

助雪域高原再铺新“天路”

——地质调查工作支撑服务川藏铁路规划建设纪略

本报记者 于德福 高慧丽 特约记者 杨健



川藏铁路，是继青藏铁路之后的第二条进藏“天路”，东起四川成都，西至西藏拉萨，全长1543千米。其建成开通后，从成都到拉萨的火车运行时间将由现在的36小时缩短至13小时。这条“天路”中，成都—雅安段已通车，拉萨—林芝段于2014年开工建设。目前正在规划建设雅安—林芝段，长约1006.8千米，是川藏铁路建设难度最大的一段。

为保障这条连接西藏与内地交通大动脉的地质安全，自然资源部中国地质调查局2019年围绕铁路规划建设面临的构造断裂及其灾害效应、地质灾害与高边坡稳定性、高地应力与深埋隧道围岩稳定、隧道高温热害、高压涌水突泥等5大地质难题，组织精干力量，在川藏铁路规划区部署开展了相关地质调查研究工作。项目实施仅一年多时间，取得的多项调查研究成果已应用于铁路的规划设计中，发挥了重要精准支撑服务作用。

一 川藏铁路建设面临的工程地质难题前所未有

川藏铁路东起成都，西经雅安、康定、昌都、林芝、山南等地，最终到达拉萨。都说“蜀道难，难于上青天”。在藏蜀之间，铁路从海拔不足500米的成都平原跃升至海拔4000米以上的青藏高原，跨越大渡河、金沙江、澜沧江、怒江、雅鲁藏布江等7条大江大河，穿越二郎山、折多山、高尔寺山、念青唐古拉山等8座高山雪峰，累计爬升高度约1.4万米，被业界形象地称为“巨型过山车”。

受制于高陡深切切割地形，铁路建设只能更多地采用高桥和深埋长隧，全线桥隧比达81%，新建雅安—林芝段桥隧比达96%，隧道最大埋深达2000米以上。青藏高原复杂特殊的地质环境导致了其工程地质问题的地域性、复杂性和特殊性，突出表现为高陡地形、高地震烈度、高寒高海拔、高地应力。在内外动力耦合作用下，活动断裂及其错断危害、地质灾害与高陡边坡稳定、高地应力与深埋隧道围岩岩爆、高压涌水突泥与高温热害等，成为铁路建设的拦路虎。川藏铁路建设面临的工程地质问题和困难前所未有。

2018年10月10日，中央财经委员会第三次会议决定，全面启动川藏铁路规划建设，并要求“科学规划、技术支撑、保护生态、安全可靠”高起点高标准高质量推进铁路工程规划建设。

破难题、保标准，兼顾生态环境保护，只有查清地质体特征，才能让规划的铁路线趋利避害。根据中央统一安排，自然资源部要加强项目前期工作，为川藏铁路科学规划、保护生态、安全可靠等提供专业技术支撑工作。这一重任，责无旁贷地落在中国地质调查局的肩上。

为国家重大工程规划建设提供支撑服务，中国地质调查局有着近60年的工作积累，在西南大三线建设、大亚湾核电站、三峡工程、西气东输、南水北调和青藏铁路等重大工程规划建设中均发挥了地质调查的支撑作用。从2000年开始，中国地质调查局组织地质力学研究所等有关单位，围绕规划建设的青藏铁路、川藏铁路和滇藏铁路等铁路工程开展了系列地质调查工作，取得了系列基础地质调查图件和资料，为铁路规划设计和安全运营提供了技术支撑，同时也积累下宝贵经验。

接到新任务后，中国地质调查局

积极对接川藏铁路规划建设需求，聚焦制约川藏铁路规划建设的关键地质问题，精心组织部署地质调查工作。在中国地质调查局总工程师室、水文地质环境地质部、基础调查部等部门指导下，中国地质调查局地质力学研究所牵头，与中国地质调查局成都地质调查中心、航空物探遥感中心、地质环境监测院、水文地质环境地质调查中心、水文地质环境地质研究所、探矿工艺研究所等单位通力协作，组织基础地质、活动构造、水文地质、工程地质和地质灾害等领域的精干技术力量组成协同攻关组，共克川藏铁路规划建设地质难题。

为保证地质调查的科学性，提升地质成果的可用性，中国地质调查局还专门成立了支撑服务川藏铁路建设协调推进小组，由主管局领导任组长，先后与中国国家铁路集团有限公司(原中国铁路总公司)、川藏铁路公司、中铁二院、中铁一院、中铁大桥等单位对接，精准把握川藏铁路规划建设地质需求。2019年4月，中国国家铁路集团有限公司与中国地质调查局签署了《川藏铁路地质调查战略合作框架协议》，重点围绕铁路规划建设需求，共同开展关键地质问题技术攻关，协同创新铁路工程地质理论、技术和方法体系，为高起点高标准高质量推进川藏铁路规划建设提供支撑。

对内加强组织领导、统一部署，对外密切联系规划设计单位，构建起项目推进与成果应用高效化的新格局。2019年，项目组聚焦川藏铁路泸定—雅江、巴塘—贡觉、波密—鲁朗等3个重点地段，完成1:5万区域地质调查5幅、1:5万地质灾害调查5000平方千米，新建36处GPS高精度测站、6口大地热流地质参数井、8个地温监测站、4处地质灾害监测示范站，编制完成川藏铁路雅安—林芝段1:25万地质图、活动断裂分布图和水文地质图，向铁路规划设计部门提交11份地质调查专报。

值得一提的是，项目组针对大桥、隧道和路基段发现的地质安全隐患提出的13段线路优化或防灾减灾建议，目前已经应用于铁路规划设计中。



野外调查取样。

二 系列调查成果精准支撑铁路科学规划设计

秉承地质调查过程就是科学研究过程的理念，项目调查时间虽只有一年多，但已在资源、环境、基础地质、工程地质、活动构造、工程隐患等多个方面取得了一系列新成果，不仅为川藏铁路的科学规划设计提供了地质基础资料，而且为青藏高原隆升、板块碰撞与全球气候演化等前沿科学问题研究，提供了新的证据和思路。

在铁路沿线基础地质调查研究方面，以构造为纲，兼顾岩石地层单元的技术思路，编制完成了《川藏铁路交通廊带1:25万地质图》和说明书，确定了雅鲁藏布江、嘉黎—察隅、班公湖—怒江、北澜沧江、金沙江、甘孜—理塘、炉霍—道孚等7条规模巨大的构造(蛇绿)混杂岩带。这也是川藏铁路沿线地质构造最复杂的区带，其新构造活动强烈、岩石劈理密集、地震活动频繁、温泉地热广布、地质灾害频发，对区域工程稳定性和隧道施工影响较大，是影响铁路工程高质量规划建设的关键区带。此外，还重点查明了川藏铁路昌都—巴塘段不良地质体的空间展布特征，为川藏铁路规划勘测、施工提供了重要依据；在西藏昌都新发现了海拔最高的恐龙等动植物化石和榴辉岩，为探索三叠纪古地理、古气候和古特提斯洋俯冲碰撞过程提供了新资料。

在川藏铁路沿线重要活动断裂调查研究方面，系统梳理了川西—藏东交通廊道主要活动断裂发育分布特征，编制了《川藏铁路雅安—林芝段活动断裂分布图(1:25万)》。为进一步定量研究川藏铁路沿线区域现今地壳变形、活动断裂的运动速率和应变参数，沿川藏铁路新建36个GPS高精度测站，完成了48个新、老测站的观测，积累了183时段的观测数据。重点对川藏铁路成都—林芝段两侧，以及嘉黎断裂带等十几条断裂带的GPS监测站进行了加密增设，初步建成了川藏铁路沿线GPS动态监测网和本底数据。

在川藏铁路沿线重要区段地应力调查研究方面，结合

中铁二院、中铁一院勘察钻孔和设计需要，开展了折多山隧道、郭达山隧道、高尔寺山隧道、色季拉山隧道等关键区段地应力测量，获得了地壳浅表层地应力分布状态。基于川藏铁路沿线地应力实测结果，揭示了铁路沿线构造应力场分布特征。项目组指出，由于拟建铁路隧道多为深埋长大隧道，规划建设需综合考虑区域最大主应力方向、隧道轴向、断面几何形状、工程地质条件、岩石力学条件、掘进方式、支护方式等多个因素。

在铁路沿线重点区段地质灾害调查研究方面，项目组在川藏铁路天全—康定段、巴塘比选段、贡觉—察雅段和波密—通麦段等地质灾害高发区开展了1:5万地质灾害调查，综合编制完成《川藏铁路雅安—林芝段1:25万地质灾害分布图》；开展了川西藏东地区冰崩灾害遥感调查，查明冰崩灾害(链)对铁路工程的危害影响；对川藏铁路沿线高边坡、高位崩塌、高位远程滑坡、深层蠕滑型滑坡等典型地质灾害进行了调查研究；完成川藏铁路巴塘比选区和雅安—林芝段地震危险性评价；建设了康定三道桥泥石流、江达白格滑坡、巴塘自热村滑坡和贡觉雄巴村滑坡4处地质灾害监测示范站。

在川藏铁路沿线水文地质与地热地质调查研究方面，初步查明了区域及重点地段水文地质条件、地下水、高温热源分布特征，以及川西地区地温梯度、初步圈定川藏铁路沿线中—高温地热异常区；开展了重点隧道高压涌水突泥风险评价，以及铁路沿线高温热害评价；新发现格聂山两条岩溶主径流带，并从水文地质和地热地质角度提出了铁路选线和防灾减灾建议。项目组还在川西地区建立地温监测站8个，并安装了分布式地温自动监测系统。

在项目实施过程中，项目组摸索出一套先进的调查研究方法和技术手段，并应用于铁路部门委托的活动断裂带地质灾害效应、地应力测量、区域构造应力场分析、基础地质调查等10余项专题勘测研究工作，形成的一系列科技创新成果为破解相关地质难题提供了有力支撑。



搭桥过河。

三 九份专题报告为铁路规划建设提供重要参考

随着调查工作的开展，项目组根据调查研究成果及时为铁路部门提供专题报告或建议，以期川藏铁路规划建设提供精准支撑服务。

项目组根据方案预审阶段部分桥、隧、站等关键工程因区域地质调查程度低而导致地质选线困难的实际需要，第一时间加强了野外地质调查工作，编制完成4份专题报告，于2019年4月移交国铁集团和有关单位。依据进一步的地质调查成果，项目组完成的另外5处地质安全隐患点专题报告，目前也已提交铁路相关规划建设部门，供铁路规划选线参考。

一年多时间内，项目就取得了丰硕成果并在铁路规划设计中得到应用，关键在于将创新是第一生产力这一理念贯穿于项目实施的全过程。

通过管理创新，中国地质调查局党组明确了“新时代要有新气象，更要有新作为，全力支持能源资源安全和生态文明建设”的地质工作新思路。在这一思路的指引下，项目组一成立就与铁路规划设计单位建立了紧密合作关系，通过走访、现场调研、组织研讨等多种形式，详细了解铁路规划设计的实际需求、面临的实际地质难题等，在系统梳理后再进行项目的总体设计。实施中，则根据铁路规划设计进展和新需求，适时调整相关二级项目的工作区和重点工作内容。

通过科技创新，

项目组首次将1:5000大比例尺航空物探技术引入高寒复杂山地铁路工程勘察中，应用人机交互式联合反演技术开展航空磁力综合解释，形成三维解释成果；创新形成千米级超长水平钻孔定向取芯钻进技术，可实现沿隧道掘进方向全程勘察取样；突破500米水平孔地应力测量技术；基于“空—天—地”一体化的高位地质灾害和古滑坡识别技术，成功识别了折多塘古滑坡等隐蔽型地质灾害；建立了高位冰崩启动条件下的冰川泥石流早期识别模型和基于面积、坡度、高差等要素的冰川储量估算模型；实现了全国地质灾害数据库与四川、西藏地质灾害数据库的互联互通与动态更新，发展了基于窄带物联网和微机电技术的地质灾害监测技术。目前，项目组获批承担了国家自然科学基金项目《川藏铁路重大基础科学问题专项》中的两个课题任务。

2020年，中国地质调查局将对“支撑服务川藏铁路规划建设地质调查”系列项目进行提升，整合为“川藏铁路交通廊道地质调查工程”，继续聚焦川藏铁路规划建设急需攻关的重点地质难题和防灾减灾需求，以地球系统科学理论为指导，采用多学科联合攻关，开展铁路沿线区域地质、工程地质、地质灾害、水文地质、地热地质与科技创新有机融合，建设川藏铁路实物地质资料库，全力提升铁路沿线地质调查程度与精度、提升铁路沿线地质灾害风险早期识别和监测预警能力，力争与国铁集团部署的铁路工程勘察实现精准对接，打造地质调查支撑服务国家重大工程建设的典范。



边坡三维激光扫描。