

实景三维技术在道路规划中的应用

向建鹏

(重庆市勘测院, 重庆市 401121)

摘要:随着实景三维技术不断推进发展,将基于倾斜摄影技术获得的实景三维数据集成在集景三维平台中,可实现道路快速三维建模,再通过叠加空间管控要素、现状限制因素等,实现了规划的三维可视化分析。以仙马湖组团路网优化研究为例,验证了基于实景三维路网优化方法的可行性,使规划路网与地形贴合更好,与现状控制因素协调更优,与河道水系亲水更佳,避免了城市建设大挖大填,取得了良好的生态效益和经济效益,践行了绿色发展理念。

关键词:实景三维;国土空间规划;DEM;路网优化研究;三维可视化。

中图分类号: U412.1+2

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)12-0241-05

0 引言

2020年涪陵高新区启动实景三维建设,经过一年的努力,完成约65 km²的实景三维建模,其中李渡、马鞍、义和区域约30 km²、慧谷湖区域约35 km²。该成果通过拥有自主知识产权的集景三维平台(以下简称“平台”)集成运行提供服务,为智慧社区建设、国土空间规划、重大基础设施方案建设论证、应急处理、文物保护和违法建筑取证等工作提供坚实的技术保障和数据支撑^[1,2]。实景三维在“十四五”国土空间规划的道路专项规划中做了大量的应用探索,取得了良好的效果。

1 实景三维在路网优化中的应用方法

1.1 制作实景三维

针对长寿、涪陵、黔江等区域具有典型的山地城市特征,采用倾斜摄影、仿地飞行等技术,利用直升机、固定翼无人机等搭载五镜头相机,获取高分辨率、高重叠度的影像。结合外业像控点进行空中三角测量,采用建模软件设置模型坐标系,自动重建“金字塔式的结构层级”倾斜摄影模型瓦片,适应了不同场景的加载需求^[3,4]。

1.2 创建高精度地形三维模型

制作数字高程模型(Digital Elevation Model DEM),与实景三维数据融合形成具有高精度和高现

势性的三维地形模型。基于DEM数据的三维地形建模基本方法主要有三种,即RTN方法、TRN方法、TIN方法^[5]。涪陵高新区采用TIN方法构建高精度地形三维模型,以满足道路细部设计要求^[6]。在模型里可提取各种地形参数,进行高程、坡度、坡向等用地适宜性分析评价,也可绘制坡度坡向图、立体透视图等,将虚拟的地理环境任意角度可视化展示^[7]。

1.3 规划路网模拟及分析

平台开发构建了一个基于三维环境下的道路规划设计系统,系统逻辑上分为数据、设计、分析、展现、评估、输出六个模块^[8]。尤其是构建的层次化、参数化、装配化的道路设计组件^[9],在平台中初步实现了道路按照规划确定的道路线位、竖向高程、路幅宽度、交叉口位置等快速模拟,实现规划路网成果的三维可视化。

采用多源数据处理和集成技术^[10],叠加用地规划、空间管控要素(如城镇开发边界、永久基本农田、生态红线)等,直观展示规划路网与山、水、林、田、湖、草、沙的关系,可以准确判断规划路网的合理性、可实施性,直观判断是否存在大挖大填,是否存在重大构筑物等,实现规划路网的三维环境互适分析。

1.4 路网优化和精细化规划

结合模拟结果,对规划路网进行优化调整。结合三维地形模型,在平台中重新优化道路线位和竖向高程,利用设计模块,快速在平台中展现道路建成后的实际效果与周边环境关系,协调好路网与山体崖线、湖泊水系、城市绿地之间的关系,减少对生态环境的

收稿日期: 2023-04-03

作者简介: 向建鹏(1982—),男,学士,高级工程师,从事市政工程设计工作。

影响。还可快速确定路基、桥梁、隧道及挡墙构筑物设置。若优化后的道路平纵组合不合理,导致工程规模巨大,即又进入重新优化过程,逐步实现道路方案更优,以期达到减少路基土石方、挡墙结构、桥梁、隧道等工程量的目的,降低基础设施建设成本。

在优化调整后的路网基础上,可以进行道路精细化规划,结合道路路线标准,将道路加宽、渠化展宽、公交港、过街设施、无障碍设施等道路细节设计一并纳入道路红线预控用地,避免后期道路建设实施时又倒逼规划调整,大大增强了规划路网的落地可实施性。

1.5 土石方统筹管理

在道路路线确定的情况下,路基土石方工程对工程投资影响相对较大,故道路优化在确保道路平纵横技术指标的前提下,尽可能地减少路基土石方工程数量对减少工程投资有着重要的意义^[11]。合理的道路竖向高程也直接影响地块建设土石方开挖数量,影响地块建设成本。

结合确定的道路竖向,对规划地块的竖向高程初步规划,利用平台快速进行路网、地块土石方计算,如果因道路竖向高程不合理而导致地块挖填量较大,又重新调整优化道路竖向高程,以达到减少道路和地块挖填数量,按照“草图-设计-模拟-评估-优化”渐进式的优化流程^[8],不断推演,实现区域土石方挖填平衡,结合建设时序和施工路线,合理调配土石方,降低后期开发成本。目前,在土石方资源化利用的大背景下,该平台已在探索“土方银行”^[12]建设管理端口,以期达到土石方资源的最大化利用。

1.6 综合评价

通过渐进式的优化流程,逐步优化规划路网,提高了片区路网设计整体协同性^[13]。通过叠加一系列空间管控要素,实现国土空间规划“一张图”,直观、立体呈现道路建成后的场景,分析评价方案的合理性、经济性、可实施性,有助于系统化、科学化的街道空间整体管控^[14],也有助于道路与建筑前区、街道界面的协同设计,实现规划由“道路红线管控”向“街道空间管控”转变^[15]。

2 应用实践—仙马湖组团路网研究

2.1 工程概况和建设条件

仙马湖组团处于涪陵高新区西侧,规划面积约 3.5 km^2 。项目内部以居住用地、科研用地为主,南侧为产业用地,见图1。

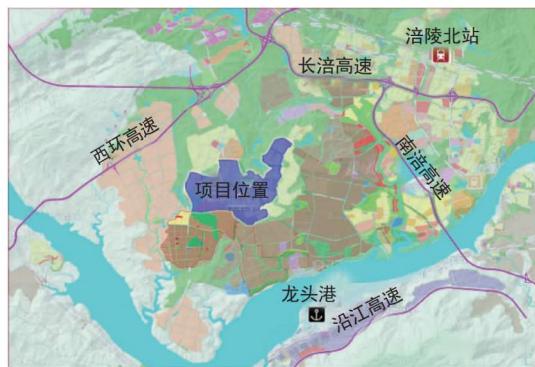


图1 项目区位图

区域地形起伏较大,地形呈东高西低,北高南低趋势,高程范围介于 $248\sim 420\text{ m}$ 之间,见图2。

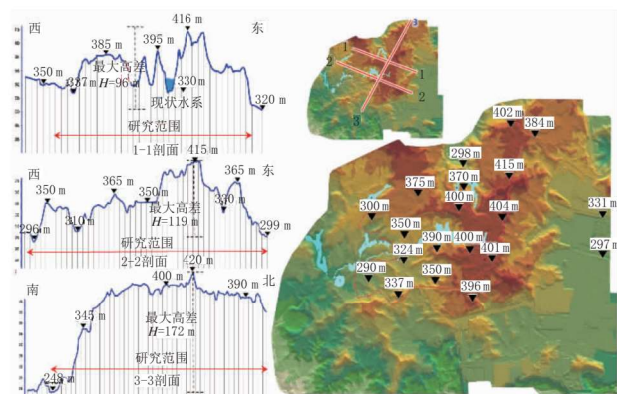


图2 区域地形分析图

2.2 实景三维模型+高精度地形三维模型

涪陵采用罗宾逊 R44 直升机搭载 PAN-U5 倾斜相机获取 0.05 m 分辨率倾斜影像,航向重叠度和旁向重叠度均为 80% ,分为4个空三分区,根据分辨率、建筑密集程度及机器内存大小,选择 $100\text{ m}\times 100\text{ m}$ 或 $200\text{ m}\times 200\text{ m}$ 的瓦片大小进行实景三维成果制作与输出。通过对44个特征点位进行实测检测,平面中误差为 0.503 m ,高程中误差为 0.429 m ^[3]。

利用已有的 $1:500$ 精度的地形图数据,构建高精度地形三维模型,进一步提高了地形三维模型精度。利用平台将倾斜摄影数据、实景三维模型、高精度地形三维模型整合,见图3和图4。



图3 仙马湖实景三维模型



图 4 团石堡安置房实景三维模型

2.3 规划路网模拟分析

在平台中,依据规划初步拟定的道路平面线位和路基宽度,快速模拟出规划路网,分析路网与外部环境的相互关系,见图 5。



图 5 规划路网三维模拟图

在平台中可直观看出,道路与现状地形贴合不紧密,整体呈现大填方的特征。以聚贤大道为例,道路起点至桩号 K1+000 范围与地形贴合较差,道路局部路段的路基处于陡崖上,填方高达 40 m;道路桩号 K1+000 至桩号 K2+000 范围处于冲沟处,若采用桥梁跨越冲沟,桥跨规模将达到 500 m,若采用填方路基+涵洞跨越冲沟,填方高度将超过 50 m,且填方坡脚区域将侵入现状水库消落区,对水环境影响较大,见图 6。

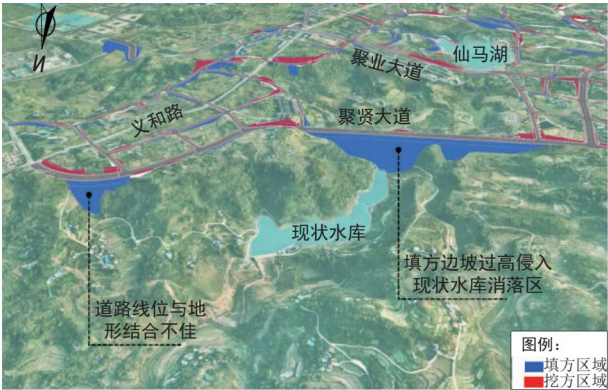


图 6 聚贤大道规划线位模拟图

通过模拟分析,规划路网主要存在以下问题:

(1)道路平纵定线不合理,与地形、水系等结合不紧密。道路平面定线或纵断面高程不合理,与地形贴合不紧密,导致路基出现高填深挖问题。聚贤大道路基局部侵入现状水库消落区。环湖区域用地规划为绿地,而环湖道路规划为 15 m 宽度的支路,若按照规划建设该道路,路基侵入仙马湖水体,道路定位与环湖区域的用地规划不匹配,见图 7。



图 7 环湖路规划线位模拟图

(2)道路定线与现状控制因素冲突。聚业大道现状 24 m (城市次干路),规划拟将道路拓宽至 32 m (城市主干路),规划道路挖方边坡侵入现状团石堡安置房和宏义社区红线,侵入红线最大距离 12 m。聚业大道东侧平面线位与在建 110 kV 枣花线的两个线塔冲突。

(3)区域土石方挖填量过大,且挖填数量严重不平衡。经过初步模拟计算,区域土石方挖方 823 万 m³,填方 1 276 万 m³,填缺 453 万 m³。

2.4 路网优化研究

通过平台叠加城镇开发边界、永久基本农田、生态红线等空间管控要素,结合用地规划、水系规划、已出让红线、在建 110 kV 枣花线、现状道路、自然山体等限制条件,通过平台直观展示分析存在的矛盾,提供优化解决思路,路网优化工作按以下方面开展:

(1)优化道路线位走向,优化路网布局。

按照现行城市道路设计技术标准要求,结合现状地形,在平台中优化道路线位,确定竖向高程,快速实现道路三维模拟。优化聚贤大道、聚业大道等道路走向,避免与现状小区红线、在建高压线塔的冲突,减少路基范围大挖大填,降低桥梁、高边坡及挡墙构筑物等工程规模及建设成本,减少对现状水库和排涝通道的影响,见图 8。

通过平台直观分析,聚贤大道北侧为规划保留的现状水库,结合现状地形适当优化平面线位,将道路起点至桩号 K1+000 段线位南移约 41 m 即可躲避



图8 优化路网三维模拟图

陡崖;道路桩号 K1+000 至桩号 K2+000 线位南移约 30 m 可将桥跨规模由 500 m 缩短至 300 m, 填方路基高度将降低至 32 m, 且填方坡脚能避开现状水库消落区范围,对现状水库影响小,大大减少了高填深挖区域,线位与地形贴合更佳,见图 9。



图9 聚贤大道优化线位模拟图

通过实景三维叠加规划用地分析,仙马湖四周为规划绿地,环湖现状有一条路基宽度为 3.5 m 的机耕道,优化方案将原规划宽度 15 m 的城市支路优化为宽度 5 m 的慢行游步道(兼消防通道功能),慢行游步道以现状机耕道路为基础,优化拟合圆曲线半径,拓宽道路路基打造而成,既利用了现状机耕道路基,又保护了仙马湖及绿地,还兼顾了未来环湖公园建设,见图 10。

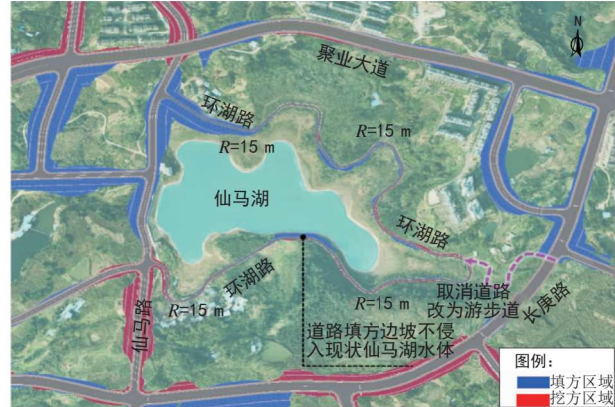


图10 环湖路优化线位模拟图

原规划路网总计 28 条,总长约 28.8 km,优化调整道路 15 条,长度超过 10 km,优化后的路网总长约 29.2 km,路网密度保持不低于 8 km/km²,见表 1。

表1 优化前后路网长度和密度对比表

项目	道路长度/km		路网密度/(km·km ⁻²)		规范值/(km·km ⁻²)
	规划	优化	规划	优化	
主干路	6.15	6.29	1.76	1.8	0.8~1.2
次干路	6.18	6.25	1.77	1.79	1.2~1.4
支路	15.85	14.85	4.53	4.24	3~4
其他	0.6	1.8	0.17	0.51	—
合计	28.78	29.19	8.22	8.34	—

(2)优化道路竖向高程,与地形贴合更优。

结合三维模拟分析、道路周边用地性质及现状地形,依据优化后的道路线位,对竖向优化调整。按照现行规范纵坡要求,控制道路纵坡及竖向高程,优化纵断面道路 27 条,竖向优化节点 41 个。其中聚贤大道优化平面线位,调整道路设计高程,桥梁长度缩短约 200 m,桥梁墩柱高度降低超 10 m,降低了桥梁规模,节约投资约 4 400 万元。

(3)优化土石方工程数量,实现区域内部平衡。

通过对道路平纵优化调整,道路工程土石方挖方为 175 万 m³,填方 191 万 m³。基于道路设计高程,对约 50 个开发地块进行竖向设计,经初步测算,地块土石方挖方为 494 万 m³,填方 490 万 m³。相对于规划方案挖方减少 154 万 m³,填方减少 595 万 m³,大大减少片区挖填数量,基本实现区域土石方平衡,节约了建设成本,见表 2。

表2 优化前后土石方挖填数据对比表

区域	项目	规划方案	优化方案	优化情况
地块	挖方/万 m ³	240	175	-65
	填方/万 m ³	536	191	-345
道路	挖方/万 m ³	583	494	-89
	填方/万 m ³	740	490	-250
合计	挖方/万 m ³	823	669	-154
	填方/万 m ³	1276	681	-595
弃+/缺-		-453	-12	-

2.5 其他应用实践

在“十四五”国土空间规划编制期间,应用实景三维技术,开展了均安组团和大山组团合计约 9 km² 的路网研究,辅助国土空间规划落地;还开展了涪陵高新区拓展区约 48 km² 范围内总长超过 74 km 的跨组团长大通道预研预控研究,利用平台将通道建设用地与“三区三线”划定协调一致,创造了远期通

道建设条件,为未来城市交通动脉建设垫定了基础。

3 结语及展望

3.1 结语

随着实景三维技术不断向前推进发展,将基于倾斜摄影技术获得的实景三维模型数据集成在集景三维平台中,实现了道路快速三维建模,通过叠加国土空间规划、空间管控要素、现状限制条件等,实现了规划的三维可视化分析,弥补了传统二维规划设计的不足。以仙马湖组团路网优化研究为例,验证了基于实景三维技术的路网优化研究方法可行性,研究范围的聚贤大道等规划路网与地形贴合更好,聚贤大道、聚业大道与现状红线、在建高压线塔等控制因素协调更优,环湖路等滨水道路亲水性更佳,仙马湖、现状水库及其排涝水系得到保护,避免了城市建设大挖大填,取得了良好的生态效益和经济效益,践行了绿色生态发展理念。

3.2 展望

目前实景三维技术应用还处于探索阶段,尤其是在国土空间规划和工程设计领域,平台初步实现了简单道路模型的快速构建,其主要技术路线为采用 GIS 的高精度、大场景数据环境^[16],创建相对简单的道路模型。若需要表达复杂多变的道路断面、互通立交等,则需要导入 BIM 平台上制作的精细化模型,尚未在平台中完全实现 BIM 的正向设计,下一步可在该平台基础上探索实现 BIM 的正向设计。

同时,平台还可进一步开发道路专业设计软件功能,如道路平、纵、横等技术指标的自动选择与动态调整,可大大提升平台应用前景,往更专业化方向

发展。

参考文献:

[1] 薛梅,邱月,陈光.实景重庆:徜徉在青山绿水间的数字孪生空间[J].中国测绘,2019(5):47-51.

[2] 马红.大范围多源多尺度实景三维模型建设及应用研究—以重庆市实景三维模型建设为例[J].测绘通报,2019(S2):61-64.

[3] 周智勇,欧阳晖.山地城市大范围实景三维制作与建库[J].城市勘测,2020(3):5-10.

[4] 张大利,李晗,曾一笑.倾斜摄影技术支持下的山地乡村实景三维模型建模—以黔江区为例[J].测绘通报,2022(S2):170-173.

[5] 胡少林.基于 DEM 数据的三维地形建模方法研究与实现分析[D].长沙:国防科学技术大学,2002.

[6] 罗睿,黄凯.基于 GIS 的 BIM 技术在路网优化设计中的应用研究[J].城市勘测,2019(5):42-46.

[7] 陈尔东吴.基于数字三维地形的“多规合一”数据综合应用研究[J].测绘通报,2021(S2):186-188.

[8] 何兴富,谢征海.基于地理设计的三维道路设计系统研究与实现[J].地理信息世界,2013,20(6):72-76.

[9] 陈光,薛梅,刘金榜,等.一种市政道路 BIM 设计模型与三维 GIS 数据集成方法[J].地理信息世界,2018,25(3):82-86.

[10] 王商富.基于多源实景三维大场景的城市道路设计平台[J].城市勘测,2022(1):43-46.

[11] 魏守月.山区高速公路路基路面工程造价指标研究[D].西安:长安大学,2010.

[12] 王晓霞.“土方银行”如何点“土”成金[N].中国建设报,2021-10-21日(007).

[13] 熊桂开,朱丽丽,薛梅.GIS-BIM 技术在山地城市路网优化设计中的应用[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2017,36(4):90-95.

[14] 高巍,贾梦涵,赵玫,等.街道空间研究进展与量化测度方法综述[J].城市规划,2022,46(3):106-114.

[15] 张跃先.“精美长沙”的街道空间管控实践[J].城乡建设,2021(10):46-48.

[16] 李志辉.GIS 与 BIM 技术在绿色设计中的应用研究[J].城市勘测,2021(5):47-50.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿邮箱:cdq@smedi.com 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com