

高纯石英全球资源现状与我国发展建议^{*}

贾德龙¹, 张万益¹, 陈丛林², 李永胜¹, 吴冬梅³, 崔敏利¹, 张翠光¹

(1. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037; 2. 中国地质调查局, 北京 100037; 3. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037)

摘 要:高纯石英因其产品具有耐高温、耐腐蚀、低热膨胀性、高度绝缘性和透光性等优异的物理化学性质, 广泛应用于光伏、电子信息、光通讯和电光源等高新技术产业, 在战略性新兴产业中具有重要地位和作用。由于生产原料的特殊性和技术保密等原因, 高纯石英的生产和出口高度集中在世界少数国家和企业。我国高纯石英对外依存度高, 进口量远大于出口量, 目前国内能够生产高纯石英的矿床极少。为确保战略新兴产业发展, 保障高纯石英资源安全, 建议将高纯石英列入关键矿产目录清单, 对现有地质资料进行有针对性的梳理, 加强与花岗伟晶岩型矿床对比研究, 尽快建立高纯石英分级分类标准评价体系。

关键词:高纯石英; 关键矿产; 战略新兴产业; 资源现状

中图分类号: P619.23⁺3 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2019)05-0111-07

DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2019.05.011

Global Resource Status and China's Development Suggestions of High Purity Quartz

JIA Delong¹, ZHANG Wanyi¹, CHEN Conglin², LI Yongsheng¹, WU Dongmei³, CUI Minli¹, ZHANG Cuiguang¹

(1. Development and Research Center of China Geological Survey, Ministry of Natural Resources, Beijing 100037, China; 2. China Geological Survey, Ministry of Natural Resources, Beijing 100037, China; 3. Institute of Mineral Resources, China Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: Due to its excellent physical and chemical properties such as high temperature resistance, corrosion resistance, low thermal expansion, high insulation and light transmittance, high purity quartz is widely used in the high and new technology industries such as photovoltaic, electronic information, optical communication and electric light source, and plays an important role in the strategic emerging industries. Due to the particularity of raw materials and technical confidentiality, the production and export of high purity quartz are highly concentrated in a few countries and enterprises in the world. China's high - purity quartz external dependence is high; the import volume is far more than exports. In order to ensure the development of strategic emerging industries and ensure the safety of high purity quartz resources, it is suggested that high purity quartz be included in the list of critical minerals, the existing geological data be sorted out in a targeted way, the comparative study with granitic pegmatite deposits be strengthened, and the evaluation system of high pure quartz classification standards be established as soon as possible.

Key words: high purity quartz; critical minerals; strategic emerging industries; resource status

^{*} 收稿日期: 2019-07-16

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目: “国家地质调查成果集成与规划”(DD20190464)

作者简介: 贾德龙(1985-), 男, 高级工程师, 博士, 主要从事矿产地质调查规划研究, E-mail: jdl1985@163.com。

通信作者: 张万益(1974-), 男, 教授级高工, 博士, 主要从事地质找矿及地质调查规划研究工作, E-mail: wany-izhang0810@qq.com。

引言

石英,化学式 SiO_2 ,是 α -石英(低温石英)和 β -石英(高温石英)的总称,是一种坚硬、耐磨、化学性能稳定的硅酸盐矿物。石英的化学性质稳定,不溶于酸(除 HF),微溶于 KOH 溶液中,熔化温度 $1\,710\sim 1\,756\text{ }^\circ\text{C}$,冷却后即变为石英玻璃^[1]。高纯石英是高档石英制品的原料,是硅产业高端产品的物质基础,因其产品具有耐高温、耐腐蚀、低热膨胀性、高度绝缘性和透光性等优异的物理化学性质,广泛应用于光伏、电子信息、光通讯和电光源等高新技术产业,在战略性新兴产业中具有重要地位和作用^[2]。2018 年 11 月 7 日,国家统计局公布《战略性新兴产业分类(2018)》,对以重大技术突破和重大发展需求为基础,对经济社会全局和长远发展具有重大引领带动作用,知识技术密集、物质资源消耗少、成长潜力大、综合效益好的产业进行了定义和分

类,包括:新一代信息技术产业、高端装备制造产业、新材料产业、生物产业、新能源汽车产业、新能源产业、节能环保产业、数字创意产业、相关服务业等 9 大领域。其中提到的电子核心产业、智能制造装备产业、先进无机非金属材料、高性能纤维及制品和复合材料、前沿新材料、风能产业、太阳能产业、高效节能产业将对高纯石英材料需求、行业发展和生产技术水平提升产生重要影响。

1 定义和分级

目前,高纯石英已在科技、工业和商业等领域广泛使用,但对高纯石英的定义并没有统一的国家标准。《矿产资源工业要求手册》(2014 年修订版)根据企业标准(QB/T2196—1996),对玻璃工业和化工用的高纯石英砂和超纯石英砂进行了划分(表 1)^[3]。显然,该标准已经不适用于当前高新技术产业快速发展对于高纯石英原料及其产品的应用需求。

表 1 玻璃工业和化工用石英砂分级标准^[3]
Table1 Quartz sand classification standard for glass industry and chemical industry

级别	名称	SiO_2	杂质/ 10^{-6}							烧失量/%
			Fe_2O_3	Cr	Al	Ti	Li	Na	k	
I 级	超纯石英砂	≥ 99.98	≤ 2.0	≤ 0.5	≤ 30	≤ 2.0	≤ 3.0	≤ 3.0	≤ 3.0	≤ 0.1
II 级	高纯石英砂	≥ 99.98	≤ 4.0	≤ 0.5	≤ 70	≤ 3.0				
III 级	浮选石英砂	≥ 99.95	≤ 20	≤ 1.0		≤ 5.0				
IV 级	光学酸洗石英砂	≥ 99.6	≤ 50	≤ 2.0		≤ 300				
V 级	晶质玻璃石英砂	≥ 99.0	≤ 200	≤ 2.0						
VI 级	仪器玻璃石英砂	≥ 99.0	≤ 300	≤ 2.0						
VII 级	普通石英砂	≥ 98.5	≤ 400	≤ 6.0						
VIII 级	一般石英砂	≥ 98.5	≤ 600	≤ 6.0						
IX 级	低档石英砂	≥ 97.0	$\leq 2\,000$							

韩宪景等根据 SiO_2 、 Fe_2O_3 含量及产品规格(目)将石英砂产品划分为:普通石英砂($\text{SiO}_2 > 96\%$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 500 \times 10^{-6}$)、精制石英砂($\text{SiO}_2 > 99.6\%$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 200 \times 10^{-6}$)、高纯石英砂(SiO_2 含量 $99.90\% \sim 99.98\%$ 、 Fe_2O_3 含量 $(2 \sim 10) \times 10^{-6}$)、超高纯石英砂($\text{SiO}_2 > 99.9\%$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 2 \times 10^{-6}$)^[4]。Harben 等研究提出,高纯石英的定义和分类取决于主要有害元素的含量,不同有害元素的最大值范围为: $\text{Al} < 30\text{ }\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $\text{Ti} < 10\text{ }\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $\text{Na} < 8\text{ }\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $\text{K} < 8\text{ }\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $\text{Li} < 5\text{ }\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $\text{Ca} < 5\text{ }\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $\text{Fe} < 3\text{ }\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $\text{P} < 2\text{ }\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $\text{B} < 1\text{ }\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,即污染元素总和少于 50×10^{-6} ,按照污染元素的含量,划分为低纯度石英、中纯度石英、普通高纯度石英、高纯石英、超高纯石英、超纯石英等,其中超高纯石

英和超纯石英为人工合成的产品,并且给出了不同品级石英的价格曲线(图 1)^[5-6]。汪灵等(2011)提出高纯石英的一般概念为 $\omega(\text{SiO}_2) \geq 3\text{N} \sim 5\text{N}$ 、 $\omega(\text{Fe}_2\text{O}_3) < 10 \times 10^{-6}$ 的石英,提出了用 N 来表示高纯石英中 SiO_2 的含量或纯度,即 1N 为 $\omega(\text{SiO}_2) \geq 90\%$,2N 为 $\omega(\text{SiO}_2) \geq 99\%$,3N 为 $\omega(\text{SiO}_2) \geq 99.9\%$,以此类推^[1]。张佩聪等将高纯石英定义为:石英晶格中铝-硅异价有限类质同像替代形成的铝晶格占位杂质含量(晶格 Al) $\leq$ 杂质 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ($\times 10^{-6}$),此时其他杂质(Ti、K、Na、Ca、Mg、Fe 等)总和 $\leq 20\text{ }\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 的天然矿物,对应的石英 $\omega(\text{SiO}_2)$ 纯度 $\geq 99.99\%$ (4N)。由于高纯石英晶格 Al 的主导性,将高纯石英划分为 Al30 级($30 \times 10^{-6} \sim 20 \times 10^{-6}$)、Al20 级($20 \times 10^{-6} \sim 10 \times 10^{-6}$)、Al10 级

($<10\times10^{-6}$)三个品级^[7]。

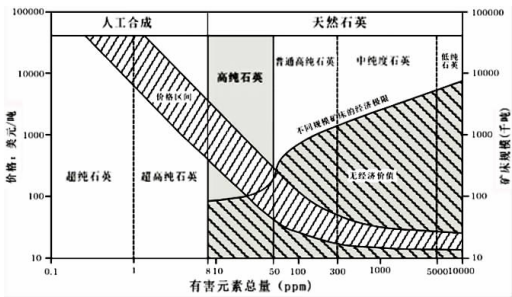


图1 石英品级划分及价格示意图^[5-6]

Fig. 1 Classification and Price of quartz

2 全球资源分布特征

石英一直作为有战略意义的材料而存在,从二战时期开始,通信电话和军用无线电话的电子元件都是石英制的^[8-9]。虽然石英作为地球上最丰富的矿物之一,在不同地质时代、地质环境都有产出^[10],但高纯石英作为一种杂质含量极低的石英,是一种稀有矿物,只有在满足特定的化学和物理参数的地质条件下才能形成,只有为数不多的矿床能够为高纯石英的加工提供原材料,主要集中在美国,分布在北卡罗来纳州 Spruce Pine 地区的花岗质伟晶岩,是全球唯一受到阿乐汉尼绿片岩运动影响的高纯石英矿床。张晔研究认为,美国产高纯石英的伟晶岩具备一些独特的判别标志,如发育在片岩、片麻岩的地质背景,主要造岩矿物中富含斜长石,Na 大于 K,大离子亲石元素 Sr 和 Ba 含量高,高场强元素和稀土元素含量低, Eu 正异常,石英中杂质元素含量低等^[11]。高纯度石英全球产业目前被少数企业所主导,他们拥有从矿山开采一直延伸到高端下游加工的全产业链环节。

2.1 美国尤尼明公司

成立于 1970 年,隶属于 Sibelco Group 集团,总部位于康涅狄格州,从一个小型的当地采砂公司发展成为世界领先的高纯度石英生产商、占世界主导地位的非金属工业矿物原料制造公司和世界上最大的石油、天然气回收石英支撑剂生产商,主要生产和销售石英、长石、正长岩、橄榄石、碳酸钙、黏土、高岭土、石灰和石灰石产品。尤尼明的高纯石英砂原矿为北卡罗来纳州 Spruce Pine 地区的花岗质伟晶岩,是全球唯一受到阿乐汉尼绿片岩运动影响的高纯石英矿床,具有矿体规模大、石英中流体杂质少、矿石品质稳定等优点。尤尼明公司生产石英砂占据全球

高纯石英砂市场份额具有绝对性垄断优势。

2.2 挪威 TQC 公司

挪威是世界上最重要的硅生产国之一。为了确保原料石英的可用性,挪威地质调查局近几十年来对挪威的石英资源进行了调查^[12]。挪威结晶公司自 1996 年以来在挪威西部生产高纯石英,并经营数个地下和露天矿场^[13]。TQC 整合了英格瓷的美国分公司、KT 长石公司和长石公司,与生产石英的挪威结晶公司整合形成了一家新的生产石英,长石和云母产品的公司。该公司在挪威每年被许可生产 30 000 t 高纯石英,其加工产品的原料来自 Spruce Pine 和挪威当地的石英。公司在 Spruce Pine 的产品主要用来满足半导体和太阳能产业的标准需求,而挪威的产品则为光学和照明工业提供量身定做。

2.3 中国江苏太平洋石英股份有限公司

江苏太平洋石英股份有限公司是一家集科研、生产、销售为一体的硅资源深加工企业。经过二十多年专业的研究与发展已成为全国石英材料行业中的龙头企业,主要服务领域涉及光源、光伏、光纤及半导体用石英材料等。公司主导产品有高纯石英砂、石英管(棒)、大口径石英扩散管、石英坩埚、各种石英器件等。石英股份生产的 PQS 级高纯石英砂杂质含量小于 20×10^{-6} ,已超过美国尤尼明的 I-OTA-STANDARD 等级石英砂产品的纯度。2018 年,石英股份高纯石英砂产量为 11 277 t,生产同比增长 6.8%;销售量 10 938 t,其中外销 2 655 t,自用 8 283 t,销量同比增加 2.44%(表 2)。除供自身生产中高端电光源石英管外,主要用于光伏行业生产单晶石英坩埚。其原材料精选自东海地区独特的石英矿石,可以稳定生产 SiO_2 含量在 99.99%~99.999 4% 之间的高纯石英砂。

表 2 2010—2018 江苏太平洋石英股份有限公司高纯石英砂产销存数据

Table 2 Production, sales and storage data of high purity quartz sand of jiangsu Pacific Quartz Co., LTD

年份	产量/t	销量/t	库存/t
2010 年	2 537	2 561	--
2011 年	5 973	4 836	--
2012 年	4 255	5 221	--
2013 年	6 825	6 830	--
2014 年	7 162	7 018	--
2015 年	7 840	7 535	621
2016 年	8 431	8 506	546
2017 年	10 559	10 677	428
2018 年	11 277	10 938	767

数据来源:江苏太平洋石英股份有限公司年度报告。

3 全球高纯石英供需情况

3.1 高纯石英消费领域

高纯石英因独特的物理化学性质使其在许多高科技产品中发挥着越来越重要的作用,随着全球新技术新材料产业快速发展,其需求量将持续增长。如 LED 照明市场、光伏市场和半导体市场,都是高纯石英行业未来需求增长点。(1)LED 照明市场:随着 LED 对白炽灯的替代加快,LED 市场规模和渗透率不断提升,预计到 2020 年渗透率将达 63.9%。石英管作为 LED 的制作原料,市场需求也会不断增加;(2)光伏市场:自 2013 年全球光伏市场回暖以来,全球光伏产业规模不断扩大,预计到 2020 年产业规模将达到 1 370 亿美元。石英坩埚作为光伏组件的生产原料,随着光伏产业的发展,石英坩埚的市场需求不断增加;(3)半导体市场:在半导体行业中,可由熔融的高纯石英制成高温热性能优异的晶片,用来制造高温热稳定性良好的高新能热管,石英棒是集成电路芯片的生产原料,IHS 预测 2019 年半导体产业规模将达到 595 亿美元,半导体市场的发展将打开石英棒的市场需求空间(图 2~图 4)。

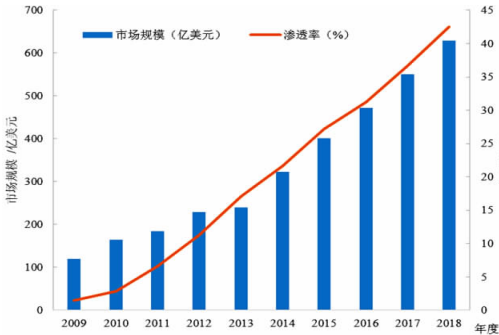


图 2 2009—2018 年全球 LED 照明市场规模
Fig. 2 Global LED lighting market size from 2009 to 2018

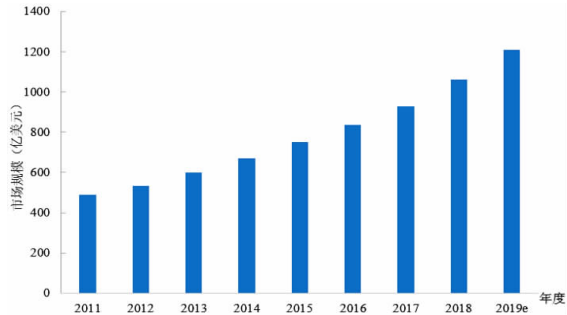


图 3 2011—2019 年全球光伏市场规模(亿美元)
Fig. 3 Global pv market size from 2011 to 2019(us \$ 100 million)

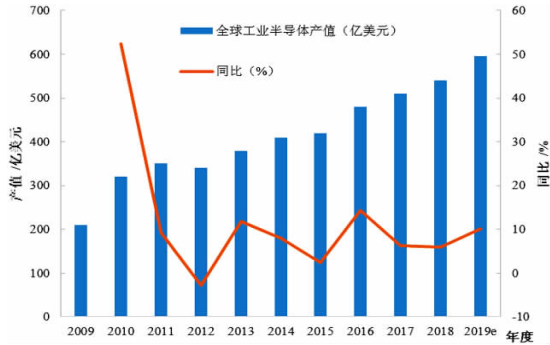


图 4 2009—2019 年全球工业半导体产值
(数据来源:CBC 金属网整理)

Fig. 4 Global industrial semiconductor output value from 2009 to 2019

3.2 主要生产和进出口国

目前,美国因其独特的资源优势、工业化产量大、检测水平高、产品质量稳定等特点,基本垄断高纯石英产业,为高纯石英砂的主要生产国和出口国。

表 3 美国 2016 年分国别石英砂出口数据

Table 3 US quartz sand export data in 2016 by country			
国家	数量/kt	金额/千美元	单价/(美元·t ⁻¹)
中国	13	33 900	2 608
德国	8	20 700	2 588
韩国	2	3 350	1 675
印度	2	2 160	1 080
荷兰	7	6 840	977
其他	3	2 380	793
挪威	9	5 010	557
巴西	2	926	463
多明尼加	2	728	364
智利	8	2 500	313
阿根廷	52	15 900	306
秘鲁	5	1 530	306
比利时	9	2 270	252
委内瑞拉	3	674	225
法国	23	4 640	202
日本	198	38 300	193
牙买加	3	569	190
墨西哥	320	23 700	74
加拿大	2 090	142 000	68

来源:USGS。

从美国 2016 年石英砂出口数据及出口单价判断(表 3),美国高纯石英砂主要出口国为中国和德国,2016 年出口到中国和德国的量分别为 13 000 t、8 000 t,其出口单价分别为 2 608 美元/t、2 588 美元/t,折算成人民币价格在 1.8 万元/t 左右。其他普通高纯石英砂主要出口国到日本、墨西哥、加拿大等国家,出口价分别为 193 美元/t、74 美元/t、68 美元/t,折算成人民币价格在 500~1 300 元/t 左右不

等。由数据可见,高纯石英国际市场消费国主要为经济、科技发达国家及经济快速增长的发展中国家,如美国、中国、日本、德国等。

3.3 我国高纯石英供需情况

我国是高纯石英消费大国,中低端产品自给有余,部分出口,高端产品仍然依赖进口。据中国建筑玻璃与工业玻璃协会数据,我国石英产量逐年上升,2018年中国石英砂产量8 255万t,其中,普通石英砂产量3 518万t,精制石英砂产量3 518万t,普通高纯石英砂($\text{SiO}_2 \geq 99.5\%$)产量达到636万t(图5),占比较低。国内石英砂加工厂的矿床成矿因素复杂,矿源纯度较差,虽然石英含量高,但石英中存在流体杂质多、矿体规模小、矿石品质不稳定等缺点。国内目前只有石英股份具备规模化量产高纯石英砂的技术能力。目前国内高纯石英砂主要用来做航空航天玻璃,其次在大规模及超大规模集成电路制造、光纤光缆电子通讯半导体、LED照明制造封装、软件芯片制造材料、新能源太阳能、电子产品及器件、国防、激光技术、化工合成、精密铸造、纺织、造纸、高档陶瓷、油漆涂料、硅橡胶、医药、化妆品等行业应用前景也非常广阔。

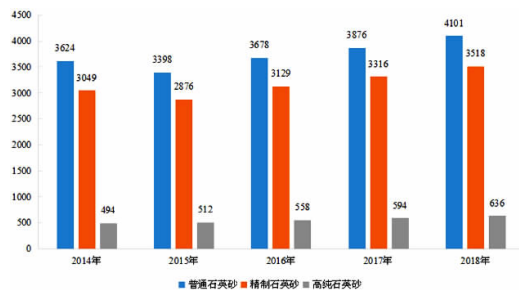


图5 2014—2018年中国石英砂分品种产量图(万t)
Fig. 5 Output of quartz sand varieties in China from 2014 to 2018 (ten thousand tons)

我国石英类产品总进口量大于出口量,根据海关统计数据,2018年硅砂及石英砂(HS250510)总进口量为166.87万t,出口量为11.64万t,与2017年相比,进口量几乎增长一倍(图6)。进口国主要为柬埔寨、马来西亚、越南、韩国、美国等国家。近年来,我国在高纯石英加工技术研究方面开展工作较多,初步具有4N高纯石英中端产品的批量生产能力,但与国际先进水平的差距依然很大,高纯石英产品仍不能满足发展需求。2018年高纯石英($\text{SiO}_2 > 99.99\%$ 的硅)进口量14万t,出口量仅0.18万t(图

7),进口量远大于出口量,主要进口国为韩国、德国、马来西亚、美国、日本、挪威等国家。2018年,4N级以上高纯石英进出口量较2017年呈现下降趋势,可能与我国高纯石英逐步实现量产和全球多晶硅产量近20年来首次出现下滑的市场格局有关。

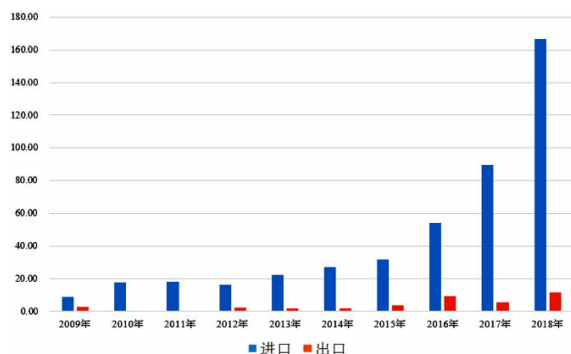


图6 2009—2018年我国硅砂及石英砂进、出口量统计(万t)

Fig. 6 Statistics of imports and exports of silica sand and quartz sand in China from 2009 to 2018 (10,000 tons)

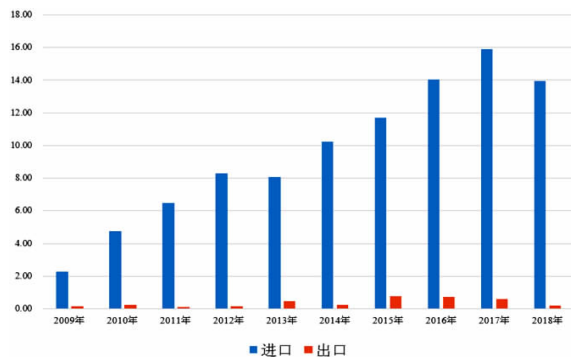


图7 2009—2018年我国含硅量 $\geq 99.99\%$ 的硅(HS28046190)进、出口量统计(万t)

Fig. 7 Import and export statistics of silicon with silicon content $\geq 99.99\%$ in China from 2009 to 2018

4 我国高纯石英资源和技术现状

4.1 我国高纯石英资源现状

我国石英资源储量丰富、种类多,主要有石英岩、石英砂岩、天然石英砂及脉石英。但是其质量不高,多为石英岩、石英砂岩和天然石英砂,目前未发现具有工业价值的大型花岗伟晶岩矿床。据自然资源部数据显示,2017年我国玻璃硅质原料查明资源储量88.75亿t(图8),较2016年同比增加6.6%,近年来其查明资源储量一直保持增长的趋势^[14]。

我国高纯石英资源匮乏,需求绝大部分依赖进口,自2008年至2014年,高纯石英查明资源储量有所减少,由7 348.83 t减少到7 319.45 t^[15]。我国

用于制备高纯石英原料主要为天然水晶和脉石英,截至 2017 年底,天然水晶资源资源储量为 0.69 万 t,目前已几近枯竭,主要分布在四川、广西、贵州、黑龙江等地区;我国玻璃用脉石英查明资源量 9 204.39 万 t,资源量 7 165.87 万 t,但其中能制备高纯石英高端产品的比例极低,品位较高的代表性脉石英矿床分布在湖北省蕲春县、江苏省东海县、安徽旌德县等地^[16]。

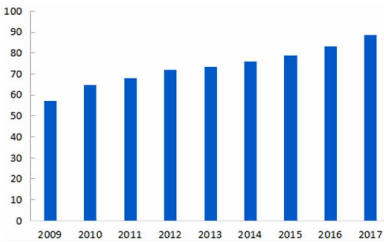


图 8 2009—2017 年中国玻璃硅质原料查明资源储量(矿石/亿 t)

Fig. 8 Identified reserves of glass siliceous raw materials in China from 2009 to 2017 (ore/million tons)

我国具有工业价值的高纯石英(水晶、脉石英)矿床按其成因主要可分为:热液含晶石英脉型矿床、碳酸盐岩中热液型水晶矿床、变质流体含晶脉石英矿床三种。印支、燕山期岩浆活动发育地区和强烈

变质岩发育地区是水晶、脉石英矿成矿有利地带。根据我国已有水晶、脉石英矿床分布特征,划分了库卫—清河、东昆仑、东秦岭—大别、东海—赣榆、吉中—延边、阿拉善、辽东、鲁西隆起、武夷山、湘中等 10 个高纯石英重点成矿远景区^[17]。

4.2 我国高纯石英技术现状

高纯石英技术包括原料选择、加工工艺、加工装备和质量检测技术 4 方面内容。我国尚缺乏高纯石英原料评价与选择技术,对于高纯石英原料选择还存在较大的盲目性,以往认为 SiO₂ 纯度高低是制备高纯石英至关因素的观点造成了人力、物力的较大浪费,实践证明,原料中杂质元素含量高低与高纯石英质量优劣并不是简单对应关系,而是与原料工艺矿物学特征所决定的杂质可选性有关。近年来,我国在高纯石英加工技术研究方面取得了初步成效,已经具备 4N 级别高纯石英中端产品的批量生产能力,但加工技术、装备由于起步较晚、技术保密等原因,与国际先进水平差距依然很大。运用国内 ICP 检测技术与美国尤尼明高纯石英样品检测结果进行对比(表 4),存在较大差异,我国在低杂质检测技术上仍有较大提升空间^[2,18-19]。

表 4 国内 ICP 检测技术与美国尤尼明 IOTA—STD 高纯石英产品质量的 ICP—OES 检测结果对比^[2,18-19]
Table 4 Comparison on the ICP—OES test results of iota—std high purity quartz products in China and United States

样品	$\omega_{\text{B}}/10^{-6}$														$\omega(\text{Si})/\%$
	Al	B	Li	Na	K	Ca	Mg	Ti	Fe	Mn	Cu	Cr	Ni	Σ	
a	10.79	0	0.23	1.225	0	0	0	0.635	0	0	0.005	0	0.01	12.895	99.9987
b	16.2	0.08	0.9	0.9	0.6	0.5	<0.05	—	0.23	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<19.66	99.9980

注:a—国内 ICP 检测技术实测结果;b—美国尤尼明公布的 IOTA—STD 产品检测结果的平均数值。

5 结论与思考

5.1 主要结论

美国为高纯石英的主要生产国和出口国,高端高纯度石英产品几乎被美国尤尼明公司一家垄断,主要消费国家为高新技术产业快速发展的发达国家和发展中国家。产品垄断的重要因素在于尤尼明具备独特的 Spruce Pine 花岗质伟晶岩高纯石英矿床,目前世界上再也没有第二个这样的矿床。

我国是高纯石英消费大国,中低端产品自给有余,部分出口,高端产品仍然依赖进口严重。高纯石英的进口量远大于出口量,对外依存度较高,近年来进口总量总体呈上升趋势,2018 年,高纯石英(SiO₂ >

99.99% 的硅)进口量 14 万 t,出口量仅 0.18 万 t,进出口量较 2017 年有所减少,可能与 2018 年全球多晶硅产量近 20 年来首次出现下滑的市场格局有关。

由于我国石英资源特点,决定了制备高纯石英石主要利用脉石英、石英岩等品质较差的石英原料。我国石英矿存在资源分散、以中小型为主、品位低等特点。近年来,由于逐步重视找矿勘查工作,取得了一些勘查成果,但尚未发现具备制备高纯石英产品的花岗伟晶岩型石英矿床。

5.2 思考

(1)高纯石英是高端产业需求的稀缺类矿物资源,我国高纯石英对外依存度高,应进行高纯石英资源安全战略研究。应借鉴发达国家经验,提出关键

矿产或战略性非金属矿产目录清单^[20],将高纯石英纳入清单,从政策法规和国家战略层面,在高纯石英找矿勘查、加工工艺、产业发展等方面给予有力支持。

(2)公益性基础性地质调查应加强区域地质调查、矿产地质调查现有资料的整理和综合分析,结合已有勘查成果,优选出找矿靶区,加大勘查投入力度,加强高纯石英资源基础性地质调查工作,降低找矿风险。

(3)研究表明,原料选择是决定高纯石英砂产品质量的关键因素,美国 Spruce Pine 地区花岗质伟晶岩的高纯石英矿床具备一些特殊的判别标志,应加强与国外优质矿床的成因时代、成矿背景、岩石矿物等类比研究,结合优质高纯石英矿床的特征标志,加强同类型矿床的找矿和评价工作。

(4)建立系统的高纯石英原料选择与分级分类评价体系。石英原料质量评价体系不完善,至今尚未出台统一产品标准。应对于目前已开发的石英矿床,进行选冶性能、材料性能和加工技术的分类分级评价,加强高纯石英矿物学应用研究,重点查明矿物中杂质赋存状态,为矿床实现工业化生产高纯石英产品提供科学依据,充分发挥资源利用的价值。

参考文献:

- [1] 汪灵,李彩侠,王艳,等.我国高纯石英加工技术现状与发展建议[J].矿物岩石,2011,31(4):110-114.
- [2] 汪灵,党陈萍,李彩侠,等.中国高纯石英技术现状与发展前景[J].地学前缘,2014,21(5):267-273.
- [3] 邵厥年,陶维屏,等.《矿产资源工业要求手册》(2014年修订版).地质出版社.2010:600-650.
- [4] 韩宪景.超高纯石英砂深加工生产[J].国外金属矿选矿,1998(07):31-32.
- [5] Harben PW. The industrial mineral handybook—a guide to markets, specifications and prices, 4th edn [M]. Industrial

- Mineral Information. Worcester Park. 2002. p 412
- [6] Müller, A., Wanvik, J. E., Ihlen P. M., Petrological and chemical characterisation of high-purity quartz deposits with examples from Norway, in “Quartz: Deposits, Mineralogy and analytics” J. Cötze and R. Möckel Editors, Edirors. Springer Geology, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2012. Ch. 4.
- [7] 张佩聪,刘岫峰,李峻峰,等.高纯石英矿物资源工程研究[J].矿物岩石,2012,32(2):38-44.
- [8] Konstantinos I. Vatalis, Georgios Charalampides, Spiridon Platias, Nikolas P. Benetis, Market Developments and Industrial Innovative Applications of High Purity Quartz Refines. Procedia Economics and Finance 14 (2014) 624-633.
- [9] Lujan, M. Jr., Ary, T. S. Crystalline silica primer. Bureau of Mines Staff, Branch of Industrial Minerals U. S. Department of the Interior, Special Publication. 1992.
- [10] Götze J. Chemistry, textures and physical properties of quartz—geological interpretation and technical application [J]. Mineralogical Magazine, 2009, 73(4): 645-671.
- [11] 张晔,陈培荣.美国 Spruce Pine 与新疆阿尔泰地区高纯石英伟晶岩的对比研究[J].高校地质学报,2010,16(4):426-435.
- [12] Alex Müller, Peter Ihlen, Jan Wanvik, et al. High-purity quartz mineralisation in kyanite quartzites, Norway [J]. Mineralium Deposita, 2007, 42(5): 523-535.
- [13] Platias S, Vatalis K I, Charalabidis G. Innovative Processing Techniques for the Production of a Critical Raw Material the High Purity Quartz [J]. Procedia Economics and Finance, 2013, 5: 597-604.
- [14] 佚名.自然资源部公布2017年中国主要矿产资源储量报告[J].中国地质,2018,45(6):1315-1316.
- [15] 张生辉,王利,陈正国等.中国重要非金属资源调查报告[R].中国地质调查百项成果,2016:278-286.
- [16] 焦丽香.我国脉石英资源开发利用现状及供需分析[J].中国非金属矿工业导刊,2019(02):11-14.
- [17] 蔺志永,龙宝林,张生辉,等.战略新兴产业资源报告[R].中国地质调查百项成果,2016:229-240.
- [18] 金达表,张兄明,邹蔚蔚.高纯石英的加工工艺研究[J].中国非金属矿工业导刊,2004(4):44-46,48.
- [19] 汪灵,李彩侠,王艳,等.高纯石英质量的ICP检测技术研究与应用[J].光谱学与光谱分析,2013,33(6):1684-1688.
- [20] 本刊编辑部.美国内政部确定钨、稀土、锂等35种关键矿产清单[J].中国地质,2018,45(5):1086.

引用格式:贾德龙,张万益,陈丛林,李永胜,吴冬梅,崔敏利,张翠光.高纯石英全球资源现状与我国发展建议[J].矿产保护与利用,2019,39(5):111-117.

JIA Delong, ZHANG Wanyi, CHEN Conglin, LI Yongsheng, WU Dongmei, CUI Minli, ZHANG Cuiguang. Global resource status and China's development Suggestions of high purity quartz [J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2019, 39(5): 111-117.