



山河为卷 匠心作答

——中铝国际工程人的时代丰碑



传承“昆勘精神” 鏖战“十八雄关”

由昆勘院承建的金鼎锌业练登大沟排土场泥石流专项治理 EPC 工程，不仅是一项改山换貌、效益超亿元的工程，更是新时代地质人“以山河为卷，以匠心作答”的精神丰碑。

黄泓彬 | 文

怒江上游，高黎贡山与碧罗雪山夹峙。过怒江大桥再行 15 公里，便是云南省怒江州兰坪县练登村。再向南，一道藏于原始森林的矿山生命线——十八堤坝，如席地在天堑间的 18 位镇关将军，当时间的碑文随幽谷的风模糊成传奇，这片大地的安宁仿佛在他们的“巨剑”下已长安千年……

从“涉山涧”到“破山门”

来到由中国有色金属工业昆明勘察设计院有限公司（以下简称“昆勘院”）承建的金鼎锌业练登大沟排土场泥石流专项治理 EPC 工程进山口，项目部负责人邹鲁德早就在山下等候，在那晴空一角的“中铝蓝”下，他黝黑的皮肤和身后的山林早已浑然一体。

山路崎岖，5 月的窗外挂满雨线，车轮在泥泞中留下长长的辙痕。邹鲁德指着眼前这条山路说：“一年半以前，接到任务后我们第一时间就来此地勘探。那时，还没有进山的路，勘探条件远比我们最坏的设想还要艰难。当时我们就想，要在这里建工程不亚于改山换貌。”

从窗外望去，怒江州的山危峰兀立、层峦叠嶂，如壁立千仞、危峰刺穹，偶尔有碎石滚落。这里的每座山都像一



昆勘院金鼎锌业练登大沟排土场泥石流专项治理 EPC 项目 H65 滑坡建设现场

头正在呼吸的巨兽，山脊是它绷紧的肌肉，沟壑是它呼吸时起伏的肋骨，扑面而来的压迫感仿佛在嘲笑人类的渺小。

据了解，该项泥石流专项治理工程作为兰坪铅锌矿 300 万吨/年露天采矿技改扩建工程的重要子项目，若不能顺利攻破这道“山门”，改址选地每年将会给矿区发展增加数亿元的成本负担，下游村庄也将长期暴露在泥石流的威胁之下。

责任一旦确定，便如熔铁铸入脊骨，纵使山壑崩裂，昆勘人唯有“战”

字当头，用行动诠释“以客户本质需求为中心”的坚定担当。昆勘院党委书记、董事长邹国富号召大家：“这道‘山门’不仅决定着矿区的去留，更影响着下游村户的生命安全，昆勘院必须在短时间内攻破这道‘山门’，不遗余力拿下这‘山头’！”

经昆勘院大师团队全程跟踪指导，昆勘院地质与环境工程院派驻项目部通过多轮地质勘查、水文模拟、风险评估和安全实验，在多轮方案修改和技术论证后，昆勘院科学制定了“建设 3



昆勘院金鼎锌业练登大沟排土场泥石流专项治理 EPC 项目多级潜坎建设现场

座控制性骨干坝+8座拦挡坝+6座格栅坝+1座格宾石笼坝”的拦挡方案，同时进行潜坎群、防护堤、截排水沟等辅助施工和滑坡治理工程。最终，这一方案顺利通过云南省厅专家组评审，一致获得业主方和省内外专家的高度肯定，这场为区域安全、矿区发展的“破山门之战”正式在昆勘院吹响号角。

从“铁骨魂”到“迎山战”

一年半的驻山期，昆勘人在泥泞中勾勒出守护的蓝图。邹鲁德和笔者说：“来到这里，就等于把生命交给了大山，只有把这里的一石一木当成相识多年的老友，观其色、探其息、摸其脉，你才能真正与大山对话。”

当问及印象最深的难关时，邹鲁德把笔者带进集装箱改成的驻地办公室。四面墙被密密层层的图纸遮得严严实实，他抽出十八坝坝位置图，指着1号、10号、13号、14号堤坝逐一解释：“1号拦挡坝作为整个防洪体系的控制性骨干坝和最后一道保险，下游便是练登大沟排土场，其战略地位决定了其必须具备更强的拦蓄能力与稳定性。10号格栅坝和13号、14号拦挡坝的难度在

于沟谷两侧坡体近乎垂直，导致坝肩嵌入的施工空间严重受限。”

坐在对面的项目部技术负责人全伟拿出手机打开一张照片，画面里是他们冬日上山的场景。“去年冬天，山里积雪超过20公分，车子根本开不进去，大伙儿就靠肩挑手提，把一根根钢筋、一袋袋水泥一点点往山上挪。山里的气温很低，但每个人的后背都被汗水浸透。”

哪怕条件再难，昆勘人也必须主动破局。受限於特定区域的地形和排土场布局，项目部结合无人机航测，在近乎垂直的滑坡上，制定出空间利用效率最高的工程布置方案，通过精准钻孔将高强度锚杆深入岩层，配合全长粘结式注浆工艺，将坝间与坝体、锚杆与岩体面形成紧密咬合结构。而针对骨干坝混凝土体量大、施工工期短的问题，项目部采用分层分段浇筑的施工方法，合理规划浇筑单元，制定详细的浇筑计划，确保混凝土浇筑的连续性和均匀性。为确保冬季混凝土可正常浇筑，项目部实施组合式智能温控系统，在水泥堆放区铺设暖棚防止水泥冻结，并在混凝土浇筑过程中预埋高精度温度传感器，实

时监测混凝土内部和表面温度的变化，根据温度监测数据及时调整温控措施，以“控温+防裂”双重保险，将混凝土的内外温差有效控制在合理范围内。

从“破山河”到“筑雄关”

昆勘院练登大沟排土场泥石流专项治理工程以“固床护坡、拦大放小、水固分离、动态清淤、分段拦截”为思路，上游修建截排水沟、潜坎群、固床坝，以“银针定穴”深入山体加固物源，从源头掐断泥石流。而中下游接演“分而治之”的兵家智慧，以拦挡坝与格栅坝相结合，让泥石流在奔波中耗尽“元气”，固体碎屑物在此完成“缴械分离”。最后，控制性骨干坝如坐镇中军的“将军”，以万吨级混凝土躯体筑起最后壁垒。智慧布局让自然力量“归降有序”，为矿区守住安全的“楚河汉界”。

胜利从来不是一个人的全力以赴，而是所有人的力所能及。当最后一方混凝土在控制性骨干坝浇筑完成，机械轰鸣声戛然而止，取而代之的是怒江奔腾的回响和练登村袅袅升起的炊烟。这场与自然博弈的攻坚战里，虽没有硝烟，但处处是战场。那些沾满泥泞的安全帽上，凝结着无数个通宵达旦的星光；那些图纸上反复修改的线条里，藏着对技术、质量、安全的极致追求。昆勘院交出的不仅是一份超亿元效益的工程答卷，更是新时代地质人“以山河为卷，以匠心作答”的精神丰碑。那些在技术攻坚中诞生的“从0到1”，照亮了昆勘院岩土工程、矿山工程、环境工程3个“一体化”发展的新征程。

当“昆勘精神”随着怒江的浩荡传向远方时，我们知道，在守护山河安宁、推动绿色发展的道路上，这支铁军永远在路上，永远向着下一座“雄关”，无畏前行。■

（作者单位：中国有色金属工业昆明勘察设计研究院有限公司）

红土高原上的矿山答卷人

从尾矿库生态修复到矿山工程设计革新，从攻克技术难题到人才梯队建设，一代代昆明有色院人用智慧与坚守，在红土高原上书写着中国有色金属工业的绿色篇章。

陈馨 | 文

在云南省昆明市东川区的崇山步道上，几位游客惊叹于眼前的生态画卷，谁又能想到这里曾是令当地人头疼的废弃尾矿库。此处由昆明有色冶金设计研究院股份公司（以下简称“昆明有色院”）修复的生态景点，只是七十多年来该院深耕矿山事业的一个缩影。从尾矿库生态修复到矿山工程设计革新，从技术难题攻克到人才梯队建设，一代代昆明有色院人用智慧与坚守，在红土高原上书写着有色金属工业的绿色篇章。

尾矿之上的生态革命

清晨的阳光穿透薄雾，洒在东川矿区的山坡上。蓝蓉蹲下仔细查看土壤层下的植被根系：“这里的每一寸土壤都要经过严格检测，确保各类矿物含量符合标准。”作为昆明有色院尾矿与生态修复专业的领军人物，她的足迹已遍布云南、贵州、四川、西藏等地区的矿山。

1990年参加工作时，蓝蓉面对的是尾矿处理这一世界性难题。在西南山区，细黏粒高堆坝尾矿库的抗震及溃坝问题尤为突出。蓝蓉带领团队扎根实验室和矿山现场，系统研发相关技术，建立新的稳定性及溃坝后影响范围评价体系，最终开发出有效的尾矿坝隐患综合防治技术，破解了这一重大技术难题。

在云南某冶炼厂危险废渣库项目中，蓝蓉面临着“三无”困境：无工程实例、无经验借鉴、无成熟技术。身为总设计师的她，带领团队逐份分析废渣样本，光是废渣种类与性质的检测报告就堆满了半间办公室。施工期间遇到了技术“瓶颈”，她连续三天三夜守在现场，最终提出创新处理方案。如今，这座废渣库已成为云南省同类项目的样板工程。

为解决细粒尾矿堵塞初期坝反滤层的传统难题，蓝蓉经过上百次试验，探索出“在反滤层中预埋纵横向排渗管”技术，不仅使排渗率提高到80%以上，还比传统方式节约投资30%左右。

从国内矿山到加拿大、巴西、乌干

达等国家的尾矿处理现场，蓝蓉设计的近百项工业固体废物处置设施，始终保持着“生产流程畅通、技术指标先进”的记录。在云南东川矿区废弃尾矿库修复项目中，她创新性地将生态修复与乡村旅游结合，打造出集生态、休闲、美食、观光于一体的七色花海景点，被“学习强国”平台和香港新闻媒体报道，成为践行习近平生态文明思想的生动案例。

地下深处的通风革命

在云南锡业个旧东区的地下矿井里，通风机正平稳运转，新鲜空气沿着巷道缓缓流动。矿工李师傅摘下安全帽，感受着凉爽的气流。这一变化，源于昆明有色院研发的通风网络解算



昆明有色院的精品工程——大红山铜矿、铁矿

软件系统。

拥有140年采矿历史的云锡个旧东区，已形成“范围广、高差大、线路长”的复杂地下开采系统。受矿床赋存条件制约，其通风系统之复杂在国内首屈一指——井下作业温度最高达40多摄氏度，粉尘浓度超标，“矿工们每次上来都像从水里出来一样”，昆明有色院井下通风技术研发团队的工程师回忆道。

通风是地下矿山的“生命线”，直接关系到安全生产与作业环境优劣。昆明有色院组织团队攻关，从智能通风系统建设到深井开采通风与降温，一步步突破技术壁垒。自主研发的通风网络解算软件系统，就像给矿山装上“智慧大脑”，能精准调控风量和风速。

项目先期实施的一级、四级机站建设，使矿山年节约通风电耗费用1394万元，减少二氧化碳排放量21886吨。在此基础上，团队又开展二级、三级机站优化，可实现年节电620万元，减少二氧化碳排放量9734吨。如今，这款软件已在近百座矿山投入运行，显著提升了风机效率，降低了吨矿通风耗能，彻底改变了地下矿山“设备多、效率低、能耗高”的困境。

“我们模拟了上百种巷道布局，光是数据模型就迭代了几十版。”团队成员说。正是这种严谨务实的精神，让昆明有色院在地下矿山通风领域创造了多项国内第一。

红土高原上的匠心传承

在昆明有色院的档案室里，一份泛黄的设计图纸记录着1997年大红山铜矿一期工程的建设历程。图纸上密密麻麻的批注，出自云南省工程设计大师余南中之手。

1985年，大学毕业的张志雄跟着余南中参与了大红山铜铁矿项目设计。“师父带我们下井，井下温度高达40摄氏度以上，他走在前面，边走边讲解，

汗水浸透了工装却浑然不觉。”张志雄回忆道。

师父余南中的敬业精神深深影响着张志雄。三十多年来，他每年在大红山现场驻守150天以上，最长时一年可达273天。2006年，他接力师父，成为大红山项目的总设计师。在他的带领下，团队攻克了一系列技术难题，使大红山铜铁矿成为国内有色金属行业的标杆项目。

“设计不能照搬照抄，每座矿山都有它的脾气。”这是张志雄常对徒弟邓良、费志文说的话。2011年入职的邓良刚开始连地形图都看不懂，张志雄就从基础的测量知识到复杂的开采工艺手把手教他。2018年进入单位的费志文起初习惯“依葫芦画瓢”，张志雄便带着他实地考察不同矿山。如今，邓良、费志文都已经成长为矿山工程设计的中坚力量。

同样师承余南中的黄兴益，有着“黄老邪”的雅号——这源于他在矿山设计领域的精湛技艺与独到见解。20世纪90年代，在大红山铜矿二期工程设计中，他力推无轨开采工艺，面对业主“投入太高”的质疑，他用“扁担与挖掘机”的生动比喻，苦口婆心地劝说。项目投产后，产量翻了十倍，人员减少一半以上，让业主彻底信服。

从余南中到张志雄、黄兴益，再到邓良、费志文，昆明有色院的“师带徒”模式已延续数十载。这种传承不仅是技术的传递，更是“传承、执着、创新、精益求精”的大红山精神的延续。如今，昆明有色院拥有享受国务院、云南省政府特殊津贴专家18人，在职省部级设计大师十余人，人才梯队的茁壮成长为企业发展注入源源不断的动力。

创新驱动的绿色未来

昆明有色院矿山工程设计院的一个办公桌前，年轻的工程师正在调试

“基于5G+人工智能的膏体流变性能监测系统”。屏幕上，井下膏体流变学性能的各项参数实时更新，为矿山解决膏体配比调控、管输优化等问题，“图像识别+多模型集成”的技术路径，填补了实时流变性能动态预测的技术空白。这是该院正在攻关的创新项目，也是企业以科技创新培育新质生产力的生动实践。

作为中铝集团“四个特强”战略部署的践行者，昆明有色院始终将科技创新作为发展的核心驱动力。依托大师工作室、昆明理工大学、河海大学等平台，形成了一支高水平矿山工程人才队伍——1名设计大师、10名正高级工程师、1名博士研究生，副高级工程师以上人员占比42.7%。

在矿山工程、固废处置和矿山生态修复领域，团队累计获得省部级科技进步奖17项（含一等奖4项），多项工程获“示范工程”奖项及省部级工程咨询设计奖。这些技术优势正加速转化为产业优势：近年来，矿山工程、尾矿与生态修复咨询设计合同额同比增长近两倍，冶炼废渣处置场生态环境提升治理、磷石膏无害化处理等EPC总包工程的签订实现了业务模式的本质突破。

从尾矿坝稳定性分析到金属矿山原位污染治理，从智能通风系统到高寒山区尾矿堆坝技术，昆明有色院的创新成果不断涌现。这些技术不仅解决了行业痛点，更推动着有色金属工业向绿色化、智能化转型。

夜幕降临，昆明有色院的办公楼里依然灯火通明。蓝蓉团队正在讨论高寒山区尾矿生态化利用方案，张志雄带着年轻工程师修改着矿山设计图纸，黄兴益准备着第二天去晋宁项目交流会的材料……这些身影，正是红土高原上最美的矿山答卷人。

（作者单位：昆明有色冶金设计研究院股份公司）

黄海之滨铸匠心 钢铁巨擘拓丝路

从黄海之滨到世界各个角落，六冶连云港出口加工基地的故事是“中国建造”走向深蓝的缩影——以技术为帆、以匠心为舵，这座基地用钢铁与汗水、智慧与匠心，在“一带一路”的壮阔航程中破浪前行。

刘晓宁 雷兵 | 文

5月7日清晨，连云港的海风裹挟着初夏的暖意，朝阳将徐圩港的万吨货轮染成金色。

中国有色金属工业第六冶金建设公司（以下简称“六冶”）海外工程技术公司连云港出口加工基地内，随着8套机架和环保通风装置稳稳装上货车，60余吨机架设备正式启程，发往印度尼西亚OBI镍铁项目。这批承载着“中国制造”印记的设备，即将跨越赤道，在“一带一路”的壮美画卷上再添新彩。

得天独厚的“出海”窗口

六冶连云港出口加工基地坐落于文化悠久的港口城市连云港，占地面积66 600平方米，犹如一艘停泊在黄海之滨的“制造航母”。这里距离连云港徐圩港口仅30公里，得天独厚的地理位置，让其成为六冶装备制造业务征战海外市场的桥头堡。

基地内，三座现代化车间巍然屹立，其中最大的车间横跨253米，纵跨69米，堪称连云港非标设备制造的“超级工厂”。这里可容纳500人同时作业，年产能超3万吨，是连云港规模最大、



六冶连云港出口加工基地内，发往印尼项目的机架装置装车完毕准备发货

装备最齐全的非标设备制造基地。

走进车间，机器的轰鸣声、飞溅的焊花与天车往来穿梭的轨迹，交织出一幅动态的工业画卷。118台设备高效运转，两台激光数控切割机精准切割，24米的切割长度、5.2米的切割宽度，展现着“毫米级”的工艺追求。28台桥式行车和龙门式行车如钢铁巨人般灵活移动，50吨的起吊能力举重若轻。“这

里每天要‘消化’近百吨钢材。”基地负责人雷兵指着正在组装的电解槽壳介绍道，“我们的设备精度可以控制在5毫米上下，相当于两枚硬币的厚度。”

全球版图上的“中国印记”

以非标设备制造及电解铝设备制造作为主营业务，六冶连云港出口加工基地在国际工程舞台上崭露头角。多



六冶加工完成的机架装置



六冶焊工们正在紧张地进行电解槽结构焊接

年来，凭借精湛的海外工程加工制作技术和丰富经验，六冶连云港出口加工基地严格遵循项目管理要求，打造了一个又一个高质量的工程标杆。

在印度BALCO年产41.4万吨电解铝项目中，基地团队在9个月内完成13 000余吨电解槽壳和上部结构制作任务，创下了新纪录。

在阿联酋，阿联酋环球铝业一期72台电解槽、6 600件阳极钢爪和二期92台电解槽、8 500件阳极钢爪的成功交付，展现了基地团队的雄厚实力。

在挪威海德鲁铝母线铸造及加工供货项目中，基地团队严格把控加工制作质量，阳极母线装配一次合格率达98%，获得了业主方的高度认可，赢得了“中国质量”的美誉。

冰岛电解槽制作、澳大利亚电解槽项目、秘鲁铜矿三个标段的钢结构制作、越南林同焙烧炉钢结构及非标件制作、新加坡污泥处置项目……每一项国际工程都是一次挑战，每一次成功都是一次跨越，六冶人用高效、优质的服务，为国际市场的“中国建造”

金字招牌增光添彩。

共建“一带一路”的排头兵

如今，在“一带一路”倡议的引领下，印尼北加电解槽制作项目成为基地团队新的奋斗目标。

该项目位于印尼北加里曼丹省塔纳库宁工业园，电解槽制作需在国内完成。接到任务后，六冶连云港出口加工基地迅速组建专业高效的项目管理团队。面对毫米级的加工精度要求——长度 ± 10 毫米、高度和宽度 $0 \sim \pm 5$ 毫米、对角线绝对值7毫米以内等严格标准，以及单体50余吨、长度超20米、宽度5.2米的“巨无霸”电解槽，基地团队迎难而上。

吊装难题首当其冲，工程师们日夜钻研，自主设计吊装工具，最终让两台50吨行车默契配合，将庞然大物稳稳吊起。高温导致的热膨胀变形是焊接环节的“拦路虎”，技术精湛的焊工们采用反变形措施，优化焊接顺序，通过对称焊接和分段退焊，化解了应力叠加。管理团队全程把控，定期召开工程例会，实时监控工期网络进度，每一个细节都不放过。

在紧张的制作过程中，宁波力勤业主监造工程师、设备工程师、项目经理、副总裁等领导多次亲临现场指导，看到基地团队严谨的工作态度和出色的制作成果，他们竖起大拇指：“安全零事故、质量零缺陷、进度超预期——这就是我们选择六冶的理由！”

夜幕降临，基地车间的灯光依然璀璨。从黄海之滨到世界的各个角落，这座基地的故事，是“中国建造”走向深蓝的缩影——以技术为帆、以匠心为舵，六冶连云港出口加工基地正在用钢铁与汗水、智慧与匠心，在“一带一路”的壮阔航程中破浪前行。
(作者单位：中国有色金属工业第六冶金建设公司)

攻坚克难创精品 绿色能源启新篇

仅用时两个月零十天，由九冶承建的中铝连城铝业分公司 500 千安区域场内分布式光伏发电项目屋面部分便正式并网，冲击送电一次性成功。项目团队以实际行动诠释了“九冶速度”与“九冶品质”。

王丹瑞 | 文

在“双碳”目标加速落地的关键节点，由九冶建设有限公司（以下简称“九冶”）承建的中国铝业股份有限公司连城铝业分公司（以下简称“连城铝业”）500 千安区域场内分布式光伏发电项目屋面部分，于近日正式启动并网按钮，冲击送电一次性成功。标志着连城铝业在绿色能源领域的探索中迈出实质性步伐，为传统工业企业低碳转型注入强劲绿色动能。此次并网发电，仅用两个月零十天便完成屋面部分建设，项目团队以实际行动诠释了“九冶速度”与“九冶品质”。

匠心精铸 打造光伏工程“颜值标杆”

连城铝业项目作为连城铝业绿色低碳发展的核心工程，涵盖三个屋面及地面部分，直流侧装机容量为 19.29856 兆瓦峰值，安装面积约为 35 356 平方米的屋面（焙烧车间及碳块车间、原料车间、氧化铝及氟化车间屋面）及 320 612 平方米的 500 千安厂区，共 6 个方阵，拟采用 58 瓦特峰值光伏板，数量三万余块。自今年 2 月 15 日破土动工以来，连城铝业项目团队便以“打造精品工程、引领能源革新”为使命，在这片土地上开启了绿色建设的壮丽



九冶连城铝业光伏项目屋面光伏

征程。项目锚定建设绿色低碳“新中铝”目标，全力推动光伏产业与铝业生产深度融合。面对屋面结构错综复杂、厂区布局精密如织的重重挑战，团队引入先进的光伏安装技术与智能监控系统，像为每一块光伏板都配备了“智慧大脑”，确保其以最佳姿态迎接阳光，实现发电效率的最大化。

在厂区地面施工的“战场”上，项目团队将匠心精神发挥得淋漓尽致。为筑牢地面光伏设施的根基，技术人员手持高精度测量仪器，对厂区地貌及每个桩位地表进行毫米级的精确高程测

量。他们穿梭于厂区各个角落，采集海量数据，随后在数据分析室里挑灯夜战，将数据细致汇总分析，最终科学设置出精准的基准标高。在严格的施工标准下，1 844 个深 4.8 米、直径 400 毫米的桩位，如同训练有素的士兵，以统一的标高整齐列队，在阳光下勾勒出精密的坐标阵列，不仅为后续光伏板安装筑牢根基，更成为厂区内一道规整有序、极具科技美感的独特风景线。

屋面光伏安装环节，同样是匠心与智慧的舞台。项目部的施工人员化身“建筑艺术家”，精准计算下料尺寸，



九冶连城铝业光伏项目鸟瞰图

科学制定材料提取计划，为施工进度提供坚实保障。在支架加工生产进程中，团队争分夺秒，车间里机器轰鸣，工人们全神贯注，每一道工序都高效推进。在底座夹板生产时，凭借多年积累的丰富施工经验，项目部提出创新方案，要求厂家将底板螺栓孔加工成椭圆型。这一巧思，大幅提升了后期支架调整与安装的灵活度。施工时，一排排光伏支架如同被赋予生命，快速、整齐且精准就位，真正实现了屋面光伏安装一次到位、高效优质，将光伏工程的“颜值”与品质推向新高度。

智破困局 攻克施工技术“双重难关”

在连城铝业项目推进的征程上，项目团队凭借非凡的智慧与坚韧不拔的毅力，直面挑战，在困境中寻找破局之道，成功攻克施工技术的“双重难关”。

首道难关，便是设计图纸与现场坐标不符引发的桩位放点偏差问题。当施工人员依照设计图纸进行桩位放线时，发现现场实际坐标与设计图纸存在偏差，若不及时解决，后续施工将出现混乱，项目进度也会受到严重影响。

“设计图纸和现场实际坐标对不上这不是小问题。我们必须主动出击，马上联系设计院和业主，快速解决问题，不能耽误工期。”在项目经理的推动下，项目部迅速反应，牵头搭建起多方协同平台。他们与设计院、业主单位建立起“党建联建”沟通渠道，以联合党日活动、技术交流会为纽带，将各方力量凝聚在一起。在技术交流会上，现场照片、测量数据铺满桌面，技术人员们围坐一起，经过无数次的推敲与测算，最终确定了厂区基准点1和基准点2坐标。

测量人员顶着烈日，扛着仪器穿梭在厂区，重新测量绘制厂区外轮廓，依据新坐标合理布置桩位点。同时，项目部与设计院紧密配合，对图纸进行优化完善。这场争分夺秒的“坐标保卫战”，最终成功解决了设计图纸与现场坐标偏差问题，确保项目各环节顺利衔接。

屋面基础生根问题则是横亘在团队面前的又一道难关。楼层板厚度仅40毫米，承载能力十分有限，设计院先后提出的条形基础、U型螺栓穿钢屋架穿楼板等方案，在实际评估中均无法满足施工要求。工期一天天逼近，方

案却迟迟未能确定。关键时刻，党员技术骨干挺身而出，带头开展“头脑风暴”。会议室里，白板上写满了密密麻麻的方案设想，技术团队日夜奋战，组织了一轮又一轮的方案论证会。他们查阅大量资料，结合现场实际情况反复推演。终于，一个创新性的方案脱颖而出——凿开屋面楼板，利用吊耳生根的混凝土基础方案。既有效破解了承载难题，又通过优化施工流程，节省了15天工期。

严守底线 织密项目安全“防护网络”

项目部始终将安全生产作为“底线红线”，创新推行“党建+安全”双网络化管理。设立党员安全监督岗，每天对地面桩孔防护、高空作业、溜绳设置等关键环节进行巡查，形成“党员带头查隐患、群众参与保安全”的良好氛围。通过每周召开安全班前会，制定严密的安全防护措施，增强全员安全意识。针对地面桩孔，采用现场木托盘遮盖、成型钢筋笼防护，设置围挡警戒与警示牌。高空屋面作业则制定专项安全施工方案，设置通长安全钢丝绳溜绳，党员率先垂范全程佩戴安全装备，带动全体施工人员严格执行“高空作业十不准”规范，同时在屋面临边设置硬质围挡，防止工器具及杂物坠落。每个屋面均配备专职监护人员，佩戴安全肩章全程监护，全方位保障施工安全，确保项目实现零事故目标。

此次屋面部分成功并网发电，不仅是项目技术实力与管理能力的有力证明，也为连城铝业绿色低碳发展奠定了坚实基础。未来，九冶将继续弘扬“励精图治 创新求强”的企业精神，以匠心筑精品，全力推进项目地面部分建设，为实现“双碳”目标贡献更多力量，书写绿色能源发展新篇章。■

（作者单位：九冶建设有限公司）

赤道线上的百分答卷

印尼曼帕瓦项目是十二冶首次参建的千万吨级氧化铝项目，也是施工内容最复杂、专业协同最密集的海外工程。在建设过程中，十二冶以攻坚克难的决心和创新求变的智慧，在热带雨林与碧海蓝天间勾勒出一幅壮丽的工业画卷。

郭轩妤 | 文

BAI100万吨/年SGAR冶金级氧化铝项目是印尼第一个国有氧化铝项目，由印尼国家铝业PT Inalum和印尼国家矿业PT Antam联合投资，由中铝国际工程股份有限公司（以下简称“中铝国际”）总承包，中国有色金属工业第六冶金建设有限公司、九冶建设有限公司、中色十二冶金建设有限公司（以下简称“十二冶”）参建，项目于2024年12月30日正式投产。

在建设过程中，十二冶建设者以攻坚克难的决心和创新求变的智慧，在热带雨林与碧海蓝天间勾勒出一幅壮丽的工业画卷。

海外尖兵：在挑战中淬炼“铁军”

印尼曼帕瓦项目是十二冶在氧化铝工程领域的“里程碑”项目——这是十二冶首次参建的千万吨级氧化铝项目，也是施工内容最复杂、专业协同最密集的海外工程。施工内容包括：溶出子项安装工程，赤泥沉降、蒸发、原矿浆磨制、石灰乳制备，综合管网安装工程、赤泥压滤及赤泥压滤循环水和氧化铝区域种分、过滤、水处理，氧化铝南区电气、消防、保温，15个子项的管道、设备安装工作及搅拌站等。该项目的落地，标志着十二冶从单一专业施工向多领域复合型建设的跨越。



十二冶印尼氧化铝项目熔炼炉机电安装现场

热带季风气候带来的严苛考验率先向建设者们发难：年均30摄氏度的高温、突发的雷暴天气，设备锈蚀和材料受潮成为常态；偏远的地理位置导致港口卸货、山路运输耗时耗力，物资周转效率一度受限；印尼当地环保法规严苛、劳工政策差异以及跨文化沟通的壁垒，如同层层迷雾般笼罩在项目初期的进程中。

“这是一场与自然环境、文化差异、管理难题的多重博弈。”项目经理在回忆初期挑战时坦言，“十二冶作为中铝国际的‘海外尖兵’，我们必须在逆境中蹚出一条路。”

2024年6月，印尼西加里曼丹省遭受了罕见的强降雨袭击。在这关键时刻，十二冶印尼氧化铝项目部迅速响应，立即启动应急预案，成立抗洪救灾

领导小组，全力抗洪救灾，将项目内涝全部疏通排出，现场人员全部安全撤回，物资设备材料全部保存完好，赢得了业主的高度赞誉。

在资源调配中，十二冶融合文化差异，开创“中外合璧”，中方技术人员负责方案设计与质量管控，印尼工人承担基础性施工，通过双语培训和实操带徒的方式，培养出一支本土化施工队伍。这种“技术输出+属地融合”的策略，既破解了劳务资源紧张的难题，也为当地创造了上千个就业岗位，成为“一带一路”民心相通的生动注脚。

以创新突破管理瓶颈，解答管理难题。面对“施工密集度堪比迷宫”的挑战，项目团队将“倒链倒装法”运用出新高度。种分槽体采用“分段预制+底部提升”工艺，像搭积木般从地

面逐层焊接，将高空作业量降低60%；槽顶管道实行“地面预组焊+整体吊装”，让30吨重的管廊在1小时内完成空中对接，效率提升3倍。在安全管理上，实行全员安全员制度，让人人成为“安全哨兵”，高风险作业区的“电子围栏”实时预警，最终实现“零事故、零重伤”的安全目标。

工作上展现“铁军”担当，十二冶每月通过视频会议进行“远程会诊”，项目经理办公室的灯光常亮至凌晨，用行动诠释“责任高于一切”。生活中拥有“铁军”柔情，每逢春节、开斋节等节日，中外员工共庆节日，包饺子、跳传统舞蹈，让文化差异在欢声笑语中消融，凝聚成无往不胜的团队合力。

施工攻坚：在时序中雕琢细节

初期破局，钢结构撑起工业骨架。项目伊始，母液蒸发和溶出子项的钢结构安装成为“首战”。63米高空的巨型钢构件吊装，犹如在云端搭建积木——单件最重达50吨的构件，需要精准定位至毫米级误差。项目团队调遣400吨履带式起重机“坐镇”，技术人员昼夜测算风力、温度对吊装精度的影响，最终采用“三维坐标动态校准法”，让庞然大物在高空稳稳“落位”。运输路上，针对雨林泥泞路况，项目部组建了24小时路况监测小组，错峰运输、铺垫钢板，让满载构件的车队在暴雨中开辟出“钢铁通道”。

中期深攻，设备与管网编织工业血脉。当钢结构骨架初具规模时，设备安装与管网施工的“立体会战”拉开帷幕。核心设备——溶出机组的吊装堪比“工业绣花”：从国内选派的工匠能手，带着毫米级精度的测量工具，在设备精调中实现了“0.05毫米偏差”的严苛标准；面对地下管网与土建、钢结构的交叉作业难题，项目部独创“每日三色协调机制”——红色标注冲突点、黄色跟进

整改、绿色验收通过，配合BIM技术模拟施工路径，让5公里长的碱液管道在三维空间中有序铺展。雨季来临时，现场搭起的巨型防雨棚如“钢铁保护伞”，确保焊接作业在倾盆大雨中照常推进。

后期精修，电气系统点亮工业神经。电气施工阶段，恰逢多专业交叉作业的“白热化”时期。电缆敷设需穿越已成形的设备层和管廊，稍有不慎便会影响后续调试。团队采用网格化施工管理，将作业区域细分为200余个网格，每个网格配备“技术—安全—质量”三人小组，从电缆选型到端子接线实行全流程追溯。调试期间，中印尼技术人员组成“双语攻坚队”，在38摄氏度的配电室里连续奋战72小时，让10千伏配电系统一次性通过耐压测试，为项目送电按下“快进键”。

维保护航，全周期守护生产脉搏。项目投产后，中铝国际和十二冶的服务并未中止。一支由各专业骨干组成的“24小时响应突击队”扎根现场，建立设备“病例档案”，从泵组轴承的定期润滑到管道防腐层的毫米级检测，用精细化维保守护着生产线的稳定运行。

印尼籍工程师阿里感慨：“中国团队的严谨，让我们见识了什么是‘工业级守护’。”

丰碑矗立：以数字化铸就标杆

BIM赋能，在虚拟空间筑牢建造根基，这种沉浸式的图纸审查颠覆了传统建造逻辑。BIM技术宛如一双“数字慧眼”，提前在虚拟世界中构建起与实体工程1:1等高的数字孪生体。

基于三维模型的空间语言，该项目施工组织实现了从“经验驱动”到“数据驱动”的跨越。技术人员在虚拟场景中模拟10种设备进场路线，通过空间路径分析，将组件运输时间缩短20%；调整50余件非标设备的吊装顺序，在

三维空间中经过20余次推演，形成精确到分钟的施工时刻表——以往的“空间盲角”，如今在BIM系统中转化为可量化的坐标数据，各专业施工工序如同精密齿轮般咬合，避免了传统施工中常见的“错、漏、碰、缺”。

该项目在虚拟空间的“预先彩排”，为现实施工筑牢了根基：项目主体施工阶段，施工图纸准确率从传统的85%提升至98%，累计避免各类返工70余次，相当于节约2000个人工工时和200吨建材损耗；设备安装周期比原计划缩短22天，关键线路上的“零返工”，让整体工期提前15天进入调试阶段。当第一根钢柱精准落位时，它早已在数字世界中完成了108次“预演”——这便是BIM技术赋予项目的“数字先见力”，让复杂工程建设从一开始就站在全知视角的新起点，用虚拟空间的精准预演，兑换出现实世界的高效建造。

当最后一台泵组完成试运行，项目终于交出了一份亮眼的答卷：5公里碱液管道3.38兆帕试压一次合格，电气系统全负荷运行稳定，所有设备精度达标率100%。更重要的是，项目探索出的多专业协同管理模式、本土化施工经验，成为十二冶海外工程的“标准教案”。

印尼能源部官员在验收时赞叹：“这是一座用智慧和汗水浇筑的工业丰碑，为印尼铝产业发展树立了新标杆。”

塔吊渐次退场，取而代之的是氧化铝生产线的轰鸣。在这片曾经荒芜的海岸，十二冶建设者用双手缔造的不仅是一座现代化工厂，更是“走出去”的坚实足迹。当赤红的铝土矿化作雪白的氧化铝粉末，曼帕瓦项目的故事正成为“一带一路”中外合作、共筑梦想的生动写照——在热带雨林的骄阳下，在碧海蓝天的辉映中，十二冶的海外征程，不断续写着新的传奇。

（作者单位：中色十二冶金建设有限公司）