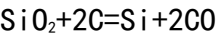


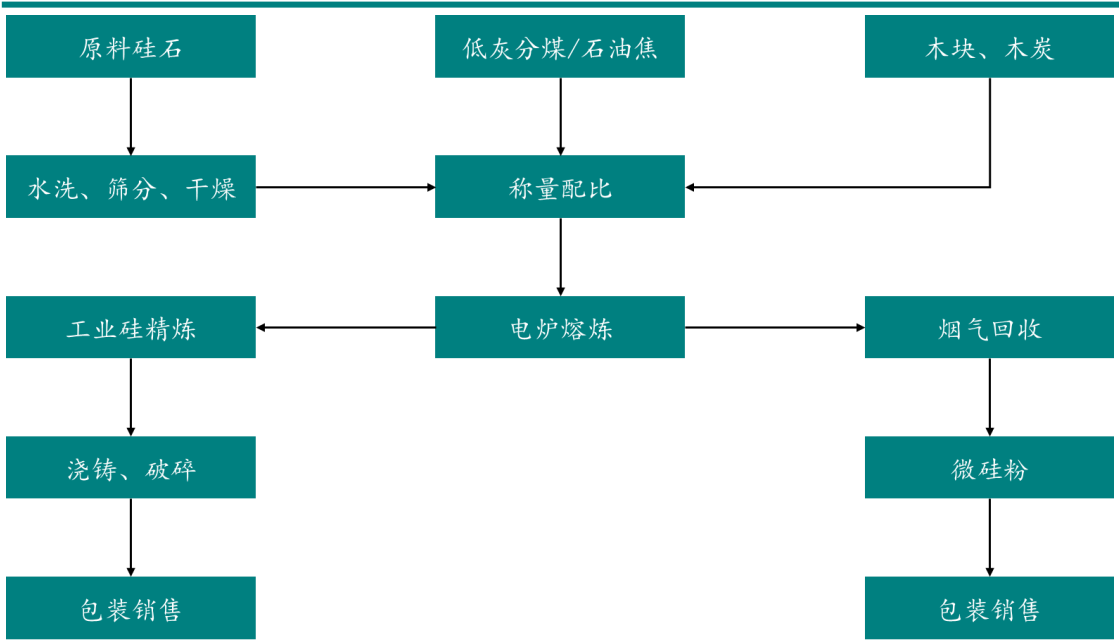
新湖工业硅原料系列专题三：硅石介绍

一、硅石是工业硅生产的核心原材料
生产工业硅所需要的硅主要来自硅石，硅石是制造工业硅的重要原料之一。

工业硅生产过程主要是将硅石作为硅源以碳质材料作为还原剂，经过清洗干燥后，将硅石和还原剂送入反应炉，在 2000℃左右的高温下，经还原制得硅。之后，再将产物溶化后重结晶，用酸除去杂质，最后得到合格的工业硅。其生产过程中的碳还原氧化硅反应，通常用以下总反应式表示：



图表 1：工业硅生产工艺流程简图



资料来源：《化工管理》，新湖期货研究所

二、硅石的洗选技术已相当成熟

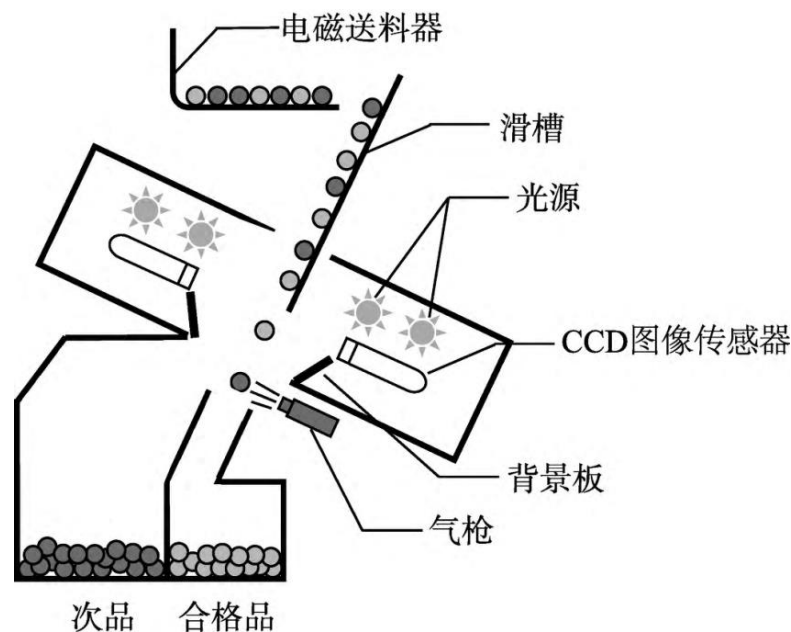
对于生产冶金级工业硅的硅石，其氧化物杂质含量应达到 $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0.15\%$ ， $\text{Al}_2\text{O}_3 < 0.20\%$ ， CaO 小于 0.15%。如果生产太阳能级工业硅，对氧化物杂质的控制更严格， Fe_2O_3 小于 0.1%， Al_2O_3 小于 0.15%， CaO 小于 0.10%，并对硅石中硼、磷还有严格要求。

硅石除了主要矿物石英外，通常伴有长石、云母、粘土和铁质等杂质矿物。在工业硅生产过程中，硅石需要经过清洁，去除泥沙等杂质，硅石中常见的杂质一般为是硅石本身或表面泥沙带入。常见的有害杂质成分通常以 Al_2O_3 、 CaO 、 Fe_2O_3 为主。这些杂质若被带入反应炉，将会有一定数量被还原进入硅溶液，带入的杂质含量越多还原数量越多，所以杂质同时提高能耗并降低了工业硅质量，故硅石作为核心原料，其品质一定程度上决定了工业硅产品品质的上限。

随着国内工业硅产业的发展，行业洗选技术越发成熟。根据硅石矿物原料的杂质和包裹体的赋存状态，在选矿提纯工艺主要分为擦洗→磁选→浮选→酸

浸等工艺流程，随着选矿工艺研究的不断深入，又引进和开发了电选、色选和生物选矿等。

图表 2：小颗粒度原料色选示意图



资料来源：《云南冶金》，新湖期货研究所

硅石的擦洗是硅石洗选流程的第一步，通常需要借助机械力和砂粒间的磨剥力来除去石英砂表面的薄膜铁、粘结及泥性杂质矿物。通过擦洗流程，可以进一步擦碎未成单体的矿物集合体，再经分级作业对泥质性杂质矿物进行有效脱除。常见的擦洗工艺有机械擦洗、棒磨擦洗和加药高效强力擦洗和超声波擦洗等。

硅石经过擦洗后，通常需要对其再进行磁选，这样硅石上的磁性矿物可以被最大限度地清除。通常磁选可以去除的杂质部分包括赤铁矿、褐铁矿、黑云母、钛铁矿、黄铁矿和石榴石等。目前主流的磁选方法有湿式和干式磁选两种方式，一般干式主要用于除去含铁矿物及其连生体颗粒，而湿式通常是强磁选或高梯度磁选模式，更适合用于剔除弱磁性杂质矿物。

第三步的浮选流程主要是为了除去硅石矿物原料中的长石、云母等非磁性伴生杂质矿物，因为这些杂质和硅石中的主要成分石英有着类似的物理性质、化学组成、结构构造。当今主流的浮选方法为无氟有酸法，将硅石处于强酸性介质条件下，再加入阴阳离子混合捕收剂，优先浮选长石，实现石英和长石的浮选分离。

经过浮选后的硅石，其纯度已达到较高水平，但仍不足以用于工业硅的生产，还需要经过最后一步酸洗，来去除硅石中的其他杂质矿物。酸浸常用的酸类有盐酸、硝酸、硫酸、氟酸等，可以有效溶解如铁元素等一系列杂质，而硅石中的石英本身并不溶于酸，故能得到提纯。

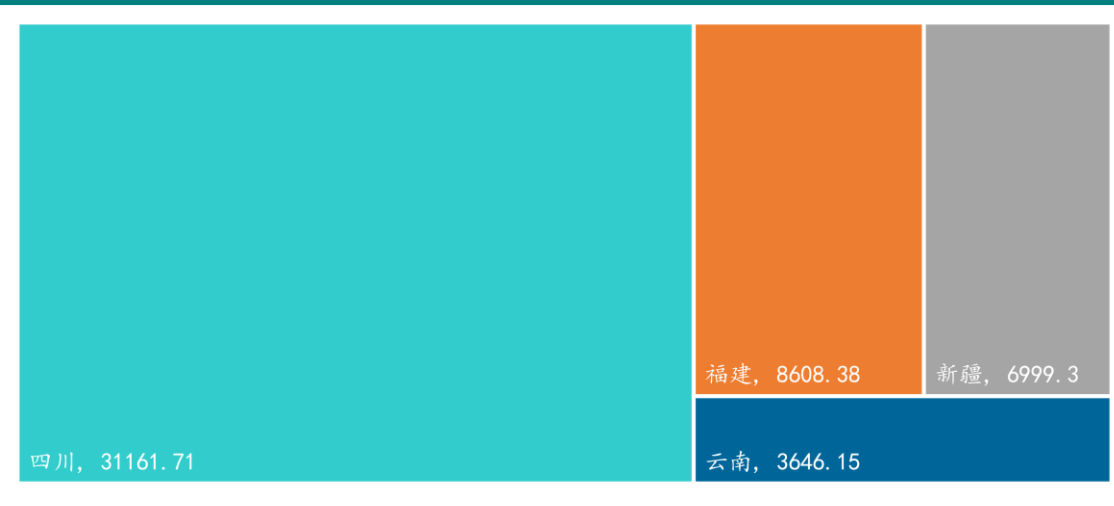
最后，硅石还需要控制颗粒度大小，才能入炉。一般情况下，小型工业硅电炉硅石的入炉粒度为 20~60mm，中型电炉的硅石入炉粒度为 30~80mm，大型电炉硅石入炉粒度为 40~100mm。

三、国内硅石资源丰富，但可开采高品位矿相对有限

根据自然资源局数据，我国硅石资源主要集中于新疆、湖北、云南、江西、甘肃、内蒙古等省份，其中湖北、江西两地硅石质量较高，云南及新疆可开采硅石资源品位一般。

中国工业硅产能主要集中在四川、福建、新疆云南等地，各主产地具有一定的硅石资源储备。根据国家自然资源局 2022 年已探明硅石矿产资源数据，四川地区硅石储量最为丰富，随后是福建和新疆。

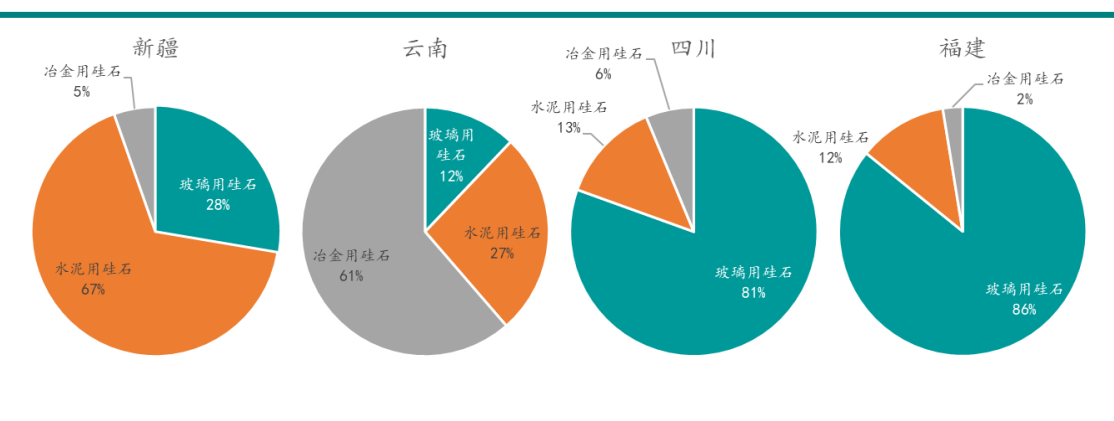
图表 3：国内硅石资源分布情况（万吨）



资料来源：SMM，新湖期货研究所

虽然四大主产地硅石储量丰富，但适用于工业硅生产的硅石比重除云南外均偏少，呈现量大而整体品位不高的局面。硅石按照品位及用途，一般可分为冶金用硅石、玻璃用硅石和水泥用硅石，其中冶金用硅石品质最高，适用于工业硅生产。而分析各产地硅石品质来看，只有云南所含的冶金用硅石比重更高，主要集中在邵通地区。新疆近期新开采矿区大部分位于阿勒泰地区，但性能指标相对一般。

图表 4：国内工业硅主产地品位情况



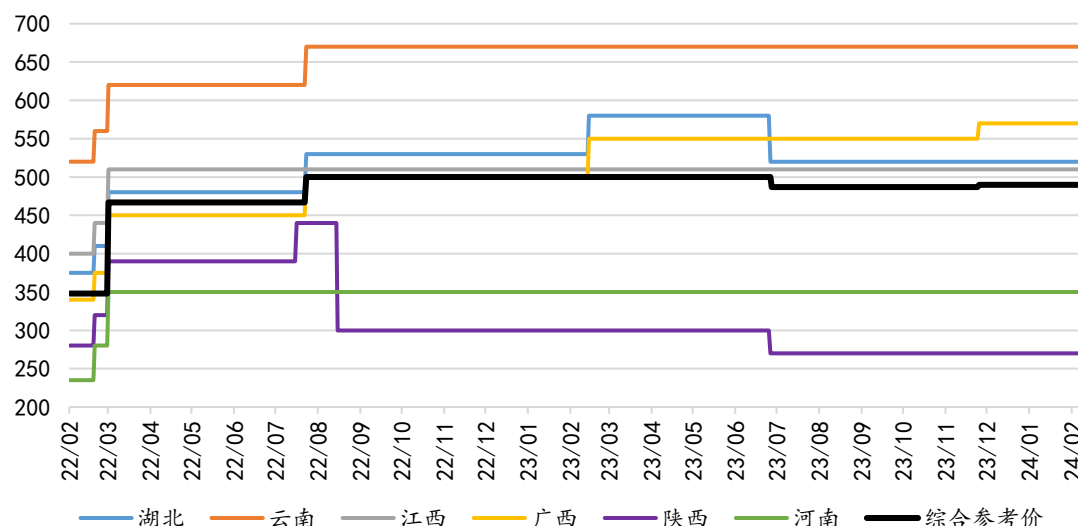
资料来源：SMM，新湖期货研究所

为应对近期因工业硅产能攀升带来的本地优质硅石的供需错配，主产地工业硅企业常从周边省份补充采购优质硅石原料。以四川地区为例，本地工业硅企业多从山西、湖北、贵州和甘肃等地区外采硅石来进行补充；而新疆地区工业硅用硅石外采地集中在内蒙古、甘肃、陕西、河南等地区；云南硅企外采硅石主来自于缅甸以及贵州、广西等地区；福建硅企会经常采用湖南、江西等地的优质硅石作为补充。

四、近期硅石的价格相对比较稳定

在 2022 年上半年，工业硅产量持续增长，行业开工保持高位，而疫情影响下，各地硅石运输费走高。硅石供应逐步趋紧张，叠加成本的上移，使得硅石价格出现了一波明显的上涨，为近 3 年来最大的涨幅。

图表 5：硅石现货价格



资料来源：百川赢孚，新潮期货研究所

2022 年下半年至今，硅石价格整体大稳小动，波动较小。由于政府限制硅石的开采，鼓励各地区硅石矿山发展趋向大型化、规模化，并注销了一定规模的小型硅石矿山，因此高品位硅石供应紧缺，给硅石价格提供了一定支撑。进入 2023 年后，工业硅行业利润持续收窄，下游对硅石压价意愿较为强烈，在同年枯水期，西南硅企停炉减产后，硅石价格出现了一定程度松动。此后，随着行业产量的持续攀升，硅石价格整体坚挺运行为主。

新潮期货黑色组

姜秋宇

执业资格号：F3007164

投资咨询资格号：Z0011553

审核人：李明玉

免责声明

本报告由新潮期货股份有限公司（以下简称新潮期货，投资咨询业务许可证号 32090000）提供，无意针对或打算违反任何地区、国家、城市或其他法律管辖区域内的法律法规。除非另有说明，所有本报告的版权属于新潮期货。未经新潮期货事先书面授权许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发布。如引用、刊发，须注明出处为新潮期货股份有限公司，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。本报告的信息均来源于公开资料和/或调研资料，所载的全部内容及观点公正，但不保证其内容的准确性和完整性。投资者不应单纯依靠本报告而取代个人的独立判断。本报告所载内容反映的是新潮期货在最初发表本报告日期当日的判断，新潮期货可发出其他与本报告所载内容不一致或有不同结论的报告，但新潮期货没有义务和责任去及时更新本报告涉及的内容并通知更新情况。新潮期货不对因投资者使用本报告而导致的损失

负任何责任。新湖期货不需要采取任何行动以确保本报告涉及的内容适合于投资者，新湖期货建议投资者独自进行投资判断。本报告并不构成投资、法律、会计、税务建议或担保任何内容适合投资者，本报告不构成给予投资者投资咨询建议。研究报告全部内容不代表协会观点，仅供交流使用，不构成任何投资建议。