

# 甘肃金昌：有色金属产业走向“高精尖特”

## 一城一业

◎本报记者 颜满斌 通讯员 武玲奕

厚度仅0.05毫米的超薄“手撕镍带”、产能规模全球第二的羰基镍、远超国际标准的高纯铁等新产品相继问世；攻克4N5无氧铜板带材制备技术，相关产品填补国内空白并实现量产，解决了我国医用重离子加速器关键部件用材依赖进口的难题……这些成果来自“中国镍都”——金昌。

甘肃省金昌市绿矿兴企、因企设市，有储量位居亚洲第一的硫化铜镍矿床——金川矿山，铂、钯、铑等稀有贵金属储量居全国之首。

过去，金昌与许多资源型城市一样，面临产业结构单一、链条短、集群化水平低等瓶颈问题。近年来，金昌与以金川

集团股份有限公司(以下简称“金川集团”)为代表的企业积极探索市企融合发展之路，围绕“优镍、强铜、增钴、扩贵、兴钛”的发展思路，聚力打造镍铜钴新材料产业创新集聚区，让“老大笨粗”产业向“高精尖特”发展，推动产业链和价值链向中高端迈进。近日，科技日报记者走进金昌，探寻有色金属产业链跃升背后的“密码”。

## 无人化采矿更高效

千米井下，深邃矿道中不见矿工身影，取而代之的是智能巡检机器人。“机器人行动敏捷、全年无休，自从有了它们，工人的劳动强度下来了，工作效率上去了。”金川集团龙首矿水泵班职工王之鹏说，这些机器人配备了高精度传感器和摄像头，能沿既定巡检路线自动完成24小时周期

性巡检任务，实时采集设备的运行状态、温度、压力等数据，并将数据实时传输到地面控制中心。

科技创新已成为矿业提质增效、实现高质量发展的必由之路。近年来，金川集团不断加快推进矿山智能化、自动化建设的步伐。2019年，龙首矿1703运输水平电机车无人驾驶系统试车成功；2020年，金川集团三矿区井下1350米有轨运输水平电机车无人驾驶系统成功投运；得益于“5G+矿运卡车”远程遥控系统科研项目的成功实施，金川集团二矿区成为国内首个实现井下25吨矿运卡车远程遥控的试点矿山。

智能化升级更贯穿于生产全过程。从采掘生产的自动化、无人化转变，到充填作业的机械化改进，再到辅助系统的无人化升级，管理方式的数字化变革……如今，金昌矿业开发正逐步实现全链条智能化运营。

## “手撕镍带”供不应求

金川集团镍合金公司的冷轧车间，生产出薄如蝉翼的“手撕镍带”。它的厚度只有0.05毫米，不到A4纸的三分之一，可以像纸一样弯曲折叠，轻轻一用力即可撕开。“手撕镍带”虽薄，却有大用处，它具有良好导电性、耐腐蚀性等优异性能，是生产新能源汽车、电子仪表零件、医疗器材等产品的核心关键材料之一。

“‘手撕镍带’生产工艺复杂、技术难度大，只有掌握高性能真空熔炼技术和综合加工技术，并拥有精良装备，才能生产出这样的高性能镍带。”金川集团镍合金公司市场营销部经理李渊告诉记者，公司从技术研发和生产制造两方面进行突破，经过10年科技攻关，才成功研发出“手撕镍带”，填补了国内空白。“手撕镍带”还成功销往海外，成为金昌镍加工带材产品走向世界的名

片。2023年，“手撕镍带”实现量产，年产量突破60吨。这标志着金川集团纯镍箔材生产技术从研发阶段迈进产业化发展新阶段。

产品附加值的增加，让镍从初级工业产品变成战略性新兴产业，价格也翻了一番。

李渊介绍：“目前电解镍的市场价为每吨13.5万元，但‘手撕镍带’这样的超薄纯镍箔材，每吨要卖25万元。随着新能源等产业发展，‘手撕镍带’在市场上供不应求。”

## 新材料赋能锂电池

锂电铜箔是新能源电池的负极载体，铜箔越薄，新能源电池能容纳的电量就越多。“用于制造新能源电池的锂电铜箔对均匀性和平整度要求很高，肉眼看不到的一粒灰尘落到铜箔上，都有可能使铜箔表面产生凸起，增大电池短路风险。因此，锂电铜箔对品控要求十分苛刻。”金川集团铜箔有限公司铜箔分厂党支部书记别良伟说。

金川集团铜箔有限公司铜箔分厂的10万级洁净厂房集成了国内先进的电解铜箔生产工艺。2023年4月投产后的半年时间内，该厂陆续生产出8微米、6微米、4.5微米的锂电铜箔。

金昌不断推动镍铜钴产业向新材料产业和新能源电池产业转型，由过去单纯生产电镍、电铜、电钴等初级工业产品转向生产高温合金、粉体材料、高纯金属、催化剂等精深加工产品。如今，像锂电铜箔、三元前驱体、磷酸铁锂正极材料、硫酸锰等新能源电池生产最重要的基础材料很多产自金昌。

金昌市发展改革委副主任王晓霞表示，发展新能源电池产业，有利于促进传统产业向高端制造、绿色能源等新兴产业转型，形成新的经济增长点，提高产业附加值和城市综合竞争力。

## 新技术

## 改造超大盾构机“消化系统”

科技日报讯(记者王延斌)9月1日，在山东省济南市黄河北岸，随着“山河号”盾构机刀盘缓缓启动，济南市黄岗路穿黄隧道开始盾构掘进，我国最大直径水下盾构隧道开启穿越黄河之旅。

济南市黄岗路穿黄隧道将穿越黄河和沿线多条公路，全长5755米，其中盾构段长约3290米。隧道将与在建G309互通立交相衔接，打通济南市黄河两岸交通大动脉。

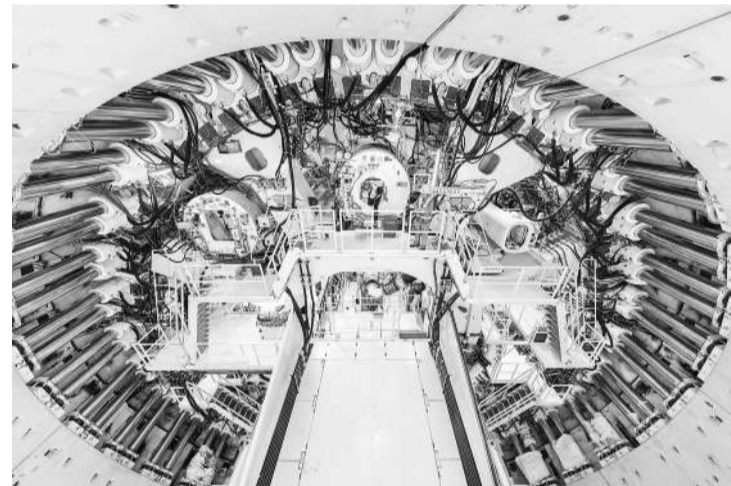
为确保水下盾构隧道顺利建设，中铁十四局集团有限公司量身打造了这台“钢铁巨兽”——“山河号”盾构机。该设备刀盘直径17.5米，相当于6层楼高，并配备带压复合型刀盘、伸缩式主驱动等先进设备，搭载超前地质预报、同步注浆检测等智能化装备系统，盾构机整体装备水平达到世界先进水平。

“作为17米级超大直径盾构机，‘山河号’与常规盾构机相比，系统集成更复杂，制造难度、施工难度和风险系数呈几何式增长。”中铁十四局济南市黄岗路穿黄隧道项目盾构经理薛永超介绍，盾构开挖面积达240平方米，每环管片足有12块，因此拼装风险更大、时间更长，精准度也更高控制。

“山河号”要攻克的难题不止于此。黄河下富含砂石和粉质黏土，在盾构穿越过程中，最低点距离水面仅63米。重达5200吨的“钢铁巨兽”要穿越“粘糕”一样的地层，沉降控制是关键。尤其是在穿越黄河大堤时，最大沉降要求不能超过1厘米。黄河下还夹杂着大量钙质结核，就像“粘糕”里镶嵌着大小不一的“红枣核”，给隧道施工带来了巨大挑战。

为了让盾构机顺利吃下这块“软骨头”，项目团队凭借丰富的水下隧道施工科研数据，对盾构机的“消化系统”进行改造。项目团队采用定制化刀盘，配备适合黄河流域黏土地层的撕裂刀和高流量中心冲刷泵，有效应对刀盘结泥饼问题，提高底部排渣效率。同时，项目团队还采用同步注浆双液浆技术，实现盾构隧道沉降的毫米级精控。

此外，为了保护黄河两岸生态环境，项目团队增加压滤设备，开展压滤尾水无害化及梯级资源化利用关键技术研究，使废浆处理量能满足每天的推进需求。这也为破解我国大型穿越黄河隧道的泥浆尾水处理难题，提供了新思路和技术方案。



图为济南市黄岗路穿黄隧道施工现场。

受访者供图

# 连轧机组：让铝锭“瘦身”的“魔术师”

◎通讯员 赵冬琴 甘欣鑫  
实习记者 夏天一

日前记者在广西国潮铝业股份有限公司采访时看到，300多米的生产线上，一块块滚烫的铝锭通过热轧连轧机组加工，从厚度600毫米“瘦身”至25毫米，再到2.5毫米。随后，在卷取机的高速旋转中，铝锭变身成为新能源汽车动力电池箔坯料、动力电池壳体、板带箔产品……

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”(1台粗轧机搭配3台精轧机)1850毫米铝带热轧连轧机组。

“与普通热轧设备相比，铝带在热轧连轧机组中的轧制效率可提升1倍以上，实现设备产能从‘跑’到‘飞’的跃升。”中色科技高级工程师、项目负责人陈长军告诉记者，热轧连轧机组可实现多台精轧机协同作业，具有生产全自

动、板形厚差精度高、批量生产稳定等优点，其生产链下游产品涵盖制罐料、汽车空调复合箔、高档PS版基板、电池箔等高端产品。

铝带产能提升反映了行业水平不断提高。“国内市场对铝带热轧连轧机组需求量大，我们自主研发的这台设备，多项技术水平国际领先，将为铝基新材料产业高质量发展增添更多动力。”陈长军说。

连轧机组，关键在“连”。如何让多台精轧机在高精度运转的同时完成精密协作，是行业升级的一大难题。

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，产品质量达到行业领先水平。

这台铝带热轧连轧机组从调试至产出首卷仅用时26天，刷新了我国“1+3”热轧连轧机组建设纪录。

“我们将持续加强与连轧、宽幅、高速高精度和智能化为特征的行业高端装备研发与产业化应用，研制更多首台套装



图为国产首台套“1+3”1850毫米铝带热轧连轧机组。

中色科技供图

备，助力我国铝铜基材料产业延链补链强链及高质量发展。”中色科技总经理姜建亭说。

# 国产巨型耙吸挖泥船 预计2026年交付

科技日报讯(记者代小佩 都克)日前，记者在中国船舶集团2024年国企开放日活动中获悉，国产35000方巨型耙吸挖泥船建造取得阶段性进展：在设计方面，已完成约60%的工作量；在建造方面，部分分段建设已完成，预计2026年上半年完工交付。届时，该船将成为亚洲最大耙吸挖泥船。

该船由中国交通建设集团有限公司投资，中国船舶集团有限公司第七〇八研究所(以下简称“七〇八所”)研发设计，上海振华重工启东海洋工程股份有限公司于今年1月正式开工建设。

根据设计，该船总长约195米，型宽38.5米，型深18.0米，挖泥吃水13米，最大泥舱舱容约35000方，最大挖深120米。该船采用球鼻艏、双尾鳍船型和先进的“一拖二”复合驱动方式，配置双导管螺旋桨、双耙、双水泵及舱内泵，具备泥门卸泥、单双泵艏吹和双艏排岸等作业功能，以及先进智能的疏浚控制系统。该船还预留甲醇燃料使用功能。

“该船具有装载能力强、挖掘能力强、绿色高效智能等技术特征，主要适用于长江口、珠江口和其他沿海港口航道的疏浚、吹填以及深水取砂工程。”船舶设计大师、七〇八所首席专家费龙说。

按照规模大小，耙吸挖泥船分为小型、中型、大型、巨型。巨型耙吸挖泥船指的是30000方以上的耙吸挖泥船。截至目前，国内最大耙吸挖泥船是26800方，尚未交付。

费龙介绍，35000方巨型耙吸挖泥船边设计边建造，最大挑战是解决动力系统、电力驱动系统、5000千瓦级水下电机等船用关键性设备问题。“该船的研制将弥补我国3万方级巨型耙吸挖泥船的装备空白，有效促进疏浚装备和船舶建造上下游产业发展和技术水平提升。”费龙说。

七〇八所从上世纪90年代开始涉足疏浚装备开发设计领域，截至目前，自主研发设计并交付了40余艘大中小型耙吸挖泥船，实现了我国大中小型耙吸挖泥船船型由整船进口到自主研发的跨越。



35000方巨型耙吸挖泥船效果图。

七〇八所供图

# 海上高温烟气余热发电装置制造实现新突破

◎本报记者 代小佩

前不久，全球首套5兆瓦级海上高温烟气余热发电装置在天津完工交付，标志着我国海上油气站在烟气余热利用方面取得重大突破。该装置由中国船舶集团有限公司第七一研究所(以下简称“七一研究所”)联合中国海洋石油集团有限公司(以下简称“中国海油”)自主设计研制。

## 选择合适“热能搬运工”

主电站是海上平台的“心脏”，它一般通过燃烧油气为海上装置提供电能。但燃烧油气会排放大量500℃的高温烟气，这些烟气是海上油气开发平台主要的碳排放源之一。

为减少主电站的高温烟气排放，七一研究所研发团队自主设计研制了这套海上高温烟气余热发电装置。“装置采用有机朗肯循环(ORC)发电技术回收高温烟气余热进行发电。先利用导热油回收高温烟气热量，然后高温导热油进入ORC发电装置，把液态环戊烷有机质加热成气态。接

着，环戊烷气体膨胀驱动透平膨胀机转动，进而带动发电机发电。”七一一所副所长徐明照接受科技日报记者采访时介绍。

有机质是一种在特定条件下能用来传递和转换热能的有机物质。在ORC发电技术中，有机质扮演非常重要的角色。它像一个“热能搬运工”，在不断循环中，把低品位的热能转换成高品位的电能或机械能。为何选择环戊烷作为有机质？徐明照解释说，常用有机质的ORC发电装置只能回收250℃以内的低温余热，环戊烷有良好的热稳定性，高效热转换能力，要回收500℃的高温烟气，环戊烷是更合适的有机质。

“为确定环戊烷的可行性，研发团队查阅大量文献并反复进行试验验证。在确保装置安全性方面，研发团队优化设计，将管路的焊口数量降至最低。为消除潜在风险，研发团队还克服各种困难完成了陆上动力循环试验。”徐明照说。

## 攻克多项技术难题

此前，七一一所利用ORC发电技术已生产制造40多套陆地用低温余热

发电装置。“这是我们首次研制用于海上的高温烟气余热发电装置。”徐明照说。

一般来说，海上平台应用装置要求集成化程度高、可靠性强、重量轻、占地空间小。“我们研制的装置一般大约重300吨，为了更好地适应海上环境，我们对整个产品的系统设计和材料选型进行严格把关，使装置尽量集成化、橇装化。”徐明照说。

5兆瓦级海上高温烟气余热发电装置的另一个特点是功率密度高，这意味着对装置主机的技术要求高。“主机是整个ORC发电装置的核心设备。”徐明照说，为满足功率密度高的要求，团队要解决密封、轴承润滑、动力系统的仿真模拟等多项技术难题。

据介绍，在5兆瓦级海上高温烟气余热发电装置研制过程中，七一一所研发团队先后攻克工艺和设备设计、紧凑型橇装化设计、动力循环试验验证等技术难题，并联合中国海油推动形成设备研制、橇装制造、测试试验全链条自主技术服务能力，最终打造了自主可控的装备体系。

## 满足海上平台需求

与传统的烟气燃烧排放相比，加装高温烟气余热发电装置后，电站的余热综合利用效率从30%—35%提升至60%—70%。

中海油研究总院有限责任公司北京工程研究设计分公司机电仪总师安维峰介绍，5兆瓦级海上高温烟气余热发电装置投用后，余热年发电量可达0.4亿千瓦时，能满足3万户家庭的年用电需求。据测算，该装置使用20年预计可节省天然气消耗约3亿立方米，减少二氧化碳排放约80万吨。

徐明照说，该装置广泛适用于中国海油现役平台电站，助力海上油气田在开发过程中实现节能减排、降本增效，对海上油气田绿色低碳开发有重要意义。“这款装置是目前全球最大的海上高温烟气余热发电装置，为进一步满足海上平台需求，我们正着手研制10兆瓦级装置。”徐明照说。

考虑到船舶也会排放高温烟气，七一一所团队还计划研制用于燃气动力船的高温烟气余热回收装置，继续为实现“双碳”目标作贡献。