

揭开稀有战略金属的神秘面纱——硼

中国金属矿业经济研究院（五矿产业金融研究院）郑宏军

元素硼是一种商业应用有限的类金属物质，市场规模较小，不像稀土那样受到主流关注。但作为稀有战略矿物的“隐形冠军”和“关键配角”，硼却是全球能源转型与高端制造无法或缺的核心战略资源，其战略价值体现在其对国家安全、经济竞争力及可持续发展的全方位支撑。当前各主要经济体围绕硼资源的争夺激烈，展现出对下一代产业制高点的控制权博弈。

一、小角色撑起的大舞台

硼在自然界中并不以元素状态存在，多为与氧和其他元素结合形成硼酸盐。硼元素战略价值的底层逻辑，本质上源于其独特的原子结构与物理化学特性。硼的原子序数为 5，最外层仅 3 个电子，这种结构使其呈现出强共价键形成能力、中子吸收特异性和化学多样性三大核心特性。硼与碳、氮等元素形成的化合物具备超硬、耐高温特性，是极端环境材料的核心成分。硼可形成从无机硼酸盐到有机硼化合物的庞大体系，既能作为结构材料（如硼钢），也能作为功能材料（如半导体掺杂剂），应用场景覆盖从工业到农业的全领域。

元素硼的这些特性使其在现代工业、科技、能源等关键领域具有不可替代性，成为衡量国家科技竞争力与战略安全的重要指标。硼是能源安全的新屏障，硼基储氢材料推动氢能储运革命；硼是高端制造的关键材料，高纯硼酸作为半导

体核心原料直接影响芯片性能；硼关系农业安全，全球 70% 土壤缺使庄稼增产的硼元素；硼是半导体产业的卡脖子环节，氮化硼晶圆量产推动 3nm 芯片商用化；硼是新能源技术的突破引擎，永磁体中的钕铁硼磁体提升电机效率 30%；硼在生物医疗的颠覆性应用，硼-10 与中子反应产生的 α 粒子精准杀灭癌细胞，使癌症治愈率提升至 40%。

硼行业正处于能源转型与供应链重构的关键期，2025 年全球硼酸市场规模预计达 55 亿美元，新能源（光伏玻璃、锂电池）和半导体领域需求激增，高纯硼酸（纯度 $\geq 99.99\%$ ）增速超 20%。其增长核心驱动力主要来自于电动汽车领域，每辆电动车需 40—50 公斤硼材料用于永磁体和高强度钢。全球硼需求结构向新能源倾斜，2030 年新能源领域占比将达 65%—75%，高纯硼、氮化硼等高端材料需求激增，传统领域如玻璃（占全球硼消费 30%）、农业（硼肥需求稳定）保持基本盘。

二、地缘政治的博弈焦点

全球硼资源分布高度集中，主要为火山沉积、盐湖等矿床类型，土耳其、美国、俄罗斯、阿根廷、中国五国占全球 99.5% 储量。土耳其探明储量达 9.5 亿吨，年产量占全球总供应量的 72%，是全球最大生产国和出口国。美国储量 4800 万吨，属于火山沉积型矿床，矿石品位高达 25%。俄罗斯储量 4000 万吨，但开采技术相对落后，年产量约 40 万吨。阿根廷盐湖型硼矿资源潜力巨大，普纳地区矿床以硬硼钙石和钠硼解石为主。智利阿塔卡马盐湖的硼钠钙石矿年产量约 50

万吨，Quiborax 是主要生产商。秘鲁安第斯山脉新探明硼矿带储量约 2.8 亿吨，未来开发潜力显著。

硼在产业端也呈现出高度集中态势，土耳其国有企业 Eti Maden 和澳大利亚矿业巨头力拓 (ASX: 力拓) 控制了全球年供应量的大约 85%。头部企业主要包括：土耳其 Eti Maden 公司是全球最大硼供应商，2025 年硼肥产能将达 150 万吨，占全球 33%，垂直整合能力强，控制全球 41% 的硼酸出口；美国 FEAM 公司依托 Fort Cady 项目和 ISL 技术，定位新能源和国防市场，2025 年 Q3 有望开始收入确认；澳大利亚力拓集团 (Rio Tinto) 通过硼砂业务布局中低端市场，2024 年硼酸盐销量占全球 15%。

战略价值的不断发掘使主要经济体对硼资源的争夺骤然升温。美国 2025 年拟将硼纳入《关键矿产清单》。欧盟通过《关键原材料法案》建立 90 天硼储备，并投资 2.8 亿欧元在西班牙建设硼酸精炼厂，目标 2030 年本土产能占比达 50%。

三、供应格局的潜在变化

全球 72% 硼矿产品由土耳其控制，地缘政治风险凸显本土化生产价值。在本土化供应浪潮中，随着主要经济体政策不断加码，全球硼供应格局也在发生深刻变化，美国是其中最为重要的变量。美国目前 70% 的硼依赖进口，进口来源（2020—2023 年）结构为：土耳其占 90%，玻利维亚占 6%，其他占 4%。预计到 2030 年，美国硼材料自给率将从当前的 35% 提升至 65%。美国地质调查局 USGS 《2025 年矿物商品报

告》指出：“硼对美国陆上国防供应链、脱碳和食品安全至关重要。与许多其他重要矿物一样，向美国重新供应的努力正在进行中。”其中，最值得关注的是 FEAM、CoorsTek 和 Ioneer Ltd 三家公司。

FEAM (5E Advanced Materials) 是一家专注于硼和锂资源开发的美国公司，其位于南加州莫哈韦沙漠的 Fort Cady 项目是全球已知最大的硼矿床，资源量达 1.09 亿吨，硼酸含量 11.6% 并伴生锂资源，为多元化开发提供空间。项目被美国政府指定为关键基础设施，若硼最终被纳入 2025 年关键矿产清单，FEAM 可能获得政策补贴和优先采购资格，显著提升市场份额。项目采用原地浸出 (ISL) 技术，比传统露天开采可节省 80% 以上资本投入，环境影响更小，符合 ESG 投资趋势。FEAM 于 2024 年 4 月启动商业生产，目标在 2027 年实现年产 50 万吨硼酸和 5000 吨碳酸锂。核心产品为工业级硼酸，用于电动汽车、清洁能源、国防及农业肥料等领域。FEAM 的硼业务处于从勘探向商业化过渡的关键阶段，若 2025 年签订包销协议并落实 2.85 亿美元融资，FEAM 有望在 2027 年后在新能源和国防领域的需求爆发中占据先机。

CoorsTek 是全球领先的工程陶瓷制造商，公司在碳化硼、氮化硅等先进陶瓷领域占据全球市场主导地位，产品广泛应用于国防核心领域。其碳化硼陶瓷的硬度达莫氏 9.3 级，是制造单兵防弹插板和主战坦克复合装甲的核心材料。2024 年 2 月，美国国防部根据《国防生产法》第三章向 CoorsTek 公司授予 4960 万美元资金，用于升级戈尔登工厂的碳化硼生

产线，目标将防弹陶瓷年产量提升 40%，以满足美军“下一代班组武器”（NGSW）等新型装备需求。CoorsTek 计划在 2025 年底前完成生产线升级，并与洛克希德、雷神等军工巨头签订长期 70%新增产能供应协议。CoorsTek 氮化硼陶瓷已进入 F-35 战机发动机散热系统测试阶段，若通过认证将开辟年规模 5 亿美元的新市场。此次拨款标志着美国国防工业供应链重构的关键一步，CoorsTek 的技术突破和产能扩张将显著提升美国本土硼材料的战略自主性。

澳大利亚 Ioneer Ltd 公司正在美国内华达州推进的 Rhyolite Ridge 锂硼项目，是北美首个锂硼共生矿开发项目。项目拥有全球最大的锂硼共生矿资源，碳酸锂当量储量达 192 万吨，硼酸当量储量 768 万吨，矿山寿命延长至 95 年。项目采用酸浸工艺无需蒸发池，锂和硼的回收率分别达 97% 和 98%，用水量较传统盐湖提锂减少 50%，碳足迹显著降低。项目首期目标年产 2.06 万吨碳酸锂和 17.44 万吨硼酸，远期可满足全球 10%的锂需求和 8%的硼酸需求。该项目被拜登政府列为关键矿产供应链重构标杆项目，获美国能源部 9.96 亿美元贷款，并纳入《国防生产法》第三章支持范围，投产后将使本土锂产量增加四倍。与 FEAM 原地浸出（ISL）技术不同，Ioneer 的酸浸工艺无需大规模地下工程，资本支出较 Fort Cady 项目低 20%。其硼矿品位（0.5023%）虽低于 FEAM 的 11.6%，但通过规模化生产和副产品协同效应，硼酸边际成本可控制在 600 美元/吨，较土耳其 Eti Maden 750 美元/吨更具竞争力。项目与 Thacker Pass 锂矿（Lithium Americas）

形成互补，共同打造内华达州“锂硼走廊”。凭借技术创新、政策支持和市场协同，公司有望在 2030 年前成为全球第三大硼酸供应商(市占率 12%)和第五大锂生产商(市占率 8%)。

硼的战略意义已超越单一资源属性，成为衡量国家科技实力与产业竞争力的核心指标，以及重构全球战略版图的关键变量。其战略价值体现在：短期来看保障能源与粮食安全，降低供应链风险；中期来看支撑半导体、新能源等产业升级；长期来看定义未来技术标准，重塑全球经济格局。未来，高品位矿枯竭和环保法规趋严将推动行业向智能化、低碳化转型，盐湖资源综合利用和高纯产品开发成为关键方向。