

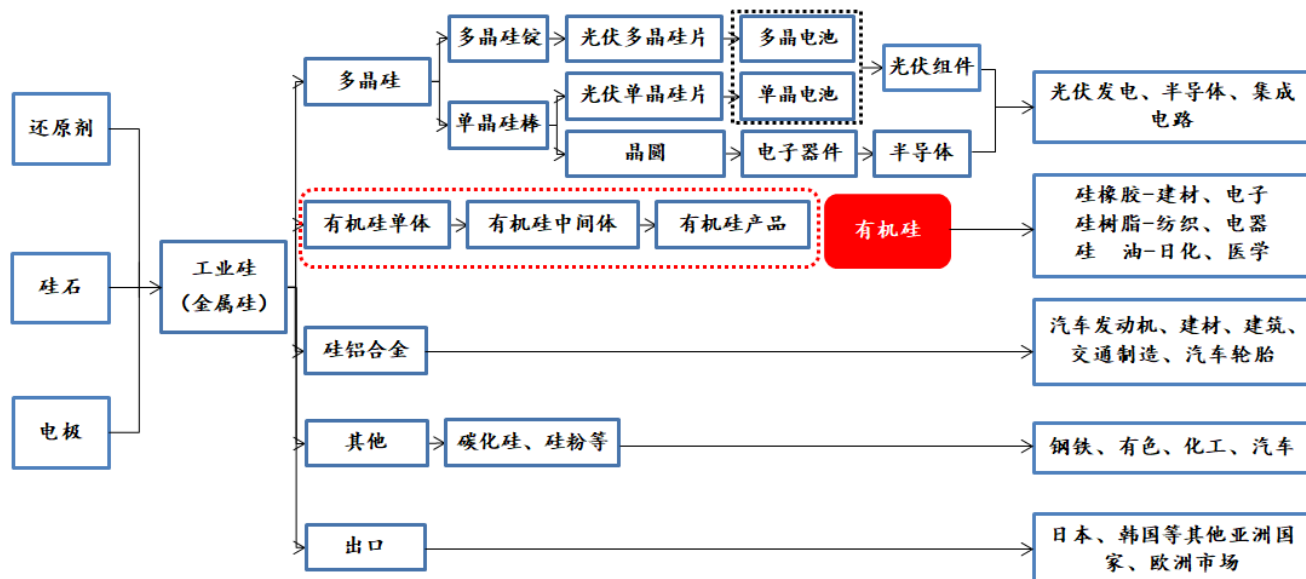
工业硅系列专题一：硅石篇

一、产业清晰，用途广泛

硅石是工业硅生产过程中必不可少的原材料。工业硅是以硅石、碳质还原剂等为原材料，在矿热炉中持续电热化反应得到的，冶炼生产时，首先将生产所需的炉料由原料处理系统送到矿热炉车间的料堆场，然后根据炉料配比，将称量精准的炉料由输送设备送达矿热炉车间的炉顶料仓或操作平台的贮料仓，并由炉口操作人员将炉料加入炉膛内，通电后，矿热炉内的电极会释放电火花进而融化炉料，硅在炉内被还原出来，此时硅呈液态，经扒渣后注入锭模中铸造成锭块，等待硅锭冷却脱模后进行破碎、取样、化验、分级、包装、称量等步骤，最终入库。在冶炼过程中，液相线在 1410℃ 以上，炼制需要达到 1800 摄氏度以上的高温。

工业硅终端消费广泛。工业硅中主成分硅含量在 98% 左右，其余主要杂质为铁、铝、钙以及微量元素等，根据不同杂质含量的不同，工业硅可以分为多个不同牌号，应用于不同的下游领域。工业硅的下游领域主要包括多晶硅、有机硅和硅铝合金三大方向，终端流向较为广泛，包括光伏产业、半导体产业、建材、电子、日化、交通制造、汽车等。

图表 1：工业硅产业链图



资料来源：宏源期货研究所

二、元素硅

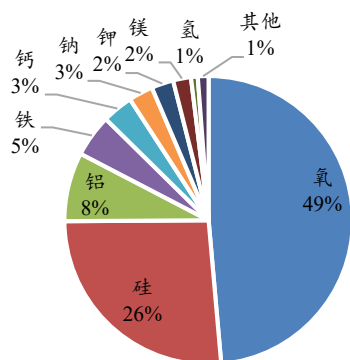
硅在地壳中的含量约为 26.30%，仅次于氧的含量。元素硅有无定形硅和晶体硅两种同素异形体，无定形硅为黑色，晶体硅为钢灰色，有明显的金属光泽、晶格和金刚石相同，硬而脆，能导电，但是由于晶体硅中无明显的自由电子，导电率不如金属，且导电率随温度的升高而增加，属于典型的半导体。在热处理温度大于 750℃时，硅材料由脆性材料转变为塑性材料，在外加应力下，产生滑移位错，形成塑性变形。硅材料还具有一些特殊的物理性质，如硅材料熔化时体积缩小，固化时体积增大。低温时单质硅不活泼，不与空气、水和酸反应。室温下表面被氧化形成 1000 皮米的二氧化硅保护膜。高温时能跟所有卤素反应，跟氧气在 700℃以上时燃烧生成二氧化硅。

硅极少以单质的形式在自然界存在，主要以复杂的碳酸盐和二氧化硅的形式存在，广泛分布在岩石、尘土、沙砾等之中。

硅酸盐是含有硅氧阴离子的化合物，在不同硅酸盐中，硅原子之间共享的氧原子数量以及连接方式不同，构成链状结构、平面层状结构以及三维结构，层状结构（如滑石）中层与层之间的作用力弱，容易滑移，三维网状结构（如石英）硬度高，抗变形强，链状结构（如石棉）可以加工成长的纤维，用于热绝缘和耐腐蚀材料。硅酸盐可用于制造硅酸盐水泥（主要成分是钙硅酸盐），大量应用于建筑砂浆和现代粉刷，结合硅砂和碎石（主要成分是硅酸盐矿物）制备的混凝土，是建筑中应用最多的基础材料。

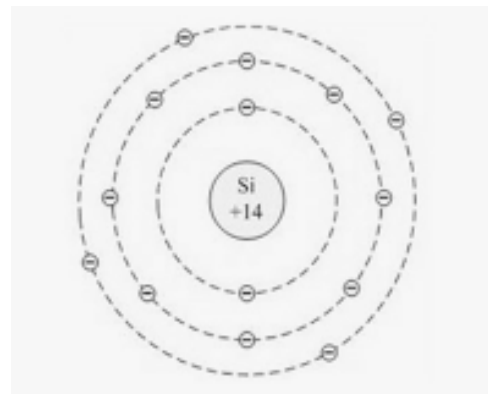
二氧化硅用途很广泛，主要用于制备玻璃、水玻璃、陶瓷、耐火材料、硅铁、硅砂、硅单质、水泥等工业品，由于硅的亲氧性，二氧化硅表现为“怕碱不怕酸”（氢氟酸除外）。

图表 2：地壳元素分布



资料来源：公开资料整理，宏源期货研究所

图表 3：硅原子结构二维图



资料来源：公开资料整理，宏源期货研究所

三、硅石

（一）品类丰富，用途广泛

二氧化硅又称硅石，属于酸性氧化物，是生产工业硅重要的原材料。二氧化硅化学性质比较稳定，不溶于水也不跟水反应，不跟一般的酸起作用，能与氟化氢气体或氢氟酸反应生成四氟化硅气体，高温下能与碱（强碱溶液或熔化的碱）反应生成盐和水。

依据不同的分类方法及准则对硅石进行分类。

根据国家自然资源部公开资料显示，根据硅石的内部组织结构，硅石包括石英岩、石英砂岩、石英砂、脉石英和粉石英五大类，不同类别内部根据用途可进行二次分类，例如石英岩包括冶金用石英岩、玻璃用石英岩和化肥用石英岩。

根据不同的用途，可以分为冶金用、玻璃用、水泥配料用、铸型用、陶瓷用等多个用途，其中主要用途是冶金、玻璃和水泥配料。冶金用硅石又可以分为工业硅用和硅质合金用硅石，工业硅用硅石要求二氧化硅含量不低于 99%，硅质合金用硅石要求二氧化硅含量不低于 97%；玻璃用硅石可以分为工业用玻璃、平板玻璃、器皿玻璃和光伏玻璃，四种玻璃用途对硅石中二氧化硅含量的要求分别为 97%、90.5%、90%、99%。不同用途对于硅石中杂质及微量元素的要求也各有不同，同一行业不同生产企业也有不同的品质要求，目前暂无统一标准。

根据《中华人民共和国黑色冶金行业标准 YB/T 5268-2014》可以将硅石划分为耐火材料用硅石、铁合金用硅石和工业硅用硅石，三种用途对硅石中二氧化硅含量的最低要求分别为 96%、97%和 99%，耐火材料用硅石包括 GSN99、GSN98、GSN97、GSN96 四个牌号，其中 GSN99 分为 A、B 两个级别，铁合金用硅石分为 GST99、GST98、GST97 三个牌号，工业硅用硅石分为 GSG99A、GSG99B 两个牌号。

图表 4：硅石



资料来源：公开资料整理，宏源期货研究所

图表 5：工业硅



资料来源：公开资料整理，宏源期货研究所

图表 6：耐火材料用硅石指标

| 牌号 | 化学成分（质量分数）/% | | | | 耐火度 CN |
|--------|-------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|------|--------|
| | SiO ₂ 不低于 | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ 不高于 | CaO | |
| GSN99A | 99.0 | 0.25 | 0.5 | 0.15 | 174 |
| GSN99B | 99.0 | 0.30 | 0.5 | 0.15 | 174 |
| GSN98 | 98.0 | 0.50 | 0.8 | 0.20 | 174 |
| GSN97 | 97.0 | 1.00 | 1.0 | 0.30 | 172 |
| GSN96 | 96.0 | 1.30 | 1.3 | 0.40 | 170 |

资料来源：《中华人民共和国黑色冶金行业标准 YB/T 5268-2014》，宏源期货研究所

图表 7：铁合金及工业硅用硅石指标

| 化学成分（质量分数）/% | | | | | | | | |
|--------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------------------------------|------------------|-------|-------|
| 牌号 | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | P ₂ O ₃ | TiO ₃ | B | |
| | 不低于 | 不高于 | | | | | | |
| 铁合金 | GSN99 | 99.0 | 0.20 | 0.15 | 0.15 | 0.02 | 0.005 | 0.003 |
| | GSN98 | 98.0 | 0.50 | - | 0.60 | 0.02 | 0.005 | - |
| | GSN97 | 97.0 | 1.00 | - | 0.80 | 0.03 | - | - |
| 工业硅 | GSG99A | 99.5 | 0.20 | 0.15 | 0.15 | 0.02 | - | 0.003 |
| | GSG99B | 99.0 | 0.25 | 0.15 | 0.15 | 0.02 | - | 0.003 |

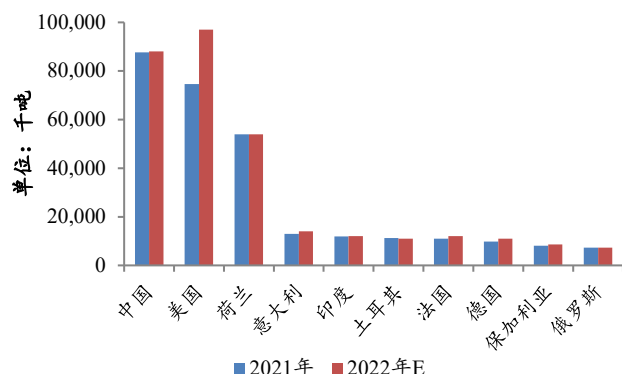
资料来源：《中华人民共和国黑色冶金行业标准 YB/T 5268-2014》，宏源期货研究所

（二）全球硅石格局：资源丰富，分布不均

全球硅石资源充足，但分布不均匀。根据 USGS 公布的数据，2021 年全球硅石总产量 3.53 亿吨，预估 2022 年全球硅石总产量 3.8 亿吨，2021 年硅石产量前三的国家分别为中国、美国 and 荷兰，预计 2022 年美国的产量将超过中国硅石产量，跃居全球第一位，前三大硅石产量国变为美国、中国和荷兰，三个国家产量总量占比全球总产量 60% 以上。

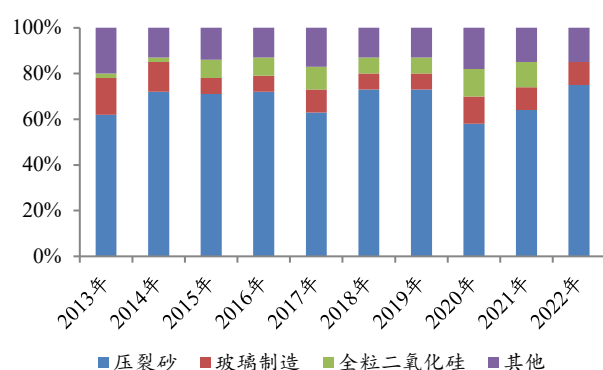
美国是全球硅石生产大国，其硅石主要用于制造压裂砂。2022 年美国硅石产量约 9,700 万吨，与 2021 年相比，产量提升了约 30%，其中，产量前十的州分别是德克萨斯州、威斯康星州、伊利诺伊州、路易斯安那州、密苏里州、俄克拉荷马州、阿肯色州、阿拉巴马州、加利福尼亚州和田纳西州，前十大州产量占比达到 87%。从硅石用途上看，2022 年美国生产的硅石 75% 的比例用于压裂砂，10% 的比例用于玻璃制造。美国是硅石净出口国，约 6.6% 的量用于出口，进口量占比不到 1%，主要从加拿大进口，从加拿大进口的硅石占到美国硅石进口总量的 87%。

图表 8：全球硅石产量分布



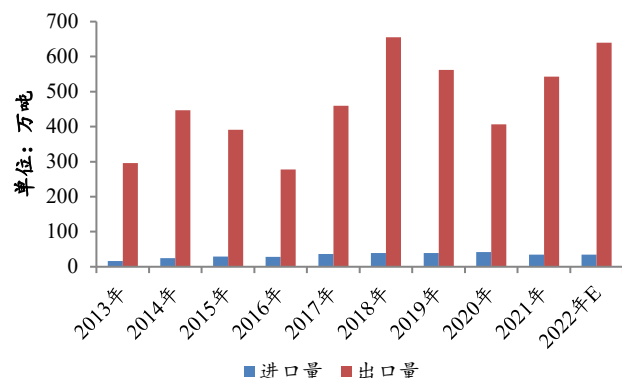
资料来源：USGS, 宏源期货研究所

图表 9：美国硅石用途



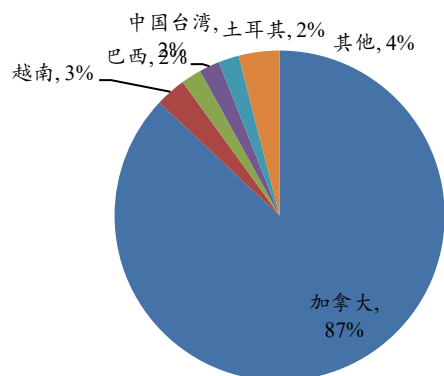
资料来源：USGS, 宏源期货研究所

图表 10：美国硅石进出口情况



资料来源：USGS, 宏源期货研究所

图表 11：2018-2021 年美国硅石进口来源



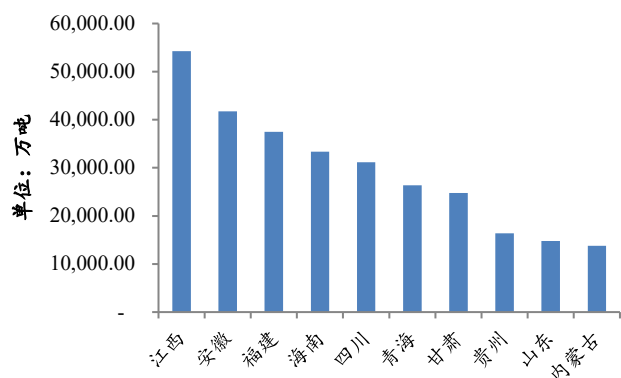
资料来源：USGS, 宏源期货研究所

(三) 国内硅石格局：数量充足，品质不一

我国硅石资源丰富，但高品质硅石相对较少。根据国家自然资源部统计数据，2021 年我国硅石储量 37.95 亿吨，较 2020 年的 27.02 亿吨增长了 40.47%，主要分布在江西、安徽、福建、海南和四川地区，合计占比超过 50%。从硅石品质来看，2021 年我国硅石以石英砂岩为主，储量占比 40.35%，主要分布在青海、甘肃、江西、安徽和辽宁地区，五省合计占比 72.85%；其次是石英砂和石英岩，占比分别为 29.12%和 28.28%，石英砂主要分布在江西、安徽、贵州、山东和河北地区，五省合计占比 71.05%，石英岩主要分布在福建、海南、四川、内蒙古和甘肃地区，五省合计占比 89.01%；粉石英和脉石英合计占比不超过 3%，脉石英主要分布在甘肃、江西、四川、新疆和安徽地区，五省合计占比 82.33%，粉石英则分布在江西、福建、广西和四川地区。

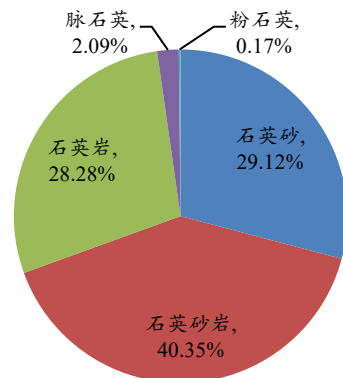
从用途上看，我国冶金用的硅石较少，玻璃用和水泥配料用硅石较多。2021 年我国玻璃用硅石占比最高，达到 43.38%，主要分布在海南、四川、江西、青海和山东地区，五省合计占比 64.86%；水泥配料用硅石占比 33.67%，主要分布在安徽、江西、贵州、河北和广西地区，五省合计占比 68.20%；冶金用硅石占比仅 13.26%，主要分布在内蒙古、贵州、江西、甘肃和青海地区，五省合计占比 76.11%。

图表 12：2021 年中国硅石储量分布



资料来源：国家自然资源部，宏源期货研究所

图表 13：2021 年中国硅石分类



资料来源：国家自然资源部，宏源期货研究所

图表 14：2021 年中国石英岩分布



资料来源：国家自然资源部，宏源期货研究所

图表 15：2021 年中国石英砂岩分布



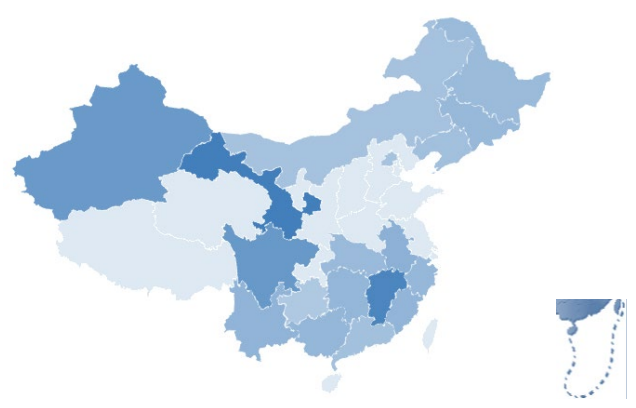
资料来源：国家自然资源部，宏源期货研究所

图表 16：2021 年中国石英砂分布



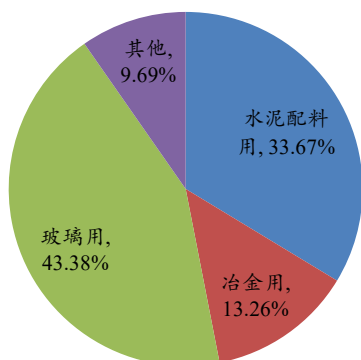
资料来源：国家自然资源部，宏源期货研究所

图表 17：2021 年中国脉石英分布



资料来源：国家自然资源部，宏源期货研究所

图表 18：2021 年中国硅石主要用途



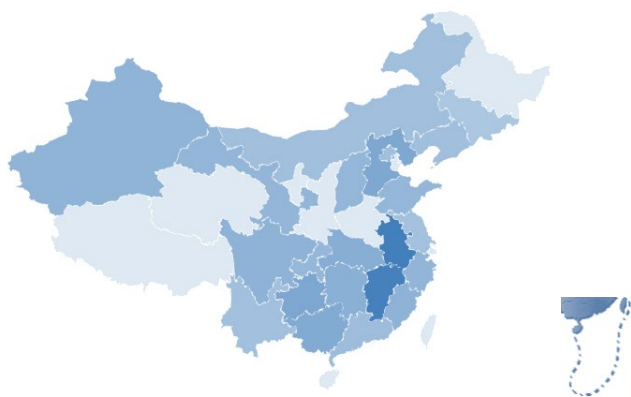
资料来源：国家自然资源部，宏源期货研究所

图表 19：2021 年中国玻璃用硅石分布



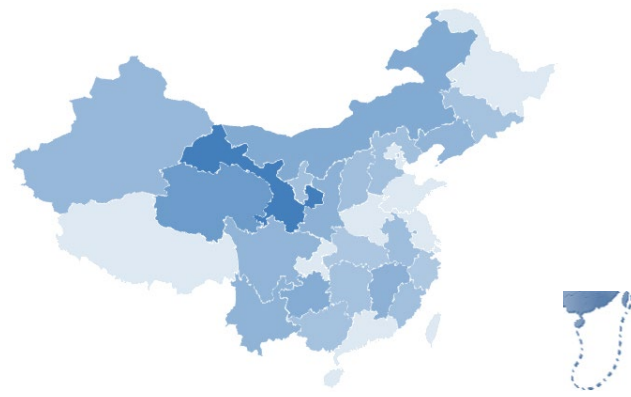
资料来源：国家自然资源部，宏源期货研究所

图表 20：2021 年中国水泥配料用硅石分布



资料来源：国家自然资源部，宏源期货研究所

图表 21：2021 年中国冶金用硅石分布



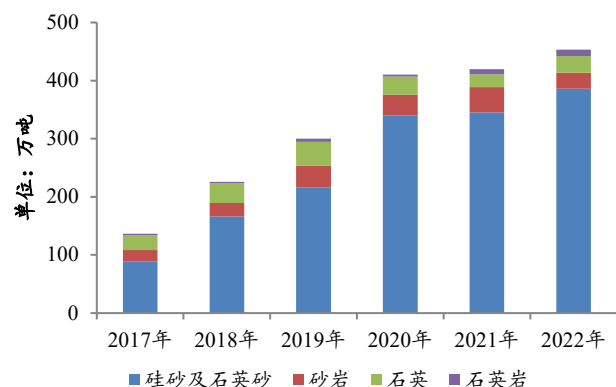
资料来源：国家自然资源部，宏源期货研究所

（四）进口为主，格局稳定

硅石质量不一，我国既是硅石进口国，亦是硅石出口国。2017 年至 2022 年，我国硅石进口量远大于出口量，且呈现递增趋势，净进口量从 49.45 万吨增长至 335.11 万吨，2022 年我国硅石总进口量 453.34 万吨，总出口量 118.23 万吨。从进出口结构来看，我国进口硅石的品种主要是硅砂及石英砂，占比我国硅石总进口量 85.18%，我国出口的硅石品种主要是石英岩和石英，占比分别为 52.48%和 43.88%。

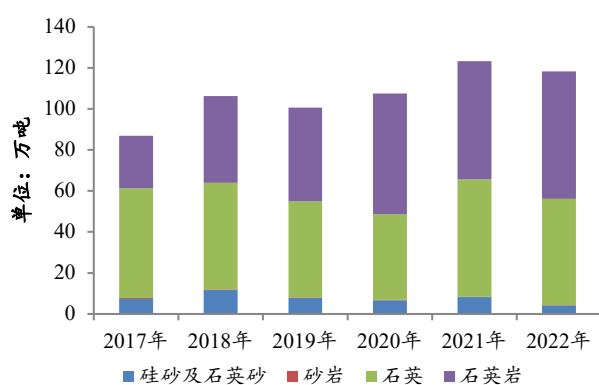
我国硅石进出口格局相对稳定。2017 年至 2019 年，我国硅石主要从澳大利亚、柬埔寨和马来西亚进口，2020 年柬埔寨硅石进口价格大涨，印度尼西亚硅石进口价格下跌，远低于柬埔寨的进口单价，因此，2020 年开始，我国硅石主要进口国转为了澳大利亚、马来西亚和印度尼西亚。从出口硅石的格局来看，我国硅砂及石英砂出口数量相对较少，主要出口至港澳台地区；我国石英岩主要出口至马来西亚、日本和印度尼西亚，石英主要出口至菲律宾、马来西亚、泰国和韩国等地区。

图表 22: 中国硅石进口情况



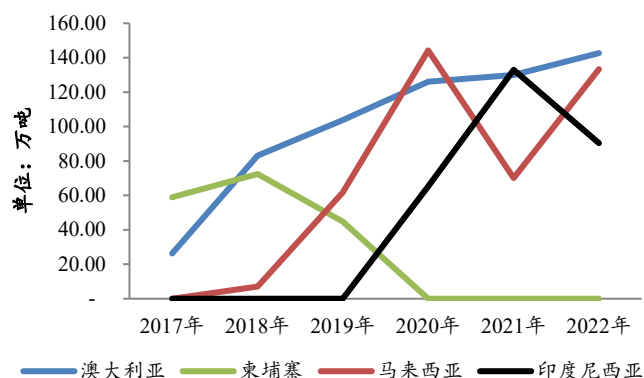
资料来源: 中国海关总署, 宏源期货研究所

图表 23: 中国硅石出口情况



资料来源: 中国海关总署, 宏源期货研究所

图表 24: 中国硅砂及石英砂进口情况



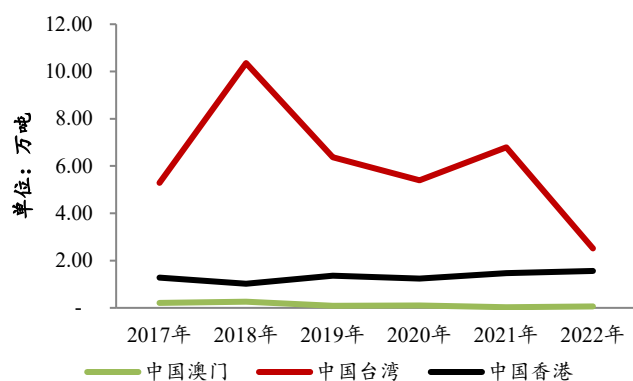
资料来源: 中国海关总署, 宏源期货研究所

图表 25: 硅砂及石英砂进口单价 (元/吨)

| 进口单价 | 澳大利亚 | 柬埔寨 | 马来西亚 | 印度尼西亚 |
|--------|--------|------------|-----------|----------|
| 2017 年 | 340.99 | 208.31 | 55,173.91 | 4,017.13 |
| 2018 年 | 316.53 | 230.26 | 227.23 | |
| 2019 年 | 333.20 | 273.10 | 241.94 | 9,666.67 |
| 2020 年 | 333.83 | 102,625.00 | 215.26 | 238.78 |
| 2021 年 | 345.36 | 99,571.43 | 274.34 | 258.26 |
| 2022 年 | 425.76 | 158,000.00 | 277.12 | 283.22 |

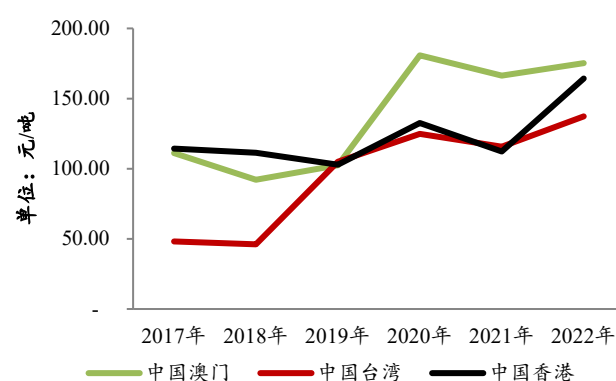
资料来源: 中国海关总署, 宏源期货研究所

图表 26: 中国硅砂及石英砂出口情况



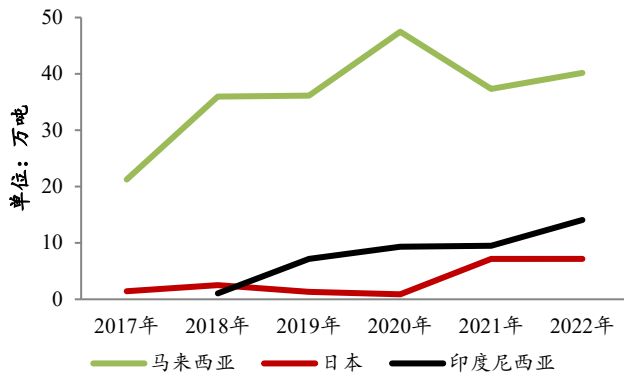
资料来源: 中国海关总署, 宏源期货研究所

图表 27: 中国硅砂及石英砂出口单价



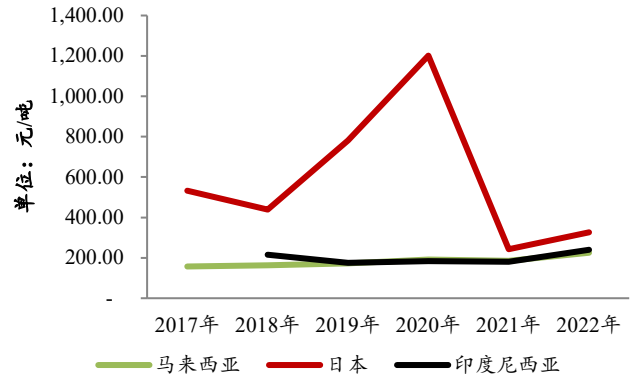
资料来源: 中国海关总署, 宏源期货研究所

图表 28：中国石英岩出口情况



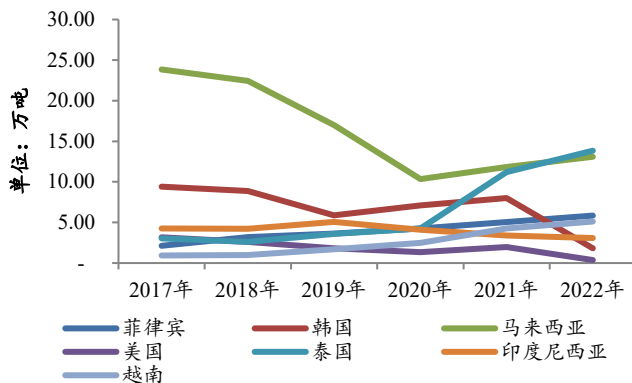
资料来源：中国海关总署，宏源期货研究所

图表 29：中国石英岩出口单价



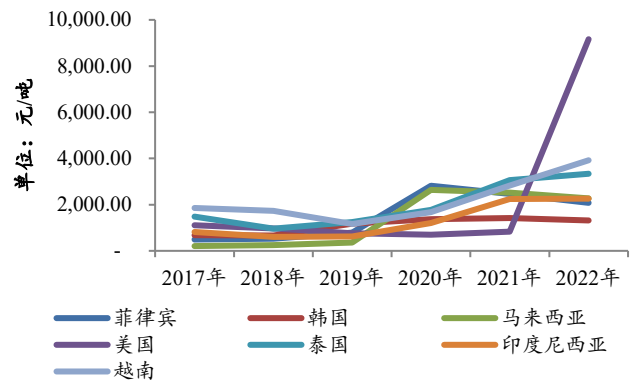
资料来源：中国海关总署，宏源期货研究所

图表 30：中国石英出口情况



资料来源：中国海关总署，宏源期货研究所

图表 31：中国石英出口单价



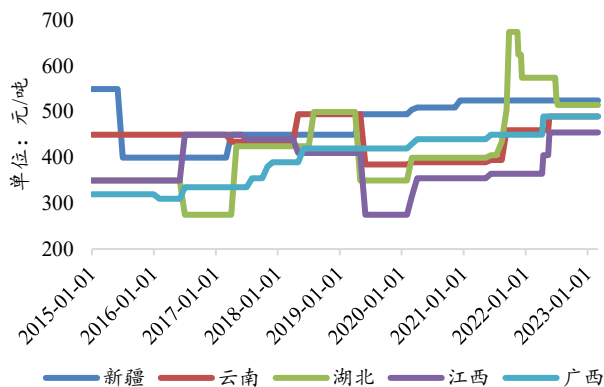
资料来源：中国海关总署，宏源期货研究所

（五）价格：参差不齐，需求主导

各地硅石品质不一，价格差距较大。我国 99%以上品味硅石分布较为分散，主要分布在新疆、云南、湖北、江西和广西地区，其中，湖北硅石品质相对较高，硅石价格相对较高，目前单价在 500 元/吨以上，云南硅石资源充足但质量一般，新疆硅石品质不一，且开采具有一定的限制，新疆是我国工业硅第一生产大省，2022 年产量占比约 40%，对硅石的需求比较大，但是受当地勘探技术及政策限采的影响，当地硅石产量无法满足全部生产需求，部分硅石仍需外采，新疆地区硅石价格相对稳定，2019 年之后，基本维持在 490 元/吨-525 元/吨之间。

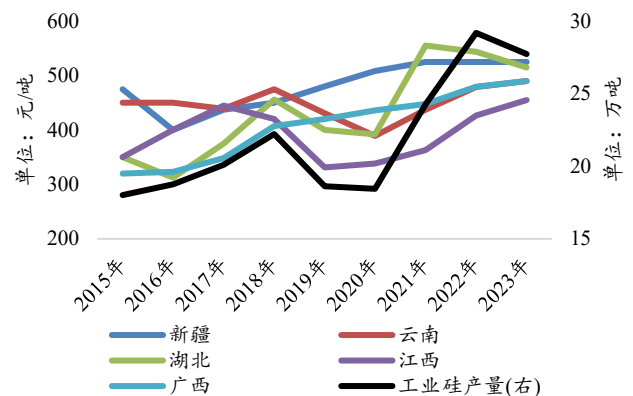
高品质硅石价格与下游生产密切相关。通过统计计算，新疆、云南、湖北、江西及广西地区硅石价格与工业硅产量的相关系数分别为 0.62、0.69、0.88、0.61 和 0.77，相关性均在 0.6 以上，主要是因为我国是工业硅生产大国，产能产量占全球总量 78%左右，对高品质硅石的需求较大，且大多数供应依靠国内硅石供应。从数据上看，2015 年-2018 年、2021 年-2022 年我国工业硅产量逐年递增，对应硅石价格上涨，2019 年-2020 年我国工业硅产量下滑，对应硅石价格下跌阶段。

图表 32：部分地区硅石价格



资料来源：SMM，宏源期货研究所

图表 33：硅石价格与工业硅产量



资料来源：SMM，宏源期货研究所

四、总结

硅石作为工业硅的原材料，是硅能源必不可少的一环。2022年12月22日、23日广州期货交易所分别上市了工业硅期货和期权，广期所上市的工业硅期货不仅是我国的首个新能源金属期货品种，同时也是全球范围内首个工业硅期货品种，工业硅的下游包括有机硅、多晶硅及硅铝合金，终端消费包括光伏产业、半导体产业、建材等行业，多晶硅和工业硅是促进我国硅能源发展的必经之路，硅石作为工业硅的原材料，是我国硅能源发展极为关键的一环。

硅石资源丰富，用途广泛。硅在地壳中的含量约为26.30%，仅次于氧的含量，在自然界主要以复杂的碳酸盐和二氧化硅的形式存在，二氧化硅即硅石，2021年全球产量3.53亿吨，主要分布在中国、美国和荷兰；中国硅石储量丰富，根据国家自然资源部公布的数据，2021年我国硅石储量37.95亿吨，主要分布在江西、安徽、福建、海南和四川地区，但我国高品质硅石相对较少，冶金用的硅石仅占硅石总储量的13.26%，主要分布在内蒙古、贵州、江西、甘肃和青海地区；我国是硅石净进口国，进口品种主要是硅砂及石英砂，占比85.18%，目前主要从澳大利亚、马来西亚和印度尼西亚进口。

国内高品质硅石价格主要受下游工业硅需求的影响。我国各地硅石品质参差不齐，价格差异较大；99%以上品味硅石主要分布在新疆、云南、湖北、江西和广西地区，由于我国是工业硅生产大国，对高品质硅石需求较大，因此硅石价格主要受下游工业硅产量影响。

分析师简介:

祁玉蓉（F03100031），南开大学金融工程硕士，现任宏源期货研究所有色分析师，负责铅锌和工业硅的品种研究，致力于行业基本面分析，深入研究产业链，结合产品期现货市场进行多维度分析，在南方财经、期货日报等多家媒体发表文章。

TEL: 010-82295006

Email: qiyurong@swyhsc.com

免责条款:

本报告分析及建议所依据的信息均来源于公开资料，本公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证，也不保证所依据的信息和建议不会发生任何变化。我们已力求报告内容的客观、公正，但文中的观点、结论和建议仅供参考，不构成任何投资建议。投资者依据本报告提供的信息进行期货投资所造成的一切后果，本公司概不负责。本报告版权仅为本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。如引用、刊发，需注明出处为宏源期货，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。

风险提示：期市有风险，投资需谨慎

