

工业硅生产能耗分析及节能方向与途径

吴复忠, 金会心

(贵州大学 材料科学与冶金学院, 贵州 贵阳 550003)

摘 要:以国内某工业硅生产企业的能源构成及消耗现状为基础, 讨论了工业硅生产的能源消耗问题, 提出了工业硅工业今后的主要节能方向和途径。

关键词:工业硅; 能耗; 节能; 方向和途径

中图分类号: O613.72; TF806.7 文献标识码: B 文章编号: 1001-6988(2010)06-0027-04

Analysis of Energy Consumption and Directions and Measures of Conservation Energy in Metallurgical Silicon Production

WU Fu-zhong, JIN Hui-xin

(College of Materials Science and Metallurgy, Guizhou University, Guiyang 550003, China)

Abstract: Based on the energy composition and consumption in a Silicon company, the problems of energy consumption in silicon production are discussed, and the directions and measures of conservation energy are put forward.

Key words: silicon; energy composition; conservation energy; directions and measures

碳热法生产工业硅是用硅石、碳质还原剂在矿热炉内进行冶炼的方法。一方面, 工业硅工业是高耗能产业, 电能的消耗很高, 一般为 12 000 kW·h/t 以上, 费用占产品成本的 60% 左右^[1]; 另一方面工业硅生产的物料成本中, 能源消耗是其重要构成部分, 降低工业硅生产成本的潜力很大^[2]。在工业硅供应过剩和世界金融危机的影响下, 降低能源消耗成为工业硅生产必须重点关注的课题, 也是提高市场竞争力的最重要途径。本文从系统节能的角度分析工业硅生产的能源消耗^[3,4], 探讨了工业硅工业今后的主要节能方向和途径。

1 工业硅生产的能耗现状

1.1 生产现状

贵州省某工业硅公司是国内较早从事工业硅规模生产的公司, 工业硅生产能力达到 12 万 t/a。公司自 1999 年 3 月建成以来, 已成为国内产销规模最大的

工业硅生产骨干企业, 工业硅生产规模位居全球第二、亚洲第一。8 年来, 公司已累计生产和销售工业硅及化学硅共计 41 万 t。表 1 是 2001~2006 年该公司的主要技术指标变化。

由表 1 可见, 公司从 1999 年到 2006 年, 生产工业硅的硅石单耗呈逐年下降趋势, 硅石由 3.020 t/t 下降到 2.574 t/t, 下降比例为 14.77%, 平均年下降率是 2.11%; 综合能耗由 2002 年的 6.637 tce/t 硅下降到 6.177 tce/t 硅, 下降了 460 kgce/t 硅, 平均每年下降了 115 kgce/t。物耗的降低和综合能耗的下降是该公司坚持节能降耗方针的结果。

1.2 企业能源结构

公司的生产用能主要是电、煤、油焦和松玉(松树球和玉米芯)。所用的电、煤、油焦和松玉全都是外购的。外购能源结构见表 2。

由表 2 可见, 在外购能源中, 电的比例最高, 2005 和 2006 年购入量分别为 211 465.6 t 标煤和 281 950.8 t 标煤, 占能源总购入量的 83.53% 和 76.32%, 其次是油焦, 占外购能源的比例都超过 10%, 2005 和 2006 年分别为 11.24% 和 16.62%。从而说明工业硅的生产能源消耗主要是电和油焦。

收稿日期 2010-07-22

基金项目 贵州省科学技术基金(黔科合 J 字[2009]2228)

作者简介 吴复忠(1970—), 男, 副教授, 工学博士, 研究方向为系统节能。

表 1 1999~2006 年某公司主要生产技术指标

项目	年份							
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
炉子数量/台	2	8	18	26	34	34	34	34
年产量/t	1 360	11 341	33 787	58 355	79 540	67 228	44 211	60 502
年产值/ $\times 10^4$ 元	963.4	7 611.1	21 180.6	40 081.4	60 359	60 053	34 720	49 522
硅石单耗/ $t \cdot t^{-1}$ 硅	3.02	2.971	2.876	2.767	2.702	2.688	2.637	2.574
综合能耗/ $tce \cdot t^{-1}$ 硅	—	—	—	6.637 4	6.500 8	6.560 5	6.336 2	6.177 6

注:因 1999~2001 年能源消耗统计资料不全,综合能耗项空缺。

表 2 企业外购能源结构

项目	能源种类	2005 年		2006 年	
		实物量	折标煤量/t	实物量	折标煤量/t
购入能源	电	58 740.44 $\times 10^4$ kW·h	211 465.6	78 319.66 $\times 10^4$ kW·h	281 950.8
	煤	11 454.24 t	10 308.8	22 752.81 t	20 477.5
	油焦	29 295.08 t	28 445.5	63 244.61 t	61 410.5
	松玉	5 949.19 t	2 950.8	11 271.21 t	5 590.5
	合计	—	253 170.7	—	369 429.3

2 工业硅能耗分析

通过对公司的综合能源消耗、电和电极单耗分析可知,与国际先进水平有一定的差距,特别是电单耗与国内外的先进水平还有近 1 500 kW·h 的差距。为了查找企业的节能潜力,为企业自身加强能源管理、挖掘节能潜力等提供科学的依据,笔者应用系统工程的原理和方法研究工业硅生产的能耗问题,对影响工业硅能源消耗的原燃料条件、产品结构、工艺装备、工艺操作、能源利用、能源管理等因素进行了进一步分析。

2.1 原燃料条件

(1) 硅石

理论上生产 1 t 工业硅需要消耗 2.14 t 硅石(纯度为 100%),而该公司 2005 年的实际单耗在 2.637 t 硅石,过高的原材料消耗不仅增加了生产成本,而且也造成了还原剂和电极消耗增加。

硅石单耗高的主要原因一方面是公司的硅石纯度不稳定,有部分硅石原料 SiO_2 纯度不到 98%,冶炼工业硅的原料纯度,决定了工业硅产品中杂质的含量;另一方面是在实际生产过程中操作不当,致使死料过多。如果硅石的纯度都能达到 99% 以上,每吨工业硅消耗的原材料硅石能够下降 50 kg,根据该公司 2006 年能源消耗以及生产现状,通过计算得到能耗能够降低近 120 kg 标煤。

(2) 煤和油焦

公司消耗的煤和油焦的工业分析见表 3。

表 3 油焦和煤的工业分析 (%)

项目	固定碳	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	灰分	挥发分	水分
油焦	80.29	0.03	0.03	0.01	1.26	8.63	9.75
煤	61.40	0.26	0.68	0.25	9.20	18.07	10.14

还原剂的消耗过高,首先是石油焦和煤的固定碳低,只有 80.29% 和 61.40%,固定碳低使其发热值过低,增加消耗。其次是还原剂的杂质高,特别是精煤的铁、铝和钙元素含量偏高,各种还原剂的灰分中,不可避免地会带入炉内。在炉内冶炼时,均有不同程度的还原而进入硅中,原料中杂质含量高,还原的机率大,工业硅产品中杂质就高。所以,提高还原剂煤和油焦的质量,是保证工业硅产品质量的重要途径之一。通过计算得到提高还原剂的质量可降低工序能耗约 30 kg 标煤。

2.2 工艺装备

尽管公司工业硅的整体生产工艺与国际先进水平的差距明显,主要是炉子容量小,还有部分设备是属于非节能设备,如各台炉子所用的动力变压器,属于国家规定的淘汰产品。控制设备落后,整个生产几乎谈不上自动控制。

2.3 产品结构

2006 年,公司化学硅产品的比例过低,只有 19.94%,公司生产不同等级的产品在能源消耗上几乎没有差距,而等级高的产品利润要比低等级产品高得多。公司对工业硅产品的深加工不够,产业链没有延伸,虽然深加工会带来能耗的增加,但产品的附加值更高,会使万元产值能耗下降 2~3 倍。

2.4 工艺操作

工业硅冶炼电炉中,电能转变为热能的途径有两条:一是电流通过电极-炉料-电极三角回路产生的电阻热;二是电流通过电极-电弧-熔池星形回路产生的电弧热。二者强弱受炉料结构的影响又影响着冶金过程。目前,现场操作人员在出现死料或刺火

现象时,电炉的电压和电流调整严重滞后,造成电炉的电极上、下侧与电极的分支电流过大,致使电极-电弧-熔池的主电流减小,造成电力的浪费。

由于在长时间的生产过程中,炉膛四周和炉底粘有一定的熔体,使炉膛容积不断减小,然而极心圆直径很少进行相应的调整,最终结果是炉子的产能不断降低,也直接影响熔炼的正常进行,致使原料、电极消耗增加和还原剂的浪费。

配料不合理:①硅石粒度没有控制好,大于 80 mm 的硅石比例至少有 10% 以上,大颗粒的硅石难以反应彻底,造成原料浪费,同时会使生产失调,造成料轻和料重现象;②在生产过程中出现刺火时,很少技术人员根据实际生产的情况加料,配料比例仍然不变,造成还原剂浪费。

2.5 工业硅电炉的余热利用

公司工业硅电炉都为敞开式,这不仅污染环境,而且也浪费大量热能。如果实现电炉的密闭化并采用水冷式矮烟罩,这样可以回收冶炼过程中电炉排放出大量高温烟气产生的余热,利用余热进行发电。

2.6 工业硅电炉的短网问题

由于工业硅电炉二次电流高达几万安培,短网上的损耗非常大,公司的短网损失达到 8%~10%,而国外先进的厂家只有 3.5%。

2.7 能源利用

从公司的电能利用情况来看,主要耗电设备集中在电炉和动力机械的电机上。从现场测试来看,该公司的电能利用主要存在以下问题:

(1)部分风机和水泵的电机负载率过低,从而导致电能利用率过低。如果对负荷低、负荷变动大、电能利用率低的电机实行变频调速等改造,这些设备可节电 30% 左右。

(2)公司有一部分电机为直接启动,出现启动电流过大,对整个电网的电力质量造成一定的影响,同时也会引起电机的温度升高,缩短电机寿命。有一部分电机存在三相不平衡现象。

2.8 能源管理

从对公司的能源审计来看,该公司在能源管理方面存在问题是:统计计量仪表配备率不够,能源的购入储存、生产使用的数据相差较大;计量数据获取的主要手段是通过人工报表实现的,避免不了人工干预,缺乏应有的监督机制。

3 工业硅企业节能方向和途径

3.1 节能方向

(1)降低非能源和能源物质的实物量消耗

首先,要降低硅石消耗,这是降低工业硅生产的能源消耗和提高工业硅质量的重要保证。其次,要降低电能和固体燃料(煤和油焦)的消耗。

(2)充分回收和利用二次能源(包括余热余能)

实现电炉的密闭化并采用水冷式矮烟罩,可以回收冶炼过程中电炉排放出大量高温烟气产生的余热,利用余热发电。采用此方案可以增加余热发电量 $31.2 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$,完全可以满足除电炉以外其他辅助设施的动力及照明用电,其节电效果相当可观。在国外已有这样的电炉在生产。如前苏联的 ИРКО-16.5 KPLII 型工业硅电炉。在余热利用方面我国西北某镁厂已有成功应用的先例。

3.2 节能途径

(1)改善电炉原燃料条件,实现优化配料

提高油焦和煤的固定碳含量,降低煤的 Al_2O_3 、 CaO 、 Fe_2O_3 等杂质,降低煤和油焦水分和挥发分含量;提高硅石的纯度,降低硅石单耗。

在长时间的生产过程中,根据炉膛四周和炉底粘熔体厚度,适时调整极心圆直径和进料配比。减少原料、电极消耗和还原剂的浪费。采用计算机优化配料,减少生产失调,避免料轻和料重现象。根据每个炉子的工况不同,应采取优化配料,工况好的炉子应该供应纯度高的硅石和灰分少、杂质低的还原剂,保证优质和高产。

(2)加快工业硅电炉的大型化与旋转结构,淘汰落后设备

我国工业硅生产冶炼工艺特点是电炉容量小,安装数量多,机械化自动化程度低,环境治理差。工业硅电炉的大型化不但提高了生产率,而且电效率及热效率较高。淘汰与现代化工业硅生产不相匹配的高能耗设备,如高损耗的变压器等。

国外工业硅生产从上世纪 50 年代开始采用旋转炉体,60 年代以后转动炉体才在工业硅生产中普遍采用。采用转炉可以破坏炉膛内形成的碳化硅,增大反应区,提高产量,降低能耗。根据前苏联用转炉生产工业硅的经验,与固定炉相比,同一台炉可以节约电能 4%~5%。进入 70 年代后期国外工业硅生产中又采用了两段组合式炉体,使整个炉体分上下两

部分,并且以不同方向旋转,这种结构比一般转炉更具优越性。所以大容量、可旋转式电炉是我国工业硅电炉的发展方向。

(3)改造工业硅电炉的短网,提高能源利用效率

改造短网,要尽量压缩短网长度,特别要压缩跳相后的短网长度,减少接触电阻、隔磁等。国外有采用三台单相变压器供电,短网线端在侧面,直接放置在电极附近,大大缩短短网长度,节电效果很好。

采用变频技术,对负荷低、负荷变动大、电能利用率低的电机实行变频调速改造,可节电 30%左右。适当提高变压器的二次电压,提高功率因数,选择电极深埋在炉膛中的深度,降低炉面的热损失。

(4)加强能源管理、节能队伍和节能基础设施建设

能源计量管理的关键是强调能源系统整体性、全局性和相关性,各种能源介质、各信息点之间存在着相近、相离和互动、联动的关系,各种信息的进入和退出都将对系统内,甚至整体平衡带来波动或影响。公司的能源计量管理应该将能源的购入储存、

生产和使用集于一体,建立统一的管理体制,由统一的部门负责,在能源生产和使用过程中通过优化管理和对能源的在线调度和调整,确保各生产工序用能的持续、稳定和合理,消除和减少能源损失。

加强能源管理队伍的建设,充实节能管理力量,完善节能监督体系。进一步深化节能科技体制改革,建立一支精干、高效、高水平的节能科技队伍,着力培养一批创新能力强的高水平节能带头人,建立与之相适应的节能科技管理体制,为公司的节能管理和节能科技发展服务。

参考文献:

- [1] 班辉,邹智勇,张万福.工业硅生产能耗及节能分析[J].轻金属, 2005(1):42-43.
- [2] 何允平,王金铎,译.工业硅科技新进展[M].北京:冶金工业出版社,2004.
- [3] 陆钟武,蔡九菊.系统节能基础[M].北京:科学出版社,1993.
- [4] 吴复忠,蔡九菊,张琦,等.炼铁系统能耗分析及节能方向和途径[J].中国冶金,2007,17(4):45-51.

锻压技术

DUANYA JISHU / FORGING & STAMPING TECHNOLOGY

我们藉行业 翘楚之势 为您搭建广阔的信息桥梁

欢迎订阅 欢迎赐稿 欢迎刊登广告

1958年创刊。中国机械工业联合会主管,中国机械工程学会塑性工程(锻压)学会和北京机电研究所合办。全国锻压行业会刊,全国中文核心期刊,中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊),中国科学引文数据库来源期刊,中国学术期刊文摘收录期刊,中国学术期刊文摘(英文版)收录期刊,中国学术期刊综合评价数据库来源期刊,中国期刊网全文收录期刊,中国学术期刊(光盘版)全文收录期刊,中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊,万方数字化期刊群全文数据库收录期刊,中文科技期刊数据库收录期刊,美国化学文摘(CA)收录期刊。

金属塑性工程行业专业技术(双月)期刊 国内外公开发行

地址:北京市海淀区学清路18号北京机电所《锻压技术》编辑部 100083
电话:010-62920652 82415085 传真:010-62920652
E-mail: fst@263.net (稿件) dyjsgg@163.com (广告)
<http://DYJE.chinajournal.net.cn>
<http://www.fstjournal.com>

主要栏目

锻造	板料成形
特种成形	模具技术
理论探讨	锻压设备
测试技术	加热技术
旋压	摩擦与润滑
计算机应用	综述
资讯平台	信息

◆ 国内邮发代号: 2-322 (全国各地邮政局、所)
◆ 国外邮发代号: BM5549 (中国国际图书贸易总公司)
◆ 国内定价: 12元/册 72元/年
◆ 国外定价: 60美元/年
◆ 国内刊号: CN 11-1942/TG
◆ 国际刊号: ISSN 1000-3940
◆ 广告许可证: 京海工商广字第0012