



浮法玻璃生产操作丛书

燃料与燃烧 生产操作

RANLIAO YU RANSHAO SHENGCHAN CAOZUO

总主编◎韩建军

主编 陆平



武汉理工大学出版社
WUTP Wuhan University of Technology Press

浮法玻璃生产操作丛书·第六册

燃料与燃烧生产操作

总主编 韩建军

主 编 陆 平

武汉理工大学出版社

· 武汉 ·

图书在版编目(CIP)数据

燃料与燃烧生产操作/陆平主编. —武汉:武汉理工大学出版社,
2015. 3

(浮法玻璃生产操作丛书)

ISBN 978-7-5629-4471-3

I. ①燃… II. ①陆… III. ①浮法玻璃-燃料-燃烧-生产工艺
IV. ①TQ171. 72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 276316 号

项目负责人:王兆国

责任编辑:李兰英

责任校对:张明华

装帧设计:芳华时代

出版发行:武汉理工大学出版社

地址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮编:430070

经销:各地新华书店

印刷:安陆市鼎鑫印务有限责任公司

开本:880 × 1230 1/32

印张:7.375

字数:195 千字

版次:2015 年 3 月第 1 版

印次:2015 年 3 月第 1 次印刷

印数:1—3000 册

定价:19.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87515778 87515848 87785758 87165708(传真)

· 版权所有 盗版必究 ·

浮法玻璃生产操作丛书

编审委员会

名誉主编 程金树 赵修建 吕在国

丛书总主编 韩建军

丛书副总主编 徐麟 刘超 谢俊 吕鑫

丛书总编委(按姓氏笔画排列):

王道德 王 静 田培静 汤李纓 孙宜华

阮 健 刘新生 李 平 陆 平 张 成

李 宏 张金奎 张明德 何 峰 金文国

周学东 郑 滔 胡开文 贺建华 胡魁亮

谈小平 高贤安 陶海征 黄俊波 黄玲林

前 言

玻璃是现代社会生活中不可缺少的材料。平板玻璃工业是我国建材工业的重要组成部分。目前,我国有三百多条浮法玻璃生产线。近年来,行业结构调整、资源整合以及生产工艺技术的自主创新等举措初见成效,促进了我国浮法玻璃工业产值增长和节能减排等目标的实现。但纵观整个行业的发展现状,我国对浮法玻璃生产一线岗位操作进行规范、培训指导等方面的理论总结还相对滞后,在原料选择、燃料使用、设计规范、生产操作、质量控制、问题处理等方面存在参差不齐的现象。为了推动玻璃生产企业规范技术操作与可持续发展,硅酸盐建筑材料国家重点实验室(武汉理工大学)、绿色建筑材料及制造教育部工程研究中心(武汉理工大学)、湖北省玻璃工业工程技术研究中心(湖北三峡新型建材股份有限公司)、河北省沙河玻璃技术研究院、三峡大学、上海睿信玻璃技术装备工程有限公司、上海和利玻璃技术有限公司等院校及浮法玻璃相关企业,共同编著了这套《浮法玻璃生产操作丛书》。

本丛书共分六册,第一册《浮法玻璃原料生产操作》,第二册《浮法玻璃熔化生产操作》,第三册《浮法玻璃成形生产操作》,第四册《浮法玻璃退火生产操作》,第五册《浮法玻璃冷端生产操作》,第六册《燃料与燃烧生产操作》。丛书全面介绍了浮法玻璃生产各工段使用设备概况、基本工艺计算、正常生产操作、事故处理操作、质量缺陷判断与处理措施等专业操作知识,符合现代浮法玻璃生产的实际情况。

丛书由韩建军任总主编,徐麟、刘超、谢俊、吕鑫任副总主编,胡开文为第一分册主编,谢俊为第二分册主编,吕鑫为第三分册主

编,刘超为第四分册主编,吕在国为第五分册主编,陆平为第六分册主编。

丛书第一分册的第1章由胡开文、谢俊编写,第2章由张金奎、胡开文编写,第3章由徐麟、吕鑫编写,第4章由汤李缨、王静编写,第5章由李平、吕鑫编写,第6章由胡开文、刘新生编写,第7章由王道德、郑滔编写,第8章由刘新生、韩建军编写,第9章由刘超、孙宜华编写,第10章由周学东、黄玲林编写。

第二分册的第1章由程金树、谢俊编写,第2章由何峰、胡开文编写,第3章由李宏、田培静编写,第4章由吕鑫、张成编写,第5章由黄俊波、刘超编写,第6章由吕在国、韩建军编写,第7章由徐麟、陆平编写,第8章由张金奎、刘超编写,第9章由刘超、黄玲林编写。

第三分册的第1章由张明德、吕鑫编写,第2章由吕在国、何峰编写,第3章由谢俊、王静编写,第4章由田培静、王静编写,第5章由黄俊波、胡开文编写,第6章由吕鑫、汤李缨编写,第7章由刘新生、韩建军编写,第8章由周学东、黄玲林编写。

第四分册的第1章由高贤安、陆平编写,第2章由吕在国、刘超编写,第3章由谈小平、陶海征编写,第4章由韩建军、谢俊编写,第5章由刘超、黄玲林编写。

第五分册的第1章由吕在国、周学东编写,第2章由郑滔、陶海征编写,第3章由郑滔、陆平编写,第4章由胡魁亮、周学东编写,第5章由吕鑫、阮健编写,第6章由金文国、周学东编写,第7章由阮健、胡开文编写,第8章由刘超、黄玲林编写。

第六分册的第1章由徐麟、田培静编写,第2章由吕在国、王静编写,第3章由陆平、阮健编写,第4章由汤李缨、李宏编写,第5章由何峰、陶海征编写,第6章由孙宜华、吕鑫编写,第7章由吕在国、何峰编写,第8章由谢俊、吕鑫编写,第9章由贺建华、田培静编写,第10章由陆平、吕鑫编写,第11章由汤李缨、胡开文编写,第12章由贺建华、刘超编写,第13章由周学东、黄玲林编写。

丛书由韩建军、吕在国、谢俊、刘超、吕鑫、陆平、胡开文审校定稿。

丛书在内容编排上,遵循“理论上够用,指导生产中实用”、“注重岗位,遵循行业标准”的原则,力求突出浮法玻璃生产的实践性、实用性和职业性,同时兼顾内容的理论性和实时性;书中有大量的图表,适合从事浮法玻璃生产的管理人员、技术人员、主要岗位操作人员阅读,本丛书也可作为玻璃工程人员的技术参考、岗前培训用书。

丛书中所介绍的生产技术操作知识大多来源于实际生产经验、业界知名专家的著作,以及所有编委的实践经历。笔者希望浮法玻璃生产线从设计投产之初就建立起规范统一的良好操作习惯,使企业在投产后的生产操作和管理过程中少走弯路,尽早步入正轨,并试图使企业员工在学习本书后能独立进行岗位操作。但需要声明的是,即使是在生产上和实践中多属有效的操作,由于部分内容出现的年代较早、生产线装备差异、玻璃成分变化以及各企业的操作方法略有不同等多方面的因素,不一定能符合所有企业的实际情况。为此,望读者根据企业自身工艺装备特点和实际操作方法进行补充和完善。

虽然我们多年从事无机非金属材料,特别是玻璃材料的教学、科研与生产,并且取得了一些理论成果和积累了生产实践经验,但是由于水平有限,丛书中错误及疏漏之处在所难免,敬请读者及各界同仁批评指正。

在丛书资料多年收集与整理过程中,承蒙各位专家、学者和企业家们提供的宝贵帮助,使得丛书能顺利出版,在此深表谢意!

编 者

2013年12月30日

目 录

第一章 玻璃燃料概述	(1)
一、前言	(1)
二、玻璃生产用燃料的特点	(1)
三、玻璃生产选用的燃料种类	(2)
四、玻璃生产主要燃料的性能及燃烧特点	(4)
第二章 燃料与燃烧计算	(9)
一、燃料的发热值计算	(9)
二、燃料燃烧空气用量的计算.....	(14)
三、燃料燃烧产物的成分和数量计算.....	(15)
四、燃料燃烧产物质量计算.....	(16)
五、燃料燃烧效率计算.....	(16)
六、燃料燃烧产生硫、氮氧化物的计算	(17)
七、玻璃熔窑单位燃料消耗量计算.....	(18)
八、燃料燃烧产生温室气体排放量的计算.....	(22)
九、能源折算标准煤系数.....	(23)
第三章 重油系统及燃烧计算	(24)
一、重油系统.....	(24)
二、重油的物理化学性质.....	(48)
三、重油燃烧的过程.....	(51)
四、重油燃烧工作计算简图.....	(53)
五、重油的雾化.....	(57)
六、影响重油燃烧火焰的因素.....	(60)
七、重油组成与燃烧计算.....	(61)

第四章 天然气系统及燃烧计算	(64)
一、天然气系统与设备	(64)
二、天然气的种类与组成	(78)
三、天然气的物化性能	(79)
四、天然气的燃烧	(81)
五、天然气的安全使用	(87)
六、天然气的组成和燃烧计算	(88)
第五章 石油焦系统及燃烧计算	(95)
一、石油焦系统与设备	(95)
二、石油焦的分类	(108)
三、石油焦粉的理化特性	(110)
四、石油焦用于浮法玻璃生产燃料的理论	(111)
五、石油焦粉燃烧技术	(112)
六、石油焦粉的环保措施	(115)
七、石油焦粉的组成与燃烧计算	(115)
第六章 发生炉煤气系统及燃烧计算	(117)
一、发生炉煤气系统及设备	(117)
二、煤气发生炉气化用煤质量要求	(125)
三、发生炉煤气的成分与性质	(127)
四、煤气发生炉工艺流程	(129)
五、煤气发生炉工作原理	(129)
七、发生炉煤气安全生产	(133)
八、发生炉煤气的组成与燃烧计算	(134)
第七章 燃料的节能燃烧技术	(142)
一、改善燃烧节约燃料	(142)
二、采用高热值燃料	(144)
三、外增碳燃烧	(145)
四、富氧燃烧	(145)

五、全氧燃烧	(148)
六、熔窑烟气余热利用	(149)
第八章 燃料燃烧烟气处理	(152)
一、前言	(152)
二、玻璃熔窑烟气的特点	(152)
三、玻璃熔窑烟气干法净化工艺	(153)
四、玻璃熔窑烟气半干法净化工艺	(154)
五、玻璃熔窑烟气湿法净化工艺	(155)
第九章 重油系统生产操作	(158)
一、安全管理制度	(158)
二、卸油操作	(160)
三、油罐储油操作	(161)
四、油罐内重油脱水操作	(162)
五、供油操作	(162)
六、倒换油泵操作	(163)
七、倒换过滤器操作	(164)
八、倒换蒸汽加热器操作	(164)
九、倒换储油罐操作	(164)
十、燃油电加热器操作	(165)
十一、油泵的使用和维修操作	(166)
十二、喷枪的操作	(167)
十三、泵房停油事故处理操作	(168)
十四、油罐冒罐事故处理操作	(169)
十五、重油系统常见故障	(169)
第十章 天然气系统生产操作	(170)
一、输气管道吹扫的操作	(170)
二、管道试压的操作	(170)
三、天然气配气站操作	(171)

四、输气站送气操作	(173)
五、输气站停气操作	(174)
六、球阀的操作	(174)
七、天然气喷枪操作	(175)
八、天然气设备检修规程	(176)
九、天然气供气应急预案	(177)
十、天然气使用安全规程	(177)
第十一章 煤气发生炉系统生产操作	(179)
一、冷态单机试车和联动试车	(179)
二、煤气发生炉点火操作	(180)
三、热煤气的输送	(182)
四、发生炉生产正常操作	(183)
五、鼓风机操作	(186)
六、生产炉转热备炉操作	(188)
七、热备炉投入运行操作	(189)
八、发生炉停炉操作	(189)
九、发生炉安全操作	(191)
十、发生炉气化参数调整操作	(194)
十一、常见故障及处理方法	(195)
十二、应急处理规程	(199)
十三、煤气发生炉的维修及检修	(200)
第十二章 石油焦系统生产操作	(201)
一、卸车作业	(201)
二、仓储保管	(201)
三、石油焦制粉操作	(202)
四、石油焦粉低压气力连续输送操作	(203)
五、石油焦粉燃烧操作	(205)
六、石油焦粉安全生产操作	(207)

七、石油焦的应急操作	(210)
第十三章 国家标准规范主要内容介绍	(211)
一、《平板玻璃行业准入条件》	(211)
二、《平板玻璃工厂设计规范》	(211)
三、《平板玻璃工厂节能设计规范》	(211)
四、《玻璃工厂工业卫生与安全技术规程》	(212)
五、《平板玻璃工业大气污染物排放标准》	(213)
六、《用能单位能源计量器具配备和管理通则》	(215)
参考文献	(216)

第一章 玻璃燃料概述

一、前言

在浮法玻璃的生产过程中,使用高热值的燃料,是玻璃熔化质量的保证。经过几十年的发展,玻璃生产使用的燃料由单一的发生炉煤气,到现在的重油、天然气、石油焦、煤焦油、焦炉煤气、高炉煤气、水煤浆、乳化焦浆、合成燃料油和全电力等多能源品种。玻璃生产常用燃料的热值及占生产成本的比例见表 1.1。

表 1.1 玻璃生产常用燃料的热值及占生产成本比例

项目	天然气	发生炉煤气	焦炉煤气	重油	煤焦油	石油焦
平均热值[kJ/m ³ (kg)]	35540	12540	17560	40140	37630	35540
平均价格[元/m ³ (kg)]	2.90	0.80	1.15	4.80	2.70	2.40
平均用量[m ³ (kg)/重量箱]	11.00	31.17	22.26	9.75	10.39	11.00
平均成本(元/重量箱)	31.90	24.94	25.60	46.80	28.05	26.40
占总生产成本的比例(%)	45.57	35.62	36.57	66.86	40.07	37.71

注:玻璃生产总成本按 70 元/重量箱来计算。

二、玻璃生产用燃料的特点

玻璃熔窑燃料品种的选择,主要根据市场价格、区域资源、环保要求、技术创新要求、玻璃质量要求等因素综合确定。玻璃生产企业使用何种燃料很难说对或错,只能相对地论其利和弊。基于玻璃熔化工艺原理及生产成本的考虑,选用的燃料应具备“高热

值,低价格,货源足,能耗低、污染小”的特点。

1. 高热值

高热值燃料是制定高温熔化工工艺制度的基础,是提高玻璃产量、提高玻璃质量和降低产品能耗的保证。生产实际表明,熔化温度在 $1400\sim 1450^{\circ}\text{C}$ 范围内,每提高熔化温度 1°C ,熔化率增加 2% ;熔化温度在 $1450\sim 1500^{\circ}\text{C}$ 范围内,每提高熔化温度 1°C ,熔化率增加 1% ;熔化温度在 $1500\sim 1550^{\circ}\text{C}$ 范围内,每提高熔化温度 1°C ,熔化率增加 0.7% 。因此,玻璃生产企业在选择玻璃燃料时,首先要考虑的就是燃料所能提供的熔化温度。

2. 低价格

低价格燃料意味着玻璃生产的低成本,是实现企业效益最大化的重要保证。燃料价格的提高,造成生产经营困难,燃料的普及性受到挑战,新型的替代燃料将出现。因此,在保证燃料热值达标的情况下,玻璃行业在努力寻找更低价格的燃料。

3. 货源足

货源充足是玻璃生产用燃料的又一特点。玻璃生产是一个连续的过程,在窑龄期内进行燃料结构的调整,停产更换燃烧系统,对企业会造成巨大的经济损失。因此,选择使用什么燃料,对于玻璃企业来说,不仅要着眼于当前,更要关注未来。

4. 能耗低、污染小

玻璃行业是高能耗、高污染的行业。燃料燃烧产物必须对玻璃、耐火材料无害,尽量少含烟尘、硫化物和钒化物等杂质,以免影响玻璃质量或加剧对耐火材料的侵蚀。因此,玻璃生产对于燃料的热效率,硫、氮等指标都有一定的要求。

三、玻璃生产选用的燃料种类

国内玻璃行业熔制玻璃所用的燃料主要有以下几种:

1. 重油

重油是非常规石油的统称,包括重质油、高黏油、油砂、天然沥青和油母页岩等。玻璃生产所用的重油,是从原油中提取汽油、柴油后的剩余重质油,称为渣油;作燃料的重油还叫燃料油。

2. 煤粉

煤粉是煤矿物质在一定条件下经一系列分解、化合等复杂反应而形成的,是煤矿中矿物质的衍生物。煤粉为可燃物质,具有流动性、爆燃性。

3. 水煤浆

水煤浆是由精煤研磨配制而成的一种液体燃料,外观呈浓墨汁状。其中大约含微细煤粉 70%、水 30%,另外含有一定量的化学添加剂。

4. 煤焦油

煤焦油是炼焦工业中煤热分解生成粗煤气的副产物之一。常温下是一种黑褐色、黏稠、有特殊气味的油状液体。

5. 发生炉煤气

发生炉煤气是在发生炉里通入空气和水蒸气,使原料煤不能完全燃烧,生成以一氧化碳和氢气为主的可燃性气体。

6. 焦炉煤气

焦炉煤气指几种烟煤在炼焦炉中经高温干馏后,在产出焦炭和煤焦油的同时所得到的可燃气体,是炼焦产品的副产品。

7. 天然气

天然气是古生物遗骸长期沉积地下,经漫长转化及变质裂解后产生的气态碳氢化合物。与石油伴生的天然气中含有石油蒸气,称为伴生天然气或油性天然气;纯气田产的天然气不含石油蒸气,称为干天然气。

8. 石油焦

石油焦是原油经蒸馏将轻、重质油分离后,重质油再经高温热

裂解的过程转化成的产品。石油焦是形状不规则、大小不一的黑色块状(或颗粒),有金属光泽。

9. 乳化焦浆

乳化焦浆是以石油焦作为母料,加入工业废液和其他复合组分的添加剂,通过乳化工工艺制备成的一种燃料。

10. 合成燃料油

合成燃料油是以煤焦油或煤沥青为主要原料,通过加水乳化、掺混调和以及适当处理制备出的燃料油。

11. 高炉煤气

高炉煤气是炼钢、炼铁过程中产生的气体副产品。无色、无味、无臭,CO的含量很高,毒性极大。

四、玻璃生产主要燃料的性能及燃烧特点

玻璃企业、科研院所以及相关的化工行业,经过多年的联合攻关,按照玻璃熔制对燃料的基本要求,研制试用了各种燃料。目前,已成功用于玻璃熔窑的燃料,主要有重油、天然气、煤焦油、焦炉煤气、发生炉煤气、石油焦。这六种燃料各自的物化性质不同、热值不同、燃烧状态不同、调节控制手段不同、燃烧产物不同,在玻璃的熔化质量、对熔窑耐火材料的烧蚀、烟气含硫量、烟气含粉尘量等方面存在较大差异。

1. 重油

重油在常温、常压下,呈黑褐色或绿褐色。重油由不同族类的液态烃和溶于其中的固态烃组成,包括烷烃、环烷烃、芳香烃和少量烯烃,密度小于 $1\text{t}/\text{m}^3$ 。作为玻璃燃料的重油,其热值一般大于或等于 $41000\text{kJ}/\text{kg}$,恩氏黏度 20°E (120°C 时),开口闪点大于或等于 130°C ,着火温度在 $500\sim 600^\circ\text{C}$,水分不大于 3% ,灰分小于或等于 0.30% ,机械杂质小于或等于 2.50% ,含硫量小于或等

于3%。

重油采用一级加热到75℃左右输送,再经过二级加热到120℃左右进入喷枪,最后进入窑内燃烧。重油燃烧时火焰黑度大,从火根到火梢呈明亮状,火焰刚性好,射程远,火焰覆盖面积大,燃烧稳定;喷出角度容易调节,能使火焰紧贴液面,碓顶温度容易控制;料堆容易控制,泡界线整齐。重油发热值高,火焰的辐射能力强,通过对油温、油压、雾化介质的温度及压力、助燃空气量及温度的调节,容易维持合理的熔化温度制度。使用重油为燃料,工艺流程简捷,附属设施少,操作控制容易。所以,重油被大多数玻璃企业选为理想的燃料。

重油燃烧的废气中 SO_x 含量为 $1500\sim 3000\text{mg}/\text{m}^3$ (标况下,下同),烟尘含量为 $150\sim 350\text{mg}/\text{m}^3$,因此,烟气需脱硫除尘后才能达标排放。另外,重油的储存、脱水要建两个以上相应规模的油罐及配套的管道、加热与消防设施,还要规划出合适的油罐区域,以达到消防要求。目前,重油维持在5000元/吨的高价,燃料费用占玻璃总生产成本的60%之多。寻找新的替代燃料,成为玻璃企业控制成本的主要途径。

2. 天然气

天然气中 CH_4 含量达90%以上,还含有少量烃类、 H_2S 、 CO_2 、He、Ar及水蒸气等,其热值为 $34000\sim 38000\text{kJ}/\text{m}^3$,理论燃烧温度为 1990°C ,密度为 $0.5\sim 0.7\text{kg}/\text{m}^3$,含硫量在 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 以下,着火温度为 $530\sim 750^\circ\text{C}$ 。

天然气由喷枪直接喷入窑内燃烧。由于天然气(主要成分甲烷)的燃烧特性,燃烧速度较慢,火焰亮度较差,辐射传热能力不强,火焰长,刚性差,火焰发飘。近年来,随着天然气喷枪的引进和燃烧技术的提高,已解决燃烧效果差和火焰状况控制操作难的问题。天然气燃烧废气中的 SO_2 含量为 $100\sim 400\text{mg}/\text{m}^3$,符合我国《平板玻璃工业大气污染物排放标准》(GB 26453—2011)。天然