



期货交易者教育系列丛书

工业硅期货

中国期货业协会 编



中国财经出版传媒集团
中国财政经济出版社

· 北京 ·

《期货交易者教育系列丛书》 编委会

编委会主任：杨 光

编委会委员：吴亚军 巫伟斐 王海智
冉 丽 孙明福

主 编：杨 光

执行编委：董文旭 林韵然 刘方媛

编撰人员：王彦青 刘佳奇 虞璐彦
王贤伟 刘城鑫



前言



我国期货市场经过 30 多年发展，经历了从无到有、从小到大、从乱到治，探索中国特色期货监管制度和业务模式总体框架，取得了令人瞩目的成就。30 多年来，期货市场的规则体系不断完善，品种创新有序推进，风险管理工具进一步丰富，对外开放进程明显加快。期货市场的规模稳步扩大，市场交易者结构逐步优化，资产管理和风险管理等创新业务探索取得初步成效。期货市场整体运行质量和效率不断提高，发现价格、管理风险和配置资源的基础功能得到发挥，在服务实体经济、促进产业升级、助力乡村振兴和维护国家经济金融安全等方面发挥着越来越重要的作用。

随着我国期货市场规模的不断发展壮大，新的市场参与者特别是个人交易者数量呈持续上升趋势。交易者是期货市场的重要主体，期货市场的发展离不开交易者的积极参与。中小投资者是我国现阶段资本市场的主要参与群体，但处于信息弱势地位，抗风险能力和自我保护能力较弱，合法权益容易受到侵害。维护中小投资者合法权益是证券期货监管工作的重中之重，关系广大人民群众切身利益，是资本市场持续健康发展的基础。因此，当前我国期货市场正处于快速发展时期，做好期货交易者教育工作意义深远。

2013 年，《国务院办公厅关于进一步加强资本市场中小投资者合法权益保护工作的意见》（以下简称《意见》）发布，指出要强化中小投资者教育，加大普及证券期货知识力度。将投资者教育逐步纳入国民教育体系，有条件的地区可以先行试点。充分发挥媒体的舆论引导和宣传教育功能。证券期货经营机构应当承担各项产品和服务的投资者教育义务，保障费用支出和人员



配备，将投资者教育纳入各业务环节。提高投资者风险防范意识。自律组织应当强化投资者教育功能，健全会员投资者教育服务自律规则。中小投资者应当树立理性投资意识，依法行使权利和履行义务，养成良好投资习惯，不听信传言，不盲目跟风，提高风险防范意识和自我保护能力。2019年3月，中国证监会、教育部联合印发了《关于加强证券期货知识普及教育的合作备忘录》，旨在学校教育中大力普及证券期货知识，推动全社会树立理性投资意识，提升国民投资理财素质，维护社会和谐稳定。2022年8月1日，《中华人民共和国期货和衍生品法》正式施行，确立期货交易者权益保护制度。2024年10月11日，国务院办公厅转发中国证监会等部门《关于加强监管防范风险促进期货市场高质量发展的意见》，提出：“加强对期货市场参与者尤其是中小企业和个人交易者的教育培训引导，增强市场参与者风险防控意识，维护中小交易者合法权益。”

随着《意见》的深入贯彻和落实，我国中小投资者保护工作取得了积极成效，围绕期货交易者教育工作，期货市场的监管部门、自律组织与中介机构都深入进行了大量形式多样、内容丰富、卓有成效的工作。由中国期货业协会（以下简称“协会”）组织编写的本套《期货交易者教育系列丛书》，就是协会按照行政监管部门统一部署，贯彻落实期货交易者教育工作的重要措施之一，也是协会积极响应《关于加强证券期货知识普及教育的合作备忘录》要求，推动期货知识进校园、进课堂、纳入国民教育体系的切入点。本丛书是为期货交易者编写的一套普及性读物，以广大普通交易者服务对象，兼顾了专业机构的需求，采取简单明了的问答体例，在语言上力争做到深入浅出、通俗易懂、可读性强。衷心地希望本丛书的出版能够为期货交易者了解期货市场、树立风险意识、理性参与期货交易提供有益的帮助。

在此，我们对所有在本丛书编写和出版过程中付出辛勤劳动的朋友表示衷心感谢。由于编写时间紧迫，书中错误和疏漏在所难免，恳请读者批评指正。

中国期货业协会

2025年6月



目 录



第一章 认识工业硅 / 1

- 一、什么是工业硅? / 1
- 二、工业硅行业是如何产生与发展的? / 4
- 三、工业硅如何分类? / 5
- 四、工业硅是如何生产的? / 8
- 五、工业硅生产成本有哪些? / 11
- 六、工业硅的用途有哪些? / 14
- 七、工业硅现货如何流通? / 15
- 八、工业硅产业链上下游是怎样的? / 16
- 九、如何理解工业硅与硅能源的关系? / 21
- 自测题 / 21
- 参考答案 / 23

第二章 工业硅的供求 / 24

- 一、全球工业硅生产情况如何? / 24
- 二、全球工业硅消费情况如何? / 27
- 三、全球工业硅交易情况如何? / 29
- 四、我国工业硅的生产情况是怎样的? / 29
- 五、我国工业硅进出口格局是怎样的? / 37
- 六、我国多晶硅对工业硅需求情况如何? / 39



七、我国有机硅对工业硅需求情况如何？ / 42

八、我国铝合金对工业硅需求情况如何？ / 45

自测题 / 47

参考答案 / 49

第三章 工业硅期货合约 / 50

一、工业硅的期货交易和现货交易有何不同？ / 50

二、工业硅期货合约的基本内容是什么？ / 52

三、工业硅期货有哪些风险控制措施？ / 56

自测题 / 59

参考答案 / 60

第四章 影响工业硅价格的主要因素 / 62

一、影响工业硅价格的主要因素有哪些？ / 62

二、宏观经济形势如何影响工业硅价格？ / 65

三、工业硅生产成本对工业硅价格有影响吗？ / 68

四、工业硅的供需关系如何影响价格？ / 70

五、如何看待产业政策对工业硅价格的影响？ / 73

六、海外需求如何影响工业硅价格？ / 74

自测题 / 76

参考答案 / 79

第五章 企业如何利用工业硅期货进行套期保值 / 80

一、什么是工业硅期货的套期保值？ / 80

二、企业为什么要参与套期保值？ / 81

三、套期保值的原理有哪些？ / 83

四、如何确定企业的风险与风险敞口？ / 84

五、工业硅相关企业有哪些套期保值策略？ / 85



- 六、如何理解基差对套期保值的影响? / 88
- 七、企业套期保值方案如何制订? / 91
- 八、工业硅期货还能帮助企业解决哪些问题? / 93
- 九、如何理解套期保值中的止损? / 94
- 十、套期保值可能存在哪些风险? / 95
- 十一、如何进行套期保值的会计处理? / 96
- 十二、如何评价工业硅套期保值的效果? / 99
- 自测题 / 100
- 参考答案 / 102

第六章 如何利用工业硅期货进行套利 / 103

- 一、什么是期货套利? / 103
- 二、期货套利交易有什么原理与特点? / 104
- 三、工业硅期货套利交易对市场有什么影响? / 105
- 四、如何挖掘工业硅期现套利机会? / 106
- 五、如何挖掘工业硅跨期套利机会? / 109
- 六、利用工业硅期货进行套利存在什么风险? / 111
- 自测题 / 112
- 参考答案 / 113

第七章 工业硅期权合约 / 114

- 一、什么是期权? / 114
- 二、影响工业硅期权价格的因素有哪些? / 120
- 三、工业硅期权合约是怎样的? / 123
- 四、工业硅期权如何行权? / 125
- 五、工业硅期权如何结算? / 126
- 六、工业硅期权有何风控措施? / 127
- 自测题 / 131



参考答案 / 133

第八章 工业硅期权运用策略 / 134

一、工业硅期权套期保值基本策略是什么? / 134

二、工业硅期权与期货结合有什么策略? / 137

三、如何运用工业硅期权的价差策略? / 140

四、如何运用工业硅期权的波动率策略? / 142

五、如何利用期权的希腊字母进行交易? / 145

六、工业硅期权交易有哪些风险? / 148

自测题 / 150

参考答案 / 153

第九章 工业硅期货的交割 / 154

一、工业硅期货采用什么交割方式? 为什么要进行交割? / 154

二、工业硅期货的质量规定需要注意哪些内容? / 157

三、工业硅期货的交割库在哪里? 升贴水如何设置? / 158

四、什么是工业硅期货的标准仓单? / 164

五、什么是交割结算价? / 164

六、企业进行工业硅期货交割具体有哪些步骤? / 165

七、交割环节存在哪些费用? / 169

八、交割质量争议如何处理? / 172

九、交易所对交割违约情况是如何规定的? / 173

十、厂库交割和仓库交割有何异同? / 175

自测题 / 175

参考答案 / 176

后 记 / 177



第一章

认识工业硅

本章要点

硅在我们的日常生活中随处可见，被广泛地运用于社会经济活动的方方面面。为了帮助投资者了解工业硅的基础知识，本章主要对工业硅的概念、分类方法、行业结构、生产流程、市场流通等方面进行介绍。



一、什么是工业硅？

硅（Silicon）是地壳构成中第二丰富的元素（见图 1-1），占地壳总质量的 26.4%，仅次于氧元素。在自然界中，硅主要是以二氧化硅和硅酸盐的形态存在，二氧化硅也是地壳中含量最丰富的化合物。

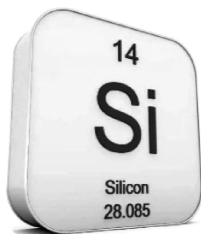


图 1-1 硅（化学元素）

工业硅（Silicon Metal），又名金属硅、结晶硅，是由硅矿石（石英砂，主要成分为二氧化硅）和碳质还原剂（木炭、石油焦、煤等）在矿热炉内冶炼成的产品。

工业硅在固体状态下呈现出深灰色，并具有金属光泽，常见硅的物理形态如图 1-2 所示。此外，它还拥有类似钻石的正四面体稳定结构，熔点为 1683°C ，沸点为 2628°C 。在 650°C 以下，工业硅不具备导电性，可以被用作绝缘材料，但当温度超过 650°C 时，它开始展现出导电性，并且随着温度升高，导电性逐渐增强。



图 1-2 常见硅的物理形态

工业硅的外观类似于金属，但在化学反应中更多地表现出非金属性质。在常温下，工业硅的化学性质并不活泼，但在高温下，它能够与氧、氯等多种元素结合形成化合物。工业硅不溶于水，但它能够溶解于碱液，以及硝酸、盐酸或氢氟酸混合液。这一特性在工业硅的化学元素检测中非常有用。在对工业硅的成分进行精确检测时，一般将工业硅样本中的硅以氟化物的形



式挥发出去，然后分析残留的铁、铝、钙等元素的含量。

根据《中华人民共和国国家标准 工业硅》（GB/T 2881-2023，以下简称《工业硅国标》）工业硅各牌号硅含量介于 97.1%~99.79%。工业硅并不是自然生成的产品，而是在硅行业的发展过程中，根据生产流程和质量标准定义的一类冶金产品。

延伸阅读

硅名称的由来

英语中“硅”最初被称作“silicium”，起源于拉丁语“silex”，译作“打火石”。那么“silicium”是如何演变为如今的“silicon”的呢？目前有两种说法：一种说法是学者们为使硅的名称与碳（carbon）和硼（boron）一样押韵，将其英文名更改为如今的“silicon”；另一种说法则是英国化学家托马斯·汤姆森认为硅是非金属，提出“silicon”更为合适。

汉语中的“硅”是民国早年创造的新字，当时西方的化学知识传入中国，按音译原则造字“矽”（xī）表示“silicon”，与化学元素 Si 的发音接近。1900 年，日本学者将“silicon”的日译名定为“硅素”。1915 年，受翻译日本化学教科书的影响，中华民国教育部颁布的《无机化学命名草案》将“silicon”的中文名定为“硅”。虽然“硅”为官方所定，但“矽”字的使用范围更广，使用频率反而比“硅”要高。1932 年，中国化学会成立，重新审议了“silicon”的译名问题，恢复了以音译原则而创造的“矽”字的使用。此后，“矽”字在国内得到了进一步推广。新中国成立后，化学家在统一化学名词时，考虑到化学物质中读“xī”的元素太多，如锡、硒、烯等，为避免混淆，重新启用了“硅”字。从此，“硅”在中国大陆普及开来。不过，在中国台湾地区，人们仍然使用“矽”字。



二、工业硅行业是如何产生与发展的？

硅的发现最早可以追溯至 18 世纪，科学家们经过了一段时间的探索，对硅形成了初步的认知。1811 年，盖 - 吕萨克先制得了四氟化硅，后又和泰纳尔一起，通过对钾和四氟化硅加热进行还原，得到了一些不纯的无定形硅，并根据拉丁文“sillex”（燧石）将其命名为“silicon”，但由于纯度过低，无法进行进一步分析研究。1823 年，瑞典化学家贝采利乌斯改进了实验，提炼出高纯度的无定形硅，这是硅首次以一种元素单质的形式被发现。1854 年，法国科学家德维尔将无定形硅与氯化钠、氯化铝混合后电解，得到了较纯的晶体硅。由于早期的生产成本较高，生产效率低下，在一定程度上限制了工业硅的发展。

硅在铝硅合金和有机硅上的应用较早。早在 1895 年，含硅的铝合金便已被用于门式汽车车门的生产，此后人们逐渐认识到铝硅合金质轻、耐蚀的特点，将其更多地应用在汽车工业及机器制造业。1901 年，英国化学家基平合成出第一个有机硅聚合物并将其正式命名为“有机硅”。20 世纪 40 年代，采用罗乔—米勒直接法合成有机氯硅烷的工艺为有机硅行业的大规模工业化奠定了基础。进入 20 世纪 50 年代，瓦克、拜尔、信越化学等公司纷纷建立有机硅生产装置，各种性能优异的硅油、硅橡胶、硅树脂、偶联剂等相继出现，有机硅进入发展期。20 世纪 60 年代，人们发现在硅晶体中掺入极微量的第三主族元素（如硼），或者第五主族元素（如磷或砷），硅就会表现出很活跃的半导体性能。这使硅元素来到了科学技术最前沿，成为主要的半导体材料，半导体行业的发展也拉动了工业硅需求的快速增长。

目前，铝硅合金在机器制造、汽车发动机制造等领域发挥了重要作用，需求量也不断提升。有机硅被广泛应用于航空航天、电子电气、建筑、运输、化工、纺织、食品、轻工、医疗等行业。多晶硅主要用于除半导体之外的光伏产业中。硅行业下游逐渐发展为铝合金、多晶硅、有机硅三足鼎立的状况。



三、工业硅如何分类？

根据《工业硅国标》，工业硅按铁、铝、钙这三种杂质含量的不同进行分类。工业硅牌号由硅元素符号和 4 位数字表示，4 位数字分别代表产品中主要杂质元素铁、铝、钙的最高含量。其中，铁含量和铝含量取质量分数小数点后的一位数字，钙含量取质量分数小数点后的两位数字。通常，工业硅有 Si5530、Si4410、Si4210、Si3303、Si2202 等规格（见表 1-1）。在实际贸易中，市场流通多为杂质要求相对偏低的品类，如 Si5530 与 Si4210 等，人们通常将最后一位数字“0”省略，记作 Si553 及 Si421。

表 1-1 工业硅部分常见牌号

牌号	化学成分（质量分数）（%）			
	名义硅含量，不小于	主要杂质元素含量，不大于		
		铁（Fe）	铝（Al）	钙（Ca）
Si1101	99.79	0.10	0.10	0.01
Si2202	99.58	0.20	0.20	0.02
Si3303	99.37	0.30	0.30	0.03
Si4110	99.40	0.40	0.10	0.10
Si4210	99.30	0.40	0.20	0.10
Si4410	99.10	0.40	0.40	0.10
Si5210	99.20	0.50	0.20	0.10
Si5530	98.70	0.50	0.50	0.30

资料来源：国家标准化管理委员会。

工业硅的名义硅含量等于 100.0% 减去表 1-1 中所列杂质总和的余量，但除了铁、铝、钙外，工业硅通常还含有镍、钛、硼、磷、铅、汞等微量元



素，这些微量元素的含量不影响牌号的划分，但在生产经营活动中，会根据用途的不同对微量元素含量提出不同的要求（见表1-2）。

表 1-2 工业硅微量元素含量要求

用途	微量元素含量（质量分数），不大于												
	%												
	镍 (Ni)	钛 (Ti)	磷 (P)	硼 (B)	碳 (C)	锰 (Mn)	铬 (Cr)	铅 (Pb)	镉 (Cd)	汞 (Hg)	六价铬 (Cr ⁶⁺)	钒 (V)	其他 单个
多晶 硅用	—	0.060	0.0080	0.0060	0.080	—	—	—	—	—	—	—	0.01
有机 硅用	0.015	0.060	—	—	—	0.040	0.010	0.0010	—	—	—	0.030	0.01
冶金 硅用	—	—	—	—	—	—	—	0.10	0.010	0.10	0.10	—	0.03

资料来源：国家标准化管理委员会。

按用途划分，工业硅分为化学级、冶金级两大品类，化学级工业硅又分为有机用硅和多晶用硅。多晶用硅用于制造太阳能电池板，主要关注的微量元素为钛、磷、硼、碳，有机用硅则用于建筑、电子电器、纺织品等行业，主要关注的微量元素为镍、钛。冶金用硅主要用于金属冶炼和合金生产，对非金属杂质的要求相对较低，主要关注的微量元素为钡、镉、汞、铬。

简而言之，在实际的贸易中，不同类别的工业硅适用于不同的工业和科技领域。各类型企业对微量元素的要求不尽相同，一般会在订货单或合同中注明对微量元素的要求，以满足特定用途。

延伸阅读

各类“硅”的释义与区分

1. 工业硅与多晶硅

工业硅是生产多晶硅的主要原材料，而多晶硅则是半导体及光伏行业的核心原材料，工业硅所含杂质相对较多，而多晶硅纯度极高。通常，人们用术语“硅料”来简称多晶硅。



2. 单晶硅与多晶硅

硅元素有无定形硅和晶体硅两种同素异形体，无定形硅在物理学定义上属于非晶硅，晶体硅又分为多晶硅和单晶硅。

多晶硅：熔融的硅在过冷条件下凝固时，硅原子以金刚石晶格形态排列成许多晶核，这些晶核长成晶面取向不同的晶粒，晶粒结合起来就结晶成多晶硅。

单晶硅：沿用多晶硅概念，晶面取向相同的晶粒结合起来就是单晶硅。

非晶硅：不具有完整的金刚石晶胞，棕黑色或灰黑色的微晶体，熔点、密度和硬度也明显低于晶体硅。

多晶硅、单晶硅和非晶硅的物理形态如图 1-3 所示。

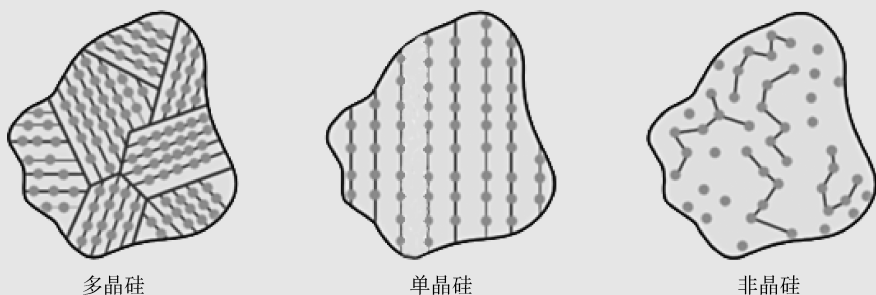


图 1-3 常见硅的物理形态

3. 工业硅、硅铁与锰硅

硅铁是硅元素与铁元素形成的合金，硅铁主要以硅元素为主。在炼钢过程中，硅铁只作为脱氧剂来使用。但硅铁除了用来炼钢，还可以用来冶炼金属镁。

锰硅是含有足够硅量的锰铁，锰硅主要以锰元素为主，锰能降低钢的脆性，并提高其强度、硬度和抗磨损度，螺纹钢、高锰合金特种钢等对锰硅的需求很大。锰硅在炼钢过程中既可作为脱氧剂，也可作为脱硫剂。除炼钢外，锰硅基本不存在其他下游渠道。



简而言之，硅铁以及含硅量更高的锰硅均为铁合金（见图 1-4），并不属于工业硅产业链的范畴。



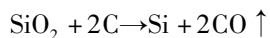
图 1-4 锰硅（左）与硅铁（右）



四、工业硅是如何生产的？

（一）工业硅生产的化学原理

工业硅的生产主要基于氧化还原反应，是以硅石（主要成分 $\text{SiO}_2 \geq 99.2\%$ ，通常形态为石英石或鹅卵石）、碳质还原剂（石油焦、洗精煤、木炭等）以及疏松剂（木片、木块、玉米芯、松子球、椰子壳等）为原料，在矿热炉内连续进行电热化学反应的过程。本质是将硅石中的二氧化硅还原成为单质硅，化学反应方程式为：





(二) 工业硅生产对原料的要求

工业硅对生产原料——硅石的质量要求十分严格，原料的理化性能必须符合工艺要求，如杂质含量、粒度等，并且还需要具有良好的热稳定性与抗爆性。用于生产优级工业硅的硅石，其氧化物杂质含量应达到 Fe_2O_3 小于 0.15%， Al_2O_3 小于 0.20%， CaO 小于 0.15% 的标准；生产超优质工业硅，对氧化物杂质含量要求更高，对硅石中其他微量元素也会作出相应要求。在还原剂方面，需要对木炭、石油焦、煤等进行合理的配比，要有一定的粒度和机械强度，需要具有灰分低、化学反应性强、固定碳高、比电阻高、挥发分适中特性。

硅石矿中的杂质对工业硅生产有两点主要影响，一是杂质含量高，会导致渣量和杂质消耗的热量增加；二是杂质在矿热炉里会有一定数量被还原并进入硅熔液，杂质含量越高，还原倾向与还原数量越多。根据测算分析， SiO_2 含量每降低 1%，硅元素回收率降低 2%，每吨产品电耗增加约 300 度。

从物理化学特性上看，冶炼工业硅所用硅石必须有足够的热稳定性与良好的抗爆性。通常情况下，结晶水含量较高的硅石受热后会因结晶水分解逸出而剧烈膨胀破裂，热稳定性较差。工业硅用硅石结晶水含量应不超过 0.5%，剧烈膨胀的起始温度不低于 1150℃。

另外，孔隙率小、石英颗粒细而致密的硅石的还原性和反应性较差，使用这样的硅石会使料层发黏、透气性差。同时，硅石粒度也不能过大。若粒度过大，不能与捣炉沉料的反应速率相适应，会导致未反应的硅石沉入炉底或进入硅熔液中。因此，在工业硅生产中不宜使用致密状硅石（硅石孔隙率不超过 1.2%）。目前，我国小型工业硅电炉的硅石入炉粒度为 10 ~ 50 毫米，中型电炉的硅石入炉粒度为 20 ~ 70 毫米，大型电炉的硅石入炉粒度为 30 ~ 80 毫米。若电炉的抗爆性能差，则硅石粒度可适当放大。因此在选择硅石时，不仅要对硅石进行化学成分分析，还要对其进行物理、化学性能试验。

(三) 工业硅的生产流程

工业硅具体的生产流程如下：首先，以经过水洗去除泥土等杂质后的硅



石作为原料，将破碎到一定粒度的煤、石油焦、木炭等作为还原剂，并将硅石与还原剂按一定的配比称量加到矿热炉内，由变压器导入的电流通过电极及炉料电阻产生的热量和电极端的电弧热将炉料加热到 2000℃ 以上，二氧化硅被碳还原剂还原生成工业硅液体和一氧化碳（CO）气体，CO 气体通过料层逸出，并将炉料预热。随后在硅水包底部通入氧气、空气混合气体，以去除钙、铝等其他杂质。再通过电动包车将硅水包运到浇铸间浇铸成硅锭。硅锭冷却后进行破碎、分级、称量、包装、入库，得到成品硅块。生产流程如图 1-5 所示。

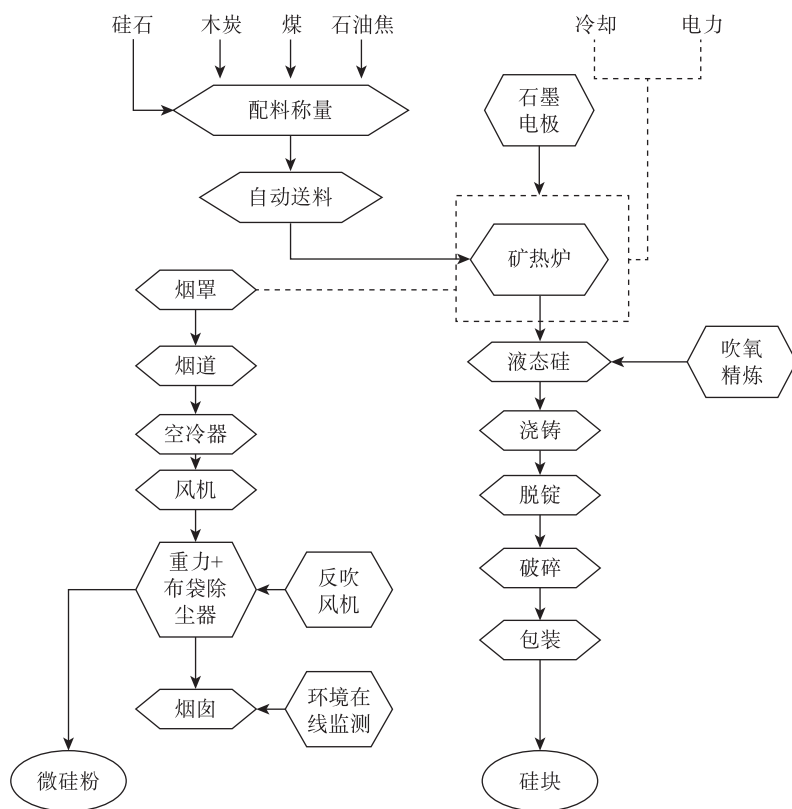


图 1-5 工业硅生产流程

注：▭ 代表生产装置 ○ 代表产品

资料来源：合盛硅业招股说明书。



延伸阅读

工业硅矿热炉

工业硅的生产在矿热炉中进行。除了生产工业硅，矿热炉还常用于生产硅铁、硅锰等合金，由于其主要用于金属氧化矿石的还原冶炼，因而得名矿热炉，其他常见名称还有电弧电炉或电阻电炉。矿热炉利用电极端部的电弧热和炉料或炉渣的电阻热将电能转换为热能，使金属等有用元素从矿石或氧化物中被还原出来。熔化加热矿物需要大量热能，因此矿热炉耗电量巨大，通常矿热炉的大小需要通过特种变压器额定容量来衡量，如 12500 千伏安、25500 千伏安、33000 千伏安等。



五、工业硅生产成本有哪些？

工业硅的生产成本主要包括能源消耗、原料消耗、维护费用、人工成本、三费（财务、管理、销售费用）以及设备折旧等方面。

矿热炉内的硅石在还原过程中会消耗大量电力，在工业硅成本构成中电力成本占比最大，生产 1 吨工业硅需耗电约 1.3 万度。

由于工业硅生产耗电量高，产能基本集中在低电价地区，以西南的云南、四川以及西北的新疆为主。川滇地区电力成本季节性特征明显，主要因两地电力结构以水电为主，该地区企业主要采取“水—电—硅”的生产模式，在枯水期电力成本上升，企业会选择减产以保障经济性，所以在每年的 12 月至次年 5 月，川滇地区的工业硅企业开工率较低，但在丰水期，工业硅企业开工率会大幅提升。新疆地区电价运行稳定，特别是具有自备电厂的工业硅企业成本优势突出，所采取的“火—电—硅”生产模式使新疆地区的工业硅企业开工率较为平稳。图 1-6 为新疆、云南、四川的工业硅生产平均电价波动情况。

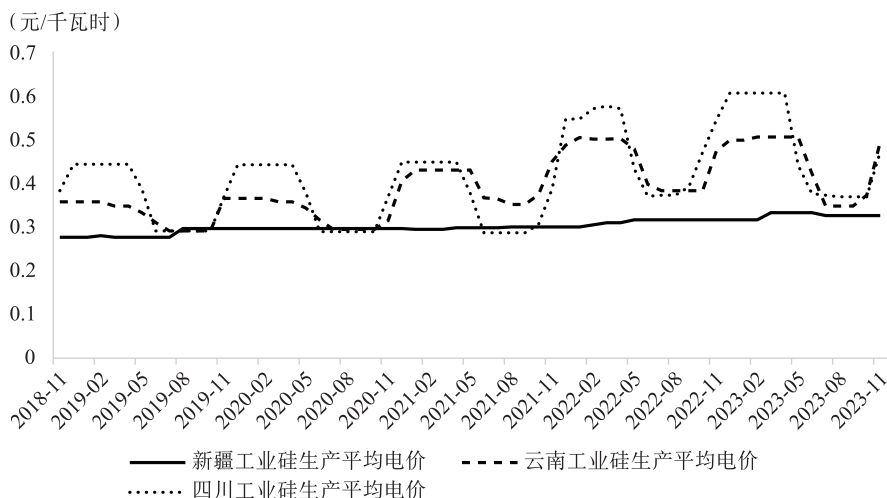


图 1-6 工业硅生产平均电价

数据来源：上海有色网。

硅石是工业硅的最初级原料，生产 1 吨工业硅需要 2.7 ~ 3 吨硅石。并非所有的硅石都适合用于生产工业硅，工业硅用硅石中 SiO_2 的含量要求不低于 99.0%，主要以石英岩和脉石英为主。目前，我国硅石资源主要分布在石英岩中。我国石英矿资源丰富，保有矿石储量超过 40 亿吨，但是高品质的脉石英仅占我国石英矿资源的 0.93%，主要集中在湖北、云南、广西等地（见图 1-7）。

碳质还原剂是工业硅生产中的重要原料，不同地区的工业硅生产企业所用碳质还原剂有所不同，主要包括石油焦、洗精煤、木炭等。其中较为普遍使用的石油焦分为国产和进口两个来源，国内供应商主要有扬子石化、广州石化、茂名石化、塔河石化等，进口主要来自中国台湾、沙特等地。洗精煤主要来源为新疆、宁夏、山西、陕西、贵州等地。木炭多进口自缅甸，云南工业硅企业使用较多，四川及其他产区偶有使用。在工业硅生产过程中需用到的电极和木片均产自国内。

按照还原剂的选择，工业硅生产可分为全煤工艺和非全煤工艺，近年来洗精煤作为还原剂使用占比有所提高。全煤工艺还原剂基本仅采用低灰煤与木块，而非全煤工艺的还原剂则需要加入木炭、石油焦等其他还原剂。早年

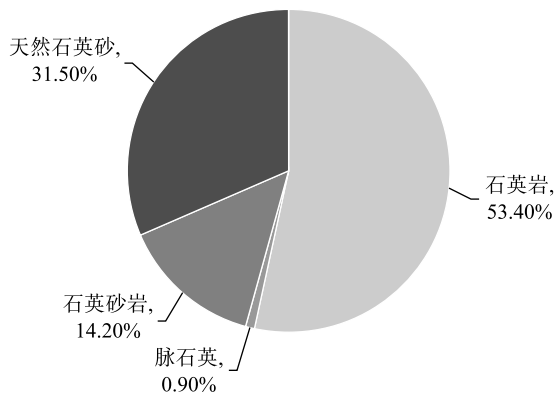


图 1-7 我国硅石资源分布情况

数据来源：我的钢铁网。

生产基本为非全煤工艺，还原剂以木炭为主，但随着森林砍伐受限，木炭成本上升，出于环保与成本的考虑，个别企业也摸索出了全部采用优质低灰煤作为还原剂的全煤工艺。从产业整体发展看，近年来木炭的使用量有所减少，而洗精煤、石油焦的使用则显著增加（见表 1-3）。

表 1-3 全煤工艺和非全煤工艺生产 1 吨工业硅所耗电力与原料对比

项目	全煤工艺	非全煤工艺
电耗（kWh）	12000 ~ 13500	12000 ~ 13000
硅石（kg）	2650 ~ 2900	2700 ~ 3000
低灰煤（kg）	1100 ~ 1200	450 ~ 600
木炭（kg）	—	500 ~ 950
石油焦（kg）	—	800 ~ 1000
木块（kg）	500 ~ 850	300 ~ 680
电极（kg）	70 ~ 100	60 ~ 100

数据来源：我的钢铁网。

以 2023 年 11 月数据计算的新疆 Si5530 工业硅的成本如表 1-4 所示。



表 1-4 新疆 Si5530 单吨工业硅成本

类别	项目	单耗 (t)	单价 (元)	成本 (元)	占比 (%)
能源消耗	电力 (kWh)	13500	0.33	4432.5	32.56
原料消耗	硅石 (t)	3	500	1500	11.02
	石油焦 (t)	0.6	1440	864	6.35
	洗精煤 (t)	1.5	2052.5	3078.75	22.62
	木片 (t)	0.3	550	165	1.21
	电极 (t)	0.08	13650	1092	8.02
	其他	—	—	680	5.00
维护费用	—	—	—	200	1.47
人工成本	—	—	—	700	5.14
三费	—	—	—	300	2.20
设备折旧	—	—	—	600	4.41
合计	—	—	—	13612.25	100.00

数据来源：上海有色网。



六、工业硅的用途有哪些？

工业硅的三大用途是制取高纯度的多晶硅、生产有机硅和制造硅铝合金。其中，多晶硅被广泛应用于半导体工业与光伏产业，其产品主要包括太阳能电池片、芯片。有机硅被广泛应用于化学工业、电子工业、纺织工业等，其产品涵盖了硅油、硅橡胶、硅树脂、硅烷偶联剂、白炭黑等。硅铝合金产品最重要的用途为汽车工业制造。随着科技的发展，工业硅的用途也越来越多。

除了上述三大下游需求端外，工业硅也用于耐火材料、三氯氢硅、硅石墨负极等产品的生产。

2024 年我国各行业工业硅消费结构如图 1-8 所示。

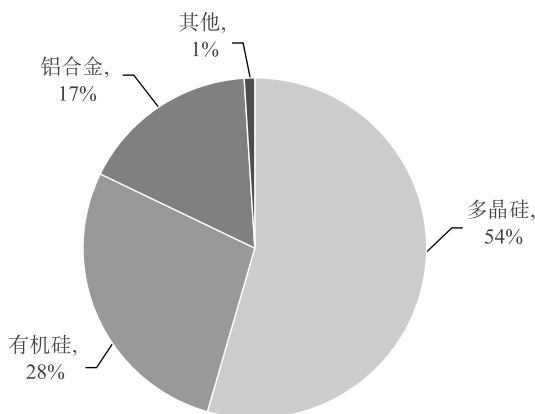


图 1-8 2024 年我国工业硅消费结构

资料来源：百川盈孚。



七、工业硅现货如何流通？

工业硅海外贸易集中且具有高流动性的特点，每年全球贸易流通量为 120 万吨左右（不含各国国内贸易量），约占全球产量的 1/3。海外贸易流向集中，巴西、挪威、加拿大是主要的出口国，巴西和挪威主要出口到欧洲、美国和日本，加拿大绝大部分工业硅出口流向美国。主要进口国为德国、日本、美国、荷兰等。整体产业格局分工明确，净出口国全力发挥生产端比较优势，下游产业整体发展不足；而主要进口国则致力于发展工业硅下游产业链。

尽管我国早已是全球工业硅最大生产国，但我国出口到欧美的工业硅较少，主要是因为以美国和欧盟为代表的国家和地区对中国工业硅实行了超过 30 年的进口限制，在一定程度上阻碍了工业硅产品的自由流通。

从国内来看，工业硅贸易以经销为主、直销为辅，其中经销贸易占比近 80%。直销产品主要针对有机硅下游，有机硅企业对工业硅质量稳定性要求



较高，少有贸易商参与。经销主要发生在国内铝合金、多晶硅、出口等环节。虽然我国是全球主要的贸易输出国，但国内工业硅生产企业一般只在国内设立工厂，海外直销能力不足，需借助贸易商进行海外销售。另外，合金用硅占据全球贸易量的主导地位，而合金用硅的下游需求较为统一，且下游消费企业数量众多、分布广泛，更适合采用经销模式。



八、工业硅产业链上下游是怎样的？

工业硅产业链上游由硅石原料、碳质还原剂、石墨电极以及电力等构成，下游三大消费领域为有机硅、多晶硅和铝合金。工业硅产业链结构如图 1-9 所示。

从工业硅三大下游的终端应用来看，有机硅应用领域较广，主要终端有建筑装饰、电子、家电、电力新能源、医疗护理、纺织、交通等；铸造铝合金主要应用于汽车、摩托车、建材；多晶硅有光伏发电和半导体两方面的重要应用。

（一）多晶硅

按用途及质量标准划分，可以将多晶硅分为太阳能级多晶硅和电子级多晶硅。太阳能级多晶硅应用于光伏产业，电子级多晶硅应用于半导体行业。

光伏市场是多晶硅最重要的终端消费领域。多晶硅料制成多晶硅锭或单晶硅棒，切片后得到多晶硅片或单晶硅片，将硅片以一定方式排列后制成电池，进一步生产光伏组件后可应用于光伏发电系统。国际能源署（IEA）数据显示，2023 年全球新增光伏装机量 446 吉瓦，同比增长 89%，累计光伏装机容量达到 1.6 太瓦，全球光伏市场正处于快速发展阶段。

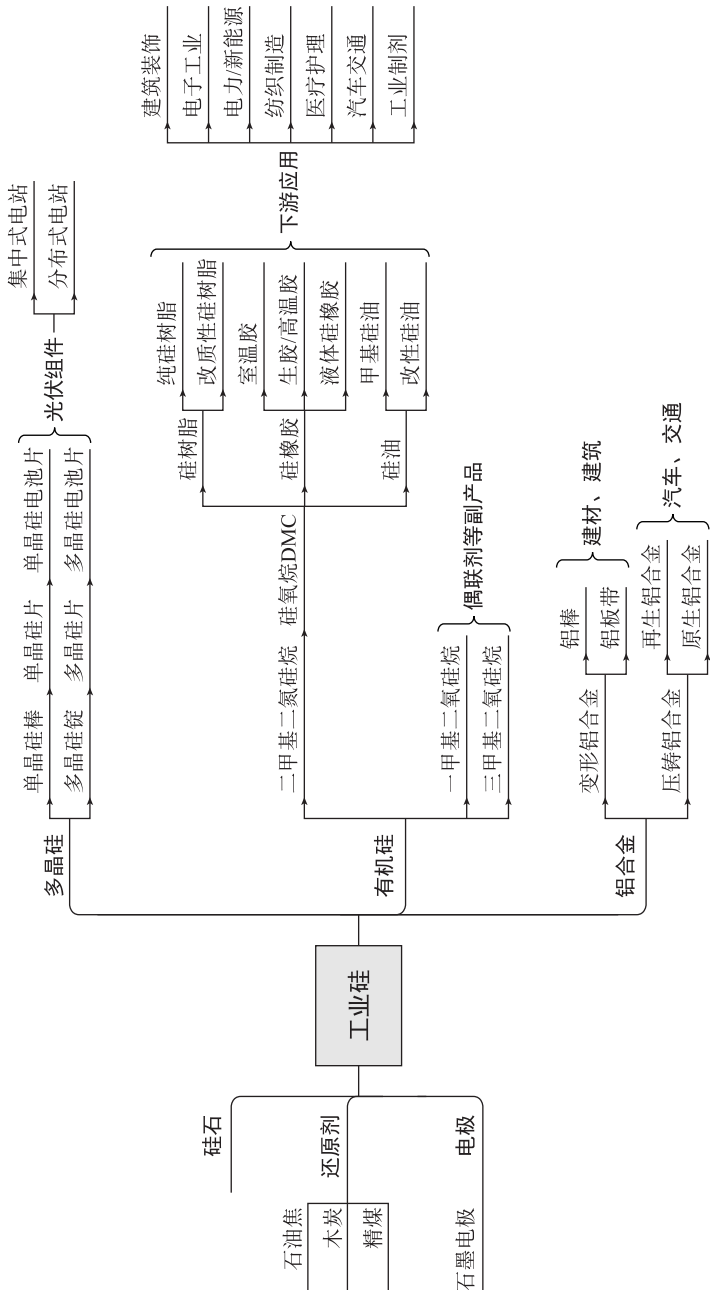


图 1-9 工业硅产业链结构

资料来源：广州期货交易所。



半导体市场所需求的多晶硅为电子级多晶硅，电子级多晶硅可分为电子级区熔用多晶硅和电子级直拉用多晶硅，其中电子级直拉用多晶硅市场占比更高，达到 90% 以上。采用区熔法（FZ）生产的单晶硅晶体中氧、碳含量低，载流子浓度低，电阻率高，主要用于制造 IGBT、高压整流器、晶闸管、高压晶体管等高压大功率半导体器件。直拉法（CZ）生产的单晶硅片广泛应用于集成电路存储器、微处理器、手机芯片和低电压晶体管、电子器件等电子产品。

电子级多晶硅的生产主要集中在美国、德国和日本等少数几个国家的多晶硅企业，中国的电子级多晶硅依赖海外进口。不过，在国家强基工程、集成电路产业投资基金等专项支持下，国内已经有电子气体、区熔用多晶硅和直拉用多晶硅样品进入下游用户认证与试用阶段，随着政策扶持力度加大、企业创新水平提升，未来国内半导体市场使用的电子级多晶硅有望实现国产化供应。

（二）有机硅

有机硅下游产品包括硅橡胶、硅油、硅树脂、硅烷偶联剂等，其中硅橡胶又分为室温胶和高温胶两大类（见表 1-5）。

表 1-5 有机硅消费应用领域

产品类型	特性	应用领域	具体产品
硅橡胶	耐疲劳、耐高低温、耐老化、电池绝缘性、疏水性、生理惰性	汽车	保护罩、软管、垫圈、密封件、雨刮片、门窗外框及其他部件的粘接密封
		电子电器	键盘及保护罩、LED 的固定及灌封
		电缆	电缆外包材料、电线绝缘子
		航空航天	胶管、面罩、密封垫圈
		建筑	厨卫、公路等方面胶粘剂、填缝剂、密封剂
		医疗	奶嘴、人造器官、软管、人工角膜、耳塞
		其他	薄膜、家居用品、光伏封装



续表

产品类型	特性	应用领域	具体产品
硅油	耐热性、耐候性、电绝缘性、疏水性、生理惰性	纺织印染	柔软剂、润滑剂、整理剂、织物涂层
		造纸	柔软剂、隔离剂
		机械	润滑油、阻尼油、防震油、泵油
		电子	变压器、晶体管绝缘、抗热防湿材料
		化工医疗	消泡剂、药用添加剂、润滑剂、灭菌剂
		其他	脱模剂、表面处理材料
硅树脂	耐寒性、耐候性、疏水性、电绝缘性能等	电子电器、涂料	绝缘剂、涂料、黏结剂、硅塑料
硅烷偶联剂	耐候、黏结、地表张力和生理惰性	涂料、加工助剂	涂料添加剂、轮胎补强材料
气相白炭黑	稳定、补强、触变性	添加、加工助剂	催化剂载体、石油化工、脱色剂、消光剂

资料来源：上海有色网。

硅橡胶由于其耐疲劳、耐高低温、电绝缘性好等优良性能在多领域广泛应用，其终端应用覆盖电子电器、建筑建材、航空航天、化工医疗、光伏等多个领域。

硅油具有卓越的耐热性、电绝缘性、耐候性、疏水性、生理惰性和较小的表面张力，被广泛用于绝缘、润滑、防震油以及日用化妆品的消泡剂和纺织用处理剂制造等领域。硅树脂具有突出的耐候性，即使在紫外线强烈照射下仍耐泛黄，是任何一种有机树脂所望尘莫及的。

硅烷偶联剂因其耐水、耐候等性能，主要用作密封剂、黏结剂和涂料增黏剂，可以解决某些材料长期以来无法黏结的难题。硅烷偶联剂作为增黏剂的作用原理在于它本身有两种基团，一种基团可以和被黏的骨架材料结合，而另一种基团则可以与高分子材料或黏结剂结合，从而在黏接界面形成强度较高的化学键，大大改善了黏结强度。

气相白炭黑为一种松散、无定形、无毒、无味、无嗅、无污染、白色粉末状的非金属化合物，其原生粒径介于 7 ~ 80 纳米，比表面积一般大于 100



平方米/克，因此又称“纳米白炭黑”，由于其纳米效应在材料中表现出卓越的补强、增稠、绝缘性质，因此被广泛用于添加剂、脱色剂、橡胶补强剂。

（三）铝合金

铝合金可分为铸造铝合金和变形铝合金两种类型，汽车和摩托车制造占铸造铝合金下游消费的 70% 左右，建筑和结构制造占变形铝合金下游消费的 40% 左右，其中结构主要为各类铝合金支架结构，如光伏用支架等。

汽车铝合金使用件主要集中在变形铝合金和铸造铝合金两部分，变形铝合金包括发动机罩、翼子板、顶盖和后备箱盖等部件，铸造铝合金则主要包括汽车发动机、轮毂和变速器等。铸造铝合金在汽车用铝合金中占据主导地位，占汽车用铝量的 80% 左右。细分来看，目前汽车用铝合金材料中 55.1% 使用高压压铸生产，25.7% 为普通铸造，8.9% 为轧制，8.6% 为挤压，1.7% 为锻造。

铝合金在建筑上广泛用于建筑工程结构和建筑装饰制造，如幕墙、门窗框、阳台和楼梯扶手、建筑五金以及施工用模板等。

光伏用铝合金主要为组件和装机所用支架两部分，其中光伏组件的边框材料分为铝合金、钢材、复合材料边框三种，其中铝合金边框使用比例为 95% 以上。光伏装机支架分为集中式和分布式两种，其中分布式主要采用铝合金支架，集中式光伏因造价和载重需求，一般不采用铝合金支架。

摩托车是应用铝合金较多的行业，但以配件为主，主要用于制造轮毂、发动机气缸、前叉、托架、交换器零件、活塞等。目前我国中小排量（排量 $\leq 250\text{cc}$ ）的摩托车车身仍主要采用钢材以保证强度和安全性，其中铝制品占比约为 10%。而电动摩托车车身主要采用 ABS 工程塑料且没有发动机，因此整体车身较轻，铝制品占比低于 10%。

家电用铝合金以配件为主，特点是单品用量少、形态多样。绝大部分洗衣机的电机为铝电机，部分配件及内筒为铝合金。冰箱用铝集中在压缩机和内胆等部分。彩电用铝部分通常为中框、前壳和底座等。空调用铝主要为铝箔形式，用于制造空调冷凝器和蒸发器翅片。

总体来看，工业硅产业链直接上下游颇为清晰，但若延伸至终端应用，则具有涉及范围广、相关行业多的特点，因此，工业硅在产业链中有“工



业味精”之称。



九、如何理解工业硅与硅能源的关系？

继 2020 年我国明确提出“双碳”目标后，2022 年又进一步提出要把促进新能源和清洁能源发展放在更加突出的位置，积极有序发展光能源、硅能源、氢能源和可再生能源。

通常我们提到能源时指的是能量来源，而硅能源则是指将多晶硅及其相关下游产品作为发电介质，把太阳能转换为电能进行使用。因此，狭义的硅能源指的是将硅作为光伏发电介质进行发电，即光伏发电。

以硅作为介质产生的能源可替代来自碳的能源。在新材料领域，具有高污染及高排放特性的碳基材料有被替代的需求，以达到减少碳排放的目的。因此，除了光伏发电，硅基材料产生的能源还可以替代碳基材料产生的能源。无论哪个方面，发展硅能源都是减少碳排放的重要抓手。因此，广义上，硅能源应包含光伏发电及硅基材料对碳基材料的替代两大方面。

从全产业链来看，硅能源产业链包含硅资源的开采、工业硅生产、硅材料加工、硅产品制造与终端应用等环节。工业硅是硅能源的上游环节，无论是光伏领域的多晶硅，还是材料领域的有机硅，均需要以工业硅为原材料生产。因此，工业硅处于整个硅能源产业链的核心，是硅能源产业链发展的基础。

自测题

一、单项选择题

1. 以下关于工业硅描述正确的是（ ）。



- A. 工业硅是由硅矿石和碳质还原剂在矿热炉内冶炼成的产品
- B. 工业硅在固体状态下呈现出银白色，并具有金属光泽
- C. 工业硅在常温下化学性质活泼，能够与氧、氯等多种元素结合形成化合物

D. 《工业硅国标》规定工业硅各牌号硅含量大于 99%

2. 以下关于硅描述错误的是（ ）。

A. 硅的发现最早可以追溯至 18 世纪

B. 硅晶体中掺入极微量硼、磷或砷，硅就会表现出很活跃的半导体性能

C. 硅在铝硅合金和有机硅上的应用较晚

D. 硅行业下游应用呈现铝合金、多晶硅、有机硅三足鼎立的状况

3. （ ）元素不是工业硅国家标准中用于规定牌号的杂质元素。

A. 碳

B. 铁

C. 铝

D. 钙

4. 以下关于工业硅生产描述错误的是（ ）。

A. 工业硅的生产过程基于氧化还原反应

B. 工业硅生产过程简单，因此对于生产原料要求较低

C. 工业硅生产可分为全煤工艺和非全煤工艺

D. 工业硅生产成本中电力成本大约占 1/3

5. 西南地区工业硅的生产具有（ ）优势。

A. 火电

B. 风电

C. 核电

D. 水电

6. （ ）不是工业硅的主要出口国。

A. 日本

B. 巴西

C. 中国

D. 挪威

二、判断题

1. 硅是地壳构成中最丰富的元素。 ()

2. 瑞典化学家贝采利乌斯通过实验首次以元素单质的形式发现了硅。
()



3. 工业硅国家标准中将工业硅分为化学级、冶金级、有机用硅三类。
()
4. 工业硅主要用于制取高纯度的多晶硅、生产有机硅和制造硅铝合金。
()
5. 以美国和欧盟为代表的国家和地区对我国工业硅实行了长期的进口限制。
()
6. 半导体市场是多晶硅最重要的终端消费领域。
()

参考答案

一、单项选择题

1. A 2. C 3. A 4. B 5. D 6. A

二、判断题

1. × 2. ✓ 3. × 4. ✓ 5. ✓ 6. ×