

揭开稀有战略金属的神秘面纱——铍

中国金属矿业经济研究院 郑宏军

铍作为战略稀有金属、尖端领域的关键材料，被称为“材料之王”。凭借独特的物理化学性能，铍在航空航天、核能、电子及国防等尖端领域扮演着不可替代的角色。全球范围内，仅美国、中国和哈萨克斯坦等少数国家拥有从铍矿开采到深加工的完整产业链。美国是铍矿储量和产量的全球领先者，其Materion公司是全球最大的铍供应商，占据了世界70%的市场份额。这种高度集中的供给格局，给国际铍市场以及全球科技、军事及产业竞争带来巨大变数。

铍在材料领域的王者地位

铍是最轻的碱土金属元素，也是所有轻金属中熔点最高的金属之一，极性强易形成强化学键。铍的密度仅为铝的2/3，但刚度却是钢的4倍，是比强度（强度/密度）最高的金属之一。在热性能上，铍高熔点（1287℃）、高热导率（约200 W/m·K）、低热膨胀系数及耐热冲击性能极佳；在核性能上，铍对 neutron 透明（低吸收截面）、高散射截面，是核反应堆理想的反射层和慢化剂材料；在电学性能上，铍具备非磁性和高导电性。同时铍具备X射线透过性，对低能X射线透过率极高，是医疗和安检设备窗口的关键材料。铍元素在加工上的挑战主要来自于其毒性、脆性大，加工难度高，且铍粉尘有剧毒，需严格防护。由于铍的毒性，已经制定了各种国际、国家层面关

于铍在空气、水和其他介质中的指导方针和法规。

铍在材料上的王者地位，体现在其应用聚焦于高端制造与国防尖端装备。在航空航天与国防领域，铍用量占比达60-70%，主要应用于高精度惯性导航系统（陀螺仪）、卫星光学系统支架、战斗机雷达罩、导弹制导部件（铍铝合金）；因散热好、耐磨及轻量化，铍还被应用于航空制动器的铍铜合金刹车片。在核能与粒子物理领域，铍用量占比约为15-20%，主要用于核反应堆反射层、中子源靶件、粒子加速器靶窗、束流管道部件及核聚变装置关键部件。在电子通信领域，铍用量占比约为10-15%，主要用于高导热铍氧陶瓷基板、高功率半导体器件、微波射频组件等。在工业与医疗领域，铍用量约为5-10%，主要用于X射线设备窗口、CT扫描仪旋转阳极支撑件及石油地质钻探用高温传感器外壳、精密仪器仪表部件和高级音响设备的振膜。

基于铍的重大战略价值，美国政府从2002年起将其设定为美国国防储备中心储备矿种，欧盟2010年将铍等共14类矿产列为欧盟最关键的原材料。铍产业链中主要分为铍精矿、中间产品氢氧化铍、和终端产品（金属铍、铍合金、氧化铍）。铍精矿（绿柱石、羟硅铍石）是铍生产矿物原料，铍化工产品氢氧化铍是金属铍等下游产品的中间产品。最终氢氧化铍根据不同用途来生产金属铍、铍合金和氧化铍。由于铍的成本比其他材料的成本要高，因此它被用于其性能至关重要的应用中。在某些应用中，高强度铝、热解石墨、碳化硅、钢或钛的等级可以代替铍金属或铍复合材料。含镍和硅、锡、

钛、其他合金元素或磷青铜合金（铜锡磷）可以取代铍铜合金，但这些取代可导致性能大大下降。

铍供应的高度战略敏感性

全球铍资源的分布高度集中，含铍矿物多产于共伴生矿床，与锂、钽、铌伴（共）生占48%，与稀土矿伴生占27%，与钨共（伴）生占20%。世界上已确定的铍资源估计已超过10万吨，这些资源中约60%在美国境内。犹他州的斯波尔山区、内华达州的麦卡洛比特地区、南达科他州的布莱克山地区、德克萨斯州的塞拉布兰卡地区、阿拉斯加的苏厄德佩宁苏地区以及犹他州的金山地区占了美国铍资源储量的大部分。主要含铍矿物有绿柱石（含BeO 10-14%）和羟硅铍石（含BeO更高）等，其中绿柱石是最具商业价值的含铍矿物，巴西绿柱石储量居全球首位。羟硅铍石是美国的主要提铍矿物，资源储量全球第一。中国、巴西、俄罗斯、印度、马达加斯加等国也有铍资源分布。

铍提取工艺复杂，涉及选矿、煅烧、酸溶、萃取、还原、熔炼等步骤，技术门槛高，环保要求严格（处理含氟、放射性副产品）。全球铍矿产量从2017年的210吨增长至2024年的364吨，年均增速6.6%，呈现出一定的增长趋势。美国、巴西和中国是主要生产国，2024年三国铍产量分别占全球总产量的49%、22% 和21%。铍加工（金属、合金、氧化物生产）环节被少数公司高度垄断，主要包括：美国Materion Corporation（原Brush Wellman）是全球绝对龙头，拥有从矿山到高端合金制品的完整垂直产业链；哈萨克斯坦乌尔巴

冶金厂（Ulba Metallurgical Plant）是世界第二大铍生产商；日本NGK公司是世界上最大的氧化铍进口商和铍铜生产商之一，但不具备铍的冶炼能力，主要依赖进口资源。

全球铍产量分布（单位：吨）

国别	产量		储量
	2023	2024	
美国	185	180	美国有很少的绿柱石，可以从伟晶岩中分选。犹他州山区的浅成热液矿床是重要资源区，经验证的和犹他州可能的伯特兰矿储量总计约为19000吨铍含量。没有世界铍储量数据。
巴西	40	80	
中国	74	77	
马达加斯加	1	1	
莫桑比克	23	24	
卢旺达	1	1	
乌干达	1	1	
总量	325	360	

来源：USGS（2025）

从供应链动态和政策导向看，美国铍进口呈现“总量微增、结构优化”特点。美国地调局（USGS）2025年1月发布的《矿产商品摘要》披露，美国2024年铍的表观消费量为170吨，大多数纯合金金属铍和铍复合材料产品被用于国防和科学应用。进口主要来源为（2020-2023年）：哈萨克斯坦39%；拉脱维亚23%；日本17%；加拿大6%；其他15%。美国国防部2024年预算中铍被列为“关键国防材料”，用于导弹制导系统、卫星结构件等。如F-35战斗机的雷达系统对铍窗口组件的年需求量达3.2吨，全部依赖进口。2024年12月以来，美

国援引《国防生产法》加速推动国内铍产能建设，计划2027年前将犹他州Spor Mountain矿区铍产量提升至200吨/年。同时与加拿大、澳大利亚等国建立替代供应链，如加拿大计划从2025年起通过魁北克省Montviel铍矿每年向美国供应50吨铍精矿。

未来5-10年，铍行业将经历“能源革命驱动需求、政策技术双轮突围、资源循环重塑格局”的关键变革期。随着航空航天、半导体、新能源汽车等高端领域的持续发展特别是核聚变领域，将为铍行业带来巨大的市场空间并成为核心增长极，而资源保障、技术创新、国际竞争将是决定行业格局的胜负手。