



工业硅科技 新进展

何允平 王金铎 编

冶金工业出版社

工业硅科技新进展

何允平 王金铎 主编

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2003

内 容 简 介

本书汇总了20世纪80年代末以来国内外工业硅生产、科研、设计等方面取得的成果和经验以及技术的新进展,其中包括生产工艺与设备的改进、原料的选择与制备、电炉熔炼和反应机理、工业硅的精制、烟气治理、粉尘及余热的回收利用、工业硅生产的发展动向等

本书适合从事工业硅生产、科研、设计和管理工作的有关人员阅读,也可供从事铝硅合金、有机硅、硅铁、炭素制品生产的有关人员及大专院校冶金专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

工业硅科技新进展/何允平,王金铎编. —北京:冶金工业出版社,2003.7

ISBN 7-5024-3267-1

I. 工… II. ①何… ②王… III. 硅—生产—新技术应用 IV. TQ127.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第032652号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷39号,邮编100009)

责任编辑 谭学余 王雪涛 美术编辑 李心 责任校对 侯璐 责任印制 牛晓波
北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2003年7月第1版,2003年7月第1次印刷

850mm×1168mm 1/32; 11.75印张; 314千字; 367页; 1-2000册

38.00元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

我国的工业硅生产经过 40 多年的发展，现在其产能、产量和出口量已均居世界首位；且在多年的发展中，积累了丰富的操作管理经验，我们已能在 $6.3\text{MV}\cdot\text{A}$ 级工业硅炉上取得和国外 $10\text{MV}\cdot\text{A}$ 以上大容量工业硅炉相同或相近的电能和电极等单耗指标。我国工业硅生产的突出特点是，工业硅炉的容量小、台数多，生产企业多而分散，与国外相比，不仅电炉容量小，机械化、自动化水平低，装备水平落后，而且各企业间的技术管理水平和生产的经济效益相差悬殊。生产企业多而分散以及面临着激烈的国内外竞争，使得一些较为先进的技术与信息和管理经验等的推广普及难度增大。在这种情况下，很多工业硅企业，特别是 20 世纪 90 年代后期以来，一些新建的工业硅企业，更迫切地需要了解和掌握工业硅的各项技术和有关的知识与经验。

20 世纪 80 年代末，为适应我国工业硅生产发展需要，本人曾将 70 年代初至 80 年代末国内外工业硅技术文献进行了翻译、加工、整理和汇编，于 1991 年由冶金工业出版社出版了《工业硅技术文集》一书。该书出版后，受到工业硅行业的普遍欢迎，对促进我国工业硅生产发展起到有益作用。在那本书出版 10 多年后的今天，为适应我国工业硅生产新的发展形势和各企业的实际需要，本人将《工业硅技术文集》出版之后至今的一些新的技术文献汇编成《工业硅科技新进展》一书。所谓新进展，主要是指 80 年代末以来的一些新发展、新成果、新文献。《工业硅科技新进展》共汇编了 60 篇文献，除本人撰写的若干篇之外，其余部分则是在本人从事工业硅科技工作、学术座谈、组织科技信息交流和刊物编辑等工作中，由国内同事和国外同行提供和推荐

的，也有少部分是选自《轻金属》和《铁合金》等期刊杂志。这些文献绝大部分都在 1989~2002 年期间的技术信息交流、学术或专题研讨会等不同场合公开发表过。在本书汇编过程中，除进行较严格的精选外，也作了适当的加工和修改。

在本书汇编出版过程中，王金铎博士一直参与工作，给予了积极的合作与支持。工业硅行业的多位企业家朋友和沈阳铝镁设计研究院的一些领导和同志也都给予了不少支持和帮助。在此，对所有为本书提供论文，做过工作，给予关心、支持和帮助的朋友和同志表示衷心感谢！

由于时间和编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，希望得到读者的批评指正。

何允平

2002 年 12 月于沈阳铝镁设计研究院

冶金工业出版社部分图书书目简介

书 名	定价(元)
工业电炉	25.00
冶金熔体的计算热力学	36.50
直流电弧炉的电弧现象	15.00
现代感应加热装置	25.00
感应炉熔炼与特种熔铸技术	24.80
有色金属熔池熔炼	32.00
冶金反应工程学基础	32.00
电磁冶金学	35.00
铁合金冶金工程	34.00
铁合金生产实用技术手册	
有色金属材料的真空冶金	42.00
有色冶金炉窑仿真与优化	32.50
铝电解炭阳极技术(一)	68.00
非氧化物复合耐火材料	39.00
冶金与材料物理化学	45.00
21世纪中国有色金属工业可持续发展战略	48.00
轻金属冶金学	39.80
有色冶金原理	25.00
轻金属冶金分析	22.00
矿石及有色金属分析手册	47.80
铅锌质量技术监督手册	80.00
电炉炼锌	49.80
有色冶金炉设计手册	165.00
锡	70.00
现行有色金属行业标准汇编	168.00

目 录

工业硅生产贸易的目前形势和发展对策·····	1
工业硅生产的炉前操作与产品的高产、优质、低耗·····	16
我国工业硅生产四十年·····	27
工业硅生产中的理论电耗·····	37
工业硅生产的能源选择利用和回收·····	46
工业硅冶炼过程热力学分析——Si-O-C体系热力学·····	54
工业硅氯化精炼原理的探讨·····	61
硅冶炼过程反应机理的探讨·····	69
国外工业硅电炉及我国工业硅电炉展望·····	77
生产工业硅的 PKO—25КРИ1 电炉工作特性研究·····	86
6.3MV·A 矮烟罩工业硅电炉·····	90
用直流矿热炉熔炼硅·····	95
依据模型对硅炉工作特性的分析·····	102
国外有关工业硅的几项值得重视的研究动向与成果·····	109
工业硅生产工艺的改进·····	118
工业硅生产最佳工艺参数的探讨·····	123
通过实践确定 6.3MV·A 工业硅炉最佳电气制度·····	127
谈谈工业硅炉最佳工作电压的选择·····	132
电炉低压短网无功电容就近补偿与效益·····	140
对目前形势下提高工业硅企业效益的思考·····	155
工业硅生产发展需重视和解决的几个问题·····	161
强化硅及其合金制取过程有待解决的几个问题·····	165
试谈工业硅企业的技术开发和技术改造·····	169
强化工业硅生产的实践·····	175

工业硅生产中的节能技术·····	181
对降低工业硅生产电耗的浅析·····	188
矮烟罩硅炉节能降耗经济分析·····	191
以煤替代木炭生产工业硅·····	195
烟煤在工业硅生产中的应用·····	202
用全油焦作还原剂在 5.0MV·A 电炉中 熔炼工业硅的试验·····	206
工业硅电炉炭电极的选用与经济效益·····	211
自焙炭砖炉衬在工业硅炉上的应用·····	220
碳化硅砖在工业硅电炉出炉口上的应用·····	227
粉硅在工业硅生产中的应用·····	231
碳化硅在工业硅生产中的应用·····	235
中空 $\phi 600$ 石墨电极在 6.3MV·A 工业硅炉上的应用 ·····	239
发展工业硅新产品的必要性和途径·····	241
谈降低工业硅产品中主要杂质含量的途径·····	245
工业硅精制试生产·····	254
利用纯氧精炼工业硅的生产实践·····	260
工业硅中杂质铁去除的理论分析·····	263
工业硅中杂质元素铁偏析的探讨·····	269
工业硅夹渣水解及改进措施·····	276
工业硅质量剖析·····	280
6.3MV·A 工业硅炉余热利用烟气净化的实践 ·····	288
浅谈工业硅炉烟气净化及氧化硅微粉的回收·····	294
反吸布袋除尘器在工业硅炉上的应用·····	299
工业硅电炉电极与把持器·····	304
工业硅电炉短网节能设计浅探·····	310
精煤在工业硅生产中的应用·····	315
低频电源在矿热炉运行中的优势·····	322
谈 5.0MV·A 单相硅炉的设备改造·····	329
短网性能对生产能耗的重要影响·····	332

硅炉导电夹结构改进及特点·····	336
以低频电源技术改造工业硅炉生产铝硅合金的探讨·····	340
冲旋式工业硅制粉新工艺·····	345
水洗木炭是提高工业硅质量的重要途径·····	350
电炉短网绝缘的检测·····	352
硅石的抗爆裂性和还原性能测定·····	358
开发生产炭素电极 促进工业硅生产发展·····	365

工业硅生产贸易的目前形势和发展对策

沈阳铝镁设计研究院 何允平

摘要 对工业硅生产贸易的目前形势作了较详细分析,并对今后的发展提出了建立行业协会、完善和提高 $6.3\text{MV}\cdot\text{A}$ 级工业硅炉、有条件地建设大容量工业硅炉、重视和扩大炭素电极和还原剂煤的应用,提高产品质量扩大产品品种、大力开拓市场搞好多方面联合等看法和建议。

关键词 工业硅 生产和贸易 目前形势 发展对策

我国的工业硅生产,经过多年发展,现在其产能、产量和出口量已均居世界首位,但多年来一直处于无序竞争,产量高、出口量大,却效益低下的态势。在进入 21 世纪,我国已加入 WTO 的新形势下,怎样使我国工业硅生产、贸易尽快步入健康发展轨道,使我国工业硅生产既产量高、出口量大,又效益好,真正成为参与全球竞争的优势产业,这是业内人士都在认真思考的问题。本文仅就这些问题谈谈了解到的情况和看法。

1 目前形势

1.1 应用和消费

工业硅主要分为冶金用硅和化学用硅两类。冶金用硅主要用于生产铝硅合金。铝硅合金的耐热、耐磨和铸造性能好,线膨胀系数小,广泛用于汽车、拖拉机制造业、船舶制造、航空业、电气工业等方面。汽车工业是发达国家和快速发展的发展中国家的支柱产业。为了使汽车减轻重量、提高速度、节约能源、利于环保,汽车整车和零部件的铝合金化程度与日俱增。汽车用铝合金中 80% 是

铸造合金。汽车发动机上的各种部件,如发动机缸体、活塞以及变速箱、制动器、轮毂等一大批大型铝合金汽车零部件的开发应用,为冶金用硅的快速增长创造了条件。

化学用硅用于有机硅和半导体生产等领域,用于生产有机硅单体和聚合物硅油、硅橡胶、硅树脂、建筑物防腐、防水剂等,它们具有耐高温、电绝缘、耐辐射、防水等独特性能,广泛用于电气、航空、机械、化工、医药、国防、建筑等部门。作为集成电路核心的电子元器件,95%以上是用半导体硅制成的。半导体硅是当代信息工业的支柱。“信息高速公路”中大量应用的光纤电缆中的光纤,也是以工业硅为原料生产的。从世界范围看,现在冶金用硅的消费量多于化学用硅消费量,但用于生产有机硅和半导体等的化学用硅在发达国家和快速发展中的国家消费的增长最快,现在欧盟和美国化学用硅的消费量已占工业硅总消费的一半以上。表1和表2分别列出国外专家统计的1998~2001年世界工业硅消费量和估计的2002年世界各地工业硅的消费量及消费构成。

表1 世界各地工业硅的消费量和消费总量(万 t)

年 份	1998	1999	2000	2001
地 区				
欧 洲	31.8	31.8	35.6	35.3
北 美	27.2	27.2	26.5	22.3
日 本	15.0	16.0	18.5	18.3
亚洲(除日本)	4.5	5.0	5.0	4.8
其 他	8.8	8.8	8.8	9.0
合 计	87.3	88.8	94.4	89.7

表2 2002年各地区工业硅的消费量和构成(万 t)

应用方面	化学用硅	冶金用硅	合 计
地 区			
北 美	14.8	12.0	26.8
欧 洲	21.3	13.1	34.4

续表 2

应用方面 地 区	化学用硅	冶金用硅	合 计
日 本	8.0	9.1	17.1
其 他		13.5	13.5
合 计	44.1	47.7	91.8

表 1、表 2 所列的国外专家的统计数字,不是很准确,有的也偏低。但从这些数据可以看出大致的消费情况和近一、二年的消费形势。从表 1 可以看出,2001 年世界工业硅消费量明显低于 2000 年,这主要是受 2001 年世界经济不景气的影响,特别是“9.11”事件之后,经济形势进一步恶化,使西方国家的工业硅消费量下降。2002 年世界经济形势有所好转,全年的工业硅消费量会好于 2001 年。2003 年的世界工业硅消费前景,因世界经济发展仍有许多不确定因素,现在看仍不明朗。世界工业硅消费,在动荡、复杂多变的国际形势下,可能出现短期的上下波动,但从总的发展趋势上看,因为和平与发展仍是当今时代的主题,工业硅作为高新技术领域和重要基础产业广泛应用的结构和功能材料,其消费量是会稳定增长的。

1.2 生产和贸易

1.2.1 国外的生产和贸易

西方有十几个国家生产工业硅,总产能达到约 93 万 t/a,其中产能较大的几个国家是美国、巴西、挪威、法国等。表 3 列出西方主要国家,1998~2001 年的工业硅年产能。1998~2001 年西方国家各年的工业硅总产量为:1998 年 68.4 万 t,1999 年 68.4 万 t,2000 年 72.4 万 t,2001 年 66.2 万 t。2001 年西方国家工业硅产量比 2000 年减少了 8.6%。主要原因是进入 2001 年后,世界经济不景气,需求下降,库存增加,一些国家被迫减产或停产。其中值得一提的几个原因是:巴西因干旱少雨水电不足,产量和出口量

都减少了 30% 以上;挪威埃尔肯姆公司(Elkem)布利曼格(Bremanger)厂等停产检修;法国等积极执行了减产措施。

表 3 西方国家 1998~2001 年的工业硅产能(万 t/a)

年 份	1998	1999	2000	2001
美 国	23.3	24.3	21.2	21.2
巴 西	19.0	19.0	21.9	21.9
挪 威	14.4	15.2	17.7	17.4
法 国	9.4	9.7	9.7	9.7
加 拿 大	3.5	3.5	5.0	5.0
南 非	4.2	4.4	4.4	4.1
澳大利亚	3.3	3.3	3.3	3.3
德 国	2.3	2.3	2.8	2.8
意 大 利	2.7	2.7	2.7	2.7
西 班 牙	2.4	3.6	3.6	3.6
西方国家总计	87.5	91.0	91.0	93.0

2002 年估计西方国家工业硅总产量约为 70 万 t,其中欧洲 25 万 t,北美 21.6 万 t,南美 15.0 万 t,非洲 5.4 万 t。西方国家生产满足不了需求的不足部分主要由中国和俄罗斯供给。根据国外专家统计,1998~2002 年西方国家工业硅自产和进口情况见表 4。

表 4 西方国家工业硅自产和进口量(万 t)

年 份	1998	1999	2000	2001	2002(预计)
供 给					
西方国家自产	68.4	68.4	72.4	66.2	70.0
中国供给	17.6	20.0	21.0	20.6	23.0
俄罗斯供给	4.1	4.1	5.2	4.3	3.0
合 计	90.1	92.5	98.6	91.1	96.0

1.2.2 我国的生产 and 贸易

我国的工业硅生产始于 1957 年。从 1957~1980 年,这段时

间国内建起十几个生产单位,形成近 2 万 t/a 的产能。产品是国内自产自用,达到了自给自足。从 1980 年至今的二十多年中,经历了 80 年代的大发展及 90 年代中期暂短的供不应求、价格上扬和 90 年代后期在亚洲金融危机影响下的曲折发展,现在已建成投产的工业硅厂家达到 400~500 家,形成了 60 万 t/a 以上的生产能力。

截至到 20 世纪 80 年代后期,我国的工业硅厂家主要集中在东北、华北、内蒙古、宁夏、甘肃、青海、湖北、湖南、福建等省区。之后由于受电力供应和电价等因素影响,不少厂家已相继停产或转产。近几年在电力供应充足,电费较低的四川西部、云南、贵州、甘肃的陇南等省区又相继建成投产了一批工业硅企业。现在仍在生产的工业硅企业约有 200 余家,年产量达到 40 万 t 以上。

我国的工业硅从 1980 年开始出口。从 1980 年以后,我国的工业硅出口量增长很快,到 1988 年我国对日本的工业硅年出口量就达到近 7 万 t,已占日本工业硅进口量的一半以上。80 年代末,我国工业硅年出口量达到约 15 万 t,90 年代末超过了 20 万 t。2000 年以来我国工业硅年出口量实际上已达到 30 万 t 以上(这比国外估计的要多)。90 年代后期以来,我国工业硅的出口除日本之外,进一步扩展到 50 多个国家和地区,其中年出口量在 1000t 以上的就有 20 多个(详见表 5)。

表 5 近几年我国的工业硅出口量(万 t)

国家或地区		年 份		
		1999	2000	2001
万 t 以上	日 本	12.52	13.42	13.51
	韩 国	2.27	2.91	2.64
	加 拿 大	1.11	2.43	2.22
	荷 兰	1.63	2.50	2.34
	台 湾 省	1.26	1.59	1.32
	香 港 特 区	1.28	1.49	1.30
	印 度	1.05	1.09	1.05

续表 5

国家或地区		年 份		
		1999	2000	2001
5000t 以上	俄罗斯	0.32	0.76	0.94
	英 国	0.20	0.32	0.75
	墨 西 哥	0.13	0.39	0.78
	美 国	0.66	0.85	0.60
1000t 以上	乌克兰	0.47	0.35	0.47
	澳大利亚	0.40	0.66	0.46
	马来西亚	0.49	0.52	0.35
	斯洛文尼亚	0.06	0.12	0.33
	阿拉伯联合酋长国	0.13	0.13	0.22
	巴 西	0.01	0.12	0.16
	新 西 兰	0.01	0.14	0.15
	阿 根 廷	0.01	0.03	0.12
	埃 及	0.08	0.33	0.17
	罗马尼亚			0.11
	爱沙尼亚		0.02	0.12
	拉托维亚	0.13	0.06	0.12
	南 非	0.31	0.26	0.17
各国合计(含其他国家)		26.42	32.54	32.24

从表 5 中可以看出:

(1) 尽管我国的工业硅已出口到 50 多个国家和地区,其中年出口量在 1000t 以上的就有 20 多个,但出口量最多的还是日本。2001 年我国对日出口工业硅 13.51 万 t, 占我国全部出口量的 42%, 接近全部出口量的一半。

(2) 世界工业硅消费大户欧盟和美国,他们工业硅的年消费量占西方世界总消费量的约 60%。现在我国对美国和欧盟的出口量还很少,这个世界最大的消费市场,实际上还没有真正打开,其原因主要是受欧美反倾销的限制。

现在日本是我国工业硅出口的最大市场。表 6、表 7 分别列

出近几年日本从各国进口工业硅量和到岸价。

表 6 1998~2002 年日本从各国进口工业硅量及总量(万 t)

年 份 国 家	1998	1999	2000	2001	2002 (1~6月)
中 国	9.86	12.52	13.43	13.51	6.33
挪 威	1.20	1.44	1.65	1.69	0.78
法 国	0.31	0.35	0.37	0.27	0.08
南 非	0.04	0.03	0.10	0.14	0.03
巴 西	2.88	1.70	1.54	0.91	0.09
澳大利亚	1.28	1.71	2.09	1.9	0.84
合 计 (含其他国家)	15.77	17.98	19.43	18.47	8.20

表 7 日本从各国进口工业硅的到岸价和平均到岸价(千日元/t)

年 份 进口国	1998	1999	2000	2001	2002 (1~6月)
中 国	122	103	94	97(780) ^①	103(865) ^①
挪 威	250	205	185	183(1475)	210(1764)
法 国	218	171	135	146(1170)	150(1260)
巴 西	202	153	153	135(1090)	142(1193)
澳大利亚	206	214	146	148(1200)	149(1252)
各国平均	158	124	108	114(920)	120(1008)

① 括弧内数的单位为:约合 美元/t。

从表 6、表 7 可以看出:

(1) 近几年我国对日本的工业硅出口量已占到日本总进口量的约 70%。在十几个对日出口工业硅的国家中,我国对日的出口量最大,但价格最低。我国对日出口工业硅的到岸价有时比最高价低了近一半,比一般国家的到岸价每吨也少了近 300 美元。这使我国的工业硅出口蒙受重大损失。

(2) 2002 年我国对日出口工业硅的到岸价比前两年有所提高。这主要是受 2001 年国外工业硅产量减少的影响,也与我国

2002年上半年受旱、涝灾害影响,华南地区不能及时供货等原因有关。虽然今年我国对日出口工业硅价格有所提高,但在国际市场上仍是最底的。2002年6月我国对日出口的冶金用硅到岸价是850美元/t左右,比一年前每吨上涨约100美元,但同期美国市场的冶金用硅售价是1150美元/t左右,欧盟冶金用硅现货价是1020欧元/t左右。

(3) 20世纪90年代中期,巴西对日出口工业硅年售量在4万t左右,是我国在日本市场上的主要竞争者。近几年巴西对日的年出口量已不足1万t,这主要是我国对日出口化学用硅量迅速增加的结果。实践表明,我国的工业硅有能力占领世界市场。

2 发展对策

2.1 建立行业协会已势在必行

现在我国工业硅行业只有中国有色金属工业轻金属信息网工业硅专业组这一个以技术信息交流为宗旨的群众性组织。自1983年以来,轻金属信息网组织过多次技术信息交流和技术培训,在加强各企业的相互联系,促进企业间的技术经验交流和技术普及与提高方面起到了有益作用。但在其他很多方面却无能为力。

从20世纪90年代初以来,欧盟和美国一直对我国工业硅征收49%和139%的反倾销税,严格限制了我国工业硅进入西欧和美国市场,不仅使我国工业硅生产贸易严重受挫,还使我国的工业硅挤入容量有限的日本市场,为日本压低我国工业硅的进口价格创造了条件。在我国工业硅出口严重受限,价格很低的情况下,有些厂家被迫停产或转产,另一些厂家为求生存,唯恐产品积压,不得不降价销售。工业硅的出口,又是无序地多头对外,也竞相降价。另外,我国工业硅生产在产能过剩状态下的重复建设问题,关系整个行业的重大课题集中力量攻关问题等,都是长期困扰整个行业得不到解决的。长期的无序竞争、盲目发展,已使整个行业蒙受了重大损失。