

低空遥感技术 在高速铁路施工中的应用

高速铁路 | 施工管理 | 低空遥感 | 倾斜摄影 | 数据应用

汇报人：岳峰



前言

高速铁路是交通运输领域的重大成果，具有运营速度快、建设标准高、施工难度大、施工工艺新等特点，在国家交通、城市化建设、经济发展、国家外交等方面发挥着重大作用，已成为世界各国铁路发展的总趋势，截至2020年年底，我国高速铁路运营总里程达3.79万公里，稳居世界第一。本文以高铁为例，重点介绍了飞马无人机低空遥感技术在高速铁路建设过程中，实时获取空间数据信息并深度挖掘和应用的过程，完成了施工过程现代化向信息化的转变，有效的辅助了项目管理人员更加科学的指导施工。



C | 目录 Contents

01

项目的背景和技术路线

02

数据采集设备和生产软件的选择

03

数据采集和生产的作业流程

04

数据挖掘和创新应用的方法



01

项目背景和技术路线

- 项目概况
- 主要的技术路线
- 基层调研情况



现场调研：

(1) 技术人员：**工期紧**，工作**协调**不畅，对**技术标准**不熟悉，没有实现**测量双检**。

(2) 安质人员：大多现场巡视，结构尺寸**检测**一般拉皮尺，未采用科学的方法。

(3) 项目经理：**工期**压力大，**安全**、**质量**等责任大，**现场**情况掌控滞后，**成本**控制较难。

现状分析：

技术标准不熟悉，说明培训与现场脱钩，且施工人员知识结构不统一，**需要实时查看技术标准等数据信息**。

测量双检没有实现，说明质检资源欠缺，时效性较差，**需要记录施工过程的空间数据**，实现**高效实时质检**。

感觉工期压力大，施工信息掌控滞后，资源配置不合理，若**实时掌控施工动态过程**，优化施工组织设计，工期相对可控。

工作协调不畅，人员交互基本是口头协议，工作过程基本无监督，**需要加强工作过程公开**，实现**大众监督**。

结论：

显然要实现科学的管理手段，支撑基础必然是**施工过程的空间信息数据**。恰好，**低空遥感技术能够记录当下空间信息**，并对数据进行挖掘应用。



视频1 安全培训

具体作业中，我们需要通过无人机平台搭载五镜头，从五个（一个垂直、四个倾斜）不同视角同步进行影像采集，获取地理环境中的高清纹理信息，**最大程度的反映测区真实的实景情况**，最后对获取的各种数据进行解译和应用，例如：我们可以在实景模型中查看构筑物的外观和尺寸，就能检查施工质量，排查安全隐患；预先在模型中展绘施工线路和工点位置，可合理的进行场地规划，排除施工干扰；通过应用平台，还可以在各工点进行技术交底，实现交互式作业等。



图2 数字化项目技术路线图

02

数据采集设备 及生产软件的选择

- 高铁建设项目的特点
- 飞马D2000无人机系统介绍
- 瞰景Smart3D软件介绍
- 空间数据信息应用平台介绍



特点：线路长，工点多，施工过程是动态发展变化的，施工环境复杂，干扰大。

想要真正意义的实现辅助管理，无人机系统平台和数据处理软件需要满足以下要求：

- (1) 施工区域人员密集，机械设备较多，要求无人机**平台安全可靠，性能稳定**；
- (2) 施工场地干扰大，起飞条件苛刻，要求无人机**平台轻便，起降灵活**；
- (3) 施工过程是动态发展变化的，要求**飞行频率高，航时长**；
- (4) 项目管理人员对获取信息的全面性、时效性要求较高，**数据生产要高效，精度要可靠**；
- (5) 数据应用要致力于解决**施工管理**中的各种问题。

根据上述要求，我们在市场上做了大量调研，最终确定：

数据采集：选用飞马D2000无人机系统，搭载五镜头OP3000进行数据采集，它具有小型、长航时、高精度等特点，全系统模块化分解后可集成在一个作业箱中，便于携带和运输。

数据生产：用瞰景Smart3D，空三一遍过，模型细节纹理更清晰，人工修补少，精度可控，效率高。

数据应用：需要开发一个偏向于施工管理的平台，且功能要简单实用。



D2000飞行平台性能

- (1) 标准起飞重量：2.8kg；
- (2) 外形展开尺寸：495mm×442mm×279mm；
- (3) 飞行器最大速度：20m/s；
- (4) 最远航程巡航速度：13.5m/s（最远航程50km）；
- (5) 最长航时巡航速度：7.0m/s（最长航时74min）；
- (6) 最大起飞海拔高度：6000m；
- (7) 抗风能力：6级（10.8-13.8m/s）；
- (8) 起降方式：遥控器垂直起降。

OP3000传感器性能

- (1) 相机型号：SONY A6000；
- (2) 传感器尺寸：23.5×15.6mm（aps-c）；
- (3) 有效像素：约2430万×5像素；
- (4) 镜头焦距：25mm定焦（下视）35mm定焦（倾斜）。

D2000系统平台理论作业效率

按照一个区块一天6架次，航向重叠度80%，旁向重叠度65%，常规航线设计。



图3 飞行平台及传感器

航速 (m/s)	GSD (cm)	航高 (m)	单架次作业面积(km ²)		一天飞行面积(km ²)		航程 (km)
			纹理最佳	纹理普通	纹理最佳	纹理普通	
8	1.5	96	0.42	0.68	3.63	4.34	24
8	2	128	0.93	1.44	7.81	9.19	24
13.5	2.5	160	1.08	1.78	9.51	11.44	38
13.5	3	192	1.21	2.12	11.15	13.66	38

表1 D2000作业效率

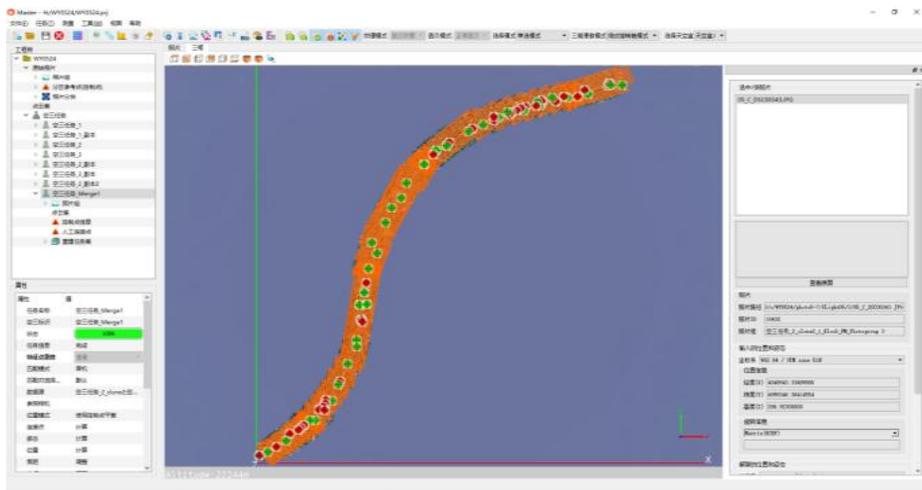


图4 瞰景Smart3D软件界面



图5 高铁施工场地模型

瞰景Smart3D主要性能

- (1) **无限空三一遍过**（测试64GB内存，5万张照片空三一遍过）；
- (2) 不限数据，**空地一体**多样数据，无需手工加点，精细化建模；
- (3) 引擎支持一机多开，分布式缓存；
- (4) 支持导入KML和SHP文件，可对数据进行多边形裁剪，去除不需要的冗余部分，节约建模时间，提高建模效率；
- (5) **成果多元化**，可生成Mesh模型（S3M/DSM/DEM/DOM/TDOM/Pointcloud）等；
- (6) 自带修模功能，去除漂浮物、压水等操作简单且高效；
- (7) 遇突发紧急情况，可将瞰景Smart3D软件打包到市场镜像，通过**市场IMS+华为云IAAS**方式部署，实现多节点，高效快速建模。

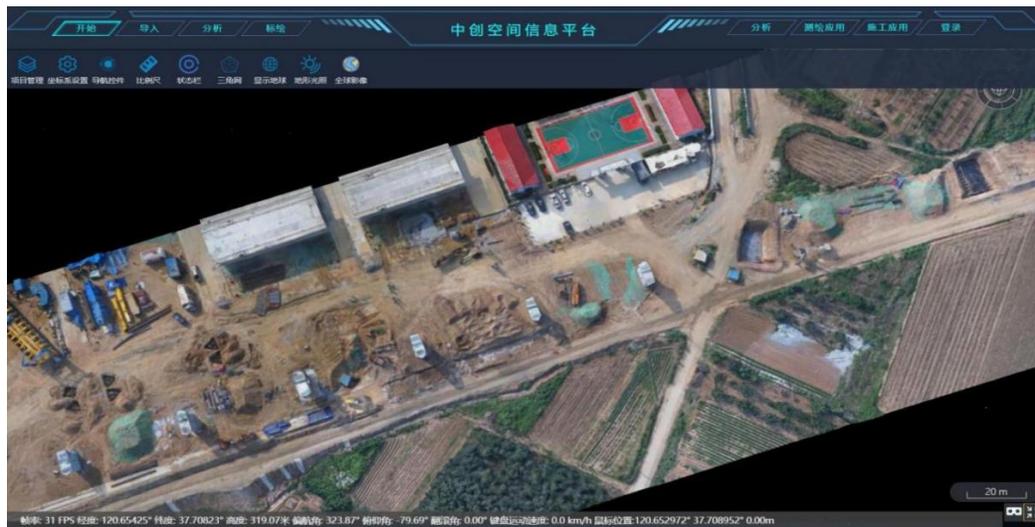


图6 中创空间信息平台界面



图7 空间信息平台切片工具界面

主要功能

- (1) 可将数据模型上传至**网络服务器**中，施工人员只用登录账号，就可以根据相应的**权限**查看数据，解决了本地端模型数据量大，相互传输时间久的问题；
- (2) **模型文件**、**矢量文件**的导入导出，二者可叠加显示，并标记点、线、面；
- (3) 在施工现场获取实时的空间信息，包括**施工环境**、**坐标数据**、**构筑物尺寸**、**构筑物外观**等；
- (4) 在不同时期的模型数据中，可**计算工程量**，进行收方计量；
- (5) 获取构筑物的坐标、尺寸、外观等信息，可**检查施工质量**；
- (6) 全方位浏览场地全貌，进行施工**安全隐患排查**；
- (7) 支持导入多期模型，进行**进度对比**和**施工规划**；
- (8) 在实景模型中实现**交互式工作模式**。

03

数据采集和生产作业流程

- 数据生产作业总体流程
- 航片数据采集
- 实景模型数据生产
- 数据质量评价



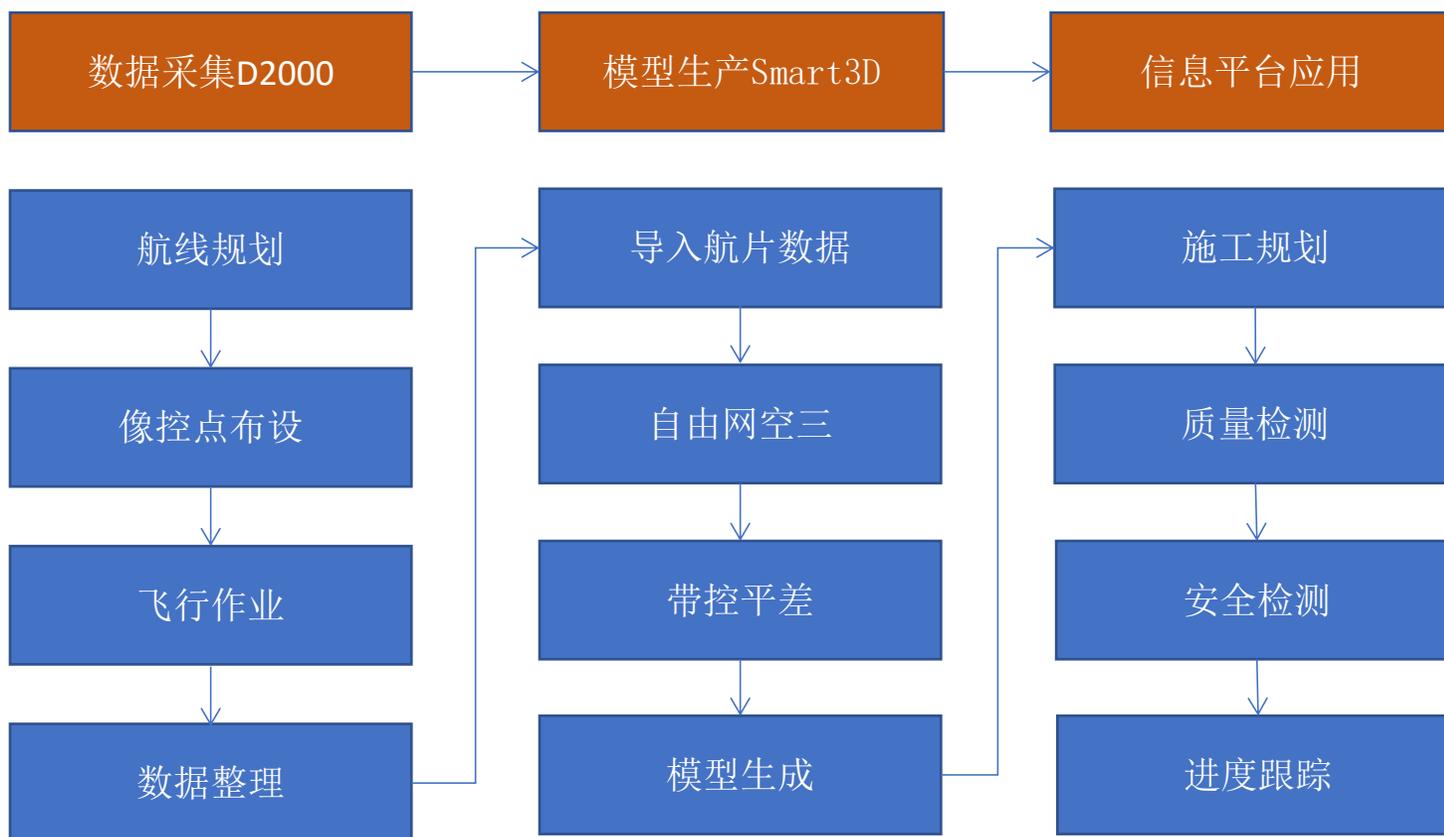


图8 生产作业流程图

注意

(1) 高铁施工工期紧，作业量大，应
按照先“**先整体后局部，先控制后碎步**”
的原则进行数据采集，根据工点
情况，**阶段性且具有针对性的飞行**，
目的保证**高频率的记录施工发展变化**
的过程。

(2) 数据采集一定要满足施工管理需
求，如重点区域，需要辨别外观质量
的，应地面拍摄细节照片，数据处
理要**空地结合**。

(3) 考虑施工人员知识结构，信息平
台功能要集成且智能化，简单实用，
重点在于解决施工过程的问题。

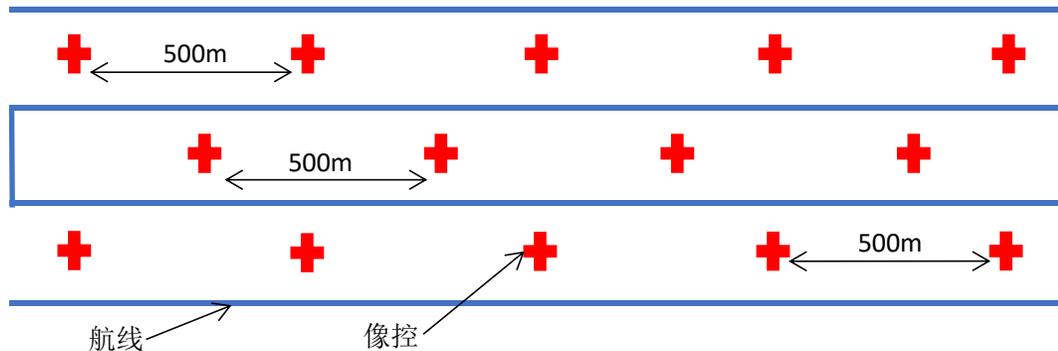


图9 像控点布设示意图



图10 像控点永久标识

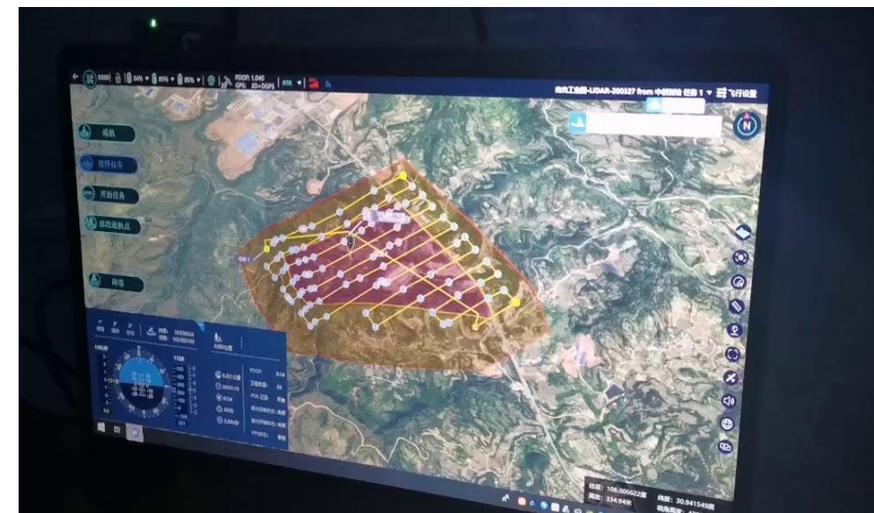
- (1) 在航线规划中，最低点分辨率应优于1.5cm，最高点航向重叠度 $\geq 80\%$ ，旁向重叠度 $\geq 65\%$ ，航线为偶数。
- (2) 像控点采用“Z”字型均匀布设，避免压盖航线，纵向间距不大于500m，拐点处相应加点，保证每公里平高控制点数 ≥ 8 ，现场条件不允许的点位可适当删除，但剔除率不得超过20%；本项目飞行频率较高，像控点应为永久标志，要求在不干扰施工的场地设置长50cm宽50cm高100cm的水泥墩，表面中心设钢钉标志，并涂米字形油漆，点位辨识宽度30cm为宜。
- (3) 观测时采用图根法，3个测回（测回间应将仪器初始化），每测回30个历元，平面、高程的互差应小于3cm。



图11 现场飞行照片



视频2 D2000降落



视频3 飞马管家智飞行

D2000起飞需要选择10m×10m空旷场地，红色脚架为机头方向，机头不要对准人，依次对飞行平台进行起降设置、荷载检查、飞机自检、任务上传、飞行情况汇总，最后点击解锁，螺旋桨转动顺畅，且确认环境安全后，点击起飞。飞行结束后，拷贝照片、POS、基准站数据等文件，并检查下载的数据是否完整。

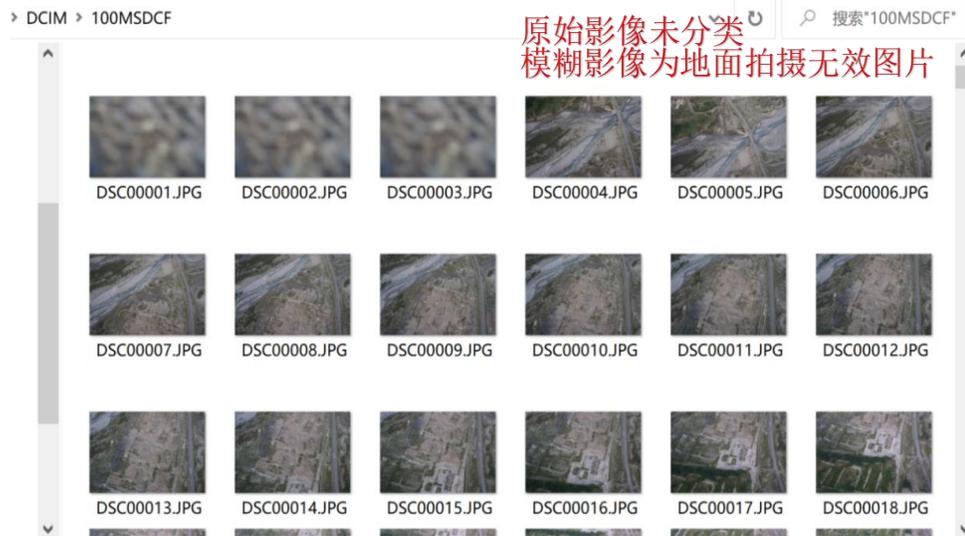


图12 原始影像



图13 瞰景界面

飞马D2000存储照片是5个镜头有5个SD卡，每个SD都是按照拍照顺序进行存储的，没有对架次进行分类，后期影像整理过程浪费大量时间，以往作业中有两种解决办法：

第1种：每飞一个架次，拷贝一次数据，现场数据拷贝时间较长，多次插拔数据卡，对硬件有一定损耗，降低使用寿命；

第2种：每架次连续飞行，在外业结束后统一对数据整理分类，这样需要找到地面拍摄的无效照片，分类提取每架次的有效航片，容易出错，也需要一定的时间进行数据拷贝。

针对上述情况，为了节约数据获取时间，提高野外飞行效率，我们开发了《中创航片整理工具V1.3.0》，飞行过程中无需拷贝照片，每天飞行结束后，将存储卡取出，使用软件浏览原始照片路径，点击整编，航片自动按架次分类，并剔除地面拍摄的无效照片，查看整编结果，无误后点击开始整理，航片自动批量归纳整理，完成后使用POS整理功能，将航片和POS数据相匹配。通过测试，使用整理工具后，外业每天可多飞2-3架次。



图14 中创航片整理工具界面

根据时间和名称，剔除地面拍摄的无效图片，自动规整、分类原始影像，便于导入瞰景软件进行数据生产。



图15 航片整理工具主要功能界面

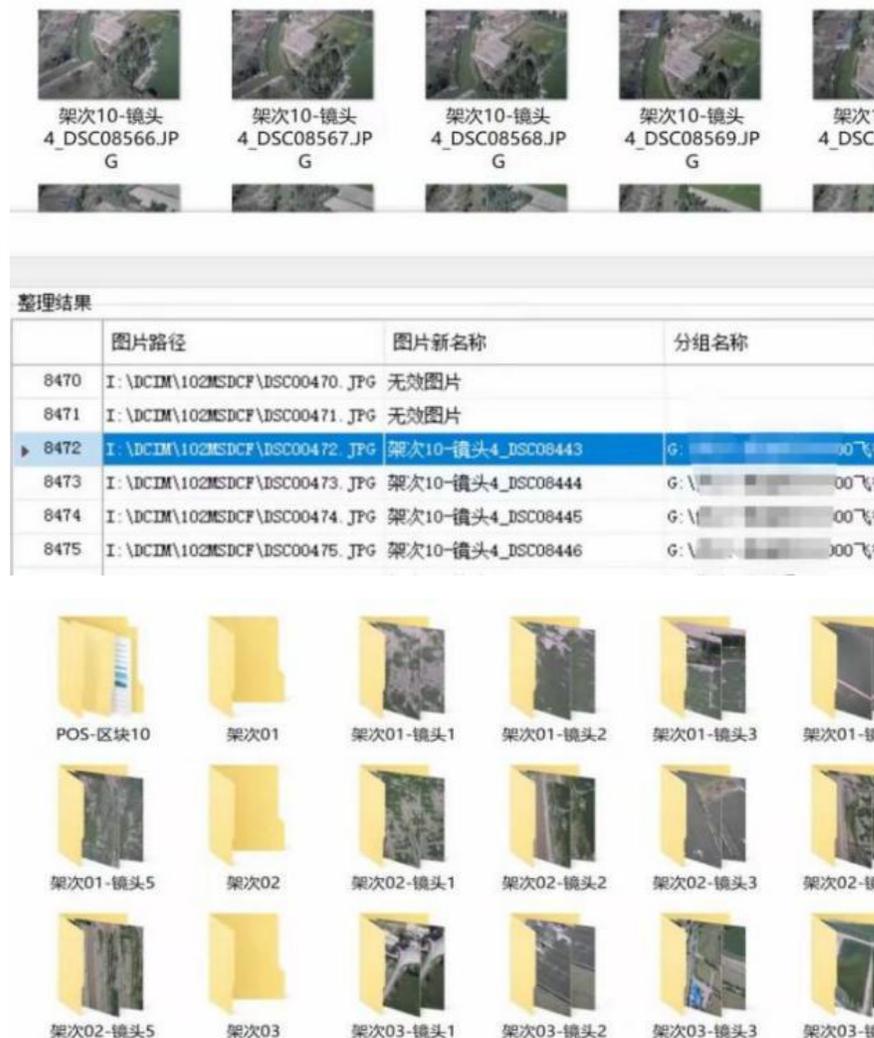


图16 航片整理结果



图17 高铁施工过程中实景模型-隧道洞口



图18 高铁施工过程中实景模型-细节展示

高铁影像数据的处理选用瞰景Smart3D软件, 生产步骤依次为**建立工程、自由网空三、带控平差和重建任务**。该软件除空三一遍过, 效率高之外, 用在本项目的主要作用是实现空地一体, 可展示构筑物的外观细节, 实现质量检查。

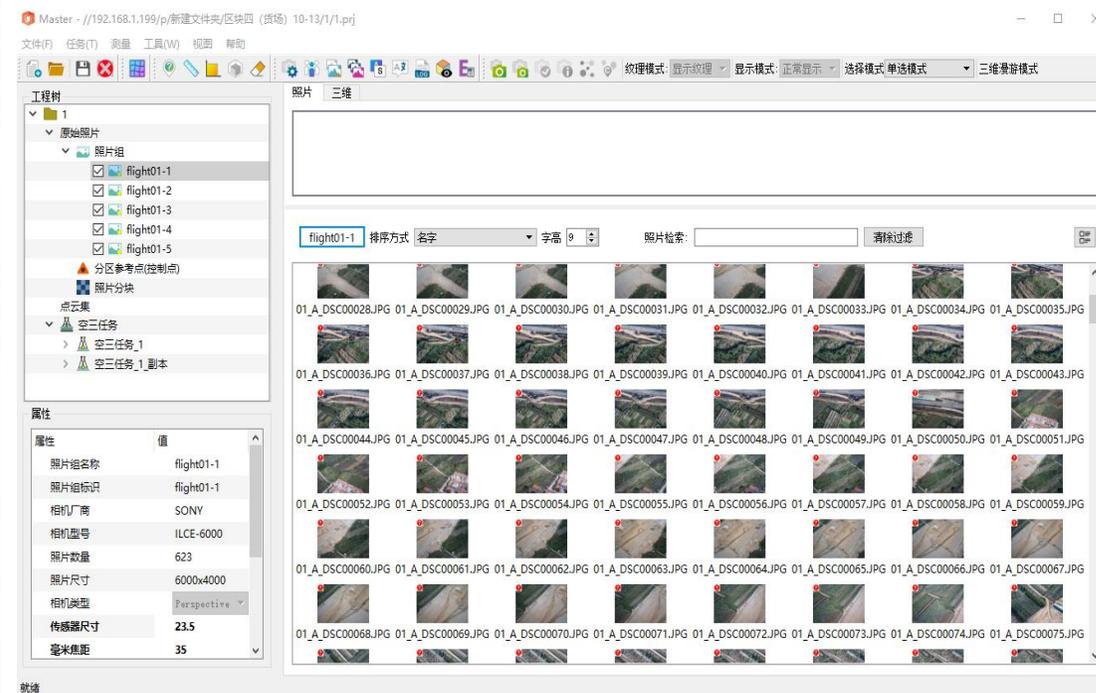


图19 瞰景界面-数据导入

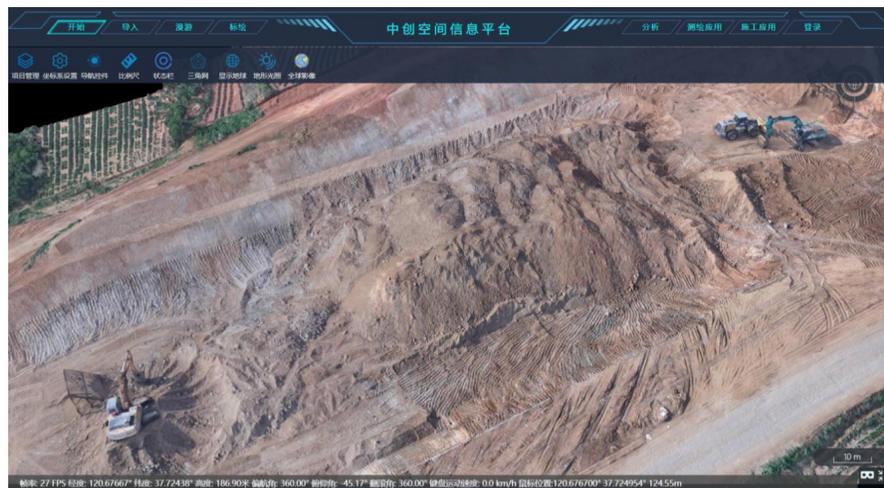


图20 空间信息平台界面



图21 潍高铁施工过程实景模型-路基施工

模型数据导入空间信息平台后，需要对其质量进行评估，标准以《高速铁路路基工程施工验收标准TB10751-2018》、《高速铁路桥涵工程施工质量验收标准TB10752-2018》为依据。

高铁模型数据抽样了20km路基、5座涵洞、2座梁桥，进行精度评定，最终结果均满足规范要求，现将部分抽样结果举例如下：

部位	高程(m)			部位	中心坐标(cm)		部位	位置坐标(cm)	
	抽样	检查	差值		桥梁群桩	限差		检查	涵洞八字墙
DK156+420	1629.938	1629.913	0.025	3-1	5	3.2	1	5	2.4
DK156+440	1629.998	1630.007	-0.009	3-2	5	4.5	2	5	2.1
DK156+460	1630.058	1630.080	-0.022	3-3	5	4.3	3	5	3.6
DK156+480	1630.118	1630.116	0.002	3-4	5	4.6	4	5	3.1
DK156+500	1630.178	1630.186	-0.008	3-5	5	4.2	5	5	3.2
DK156+520	1630.238	1630.218	0.02	3-6	5	3.2	6	5	2.7
DK156+540	1630.298	1630.273	0.025	3-7	5	1.6	7	5	2.8
DK156+560	1630.358	1630.342	0.016	3-8	5	2.9	8	5	3.5
DK156+580	1630.418	1630.420	-0.002	3-9	5	4.7	9	5	3.8
DK156+600	1630.478	1630.506	-0.028	3-10	5	3.5	10	5	3.7
DK156+620	1630.491	1630.494	-0.003	3-12	5	2.7	11	5	2.1
DK156+640	1630.532	1630.541	-0.009	3-13	5	3.6	12	5	4.7
DK156+660	1630.557	1630.543	0.014	3-14	5	4.1	13	5	1.8
DK156+680	1630.563	1630.543	0.020	3-15	5	1.8	14	5	3.2

表2 部分质量抽样检测结果

04

数据挖掘和创新应用

- 虚拟放样
- 工程量计算
- 实景再现
- 手机端的应用



虚拟放样就是把线路、构筑物（如桥墩、桩基、涵洞等）等重要信息矢量化，在施工前以点、线、面的方式导入实景模型中叠加。

质量检查：建设者根据矢量位置和施工动态过程进行参考对比，全过程监控施工质量，检查粗差，防止因测量放样错误造成的经济损失。后期通过精度验证，点位误差可控制在6cm，作为质量检查的粗差已能满足施工需求。

施工规划：预先在实景中叠加线路和构筑物的位置，可提前**查看施工环境**，**整体布局**，**排除施工干扰**，**优化施工组织设计**。高铁的建设是多工点同步作业，如某涵洞工点、某桥梁工点、某路基工点，不同工点同时施工会产生干扰，需要考虑现场环境是否具备开工条件等，以往项目管理者需要前往实地踏勘，进行组织规划，但具有一定的局限性。

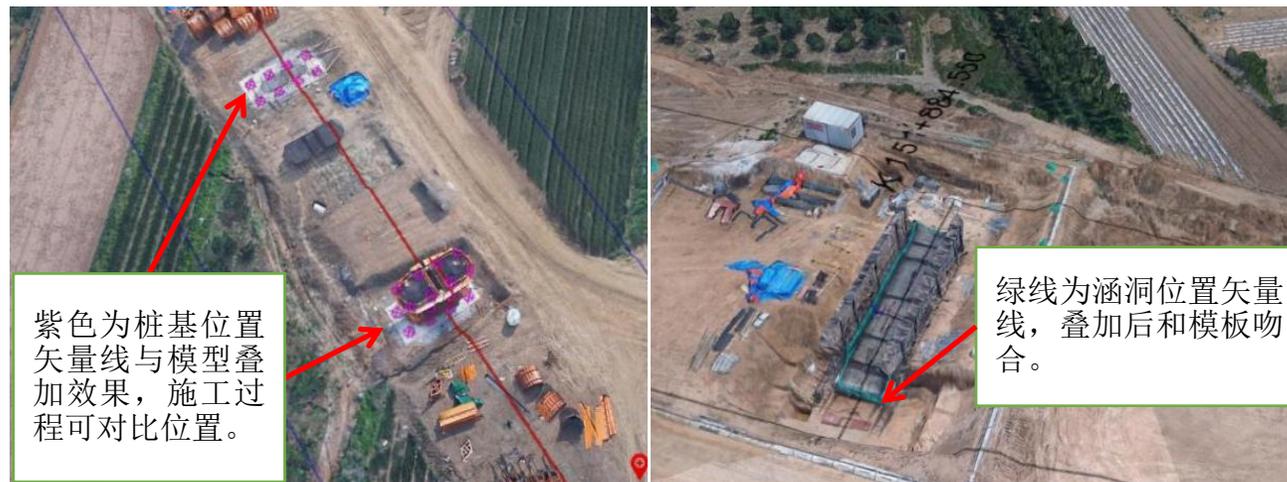
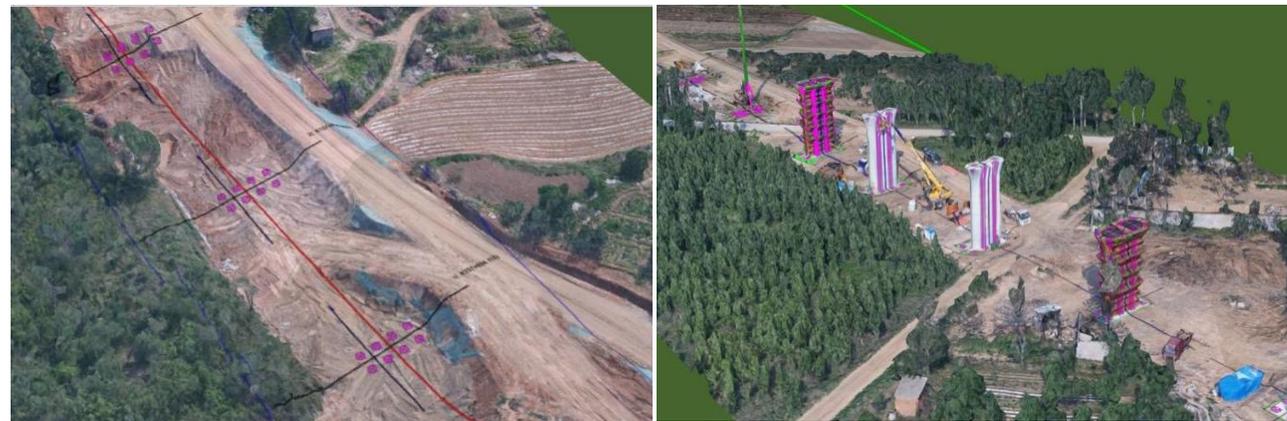


图22 虚拟放样功能-质量检查



通过以上图片，矢量文件叠加后，可以清楚的查看各个工点（桥墩和桩基的位置）相互之间的关系，工点和周围环境的关系，可规划便道，调整各工点的作业顺序，达到优化施工组织设计的目的。

图23 虚拟放样功能-施工规划

瞰景Smart3D成果可生成DEM和LAS文件，在路基施工和基坑等隐蔽工程中，可统计工程量，方法如下：

(1) **三角网法**：通过**数字高程模型DEM**，分别提取2期的DEM，DEM1期（8月23日路基施工情况）和DEM2期（9月23日路基施工情况），叠加后，通过三角网能精准计算出量差，即路基施工发生的工程量，可作为施工队月度计量的依据。

(2) **断面法**：对生成的**LAS点云**去噪、分类，最终提取地面点，将断面线导入点云模型中，提取断面线上的三维坐标，通过换算，生成断面图，计算工程量。

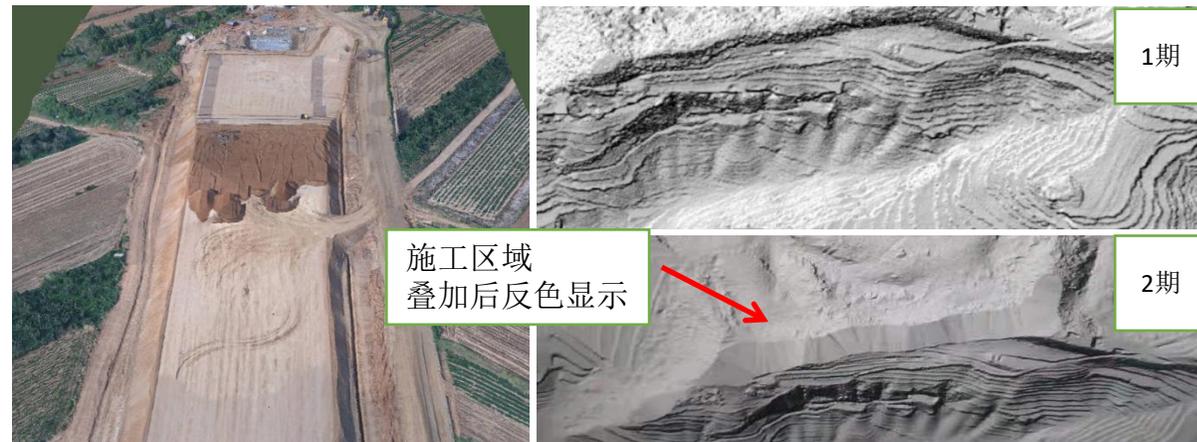


图24 工程量计算-三角网法

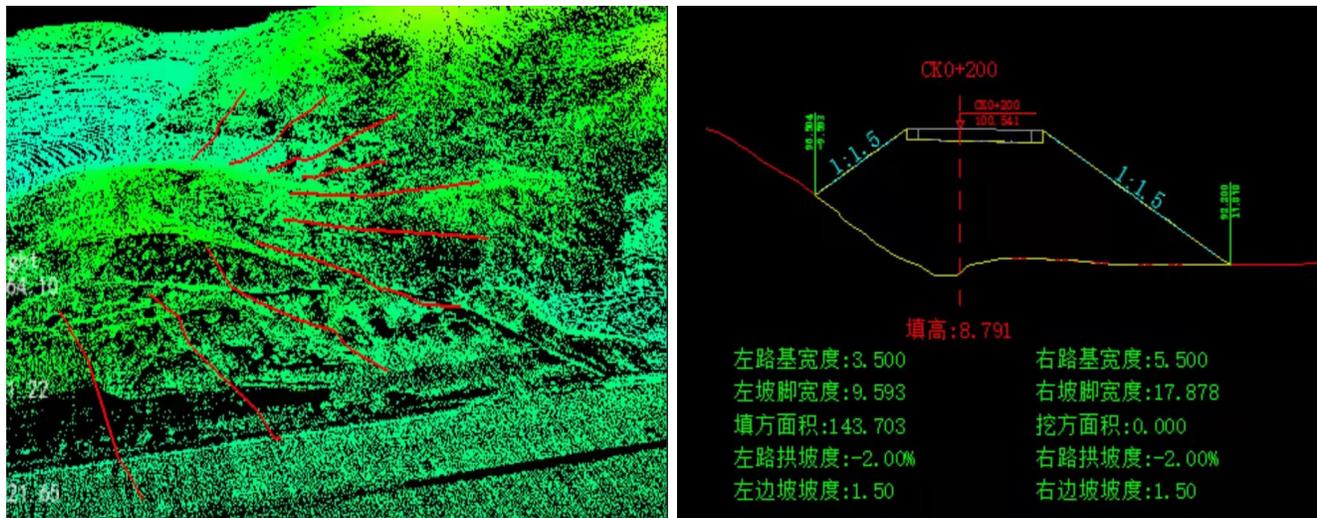
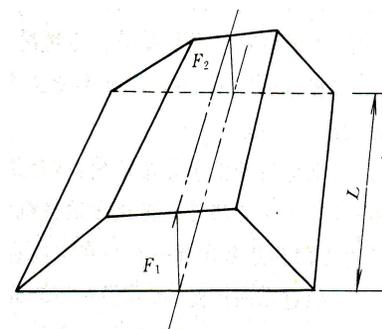


图25 工程量计算-断面法



土方量计算

(1) 平均断面法：要求相邻断面均为填方或挖方，且 F_1 和 F_2 面积相近。计算公式： $V=1/2 (F_1+F_2) L$

(2) 棱台体积法：若 F_1 和 F_2 相差甚大，则与棱台更为接近。计算公式： $V=1/3 (F_1+F_2+\sqrt{F_1F_2}) L$

隐患排查：安全员现场巡视，仅能发现规模较小、人员操作不当的安全隐患，相对重要构筑物或影响较大的地点需要精密设备检测，提前预警，但实景模型可广泛排查隐患，确定影像范围，提前制定防治措施。



图26 山体滑坡图



图27 涵洞-2021年3月27日拍摄



图28 涵洞-2021年4月20日拍摄



图29 桥墩-2021年4月23日拍摄



图30 桥墩-2021年6月15日拍摄

进度展示：平台支持分屏显示，通过多期模型数据，可直观的进行进度对比，若进度不满足当前施工要求，管理者可进行进度分析，及时修正施工方案，调整施工计划。相关领导视察，也可通过大屏幕，调出多期模型数据，汇报施工情况。



图31 手机端实现交互式工作模式

实现技术交底：建设单位，人数较多，知识结构参差不齐，管理人员想要对所有作业人员进行技术交底和规范培训，难度较大，针对这一情况，平台建立了技术交底窗口，既在构筑物或重要施工区域旁设置接口（竖立标志牌），点击会以文字或视频的形式展现工点概况、技术标准、实施方案、安全注意事项等，辅助施工人员规范作业。

手机端：将模型导入服务器，建设人员打开手机APP，登录账号，根据不同权限，查看相应内容。

实现交互式工作：将工作协调的过程公开化，便于执行和监督。如：作业班组人员王某需要测量人员李某在2#桥墩处测量，只需将工作任务上传至服务器，李某及相关人员便可看到，若规定时间内无法完成，手机端自动会将信息推送给相关领导，进行协调处理。



图32 施工技术交底窗口

总结

高速铁路的发展推动了铁路科学技术登上了一个崭新的台阶，也是科技进步的必然和时代发展的需要，近年来我国“四纵四横”高铁网基本形成，技术成就赢得了国际声誉，显然中国高铁已经成为一张见证时代发展的名片。还有另外一项技术也得到了快速发展，它就是倾斜摄影测量，自2010年由刘先林院士自主研发的倾斜相机SWDC-5诞生，到武文忠司长在2020中国地理信息产业大会上发表了新型基础测绘与实景三维中国建设的演讲，明确了实景三维中国建设将分步实施，仅仅用了10年。目前实景三维技术在高铁建设过程中的应用还在探索阶段，但现代化的工业手段，必然需要大量的空间信息数据做支撑，相信在不久的将来，通过二者的不断探索和磨合，该项技术在高铁建设中的应用将会大面积普及，尤其记录施工过程的空间信息，对后期铁路的运营和维护也将起到至关重要的作用。



谢谢大家

汇报人：岳峰

