

封面故事 | COVER STORY



以创新为火 熔铸时代之铝

——科创助力中铝国际从“中国制造”到“中国创造”

七十五载铸重器 科技赋能谱新篇

——沈阳院以科技创新打造铝行业品牌新标杆

历经七十五年积淀，沈阳院始终将科技创新视为生命线。沈阳院聚焦绿色低碳与数智化转型，在电解铝磁流体调控、大型氧化铝装备等领域实现关键突破，核心技术覆盖全国70%电解铝产能，通过深化“科改行动”，2025年经营业绩再创历史新高。面向“十五五”，沈阳院正以“钢铝融合”与“绿电氢”技术重塑全球铝工业的“中国坐标”。

王楠 | 文

七十五载栉风沐雨，七十五载春华秋实。作为新中国首家国有设计企业，沈阳铝镁设计研究院有限公司（以下简称“沈阳院”）始终胸怀“国之大者”，将科技创新视为企业发展的生命线。近年来，沈阳院紧密围绕中铝集团高质量发展战略，聚焦绿色低碳与数智化转型，以硬核科技重塑行业标准，在全球铝工业版图上刻下了熠熠生辉的“中国坐标”。

勇闯技术“无人区” 攻克世界级行业难题

在电解铝生产领域，磁流体不稳定性问题长期制约着行业的节能降耗，是一道公认的世界性难题。自2010年起，沈阳院研发团队潜心攻关，自主研发出“铝电解槽瞬态磁流体稳定性自适应增强调控及扰动抑制技术”，成功构建网络化自均衡模型，实现了对电解槽内复杂电磁流场的精准动态调控。更为关键的是，团队配套研发了“全电流强防磁高能激光及定向自蔓延在线焊接技术”，一举突破了高强度磁场

环境下“不停产”改造的技术瓶颈。目前，该项绿色低碳铝电解技术已覆盖全国70%的电解铝产能，自产业化应用以来，累计节电超300亿千瓦时，减碳1700万吨，吨铝直流电耗降至国际领先水平。

在氧化铝装备领域，沈阳院同样正在改写历史。长期以来，全球大型氧化铝焙烧炉市场被国外企业垄断。沈阳院打破技术封锁，自主攻关研发出日产3500至5500吨的气态悬浮焙烧炉系列产品。如今，世界首台以氢氧化铝为



大型高效氧化铝气态悬浮焙烧炉

焙烧原料的日产5 500吨成品氧化铝气态悬浮焙烧炉已顺利投用，全球最大、日产量可达6 000吨的超大型焙烧炉也正在加速建设。从引进设备到自主制造，再到输出英文版国家标准，沈阳院实现了从“跟跑”到“领跑”的历史性跨越。

深化“科改行动” 打造颠覆性前沿技术

科技创新的硕果，离不开体制机制的坚实支撑。作为国务院国资委“科改示范企业”，沈阳院巧妙运用“加减运算”解题思路，全面释放创新活力。在科研投入上持续做“加法”，不仅组建了4个核心研发团队，还推行风险共担与利益共享机制，将设计优化成果直接挂钩工程总承包绩效考核；在提质增效上果断做“减法”，全面推行“新型模拟法人”管理模式，孵化“专精特新”业务单元，推动全员劳动生产率稳步攀升，2025年经营业绩再创历史新高。

与此同时，沈阳院积极构建“产学研用”深度融合的创新生态圈，携手中南大学、东北大学等顶尖高校，彻底打通科技成果转化的“最后一公里”。凭借扎实的改革成效，沈阳院在“科改行动”专项考核中斩获“优秀”评级，以实干实绩树立了国企改革“排头兵”的标杆。沈阳院始终将科技创新作为品牌建设的核心引擎，在数智化转型赛道上持续深耕。由该院牵头制定的《石墨和萤石单位产品能源消耗限额》强制性国家标准正式发布，成功填补行业空白。“构建铝冶炼智能工厂关键技术研发及应用”等多项前沿成果，也荣获中国商业联合会科技进步奖一等奖。依托国际领先的流程模拟平台与多物理场仿真能力，沈阳院的数字化设计水平稳居行业前列，先后于2018年、2023年摘得Bentley全球基础设施年度

光辉大奖，成为中国铝行业首个且唯一数次获此殊荣的企业。

“国家需要什么，我们就提前研究什么。”沈阳院坚持“储备一代、研发一代、应用一代”的科技创新节奏。面对行业绿色低碳发展需求，沈阳院前瞻性布局“钢铝融合”循环经济新模式，将钢厂的高炉煤气、余热蒸汽作为氧化铝项目的能源，把氧化铝赤泥中选出的铁精矿作为钢厂原料，实现物质流和能量流的闭环。在这一模式下，单线产能最大的氧化铝生产线能耗仅为国家行业标准的60%。

着眼未来发展，沈阳院正加速推进氢氧化铝绿色焙烧重大科技专项，把绿电、绿氢及储能技术全面融入氧化铝生产环节，并耦合碳捕集与封存技术，力求建成零消耗、零排放的“双零工厂”。与此同时，沈阳院还牵头组建了轻金属冶炼绿色低碳实验室、多物理场仿真智算实验室等国家级科研平台，旨在为行业的下一个发展周期提前储备颠覆性前沿技术。

党建引领铸魂 锻造高素质科技铁军

沈阳院始终坚持党对科技工作的全面领导，将党的政治优势转化为驱动科技创新的强劲动力。由院党委牵头建立党委委员“一对一”联系首席专家制度，在思想、工作与生活层面提供全方位关怀，营造出“四个尊重”的浓厚氛围。通过优化科技人才技术职务体系，打通管理与技术双通道，科学规划员工成长路径，真正实现了人尽其才、才尽其用。

在廉洁从业与安全生产方面，沈阳院坚守“正派经营、安全、品质不容妥协”的底线原则，不断完善决策制度与业务流程，强化红线意识，为改革攻坚筑牢安全屏障。通过开展“用好‘四个方法论’ 踔厉奋进‘十五五’”主题大讨论，引导党员干部在市场化

改革、科技创新等关键领域挺膺担当，以“党建+”品牌赋能组织战斗力，锻造出一支政治过硬、本领高强、作风优良的科技铁军。

精益管理提质 打造工程服务品质标杆

沈阳院秉持“精益求精、追求卓越”的发展理念，持续加强项目质量管理。对设计成品交付与合同约定工期严格管控，确保成本、进度、回款等信息及时更新，重点项目全过程跟踪。建立严格的设计审核流程，从源头上杜绝质量问题。在项目实施阶段，加强现场服务，及时解决各类技术问题，确保工程质量。

扎哈淖尔35万吨绿电铝项目正是沈阳院践行“双碳”目标、输出“绿电铝”技术标准的标杆工程。在该项目建设中，沈阳院不仅提供核心工艺技术，还牵头负责整体设计与设备采购，负责将“零碳工厂”的蓝图变为现实。目前，该项目正全力按节点推进，得到业主方一致称赞。

通过开展项目经理核心能力建设及工程总承包能力提升培训，不断强化质量责任意识，赢得客户的信任和市场的认可。沈阳院领导班子带队深入开展客户回访活动，认真梳理、汇总、分类、整理客户反馈的意见建议，制订整改措施，及时进行总结评价，做到闭环管理，以高质量运营管理水平助推企业高质量发展。

七十五年再出发。站在新的历史起点，沈阳院将持续以科技创新为引擎，锚定“七个一流”目标，倾力打造“四个品牌”，奋力打造有色金属行业顶尖的国际化科技型公司，让SAMI以“全球铝工业智慧解决方案领跑者”的姿态，为中国铝工业高质量发展注入澎湃动能。

（作者单位：沈阳铝镁设计研究院有限公司）

数智铸魂 低碳破局

——贵阳铝镁院开创三水铝石矿绿色冶炼新时代

针对我国铝土矿资源禀赋薄弱、进口依赖度攀升、氧化铝生产能耗偏高的行业痛点，贵阳铝镁院依托广西华昇200万吨/年临港氧化铝项目，整合数智化技术与绿色低碳工艺，攻克进口三水铝石矿高效利用核心难题，建成行业首个全流程智能工厂，树立了氧化铝产业向高端化、智能化、绿色化转型的国家级标杆。

刘峰 | 文

当前，我国铝工业正站在资源转型与绿色升级的历史关口。全球铝土矿储量约310亿吨，我国仅占2%，近十年，国内铝土矿保有储量降幅达46%，静态保障年限不足10年。2024年，国内氧化铝年产量达8450万吨，年消耗铝土矿超2亿吨，进口铝土矿占比突破60%且价格持续上涨，产业资源安全面临严峻挑战。与此同时，传统氧化铝生产存在能耗高、流程繁、智能化水平低的痼疾，与国家“双碳”目标和

产业高端化发展要求形成鲜明反差。

作为国内轻金属冶炼领域的核心科研设计单位、国家级“科改企业”——贵阳铝镁设计研究院有限公司（以下简称“贵阳铝镁院”）主动扛起行业转型使命，立足国家“利用境外资源的氧化铝项目向沿海布局”的政策导向，聚焦几内亚三水铝石矿高效绿色利用这一行业共性难题，以广西华昇新材料有限公司（以下简称“广西华昇”）临港项目

为载体，走出了一条“数智赋能+技术创新+绿色循环”的特色发展之路，为我国氧化铝产业破解资源瓶颈、实现高质量发展提供了可复制、可推广的“贵阳院方案”。

技术攻坚：锻造绿色冶炼核心硬实力

绿色低碳是氧化铝产业转型的核心方向。贵阳铝镁院依托自主搭建的SysCAD氧化铝工艺流程仿真模拟平台，首创“能源多级利用技术”，实现



2025年，广西华昇氧化铝项目二期竣工

热能与势能的双向深度节能，彻底改写了行业能耗基准。

在热能利用方面，项目团队根据物料温度、流量、浓度特性精准匹配全流程换热体系，通过系统性的热能回收与梯级利用，将吨氧化铝新蒸汽消耗从行业传统的1.9吨以上降至1.5~1.6吨。在势能利用方面，创新采用“高梯度布局、就近衔接”总图规划思路，按照生产流程高低梯度配置车间，依托重力实现流体输送，大幅减少泵送设备能耗，将吨氧化铝电耗从200kWh以上降至180~190kWh。两项技术叠加，使项目氧化铝综合能耗降至275千克标准煤/吨，较世界先进水平低20.8%，优于国家一级能耗标准24.6%，其中拜耳系统能耗仅为5.00GJ/t，位居全球第一。同时，通过基于模型统筹的全厂水资源优化匹配技术，实现生产水资源收支平衡、零生产废水外排，吨氧化铝新水消耗仅为0.28吨，远低于行业平均水平。

针对进口几内亚三水铝石矿的独特矿物特性，贵阳铝镁院自主研发出全球领先的三水铝石矿冶炼专有工艺包，实现了三项关键性技术突破。一是改进型两段分解技术，通过重组设备功能、简化生产流程，取消传统工艺中的三级细种子沉降槽，单项目减少建设投资约5000万元，节约厂区占地7000m²，同时降低功耗3.3kW·h/t-AO，分解率提升至52%。二是首创侧流冷却结晶草酸盐去除技术，通过数字化手段实时调控固含、温度等关键指标，高效脱除系统草酸盐，有机物脱除能力最大达6吨/天，显著提升生产稳定性与产品品质。三是有价金属资源化回收技术，在脱除草酸盐的同时富集母液中的钒金属，以200万吨/年产能计算，可实现年附加收入7000万元，兼顾了降本、提质、增效与循环利用多重价值。采用该工艺

包生产的氧化铝产品，-45μm粒度占比<9%，处于国内领先水平，可使后续铝电解车间电流效率提升1%以上。

数智赋能：构建全流程智能工厂新范式

数字化转型是提升产业竞争力的关键引擎。贵阳铝镁院牵头搭建了氧化铝行业首个全流程数智化体系，构建BIM数字工厂与数字孪生系统，实现了生产全流程的可视化、数字化、智能化管控。

贵阳铝镁院技术团队编制了一整套氧化铝行业适用的工程级BIM标准，建立了包含2万余件管道、仪表元件及150余种专业设备的行业专属元件设备库，形成了可复制的数字化设计整体解决方案。在此基础上，搭建1:1虚拟生产工厂模型，实现全厂图模联动、数据集中管控，使生产各环节数据可查、可管、可控。为支撑数字孪生系统运行，项目部署4000余台(套)智能检测仪表、3万点控制系统IO，建成全覆盖的控制网、视频网、无线网及专属数据中心，实现了全厂综合自动化覆盖率98.3%、综合数据采集率93.8%的行业领先水平。

数智化技术的深度应用，带来了生产管理效率的革命性提升。项目实现了蒸发站等关键车间的无人值守，生产数据统计分析效率提升90%，物流效率提升90%，员工工作量降低30%以上，年提效降耗效益超2000万元。数字孪生系统不仅能够实时监控生产状态，还能通过数据挖掘与模拟仿真，提前预判设备故障、优化工艺参数，为生产决策提供精准支撑，真正实现了从“经验驱动”向“数据驱动”的转变。

成效显著：树立行业可复制推广新标杆

经过多年实践，贵阳铝镁院绿色低

碳高质量氧化铝数智化建设成果已全面落地，取得了经济效益、社会效益与行业推广效益的多重丰收。

经济效益方面，广西华昇项目实际总投资较批复投资节约11.3%，吨氧化铝生产成本仅1900元，远低于全国近2800元的平均水平，单项目年增量经济效益超17亿元。截至目前，该技术体系已累计签订技术合同额近6亿元，产业化经济价值凸显。

社会效益方面，项目践行“双碳”发展理念，通过能源多级利用、水资源循环利用与污染物减排，大幅降低了产业环境承载压力。同时，高效适配境外三水铝石矿利用场景，破解了国内资源短缺难题，带动了上下游产业链发展，创造了大量就业岗位，优化了区域经济结构。

行业推广效益方面，该项目作为国内首个临港境外三水铝石矿氧化铝生产示范项目，核心技术与建设模式具备极强的普适性，可全面适配所有拜耳法三水铝石矿氧化铝生产线。首创的结晶法草酸盐脱除技术，开辟了行业有机物脱除新路径，填补了全球技术空白。目前，该成果已成功推广至广西华昇、河北文丰实业集团、北海东方希望材料科技有限公司等6家企业，覆盖产能超1300万吨/年，在建、投产项目运行状态良好。

站在新的历史起点，贵阳铝镁院将持续深耕铝产业绿色数智化转型领域，不断迭代优化BIM数字孪生、能源多级利用、有价金属回收等核心技术，完善氧化铝绿色低碳数智化建设标准体系。同时，持续扩大技术成果推广范围，探索智慧矿山、零碳生产、固废全量资源化等前沿技术场景，持续夯实我国铝产业技术领先优势，为国家“双碳”目标落地、工业绿色低碳转型贡献“贵阳铝镁力量”。

(作者单位：贵阳铝镁设计研究院有限公司)

高寒之巅的绿色智采

——长沙有色院攻克极高寒特大型露天矿低碳高效开采关键技术

我国西部高寒高海拔地区矿产资源丰富，但开采过程中存在人机作业效率低、生态环境扰动大等难题。长沙有色院项目团队经过技术攻关，首创下行自发电带式输送等多项核心技术，实现了极高寒矿区境界的动态精准优化、运输坑线的经济智能布设，以及物料长距离大规模运输中的能量高效回收。该成果为高海拔寒区特大型露天矿山的绿色低碳、降本增效开发提供了技术支撑和工程示范，提升了我国战略性矿产资源保障能力。

郭陈响 | 文



西藏巨龙铜业有限公司采场

全球战略性矿产竞争日益激烈，资源安全保障事关国计民生。我国西部地区铜、锂等关键战略资源储量丰富，但由于高寒高海拔、生态环境脆弱等条件，大规模开发面临显著技术挑战。如何在这一区域实现低碳、高效、经济的矿产资源开采，是行业亟待突破的重大技术课题。

“十五五”开局，中铝集团聚焦“两个保障”，打造“四个特强”。长沙有色冶金设计研究院有限公司（以下简称“长沙有色院”）项目团队围绕极高寒特大型露天矿开发中的关键技术难题，开展了低碳高效开采集成技术与工程示范研究。通过理论分析、仿真模拟与现场应用等多种手段，项目取得了

一系列创新成果，形成了完整的集成技术体系。

让每一寸资源物尽其用 让每一台大型装备高效协同

露天开采境界的精准圈定与运输坑线的合理规划，是提高矿床开发经济评价和运输效能的关键环节。传统的静态境界圈定方法存在价格与成本参数动态性缺失、时间价值属性失真、运输坑线布设经济性不足等问题，容易造成矿产资源浪费。面对这一难题，项目团队将目光投向了经济参数与时间价值的动态博弈。

“我们不仅要算经济账，更要算时间账。”项目负责人表示。针对高寒矿

山投资大、周期长的特点，团队开发了露天矿开采境界价格与成本经济参数动态调控、时间价值属性精准贴合的多手段组合动态集成优化新方法。该方法能够根据市场价格的波动和开采成本变化，动态调整开采境界圈定与运输坑线的布设，解决了资源动态管理与高效利用的“老大难”问题。在工程设计中，团队通过智能算法实现了运输坑线的经济智能布设，使矿山在长达数十年的服务期内始终保持最优经济效益状态。原本被认为品位边界模糊的呆滞矿量被转化为可采储量，真正做到了“颗粒归仓”。

在海拔5 000米级的矿区，含氧量仅为平原地区的60%，人和设备都面临



载重 240 吨的矿卡

严重的“高原反应”。大型采矿装备动力衰减、故障率上升，出勤率和作业效率大打折扣。如何让这些大型装备在极寒缺氧环境下保持高效协同，是保障生产规模的关键。

项目团队在传统经验公式基础上，构建了装备集群效率衰减多参数性能修正模型。该模型充分考量了海拔、温度、路况、保养周期等多重因素对铲装、运输设备效率的影响，并据此开发了极高寒特大型露天矿装备智能选型决策软件。该软件能够精准模拟不同设备组合在特定恶劣环境下的实际产出，实现铲装运装备的精准匹配。应用该技术后，矿区大型装备的运行效率显著提升，采矿装备出勤率提高2至3个百分点，时间利用率提高1至3个百分点，既保障了年采剥总量，又大幅降低了无效燃油消耗和设备损耗。

跨越天堑的绿色动脉：首创下行自发电带式输送技术

如果说设备选型解决了“点”的效率问题，那么物料远距离运输则是制约矿山整体效能的“线”。高海拔矿山往往山高谷深，矿废石运输距离长、落差大。传统汽车运输运费高、能耗大、污染严重；常规带式输送机存在带强

较低、装机功率与带宽较小、极寒与强紫外线环境下输送带易脆化、压陷阻力大等问题，影响矿山安全、低碳、高效稳定生产。

面对这一挑战，长沙有色院首创了极高寒特大型露天矿大运量长距离下行自发电带式输送技术，在西藏巨龙铜业有限公司建成了世界首台（套）海拔最高、功率与运量最大、带速与带强最高的下行发电带式输送系统。该系统利用物料从高处下行的巨大重力势能进行发电，变阻力为动力。据统计，系统满载运行年发电量可达5445万千瓦时，相当于每年减少碳排放量56752吨。这项技术颠覆了“运输必耗能”的传统观念，实现了极高寒区物料长距离、大规模运输与能量高效回收的完美结合。

时空腾挪的艺术：多区域协同与低碳排土

解决了矿石采掘与运输的难题，大体量废石的排弃与堆存同样考验着工程技术人员智慧。分区开采及多排土场下废石运输线路复杂，传统粗放式排土路径规划存在排土成本高、周转效率低、调度精度差等问题，制约矿山经济效益与产能释放。

为此，项目团队研发了特大型露

天矿多区域时空协同大规模排土技术，构建了运输系统网络模型与调度辅助决策系统。通过这套系统，项目实现了对多个排土场在时间和空间上的超前规划与动态协同。运输车辆不再是“两点一线”的简单往返，而是根据实时路况、排土场容量与压实度要求，智能规划最优路径，实现了装备高效运输协同与低碳经济堆排，大幅降低了废石运输的能耗与排放，将矿山开采对环境的影响降至最低。

效益彰显：从技术突破到价值创造

技术创新的含金量，最终要通过市场竞争力和产业贡献来检验。项目成果在西藏巨龙铜业有限公司的成功应用，交出了一份令人振奋的成绩单。

从资源保障看，项目增加矿山可采矿量5766万吨、铜金属量25.37万吨，显著延长了矿山服务年限，提升了我国战略性矿产资源的自给能力。从经济效益看，项目实施直接节省了大量投资，新增价值十分可观，年降低生产成本超亿元，效益显著。

在环境与社会效益方面，该集成技术体系的规模化应用，树立了极高寒特大型矿山低碳、高效、经济开采的行业标杆，践行了“绿水青山就是金山银山”的理念，为高海拔寒区特大型露天矿山的绿色低碳、降本增效开发提供了宝贵的技术支撑和工程示范。

冰雪之上，创新为峰。面向未来，长沙有色院将继续聚焦有色金属工业绿色化、智能化、高端化的发展方向，深化产学研用协同创新，努力产出更多具有重大影响力的原创性、引领性成果，为保障国家矿产资源安全、推动行业科技进步与高质量发展贡献更大的力量。在挺起国家关键战略资源脊梁的征途中，这支科技尖兵必将再攀新高，续写辉煌。

（作者单位：长沙有色冶金设计研究院有限公司）

从“受制于人”到“自主可控”

——中色科技首台（套）装备研制纪实

中色科技长期致力于有色金属加工装备自主研发，先后突破六辊铝带冷轧机、双机架冷连轧机组、“1+3”铝带热连轧机组等首台（套）关键技术，并在铜箔轧机、镍基合金装备领域取得突破，走出了一条从“受制于人”到“自主可控”的装备国产化之路。

汪翠婷 | 文

在广西某大型铝加工企业，300多米的生产线上，炽热的铝锭从厚度600毫米一路“瘦身”至2.5毫米，在卷取机的高速旋转中化为新能源汽车动力电池箔坯料。这台被称为让铝锭“瘦身”的“魔术师”，正是中色科技股份有限公司（以下简称“中色科技”）研发的国产首台（套）“1+3”1850毫米铝带热连轧机组。

中色科技的前身是成立于1964年的洛阳有色金属加工设计研究院，2002年

改制成立中色科技，如今，已经走过了60余年的发展历程。作为我国唯一集有色金属加工行业规划、工程设计、装备研制、科研开发、工程总承包于一体的综合性企业，中色科技承担了近年来60%以上新建或改扩建的铜铝板带生产企业轧制或配套设备的研制任务，在全国大中型有色金属加工工程设计市场的占有率达到90%以上。这些数字背后，是一代代科研人员向“卡脖子”技术持续攻坚的生动写照。

“争气机”问世：突破六辊铝带冷轧技术壁垒

铝带冷轧机是铝加工领域的核心装备。长期以来，在代表更高水平的六辊轧机领域，我国与国际顶尖行列存在明显的“代级差距”，“板形不好，厚差控制不稳，根本生产不出合格的易拉罐料”。面对这一困局，中色科技挑起了装备国产化的担子。

2004年，首台国产UCM六辊轧机诞生。但与国际先进水平相比，它只是“毛坯房”。从那时起，中色科技开启了“对标国际先进+深挖客户痛点+自主核心攻坚”之路。他们紧盯全球技术前沿，将研发的根扎进生产一线，在一次次试错中汲取经验。2013年，第二代六辊轧机问世，虽然运用了多项先进技术，但“不成体系，核心技术没有完全攻克”。

十年磨一剑。经过持续迭代，六辊轧机从2.0版本升级到4.0版本。2023年6月，4.0版本机组在河南中孚高精铝材有限公司负荷试车成功，产出首卷合格铝材。这台2300毫米单机架六辊铝带冷轧机组搭载了中色科技自主研发的UCM大窜动量（±550毫米）中



国产首台（套）“1+3”1850毫米铝带热连轧机组



中孚 2 300 毫米单机架六辊铝带冷轧机

间辊横移弯辊抽动系统，成功实现了 0.258 毫米以下超薄罐体铝带材批量化稳定生产，一举打破了国外公司在超薄罐料板带箔关键装备及轧制工艺技术上的长期垄断。

与此同时，中铝集团首席工程师、中色科技副总工程师张京诚带领团队推进国产首台（套）2 800 毫米六辊铝带冷轧机组研发，突破了大窜量弯辊横移系统等 18 项技术难题。项目启动之初，要求该轧机既能生产硬铝合金带材，又要实现汽车轻量化用铝合金带材的小压力轧制，产品综合性能要达到国际先进水平。由于是“首台（套）”研制，可参考的资料几乎为零，只能摸着石头过河。张京诚回忆，面对上千张图纸，满脑子都是轧机的外观、尺寸和参数，甚至梦中迸发灵感，立刻惊醒并打开电脑进行核实验证。2021 年 10 月 21 日，首台装备实现稳定轧制并顺利通过验收，从此，我国航空航天、汽车轻量化等领域急需的高端铝合金带材从此不再受制于人。

从单机到连轧：冷热连轧机组树立行业标杆

如果说单机架轧机是独立作战的“尖兵”，连轧机组则是多台协同的“联

合舰队”。而在这个领域，国外厂商筑起了长达数十年的技术壁垒。

中色科技研发的 1 850 毫米铝带双机架冷连轧机组，填补了国内高端铝带带材生产装备的空白。该机组年产能达 14 万吨，较传统单机架设备效率提升 40%、能耗降低 30%，能将产品厚度误差严格控制在 ± 0.03 毫米以内，相当于头发丝直径的 1/20。该项目研发团队历时 3 年，通过数百次试验、上千次参数优化，终于攻克了机架间张力协同控制这一“硬骨头”。

而在热轧领域，中色科技研制的国产首台（套）“1+3”（1 台粗轧机搭配 3 台精轧机）1 850 毫米铝带热连轧机组更是一大突破。“与普通热轧设备相比，铝带在热连轧机组中的轧制效率可提升 1 倍以上”中色科技高级工程师、该项目负责人陈长军介绍。中色科技应用先进控制系统，配合高精度在线传感器，实现了各机架间张力和速度的稳定控制，确保机组 HGC 系统精度控制在 5 微米以内，产品厚度精度稳定在 0.1 毫米以内。这台机组从调试至产出首卷仅用时 26 天，刷新了我国“1+3”热连轧机组建设纪录。

从单机架到双机架冷连轧，从单机到“1+3”热连轧，中色科技在连轧领

域走出了一条从“受制于人”到“自主可控”的跨越之路。

从铜箔到镍基合金：首台（套）装备再添新品

首台（套）装备的突破，不仅局限于铝加工领域。在铜加工方向，中色科技研制的 800 毫米六辊铜箔轧机被认定为 2024 年河南省首台（套）重大技术装备。该轧机可将带材厚度轧制至 0.009 毫米，而此前国内铜箔轧机生产线均为引进设备，特别是极薄铜箔压延生产中尚无国产化装备可用。中色科技联合中南大学、宁波金田集团等共同研发的“高端耐热细晶铜板带集成制造技术及关键装备”，不仅填补了我国 IGBT 散热模组用高耐热铜带、新能源电池连接器用细晶低硬度铜带的产品空白，还荣获中国质量协会质量技术奖。

在镍基特种金属加工领域，中色科技研制的铁镍合金热轧机组和四辊可逆冷轧机组顺利穿带试车，在镍基特种金属加工方向实现突破。中色科技还为多个首台（套）装备装上了智能“神经中枢”——自主设计和研发的系统实现机架间张力和速度的毫秒级响应，确保轧制过程稳定精准。

近年来，中色科技自主研发的国内首台（套）大型轧制装备已成功应用于国内外多家知名企业，部分装备实现了“技术出海”。从“受制于人”到“自主可控”，从单机追赶到系统超越，一台台首台（套）装备的诞生，映照出中色科技几代科研人员的初心与担当。中色科技党委书记、董事长姜建亭表示，未来，中色科技将持续加强以连轧、宽幅、高速高精度和智能化为特征的高端装备研发与产业化应用，研制更多首台（套）装备，助力我国铝铜基材料产业延链补链强链及高质量发展。

（作者单位：中色科技股份有限公司）

驭科技之翼 铸创新华章

——中勘院开启高质量发展新征程

在全球科技创新浪潮如汹涌波涛般澎湃激荡的当下，中勘院犹如一艘装备精良的巨轮，以战略为精准引领之舵，以组织体系为强劲奋进之帆，以制度机制为高效前行之桨，在科技创新的浩渺海洋中破浪前行。

姬丽娜 | 文

在全球科技创新浪潮如汹涌波涛般澎湃激荡的当下，中国有色金属工业昆明勘察设计研究院有限公司（以下简称“中勘院”或“公司”）犹如一艘装备精良的巨轮，以战略为精准引领之舵，以组织体系为强劲奋进之帆，以制度机制为高效前行之桨，在科技创新的浩渺海洋中破浪前行。不仅斩获了令人瞩目的科技成效，彰显出诸多鲜明特色与亮点，更在关键性技术领域实现了重大突破，为行业发展注入了源源不断的强劲动力。

战略领航 激活创新内生引擎

中勘院积极响应党的二十大及二十届历次全会关于以科技创新推动新质生产力发展的号召，紧密围绕中铝集团“四个特强”及中铝国际“科技+国际”的发展战略，立足公司“11321”总体工作思路与“113463”科技发展思路，精准锚定公司发展的内在需求。在矿产资源勘探与获取、矿业工程一体化、环境工程一体化、岩土工程一体化以及N个专精化领域，系统且科学地规划科技攻关方向，成功激发了全员的创新意识，让科技驱动发展的内生动力

如喷薄而出的清泉，源源不断、生生不息。在数字智能领域，中勘院积极引入前沿技术，推动传统业务与数字技术深度融合，为业务发展注入全新活力。通过引入大数据分析、人工智能等技术，实现了对矿产资源勘探数据的精准分析和高效处理，提高了勘探效率和准确性。针对绿色低碳转型的行业发展趋势，中勘院也将绿色勘查、生态修复技术研发纳入战略重点攻关方向，主动契

合国家“双碳”目标，在保障矿产资源供给的同时助力矿业领域绿色转型。

体系筑基 搭建高效创新舞台

中勘院持续优化科技创新组织架构，构建起层级清晰、协同联动的创新体系，打通从基础研发到技术应用的全链条通道。以核心研发部门为创新中枢，统筹协调全公司科研资源，推动跨部门、跨领域的科研合作，打破信息



中勘院完成中国第二高楼——深圳平安国际金融中心岩土工程勘察

壁垒与资源分割，让各类创新要素实现高效流动与优化配置。同时，积极搭建内外联动的创新合作网络，对内，充分调动基层技术团队的创新积极性，鼓励一线技术人员结合项目实践开展技术改良与微创新，对外，主动链接高校、科研院所与行业头部企业，共建产学研用创新联合体，围绕行业共性技术难题开展联合攻关，依托外部顶尖科研资源补足自身研发短板，加速创新成果的孕育产出，为不同领域的科研人员提供了施展才干、协同创新的广阔空间，让创新创造的活力在完善的体系支撑下充分涌流。

制度护航 推动成果转化与品牌升级

中勘院围绕科技创新全流程建立健全配套激励与保障制度，从研发立项、过程管控到成果确权、转化收益分配形成完整制度闭环，充分调动科研人员开展创新与成果转化的主动性。针对成果转化环节，专门出台成果转化收益分配管理办法，明确科研团队可享受成果转化收益的合理比例，将创新成果与个人收益直接绑定，让科研人员能够实实在在分享创新创造的价值，从根源上破除阻碍创新转化的机制障碍。同时，建立分层分类的科技人才评价体系，不再以单一论文、奖项作为评价核心指标，转而将技术创新水平、成果转化效益纳入核心评价维度，为科技人才打通职业晋升通道，让潜心研发、成果突出的科研人员得到应有的认可与待遇。在品牌打造层面，依托现有核心技术成果，积极申报国家级、省部级各类科技奖项与行业资质认证，推动自有技术品牌化发展，逐步在矿产勘查、生态修复等领域树立起技术过硬、创新领先的品牌形象，进一步扩大了中勘院在行业内的品牌影响力，为科技创新成果的市场化推广奠定了坚实基础。

创新亮点纷呈 效益成果丰硕

近年来，中勘院在科技创新领域持续深耕、成果斐然。一方面，大力推进各级科研平台申报与建设，完善布局与功能配置，构建起涵盖国家级、省部级、企业级多层级，覆盖核心业务全技术链条的科研平台矩阵，为不同方向研发工作提供完备硬件支撑与资源保障；同时，不断拓宽科研经费来源渠道，既积极争取国家级、省部级纵向科研项目支持，又依托市场项目挖掘研发需求吸引外部合作经费投入，科研经费到账额连创新高，为科研团队开展技术攻关、购置研发设备、培养核心人才筑牢坚实物质基础，使其能心无旁骛投入创新研发。另一方面，聚焦行业关键技术痛点持续攻坚，在矿产资源综合勘查、深边部找矿、特殊土工程特性研究、污染场地治理与修复等多个核心领域取得一系列突破性成果，累计获各类省部级及以上科技奖项百余项，授权发明专利、实用新型专利及软件著作权近百项，多项核心技术达到国内领先乃至国际先进水平；凭借过硬技术积累，牵头承担多项国家级重点研发计划项目、省部级重大科技专项，主导并参与编制数十项行业标准与规范，逐步掌握关键技术领域话语权；积极承办国内外行业顶尖学术会议与技术交流活动，分享最新研发成果与实践经验，扩大学术影响力，吸引大批优秀科技人才加入，夯实创新人才基础，巩固科技创新领军地位。此外，围绕中铝集团“四个特强”战略布局，中勘院不断打通技术研发到市场应用的落地通道，针对不同类型创新成果搭建分层分类转化路径，对行业共性技术成果，主动面向全行业开展技术授权与推广服务，依托自有项目实践经验形成标准化技术方案，为行业内其他企业提供技术咨询与工程服务，让创新成果落地产生实际价值；针对西藏金龙矿业、玉龙铜业、华泰龙

矿业等矿山项目，贴合生产一线需求的应用型技术改良成果，优先在凉山矿业、华联锌铟、金鼎锌业、大红山铜矿等矿山生态复绿项目中推广应用，助力一线项目降本增效，缩短作业周期，降低人力成本投入，提升作业精度与安全性；还依托核心技术成果拓展新业务增长点，围绕矿产资源勘查、矿业工程一体化、环境工程一体化等优势技术领域打造专项业务板块，凭借技术优势拿下安宁市易门箐铁矿污染综合治理、固原彭阳电厂地基处理、中铝铝箔等多个大中型标杆项目，实现技术创新向市场价值的高效转化，为中勘院高质量发展注入持续动能。

未来，中勘院将以更加坚定的步伐，围绕科技创新的人才团队、项目、平台和机制四大底层逻辑持续发力。持续完善分层分类的人才培养与激励体系，搭建更具吸引力的创新发展平台，吸引更多顶尖科技人才汇聚，充分激发科研人员的创新活力，打造敢啃“硬骨头”、能闯技术关的高水平科研队伍；继续锚定行业关键核心技术方向，聚焦数字智能与绿色低碳两大核心赛道深耕细作，持续加大关键核心技术攻关力度，不断完善从研发到转化的全链条创新生态，推动更多创新成果落地转化为实实在在的发展效益。

“路漫漫其修远兮”，科技创新是一场永无止境的征程。在未来的发展中，中勘院将继续秉承创新驱动发展的理念，不断优化体制机制，加大科技投入，加强平台建设，推动科技成果转化，释放科技创效潜能，提升数智化水平，以更加坚定的信心、更加饱满的热情、更加务实的作风，驭科技之翼，铸创新华章，为推动行业进步、国家的科技创新事业贡献中勘力量！

（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）

以“绿”赋能 以“智”淬炼

——昆明有色院构建有色工程技术新生态

近年来，昆明有色院围绕“1231”科技创新战略，在采选冶及尾矿等领域取得的跨越式成效。本文聚焦其“1 + 6 + N”立体化研发体系及多项国际领先的核心技术转化，展示了昆明有色院以科技创新赋能行业绿色低碳和数智化转型的生动实践。

陈馨 | 文

在我国有色金属工业迈向高质量发展的关键征程中，高效率的科技创新平台正成为推动传统产业转型升级的强大引擎。近年来，昆明有色冶金设计研究院股份公司（以下简称“昆明有色院”）牢固树立系统观念，守正创新，稳步推进建设具有国际竞争力的综合一流、绿色智能工程技术企业的总体目标。通过深耕“一体化”管理，强化关键技术研发，昆明有色院已在核心技术攻关、原创技术研发、科技成果转化及人才队伍建设等方面，取得了阶段性显著成效，全力提升有色产业链的固链、补链、强链、塑链能力。

重塑研发架构

下好科技创新“先手棋”

为构建高效协同的科技创新体系，昆明有色院对研发组织架构进行了战略性优化与整合。将原科技智能部变更为科研创新中心，并对科技智能部、研发中心与数字化管理部实行一体化管理。依托这一创新变革，成功搭建起“1 + 6 + N”的立体化研发体系：以科研



高震区细粒级尾矿库智能预警控灾与应急响应评估关键技术及应用

创新中心为核心，下设安全高效绿色矿山、尾矿与生态修复、低碳冶金技术与装备、绿色建筑、环境与节能技术、冶金行业数智化等六个聚焦关键及优势领域的研发分中心，并可根据需要动态组建N个跨专业研发团队，持续增强科研体系的厚度与灵活度。

在制度与机制层面，昆明有色院深入践行精准投入，深入实施“1231”科技创新战略。全面开展制度“废改

立释”工作，对296项制度进行系统性梳理优化，累计完成制度“废改立”201项，打通了“项目立项—过程管理—成果转化—激励奖励”的全链条矩阵式科技创新体系。同时，积极探索实施科研项目“揭榜挂帅”“赛马制”及科技成果转化项目收益分红等正向激励机制，并进一步推行科技成果赋权改革与项目超额利润分享，全方位释放科研人员的创新内生动力。



低品位复杂铜钴伴生矿绿色高效冶炼关键技术

聚焦核心工艺
打造采选冶金“硬实力”

作为有色金属行业的技术策源地，昆明有色院依托深厚的技术积淀，在矿山、冶金和综合专业领域形成了90余项核心技术。

在采矿与选矿专业领域，针对“高、深、难”复杂地质条件下的矿体开采难题，“高海拔矿区高效开采技术”“复杂矿山深井通风及降温技术”“复杂地形地质条件下排土场堆排技术”等技术已在多座露天矿山全面推广应用；而“高原高陡矿山边坡安全调控及生态修复关键技术”成功优化了采场边坡分区分期开采工艺，年均减少岩石剥离量342万立方米，示范矿区绿化覆盖率达到可绿化面积的90%以上。此外，选矿领域的“以高压辊磨为核心的超细碎磨工艺”，在有色金属领域引入高压辊磨超细碎工艺技术，实现矿石“多碎少磨”，大幅降低了选矿成本。

在冶金化工专业领域，昆明有色院重点攻克小金属冶炼技术难题，实现有色冶炼烟尘及二次资源中稀贵金属的综合回收，使钨、硒、碲、铋、铟等小金属综合回收率提高3%以上。其首创的“低品位复杂铜钴伴生矿绿色高

效冶炼关键技术及应用”，成功攻克了低品位复杂铜钴伴生矿中钴浸出率低、电积能耗高等技术瓶颈，已成功应用于刚果（金）等海外项目，为“一带一路”建设贡献了坚实的技术力量。

夯实优势长板
铸就尾矿治污“护城河”

尾矿专业领域是昆明有色院传统的优势核心业务。针对高震区细粒级尾矿库安全与污染防控较差的行业难题，昆明有色院组织团队开展了系统性的工程力学特性及灾变机理研究。

昆明有色院研发的“高震区细粒级尾矿库智能预警控灾与应急响应评估关键技术”，发明了细粒尾矿分层装样、颗粒自动分离和渗透试验等一系列装置，开发了非均质颗粒模拟的三维数值重构软件及灾变在线监控装置，该项成果已达到国际领先水平，并在大红山、大屯锡矿花坟尾矿库等成功应用。

同时，“固废原位封存及生态植被修复关键技术”采用“风险管控+生态修复”模式治理历史遗留Ⅱ类固废，攻克了酸性废渣原位中和与区域适生植物组合选别等重大技术难题，相关技术在云南、贵州、四川等西南矿区

近百项尾矿库、渣库及危险废物填埋场中得到推广，不仅实现尾矿坝的正常运行与安全扩容，更累计为企业节约经济成本达7.24亿元，消除了严重的安全隐患与环保隐患。

数智转型赋能
抢占智慧工厂“新赛道”

昆明有色院全面推动数字化、智能化转型，从顶层设计发布《公司数字化转型实施方案（第一期）》开始，明确了“四阶段”转型路径。在软硬件建设上，部署了PW三维协同平台及Bentley系列软件，并与北京构力科技共建“BIMBasePlant三维工厂联合数创实验室”，在冶化院、建筑院开展应用，打破了国外三维软件的垄断。

昆明有色院首次采用“一次性顶层规划设计、一次性集成建设成型”模式，为云天化集团昆阳磷矿二矿智能化矿山建设项目构建了“111+K+X”智能架构。通过在井下部署厘米级高精度人员定位系统、环境多参数智能预警系统及5G全覆盖通信，由12条胶带组成的矿石智能化运输系统实现了完全自主运行，替代了十余个井下操作岗位。这一“规建维”一体化模式，为传统矿山转型升级提供了可复制的行业蓝本。

科技赋能产业，高水平的科技自立自强是企业高质量发展的最大底气。三年来，昆明有色院新工艺、新技术推广累计助签合同达7.5亿元以上，主营业务收入从2023年的2.06亿元跨越式增长至2025年的4.76亿元。站在新的历史起点上，昆明有色院将继续紧扣行业需求，聚焦“四个特强”战略部署，加速推动创新成果向现实生产力转化，奋力向国内领先、国际一流的矿业工程科技企业不懈迈进。

（作者单位：昆明有色冶金设计研究院股份有限公司）

算力赋能钢结构吊装革新

——十二冶自主工法破解超大跨度施工难题

十二冶技术团队扎根施工一线，历时四年自主攻坚，研发出独特工法，以数字化仿真技术替代传统粗放施工模式，用技术创新破解行业瓶颈，在多项重点工程中落地见效，展现了央企建设者精益求精、敢闯敢创的匠心与担当。

郭轩妤 张斌 | 文

超大跨度箱型钢结构吊装，是现代建筑施工领域的重难点工程。此类异形空间结构跨度大、形变可控性差、高空合龙精度严苛、吊装安全风险极高，长期以来依靠传统经验施工，普遍存在安全隐患多、施工精度低、成本损耗大、工期不可控等行业痛点。中色十二冶金建设有限公司（以下简称“十二冶”）技术团队扎根施工一线，历时四年自主攻坚，研发出《采用有限元分析方法进行大跨度箱型钢结构工程吊装施工工法》，以数字化仿真技术替代传统粗放施工模式，用技术创新破解行业瓶颈，在多项重点工程中落地见效，展现了央企建设者精益求精、敢闯敢创的匠心与担当。

直面行业痛点 告别粗放施工困境

十二冶攻坚团队承建的大型体育场钢结构项目，是典型的超限大跨空间结构工程。项目屋盖最高点标高41.5米，由四组斜拱构成长短双跨结构，最大跨度达204米，短跨160米。构件为双向弯曲扭转型箱型截面，受力体系复杂、空间形态异形，吊装过程中应力分



吕梁市新城体育场中心项目

布不均、位移形变难把控、高空多机协同难度大，一旦吊点偏差、支撑失稳、合龙错位，极易引发安全事故和质量缺陷，是行业公认的施工难题。

长期以来，国内超大跨度钢结构施工多采用满堂脚手架辅助吊装焊接工艺，弊端十分突出。大面积架体搭设稳定性差，坍塌、高空坠落、物体打击、焊接火灾等安全隐患频发，属于重大

危险源。同时，密集脚手架挤占作业空间，严重制约吊装进度，造成工期冗长、措施费用高昂。受限的施工空间还导致工人焊接操作姿势受限，焊接质量通病多发，结构线形难以达标，且现场物料堆积杂乱，文明施工管控难度极大，早已无法适配现代化超大跨度精品工程建设标准。

直面行业技术短板与项目施工难

题，十二冶技术团队摒弃传统经验化施工思维，立足现场实际开启技术革新，以数字化、精细化思路重构吊装施工体系，打造适配超限大跨箱型钢结构的全新施工工法。

数字算力赋能 重塑精准吊装工艺

该工法核心突破，是有限元精准力学分析+全过程软件仿真模拟的数字化施工模式，彻底改变传统粗放作业方式。技术人员通过搭建1:1数字化施工模型，对钢结构吊装全过程开展仿真推演，精准测算不同工况下构件受力、形变位移、应力分布状态，同步完成吊装设备选型、履带吊通道规划、施工工况适配等前置验算，提前预判吊装碰撞、结构失稳、位移偏差等潜在风险，实现施工隐患前置管控。

依托海量精准数据，团队创新确立临时支撑辅助+分段吊装+高空对接的核心施工工艺。施工中将整体工程划分为主体结构、外侧悬挑结构两大阶段，分区分段对称施工，把超大、超复杂的高空整体作业，拆解为标准化、模块化的分区作业，严格遵循“从拱脚向跨中双向施工、拱体与肋梁同步安装、分区预留合龙段”的施工逻辑，让无序高危的高空吊装作业变得流程清晰、可控可测。

为保障吊装全过程安全精准可控，工法建立起动态化变形监控体系。技术人员通过有限元演算，精准布设184个装配式格构柱临时支撑点位，规范支撑上下端焊接固定工艺，对15米以上超高支撑增设缆风绳加固，彻底解决传统支撑沉降、偏位、失稳问题。同时，依据仿真模拟最不利工况，精准设计吊耳材质、尺寸与数量，完成试吊验算，全面优化多机抬吊协同方案，规避设备碰撞风险。

在关键的高空合龙环节，团队严守温度施工窗口，采用全站仪精准采集

构件坐标数据，精准测算合龙段实际尺寸，科学预留焊接收缩量、优化坡口切割精度。焊接全程动态监测结构形变，实时调整焊接顺序、纠偏施工偏差，持续总结施工规律，指导标准化作业，实现超大跨度钢结构吊装毫米级精度管控。

四年潜心攻坚 匠心打磨创新成果

硬核技术成果的背后，是研发团队四年如一日的坚守与攻坚。自项目中标起，十二冶迅速组建专项技术团队，联动行业资深工程师全程驻场指导，全力攻克变形控制、温差影响、支撑布设、精准合龙等技术瓶颈。无成熟案例借鉴、无现成参数参考，技术人员日夜扎根现场，白天记录施工细节、排查工艺问题，夜晚复盘仿真数据、比对验算参数，反复开展模拟试验与方案优化。

为确保工法实用性与精准度，团队开展多次1:1实体模拟验算，对上百项施工参数反复打磨校准。攻坚关键期，全体人员加班加点、连续奋战，历时9个月完成全部吊装攻坚作业，通过上万次数据比对、工艺迭代，最终填补了大跨度异形箱型钢结构精细化吊装的工艺空白。团队秉持精益求精的工匠精神，不惧难题、大胆创新，在一次次试错与优化中，把施工经验转化为标准化、系统化的核心技术成果。

工法落地应用后，在安全、质量、成本、绿色施工等方面取得全方位突破，经济效益与社会效益显著。以吕梁市新城体育中心项目为例，该工程钢结构总用钢量8000吨，依托工厂预制、仿真预拼装技术，钢材损耗率大幅优化，较传统工艺节约钢材160吨，直接节省材料成本64万元。

装配式格构柱支撑体系替代满堂脚手架，大幅减少设备租赁、人工搭设等额外开支，有效压缩施工成本。模块

化分段吊装模式简化施工工序、提升作业效率，大幅缩短高空高危作业时长，且全过程实现零安全事故。数字化精准管控让钢结构线形、合龙精度、焊接质量全部达标，工程实体质量显著提升。

在绿色施工方面，新工艺实现80%钢结构构件工厂化集中加工，大幅减少现场切割、焊接作业，有效降低噪声、强光、废气等施工污染，减少建筑垃圾产生，规范施工现场管理，助力工程绿色低碳建设。

推广前景广阔 夯实央企硬核实力

经过吕梁市、云南省、湖北省等地多个重点项目的实战检验，这套自主研发工法已完全成熟，适配性与可复制性极强。不仅能够精准解决超大跨度箱型钢结构施工难题，还可广泛应用于大跨度网架结构场馆、工业厂房、商业建筑等各类钢结构吊装工程，市场推广前景广阔。

作为十二冶自主培育的核心技术成果，该工法构筑起企业差异化竞争的技术壁垒，大幅提升企业在大型钢结构工程领域的竞标实力与品牌竞争力。下一步，十二冶技术团队将持续深耕工艺优化，针对施工温控、质量管控等细节开展深度攻关，同步推进专利申报、论文发表、专项工艺细化等工作，持续完善工法技术体系。同时加大成果推广力度，让自主创新技术赋能更多重点工程。

从经验施工到算力建造，从粗放作业到精准管控，十二冶一线技术人员以敢创新、能攻坚、善突破的实干姿态，破解行业技术难题、打磨精品标杆工程。未来，十二冶将持续立足施工一线需求，坚持技术创新、工艺创优，以匠心铸品质、以创新促发展，持续输出优质建造技术与施工方案，彰显新时代央企建设者的责任与担当。
(作者单位：中色十二冶金建设有限公司)