

战略性非金属矿产

全球硼矿资源现状与利用趋势^{*}

张福祥¹, 赵莎², 刘卓¹, 荆海鹏³, 张万益⁴, 董延涛⁴, 王丰翔¹

1. 河北地质大学 区域地质与成矿作用重点实验室, 河北 石家庄 050031;
2. 河北地质职工大学地质工勘系, 河北 石家庄 050081;
3. 秦皇岛市海港区自然资源和规划局, 河北 秦皇岛 066000;
4. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037

中图分类号: TD971⁺.9 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2019)06-0142-10
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2019.06.019

摘要 据统计 2017 年我国硼矿石消费全球第一, 市场需求呈不断上升趋势, 在当前贸易保护主义和单边主义有所抬头的情况下, 进行全球硼矿资源现状与利用趋势的总结与研究, 对我国矿产资源安全有着重要的意义。通过对全球硼资源的勘查和开发利用成果进行了整理和分析, 对我国硼工业未来发展趋势做出预测。研究表明, 我国是世界硼资源储量大国, 已经初步建立了完整的硼产业体系; 然而, 我国硼矿勘查程度不高, 开发利用难度大, 可供持续开发利用的后备资源不足, 尤其是优质硼资源相对缺乏, 对外依存度高。因此, 加强火山沉积型高品质硼矿调查评价与勘查工作, 促进我国硼矿产业升级、优化开发利用结构与布局、强化技术创新, 推进资源综合利用、密切国际合作促进高品质硼矿原材料的进口, 保障硼资源供给。

关键词 硼矿; 战略性矿产资源; 资源现状; 全球资源

硼[Boron(B)]地壳元素丰度 0.001%, 属于第Ⅲ主族唯一的非金属元素(原子序数为 5, 相对质量 10.811), 熔点和沸点分别为 2 076 ℃ 和 3 927 ℃, 硼的晶形状态下(25 ℃)密度为 2.35 g/cm³。硼由两种稳定的同位素¹⁰B 和¹¹B 组成,¹⁰B 和¹¹B 在自然界存在的占比分别为 19.1% ~ 20.3% 和 79.7% ~ 80.9%。硼是典型的分散元素和亲石元素, 广泛分布于岩石和水中, 岩石圈中平均含量 12 × 10⁻⁶, 硼的化学性质比较活泼, 对氧的亲合力强, 形成各种硼酸盐和含硼硅铝酸盐矿物, 能与周期表中大多数电正性较大的元素形成二元化合物, 即金属硼化物。单质硼有无定形和结晶形两种形态, 无定形硼是棕色粉末, 性能活泼, 结晶硼是银黑色, 比较稳定, 极硬(莫氏硬度约 9.5, 仅次于金刚石)。硼不溶于水, 粉末状的硼能溶于沸硝酸和硫酸, 以及大多数熔融的金属如铜、铁、锰、铝和钙^[1-2]。

硼元素不仅是高等生物所必需的微量营养素, 其独特物理特性使其具有质轻高硬、阻燃耐热、耐磨催化、无磁性等一系列优良的物化特性, 可用作: (1) 耐热玻璃、化学(光学)仪器玻璃、温度计玻璃等特种玻璃的耐热材料; (2) 具有改善金属基体表面耐磨、抗腐等性能, 用于提高机械强度的材料; (3) 磁性材料和超导材料的添加剂; (4) 吸收红外线, 有助于提高能源效率; (5) 农作物必需的微量元素, 用于浸种、制肥, 也可配制防治病虫害的安全农药, 不仅应用于传统农业、工业中的冶炼硼钢、陶瓷、洗涤剂 and 玻璃等传统行业领域, 而且也可应用于生物医药、航空航天、超导线材等高端科技领域(表 1)。需要指出的是, 近年来硼元素将应用于新一代锂硫电池、高效晶硅太阳能电池^[3-4]。

全球含硼矿物 150 多种, 工业利用的约 20 余种, 单质硼在自然界几乎不存在, 硼主要以化合物等形式

^{*} 收稿日期: 2019-10-11

基金项目: 中国地质调查局项目“国家地质调查成果集成与规划”(No: DD20190464)、“境外大型矿产资源基地及资源潜力评价”(No: DD20190437)、河北地质大学博士科研启动基金(No: BQ2018032)、河北地质大学区域地质与成矿作用重点实验室基金联合资助

作者简介: 张福祥(1982-), 男, 讲师, 构造地质学专业。从事区域构造控矿研究。E-mail: sdzfx@hgu.edu.cn。

通信作者: 王丰翔(1984-), 男, 助理研究员, 矿产勘查专业, 从事大型-超大型矿床研究。E-mail: wfx0316@163.com。

表 1 硼产品的分类和应用

Table 1 Classification and applications of boron products

硼产品	特性及作用	应用及领域
硼纤维(硼丝)	高强度,高拉伸、轻质材料	航空航天结构中复合材料的组成部分、体育用品、钨灯丝等
硼酸	改善玻璃制品的耐热、透明性能,提高机械强度,缩短熔融时间	玻璃(光学玻璃、耐酸玻璃、耐热玻璃、绝缘材料用玻璃纤维)工业、焊接焊剂、轻微烧伤或割伤的防腐剂、杀虫剂等
硼化镁	常规超导体	包括超导磁铁、电力传输线及灵敏的磁场侦测器
氧化硼	已知的最难结晶的物质之一	制取其他硼化合物(如碳化硼)的原料;制造硼硅酸盐玻璃的原料;有机合成中的酸性催化剂;搪瓷、陶瓷釉料的助熔剂;玻璃纤维生产过程中的添加剂;制造化合物半导体(如硼化镓、磷化镓、砷化镓)时的液封剂等
硼烷	引火特性	火箭的高能燃料
碳化硼	极硬的陶瓷材料,吸收大量的中子而不会形成任何放射性同位素	坦克车的装甲、避弹衣、核反应堆的控制棒

存在。根据含硼矿物的化学组成,可将其分为三类:(1)硼硅酸盐矿物,以硅钙硼石和赛黄晶为代表,其中硅钙硼石具有工业价值;(2)硼铝硅酸盐矿物,主要以电气石和斧石在自然界产出,该类矿物基本不具有工业价值;(3)硼酸盐矿物,典型矿物主要有天然硼砂、遂安石、硼镁石、硬硼钙石、天然硼酸、钠硼解石和柱硼镁石等,这些矿物占全球工业化的硼酸盐矿物 90% 以上。

综上所述,由于其特有的物理化学性质,硼作为一种重要的矿产资源,吸引着经济地质学家对其研究。2009 年日本将硼定义为优先考虑的战略矿产,2014 年欧盟把硼酸盐加入关键材料清单,陈其慎、王高尚、张新安、张迎新等研究认为硼属于我国战略性、高技术矿产资源^[5],国内很多学者开展了全球硼矿资源分布研究,归纳了硼矿资源的分类、时空分布特点^[2,6-7]。此外,我国地质学家对中国硼矿进行矿产资源潜力评价,并划分了硼矿成矿区带和矿集区^[1],编制完成了《中国硼资源国情调查报告》,介绍了我国硼资源勘查现状,论证论述我国硼资源和开发利用状况,分析了资源保障能力和开发利用趋势^[8-11]。在工业利用方面,部分学者对我国硼产品市场和硼产业链结构进行研究,剖析了国内外硼产业链差距,提出了产业结构调整的建议^[12-14]。

在当前贸易保护主义和单边主义抬头的大形势下,加强全球硼资源资源现状与利用趋势研究,可为制定关键矿产产业政策提供理论依据,从而促进硼资源的管理。因此,本文在整理统计全球及国内硼矿勘查开发、供应消费等方面的数据,研究判断全球硼产业发展形势和供需格局,深入分析世界和我国硼资源的供应形势,为我国合理开发和利用硼矿产资源提供资料技术支撑,并为我国硼产业链提出合理化建议。

1 全球硼资源分布特征

1.1 硼矿储量分布

据美国地质调查局统计数据^[15],2017 年全球硼

矿储量达到 11 亿 t(由于美国数据保密,且各国提交储量口径不一致,数值为估算值),2010—2018 年均储量增长 24%,储量保障年限达 100 年,全球硼矿资源的分布比较集中,绝大部分集中在土耳其、中国、美国、俄罗斯、智利、秘鲁、阿根廷和玻利维亚。其中土耳其硼矿储量占比约 82.7%(9.5 亿 t),我国硼矿储量占比约 6.8%(0.78 亿 t,中国矿产资源报告 2018),位居第二(表 2)。

表 2 全球主要产硼国硼矿储量(以 B₂O₃ 当量计算)
Table 2 Reserves of boron resources in major boron - producing countries in the world

国家	储量/万 t	比例/%
土耳其	95 000	82.67
中国	7 817	6.80
美国	4 000	3.48
俄罗斯	4 000	3.48
智利	3 500	3.05
秘鲁	400	0.35
阿根廷	200	0.17

全球硼矿集中分布在环太平洋与地中海构造带内,从成因上分类,全球硼矿床主要有四个类型^[2]:(1)矽卡岩型硼矿床。主要产于俄罗斯乌拉尔、阿尔丹、外贝加尔等地,多分布在古老克拉通(西伯利亚和我国华北)内部,以俄罗斯约扎诺耶为代表,成矿时代跨度较大,中生代和前寒武纪均有分布(表 3 和图 1)。(2)沉积变质型硼矿床。主要集中在我国吉林、辽宁一带,典型矿床为辽宁凤城翁泉城硼矿床、辽宁营口后仙峪硼矿床。(3)火山沉积型硼矿床。该类矿床是世界最主要的硼矿床类型,在成因上与构造—火山活动密切相关,以土耳其安托利亚高原硼矿区最为典型,其中超大型矿床有凯斯特莱克矿床、埃梅特矿、科尔卡矿床,成矿时代主要分布在古近纪—新近纪。(4)现代盐湖型硼。全球探明该类硼矿床 174 个,数量最多。其主要分布在中国、美

国、智利、秘鲁、阿根廷等国,成矿时代均为第四纪,典型矿床有中国察尔汗盐湖、美国西尔斯湖、智利安托法加斯塔省等。

表 3 硼矿主要类型及典型矿床
Table 3 The table showing main types and typical boron deposits in the world

成矿时代	主要矿物	矿床规模	代表性矿床
火山成因矿床(火山沉积型)			
古近纪—新近纪	钠硼解石和硬硼钙石	超大型	土耳其 凯斯特莱克
古近纪—新近纪	钠硼解石和硬硼钙石	超大型	土耳其 埃梅特
古近纪—新近纪	硼砂	超大型	土耳其 科尔卡
古近纪—新近纪	硬硼钙石和钠硼解石	超大型	土耳其 比加第奇
古近纪—新近纪	十水硼砂	超大型	美国 克拉默
古近纪—新近纪	硬硼钙石	超大型	美国 死谷
蒸发沉积矿床(现代盐湖型)			
第四纪	硼镁石、钠硼解石	大型	中国 察尔汗盐湖
第四纪	卤水矿	小型	美国 西尔斯湖
第四纪	钠硼解石	大型	智利 安托法加斯塔省
第四纪	钠硼解石	大型	智利 塔拉帕卡省
第四纪	钠硼解石	小型	秘鲁 阿雷基帕省
第四纪	十水硼砂和钠硼解石	大型	阿根廷 廷卡劳
接触交代(矽卡岩型)			
中生代	硼镁铁矿	大型	俄罗斯 塔约扎诺耶
沉积变质型			
前寒武纪	硼镁石、遂安石、硼镁铁矿	大型	吉林 高台沟
前寒武纪	硼镁石、遂安石、硼镁铁矿	大型	辽宁 翁泉沟
前寒武纪	硼镁石、遂安石、硼镁铁矿	大型	辽宁 营口后仙峪

表 4 全球主要硼矿开发公司概况(以 B₂O₃ 当量计算)
Table 4 Major Boron Ore Development Companies in the World

国家	公司名称	开发区域	主要项目	主要开采矿物	年产量/万 t
土耳其	埃蒂矿山集团	土耳其的比加迪克(巴勒克西尔省)、埃梅特(屈塔希亚省)、科斯特里克(布尔萨省)	KIRKA 项目、Emet 项目、比加第奇项目、Bandirma 项目	硬硼钙石、钠硼解石	91.4 (2013 年)
美国	美国硼砂公司	美国加利福尼亚莫哈韦沙漠	莫哈维沙漠项目	硼酸盐矿物	49.5 (2013 年)
美国	西尔斯谷矿业公司	美国加利福尼亚州西尔斯湖	西尔斯湖项目	硼酸盐矿物	未查阅到公开数据
阿根廷	阿根廷硼砂公司	阿根廷萨尔塔省廷卡拉玉矿床与胡胡伊省的克哈瑞盐湖	廷卡拉玉项目、克哈瑞盐湖项目	硬硼酸钙石、水氟硼酸、四水硼砂、粗硼砂和硼钠钙石	15 (2011 年)
阿根廷	圣丽塔矿物公司	阿根廷卡塔马卡省矿山	安第斯地区盐湖项目	硬硼酸钙石、水氟硼酸、四水硼砂、粗硼砂和硼钠钙石	10 (2012 年)
智利	吉米卡硼砂公司	智利安托法加斯塔	Surire 项目	硬硼酸钙石	58.1(2013 年)
秘鲁	INKABOR 公司	秘鲁阿雷基帕	里奥塞科项目、奥肯多项目、奥鲁罗项目	硼酸盐矿物	未查阅到公开数据
俄罗斯	博尔化工公司	东南亚滨海边疆区的 Dalnegorsk	达利涅戈尔斯硼矿项目	硅钙硼石	8.1(2012 年)

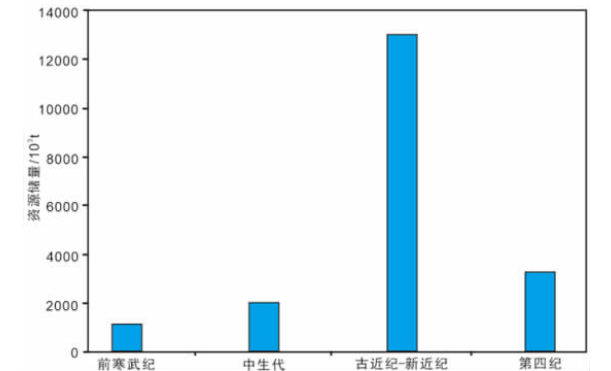


图 1 全球硼矿床主要成矿时代及资源量分布图(李空, 2016)
Fig. 1 Major metallogenic epochs and resource distribution maps of global boron deposits(Li, 2016)

1.2 主要矿业企业

1.2.1 国际硼资源供应企业

目前全球硼矿矿业企业主要集中在土耳其、美国,其次为阿根廷、智利、秘鲁、俄罗斯和中国等,具有全球影响的矿业公司有土耳其的埃蒂矿山集团、美国硼砂公司(力拓工业子公司)、阿根廷圣丽塔公司和智利奎米卡硼砂公司等大型公司^[2]。其中,土耳其的埃蒂矿山集团是全球最大的硼矿资源开采和生产企业,每年生产的硼产量达到 90 万 t,占全球总产量的 30% ~ 40%,产品有硼酸、硼砂、氧化硼等精矿产品,主要拥有矿山为比加迪克(巴勒克西尔省)、埃梅特(屈塔希亚省)和何科斯特里克(布尔萨省)(表 4)。

美国硼砂公司是英国力拓集团的全资子公司之一,主要经营硼酸盐产品的开采和加工。拥有著名的

超大型硼酸盐矿床—美国加利福尼亚州的克拉默矿床和阿根廷廷卡劳矿床。硼产品的年产量达到全球总量的三分之一。公司拥有从矿石开采、加工、硼酸生产、运输一体的产能结构,年产能达 56.5 万 t。

智利奎米卡(Quimica)公司是世界上产量最大的专业化硼肥生产企业、世界上第二大硼酸生产企业,主要进行矿石的加工,用来生产硼酸和农用产品,硼矿资源丰富,储量占世界第三位,主要以苏里莱(Surire)干盐湖的钠硼解石为原料进行生产。苏里莱干盐湖是世界最大的钠硼解石矿床,年产能约为 150 万 t。

1.2.2 国内主要硼矿企业

据统计 2016 年,我国共有硼矿山 63 座,其中大型

矿山 3 座,中型矿山 6 座,小型矿山 54 座,年产量 61.65 万 t(原矿),工业总产值 1.1 亿元。经过多年的发展,已基本建立起硼矿开采、加工、精细化工及含硼新型材料、生产等完整的工业体系。全国共有硼酸企业 40 余家,产地包括辽宁、青海、山东、天津、新疆、四川等地(表 5)。

相较于世界硼矿企业,我国硼砂和硼酸生产企业产能规模偏小。硼砂行业中产能≥10 万 t 的企业占比仅占 16%。硼酸行业中产能超过 5 万 t 的企业占比仅 10 %^[13],硼矿企业主要集中在辽宁省等地区,青海、西藏硼矿开发正处于兴起阶段^[14]。

表 5 2017 部分硼酸生产企业情况(施春辉,2018)
Table 5 Situation of some boric acid manufacturers in 2017

矿业公司	产能/万 t	主要原料	生产工艺	竞争优势
辽宁省大石桥市贸隆矿业有 限公司	3	硼镁矿石	硝酸法	自有矿山
泰誉威(天津)新材料科技有 限公司	2	进口矿石	硝酸法	
青海中信国安科技发展有 限公司	1	提锂副产粗硼酸		
淄博义弘科技化工有 限公司	5	进口五水硼砂	硝酸法	硼酸及副产硝酸钠本地消耗
山东中纤越弘化工科技有 限公司	5	进口五水硼砂	硝酸法	硼酸及副产硝酸钠本地消耗
青海中天硼锂矿业有 限公司	5	硼镁矿石	硝酸法	自有矿山,硫酸价格低
青海利亚达化工有 限公司	1	西藏硼镁矿	硝酸法	
辽宁凤城化工集团有 限公司	5	进口硬硼钙石	硝酸法	
辽宁宽甸利晶化工 厂	1.5	硼镁矿石	硝酸法	自用
辽宁金玛(宽甸)硼矿有 些公司	1.5	硼镁矿石	硝酸法	拥有两大硼镁矿、六个中等矿,掌控了国内 60% 硼镁矿资源
辽宁宽甸民政庆兴化工 厂	1.5	硼镁矿石	硝酸法	
				产品本地销售

2 全球硼资源供需情况

2.1 主要生产与出口国

据美国地质调查局统计数据,2007—2013 年,全球硼产量稳定在 350~455 万 t 之间,自 2014 年开始,全球硼矿石产量稳步增长^[15]。2016 年底,全球硼化物、硼酸产量高达 980 万 t(图 2、表 6)。土耳其是最大的生产国和消费国,产量为 730 万 t,占全球产量的 75%。然而,2017 年随着国际形势变化,美国对土加征钢铝关税,土耳其国内经济形势受到严重影响,硼矿开采产业受到严重冲击,全球产量急剧下降,产量仅为 400 万 t(图 2)。

据联合国商品贸易数据库(2018),2017 年硼化物主要出口国是土耳其,占比 29%(1.16 亿美元),其次是美国(占比 19%,7 650 万美元),智利(占比 15%,5 870 万美元),俄罗斯(占比 11%,4 250 万美元)和秘鲁(占重 5.8%,2 320 万美元)(图 3)。2017 年,土耳其硼化物的出口 210 万 t(硼化物),硼产品为硼酸、硼砂、氧化硼等精矿产品,主要的进口国为中国、美国、

印度和德国等,其中中国进口约 85 万 t,约占土耳其总出口量的 40%。同年,美国出口硼化物 48.7 万 t,主要进口国为马来西亚,出口产品主要以硼酸、硼酸钠为主。第三大出口国为智利,2017 年出口硼化物 13 万 t,主要以农用硼肥和硼酸产品为主,其中出口到中国约 5.25 万 t,约占总出口量的 40%。

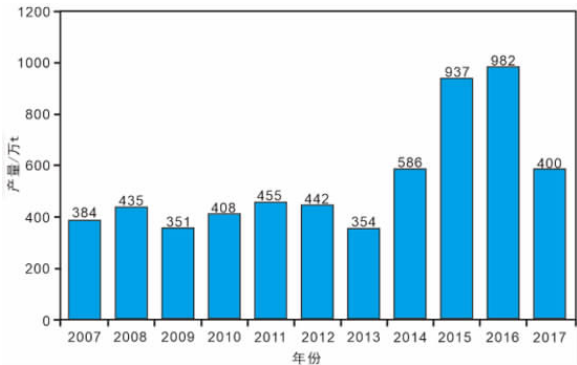


图 2 2007—2017 年全球硼产量走势图(数据主要源自 USGS, 2008—2019)
Fig. 2 Global boron production trend map 2007—2017 (The date of deposits from USGS, 2008—2019)

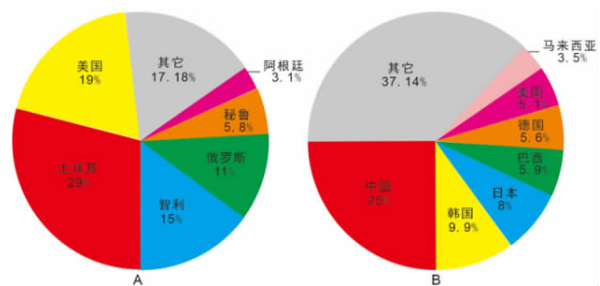


图3 2017 年全球硼化物进出口贸易额占比(联合国贸易数据库,2018)

Fig. 3 Global share of boride import and export trade in 2017 (Data source United Nations trade database,2018)

表6 2010 - 2017 年全球主要国家硼产量统计表(单位: 万 t)(USGS, 2008 - 2019)

Table 6 Production data of boron (metal content) in major countries of the world from 2010 to 2017 (10⁴ tons)

国家	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
土耳其	200	250	250	177	410	730	730	180
阿根廷	60	60	65	50	50	45	45	15
智利	50	48.9	44.4	58.1	58	50	51.8	56
哈萨克斯坦	3	3	3	3	3	50	50	50
俄罗斯	40	40	40	25	25	8	8	7.5
秘鲁	29	29.3	10.4	10	22.5	24	66.3	66
玻利维亚	9.7	13.5	13	15	1.5	15	15	18
中国	15	10	16	16	16	15	16	7
合计	408	455	442	354	586	937	982	400

2.2 主要消费与进口国

据联合国商品贸易数据库(2018),全球硼精矿消费主要集中在亚洲、欧洲和北美,三大地区消费合计占全球 70% 以上。就具体国家而言,全球硼矿石消费主要集中在中国(占比 25%,9 900 万美元)、韩国(占比 9.9%,3 960 万美元)、巴西(占比 5.9%,2 350 万美元)和德国(5.6%,2 220 万美元)等。其中,我国硼及硼产品的进口来源主要为土耳其、智利、俄罗斯、秘鲁、玻利维亚等。

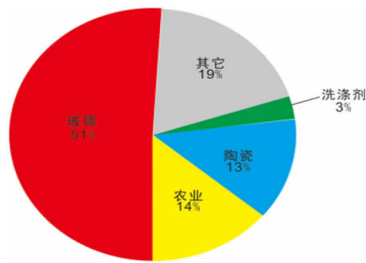


图4 全球硼产品消费类别分布图(据土耳其埃蒂矿业官网,2016)

Fig. 4 Global boron product consumption category distribution map (according to the Turkish Etti Mining official website,2016)

仍然很大,然而更多的硼产品将被应用到特殊材料的加工行业,这将影响着硼矿资源的利用前景和需求。据埃蒂矿业 2016 年报,就产业链而言,硼资源主要应用在玻璃(51%)、农业(14%),陶瓷(13%),洗涤剂(3%)和其他(钢铁、电磁、核能、特殊材料的加工等) 19%(图 4)。

3 我国硼资源分布特征

我国硼矿资源丰富,截至 2017 年,我国查明资源储量(B_2O_3)7 817.26 万 t,占全球总储量 6.8%^[16]。但绝大多数硼矿石的品位较低,硼矿石的 B_2O_3 小于 12% 的占全球查明资源储量的 90.74%,富矿(B_2O_3 大于 20%)仅占 8.54%。此外岩矿型(以硼镁铁矿)[$(Mg, Fe)_2Fe(BO_3)_2$]占国内查明储量 58%,由于生产技术工艺不够成熟,工业利用量极少。目前被加工利用的原料 95% 以上是硼镁石矿石,该类型矿石的储量仅占总储量的 6.64%。

我国硼矿主要分布在辽宁 - 吉林沉积变质型硼矿成矿带与青海 - 西藏盐湖型硼矿成矿带,约占总储量的 90%,主要集中在辽宁、西藏、青海、湖南等地区(表 7)。辽东地区的硼矿床是中国当前主要利用的硼矿资源之一^[2],其储量占全国储量的 40% 以上;西藏、青海等高原地区盐湖硼矿占储量 33.14%,由于交通运输条件、加工技术水平等影响,目前开发利用较低;此外湖南和广东砂卡岩型硼矿床、四川盆地的地下卤水型硼矿、矿床分布分散、品位低,具有开发价值的矿产地很少。

表7 各省区硼矿(固体)保有资源储量排序(B_2O_3 , kt)(据全国矿产资源利用现状调查数据,2016)

Table 7 Boron (solid) retained resource reserve ranking (B_2O_3) table in each province (According to the national survey data of mineral resources utilization, 2016)

省区	储量	基础储量	资源量	资源储量
辽宁	11 064.22	13 016.79	5 816.91	18 833.70
西藏	84.92	868.50	15 375.99	16 244.49
青海	1 191.48	3 750.77	797.12	4 547.89
湖南	32.82	40.03	563.92	603.95
广东	217.07	261.53	207.24	468.77
吉林	23.17	269.79	60.23	330.02
浙江			100.09	100.09
广西			27.04	27.04
天津			21.71	21.71
内蒙			8.78	8.78
黑龙江			5.40	5.40

依据全国矿床资源利用现状调查成果,截至 2014 年底,从成矿类型上来看,盐湖型和沉积变质型占查明资源量的 97%,累计查明资源量中,其中已消耗资

尽管硼产品在钢铁、电磁和核能方面的应用比重

源储量占 16%,未占用保有资源储量占 30%(图 5)。

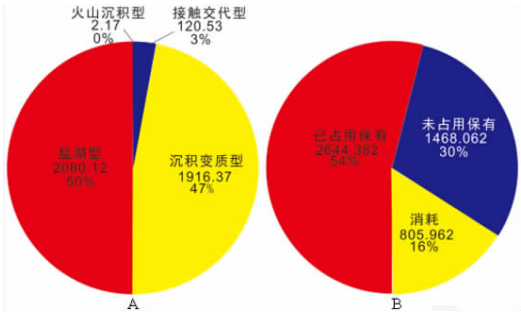


图 5 中国累计查明硼矿资源量分布特征:(a)矿床类型分布和(b)累计查明资源量利用情况(据全国矿床潜力评价数据,2016)

Fig. 5 China's cumulative identification of boron ore resource distribution characteristics:(a) the genetic type and (b) Accumulate the utilization of resources (according to national mineral deposit potential evaluation data, 2016)

我国硼生产技术根据提硼原料可大致分为 2 类:矿石提硼和盐湖卤水提硼^[12]。随着固体硼矿的不断开采利用,可开采固体硼矿资源品位越来越低,固体硼矿资源日趋枯竭,开发利用我国丰富的盐湖液态硼矿资源具有重要的战略意义。

我国硼矿资源的主要特征,综述如下:(1)我国硼矿资源丰富,硼矿种类多,储量较大,但富矿少,贫矿多,大部分可利用性差,部分偏远地区开发利用受限条件较多;(2)我国硼矿资源主要分布在三个矿集区,沉积变质型和盐湖型矿床是我国主要的硼矿工业类型;(3)当前主要开发利用的是储量较少的硼镁矿石,而储量很大的硼镁铁矿型目前利用较少,青海盐湖型液体硼矿常与钠、锂、钾、氯、硫等几十种元素密切共生,矿产的综合开发利用正稳步推进;(4)大型矿山较少,小型矿山占比高,国内硼资源经过 50 多年的开采,优质硼矿已经濒临枯竭。现高储量硼矿主要集中在西藏、青海,由于技术、运输等问题,目前开采规模不大。

表 8 2015 - 2018 年中国硼产品主要进口国及进口量统计表(据联合国商品贸易数据库)

Table 8 2015 - 2018 China's major importing countries and import statistics of boron products(According to the United Nations Merchandise Trade Database, 2015 - 2018)

硼砂 产地	2015 年		2016 年		2017 年		2018 年	
	进口量/万 t	占比/%	进口量/万 t	占比/%	进口量/万 t	占比/%	进口量/万 t	占比/%
美国	23	98.48	31.6	99.28	26.6	97.47	28	99.73
硼酸								
智利	4.15	30.64	4.66	27.12	4.76	37.50	3.85	25.75
美国	3.77	27.88	4.78	27.80	0	0.00	5.29	35.40
俄罗斯联邦	3.51	25.93	4.65	27.08	4.6	36.57	4.87	32.52
玻利维亚	1.05	7.75	1.03	6.01	1.06	8.39	0.92	6.14
秘鲁	0.57	4.23	1.5	8.75	1.91	15.01	0	0.00
天然硼酸盐								
土耳其	31.46	88.27	29.90	81.07	36.89	83.26	0	0.00
玻利维亚	4.12	11.55	6.93	18.79	7.38	16.65	7.41	99.45

4 我国硼资源消费现状与趋势

4.1 我国主要进口来源

自 2017 年以来,我国是全球硼化物最大进口国,受品位、产量等资源禀赋的影响,国产硼矿很难满足国内市场需求。随着国内新型工业化发展和科技创新步伐的加快,硼资源除了应用于传统工业发展,更多应用到高端科技以及核材料等新领域,需求量日益扩大。然而,我国硼资源的自给率从 2003 年呈现逐年下降的趋势(图 6)。其后,随着国内经济快速发展,尤其硼化工及下游产业的发展,进口硼产品不断增长,从 2002 年起成净进口国,对外依存度逐年增加^[9]。

就硼产品结构而言,2017 年我国硼砂进口对外依存度达到 82%,进口产品主要从美国进口;硼酸则主要从美国、俄罗斯、智利和玻利维亚进口;天然硼酸盐主要从玻利维亚进口。需要指出的是,美国一直是我国硼砂、硼酸进口国之一(表 8)。由于近年来,美国“单边主义”和“美国优先”等贸易保护主义措施,其对我国硼产品进口量的波动可能较大,增加了未来中国硼进口的不确定性。硼生产难以满足我国硼工业的需求,可能会对 future 硼工业可持续发展构成潜在的隐患(图 6)。

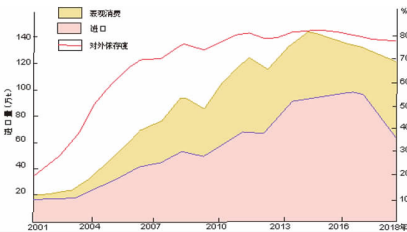


图 6 2001 - 2018 年中国硼资源表观消费、进口及对外依存度变化(袁建国,2018)

Fig. 6 Changes in the external dependence of boron resources in China during 2001 - 2018

4.2 我国硼资源主要消费领域

我国硼产业起步较早,硼产业链已具有一定的基础。我国硼矿主要用于生产硼砂、硼酸、碳化硼、氧化硼。从中国硼资源消费结构上看^[9],主要以硼酸盐为主,其它硼产品的消耗比重较小。具体而言,玻璃保温隔热材料 22%,清洁剂 22%,织物玻璃纤维 17%,硼硅酸盐玻璃 11%,绝缘纤维素 6%,其它(冶金、农业、医药等方面)占 22%,且消费结构受地域性影响明显(图 7)。国际消费比例则为玻璃 51%,农业 14%,陶瓷 13%,洗涤剂 3%,其他(冶金、农业、医药等方面)19%。

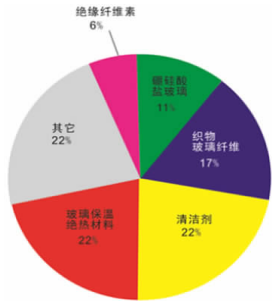


图 7 中国硼资源消费结构图(唐尧,2015)
Fig. 7 China boron resource consumption structure (Date from Tang Yao,2015)

1961 年我国硼酸产量仅 600 t,2017 年增长至 30 万 t,需求量总体快速上升,并应用到更多的高端科技以及核材料等新领域,需求量日益扩大。从自给自足

到现在的严重依赖进口,在亚洲、南美的农业、陶瓷、玻璃市场强劲需求的推动下,硼酸盐的消费量预计增加;硼酸方面,随着硼酸应用领域的不断扩大,特别是陶瓷行业,用以替代硼砂、高硼硅酸盐的玻璃行业、电力行业非晶带材等领域,使得硼酸的消费量越来越大,目前中国是碳化硼的主要生产和出口国。

我国已经能生产正硼酸盐、偏硼酸盐、过硼酸盐、氟硼酸盐、硼卤化物、硼氢化物、元素硼、晶须及其它硼化物等十一大类 40 多个品种,目前较大的品种有偏硼酸钙、过硼酸钠、硼酸锌、碳化硼等几种。我国硼酸市场下游主要行业为高硼硅酸盐玻璃、电子、精细硼化物、含硼新材料等(图 8),这些行业占了国内硼酸需求量的 65% 以上,但这些行业几乎全部使用俄罗斯、美国、土耳其和智利四国的产品,由于我国硼酸杂质含量较高等原因,对国产硼酸采用很少,以致使我国硼酸市场 60% 的份额被进口产品所控制。

从目前我国硼酸行业市场表现和行业状况来看,行业面临技术转型升级、产能调整的现状。但同时,一些具有经济实力和技术研发能力的企业,也看重硼酸行业巨大的需求市场和发展潜力,开始向硼酸行业布局。未来对硼酸产品的需求量将不断提升,同时随着我国硼酸行业生产技术水平升级、产能调整,国产硼酸产品市场表现向好。近年来,我国硼工业“三废”治理及综合利用工作取得一定成果,如利用硼泥生产轻质碳酸镁、氧化镁,做炼钢添加剂、铸造用分散剂、生产复合肥料等。

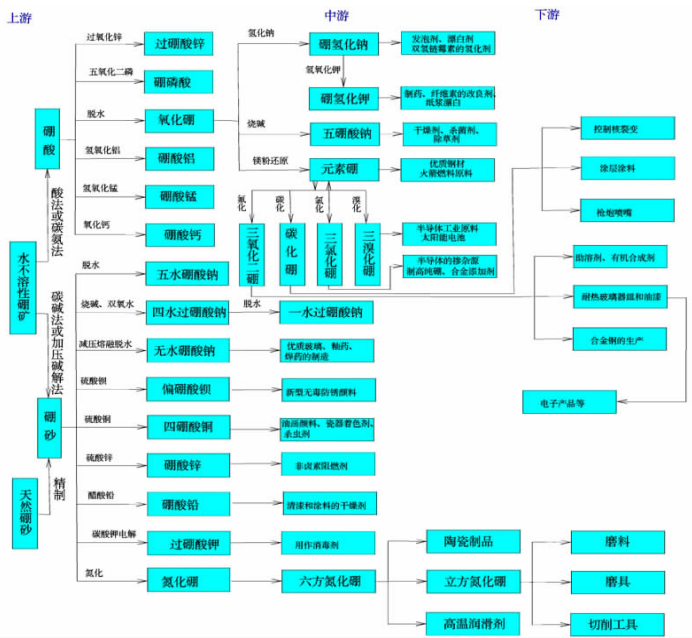


图 8 硼产业链示意图
Fig. 8 Schematic diagram showing the chain of boron industrial

4.3 我国硼的消费趋势

由于硼及硼化合物的特殊功能,硼已经由原来的原料角色登上了材料工业的舞台,在国民经济部门中有着广泛的应用。2017 年我国人均硼消费量约 0.5 kg,袁建国^[13]等认为中国人均硼消费历史轨迹与日本和英国较为接近(图 9)。中国硼消费可能在 2022 年达到高峰,需求总量为 97 万 t(B_2O_3)。唐尧^[9]分析认为中国硼资源需求峰值可能在 2020—2026 年到来,届时,需求总量可能达到 70~80 万 t。硼酸表观消费量^[14]从 2001 年的不足 10 万 t,2017 年达到 50.9 万 t,硼酸消费增长迅速。与英日等国消费轨迹相似(图 10),预计到 2031 年,我国硼资源需求将会持续增长,增速可能有所放缓。

参考发达国家硼消费历史轨迹,结合目前中国硼资源消费结构(图 9)。中国硼消费总体呈上升趋势,硼产品主要消费变化的趋势有:

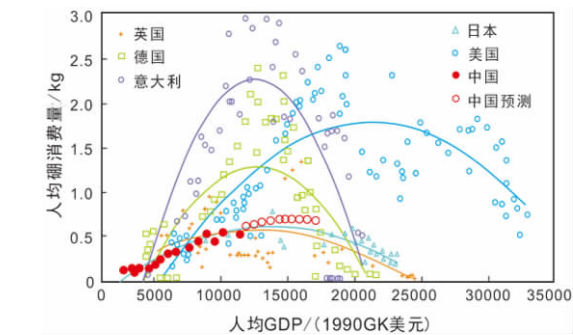


图 9 发达国家与发展中国家硼资源消费轨迹图(资料来源:袁建国,2018.;美国地质调查局,2005-2019;联合国商品贸易数据库,1992-2015)

Fig. 9 Tracing chart of boron resource consumption in developed and developing countries (Source: US Geological Survey, 2005-2019; United Nations Commodity Trade Database, 1992-2015)

(1)传统硼产品消费将继续保持增长。随着我国城镇化进程的不断推进,对建筑材料要求愈加严格,硼玻璃纤维在道路、桥梁使用,传统的耐热玻璃、釉面陶瓷等需求仍将稳步增长。目前占消费主体的建筑材料用硼,仍有较大需求上涨空间。

(2)硼在新一代电子产品、清洁能源、新材料、新能源汽车产业、现代农业方面得到更为广泛的应用,从而产生新的增长点。主要表现在以下几点:

电子产品方面:据工信部统计,截至 2018 年我国是全球最大的消费电子产品生产国、出口国和消费国,并

保持高速增长,液晶面板的硼酸盐消耗量将继续增长,尤其是较薄的玻璃基板是硼消耗的主要增长点。

清洁能源方面:硼是太阳能电池和核电开发中的重要材料,2016 年国家能源局印发《太阳能发展“十三五”规划》,到 2020 年底,太阳能发电装机达到 1.1 亿 kW 以上,核电投资也将继续增大,硼酸盐在太阳能电池、风力涡轮机和核电等清洁能源领域的应用可能大幅增长。

新材料方面:随着近些年科学技术的发展,新型二维材料硼烯制备方面取得重要突破,如硼墨烯(元素硼形成类似石墨烯的单层平面原子结构)是一种很好的导体,很可能开发出全新的纳米材料,应用前景十分广泛,这将进一步扩大硼资源需求。

现代农业方面:硼是土壤中普遍缺乏的微量元素之一,在发展现代农业的大背景下,硼基肥料的需求预计有所增加。

(3)需要注意的是由于对环境的保护越来越受到重视,硼在洗涤产品的增长受到制约,同时由于硼制备工艺流程的严苛,尤其是高浓度单质硼等产品的制备,可能对需求有一定的抑制,由于新技术的发展和硼很多的良好化学特性,其应用应愈加广泛,硼消费将总体保持增长趋势(图 10)。

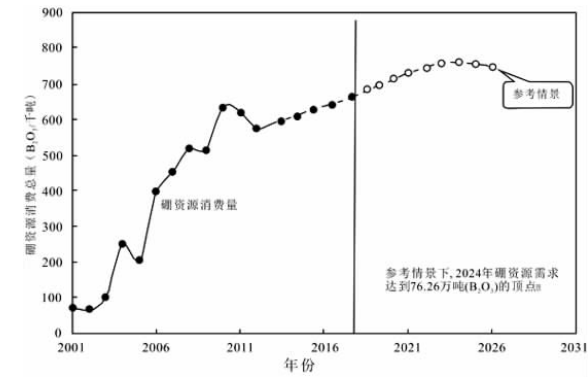


图 10 中国硼资源消费市场增长趋势预测(唐尧,2015)

Fig. 10 Prediction of the Growth Trend of China's Boron Resource Consumption Market (Tang,2015).

5 结论与思考

5.1 主要结论

(1)硼属于重要的化工原料,由于其广泛的用途,日本和欧盟分别将其定义为优先考虑的战略矿产或关键原材料,全球硼矿储量约 1.5 亿 t。我国硼矿资

源储量居世界第二,但仅占全球探明资源储量 6.8%,勘查程度不够,可供开发利用的优质硼资源相对较少。

(2)全球硼矿资源主要集中分布在环太平洋与地中海构造带内,开发和利用被土耳其的埃蒂矿山集团、美国的美国硼砂公司(力拓工业子公司)、阿根廷圣丽塔公司和智利奎米卡硼砂公司等大型公司垄断。

(3)我国硼矿产资源开发和利用主要集中在辽宁-吉林和青藏高原两个地区,并各具特点:辽宁-吉林硼矿带以沉积变质型为主,开发程度较高,是我国主要硼产品生产基地。青藏高原硼矿带,以盐湖卤水沉积共伴生硼矿为主,开发和综合利用程度相对较低,是我国未来硼产品主要产地。

(4)2017 年我国成为全球最大的硼资源进口国,2017 年对外依存度达到 80%,土耳其、美国等是主要硼产品出口国,我国硼资源自给率较低,严重威胁我国资源安全,硼资源的定价权掌握在主要生产和出口国之中,在当前世界经济局势相对紧张背景下,可能会对将来硼工业可持续发展构成潜在的隐患,因此加强本国硼资源的开发和利用,尤其是盐湖型硼资源综合开发和利用,提高我国硼资源的自给率,有利于保证我国硼资源供给安全。

(5)我国已经建立了一套硼资源开发利用的产业链,但由于硼矿资源总体品位较低,开采加工工艺相对落后,优质硼矿资源开采殆尽,硼砂和硼酸生产企业产能规模总体偏小,缺少优质的硼资源产品。不仅存在与其他发展中国家全球硼产品“量”的竞争,也存在着与发达国家高端硼产品“质”的竞争。

(6)由于硼产业链不断延伸,全球硼产品的需求量将继续增大。预测 2031 年前,我国硼产品的消费将持续位于高位,增速可能有所减缓。

5.2 思考

(1)提高国内硼资源的开发利用水平,在当前形势下,立足国内,通过加大勘查力度、改进加工工艺流程、研发新的提取技术等提高矿产资源的开发水平。在老工业基地改造升级基础上,充分利用青海盐湖型硼矿床进行综合开发利用,建立我国战略性硼资源后备基地,是当前我国硼资源供给解决途径之一。

(2)充分利用国外优质硼资源,建立多元化硼资源供给体系,充分发挥“一带一路”国家经济战略的引领作用,通过资本介入、合作勘查等方式进行国际合

作,并且通过建立战略资源储备等方法,合理保障资源供给。

(3)加强科技引领作用,推动硼上游和下游产业链关键技术的研发应用,如硼墨烯、新型半导体材料(硼化砷)、纳米硼纤维等,国内企业应注重吸收国外先进制造工艺,推动优质硼产品的研发,提高硼产品国际竞争力,以跻身高材料产业。

致谢:数据搜集过程中,得到张伟波博士和郭襄博士的大力帮助。特别指出的是,真挚感谢吴建中教授级高工对论文的修改和建设性意见,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] 韩豫川,熊先孝,孙小虹,等.中国硼矿成矿规律[M].北京:地质出版社,2014:1-3.
- [2] 李空.全球硼矿资源分布与潜力分析研究[D].中国地质大学(北京),2016.
- [3] 洪捐.硼掺杂硅纳米浆料制备及其在高效晶硅太阳能电池背场中的应用基础研究[D].南京:南京航空航天大学,2016.
- [4] 张璟.磷掺杂氮化硼/碳复合结构的制备及其在锂硫电池中的应用[D].济南:山东大学,2019.
- [5] 杜轶伦,胡永达,雷晓力,等.对战略性新兴产业所需矿产的界定及几点思考[J].中国矿业,2015,24(6):22-28.
- [6] 王松,赵元艺,汪傲,等.“一带一路”国家钾盐及硼资源分布规律与开采技术[J].地质通报,2017,36(1):35-49.
- [7] 王靓靓,王秋舒,吴亮.全球硼矿资源开发现状与潜力分析[J].中国矿业,2019,28(4):74-78.
- [8] 唐尧.硼资源开发利用现状及前景分析[J].国土资源情报,2014(8):14-17.
- [9] 唐尧.中国硼矿资源勘查现状及前景分析[J].国土资源情报,2015(3):24-28.
- [10] 唐尧.土耳其矿业投资安全性分析[J].国土资源情报,2016(5):18-23.
- [11] 王爱云,王勇毅,闫强,等.中国硼资源国情调查报告[R].北京:中华人民共和国国土资源部,2015:43-80.
- [12] 肇巍,郭亚飞,高洁,邓天龙.我国硼资源概况及提硼研究进展[J].世界科技研究与发展,2011,33(1):29-32.
- [13] 袁建国,屈云燕,刘秋颖,等.中国硼矿资源供需趋势分析[J].中国矿业,2018,27(5):9-12,27.
- [14] 施春辉,王立林,吕品,等.我国硼酸生产现状及发展建议[J].当代化工,2018,47(9):1948-1951.
- [15] USGS. Mineral Commodity Summaries[R]. 2010-2019.
- [16] 中华人民共和国自然资源部.中国矿产资源报告(2018)[M].北京:地质出版社,2018:1-3.

Current Situation and Utilization Trend of the Global Boron Resources

ZHANG Fuxiang¹, ZHAO Sha², LIU Zhuo¹, JING Haipeng³, ZHANG Wanyi⁴, DONG Yantao⁴, WANG Fengxiang¹

1. Key laboratory of regional geology and mineralization, HeBei GEO University, Shijiazhuang 050031, Hebei, China;
2. Department of Geology and Engineering Investigation, Hebei Vocational College of Geology, Shijiazhuang 050081, Hebei, China;
3. Natural Resources and Planning Bureau of Haigang District, Qinhuangdao City, Qinhuangdao 066000, Hebei, China;
4. Development of Geological and Research Center, China Geological Surveys, Beijing 10037, China

Abstract: China is the world’s largest importer of boron ore in 2017, The market demand is on the rise. Under the current situation of trade protectionism, the summarization and research on the status and utilization trend of global boron resources is of great significance to the safety of China’s mineral resources. This paper presents new summary on the exploration and research results of boron deposits, and also provide the confirmed reserves and distribution of boron resources in the world and China. Furthermore, this paper disposal statistical data of the overall situation of boron resources output and capacity in the world and China, included its main producing Country (area), production enterprises, utilization fields, etc. Based on the above research, we clarifies the global and China’s supply and demand situation of boron resources. Studies have shown that China is one of the world’s largest reserves of boron resources, and has already established a complete boron industry system. However, the grade of boron ores is low, and high – quality boron ores are shortage and highly dependent on foreign supply. Therefore, It is imperative to strengthen the upgrading of China’s boron mine industry, increase the exploration of high – quality boron mines, improve the comprehensive development of boron resources, and promote the diversification of high – quality boron raw materials.

Key words: boron ore; strategic mineral resources; resource status; global resources

引用格式:张福祥,赵莎,刘卓,荆海鹏,张万益,董延涛,王丰翔. 全球硼矿资源现状与利用趋势[J]. 矿产保护与利用,2019,39(6):142 – 151.
Zhang FX, Zhao S, Liu Z, Jing HP, Zhang WY, Dong YT and Wang FX. Current situation and utilization trend of the global boron resources[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2019, 39(6):142 – 151.

官方网站:<http://kcbh.cbpt.cnki.net>

E – mail:kcbh@chinajournal.net.cn