

# 纯净胜瑾瑜 贵若冠上珠

## ——解读高纯石英

□文图 / 汪灵 王哲皓 王新砚



晶莹剔透胜冰绡 视觉中国 / 供



**第一作者简介** 汪灵，二级教授，博士生导师，四川省学术和技术带头人，享受国务院政府特殊津贴专家，《矿物学报》《岩石矿物学杂志》等期刊编委。出版有迄今为止国内外第一本关于矿物的材料属性与应用的基础性、实用性和系统性理论著作《矿物材料学原理》，该书被誉为矿物材料学的奠基之作；在重庆市城口县发现超大型陶粒页岩矿，探明资源量的潜在经济价值超 200 亿元；主持建成我国首条全自动 4N8 高纯石英砂高端产品生产线，该专利产业化成果获评 2022 年度四川省高校院所知识产权市场化运营典型案例。

石英，作为一种传统的重要工业矿物，广泛应用于玻璃、陶瓷、铸造、建筑、宝玉石装饰等传统行业。20 世纪 80 年代以来，石英的工业应用进一步扩大到石油压裂支撑剂和 3D 打印砂等新领域，尤其是计算机、新材料、新能源等新兴产业对石英原材料产品的纯度提出更高要求，发展出“高纯石英”这一概念。

高纯石英是石英玻璃、硅材料及相关产业发展的物质基础，广泛用于电子信息、光伏、

光通信和电光源等行业。高纯石英作为一种关键基础材料 and 新材料，在国家经济建设和安全等方面的地位和作用都十分重要，引起各界持续高度关注，成为社会大众关切的热门话题，加之二氧化硅纯度达 99.998%（4N8）的高纯石英高端产品仍然处于被“卡脖子”状态，高纯石英成为我国近年来科技研究的热点课题，吸引了众多企业家、投资者的热切目光。

### 何为高纯石英

高纯石英（high-purity quartz），又称高纯石英砂。它是二氧化硅纯度大于 99.9%（3N）的石英砂系列产品总称，其本质是一种石英晶体原材料，它以天然石英矿为原料，经提纯加工而获得，具有极高二氧化硅纯度及一定粒度。

根据产品生产和工业应用情况，以及科研工作的需要，按二氧化硅纯度或铝、硼、锂、钠、钾、钙、镁、钛、铁、锰、铜、铬、镍等 13 种或 15 种（增加磷和锌）痕量杂质元素总量，可将高纯石英分为高端、中高端、中端和低端 4 个等级。

在我国实际生产中，高纯石英砂通常按用途分为拉管料、打靶料和坩埚料三大类系列产品，并根据二氧化硅纯度或 13 种痕量杂质元素总量等技术指标进一步分为不同等级。其中，拉管料、打靶料可分为一级品、二级品和三级品 3 个等级，分别相当于高纯石英高端、中高端和中端产品，其主要技术指标通常要求二氧化硅纯度（或杂质元素总量）分别为纯度 99.997%（总杂质  $\leq 30 \times 10^{-6}$ ）、纯度 99.995%（总杂质  $\leq 50 \times 10^{-6}$ ）、纯度 99.993%（总杂质  $\leq 70 \times 10^{-6}$ ）。

拉管料是指用于熔炼控制各种石英玻璃管的高纯石英砂。石英玻璃管根据尺寸大小和二氧化硅纯度不同，有多种产品规格，如大管和小管，所对应的石英砂分别称为大管料和小管料。石英玻璃管具

有熔点高、抗热震性能优异和易于扩缩加工等优势，主要用于芯片和光伏半导体硅片加工处理的扩散炉管等，在航天航空、武器装备领域用来制作整流罩、雷达罩、隔热罩、透波材料及耐高温材料等，还用于制造卤素灯等各种光电源器件，以及高纯石英提纯加工，等等。

打砵料是指用于真空电熔法和氢氧气炼法生产石英砵的高纯石英砂。石英砵是呈圆砵状的透明石英玻璃原材料，具有透明度高、气泡少、膨胀系数低、抗热震性能优异和可加工性等优势，主要用于生产半导体石英玻璃制品，包括石英舟、石英法兰和石英钟罩等产品，以及各种光学石英玻璃制品，等等。

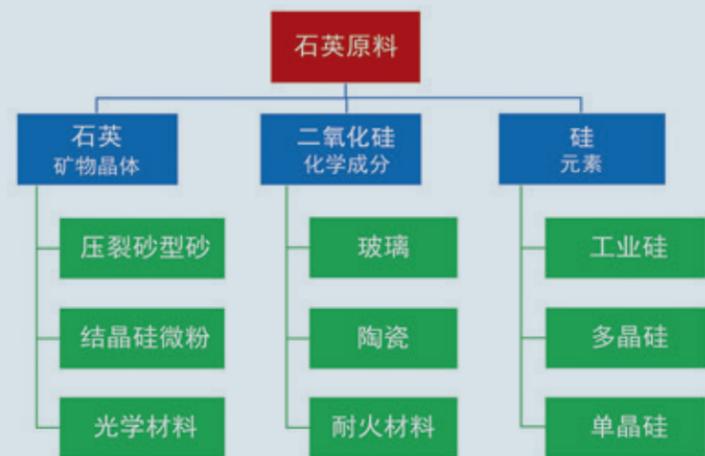
坩埚料是指用于制备石英坩埚的高纯石英砂。石英坩埚是具有不同尺寸大小的圆坩状石英玻璃制品，具有气泡极少（内层）、二氧化硅纯度极高和熔点高等优势，用于直拉法拉制芯片和光伏产业必需的单晶硅棒。由于单晶硅棒生长时间长、工艺条件苛刻，对坩埚料技术指标提

### 何为石英

石英的化学成分为二氧化硅（SiO<sub>2</sub>），其中硅、氧含量分别为46.74%和53.26%。石英是一种架状结构的硅的氧化物，α-石英（低温石英，三方晶系）和β-石英（高温石英，六方晶系）的总称，二者的转化温度为573℃，未加说明时，常指α-石英。

石英的成分一般比较纯净，但由于类质同像替代作用，可含有少量铝、钾、钠、锂、钙、铁、镁、锰、钛、铜、锌、铬、镍、硼、磷等杂质元素。一般为透明或半透明，油脂光泽，具旋光性，通常为乳白色或无色，因各种杂质的混入可呈现紫、粉、黄、烟、绿等不同颜色；密度2.66克/立方厘米，摩氏硬度7（为10种标准硬度矿物之一），坚硬、耐磨、性脆、无解理、贝壳状断口、具压电性、不导电、传热性差，其电学、热学和力学性能均具有明显的异向性；化学性质稳定，除氢氟酸（HF）外不溶于其他酸，微溶于氢氧化钾（KOH）溶液，熔化温度1710~1756℃，冷却后即变为物化性能十分优异、有“玻璃王”之称的石英玻璃。

正是由于具有上述独特的物化性能，石英得以成为一种非常重要的工业矿物。与其他非金属矿物相比，石英原料工业应用的一个显著特点是同时存在三种形式：一是利用矿物晶体固有的物理和化学性质，如用于生产石油压裂支撑剂（压裂砂）、型砂、结晶硅微粉等；二是提供有用化学成分，是玻璃、陶瓷等硅酸盐材料的最基本原材料；三是冶炼提取有用元素硅，目前是工业硅及其提纯加工产物多晶硅和单晶硅的唯一原料。



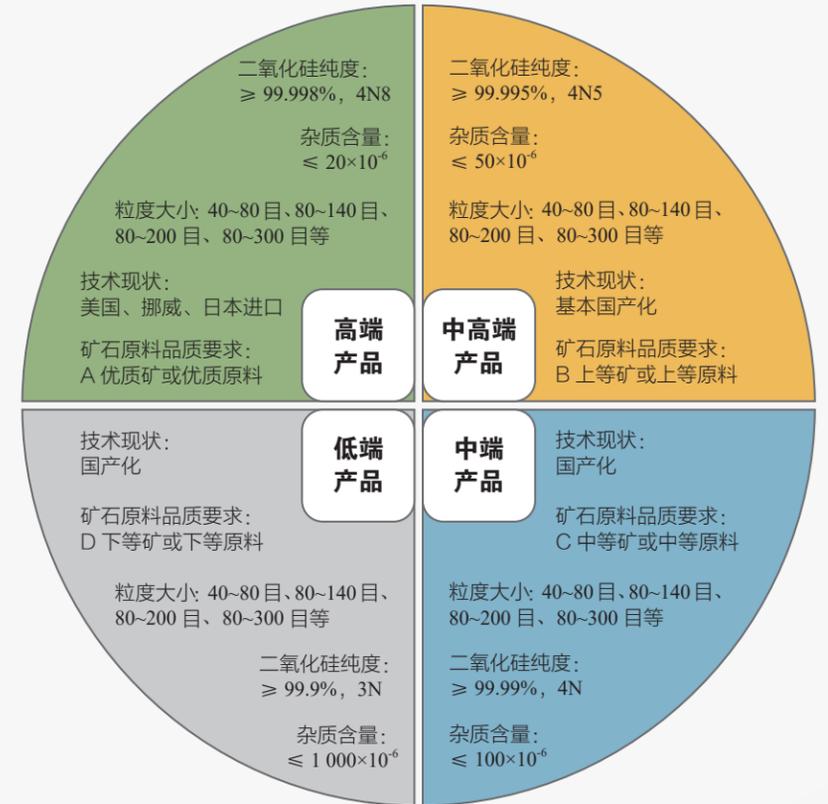
> 石英矿物原料工业应用的三种形式与应用实例示意图（汪灵，2019）

出了极高要求，除要求气液包裹体极少外，还要求二氧化硅纯度≥99.998%（4N8），对其他杂质的分项指标也有严格的要求，即铝为8×10<sup>-6</sup>~15×10<sup>-6</sup>，钛≤2×10<sup>-6</sup>，其他杂质均<1×10<sup>-6</sup>。

需要说明的是，除上述三大类用途外，高纯石英砂还有许多重要用途，如用于生产石英玻璃纤维、石英玻璃实验器皿、石英玻璃耐火材料，以及包括芯片封装用的球形硅微粉在内的各种硅微粉，等等。在这些应用中，高纯石英的低端产品也大有用武之地，如制造耐火材料，等等。

### 高纯石英用何原料生产

根据石英的提纯定律和提纯加工效果，可将高纯石英原料划分为与高纯石英砂系列产品等级相对应的4个品级，即：



注：杂质含量指铝、硼、锂、钠、钾、钙、镁、钛、铁、锰、铜、铬、镍等13种痕量杂质元素总量。

> 高纯石英产品的二氧化硅纯度分类及其矿石原料品质要求

A级矿，又称优质矿或优质原料，可用于提纯加工二氧化硅纯度≥99.998%（4N8）的高端高纯石英砂产品；B级矿，又称上等矿



> 高纯石英砂用途分类示意图

或上等原料，可用于提纯加工二氧化硅纯度 $\geq 99.995\%$  (4N5)的中高端高纯石英砂产品；C级矿，又称中等矿或中等原料，可用于提纯加工二氧化硅纯度 $\geq 99.99\%$  (4N)的中端高纯石英砂产品；D级矿，又称下等矿或下等原料，可用于提纯加工二氧化硅纯度 $\geq 99.9\%$  (3N)的低端高纯石英砂产品。

目前，在石英的7种矿床工业类型中，能够加工高纯石英的原料有天然水晶、脉石英和花岗伟晶岩石英3种，其中脉石英是我国目前高纯石英生产的主要原料。另外，根据最新研究结果（汪灵，2022），有的石英岩也具有加工高纯石英甚至4N8高纯石英高端产品的潜力。

**天然水晶** 通常指具有一定尺寸大小的天然石英单晶体或石英晶簇。高纯石英最初是以一、二级天然水晶为原料，再经精选提纯加工而成。天然水晶由于受自身特点限制，如矿床规模小、储量少、生长条件比较苛刻等，已不再适合用作高纯石英原料，现主要作为水晶工艺品原料。同时，质地纯净的天然水晶仍然用于生产光学水晶材料（石英晶体旋光料、双折射滤波器）和压电水晶材料。我国天然水晶资源分布广泛，几乎每个省区都有产出，以江苏东海最为著名。



> 大型天然水晶晶簇

**脉石英** 目前我国的石英坩埚中外层砂主要采用印度等国进口的脉石英来加工。根据国际成功案例和我国研究实践（汪灵，2022），脉石英是加工高纯石英的理想原料之一，其工业价值和应用优势在于：第一，高纯石英的附加值高，绝对用量少，往日按传统应用标准属于小矿，而今按新用途标准则为大矿；第二，与石英岩和石英砂岩相比，脉石英几乎都由石英组成，二氧化硅纯度一般都在99.9%及以上，其他杂质含量相对较少，有利于高纯石英的提纯加工；第三，与天然水晶相比，同一矿区的脉石英矿石质量相对比较稳定，为矿物原料均一化加工创造了条件。

我国的脉石英矿产资源分布广泛，资源优势明显。目前，我国脉石英以中、小型矿床为主，矿床成因类型主要为岩浆热液型、变质热液型和伟晶岩型，主要分布在四川、新疆、河南、湖北、陕西、云南、广西、江西和安徽等地。

**花岗伟晶岩石英** 美国尤尼明（现为矽比科）公司IOTA高纯石英系列产品能获得国际垄断地位的根本原因，在于其拥有世界上迄今为止唯一发现的独特高纯石英优质原料——花岗伟晶岩石英。该原料为产自美国北卡罗来纳州斯普鲁斯派恩地区的花岗伟晶岩（曾称为白岗岩），其矿床规模较大，石英的杂质少，是美国和

挪威4N8高纯石英高端产品的生产原料，其产品因质量优异和稳定性高而成为高纯石英高端产品的标准，垄断了全球石英坩埚内层砂和半导体级高纯石英市场。

目前，我国高度重视花岗伟晶岩石英，并在新疆阿尔泰、北秦岭等地区的找矿方面取得初步进展。在开发利用方面，李育彪等（2020）以北秦岭花岗伟晶岩石英为原料，采用破碎、筛分、浮选、高温焙烧、水淬和热压酸浸等方法，制备出4N高纯石英砂；王安书等（2022）和张海啟等（2022）以河南卢氏等地花岗伟晶岩为原料，采用粗碎、煅烧、水淬、细碎、磁选、浮选和酸浸等方法，制备出4N5高纯石英砂。

需要特别注意的是，花岗伟晶岩石英并不是优质原料代名词，在众多花岗伟晶岩石英矿床或矿点中只有少数甚至个别矿属于高纯石英优质原料（A级矿）。因此，要实现伟晶岩型高纯石英优质原料找矿和应用的突破，还有大量工作要做。

### 4N8 高纯石英为何至关重要

如果将高纯石英比作石英原材料行业中的“皇冠”，那么，二氧化硅纯度



> 我国脉石英高纯石英优质原料或A级矿（左）和安哥拉脉石英加工的石英球（右）  
成都自然博物馆（成都理工大学博物馆）/藏

$\geq 99.998\%$  (4N8)的高纯石英高端产品则是皇冠上那颗最耀眼的明珠。因为高纯石英高端产品不仅是一种新材料和矿物功能材料，而且是半导体、光伏、电子信息和高端电光源等生产必不可少的基础材料，更是我国芯片发展（晶圆制造与芯片封装等）不可或缺的关键材料之一。因此，高纯石英，尤其是4N8高端产品在国家经济社会发展、战略性新兴产业、未来产业、国防军工和国家安全等方面都具有十分重要的地位和作用。

在直拉法拉制单晶硅棒的生产过程中，以4N8高纯石英砂为原料制备的石英坩埚是必不可少且一次性使用的耗材，对单晶硅棒的产量、质量、成本和生产安全都有重要影响。芯片和光伏等行业的高速发展和国家重大需求，带动了4N8高纯石英产品的旺盛需求，近年来，它供应紧俏，价格也不断走高。目前，为了降低生产成本，我国用于生产单晶硅棒的石英坩埚通常采用三层结构，其中内层砂仍需高价从美国、挪威等国进口，而质量要求略低的中外层砂，其矿石原料也需要从印度等国进口。实际上，用于拉管料和打砧料一级品生产的石英矿原料也需要从国外进口。由此可见，我国高纯石英高端产品、甚至中高端产品，要么产品进口，要么矿石进口，仍然处于被处处掣肘的状态。

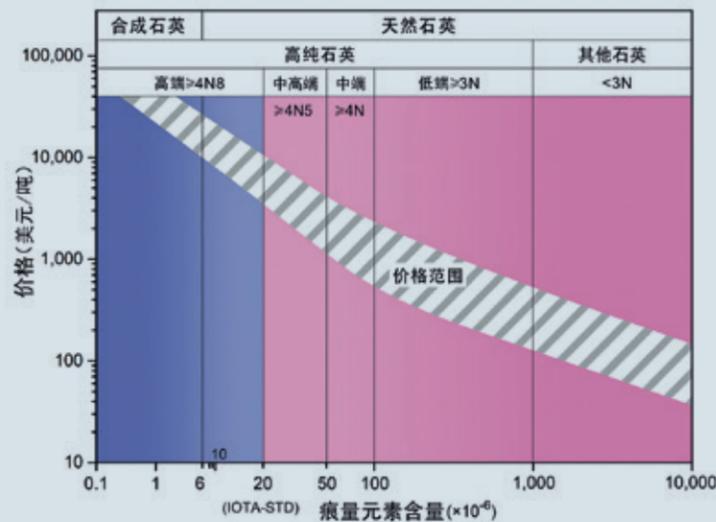
### 4N8 高纯石英为何生产困难

笔者通过长期对不同矿床工业类型石英矿的研究，首先发现了

## 石英原材料产品有哪些

目前,我国每年各种石英原材料的用量在2亿吨左右。石英工业应用的最重要特点是,用途十分广泛,产品种类繁多,用量巨大,工业产值很大,不同品种的价格悬殊巨大,一些品种的附加值很高。石英的工业应用和价值与二氧化硅的纯度有着密切的关系。根据石英的二氧化硅纯度及其工业应用特点,可将石英原材料及相关产品归纳为如下三大类:

**二氧化硅纯度为99%左右产品。**主要应用在石英传统工业领域,包括各种浮法玻璃、日用玻璃(如玻璃器皿、酒瓶等)、玻璃纤维、陶瓷、铸造(型砂和覆膜砂)、耐火材料、冶金(冶炼各种硅质合金)等;同时还包括光伏玻璃、工业硅、石油压裂支撑剂和3D打印砂等新的应用领域。其特点是一般单价不是很高,但其用量很大,工业产值十分可观。例如,随着油气开采难度加大,水力压裂技术已成为油气井增产的一项重要技术措施。这一新技术需要大量的石油压裂支撑剂(石英砂),目前我国该产品的年均产量约2500万吨。又如,全铁(TFe)含量 $\leq 0.01\%$



> 石英原材料的二氧化硅纯度与价格的关系(汪灵, 2021)

的低铁石英砂是近年来用量增长较快的品种,主要用于生产超白玻璃、光伏玻璃和五粮液水晶瓶,等等。据工信部数据显示,2023年,中国光伏超白压延玻璃累计产量2478.3万吨,同比增长54.3%。以原料占比60%计算,高铁石英砂使用量约1487万吨,与2019年的510万吨相比,增长约2倍。

**二氧化硅纯度为99%~99.9%产品。**也是近年来石英的重要应用领域之一,主要是各种硅微粉。硅微粉是以二氧化硅为主要成分的粉体填料系列产品的总称,应用十分广泛,如用于电工、电子和集成电路覆铜板(CCL)等,其中最高端的产品是用于芯片封装的球形硅微粉。硅微粉产品系列比较复杂,除大型集成电路和芯片封装用硅微粉对二氧化硅纯度有更高要求外,其他硅微粉通常要求二氧化硅纯度为99%~99.9%,全铁含量 $< 100 \times 10^{-6}$ 。

**二氧化硅纯度为>99.9%产品。**主要指高纯石英系列产品,这是近年来石英附加值最高和最热门的应用领域。无论从制造难度和重要性还是从矿产资源的稀缺性看,高纯石英可比作石英原材料行业中的“皇冠”。



> 美国北卡罗来纳州斯普鲁斯派恩地区花岗伟晶岩石英,系美国和挪威4N8高纯石英高端产品的生产原料

“石英提纯定律”,即对于具有一定粒度的石英砂产品来说,任何一种石英矿都存在一定的提纯加工局限性,在现有经济技术条件下都有一个提纯极限值。换句话说,一个石英矿能够加工什么纯度的石英砂产品是自然决定的。

石英提纯定律的产生机理与石英原材料产品的两个重要特征有着密切关系:第一,都是以天然石英矿为原料加工的产品,包括天然水晶在内的每一种天然石英矿物原料中,通常都存在杂质矿物、气液包裹体和类质同像杂质3类杂质;第二,都是具有一定粒度要求的产品,即所加工的产品是砂,而不是粉,更不是超细粉。粒度作为高纯石英的一个重要指标,其粒度范围一般是40~150目,具体粒度应根据工业应用确定。生产和研究都表明,由这两个共同特征所决定,天然石英矿的3类杂质中都有一部分可分离提纯,这就是石英提纯加工可能性的理论依据;同时,天然石英矿的3类杂质中也有一部分不可分离提纯,这就是石英提纯加工局限性或石英提纯定律的产生机理。

基于以上认识和长期研究,笔者首先提出了“高纯石

英技术”概念,即高纯石英技术不只是提纯工艺加工技术,而应包括原料选择、提纯工艺、加工装备和质量检测4个技术方面,它们是既相互独立,又相互联系和相互制约的技术整体。因此,发展高纯石英技术是一项系统工程,四大技术缺一不可。

**原料选择技术** 在高纯石英技术的4个方面中,以高纯石英原料的识别、评价与选择技术最为重要,也最为关键。研究和实践证明,4N8高纯石英高端产品生产必须采用高纯石英优质原料。石英在自然界中的分布十分广泛,成因多种多样,目前能够作为工业应用的石英矿产资源有7种矿床工业类型:天然水晶、石英砂岩、石英岩、脉石英、粉石英、天然石英砂和花岗伟晶岩石英。由于不同工业类型的石英还存在多种细分成因类型,而且受成矿地质条件的影响,同一成因类型石英的矿物学、岩石学和矿床学特征也有较大差别。因此,以目前的加工技术水平,能够加工高纯石英高端产品的矿石原料只是极少数,甚至是极个别。迄今为止,在国内还没有找到能够稳定满足工业生产需要的高纯石英优质原料。因此,如何在复杂多样的石英矿中发现和选择高纯石英高端产品的原料,已成为实现高纯石英技术突破的前提和保证。我们应当努力的方向是,发现能够稳定满足工业生产需要的高纯石英优质原料(A级矿),这是解决我国4N8高纯石英高端产品被“卡脖子”问题的关键所在。

**提纯工艺技术** 我国的工业生产工艺主要有水淬、制砂、磁选、浮选、酸浸和氯化焙烧，等等。实践证明，必须根据不同成因、不同产地、不同种类石英矿原料的矿物材料学特征，尤其是根据矿物原料中杂质矿物、气液包裹体和类质同像杂质3类杂质的特点及其赋存状态，做到一矿一策，提出有针对性的加工工艺与方法，方能达到预期的效果。

**加工装备技术** 由于高纯石英加工工艺具有试剂纯度高、腐蚀性强、材料标准严、环境要求苛刻和安全要求高等特点，这就决定了高纯石英加工生产装备要求很高，研发安全、环保、高效的生产装备是实现规模化、产业化的关键条件。

目前，我国采用国产生产设备和印度等国进口的优质石英矿（A级矿），能够生产出满足石英坩埚要求的中层砂和外层砂，说明现有国产设备是可行的，但不是先进的。因为我国整个高纯石英行

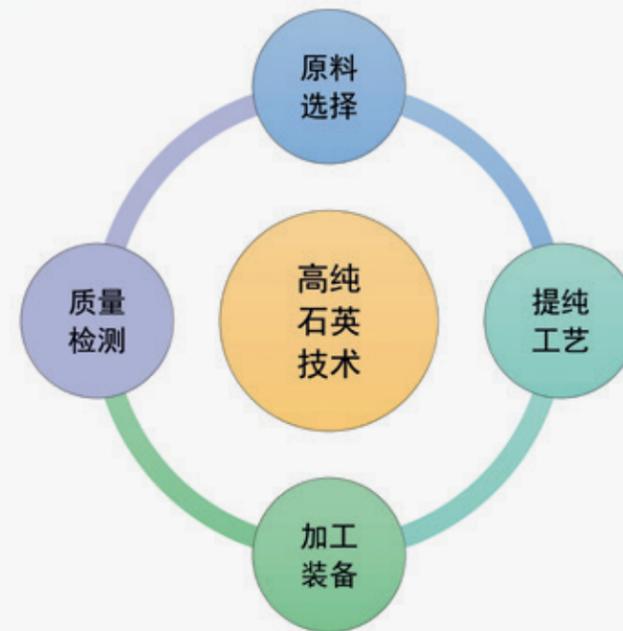
业仍然采用开放式、间歇式、平面式、模块化的生产方式，还存在产能低、生产成本低、劳动强度大、质量不稳定、占地面积大和环保健康等问题，如何使高纯石英生产实现自动化、集约化、绿色化是大家期待的目标。

**质量检测技术** 由于高纯石英具有杂质含量低、溶矿难度大等特点，其质量检测难度很高。高纯石英质量的ICP（电感耦合等离子体）检测技术包括试样制备和仪器检测两大部分，其技术关键是试样的消解和溶矿制备。这是因为在试样制备过程中，所采用的试样重量、试剂组合、试剂用量和试剂纯度等与ICP检测效果的关系明显，会对检测结果产生重要影响。因此，为了减少检测误差，必须尽量避免外来杂质污染，严格控制试样制备的各项参数。如何将铝、硼、锂、钠、钾、钙、镁、钛、铁、锰、铜、铬、镍等13种或15种（增加磷和锌）

## 国产技术突破有何意义

2007年以来，为了解决我国4N8高纯石英生产难题，笔者科研团队先后解决了高纯石英的原料遴选、提纯工艺、生产装备、质量检测等四大技术痛点，尤其是突破了高纯石英优质原料的识别、评价与遴选这一关键技术瓶颈，并结合多年野外地质和工程应用，打破了“中国没有优质矿或A级矿”的传统认知，率先在我国秦岭等地发现4N8高端产品生产必需的高纯石英优质矿，为我国高纯石英产业高质量发展提供了技术支撑和矿产资源保障。

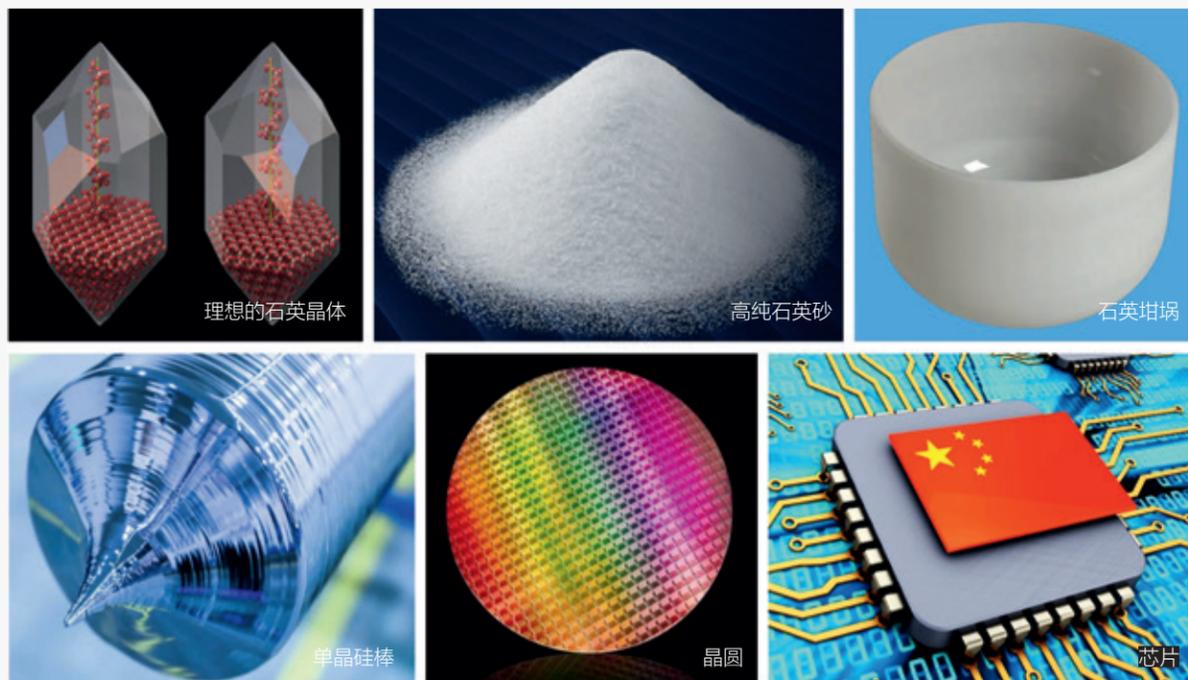
为了加快科技成果转化，尽快解决这个“卡脖子”难题，2023年12月28日，笔者科研团队和7项高纯石英组合专利受让方工程技术团队，历经两年技术攻关，在四川罗江建成了我国首条以国产矿石为原料、具有完全自主知识产权的全自动高纯石英砂高端产品生产线，并于同日实现了成功点火运行。中国粉体网、今日头条等多家新媒体平台先后以《重大突破！我国首条全自动4N8高纯石英砂生产线成功点火运行》



> 高纯石英技术是由四大技术组成的既相互独立，又相互联系和相互制约的技术整体

杂质元素测全和测准，仍然是值得大家注意的问题，急需标准化技术支撑。

从以上石英的提纯定律和高纯石英四大技术的分析可知，我国4N8高纯石英被“卡脖子”，主要是卡在矿石原料，具体来说是在迄今为止还缺少能够稳定满足工业生产需要的国产高纯石英优质原料（A级矿）。其生产难点主要在于高纯石英优质原料的找矿困难，同时，还难在必须根据原料中杂质的特点及其赋存状态，以具有针对性的提纯工艺技术、先进的生产装备技术、可靠的质量检测技术作保障。



> 高纯石英在芯片发展（晶圆制造）中的重要应用



> 我国首条全自动4N8高纯石英砂生产线采用的国产脉石英A级矿样品（左）及其局部放大（右）照片

和《做好‘压舱石’，护航中国光伏产业高质量发展》为题，专题报道和采访了该科技成果转化成果，在全国引发高度关注和强烈反响。

该生产线是我国首条以国产矿石为原料、具有完全自主知识产权的全自动4N8高纯石英砂高端产品生产线，具有国际领先水平。因为它是以成都理工大学挂牌转让的7项高纯石英国家发明专利组合为核心技术，以国产矿石为原料，通过国内首创的立体式布局和自主研发的关键设备，使程序复杂、条件苛刻的高纯石英砂加工生产工艺流程实现自动化，从根本上解决了我国高纯石英行业目前存在的产能低、生产成本低、劳动强度大、质量不稳定和环保健康等问题，实现了4N8高纯石英砂生产的智能化和绿色环保。

该生产线自成功点火运行几个月以来，一直在不断优化和完善，经过若干批次产品质量检测，其二氧化硅纯度已稳定在99.998%及以上。该生产线的重要意义在于打通了4N8高纯石英砂技术从实验室到连续工业化生产的转化难关，标志着我国攻克了生产4N8高纯石英高端产品的“卡

脖子”技术，解决了我国长期以来无法自主生产4N8高纯石英高端产品的难题，可为我国芯片和光伏产业提供关键基础材料支持，对护航中国高纯石英产业高质量发展起到“压舱石”作用。

以该生产线为标志的科技成果转化，瞄准国家重大需求和“卡脖子”难题，形成科研成果—专利—产品—商品的闭环，获评2022年度四川省高校院所知识产权市场化运营典型案例，入选成都市科技成果转化白皮书（2023）。

### 结语与展望

高纯石英，尤其是4N8高端产品在国家经济社会发展、战略性新兴产业、未来产业、国防军工和国家安全等方面都具有十分重要的地位和作用。目前，我国在高纯石英技术的4个方面，即在原料选择、提纯工艺、加工装备和质量检测方面都做了大量工作，并取得了十分可喜的成就，在高纯石英产品的产量、质量和品种上基本满足了我国需要。而要注意的是，我国高纯石英行业依然存在产能低、劳动强度大、质量不稳定和环保健康等问题。更要清醒地认识到，我国芯片和光伏产业必需的4N8高纯石英高端产品这一关键基础材料，仍受制于人。



> 我国首条全自动4N8高纯石英砂高端产品生产线全景

值得高兴的是，在四川罗江建成的我国首条全自动高纯石英砂生产线的成功点火运行，不仅为我国智能化生产以国产矿石为原料的绿色环保的4N8高纯石英砂高端产品提供了市场化、产业化的典型案例，而且标志着我国攻克了生产4N8高纯石英高端产品的“卡脖子”技术，实现了我国自主生产4N8高纯石英高端产品的重大突破。

当前，高纯石英，尤其是4N8高端产品已引起了国家和各界的高度重视。我们有理由相信，在各级政府和有关方面的共同努力下，坚

持“四个面向”，一定能够实现我国高纯石英优质原料（A级矿）找矿的更大突破，为解决4N8高纯石英高端产品的“卡脖子”难题提供可靠的矿产资源保障和科学技术支撑，为我国高纯石英产业，以及芯片、光伏产业高质量发展作出应有的重要贡献。

第一作者单位 / 成都理工大学

（本文编辑：何陈临秋）

