

# 空天地一体绘天路

## ——川藏铁路数字测绘技术突围

**关键词：**川藏铁路、空天地一体化、InSAR、激光雷达、北斗/GNSS、数字孪生

川藏铁路作为国家战略性交通干线，其规划与建设面临全球罕见的工程挑战。线路穿越横断山脉主体构造带，区域内地形高差达数千米，活跃断裂带纵横交错，高位滑坡、冰崩岩崩等地质灾害频发，构成了极其复杂的工程地质环境。这种极端条件下的工程建设，对测绘保障工作提出了前所未有的技术要求，传统测量手段已难以满足工程全生命周期安全管控的需求。正是在这一背景下，以“空天地一体化”监测理念为核心的新型测绘技术体系应运而生，标志着工程测量从静态、离散的观测模式向动态、连续、系统化的感知范式转变。

该技术体系的构建体现了多源传感技术的系统集成与协同创新。在空间维度上，合成孔径雷达干涉测量技术通过卫星平台与地基观测站的组合运用，实现了线路廊道数百千米范围内地表形变场的广域、毫米级感知，为区域地壳稳定性和活动断裂带长期运动规律研究提供了前所未有的数据支持。在航空观测层面，搭载于有人机或无人机平台的高分辨率光学相机、多谱段扫描仪及激光雷达系统，通过对险峻地形的快速巡检，实现了对高危滑坡体、不稳定斜坡及危岩分布区的精细识别与三维建模。这些中低空遥感数据不仅弥补了卫星观测在空间分辨率与时效性上的局限，更通过与地面自动化监测网络——包括全球导航卫星系统连续运行参考站、测量机器人、裂缝计等传感设备——的数据融合，形成了从千米级到厘米级的多尺度监测能力。这种立体化、层次化的技术架构，确保了从宏观的地质构造活动把握，到微观的特定工点变形预警，均能获得相应的数据支撑。

当前，该技术体系的研究与应用正围绕若干关键地质问题深入开展。在活动断裂带监测方面，通过融合 InSAR 时序分析成果与精密水准测量数据，致力于反演主要断裂带的深部闭锁程度与同震-震间形变场特征，为铁路重大工程场地的地震危险性评价提供定量依据。对于沿线广泛分布的山地灾害，技术重点集中于发展基于多时相遥感影像与激光雷达点云数据的滑坡智能识别算法，并建立基于北斗/GNSS 与 InSAR 的滑坡位移场实时监测网络，以实现灾害的早期识别与预警。同时，线路穿越的高海拔多年冻土与现代冰川区，其热融滑塌与冰碛物稳定性问题亦通过热红外遥感、地基雷达与原位监测相结合的方式，进行动态评估与预测。这些技术实践不仅解决了川藏铁路面临的特殊工程难题，更推动了测绘学科在数据处理算法、多源信息融合与灾害机理分析等前沿领域的理论创新。

川藏铁路测绘监测体系的建设实践，生动诠释了重大工程建设与科学技术进步之间的辩证关系。一方面，极端复杂的工程环境对现有技术能力构成了严峻挑战，形成了强烈的创新需求牵引；另一方面，正是这种国家战略层面的重大需求，为跨学科、多技术的系统集成与原始创新提供了宝贵的实践场域与驱动力量。从星载合成孔径雷达的广域观测到无人机机载传感器的精准巡检，从海量点云数据的智能处理到地质体多场耦合模型的构建，这一系列技术突破的取得，充分展现了我国测绘科技从跟跑、并跑到在部分领域实现领跑的发展历程。这一历程不仅极大地增强了我们在复杂环境下实施重大工程的能力与信心，更深刻地印证了“科技是第一生产力”的战略论断，为我们在全球科技竞争日益激烈的背景下，坚定不移地走自主创新道路、攀登世界测绘科技高峰提供了强大的实践支撑与精神动力。

**思政点：**家国情怀；工匠精神；系统思维