

高速铁路无人机+BIM+GIS+北斗技术体系研究与工程应用

文 / 杜有秀 中铁一局集团市政环保工程有限公司

摘要: 在高速铁路工程施工中,高填深挖区域的土石方调配是影响工程成本与进度的关键环节。传统方法采用人工RTK测量和图纸手动计算,效率低下且误差大,导致资源浪费和工期延误。本文通过整合BIM+无人机+GIS技术,构建三维数字化施工平台,实现土石方量的精准测算与科学调配。基于兰合铁路刘家峡车站工程,构建“天空地”一体化数字化施工体系。通过现场实践应用,该方案显著优化了填挖平衡,降低了二次倒运成本。BIM-GIS模型融合实现空间分析可视化、无人机航测提升地形数据采集效率、智能算法辅助调度决策。通过现场实际应用,该方法提升了施工效率,节约了施工成本。

关键词: 高填深挖; 融合技术; 智能建造; 施工技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.19.061

引言

面对传统土方调配依赖经验,二次倒运成本高;人工刷坡精度差、效率低;湿陷性黄土边坡变形监测滞后等问题。依据《“十四五”国家信息化规划》,关于推动BIM、物联网、北斗等技术在基建领域的集成应用。通过应用BIM软件实现二维图纸立体化参数化表达,能够高效的解决图纸信息的传递问题。而GIS技术可以在立体地形图中进行施工场地坐标及高程的关联。通过融合BIM及GIS技术,可以实现高速铁路施工中挖填土方的科学合理调配和方案的优化设计。

一、工程概况

兰合铁路项目位于永靖县三条岷乡磨石沟内,线路及站场范围内沟谷纵横,地势起伏较大、地质复杂多变。项目施工涉及高填深挖,路堑最大挖方高度68m,分七级坡开挖,边坡施工风险大。路基最大填高31.86m。针对项目特点,利用无人机的倾斜摄影与GIS技术融合,对周边地形进行实时测量,优化大临方案选址问题。刘家峡车站站场路基填筑共240万方,主要采用本段挖方利用、借土、隧道洞渣等,通过应用无人机+BIM+GIS技术对土方进行调配,减少土方二次倒运。

二、技术体系架构

(一) 系统组成

1. 无人机集群航测

根据现场地形的特点,将测区划分成不同的连接区域,制定飞行路线,使用无人机获取地形数据,得到地形倾斜照片。再经过图形软件的处理,得到地面数字模型,与现场对比后用于后续土方工作。

2. 边坡传感器

阵列式位移计是一款新型的、智能的、适应多种行业应用的三维变形监测传感器,主要用于在三维空间内进行全方位变形(位移)角度、振动测量。阵列式位移计内部采用多节位移传感器串联,可根据需要任意弯折,以适应特殊场景的监测需求。

3. 土方工程BIM+GIS应用

在具体土方计量应用时,采用断面法沿左中心线的位置将路基部分按一定间隔划分断面,利用BIM技术确

定每个断面的面积,再乘以间隔长度,使用数学积分原理,计算整个路基的土方量。研究土方调配模型,模型结果与现场相比对,根据平台数据,得到土方调配方案。

(二) 核心技术创新

1. 高精度实景建模技术

根据现场地形的特点,将测区划分成不同的连接区域,制定飞行路线,使用无人机获取地形数据,得到地形倾斜模型,与现场对比后用于后续土方工作。为提高模型精度,在区域内典型位置布置像控点,采用自动手动坐标对应,提高航测精度。

2. 北斗三代挖机引导系统

北斗挖掘机引导系统,采用北斗高精度定位技术,结合读取安装在挖掘机上的各种角度传感器数值及主要枢轴尺寸,计算出铲斗斗齿实时、精确的三维位置信息,并根据安装在驾驶室里平板终端显示的三维图形及数值等信息引导机手作业,防止工作区域内的欠挖或多挖。即使在视力不及的盲区,也能精确完成工作,彻底改变了人们对于挖掘机传统施工方式的认知,引导机手精确施工。

3. 边坡智能监测网

采用阵列式位移计三维变形监测传感器,内部采用多节位移传感器串联,可根据需要任意弯折,以适应特殊场景的监测需求。在三维空间内进行全方位变形(位移)角度、振动测量,对高边坡进行实时监控报警,确保高大边坡的施工安全。

三、工程实施与数据分析

(一) 数字地形构建

1. BIM技术应用

(1) 参数化快速建模

兰合铁路2标站前工程包括一座车站、2座大桥、区间路基、生活房屋,项目工程量大,各种规则结构多。通过对模型进行深化应用,将结构材质、形状、构件名称编码,并对建模组件进行符合项目施工需求的分段,使模型的构造和现场施工步骤相一致。

(2) 结构构造展示

使用BIM技术展示结构细节,帮助施工人员更加直观地识别结构体和钢筋结构的细部,避免施工中出现识

图不当引发的工程安全质量事故。可以通过移动端和 Web 端同时应用，大大简化了 BIM 技术应用的难度，也方便了一线施工人员的使用。

(3) 施工过程模拟

通过 BIM 技术对复杂工序施工过程模拟，服务现场施工技术管理人员，并与施工管理平台进行了同步挂接，提高了项目信息化水平，大大加快了施工进度，保证了施工质量。

(4) 碰撞检查

通过 BIM 技术在施工前对结构中的冲突点进行碰撞检查，提前预判问题，可并加以整改，保证施工质量和施工进度。

2. 无人机技术应用

根据现场地形的特点，将测区划分成不同的连接区域，制定飞行路线，使用无人机获取地形数据，得到地形倾斜照片。再经过图形软件的处理，得到地面数字模型，与现场对比后用于后续土方工作。

(1) 无人机倾斜摄影

采用大疆精灵 4PRO 作为数据采集设备，根据项目制定飞行路线。为提高模型精度，在区域内典型位置布置像控点，采用自动手动坐标对应，提高航测精度，获取到数千张清晰倾斜照片。剔除不符合要求的照片，将部分照片进行修饰达到使用要求，经过统一编码，保留符合要求的照片，进行内业处理。

(2) 生成 GIS 标准地形模型

获取倾斜摄影图后，使用专业的图像处理软件进行图像处理和地形建模。本项目使用 ContextCapture Master 软件对地形数据进行处理，生成 OSGB 格式地形文件。

3. GIS 技术应用

(1) 融合 BIM 模型

将建好的 BIM 模型融入到 GIS 平台中去，可以实现模型与 GIS 数据的互联互通，更加全面、方便地对项目进行协同管理。

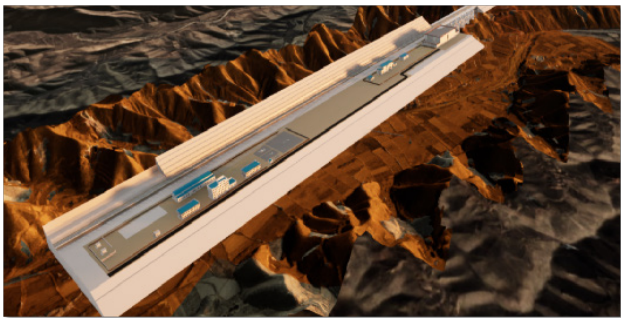


图 4-1-2 刘家峡车站 BIM 模型 +OSGB 平台展示

(2) 土方填筑开挖量确定

采用断面法计算土方量，数据对比精度符合规范要求。采用航测模型，可以在开工前快速获取到土方信息，不仅对工程计量起到辅助确认的作用，也对土方调配、造价和工期起到辅助协同的作用。

(3) 土方调配方案确定

将确定的方量在平台显示，实现图形化土方量调配，形象化地展示了现场土方情况，大大加快了调配方案的制定速度，提高了生产率。

(4) 边坡灾害体标识

依据 BIM 模型和 GIS 平台，可以在模型上标识出滑坡体及失稳范围，便于现场提前做出预案，保证施工安全 and 生产进度。

4. 土方工程 BIM+GIS 应用

(1) 技术路线

在具体土方计量应用时，采用断面法沿着左中心线的位置将路基部分（含车站）按一定间隔划分断面，利用 BIM 技术确定每个断面的面积，再乘以间隔长度，使用数学积分的原理，计算出整个路基的土方量。确定目标后，研究土方调配模型，模型结果与现场相比对，根据平台数据，得到土方调配方案。

(2) 融合 BIM+GIS 地表数字模型

利用已有数字地面倾斜模型载入 GIS 平台，用于土方定量，具体技术路线如图：

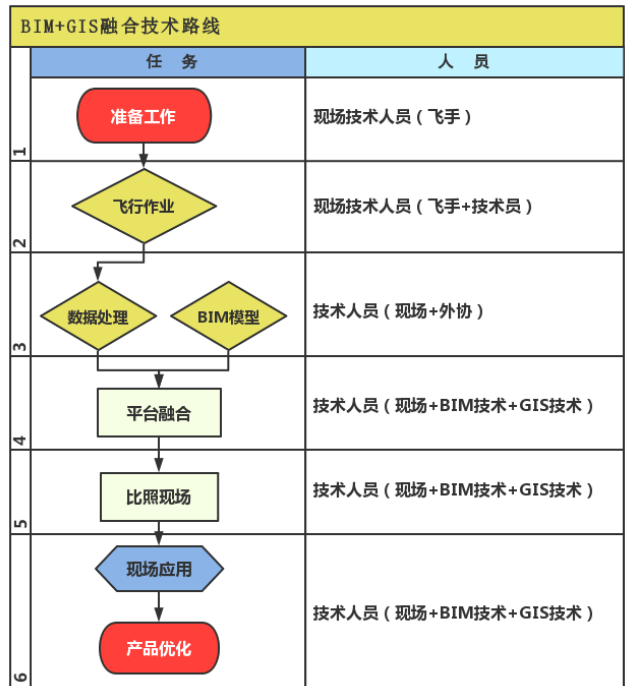


图 4-1-4 BIM+GIS 融合技术路线

选择 A 平台的 Revit 软件作为本项目的土方工程量计量软件，实现了工程填挖方的方量确认，是项目级 BIM+GIS 技术融合应用的一个创新。

(3) 生成 Revit 地形模型

利用生成的断面面积与传统人工 RTK 数据对比，发现两种方式的地面线贴合度良好，整体差异 < 3%，满足施工要求。

考虑到现场情况，采用了简单易懂的土方工程量确认方法。首先由 Revit 平台识别出断面面积，将其整理成 excel 表格。经过与现场人工 RTK 数据进行对比发现二者数据量间整体差异小于 2%，最大差异量为 6%。差异大的地方基本都是沟深坎高的地区。最后应用计算机电子表格功能，可以快速获取到整条线路的土方填挖需求情况。

(4) 刘家峡车站段土方调配方案

使用无人机及 BIM+GIS 平台提供的断面信息，制定了土方调配方案，现场应用情况良好，符合现场预期。

根据刘家峡土方开挖情况，综合断面填挖平衡，得到土方调出调入分布情况。考虑到铁路直线型和当地地形的特点，分段过细不利于整体施工，根据典型填挖情况将项目分成了数个大段，并对土方调配段进行了重新分区：

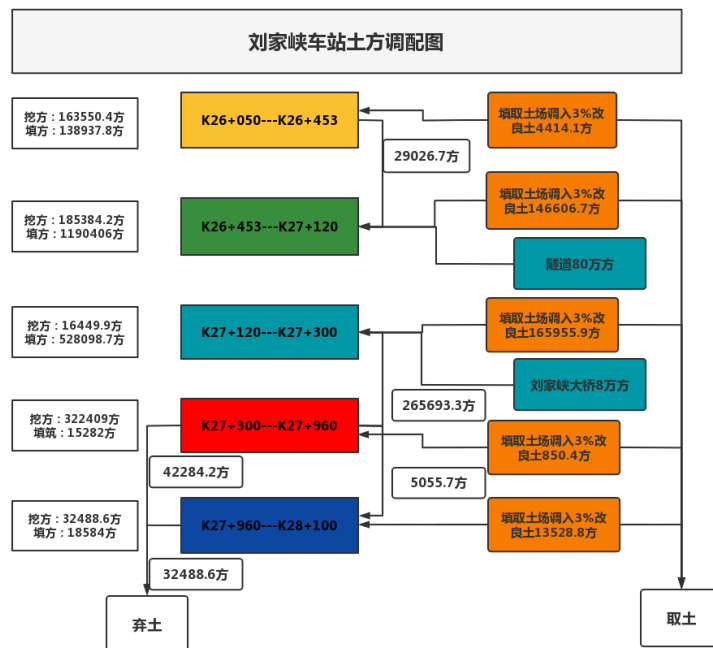


图 4-1-6 刘家峡车站土方调配展示图

(二) 北斗挖机引导系统应用

通过将设计图纸中的桩位、坐标、宽度等基础信息文件导入北斗智能挖掘引导系统中进行断面面积点位分析，为现场提供了由设计到现场施工的完整解决方案。施工过程中，通过北斗挖机系统中录入的坡率、长度等界面显示，确定铲斗精度定位，操作手可实时参考铲斗姿态施工，更加便捷容易，降低操作手的操作技能要求。通过操作室内的可视化高度和坡度引导，使其在不可视的施工环境中更直观的作业。通过提前录入的坐标信息，现场测量放样时，轻松标定施工范围，避免测量点位破坏后，导致坡面出现超挖或欠挖现象。同时提高坡度、深度和平整度的作业精度和作业效率，避免返工增加的成本和时间。应用北斗挖掘机引导系统，现场实现了挖掘机手视线盲区辅助施工，与传统施工方法相比，避免了挖掘机场地迁移，土方转运的工序，大大提高了机械生产效率，减少了操作手劳动强度、保证了工期。相对比传统挖掘机操作程序，相同的工期要求1km路基配备挖掘机数量由3台减少至2台，节约平板运输车辆1辆，大大降低了现场机械使用成本。

(三) 高边坡自动化监测系统

兰合铁路刘家峡车站涉及高填深挖，为掌握该位置的高填路基填筑过程中地基变形、高路堑边坡开挖后变形发展规律，分别在检测发尾内通过布设剖面不均匀沉降变形自动监测系统对地基变形进行自动监测，通过深层水平位移监测系统对边坡位移进行自动监测，监测数据实时传输至数据中心，实现在路基填筑堆载预压后地基沉降变形以及边坡开挖施工后的变形的实时监控。

在路基地基处理完成后沿地面横断面方向埋设剖面不均匀沉降变形自动监测系统，断面内设置3-5个监测点，线路下方重点布设，纵向横断面间距一般设置为

50m，基准点设置于坡脚，基准杆打至稳定地层。该系统主要由自动纵向连续性传感器、基准点安装件、定位装载箱、采集传输系统、供电系统、传输线缆、监测系统保护设施等部分组成。

自动监测系统通过专用的监测软件，访问数据平台的数据库，每2小时采集传输一次数据，实时观测本期沉降、累计沉降和沉降速率等数据，特殊情况下可通过数据平台对监测频次参数进行远程设定修改，增加采集频率。

结语

采用无人机摄影测量+BIM技术，实现了三维实景模型与BIM模型的精确匹配为施工现场布置、便道选线、弃渣场选择、施工方案设计细化及施工组织管理等提供了新的可视化技术手段。针对湿陷性黄土地区，地形起伏变化较大，土方挖填调配量大的特点，通过融合无人机+BIM+GIS技术，实现了土石方的精确算量和最优调配。通过对BIM模型进行坐标和比例参数的设置，借助软件实现与无人机实景模型的结合，丰富了BIM的场景信息，可进行施工现场AR漫游体验，可直接获取构筑物实体坐标、距离、面积、坡度、填挖方量等数据，提高了施工工效。采用数字正射影像图、数字高程模型和数字线化图，应用北斗引导系统，通过挖掘机提前录入坐标信息，实现了可视化精准开挖；采用光伏供电阵列位移计自动化监测技术，实现了高边坡深路堑的实时监测和报警，保证了安全，提高了进度，节约了成本，保证了开挖质量。

参考文献

- [1] 张丽. 数字化变革下虚拟仿真的教学资源建设研究与实践——以高速铁路施工与维护为例 [J]. 公关世界, 2024, (05): 59-61.
- [2] 李旺顺. 数字化技术在高速铁路施工中的应用分析 [J]. 运输经理世界, 2021, (25): 61-63.