

国内硼（B）同位素市场研究报告



中国核学会

2024. 12

目录

一、基本信息	1
二、重点厂商	1
1. 大连博恩坦科技有限公司	1
2. 辽宁鸿昊化学工业股份有限公司	2
3. 山东成武易信环保科技有限公司	3
4. 甘肃维尔沃科技有限公司	4
三、重大突破	4
四、产品应用	6
1. 核医疗方面	6
2. 核工业	9
3. 国防工业	10

中国核学会版权所有

一、基本信息

硼（B）共有 14 个已知同位素，质量数介于 7-19 之间，其中有 2 个是稳定的，其他都具有放射性。天然存在的硼同位素有 2 个，分别是 ^{10}B 和 ^{11}B ，皆为稳定同位素。 ^{10}B （EBA）具有优越的热中子吸收性能，作为可溶性化学补偿控制剂广泛应用于压水堆。 ^{10}B 酸及其下游产品作为军民两用重要战略物资，被广泛用作核反应堆反应速率控制及辐射屏蔽的核心材料，目前仅有美国、格鲁吉亚能够实现工业化生产，国内仍通过专项进口解决核行业的应用需求，存在“卡脖子”风险。

统计显示，2023 年全球 ^{10}B 市场规模 3.7 亿元，预计 2030 年市场规模达到 20.7 亿元，2024-2030 年年均复合增长率 28.5%。

二、重点厂商

在中国， ^{10}B （Boron-10）产品的核心厂商包括辽宁鸿昊化学、大连博恩坦科技等，前两大厂商占有中国大约 85% 的份额。产品类型而言， ^{10}B 酸是最大的细分，占有大约 88% 的份额。同时，就下游来说，核工业是最大的下游领域，占有约 81% 的份额。

1. 大连博恩坦科技有限公司

公司成立于 2007 年 11 月，主要定向于稳定化学同位素的研究开发、生产和销售。经营理念是：“崇尚科技、锐意开拓、以人为本、产业报国”。公司科研力量雄厚，管理经

验丰富，其中高级工程师 4 人、本科以上学历的技术人员 15 人，生产岗位的工作人员都有多年的化工操作经验。公司从 2007 年 2 月开始，投入 2,000 余万元，在短短的一年时间内就实现了硼同位素分离的工业化生产。2008 年 6 月，经中国原子能科学研究院分析测试中心的检测，硼 10 酸产品最高丰度已经达到 96.07%；2009 年 2 月，硼 10 粉产品最高丰度已经达到 96.5%，现在硼 10 同位素产品已达工业化生产规模，产量、质量、技术水平在国内已经处于领先地位。2010 年 11 月份，公司加入了“快堆产业化技术创新战略联盟”是联盟理事单位之一，主要承担快堆控制棒组件的国产化任务。公司目前的主要客户包括：中国原子能科学研究院、中核包头核燃料元件股份有限公司、中广核工程有限公司、中国工程物理研究院、中国南方工业集团、清华大学、北京有色金属研究总院、南京航空航天大学、天津工业大学功能纤维所等。

2. 辽宁鸿昊化学工业股份有限公司

公司成立于 2010 年，注册资本 1 亿元，集研发、生产和销售于一体的综合型高新技术企业，位于辽宁辽阳高新技术产业开发区，现有员工 100 人。拥有发明专利 6 项，实用新型专利 22 项。公司自创建以来一直致力于硼同位素的研究开发，2017 年通过了省级新产品（新技术）鉴定，是工业企业知识产权运用试点单位、辽宁省省级企业技术创新中心、辽宁省省级企业技术中心、辽宁省‘专精特新’中小企

业及辽宁省“带土移植”榜单企业，通过了 ISO 三体系认证。曾获得第五届中国国际新材料产业博览会金奖。

公司专注研究硼同位素产品十年，企业依靠自主研发，最终在 2016 年实现了硼-10 酸产品的连续稳定生产，成为国内唯一一家可以批量生产高丰度硼-10 酸的企业。公司现有年产 7 吨硼-10 酸生产线，产品已广泛应用于核工业、靶向医疗等产业，产品质量标准达到国际同类产品水平，使我国成为继美国、日本、格鲁吉亚之后，世界上第四个能够自主生产高品质硼-10 化学品的国家。目前，公司年产 300 吨核级硼-10 酸高科技新材料项目进展顺利，已经完成立项审批，预计将于六月开工建设。

公司历经十年自主研发，攻克化学交换法精馏富集硼-10 酸关键技术，打通所有工艺。在此基础上，自主设计建设了大小塔相结合富有特色的工业化生产线（丰度 95% 以上产品年产能 7 吨）。产线具有国内唯一吨级量产能力，实现国产技术突破，打破国外的技术封锁与市场垄断。公司可定制化生产常规硼-10 酸、医用硼-10 酸及核电用硼-10 酸，产品经国家权威机构检测硼-10 丰度 $\geq 99\%$ ，纯度 $\geq 99.9\%$ ，杂质含量可降至 ppm 级，产品性能达到国内领先国际先进水平。

3. 山东成武易信环保科技有限公司

公司成功攻克了实现 10B 和 11B 同位素分离技术难关，研发出高丰度核级硼-10 酸和高纯度三氟化硼 11 电子特气，打破国际垄断，以独特工艺填补我国高纯度三氟化硼 11 电

子级特气 5N (99.999%) 以上的国内空白，为我国国防、核工业、核医疗半导体制造业等提供关键“卡脖子”材料。

4. 甘肃维尔沃科技有限公司

甘肃维尔沃科技有限公司注册成立于 2019 年 7 月，注册地甘肃省张掖市民乐县生态工业园区，注册资本 3000 万元，规划总占地面积约为 60 亩，主要开发的两大主打产品为 11BF3 电子特气和富集硼-10 酸，可年产高丰度富集硼 10 酸 20 吨，11BF3 电子特气 80 吨，产品主要应用于国防工业、核工业、核医疗、半导体制造业。

2021 年，公司投资建设年产能 100 吨的稳定硼同位素系列新材料项目采用国际、国内先进工艺，该项目已经于 2024 年初正式建成投产，的建设不仅可以促进我国新兴稳定硼同位素产业的快速发展，还可有效满足当前市场需求，促进我国低碳环保业及相关产业链快速发展，可获得较好的环境效益、经济效益及带动区域经济的发展具有重要意义。

硼 10 酸是慢中子的好吸收剂，具有很强防辐射和吸收中子的功能，可用于核反应堆中的中子减速剂，起到控制反应堆运行速度，提升核电站的运行安全性和灵活性，优化核电站的运行周期。

三、重大突破

2024 年 10 月 8 日，中核集团中国原子能科学研究院的科研团队宣布了一个振奋人心的消息：他们成功打通了低温精馏法分离硼-10 同位素的全套工艺流程，并稳定产出

了丰度达 70%的富集硼-10 产品。这一成就标志着我国在硼-10 同位素分离技术上实现了完全自主，拥有了自己的知识产权。

硼-10，这个在元素周期表中不起眼的元素，却有着非凡的作用。它具有卓越的中子吸收特性，是核电站不可或缺的安全屏障。在核电站中，硼-10 酸的使用可以大幅减少硼酸的整体用量，有效降低硼酸结晶的风险，减缓对冷却系统的腐蚀，从而提高核电站运行的安全性和经济性。

低温精馏法是一种先进的同位素分离技术，它利用不同同位素在物理性质上的微小差异，通过一系列复杂的物理过程实现分离。中国工程院院士、中核集团首席科学家胡石林带领团队，经过多年的不懈努力和集智攻关，创新性地研发了一整套先进的硼-10 同位素分离工艺。他们成功建立了低温精馏法制备硼-10 的全流程台架装置，并实现了连续稳定运行。

这一技术的成功研发，不仅提升了我国硼同位素规模化生产水平，更为我国核电事业的安全有序发展提供了有力保障。在全球对清洁能源和核能安全性需求日益增加的今天，这一技术的应用将极大地推动相关产业的发展，尤其是在核能、材料和医疗等领域。

掌握低温精馏法分离硼-10 同位素的技术，意味着我国在这一领域的技术独立性得到了增强，减少了对外部技术的依赖。这一技术的成功应用将推动相关产业的发展，尤其是

在核能、材料和医疗等领域。富集硼-10 产品的稳定生产将为这些领域提供更为可靠的原材料。

随着这一技术的突破，我们可以预见，中国在核能领域的未来将更加光明。这不仅是科技的胜利，更是国家实力的体现。让我们期待，随着更多技术的突破，中国将在世界科技舞台上发挥更大的作用。

四、产品应用

1. 核医疗方面

硼-10 酸应用于硼中子俘获治疗 (BORON NEUTRON CAPTURE THERAPY, BNCT) 技术, 制备成含硼的靶向高效药剂, 大量用于肿瘤治疗。在中子束照射下, 硼-10 酸离子化产生的 ^{10}B 和 ^1H 粒子足以杀死肿瘤细胞, 且对正常组织伤害非常小, 几乎不产生副作用。

BNCT 的工作原理是: 首先给病人注射一种含有同位素硼-10 的肿瘤靶向药物, 随后用热中子对肿瘤病灶进行照射。中子穿透人体组织后被硼-10 俘获并释放出高能粒子 α 粒子和 ^7Li 粒子, 对肿瘤组织进行高效杀伤。

BNCT 的历史可以追溯到 20 世纪, 最初通过核反应堆产生中子束流。2020 年, 世界上第一台加速器 BNCT 设备获得日本厚生劳动省批准, 开始对患者治疗, 标志着 BNCT 正式进入临床应用。近年来, BNCT 在头颈部癌治疗中取得了显著的疗效, 客观缓解率超过 80%。

目前, BNCT 主要用于治疗局部晚期或复发性头颈癌, 其

两年随访结果显示客观缓解率高达 80.5%，无进展生存率和总生存率也较为理想。此外，BNCT 对正常组织的损伤较小，具有高度选择性，能够有效地保护周围正常组织。

硼-10 酸在癌症治疗中有着重要作用，医学上有一种新的放疗方法称为硼中子俘获治癌法 (BNCT)。这种方法对黑色素瘤和神经胶质瘤的治疗效果较好，而且治疗成本相对较低。这种药物对于癌细胞具有选择性，药物在癌细胞中浓度比正常细胞及血液中要高出数倍，中子主要与 BNCT 药物中的靶核素 (如硼-10 同位素) 发生核反应，产生对癌细胞杀伤作用的次级辐射 α 射线及反冲粒子 Li，该法靶向性强、强度高，正常细胞及血液中因药物浓度低，中子照射后受到损伤比较小，易于修复。

因此，BNCT 法比常规放疗的副作用小；同时，硼-10 酸更容易进入人体组织且对人体的伤害较小，因而临床应用效果很好。在癌症治疗方面，目前国内靶向机已有 24 台，并将逐年大量增加。每台靶向机年消耗硼-10 酸 400 公斤，所以硼-10 酸在医疗行业上的发展前景可观。

尽管 BNCT 具有显著的治疗效果和低副作用，但其推广仍面临挑战，包括中子源的制备和提供、硼药物的优化以及成像技术的开发等未来，随着技术的进步和优化，BNCT 有望成为癌症治疗的重要手段之一。

中硼医疗是国内较早开拓加速器硼中子治疗 (AB-BNCT) 产业的科技型企业，致力于 BNCT 治疗系统及配套软件、药

物的自主开发，面向全球提供包括自主研发的医疗设备、配套药物、软件产品在内的一站式 BNCT 完全解决方案。其自主研发的 AB-BNCT 治疗系统（极锋刀® NeuPex），BNCT 专用治疗计划系统（蝠鲼® NeuMANTA）是“十三五”期间科技部重点研发计划——“数字诊疗装备研发”专项重点支持与转化的成果，也是我国最早在医院内装机和应用于临床实践的加速器 BNCT 治疗系统。目前，中硼医疗先后与厦门、意大利、南京、上海等地区达成共建 BNCT 中心合作意向，推动 BNCT 应用普及。

中硼医疗明确制订药械合一的战略发展规划，成立子公司中硼生物，专注于含硼药物的研发，并于 2021 年在厦门弘爱医院 BNCT 中心顺利完成其第一个 BNCT 专用含硼药物 ZP001、BPA 在 GLP、GLP-Like 条件下的首轮三批次临床前动物实验，且该药物由东诚药业承担其药学研究部分，米度生物承担其生物学研究部分。中硼生物的 ZP001-BPA 化学纯与硼-10 丰度都达到 99%以上，且对环境的耐受性更好，且采用普通西林瓶包装，运输成本较低。

高晋生物于 2019 年成立，公司位于重庆高新区科学城，自成立以来一直致力于 BNCT 硼药研究。公司依托以暨南大学药学院蔡绍晖教授、中山大学药学院杜军教授等知名专家学者领衔的技术研发队伍在 2018 年/2019 年分别获得两项 BNCT 硼药技术专利。高晋生物在研的 BPA 硼药产品，代号“GJB01”，主要针对黑色素瘤、脑癌、神经胶质瘤等恶性

肿瘤，整体指标与日本上市的 Steboronine 药品完全一致，且性价比更高，已完成原料药和制剂药学研究，并完成中试规模制备工艺验证，后续可用于中国各大 BNCT 中子治疗装置的研发机构开展相关研究实验和临床应用，成为国内首个上市 BNCT 抗癌硼药。

2. 核工业

目前，传统化石能源如石油、煤炭等日趋匮乏，新型替代能源的研究开发迫在眉睫。核能是可持续发展的能源，核能应用作为缓和世界能源危机的一种经济有效的措施，对我国能源工业的发展尤其重要。

其中核电站有着一个极其重要的地位，全世界在建设的以及计划建设的核电站有上百座。十三个五年计划中，国家拟每年新建 10-12 座核电站；新建核电站每台机组，直接消耗硼-10 酸 100 吨，建成后每座核电站年消耗硼-10 酸 13 吨。当前，随着对核电安全性要求的进一步提高，核电站中的第二代、第三代核电技术已经成为主流。

出于安全性、经济性的考虑，在第二代、第三代核电技术研发设计过程中均采用高丰度硼-10 酸代替自然丰度的硼元素，与自然丰度的硼元素相比较，高丰度硼-10 同位素可以使核反应操作控制达到较高水平。

随着核电站的大力发展，对硼-10 酸的需求量越来越大，质量要求也越来越高。但由于国内硼-10 酸一直没有实现工业化生产，进口价格又非常昂贵，因而公司研发的硼同位素

的分离已精致技术无疑有着极其重要的意义。

3. 国防工业

基于硼-10 同位素有较好的中子吸收特性，可用来做中子吸收剂和防辐射屏蔽材料，掺加了硼-10 同位素的军事防护的材料，可以用来制造防护中子弹的军用服装等用品，大量现代武器已经采用核动力驱动，如核、核动力航母等，其核反应过程都需要硼酸来控制，如果采用富集硼-10 同位素的硼酸，可以缩小储存硼酸所用的空间并减轻重量，多装载一些武器弹药和物资，增强其作战能力；

通过冶炼技术，在金属材料中融入硼-10 同位素而制成的合金钢，硬度高、重量轻，能大大减轻舰船的负荷，提高舰船的作战能力。但受制于原料硼-10 酸的制约，其发展速度缓慢，所以在国防应用领域中，其前景广阔。