

工业硅及硅铁生产

GONGYEGUI JI GUITIE SHENGCHAN

谢刚 包崇军 李宗有 等著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

工业硅及硅铁生产

谢刚 包崇军 李宗有 等著



北京
冶金工业出版社
2016

内 容 提 要

本书分两篇分别介绍了工业硅、硅铁生产的工艺、装备、技术指标、环保治理等内容,总结了近年来该领域技术创新取得的成果以及应用情况。在工业硅生产部分介绍了工业硅的性质、工艺原理、生产原料、操作参数、炉外精炼、生产设备、环境保护及未来发展趋势;在硅铁生产部分介绍了硅铁的性质、生产原理、原料情况、物料平衡计算、工艺操作、生产设备、环境保护等。

本书可作为职业技术学院大中专学生学习参考用书,也可作为工业硅、硅铁冶金企业职工培训用书或供相关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工业硅及硅铁生产/谢刚等著. —北京:冶金工业出版社, 2016. 1

ISBN 978-7-5024-6810-1

I. ①工… II. ①谢… III. ①硅—研究 ②硅铁—铁合金熔炼 IV. ①TQ127.2 ②TF645

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第276752号

出版人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcbbs@cnmp.com.cn

责任编辑 杨盈园 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 禹蕊 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-6810-1

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;固安华明印业有限公司印刷

2016年1月第1版,2016年1月第1次印刷

169mm×239mm; 12.25印张; 234千字; 181页

48.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街46号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

序 言

随着科学技术的发展，工业硅的用途日益向高新技术领域扩展。金属硅的应用已从传统材料产业的合金元素及冶金辅料领域向新材料产业、光伏产业和信息产业迅速发展。品种众多、应用十分广泛的硅系高分子材料，其主要基质是有机硅；光伏电源中，硅太阳能电池占80%以上；大规模集成电路和光导纤维制造更离不开高纯金属硅。工业硅制造业一定程度上已成为现代信息时代重要的基础支柱产业。

我国的工业硅生产，经过50多年的发展，现在产能、产量已均居世界首位。我国工业硅出口到近60个国家和地区，年出口量已相当于西方发达国家总消费量的一半以上。我国的工业硅生产，对我国和世界硅业及各相关行业的发展都有着举足轻重的影响。

纵观我国工业硅行业的发展，近年来在冶炼工艺技术绿色化、工艺装置大型化、节能降耗、冶炼烟气余能利用污染治理等方面均有明显进步。当前，国家提出实施“中国制造2025”十年行动纲领，推动产业结构迈向中高端。强调“坚持创新驱动、智能转型、强化基础、绿色发展，加快从制造大国转向制造强国”。

为使工业硅行业的发展适应形势的需要，必须认真贯彻落实纲领精神，坚持创新驱动、智能转型、强化基础、绿色发展，在强化对传统产业技术进行高新技术改造的同时，进一步提高行业准入门槛，加速淘汰落后生产装置，化解过剩产能，鼓励和支持企业兼并重组，通过市场竞争优胜劣汰，实现工业硅行业产业结构的调整和增长方式的转变。

我国是世界上最大的铁合金生产国。硅铁产品作为钢铁和金属镁

等工业的重要原材料，在国民经济建设中发挥着重要作用。因此，我们必须认真思考硅铁行业未来发展方向，以推动硅铁行业健康有序的发展。首先，我国硅铁行业要按照循环经济的理念，降低硅铁生产的能耗、物耗，努力构建资源节约型、生产清洁型企业，推动硅铁行业向高效、节能、环保和可持续方向发展。其次，加大技术研发力度，发展高品质硅铁。再次，通过优化重组产业布局，提高行业集中度，全面提升我国硅铁的国际竞争力。最后，严格控制行业准入，淘汰落后产能，维护硅铁市场供需平衡。

当前，工业硅及硅铁产业正处于结构调整时期，面临资源、环境、能源三大问题，为促进工业硅及硅铁行业的可持续发展，必须走科技创新之路。目前国内全面介绍工业硅和硅铁生产应用技术理论与实践的书籍很少，为了给相关部门技术人员提供一本具有实用价值的参考资料，作者编写了此书。

本书共分为两篇，第一篇为工业硅生产，第二篇为硅铁生产。介绍工业硅的生产为1~9章。其中第1章、第2章介绍了硅及部分硅化合物的理化性质、工业硅在国内外的生产现状，以及用途和市场。第3章从热力学、动力学角度对工业硅生产过程的反应机理进行了细致分析。第4章、第5章、第6章介绍了工业硅生产过程原料的配料计算、清洗以及电极的制作、主要控制参数、工艺操作、生产过程中异常情况处理方法以及工业硅的精炼方法。第7章、第8章主要介绍了工业硅的主要设备以及除尘装置。第9章介绍了工业硅节能降耗措施、木炭还原剂替代研究的意义，以及工业硅生产装备水平改进和提高的必要性。介绍硅铁的生产为10~14章，第10章介绍了硅铁的理化性质、国内外生产现状以及硅铁的用途和市场。第11章介绍了硅铁的生产原料与冶炼原理，以及硅铁生产过程异常炉况的处理方法。第12章介绍了硅铁生产的主要设备矿热炉、电极等。第13章、第14章介绍了硅铁的精炼方法及环境保护。

本书第1章、第2章由谢刚、周扬民、李亚东、何光深编写；第3章、第4章由谢刚、李宗有、杨妮、甘胤、谢红艳、张安福编写；第5章、第6章由卢国洪、田林、周扬民、黄兆波、何光深编写；第7章由包崇军、卢国洪、赵兴凡、李宗有、张安福、张忠益编写；第8章由杨妮、甘胤、卢国洪、谢红艳、何光深编写；第9章由包崇军、赵兴凡、周扬民、张安福、李宗有、和晓才、李亚东、卢国洪、张忠益编写；第10章由李宗有、聂陟枫、万宁、谢红艳、何光深编写；第11章由李宗有、包崇军、赵兴凡、张安福编写；第12章由李宗有、田林、周扬民、谢红艳、卢国洪、张忠益编写；第13章、第14章由周扬民、卢国洪、杨妮、甘胤编写。在本书的编写过程中，得到了云南永昌硅业股份有限公司及昆明冶金研究院各级领导的大力支持，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中若有不妥之处敬请广大读者批评指正。

著 者
2015年4月

目 录

第 1 篇 工业硅生产

1 概况	1
1.1 硅的性质	1
1.1.1 硅的物理性质	1
1.1.2 硅及其部分化合物的化学性质	2
1.2 工业硅的生产	4
1.2.1 国外工业硅生产概况	6
1.2.2 国内工业硅生产概况	7
2 工业硅的用途	9
2.1 工业硅的资源	9
2.2 工业硅的用途	9
2.2.1 配制合金	9
2.2.2 制取高纯半导体	10
2.2.3 制作有机硅	10
2.2.4 其他用途	11
3 工业硅的生产原理	12
3.1 工业硅的生产方法	12
3.2 工业硅生产原理	13
3.2.1 反应的标准吉布斯自由能	13
3.2.2 平衡常数	17
4 工业硅的生产原料及配料计算	19
4.1 工业硅的生产原料	19
4.1.1 硅石	19
4.1.2 还原剂	21

4.1.3	电极	24
4.2	原料加工	26
4.2.1	硅石的脱杂	26
4.2.2	还原剂加工	27
4.2.3	电极的制作	28
5	主要的工艺参数和操作	29
5.1	反应区的参数控制	29
5.1.1	反应区尺寸	29
5.1.2	影响反应区的因素	30
5.1.3	工业硅熔池主要参数	30
5.2	工艺操作	34
5.2.1	配料计算	34
5.2.2	烘炉	36
5.2.3	开炉	39
5.2.4	加料	39
5.2.5	捣炉	41
5.2.6	出炉、浇铸	42
5.3	工业硅生产过程中的异常情况及其处理方法	44
5.3.1	正常炉况	44
5.3.2	工业硅生产中的几个问题	44
5.3.3	维护	50
5.4	改善工业硅生产技术经济指标的新途径	51
6	工业硅的精炼	52
6.1	杂质的来源及影响	52
6.1.1	杂质的来源	52
6.1.2	还原剂	53
6.1.3	电极	54
6.2	工业硅的精炼	55
6.2.1	氯化精炼	55
6.2.2	氧化精炼	58
6.2.3	熔剂精炼	60
6.2.4	其他精炼	61
6.3	工业硅国家标准 (GB/T 2881—2008)	66

6.3.1	化学成分	66
6.3.2	粒度	66
6.3.3	外观	67
7	主要的生产设备	68
7.1	矿热炉	68
7.1.1	矿热炉类型	68
7.1.2	矿热炉组成	68
7.2	矿热炉的参数计算和选择	69
7.2.1	电器参数	69
7.2.2	几何参数	71
7.3	工业硅生产辅助设备	71
7.3.1	把持器	71
7.3.2	捣炉机	75
7.3.3	烟罩	77
7.3.4	浇铸设备	78
7.3.5	产品加工设备	79
8	工业硅生产的环境保护	80
8.1	主要的收尘设备	80
8.1.1	惯性除尘设备	81
8.1.2	电除尘器	82
8.1.3	袋式除尘器	84
8.1.4	湿式除尘器	87
8.2	烟尘的处理和利用	92
8.2.1	烟尘的处理	92
8.2.2	微硅粉的应用	93
8.3	废气的处理	95
9	工业硅冶炼技术的发展趋势	98
9.1	节能降耗与清洁生产	98
9.2	木炭还原剂替代技术	101
9.3	块状还原剂入炉试验	102
9.3.1	黏结剂对产品质量及炉况的影响	103
9.3.2	新型还原剂替代量对工业硅生产的影响	103

9.4 装备水平的改进与提高 104

第2篇 硅铁生产

10 概述	107
10.1 硅铁的性质和种类	107
10.1.1 硅铁的物理性质	107
10.1.2 硅铁的化学性质	108
10.1.3 硅铁的种类	109
10.2 硅铁的生产现状	110
10.3 硅铁的牌号及用途	112
10.4 硅铁的消费和市场	114
11 冶炼原理及工艺	117
11.1 铁生产的原料	117
11.1.1 硅石	117
11.1.2 还原剂	118
11.1.3 含铁物料	120
11.2 硅铁冶炼的基本原理	121
11.2.1 硅铁冶炼的物化反应	121
11.2.2 硅铁冶炼操作技术参数	125
11.3 硅铁冶炼的物料平衡和热平衡	128
11.3.1 炉料平衡计算	128
11.3.2 物料平衡计算	133
11.3.3 热平衡计算	135
11.3.4 简易配料计算	138
11.4 硅铁冶炼工艺及炉况处理	139
11.4.1 硅铁生产工艺	139
11.4.2 异常炉况处理	142
12 硅铁生产的主要设备	146
12.1 矿热电炉	146
12.1.1 矿热电炉参数计算及选择	146
12.1.2 电炉几何参数的计算和选择	148

12.1.3	电炉计算公式及实例	149
12.2	电极	151
12.2.1	电极的分类、性质及其用途	152
12.2.2	自焙电极的制作	152
12.2.3	自焙电极常见故障及其处理	153
12.2.4	电极的消耗	153
12.3	电炉炉衬	153
12.3.1	耐火材料的种类、要求及其选择	153
12.3.2	炉衬的砌筑	155
12.3.3	电炉的烘炉、开炉、停炉、洗炉技术控制	159
12.4	变压器	162
12.4.1	变压器结构	163
12.4.2	变压器工作原理	164
12.4.3	电炉变压器的容量、一次电压和二次电压	167
13	硅铁的精炼	170
13.1	氧化精炼	170
13.2	氯化精炼	173
14	硅铁生产的环境保护	175
14.1	硅铁炉烟气的产生及变化规律	175
14.2	烟气性质	175
14.3	硅铁炉烟尘特点与治理	176
14.4	硅铁炉烟尘的治理	177
14.4.1	概述	177
14.4.2	硅铁炉烟气除尘典型工艺	177
14.5	建议	179
	参考文献	180

第 1 篇

工业硅生产

1 概 况

1.1 硅的性质

硅是自然界分布最广的元素之一，地壳中约含 26.4%，是介于金属和非金属之间的半金属。在自然界中，硅主要是以氧化硅和硅酸盐的形态存在，是一种半导体材料，太阳能电池片的主要原材料，亦可用于制作半导体器件和集成电路。

最早的纯硅是在 1811 年由哥依鲁茨克和西纳勒德通过加热硅的氧化物而获得的。硅的性质在 1823 年由雅各布·贝采利乌斯描述，定名为元素硅 (Si)。

在 1855 年由德威利获得灰黑色金属光泽的晶体硅。

高纯硅由贝克特威通过 $\text{SiCl}_4 + 2\text{Zn} = 2\text{ZnCl}_2 + \text{Si}$ 方法获得。

1.1.1 硅的物理性质

硅属元素周期表中第三周期 IV A 族，原子序数 14，相对原子质量 28.085。地球上硅的丰度为 25.8%。硅在自然界的同位素及其所占的比例分别为： ^{28}Si 为 92.23%， ^{29}Si 为 4.67%， ^{30}Si 为 3.10%。纯硅是一种深灰色不透明，有金属光泽的晶体物质。晶体硅为钢灰色，无定形硅为黑色，密度 $2.4\text{g}/\text{cm}^3$ ，熔点 1414°C ，沸点 2355°C ，晶体硅属于原子晶体，硬而有光泽，有半导体性质。硅的结构与金刚石类似，是正四面体结构。结晶型的硅是暗黑蓝色的，很脆，是典型的半导体。硅的主要物理性质列举于表 1.1。

表 1.1 硅的主要物理性质

晶格常数 a/nm	硬度 (莫氏)	熔点 T/K	沸点 T/K	熔化热 $Q/\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	汽化热 $Q/\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	密度 $\rho/\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
0.543	7	1683	2628	39.6	383.3	2330(298K)

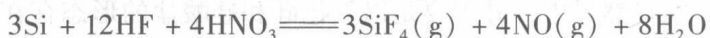
续表 1.1

原子半径 r/pm	摩尔体积 V_m/cm^3	电阻率 $\rho/\Omega \cdot \text{m}$	第一电离能 $W/\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	热导率 $\lambda/\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	线膨胀系数 α_1/K^{-1}	比热容 $c/\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
117	12.06	0.001 (273K)	787.16	148(300K)	4.2×10^{-6}	17.058

1.1.2 硅及其部分化合物的化学性质

硅的化学性质比较活泼，在高温下能与氧气等多种元素化合，不溶于水、硝酸和盐酸，溶于氢氟酸和碱液，用于造制合金如硅铁、硅钢等，单晶硅是一种重要的半导体材料，用于制造大功率晶体管、整流器与太阳能电池等。

硅原子的外电子层构型为 $[\text{Ne}]3s^23p^2$ 。硅有 +4 和 +2 两种价态，其中以四价化合物为最稳定。硅在低温下不活泼，它不溶于任何浓度的酸中，但能与 1:1 的硝酸和氢氟酸的混合稀酸发生反应：



硅的这个特性可用于硅的化学分析，即先将试样中的硅以氟化物形式挥发，然后分析硅中残留的铝、铁、钙等元素。硅与碱反应生成硅酸盐，同时放出氢气。如：



利用此反应可以在野外制氢。硅与卤素反应生成相应的 SiF_4 、 SiCl_4 等化合物。硅的这些卤化物是生产多晶硅的主要原料。硅在高温下能与氧化合生成 SiO_2 或 SiO 。硅几乎能与所有非金属形成化合物，如与碳反应生成的 SiC 具有良好的耐磨、耐高温性能。硅可与大多数熔融金属互溶，如硅、铁可按比例互溶形成多种硅化物；硅、铝以任何比例互溶而不生成任何化合物。

硅在常温下很不活泼，但在高温下很易和氧、硫、氮、卤素及许多金属化合生成相应的化合物。

1.1.2.1 二氧化硅 (SiO_2)

二氧化硅在自然界中有两种存在形式： α 结晶态和无定形态，结晶态二氧化硅主要以简单氧化物及复杂氧化物的形式存在于自然界。冶炼工业硅使用的硅石，就是以简单氧化物形式广泛存在的结晶态二氧化硅。

结晶态二氧化硅根据晶型的不同，在自然界存在着三种不同的形态， α 石英、鳞石英和方石英，这几种不同形态的二氧化硅又各有高温型和低温型两种变体。因而，结晶态二氧化硅实际上有六种不同的晶型，各种不同晶型的存在范围、转化情况如图 1.1 所示。

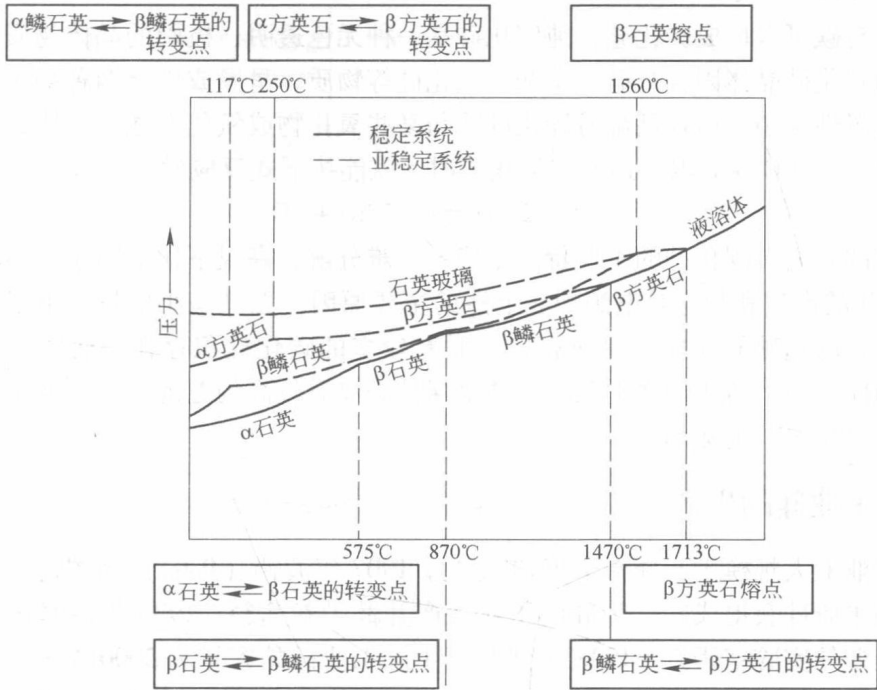


图 1.1 二氧化硅的晶型转变

在工业硅的冶炼过程中，随着炉内温度逐渐升高，不同晶型的二氧化硅在转化过程中，不仅晶型发生变化，而且晶体的体积也伴随着发生变化，特别是，石英转化成鳞石英时，体积发生明显膨胀，这是硅石在冶炼过程中发生爆裂的主要原因。硅石爆裂后颗粒变细、透气性降低，这对工业硅生产不利。大电炉炉口温度高，爆裂严重，所以要求硅石有较好的抗爆性。

结晶态二氧化硅是一种坚硬、较脆、难熔的固体，熔点 1713°C ，沸点 2590°C 。

二氧化硅在低温下比电阻很高。但温度升高时，二氧化硅的比电阻急剧降低，比电阻大对工业硅冶炼有利。

二氧化硅是一种很稳定的氧化物，化学性质很不活泼。除氢氟酸外，二氧化硅不溶于任何酸。

1.1.2.2 一氧化硅 (SiO)

硅与氧在自然界中普遍存在的形式是二氧化硅，但是在一定条件下，例如将硅和二氧化硅混合物加热到 1500°C 以上，或者将碳和过量的二氧化硅混合物加热到大约 2000°C 时，可获得气态物质 SiO 。 SiO 的挥发性很强，其蒸气压在 1890°C 时就可达到 $1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。 SiO 的高挥发性，在硅石的还原过程中起着十分重要的有益作用，它可以促进反应的加速进行。

1.1.2.3 碳化硅

硅与碳可以形成碳化硅，纯碳化硅是一种无色透明、极硬的晶体物质。工业上纯的碳化硅晶体因含有硅、碳和二氧化硅等物质，呈黑或黑绿两种颜色。碳化硅的活泼性很小，但在高温时碳化硅能与某些氧化物或氧化性强的气体作用而发生分解，如 SiC 在高温下遇到二氧化硅时，就能按下式反应发生分解：



总的来说，碳化硅的主要特点是稳定，难分解，高温下比电阻小，不溶于合金。SiO 的产生和积存是电炉炉底上涨的主要原因，尤其是小电炉，由于炉内温度较低，碳化硅的反应不易进行，有时有较多的碳化硅积存在炉底致使炉底上涨。因此，为了防止炉底上涨，必须要保持炉膛有较高的温度。一旦发生炉底上涨，要尽快洗炉消除 SiC。

1.2 工业硅的生产

工业上大规模生产硅始于 20 世纪初，1907 年波特（Poter）用碳还原硅石制取非晶单质硅获得成功，为硅的工业生产开辟了新途径。1936 年苏联进行了制取工业硅的实验室研究，1938 年建起了生产工业硅的容量为 2000kV·A 的单相单电极炼硅炉。在 1940 年，法国、美国、瑞典、意大利、日本等都相继建起了生产工业硅的电炉。1957 年 8 月中国第一台容量为 5000kV·A 单相双电极工业炼硅电炉在抚顺铝厂建成投产。60 年代末已有 10 多个国家生产工业硅，年产量约达到 20 万吨。在此之后，由于有机硅生产的发展和铝硅合金用量的增加，工业硅价格猛涨，从而刺激了一些国家和地区增加或扩大工业硅的生产规模。南非、澳大利亚、罗马尼亚、巴西、阿根廷等国相继新建了工业硅生产厂，加拿大、美国、挪威、委内瑞拉等也扩大了工业硅的生产规模。1983 年世界工业硅的生产能力达到 75 万吨。中国在 70 年代末以前，只有十几家生产工业硅的工厂，国内的供需基本平衡。80 年代后，工业硅生产厂家迅速增加，到 1989 年中国已有 280 多家生产厂，炼硅炉总容量达 980MV·A，是世界工业硅主要生产国之一。到 80 年代末，世界一些主要工业硅生产国的生产规模列举于表 1.2。

表 1.2 世界主要工业硅生产国家的生产规模

国家	炉台数 /台	总容量 /MV·A	平均炉容量 /MV·A	生产能力 /t·a ⁻¹	国家	炉台数 /台	总容量 /MV·A	平均炉容量 /MV·A	生产能力 /t·a ⁻¹
美国	21	366	17.43	199000	加拿大	3	56	18.67	27000
挪威	14	312	22.29	116000	意大利	4	82	20.5	41000
巴西	15	272.5	18.17	136000	瑞典	3	72	24	28000

续表 1.2

国家	炉台数 /台	总容量 /MV·A	平均炉容量 /MV·A	生产能力 /t·a ⁻¹	国家	炉台数 /台	总容量 /MV·A	平均炉容量 /MV·A	生产能力 /t·a ⁻¹
南非	3	98	32.67	42000	葡萄牙	4	98	24.5	44000
法国	3	80	26.67	60000	澳大利亚	3	72	24	30000
印度	2	16	8	7700	南斯拉夫				30000
阿根廷	6	48.8	8.13	20000	瑞士				13000
冰岛	2	66	33	28000	中国	396			400000
西班牙	2	48	24	20000					

注：表中的生产能力是以炉容量推算出的设备具备的生产能力。

进入 20 世纪 90 年代，由于能源的紧缺，发达国家限制高能耗、污染环境的行业发展，美国、法国、意大利、挪威等国关停了许多企业。相反中国、南非、俄罗斯、蒙古等国家有大量的新工厂投产，南非建成了当时最大的 48000kV·A 工业硅电炉；尤其是中国 6300kV·A 以下电炉大面积在云南、贵州、四川等小水电供应区域内建成投产，弥补了发达国家关停造成的产能下降量，并使得世界产能达到 120 万吨/a 以上，近年来发达国家工业硅的需求几于依赖于发展中国家。

2000 年以来，工业硅消费量一直在快速增长着，目前世界工业硅的年消费量达到 110 万吨以上。据统计，2003 年西方国家工业硅需求总量接近 110 万吨，高于 2002 年的 101.6 万吨。亚洲地区工业硅消费增长尤为显著；2003 年前 11 个月，日本工业硅净进口同比增长约 2.55 万吨；韩国工业硅净进口同比增长约 5570t（增幅超过 21%）。泰国、中国台湾、马来西亚工业硅进口增长也较快。另外，欧洲、美国以外的美洲其他地区及中东部分地区工业硅消费均有不同程度的增长。据统计，2003 年 12 月美国进口工业硅 8567t，高于 11 月份的 4576t。2003 年全年美国总计进口硅 12.635 万吨。虽然低于 2002 年的 14.6245 万吨（历史最高纪录），但仍然是该国有史以来的年进口量第三的年份。

全球范围内工业硅生产主要集中于欧盟、美国、中国、巴西、挪威、独联体等国家和地区。2005~2010 年之间，世界工业硅的产量总体上在增加，但作为工业硅生产较为集中的巴西、挪威产量却有不同程度的下降，其他国家也只是略有增加，世界工业硅产量的增加主要来自中国。

2006~2010 年中国工业硅产量和出口量如图 1.2 所示。

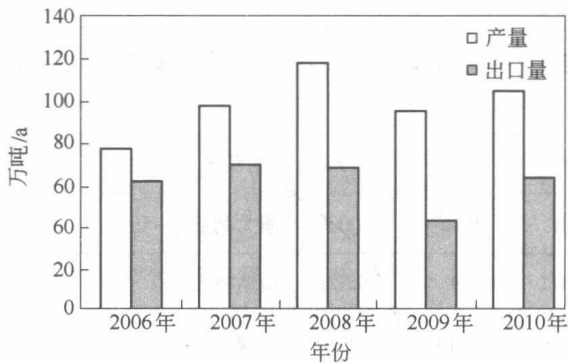


图 1.2 2006~2010 年中国工业硅产量和出口量

(资料来源: 中国有色金属协会硅业分会)

2011 年, 由于日本遭遇地震, 日本铝合金企业开工率不足 60%, 下游行业低迷造成工业硅进口量明显减少。欧洲受债务危机影响, 终端需求减少, 三大工业硅下游产业也受到不同程度的影响, 下半年随着太阳能企业大批停产, 欧洲多晶硅企业也陷入减产, 造成整个欧洲对中国工业硅的需求量降至新低。韩国从我国进口工业硅总量从 2010 年的 8.5 万吨增长到 9.6 万吨。增长主要原因是受韩国多晶硅大厂 OCI 产量增加所致, 随着 OCI 2011 年第二季度完成 7000t 生产线的扩建, 预计今后工业硅进口量还会进一步增长。

2012 年日系汽车产量全面下降造成铝合金需求大幅走低, 抑制了金属硅需求。欧洲因为经济动荡, 汽车及化工业持续低迷, 金属硅需求逐月降低。多晶硅行业受全球光伏产品价格影响全面下行。多晶硅价格一路走低, 迫使挪威埃肯, 意大利 MEMC 等多晶硅企业减产, 削弱了工业硅需求。在欧洲金属硅需求全面下降的影响下, 西班牙大西洋铁合金集团宣布两万吨金属硅, 并表示未来将根据市场情况进一步削减产量。

1.2.1 国外工业硅生产概况

在 20 世纪 60 年代以前, 法国、美国、日本、意大利和苏联相继建设了数千伏安的单相和三相电炉, 采用碳热还原法在电炉内熔炼工业硅。

随着成本的降低和应用领域的扩大, 20 世纪 60 年代末已有 10 多个国家生产工业硅, 年产量达到约 20 万吨/a。

20 世纪 70 年代初, 世界工业硅需求量的年增长率 8%~10%, 特别是用于有机硅方面的消费量增长更快, 欧洲市场曾达到 40%~45%。汽车等交通工具向转型化发展, 提高了硅铝合金的用量, 相应地增大了工业硅的需求。70 年代末世界工业硅消费量达到 40 万吨/a, 几乎翻了一番, 产能约 44 万吨/a。