本标准的各项指标不低于国家强制性标准和国家推荐性标准，内容与现行的法律、法规及强制性标准无冲突。标准的编写符合 GB/T 1.1-2020 的要求。

八、其他应当说明的事项

无

广西交通运输行业指南《公路工程实景三维应用规范》

编制组

2024年6月15日

附件 1

应用案例

1 勘察设计阶段应用——贺州-西林公路（巴马经凌云至田林段）

1.1 项目概况

贺州-西林公路（巴马经凌云至田林段）工程位于广西壮族自治区的河池市和百色市，路线全长112.761km。项目区地处广西丘陵至云贵高原的过渡带，是比较典型的山地地形，山高谷深，多为土山和石灰岩喀斯特地貌。

1.2 项目痛点分析

高速公路为带状目标，地形图测图比例尺一般采用1: 2000，高速公路地形图测量整个测量范围有几十到上百公里甚至上千公里，如何高效、准确地获取高精度地形图成为高速公路地质选线中亟需解决的问题。传统的人工测量方法受到作业环境、技术条件的限制，测量上百公里的大比例尺地形图作业效率低、作业环境艰苦、作业周期难以满足高速公路勘察设计的需要。

1.3 实施方法与内容

1.3.1 外业数据采集

外业采用了飞马V10固定翼无人机系统搭载了瑞格公司的RIEGL VUX-240激光雷达，该雷达同时搭载了一个4200万像素的光学相机，可同时采集影像数据。测区内地形复杂，高差落差大，如果采用定高飞行，会造成地面分辨率差异过大，高处与低处的重叠率不够，难以保证成像质量，为了克服地形高差大，采用了仿地飞行的模式，相航高设置为280m-320m，航向和旁向重叠率均保持在70%以上。

1.3.2 内业数据处理

内业数据处理包含轨迹解算、航带平差、点云滤波、DEM编辑，坐标转换，点云赋色等步骤。工作流程如图1所示。这些步骤分别在飞马智激光、智点云软件中完成。LiDAR原始数据记录脉冲发射角度、脉冲发射与返回的时间、脉冲返回强度、回波的次数等信息，在激光模块中加载激光原始数据RXP文件及航迹文件，设置系统检校参数、坐标变换矩阵，根据激光点反射率及距离进行粗滤波过滤噪点，并将其转换为LAS点云通用格式，最后在智点云软件中进行点云精处理分类获取高精度地面点数据。激光获取了真实的地面数据。影像数据采用智理图工作解算照片POS位置信息，最后采用智拼图工作进行空三测量，制作正射影像。点云剖面图见图2，点云生成的数字高程模型见图3。

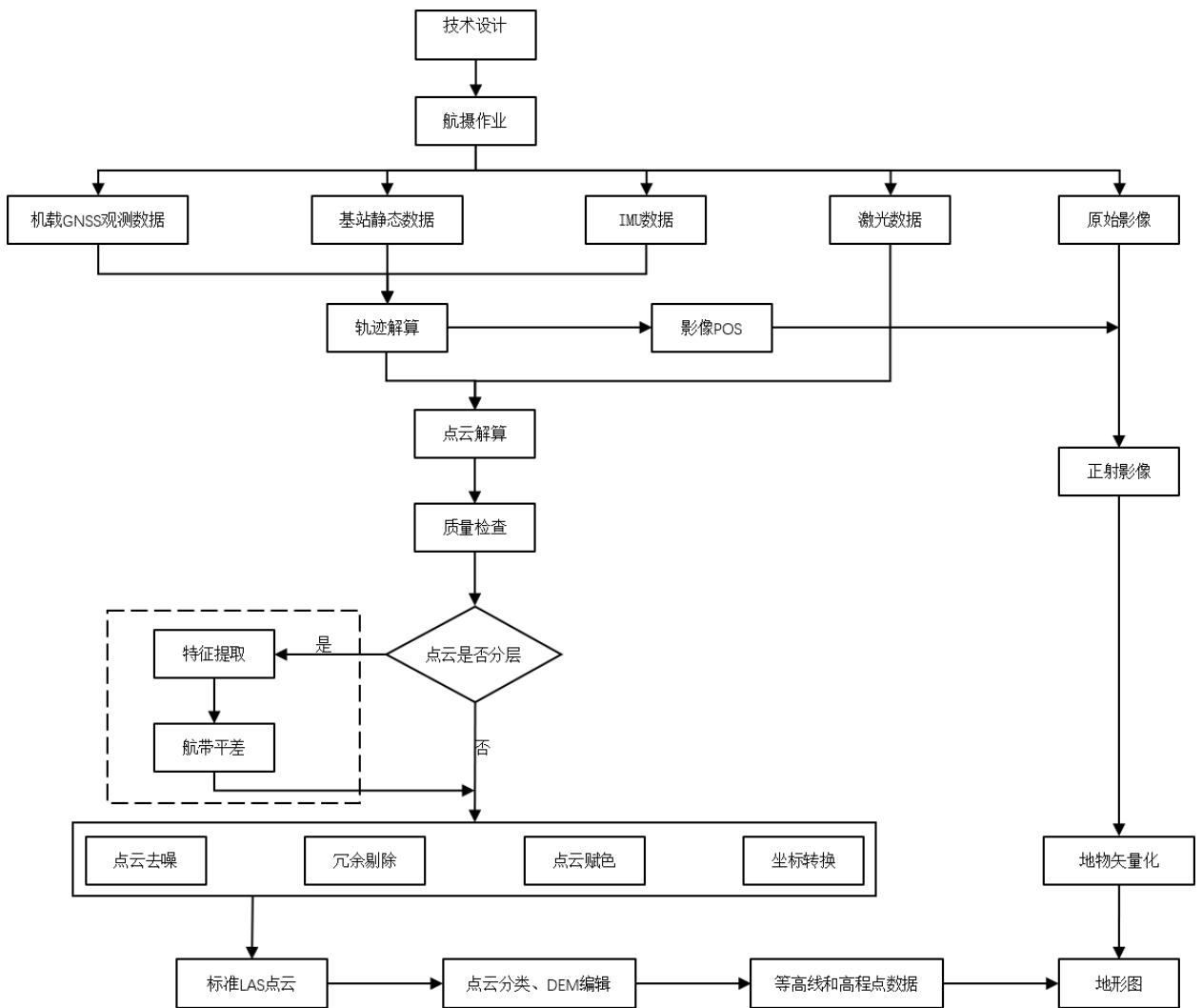


图 2 整体工作流程图

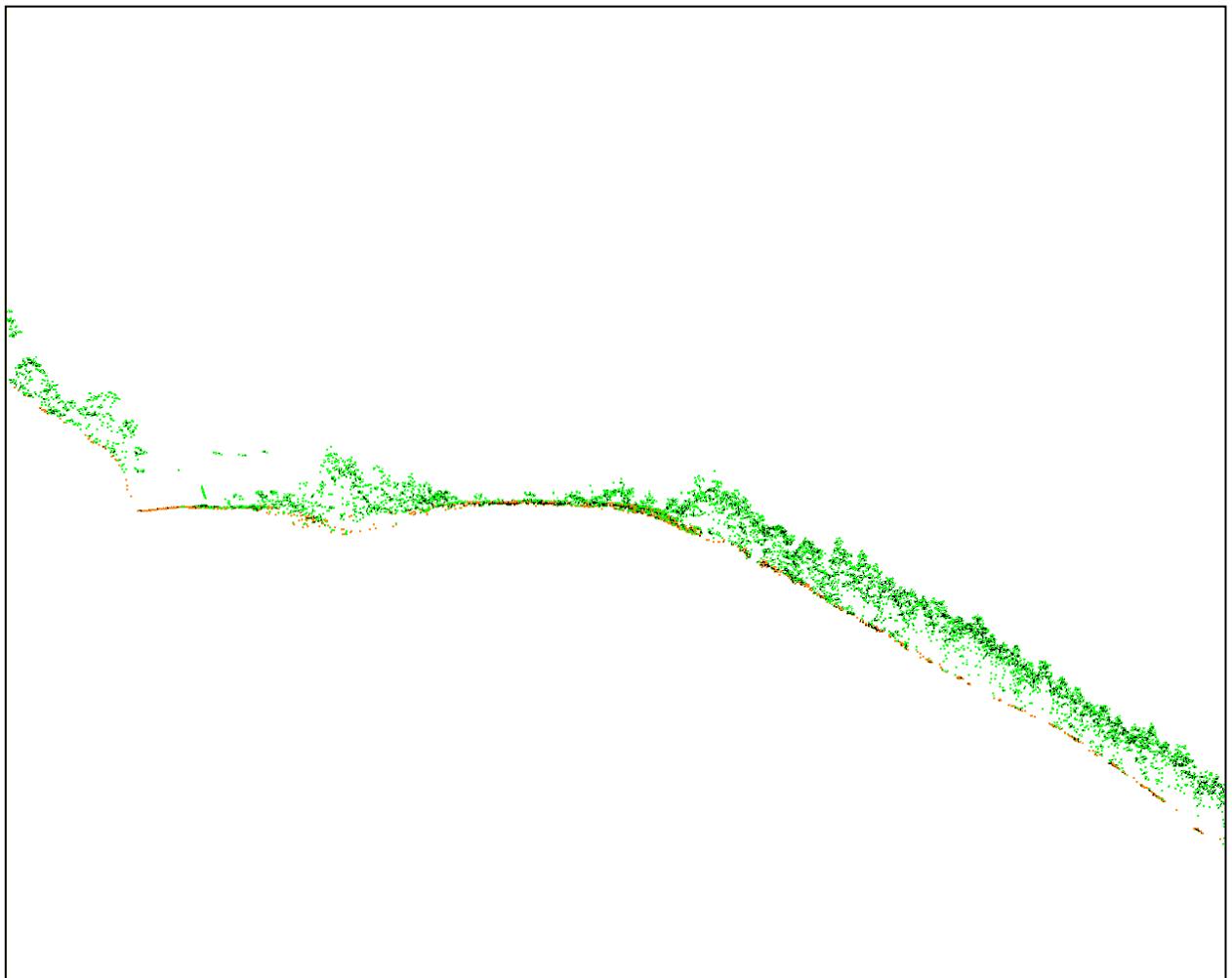


图 3 点云剖面图

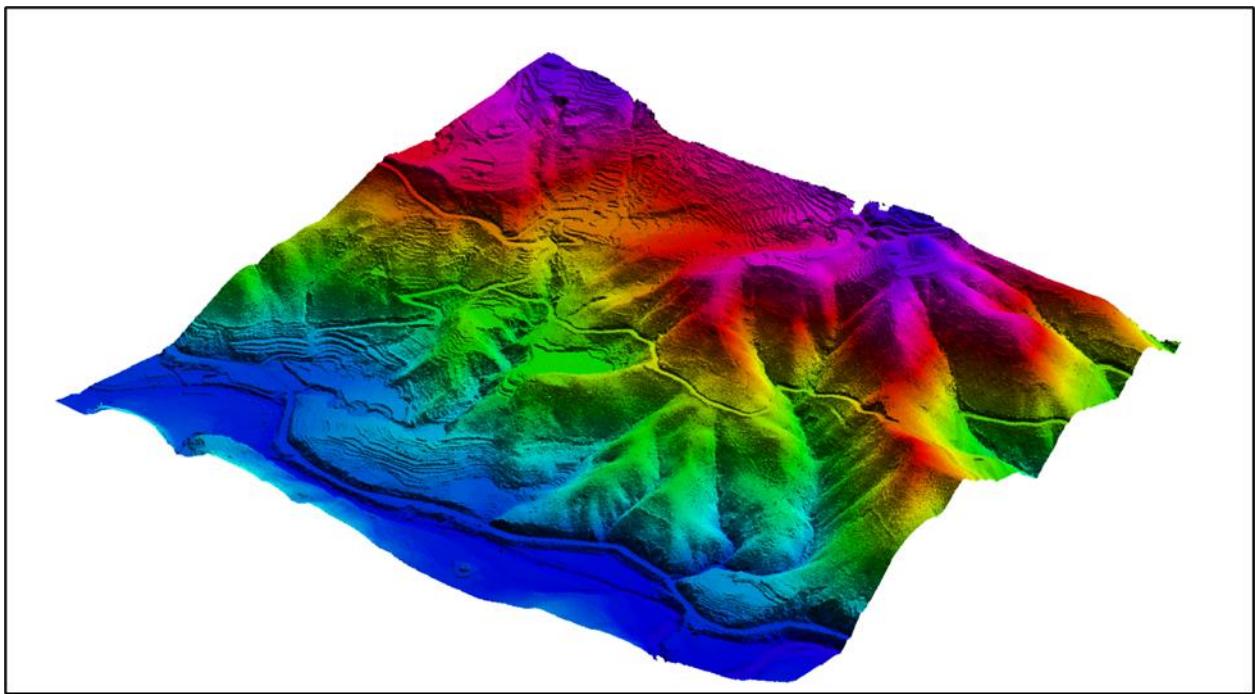


图 4 点云生成的数字高程模型

1.3.3 地形图绘制

基于分类好的地面点云数据，使用清华山维EPS绘图和QGIS软件生成等高线，等高距设置为相应比例尺的要求。然后利用EPS加载正射影像数据后进行平面矢量地物的绘制。利用成图系统将等高线地貌图和地物矢量图拼接，生成完整的符合要求的地形图。图内各要素及地物符号严格按国家基本比例尺地形图图式规定进行绘制编辑（如图4）。

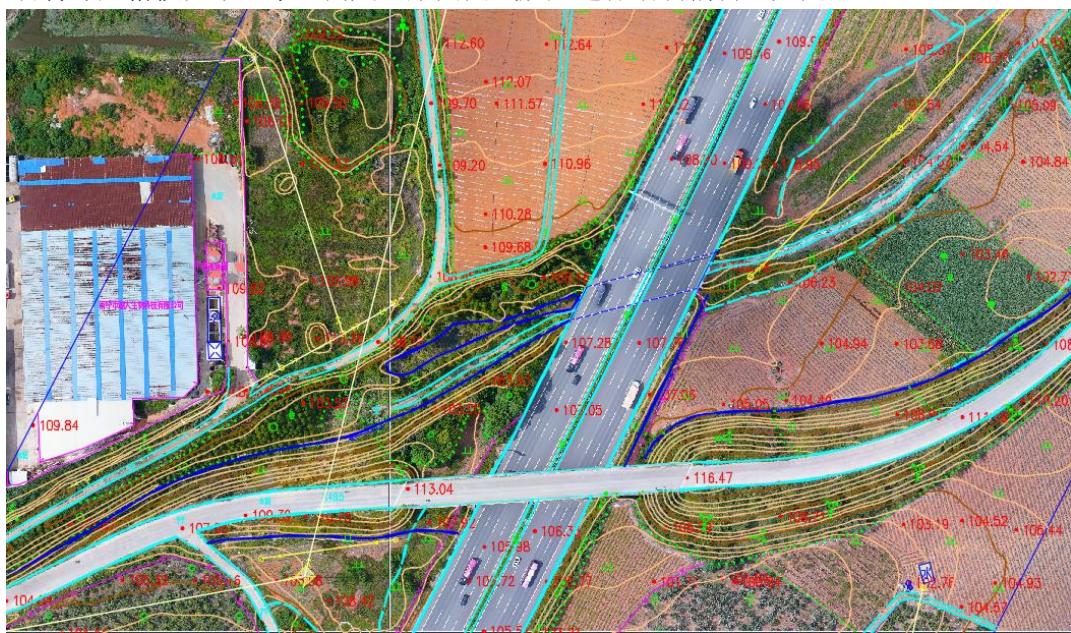


图 5 地形图绘制

1.4 应用效果

a) 正射影像的应用

正射影像数据通用的栅格格式，可以按照地形图分幅的方法，将其转换为多个jpg图片格式存储，如图5所示，最后插入CAD软件中，方便设计使用，可以快速方便地从CAD软件中打开正射影像，如图6所示，能够在正射影像上勾绘平面矢量地物，同时叠加数字高程模型后可以获取任一点的三维信息。勘察设计人员在初测阶段使用正射影像可以了解现场的实际情况，结合正射影像和数字高程模型，可以很方便地在室内进行高速公路的设计工作，进行设计工作页面见图7。



图 6 正射影像的数据存储



图 7 软件中打开正射影像

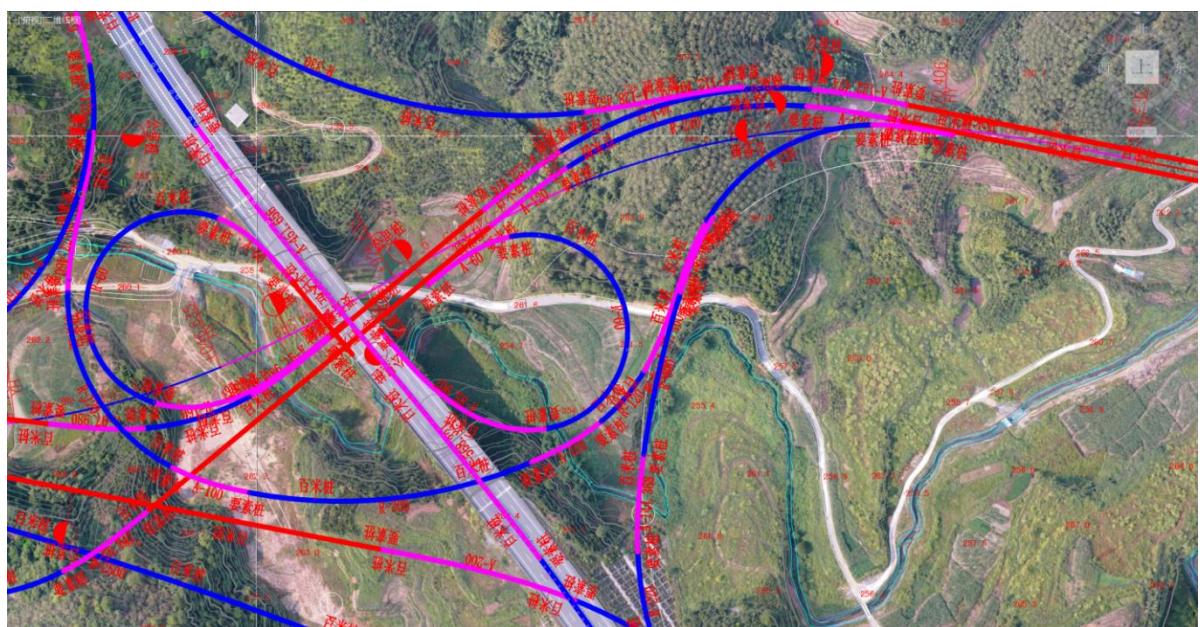


图 8 在正射图中进行设计工作

b) 三维激光点云的应用

激光高程点绝对中误差为 $\pm 10\text{cm}$, 激光点云可以反映地形地貌的真实情况, 未分类前的激光点云可以真实反映植被, 房屋, 高压线的三维信息(如图9), 分类后的激光点云可以生

成数字高程模型(DEM)，可以在分类的激光点云上准确获取道路纵横断面图，直接计算工程土方量。

通过正射影像叠加和数字高程模型叠加可以生成三维效果图，由于DEM是根据高精度的激光点云而不是传统的通过提取特征点、线内插而成的，因而可以准确地反映地形的变化情况，在软件中可以对局部进行放大，清楚地了解其细部特征。而正射影像由数码影像经过正射纠正而成的，在拥有高精度的同时，还具有数码影像清晰度高、色彩真实、分辨率高等特点。因此，该三维立体图在具有良好视觉效果的同时，还具有精度高的特点。线路设计完毕后，可以将线路设计模型准确地放到真实的地面模型中，并可以根据用户的需要进行不同角度浏览和查询，感受公路修完以后的真实效果（如图8）。

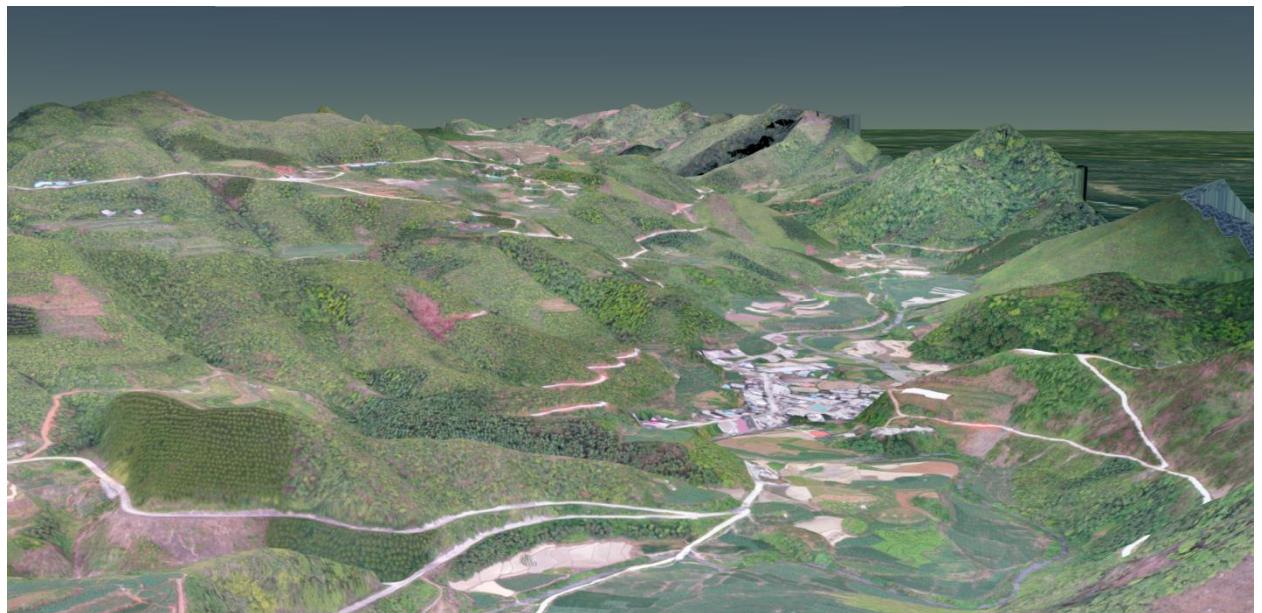


图 9 使用正射影像和数字高程模型制作实景三维模型

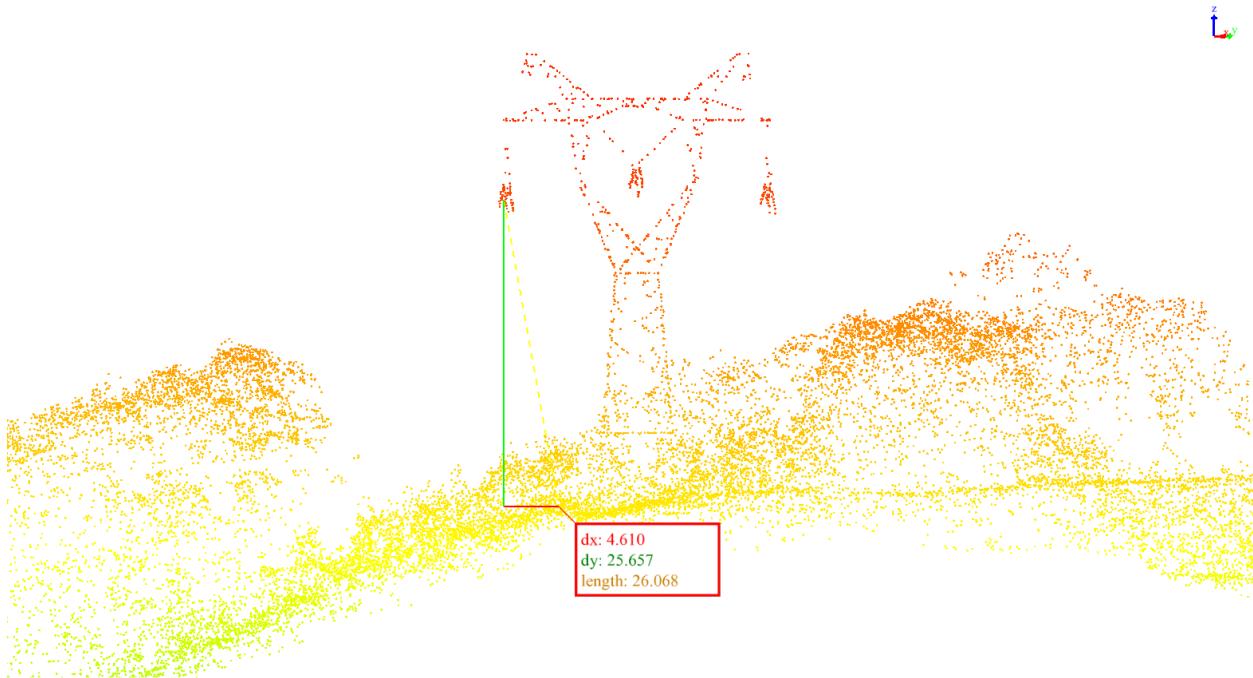


图 10 点云上直接量取高压线与地面距离

1.2 施工阶段应用——龙门大桥

2.1 项目概况

龙门大桥是目前广西在建的第一长跨海大桥，主桥是广西首座单跨超千米全漂浮体系悬索桥。作为广西交通建设史上规模最大，技术最复杂，标准最高，跨越海域环境最复杂的跨海通道工程，龙门大桥以7.6公里的里程，约10分钟的车程连接钦州港和防城港片区，助力两大港口互联互通，实现北钦防一小时通勤。对促进北钦防一体，推动北部湾经济区高质量发展，助力西部陆海新通道建设，实现广西“三大定位”新使命和“五个扎实”新要求具有重要意义。该工程是广西唯一同时纳入交通运输部科技兴安试点和平安百年品质工程示范项目的交通基础设施工程，龙门大桥被赋予极高的目标定位和建设要求，重任在肩，使命如磐。

2.2 项目痛点分析

龙门大桥项目是科技兴安试点和第一批平安百年品质工程创建示范项目，建设要求高；项目跨越海域，环境复杂、管控难，海上作业点多、时间长，高空作业量大，持续时间长，极端异常天气多，影响大；施工便道窄，施工便道大多为设置在海上的钢栈桥，宽度有限；土方测算困难，东岸主塔和锚碇共同设置与一座小岛上，需按设计要求对整个岛屿进行土方挖填，岛上树木茂密，地形起伏，且地面信号较差，不利于测量。

2.3 实施方法与内容

2.3.1 电子沙盘

电子沙盘是面向施工标段、建设单位、集团公司及监管单位的可视化数字展示平台，在可视化平台中支持二维或三维的多种展示形式，既可以结合BIM技术以工程三维BIM模型为载

体结合无人机倾斜摄影实景地形或三维地形数据等各项设计要素形成动态三维数据可视平台更加真实直观地表达建造过程的动态信息、现场监控、关键控制工程、施工工艺演示、安全风险提醒、形象进度以及里程桩号等各类设计以及施工信息。也能通过二维地图及各项数据看板汇总项目管理系统中各项指标参数，便于宏观决策智慧，实现各项数据在空间上的融合，为建设项目形成BIM数字资产提供基础支撑，让工程管理清晰可见（如图10）。



图 11 龙门大桥电子沙盘

2.3.2 施工现场平面图制作

将施工的矢量数据与正射影像相结合制作的施工平面图，能够较好的将施工信息与现场地形进行融合展示，在前期便于项目人员对工程情况的了解；施工过程中定期更新正射影像，能够对项目进度整体上的把控（如图11）。



图 12 龙门大桥施工平面图

2.3.3 进度管理

通过每月对项目进行航拍，更新项目实景三维模型，对项目的进度进行整体把控，同时通过精细的三维模型，可以统计项目现场桥梁墩柱、梁、路面的施工数量，管理人员不用去到现场即可真实统计到项目的每月施工进度情况，极大地方便了项目的进度管理。龙门大桥定期航拍进度管理见图12。



图 13 龙门大桥定期航拍进度管理

2.3.4 安全管理

在安全管理方面，主要是在实景三维模型的基础上实现了人员和工程车辆的实时定位。智慧安全帽：项目通过使用智慧安全帽，实现实时语音视频通话，视频监控，语音对讲，实时GNSS定位。工程车辆定位管理：定制北斗定位终端，将其安装在主要运输车辆和混凝土车上，实景三维模型结合研发的高精度三维地图系统，可通过系统实时查看钢栈桥交通路况，每辆施工车辆的运行状态，包括车辆位置、在线或离线、时速、行驶轨迹、车辆属性等信息，实现栈桥交通管理动态监管目标（如图13）。



图 14 龙门大桥工程车辆管理系统

2.3.5 计量管理

在测区内布设像控点，利用RTK或者GNSS测量仪测出控制点坐标。像控点图见图14。



图 15 像控点图

在电子地图上找到测绘区域，将其圈出，并将测区导入到大疆的软件中。利用大疆软件自动测绘功能，在圈定区域内规划航线，令无人机在测区内按照航线自动飞行，并将数据通过照片的方式进行采集。将采集回的数据使用建模软件进行刺控制点数据处理，导出点云文件，将点云文件导入到土方计算软件中。在土方计算软件中生成曲面，将开挖前后的两曲面叠加，最后利用土方计算软件中的体积计算功能，计算两曲面重叠部分体积之差，得到项目土方回填量。挖方前后地形实景三维模型见图15、图16。



图 16 原始地形实景三维模型



图 17 挖方后地形实景三维模型

2.3.6 视频融合展示

对视频数据进行预处理，并进行几何校正、噪声消除、色彩和亮度调整、配准、裁剪有效区域等；基于视频与三维场景之间的空间位置关系、用户视角、相机视角，并根据透视投影算法进行投影计算，从而实现在三维实景模型上无缝投射视频图像。在实景三维模型中将视频监控的空间分布进行三维可视化，消除视频监控的空间位置靠人记忆、难以与实地匹配关联的弊端，协助管理者有效、直观、准确的掌握施工现场的实时整体态势（如图17）。

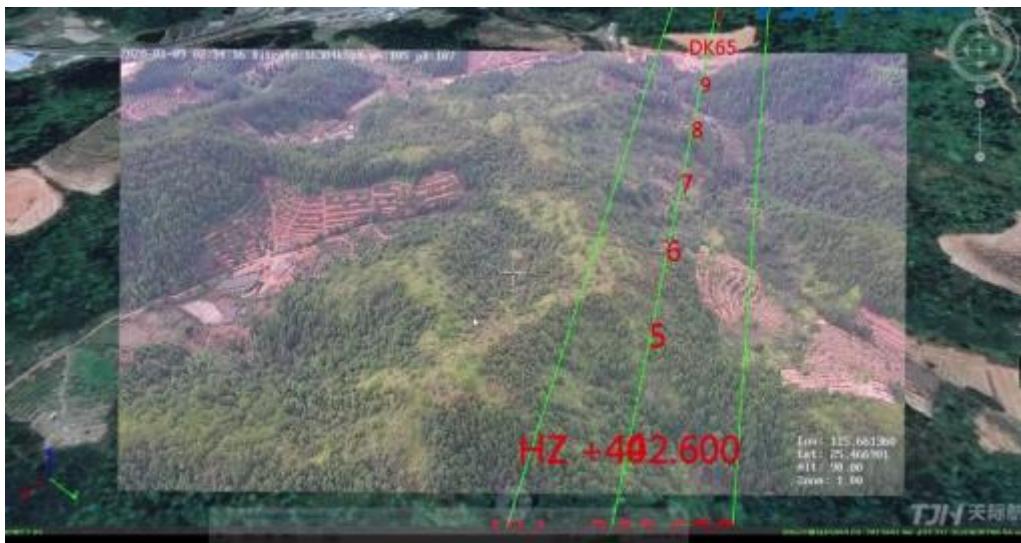


图 18 视频融合展示

2.4 应用效果

可达到以下效果：

- a) 在项目施工前期，把过去必须实地调查的部分工作转换到室内电子屏上实现，如临建选址、交叉路线水系调查、改沟改路围堰方案策划等；在项目中期，高速公路电子沙盘用于项目总体情况汇报、方案变更策划等，使公路建设的施工筹备、方案策划、征地拆迁、生产管理实现了可视化、数字化，辅助提高施工管理效率，减少了施工错误，降低了管理成本。满足了项目建设过程的高要求、高标准的需求；
- b) 在项目施工过程中，通过定期航拍获取正射影像，将设计关键信息与施工现场情况结合，利用施工现场平面图可快速了解项目总体进展情况，通过多期图像对比，及时发现施工对周围环境的影响情况，做到对环境的有效保护，满足了项目的环保要求，最大程度减少了施工对环境的影响；
- c) 通过航摄平面图和实景三维模型的定期更新，能够掌握项目的总体进度情况，有效避免了施工工期的延误，确保项目如期竣工；
- d) 通过对人员和工程车辆的实时定位管理，既能够对人员和工程车辆有效安全事故管理；也能够对人员和工程车辆更有效地调配，防止钢栈道通行受阻，以免导致事故和影响通行效率；
- e) 实景三维模型主要通过无人机航拍来进行建模得到，无人机能够突破地形限制，从空中获取施工现场地理信息，解决了人工地面测量时遇到的树木茂密，地形起伏，且地面信号较差等诸多不利于测量的问题。且无人机航测效率高，小巧便携，为该工程的土方测算提供了精确快速的测量成果，成功解决了土方测算困难的问题；
- f) 将三维实景模型与监控视频融合，使监控视频贴合在三维实景模型表面上，视频场景变得立体化、透视化、可量测化，便于管理人员全方位、更真实地了解施工现场。满足项目建设要求高的需求，并有利于在环境复杂的情况下管控项目，也有利于重点区域的环境保护。

3 施工阶段应用——东兴至凭祥高速

3.1 项目概况

铁山港至凭祥公路(东兴至凭祥段)三分部项目经理部(以下简称“东凭路三分部”)位于防城港市(防城区峒中镇)，东凭路三分部路线起点位于K48+300(板八乡那敢村)，项目终点位于峒中镇那丽村附近，在峒中镇北侧接入上峒高速共线(11km)，桩号K60+000，主线全长约11.7公里。本项目采用设计速度为100Km/h的高速公路建设标准，双向四车道，整体式路基宽度26.0m，分离式路基宽度13.0m，其中路基2671.9m(主线路基1790.9m；峒中枢纽互通匝道950.8m)；桥梁7197m/11座，预制梁1509片(主线4595.1m/6座；峒中枢纽互通匝道桥2602.3m/5座)，隧道4602m/3座；涵洞791.28m/12道(主线607.28m/10道；峒中枢纽互通184m/2道)，桥隧比主线84.5%、峒中枢纽互通75.2%，平均约为79.8%；路基挖方139万方，填方55万方，软基0万方，弃方量84万方；隧道洞渣：95万方。

3.2 项目痛点分析

东凭路三分部主线长11.7Km，沿线地势陡峭，多为农保地、公益林、生态红线等，征拆难度大，选址困难。项目路线沿旧S312省道布设，路线走线为高线，多为山谷地带，桥墩大部分为高墩，隧道洞口位置基本都位于半山处，且地形陡峭，人员难以到达，便道难以修筑，且修筑成本高。桥梁桥位大多处于坡地或河道、悬崖地势、桥接隧或隧接桥等，沿线部分桥位处于斜坡峭壁之上，桥墩大部分为高墩，地势陡峭，丛林密集，隧道洞口位置基本都位于半山处，人员难以到达，采用打点测量的传统手段，便道选线难度极高。

3.3 实施方法与内容

3.3.1 基础资料采集及准备

流程如下：

- a) 收集项目资料。必备资料：高速公路主线平纵横(格式：DWG)，桥梁桩基坐标表，生态红线、基本农田、公益林；可选资料：弃土场及弃方量统计表，全线土石方量一览表，隧道地质情况表。
- b) 按照临建策划所需资料要求，采集项目全线实景三维模型，采集地面高程等高线，处理离散高程数据，配套坐标系文件。
- c) 基于图新地球软件，将收集的项目资料叠加至实景三维模型，如图18所示。



图 19 项目实景三维模型

3.3.2 基于项目实景范围选址选线

a) 弃土场选址

根据全线土石方数量进行土方调配，确定弃土区域，根据弃土场选址原则，在项目实景三维中选取弃土场并标识出弃土场位置及消纳量等，流程图见图19。

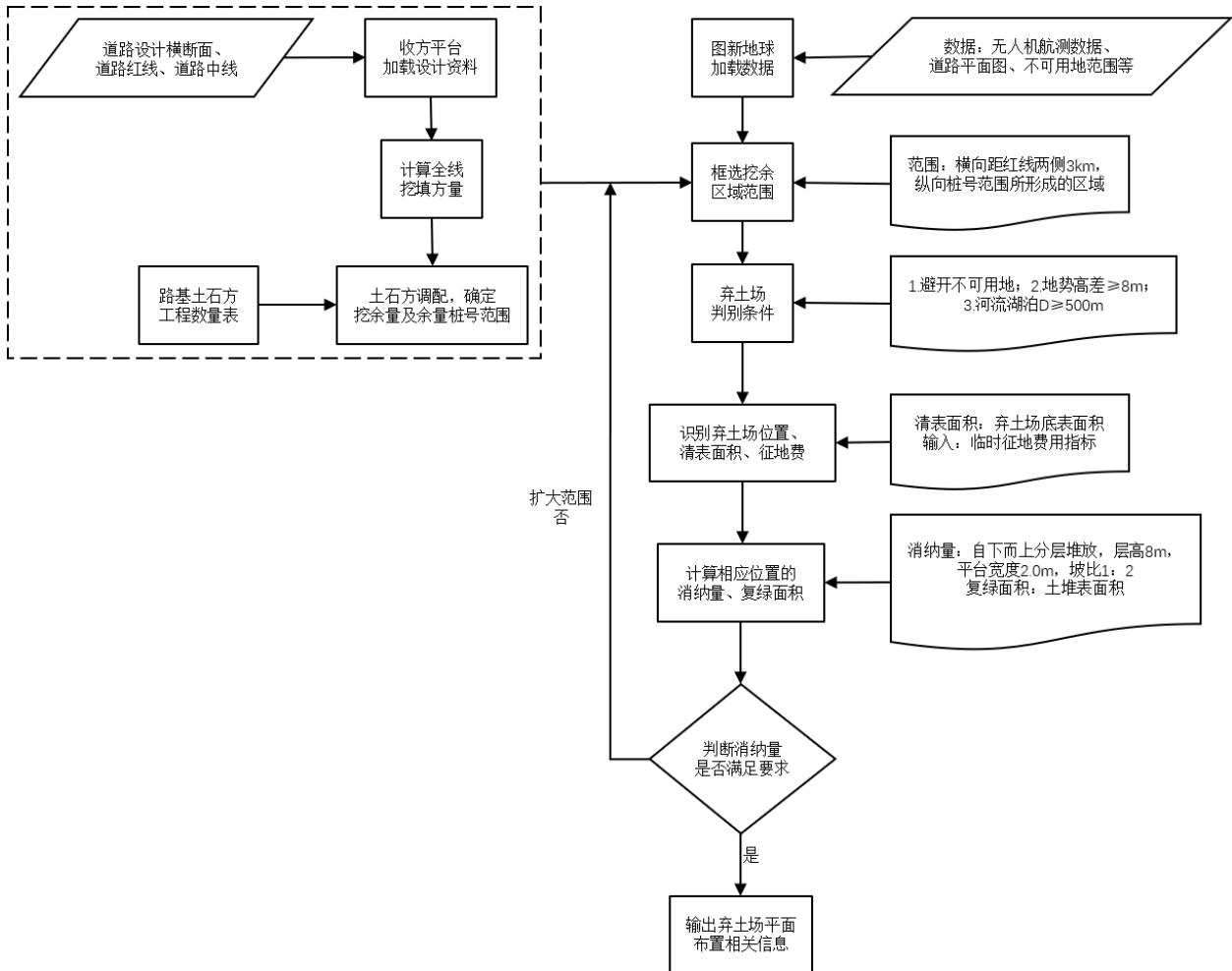
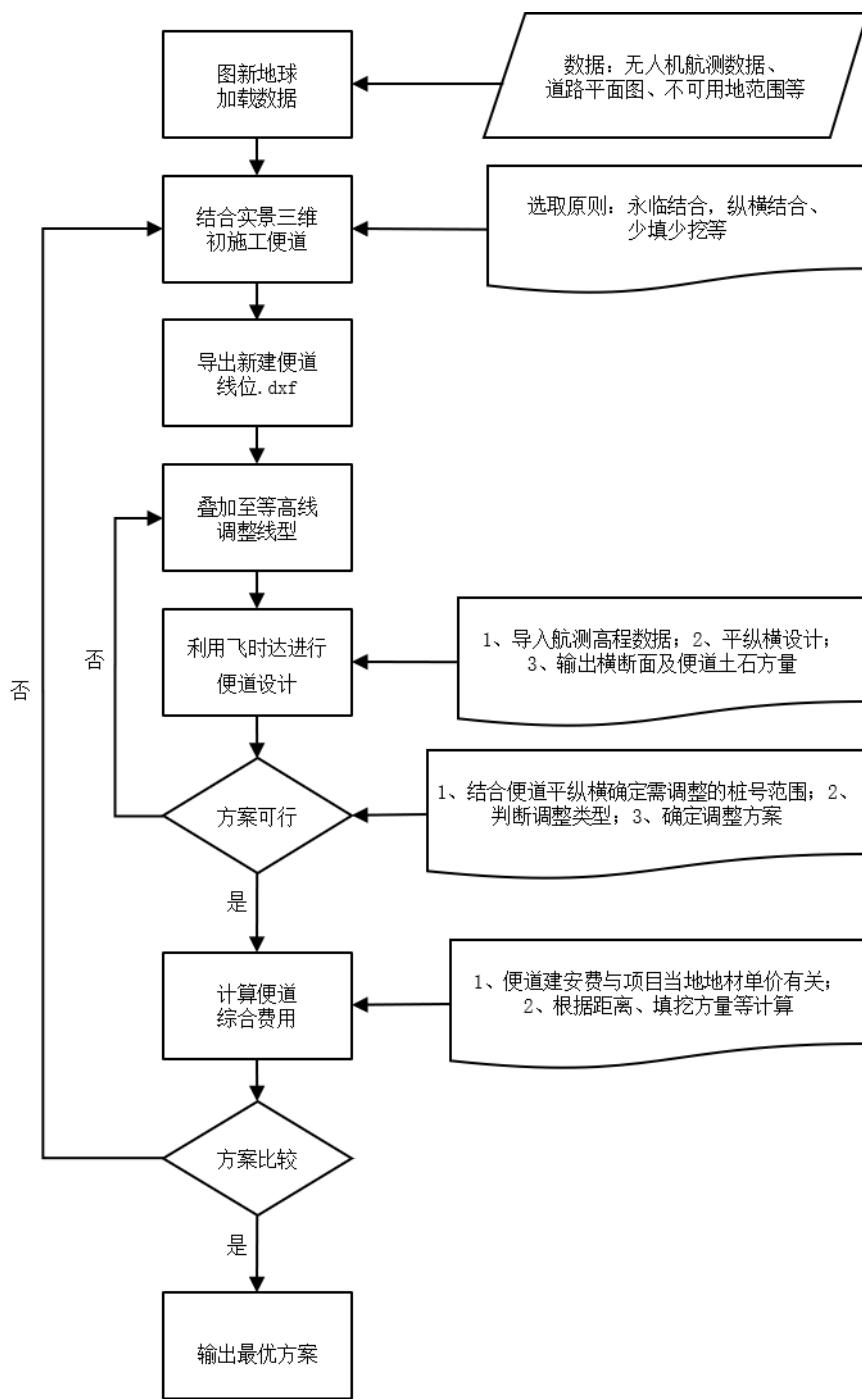


图 20 弃土场选址流程

b) 便道初选线-调线-设计-优化

根据弃土场、项目驻地、钢筋加工场、预制梁场、桥梁等设施的分布情况，基于实景三维模型进行便道可视化选线，导出新建便道并叠加至等高线中，更具等高线走向进行便道线型初次调线。利用土方专业计算软件飞时达设计施工便道平纵横（如图21），进一步基于平纵横判断便道是否需要再次优化线位，重复上述工作，直至便道满足要求，便道选线流程见图20。对于地势平坦的区域，可跳过等高线调线，直接开展设计。部分便道工程量及造价估算表见表1。



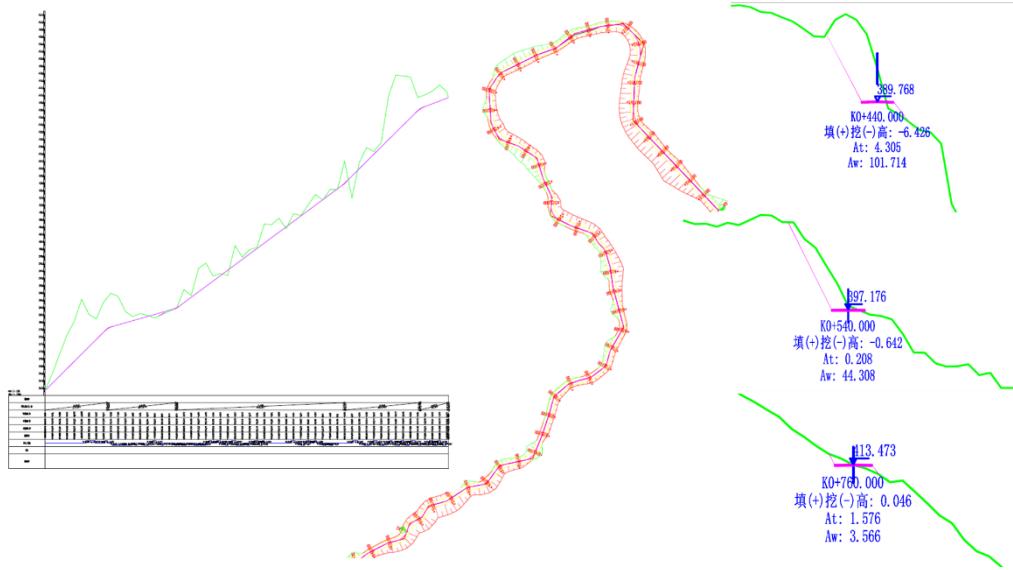


图 22 甫都隧道入口便道平纵横

表 7 部分便道工程量及造价估算表

项目	01成本估算				02成本估算				03成本估算			
	八桂河2号桥-便道1	八桂河2号桥-便道2	八桂河2号桥-便道3	八桂河2号桥-便道4	北亭1号桥头-便道1	八桂河2号桥-便道5-0k	05弃土便道1	06弃土便道2	07弃土便道3	08弃土便道4	09弃土便道5	10弃土便道6
道路总长 (m)	223	204	120	1445	92	355,089	567	262,312	305,845	211,671	155,331	
宽度 (m)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	
纵坡 (%)	0.3	0.25	0.25	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	
最小半径 (m)	89.264	40.197	59.372	43.585	91.395	355,089	566,406	262,312	300,845	211,671	155,331	
最大挖方深度 (m)	1,645	1,511	1,07	8.49	4,543	10,34	12,343	7,372	6,864	8,408	3,862	
最大填方高度 (m)	3,699	3,868	3,821	11,471	6,218	6,344	22,515	0,236	10,713	7,481	6,884	
平均挖方 (m³)	25203	112,534	201,311	160,533	30,531	112,252	131,323	111,017	277,5	588,325	35,503	
填方量 (m³)	2609,770	7747,185	811,239	26724,337	2311,183	2732,833	37210,833	73,973	6405,96	10643,563	1612,783	
弃方 (m³)	20894,471	7633,551	509,428	10028,609	1428,152	0	24075,46	0	3628,66	4785,238	0	
挖方单价 (元/m³)	7.48	7.48	7.48	7.48	7.48	7.48	7.48	7.48	7.48	7.48	7.48	
填方单价 (元/m³)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
弃方单价 (元/m³)	7.29	7.29	7.29	7.29	7.29	7.29	7.29	7.29	7.29	7.29	7.29	
混凝土单价 (元/m³)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
总价 (万元)	4.6万元	13.5万元	1.5万元	47.2万元	4.1万元	11.3万元	64.8万元	8.5万元	11.3万元	18.6万元	3.8万元	

c) 便道平面全局可视化

将全线便道汇总至一个CAD文件，叠加至项目实景三维模型中，实现全线便道全局可查（如图23）。便于后续综合运距分析。



图 23 便道平面全局展示

3.4 应用效果

借助实景三维模型成功实现了对整个地形地貌的全面清晰观测，同时通过激光雷达实现了数据采集的高效性和精确性，为项目的全局策划提供数据和全局视角，让每位参与者都能够深刻理解整体布局，可提升决策的准确性，让规划和资源分配变得更加高效和合理。

在便道选线和场地选址方面，借助实景三维模型让我们能克服地形的限制，在模型中模拟各种选线和场地方案，通过精细化设计，比选工作，能选出更优的方案，同时让工程量的精准可控成为可能。有效缩短了筹备时间，精简了工作流程，提高临建策划的效率，实现降本增效。

4 施工阶段应用——巴平高速

4.1 项目概况

巴马至平果高速公路四分部起点位于K56+400大化县水力村附近，沿途经大化县共和乡、马山县永州镇、马山县州圩乡、平果县旧城镇，终点位于K73+480马山县州圩乡山贡村附近。主线采用六车道高速公路技术标准，路基宽度为34m，设计行车速度120km/h，全长17.02km。全线设置永州互通式立交，永州服务区两处。同步建设永州连接线以及1条支线共18.4km，连接线按二级公路标准建设，路基宽度12m，设计行车速度60km/h。设计主要工程数量有：路基挖方897m³，填方804万m³；桥梁21座，全长5383m；圆管涵共1631/80道，盖板涵共2526.4/35道，通道共1898.3/28道。

4.2 项目痛点分析

本高速公路项目沿线地形复杂，项目前期测量经常需要翻越高山，钻过丛林，每次施工过程测量也需通过较长时间才能完成对项目的测量工作，不仅效率低下，且人员安全无法保障。而土石方工程是项目建设的重要环节之一，其费用投入大且管理难度大，近年来，随着国家基础建设项目越来越多，工程建设效率要求越来越高，传统的土方量测量方法已经呈现出各种弊端，不但耗时费力，人力成本高，而且获取的数据通过人为层层流转，一方面容易出现数据漏测、错测等问题，精度难以保证，另一方面人工测量和审批，测量数据难以保证客观性。

4.3 实施方法与内容

4.3.1 原地面复测

4.3.1.1 外业数据采集

本次作业范围为巴平路四分部K56+000~K72+600桩号范围，在项目清表开挖前，外业负责人员到现场勘察地形，确认航飞区域及环境，在现场选取一个以上已知点作为坐标基点，架设好基站，规划好飞行航线，然后让无人机进行自主作业，采集激光点云数据。

4.3.1.2 点云数据处理

外业数据采集完毕后，将机载数据、基站数据、惯导数据通过轨迹解算软件进行解算，得到通用的点云数据格式，然后通过点云融合软件对多航带、多架次采集的数据进行融合处理，再通过点云分类软件将植被、房屋、地面点等进行分类，筛选出地面点数据，再基于地面点数据构建三角网形成数字高程模型（DEM）数据。点云数据处理流程见图23。

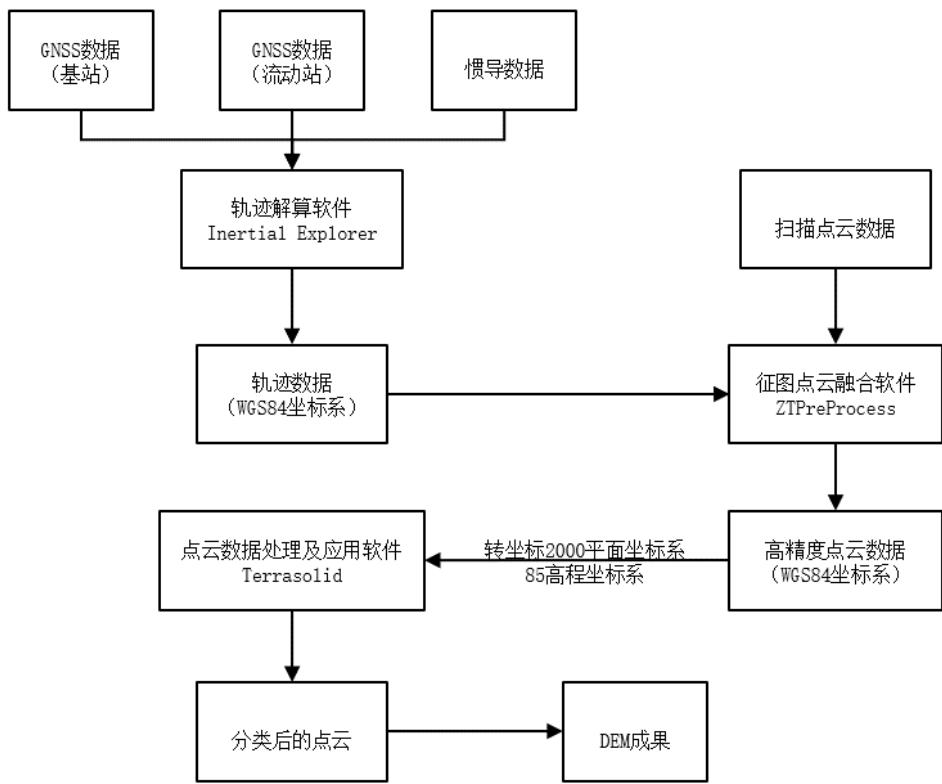


图 24 点云数据处理流程

4.3.1.3 方量计算

将DEM数据和DWG格式的道路中心线、施工红线、设计横断面导入无人机收方平台中，由收方平台自动按照桩号段提取横断面并结合设计横断面得到实测的填挖方量。横断面图见图24、土石方量计算表见表2。

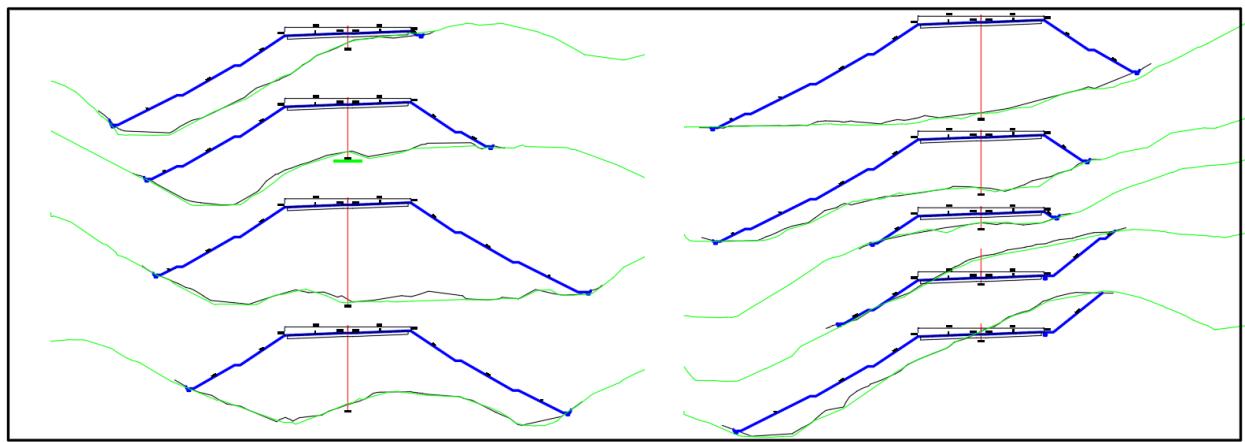


图 25 横断面图

表 8 土石方量计算表

K72+220	3.21		183.77	0.47	92.78	153.10	20.00	1855.60	3062.00	K72+220	5.62		236.20	0.50	118.49	131.15	20.00	2369.80	2623.00
K72+240		2.56	1.78	305.74	0.89	681.34	20.00	17.80	13628.80	K72+240		1.92	0.78	261.79	0.64	625.78	20.00	12.80	12515.60
K72+260		16.46	0.00	1056.94	0.00	1219.11	20.00	0.00	24382.20	K72+260		14.07	0.51	969.76	4.40	1152.78	20.00	88.00	23055.60
K72+280		21.73	0.00	1381.29	0.00	1131.78	20.00	0.00	22635.60	K72+280		21.27	8.29	1315.80	4.35	1058.28	20.00	87.00	21166.60
K72+300		11.13	0.00	882.27	82.57	731.89	20.00	1651.40	14637.80	K72+300		11.45	0.41	800.76	100.78	669.60	20.00	2015.60	13392.00
K72+320		1.12	165.14	581.51	236.51	633.74	20.00	5780.20	12374.80	K72+320	0.07		201.15	538.44	279.91	594.41	20.00	5598.20	11888.20
K72+340		2.70	407.88	686.97	206.81	726.44	20.00	4136.20	14628.80	K72+340		1.43	358.67	660.37	183.56	637.95	20.00	3671.20	13759.00
K72+360		6.73	5.73	766.91	2.87	1010.17	20.00	57.40	20203.40	K72+360		4.96	8.44	725.52	4.45	933.91	20.00	89.00	16878.20
K72+380		15.35	0.00	1253.42	0.00	1313.06	20.00	0.00	26261.20	K72+380		15.18	0.46	1142.29	1.04	1243.99	20.00	20.80	24879.80
K72+400		15.53	0.00	1372.71	1.74	1178.21	20.00	34.80	23564.20	K72+400		15.47	1.62	1245.69	0.85	1150.76	20.00	17.00	23015.20
K72+420		10.31	3.47	983.71	1.74	907.21	20.00	34.80	18144.20	K72+420		10.02	0.08	965.82	0.36	874.71	20.00	7.20	17494.20
K72+440		13.35	0.00	890.70	0.00	679.42	20.00	0.00	13588.40	K72+440		13.18	0.65	793.60	1.30	629.24	20.00	26.00	12584.80
K72+460		11.48	0.00	528.14	18.58	295.07	20.00	331.60	5901.40	K72+460		11.19	1.94	464.88	21.19	236.54	20.00	423.80	4730.80
K72+480		3.39	33.16	62.00	331.01	31.42	20.00	6620.20	628.40	K72+480		0.82	40.44	8.19	366.35	4.32	20.00	7307.00	86.40
K72+500	10.40		628.87	0.85	1078.76	1.00	20.00	21575.20	20.00	K72+500	11.89		690.25	0.45	1120.99	0.50	20.00	22419.80	10.00
K72+520	22.45		1528.65	1.14	1684.91	1.30	20.00	33698.20	26.00	K72+520	24.14		1551.74	0.54	1742.79	0.27	20.00	34855.80	5.40
K72+540	27.03		1841.16	1.45	1804.45	1.07	20.00	36089.00	21.40	K72+540	28.42		1933.84	0.00	1911.65	0.47	20.00	38233.00	9.40
K72+560	20.86		1767.73	0.63	1486.59	0.89	20.00	29731.80	17.80	K72+560	22.15		1889.45	0.95	1549.59	0.52	20.00	36991.80	10.40
K72+580	12.86		1205.46	1.11	725.85	0.79	20.00	14637.00	15.80	K72+580	13.27		1209.74	0.09	745.27	0.05	20.00	14905.40	1.00
K72+600	3.81		248.24	0.47						K72+600	3.44		280.79	0.00				万方	万方
合 计					设计挖填方量 13.设计挖填方量				4677375.2	5017508.2		合 计						4755719.0	4875125.4

经测算，设计填挖方量为：挖方量501.75万方，填方量467.74万方；实测填挖方量为：挖方量487.51万方，填方量475.57万方。两者偏差在2.84%，偏差在设计范围内，原地面复测结果合格。

4.3.2 土石方量测算

4.3.2.1 项目基础数据整理

流程如下：

- 首先将项目提供的道路中心线、施工红线和设计横断面数据按标准进行整理，按标准整理后的CAD文件上传平台后可自动提取相应图层的信息，用于土石方量计算；
- 道路中心线中DWG图层信息包含：a. 道路中心线：将道路的设计中线放到该图层中，一条路的中线必须连成一条完整的线，不允许从中间断开。b. 交点线：将指示里程位置的小短线统一放到该图层中。c. 起始里程注记：将表示道路起始里程桩号的注记放到该图层中，每一条道路中线的起始端点处必须放置相应的起始里程注记，注记定位点捕捉到中线的起始端点上。
- 施工红线中DWG图层信息包含施工红线：将征地边缘线放到该图层中。
路基横断面DWG图层信息包含：
 - 横断面设计线：将横断面设计线放到该图层中。
 - 地面线：将原地面线放到该图层中，且要求每个横断面上的地面线均为连续的一条线。

- 3) 路基设计中心线：将路基设计中心线放到该图层中。表格：每个横断面图中路基设计中心线下面的端点上必须放置该横断面对应的桩号注记，注记在“表格”图层中，注记定位点捕捉到路基设计中心线端点上。
- 4) 设计高程：标记横断面设计线与路基设计中心线交点处高程的注记。
- 5) 主次路基分界线：存在次设计线时必须要有主次路基分界线。
- 6) 桩号：起止桩号中间用“~”隔开，桩号和名称中间用“空格”隔开，如 YK72+705~YK73+425 青山高架大桥。

4. 3. 2. 2 地形数据采集

流程如下：

- a) 首先在项目现场多个已知点坐标，用于坐标转换，由于本项目为长线性工程，故沿线路采集了 17 个已知点的国家 2000 坐标，见表 3；
- b) 使用精灵 4RTK 连接千寻账号采集全线影像数据，采集时为保证影像质量，采用规划航线自动飞行方式，航线重叠度设置为 80%，旁向重叠度设置为 70%，航飞高度设置为 120m。

表 9 已知点坐标值

点名	经度	纬度	椭球高	X	Y	高程
1	107.7732012	23.47460321	292.233	527911.766	2597248.022	317.885
2	107.7710938	23.47951655	281.92	527695.437	2597791.802	307.572
3	107.7679776	23.48631725	286.149	527375.676	2598544.432	311.801
4	107.7673017	23.48951576	286.652	527305.975	2598898.562	312.304
5	107.7672858	23.49390103	274.397	527303.447	2599384.259	300.049
6	107.7674224	23.49756215	277.562	527316.649	2599789.78	303.214
7	107.7676518	23.50192759	269.056	527339.186	2600273.328	294.708
8	107.7676049	23.50412048	253.026	527333.944	2600516.197	278.678
9	107.7678081	23.50748485	264.321	527354.006	2600888.864	289.973
10	107.7662565	23.51175978	265.062	527194.65	2601362.05	290.714
11	107.7645798	23.51430746	264.714	527022.872	2601643.91	290.366
12	107.7621162	23.51735604	267.669	526770.637	2601981.102	293.321
13	107.7184473	23.6170553	271.794	522293.816	2613016.147	297.446
14	107.7146656	23.6197322	260.893	521907.426	2613312.053	286.545
15	107.7251478	23.6079630	263.866	522979.218	2612010.151	289.518
16	107.7225740	23.6121545	294.789	522715.809	2612473.986	320.441
17	107.7215425	23.6138657	285.334	522610.244	2612663.359	310.986

4. 3. 2. 3 数据上传平台

流程如下：

- a) 输入项目基础信息，坐标系统为 CGCS2000 平面坐标系，将整理好的道路中心线、施工红线和设计横断面基础数据上传至平台，同时将已知点坐标数值导入，坐标系选择 WGS84，计算得到相应的参数，如下图 25；

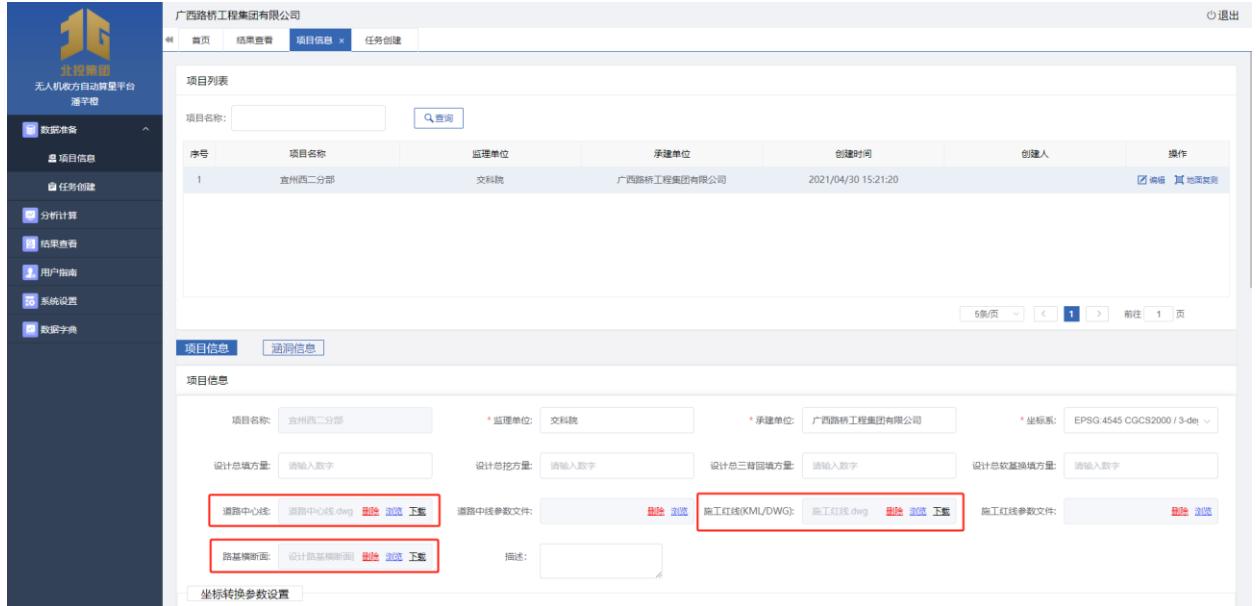


图 26 基础数据上传

- b) 创建相应分期信息和任务信息，配置好任务参数，确定计算范围的起止桩号，选择土石方量计算方法为断面法，勾选上传完成自动计算，如图 26；

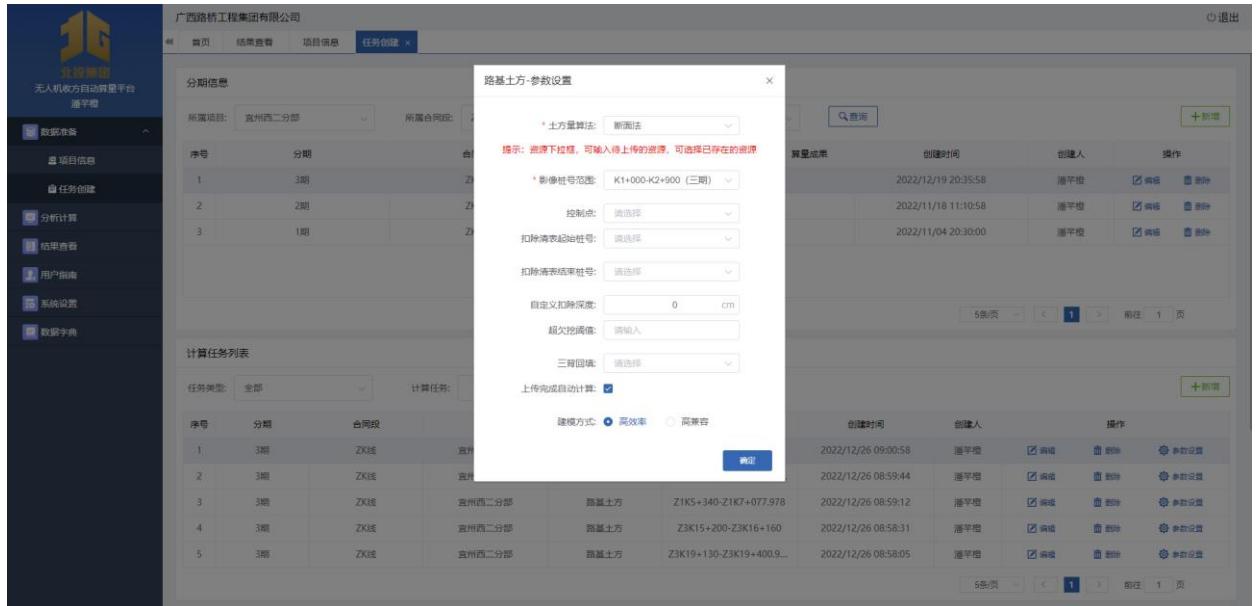


图 27 参数设置

- c) 启动数据上传工具，选择需要上传的影像，配置坐标系为 WGS84，确认后影像自动上传，如图 27，上传完成后平台自动开始计算。

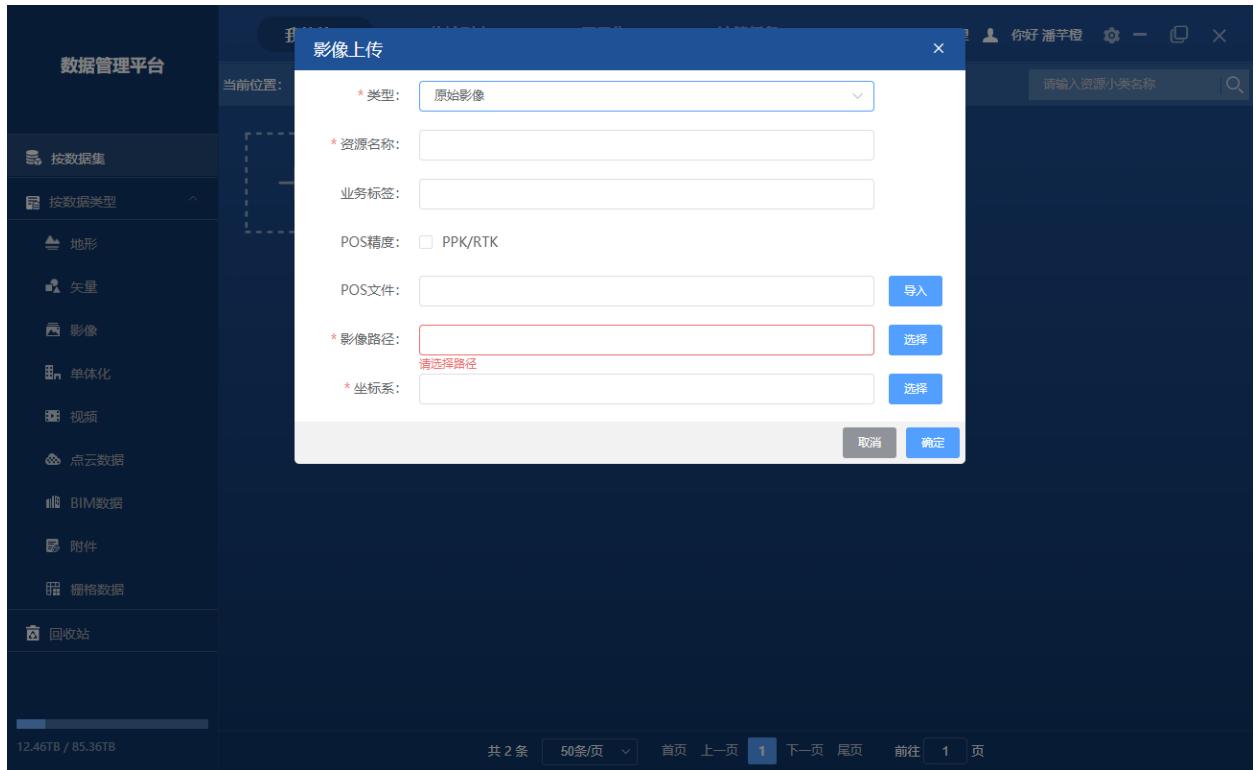


图 28 影像数据上传

根据项目计量要求，平台计算成果包含三部分，一为当期横断面图，二为土石方数量计算表，三为实景三维模型。

其中当期横断面图包含当期横断面线、设计横断面线、原地面线、当期横断面线与路基中心线交点处高程、设计面积、本期计量面积、累计计量面积等信息，便于为项目与业主计量提供可直接使用的横断面图，如图28。

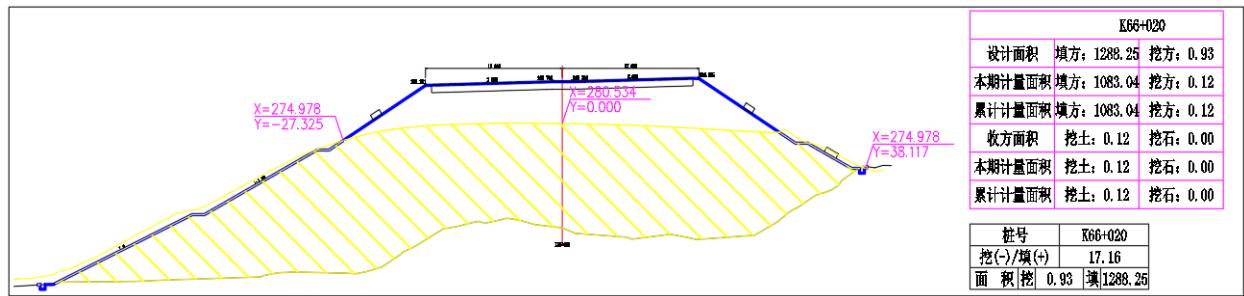


图 29 当期横断面图

土石方数量计算表套用集团标准格式，其中设计面积和设计数量为项目提供，本期计量的挖方面积和数量由平台计算得到，如图29。

广西天峨至北海高速公路（巴马至平果段）设计施工总承包四分部 路基土石方数量计算表（挖方）												
施工单位：广西路桥工程集团有限公司 监理单位：交科院					第1期计量 桩号部位：					分部：工程管理部		
桩号	深度m 超挖	挖方面积：m ²				距离 (m)	挖方数量m ³					
		设计 面积	本期 计里	上期 计里	本期末 累计		总数量	%	土方	%	石方	
K65+420	3.64		165.29			22.91	20				1684.4	
K65+440	1.17		3.15			7.03	20				31.6	
K65+460	0		0			0	20				0	
K65+480	0.7		0			0.2	20				0.6	
K65+500	0.25		0.05			0.1	20				427.2	
K65+520	3.83		42.67			55.22	20				6523.6	
K65+540	13.04		609.69			247.15	20				17209	
K65+560	24.44		1111.23			562.49	20				22240	
K65+580	25.32		1112.81			582.1	20				11445.8	
K65+600	12.14		482.68			173.09	20				15955	
K65+620	2.67		43.55			47.75	20				5262.2	
K65+640	0		0			0	20				435.4	
K65+660	0		0			0	20				0	
K65+680	4.45		1.06			3.56	20				10.6	
K65+700	0.89		301.04			4.04	20				3027	
K65+720	3.69		747.55			14.62	20				10492	
K65+740	8.54		1586.94			68.55	20				23345	
K65+760	12.3		2079.25			222.46	20				36662	
K65+780	16.81		1866.66			449.59	20				39459	
K65+800	17.23		1218.94			371.77	20				30856	
K65+820	16.06		708.52			266.28	20				19275	
K65+840	12.32		540.72			116.29	20				12492	
K65+860	7.47		427.92			31.34	20				9686.4	
K65+880	5.28		352.63			17.38	20				7805.6	
K65+900	6.35		592.84			31.83	20				9454.8	
K65+920	11.4		717.42			140.89	20				13103	
K65+940	13.15		579.11			194.54	20				12965	
K65+960	5.07		98.36			89.35	20				6774.6	
K65+980	0		0			0	20				983.6	
K66+000	0		0			0	20				0	
K66+020	0.27		0.12			0.01	20				1.2	
K66+040	0.58		0.3			0.11	20				4.2	
K66+060	9.93		187.83			225.62	20				1881.4	
K66+080	4.52		6.02			108.77	20				1938.6	
K66+100	0.07		0.02			0	20				60.4	

图 30 土石方数量计算结果

实景三维不仅可直观查看当前阶段现场施工情况，支持多期数据分屏对比查看，同时具备量测分析功能，可查询模型上任意点的平面坐标及高程值，可量测距离、高度、面积、体积等信息，真正实现将工地现场搬到计算机上来测量，如图30。

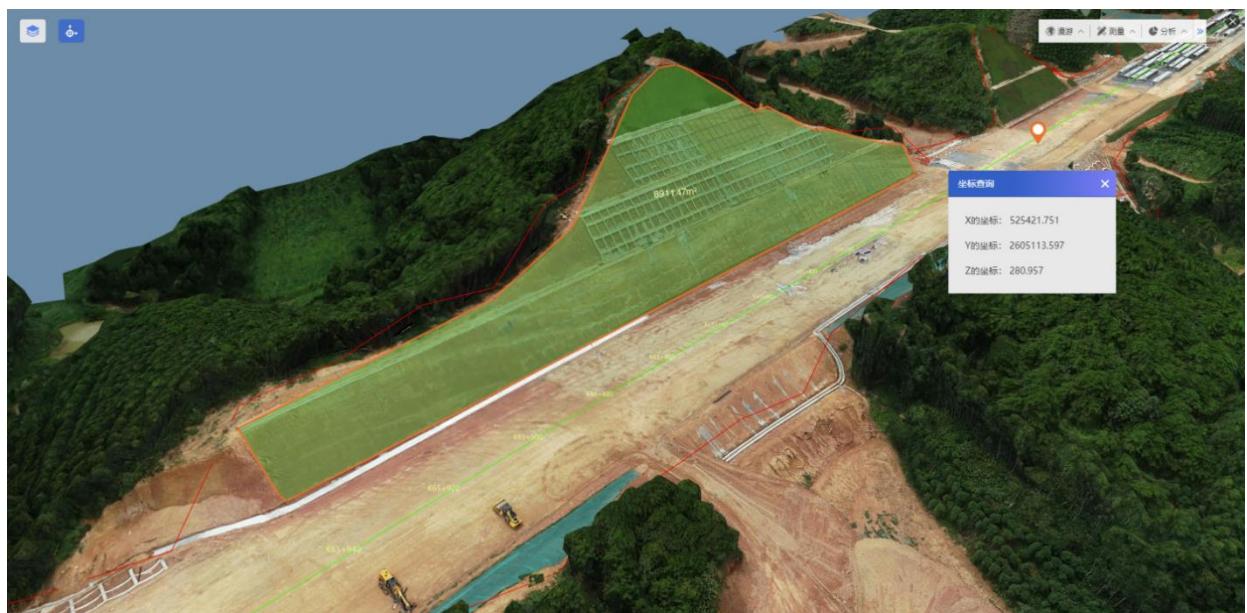


图 31 现场实景三维模型

4.4 应用效果

本项目通过无人机搭载激光雷达设备，采集原地面点云数据，结合项目设计横断面数据，进行原地面复测，得到路基土石方总量，为项目的经营提供了准确数据，有效控制了成本。同时，过程中对每期土石方收方量进行精准复核，避免传统收方模式抽点复核过程超结算等情况发生，加强了土石方收方过程管控。收方数据三维可视化留底，基于实景三维模型，可重复量测验证，有效减少与劳务队伍的纠纷，减少潜在经济损失，同时提升了施工过程管理的透明度。同时通过采集的多期影像形成多期实景三维模型，使得项目管理人员高效掌握项目建设进度，精准量测地形地貌，及时了解环境保护情况，对于提升项目的管理，保障项目的质量，降低对环境的影响也发挥了重要作用。

5 运营养护阶段应用——地灾应急抢险

5.1 项目概况

天峨至北海公路（巴马至平果段）项目某边坡，坡高49m，分五级开挖，坡体为上部粘土覆盖层，中部强风化泥岩，坡脚位置揭露少量炭质岩。由于广西雨季期间长期降雨影响，边坡土体含水率增大，抗剪强度降低，坡体自重增大，导致边坡失稳滑坡。本次滑坡后缘在坡顶后延30m位置，滑坡剪出口位于坡面第二级台阶处。因降雨影响，且坡体滑动未完全终止，人员无法上坡进行地形勘察测绘，因此，选用无人机进行周边地形勘察，并通过实景三维建模，获取边坡相关空间信息，从而为后续应急抢险处治提供数据参考。

5.2 项目痛点分析

在对塌方边坡进行应急抢险处治时，由于边坡所在区域刚下过雨，边坡周围地形复杂、高度大，坡面湿滑，且边坡已出现多处滑塌，人工勘察过于危险，不能短时间内获取全面完整的边坡附近地理信息。

5.3 实施方法及内容

采用无人机进行边坡周围地形勘察，并建立三维实景模型，对塌方边坡附近的地形情况、病害特征、结构物分布等特征信息进行了详细展示。通过实景三维模型分析塌方边坡附近地形变化规律和边坡附近电塔、房屋等结构物位置，对边坡开挖和加固方案进行了优化，确保附近电塔和房屋安全的条件下对边坡塌方位置进行了有效处治，避免了人工进行地形勘察的危险，且高效地为边坡应急处治提供了参考数据。

针对道路沿线边坡滑坡、坍塌等地质灾害。利用无人机搭载激光雷达，对边坡实体空间坐标点云数据进行采集，并通过影像数据构建滑坡体的三维实景模型。基于实景三维模型，对边坡的滑坡体方量进行估算，并对边坡滑坡周界、灾变位置等进行展示，为地灾应急抢险方案的制订提供了数据参考。三维点云模型见图31。



图 32 三维点云模型

5.4 应用效果

无人机巡检技术解决了人工测量的安全风险及低效率的问题，能够直观地查看到边坡滑动迹象以及推测滑坡体的实际方量，通过获得的相关图像及点云数据，指导项目开展下一步边坡处治施工。实景三维模型见图32。



图 33 实景三维模型

6 运营养护阶段应用——道路巡检与计量收方

6.1 项目概况

大浦路G50高速公路养护项目K158+900至K174+800路段，总里程16km，需要对其进行除草、清淤等项目进行巡检和计量收方，按照传统的人工巡检模式，要完成16km高速路巡检及数据分析，安排2人巡检最快也需要7天的时间。矢量化高速路见图33。



图 34 矢量化高速路

6.2 项目痛点分析

对于大面积、长里程的日常养护施工计量收方作业，采用传统的人工现场调查计量收方，效率低、人工成本高，且数据准确度有限。

6.3 实施方法及内容

无人机道路巡检技术采用针对巡检环境而设计的垂直起降固定翼无人机，同时搭载了变焦镜头与航测镜头进行巡检，能适应多种巡检环境需求。除公路巡检外，还可以在建立三维模型、公路模型数据矢量化信息化、计量收方等方面进行应用，助力养护专业化、信息化发展。在大浦路G50高速公路养护项目利用三维模型结合无人机录制的视频，对地面修补裂缝、排水沟除草、边坡预防、中央分隔带植被清理、清理杂树杂草等需计量的项目进行分析，极大地提升了公路计量收方的工作效率和安全系数。

6.4 应用效果

采用无人机巡检技术仅用时3天便完成外业信息采集和内业数据分析。累计识别中央分隔带、上行下边波排水沟需除草106处，共计 112203m^2 ；上下行、截水沟及中央分隔带纵向排水沟清淤共455处，共计26.3km。实景三维模型结合现场航拍视频进行无人机收方见图34。

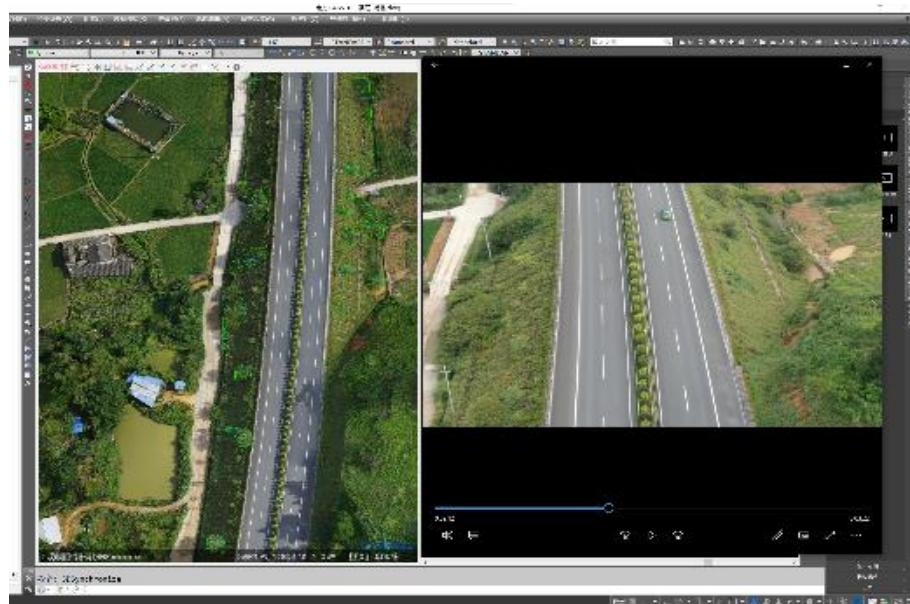


图 35 实景三维模型结合现场航拍视频进行无人机收方

7 其他应用——铁路地理综合三维信息平台

7.1 项目概况

为了加强铁路沿线安全环境治理，提高铁路整体运行安全系数，结合GIS、RS、BDS以及空间物联网技术，基于实景三维数据建立铁路地理综合三维信息平台，实现对铁路沿线左右一公里的外部环境风险监测。

7.2 项目痛点分析

有以下痛点：

- a) 隐患难识别：铁路沿线地理环境复杂，变化影响因素多，哪里存在安全隐患很难快速识别；
- b) 风险难评估：对于存在安全隐患的环境，不借助距离、高程等空间信息及地理环境因素，很难对其风险等级进行自动评估；
- c) 灾害难预测：传统的人为巡查或单点监测的方式，很难对突发的灾害进行提前预测，准确率极低；
- d) 人员难巡查：受制于复杂的铁路环境，传统的人为巡查方式成本高、效率低、风险大、周期长，难以做到全天候实时巡查监测。

7.3 实施方法及内容

项目主要通过应用数字化科技手段，建立“天、空、地、人、网”一体化监测体系，以技防为主，人防为辅的方式，以科技保障安全，具体实施方法及内容如下：

- a) 通过建立贴图“一张图”，摸清铁路外部环境；
- b) 通过建立铁路环境风险隐患智能识别机制，建立铁路外部环境风险等级评估模型，实现高危风险隐患实时监测与预警；
- c) 通过建立“天空地人一张网”，实现风险隐患一“网”打尽
- d) 通过建立铁路地理信息大平台，实现信息集成互通；
- e) 通过建立铁路时空大数据库，实现资源共建共享。

7.4 应用效果

项目建设取得的主要成果包括一网一库一平台N应用，其中一网是建立了风险在线监测网，包括遥感检测网、物联网在线检测网；一库是建立了包括基础地理信息数据、高清航拍数据、铁路资产数据、六大类风险隐患数据、历年遥感影像数据、风险等级评估数据等内容丰富的铁路时空数据库；一平台是建立了涵盖大数据中心、资源共享中心、服务管理中心、用户中心、开发中心、运维中心等功能模块丰富的综合信息平台；N应用是进行了风险监测管理、资产管理、智能巡检管理、移动巡查管理等多方面的应用（如图35~图38）。



图 36 地理一张图应用



图 37 资产管理应用



图 38 外部环境风险检测应用

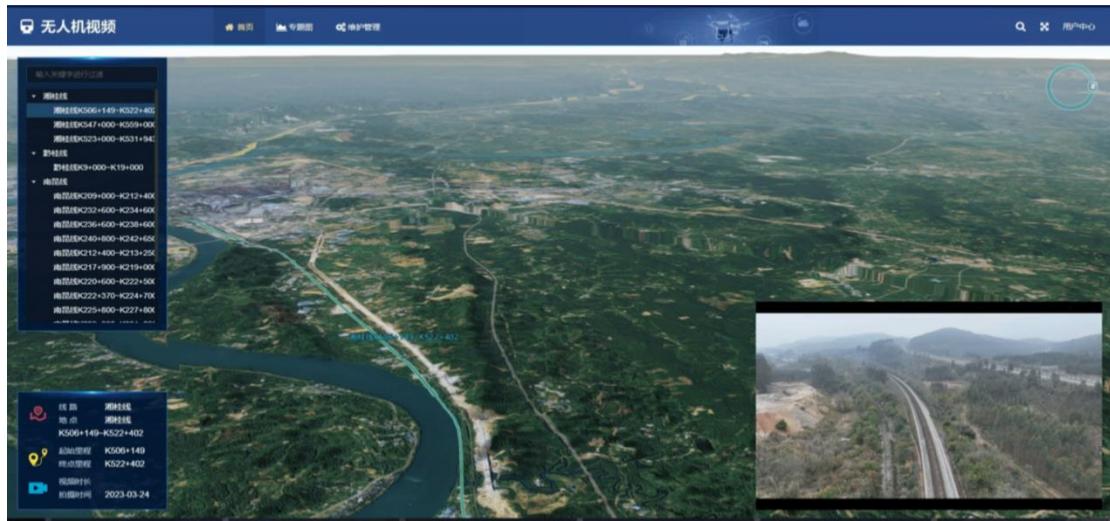


图 39 无人机巡检应用

