

走进大瑞铁路高黎贡山隧道地下 765 米处作业面

高黎贡山“世界最难掘进隧道”

攻坚10年 工程进度过半



位于高黎贡山腹地的1号斜井入口



1号竖井内大型卡车来回穿梭 本版图片 网络截图

大瑞铁路全长 330 公里,是共建“一带一路”倡议重点工程。高黎贡山隧道,大瑞铁路控制性工程,是中国首条穿越横断山脉的铁路隧道。隧道全长 34.53 公里,最大埋深 1155 米,地质情况极为复杂,几乎涵盖了隧道施工中所有不良地质状况和重大风险。

“为了高黎贡山隧道早日贯通,我们每天在地下 765 米处加紧施工,常年 24 小时不间断作业。”云桂铁路云南有限责任公司大瑞指挥部副指挥长桂林岗介绍,截至目前,正洞已经施工 19.58 公里,占比 56.6%,剩余 14.95 公里;平导已施工 20.2 公里,占比 58.3%,剩余 14.33 公里。

挑战不可能

3 月 27 日,记者来到大瑞铁路高黎贡山隧道 1 号竖井地面时,施工车辆有序往来,机声隆隆。1 号竖井是我国铁路最深竖井,主井深 763 米、副井深 765 米。

在技术员何贵安带领下,记者罐笼深入地下 765 米的施工作业面。这个单程乘罐笼只需 4 分钟的副井,修建却耗时 51 个月。

罐笼还未降至井底,一股热浪扑面而来,让人顿感不适。“现在好多了,在大型风机的作用下,作业面的温度可以控制在 34℃左右,我们三季度计划安装大型制冷设备,到时可以控制在 28℃左右,作业环境就更好了。”何贵安介绍,在井底的掌子面,温度最高曾达到 42℃,工人施工中需要冰块降温。

到达井底,挖掘机、工程车等大型设备开足马力来回穿梭,作业面上,工人们坚守岗位。“这是为加快建设进度而专门修建的‘井底车场’,这样 4 个作业面就可以同时施工。”何贵安指着一个特别的停车场介绍。

大瑞铁路高黎贡山隧道是被国内外专家学者定义为施工难度“世所未有、世所未见”的铁路项目,需要穿越 17 种地层、19 条断裂带,面临世界级的“三高”(高地热、高地应力、高地震烈度)、“四活跃”(活跃的新构造运动、活跃的地热水环境、活跃的外动力地质条件和活跃的岸坡浅表改造过程)的地质特征,堪称世界上地质最复杂的隧道。

2015 年 12 月,李航跟随中铁隧道局集团首批建设者进场,作为大瑞铁路高黎贡山隧道建设的“开路先锋”,他和广大建设者一样,在横断山脉腹地扎营,开启了这条“世界最难掘进隧道”的建设征程。

面对复杂活跃的地质构造,建设者们历经 10 年坚守,成功攻克隧道建设中的一项项世界级施工难题。李航也从一名普通建设者,成长为中铁隧道局大瑞铁路项目部 1 号竖井工区的党支部书记。

创新求突破

“我们邀请院士专家现场‘把脉’,组织高级别专家会上百次,根据现场施工实践,不断优化治水工艺、调整堵水材料,逐步攻克深竖井花岗岩高倾角裂隙治水的技术难题。”李航说,最终,采用分段注浆加固地层方式,注浆材料依次从普通水泥逐渐调整为成本更高、效果更好的超细水泥、改性脲醛树脂浆液。

11 时许,1 号竖井工区生产副经理王长波从井底作业面返回生活区,准备吃午饭。1994 年就开始从事铁路建设的他,2024 年 9 月来到这个工区。“早上 6 点多就下井了,施工难度太大,要一寸一寸地扣,每天只能掘进

2 至 3 米。”王长波说,受施工条件限制,他不仅要有组织工人循环作业,还要跟其他作业面进行工序衔接。

位于高山峡谷之中的高黎贡山隧道 1 号斜井是国内最长斜井,也是高黎贡山隧道的重要辅助通道,位于线路右侧,按主副井设置,主斜井长 3850 米、副斜井长 3870 米。

“斜井开挖至 600 米处,开始进入顺层、偏压、高地应力段落,建设者们遭遇了施工以来最艰险、最难克服的隧道大变形。”高黎贡山隧道斜井工区工会主席邓勇俊清楚地记得,高地应力将支护钢架扭曲为“S”形、“Z”形,将已经成形的隧道挤压变小,将初期支护挤压开裂、掉块,使得壁岩侵入隧道 1 米多,导致隧道作业空间狭窄变形。

面对这一困境,技术人员通过调整隧道结构曲率、加强钢架型号、调整加密钢架间距,径向注浆,采取仰拱初支与拱墙钢架一次成环等措施,有效控制了围岩变形,终于恢复了掘进。

决胜高黎贡

为了加快高黎贡山隧道掘进进度,经相关专家现场技术论证,将隧道分为进口、1 号斜井、1 号竖井、2 号竖井、出口 5 个工区同时施工。面对重重困难,建设者们意识到,要想攻克这些世界级难题,必须依靠科技创新。

2018 年 2 月,我国自主研发的国内最大直径硬岩掘进机(TBM)“彩云号”在高黎贡山隧道投入使用,其刀盘开挖直径达到 9.03 米,填补了国内自主研发 9 米以上大直径硬岩掘进机空白,是为适应复杂的地质环境量身研制的新型装备。

在高黎贡山隧道出口,施工

单位在正洞及平行导洞两项工程,分别采用“彩云号”和“彩云 1 号”两台 TBM 组织施工。自开工以来,“彩云 1 号”克服了多种复杂地质,创造了平均月进尺 119 米,最高日进尺 38 米、月进尺 620 米的优异成绩。

“由于蚀变带及其他极端不良地质影响,自开始掘进以来,‘彩云号’和‘彩云 1 号’先后经历了 42 次卡机事件,同时现场多次出现较大突泥涌水险情,严重影响现场施工进度。”中铁隧道局大瑞铁路项目部出口工区土木总工曹耀祖回忆。

为解决卡机和涌水问题,经过院士和工程参建四方专家团队多次研判,项目最终采用了“人工钻爆双侧迂回导坑法施工+TBM 步进”综合施工方案,以绕线施工的方式,逐步实现正线、平导隧道泄水降压和不良地质清除等目标。但在实际施工中,绕洞掘进多次受到不良地质阻挡,加之突泥涌水险情频发,项目只得在原有绕洞的基础上再增加 3 条绕洞,至今已形成“五绕七洞”的施工格局。

今年 3 月 18 日,在卡机 2 年 7 个月,“彩云 1 号”TBM 恢复掘进,标志着项目大规模高压富水蚀变带地层施工取得新突破。自此,项目正洞及平导 TBM 均已恢复掘进,项目双线推进施工,建设进一步提速。

打好攻坚战

大瑞铁路高黎贡山隧道是一项庞大的系统工程,需要多个施工单位、多个专业工种的密切配合。在逾 10 年的建设过程中,云桂铁路云南公司联合中铁隧道局构建了一个以专业技术骨干为主、各参建单位协同合作的紧密团队,携手攻克了一个又一个难关。

如今,高黎贡山隧道共组建攻坚克难尖刀连、忠诚担当尖刀连、勇往直前尖刀连、敢打硬拼尖刀连、彩云先锋尖刀连等 5 支尖刀连队伍。他们以坚定的信念、满腔热情投入到工程建设之中,坚持不懈为高黎贡山隧道建设贡献智慧与力量。

2 号竖井项目是高黎贡山隧道的重要组成部分,竖井垂直深度达 640 米,每日需面对高达 1 万余立方米的涌水量。为有效应对这一挑战,项目配备了 10 台功率高达 1250 千瓦的大功率、高扬程、大流量隧道专用合金泵进行排水作业。

“抽水施工过程中,隧道内高压富水花岗岩体地质会产生大量砂化淤泥,对合金泵造成严重磨损,导致抽水机故障频发,极大地阻碍了工程的正常推进。”2 号竖井工区经理周坤鹏介绍,面对技术难题,项目团队对国内外先进设备和技术经验进行调研论证,引入一套泥沙净化设备,使其对砂化淤泥进行有效分离处理。

由技术骨干组成的勇往直前尖刀连攻克小组,充分结合现场实际,在短时间内完成设备安装、调试。设备启用后,以每小时 300 立方米污水处理能力,有效解决砂化淤泥抽水难题。

砂化淤泥抽水难题的成功破解,不仅节约了成本,更为项目的高效推进提供了有力保障,充分彰显了“尖刀连”在复杂地质隧道施工中强大的攻坚能力和技术创新能力。

记者采访结束时,1600 余名隧道建设者仍然奋战和坚守在施工一线。回首高山峡谷中的隧道口,“地热高干劲更高,应力大决心更大”的标语格外醒目。

据保山发布