

玻璃工业节能途径

皇甫烈魁 编译

中国建筑工业出版社

玻璃工业节能途径

皇甫烈魁 编译

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国建筑工业出版社

本书介绍玻璃工业节能技术，其中包括选择配合料、改进玻璃窑炉结构、正确选择燃料和燃烧装置、强化玻璃熔化、熔窑保温、综合利用余热和合理选用耐火材料等。

作者根据国内外近400篇文献资料，结合我国实际情况，取其实用部分，分门别类，将玻璃生产中各个环节的节能方法作了介绍。内容具体、实用，对玻璃工业节能有较大的参考价值。

本书可供玻璃工业技术人员、管理干部和工人阅读。

玻璃工业节能途径

皇甫烈魁 编译

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：11¹/₂。字数：249 千字

1986年3月第一版 1986年3月第一次印刷

印数：1— 2,800册 定价：2.10元

统一书号：15040·4877

序 言

玻璃工业是消耗燃料较多的行业之一。在当前我国能源工业的发展不能完全适应到本世纪末工农业总产值翻两番要求的情况下，国家决定实行“开发与节约并重，近期把节能放在优先地位”的方针，这是从我国实际情况出发的正确方针。

在工农业生产中开展节能工作不仅是加快工农业生产发展速度，实现总产值翻两番目标的重要措施，而且对推动包括玻璃工业在内的整个国民经济的技术改造和技术进步，对提高工农业生产经济效益，同样具有十分重要的现实意义和战略意义。

不只是在发展中国家，就是在经济较发达的工业化国家，也很重视节能工作。尤其是自1973年世界能源危机之后，节能问题几乎成为世界性的浪潮波及各国，越来越多的人把节能看成是“未来能源最重要的来源之一”。各国通过这十几年节能工作的开展，不仅在珍惜和合理利用燃料动力资源的认识上有很大飞跃，在节能理论和技术措施上有很大发展，而且在节能工作的实际成效上也不同程度地取得了许

多进展。

例如日本在1965~1973年间，即在石油危机之前，国民生产总值每增长1%，其能源消费增长率也为1%。在同一时期，美国为1.25%，联邦德国为1.1%，法国为1.02%。而在1975~1977年间，即石油危机之后，由于改革了工艺过程和生产设备，节约了能源，国民生产总值每增加1%，日本能源消费增长率，则从1%降为0.55%，美国从1.25%降为0.71%，联邦德国从1.1%降为0.88%，法国从1.02%降为0.96%。据报道，日本1974~1977年节约了6650万吨石油；法国7年中节约了1亿吨石油；美国消耗的进口石油每天减少了170万桶。

再以国外玻璃工业为例，在日本政府制订的节能规划中，规定平板玻璃工业1973~1985年节能13%，但实际执行情况大大超过了政府规定的节能指标。仅1973~1982年十年间，平板玻璃产品单位能耗就实际下降36%（即由1973年的4504千卡/公斤玻璃下降到1982年的2866千卡/公斤玻璃）。

苏联建材部制订的节能规划中，规定玻璃工业1965~1970年节能7%，1971~1975年节能8.2%。实际执行结果，1970年产品单位能耗比1965年下降11.74%（即由1965年的656公斤标准煤/吨玻璃下降到1970年的579公斤标准煤/吨玻璃）。1975年又比1970年下降7%。

与国外相比，我国玻璃工业的能耗高，节能潜力是很大的。以平板玻璃工业为例，国外玻璃熔窑的热效率，较好的达40~50%，以垂直引上工艺为主的苏联火焰窑的热效率1980年全国平均为24.1%（较好的为25~28%，采用电辅助加热的为40%）。而我国大、中型厂的平均热效率却只有17%左右。再以产品单位能耗为例，西欧浮法窑一般为10~

12公斤标准煤/重量箱,日本各种窑平均为20公斤左右标准煤/重量箱(1982年),美国六机无槽窑为20公斤左右标准煤/重量箱(1978年),以垂直引上工艺为主的苏联平板玻璃窑全国平均为25公斤左右标准煤/重量箱(1980年),而我国大、中型窑1980年平均高达32.8公斤标准煤/重量箱。至于小厂还要高得多。

另外,我国各厂之间产品单位能耗差距也很大。同是九机窑,有的厂单位能耗为25公斤左右标准煤/重量箱,有的则为35公斤左右标准煤/重量箱;同是中型窑,有的为29公斤左右标准煤/重量箱,有的则为39公斤左右标准煤/重量箱,小型厂单位能耗多数比九机窑高1~2倍了。因此,无论从熔窑热效率还是从产品单位能耗来说,我国玻璃工业的节能潜力都是很大的。如何把各个企业的节能潜力挖掘出来,这是当前摆在我国玻璃工业面前的一项紧迫任务和重大课题。这个问题是否能尽快得到有效解决,不仅关系到我国玻璃工业的发展速度和实现产值翻两番的宏伟目标,而且对今后整个行业经济效益的提高和适应对外开放形势的需要——打入国际市场,提高国际竞争能力都将产生影响。

多年来,尤其近十几年来国外积累的节能经验,对我国玻璃工业进行以节能和提高质量及经济效益为中心的技术改造有很重要的参考价值。为便于我国玻璃工业在节能工作中借鉴国外这方面的经验,笔者在翻阅大量国内外科技文献资料的基础上,将其提炼、归纳为九条(九章)基本节能经验,编译成本书。由于笔者水平有限,缺点、错误在所难免,热诚欢迎批评指正。

目 录

序 言

第一章 采用低温、易熔、节能原料和助熔剂熔化玻璃 1

- 一、密实和预热玻璃配合料..... 1
- 二、提高配合料内碎玻璃含量..... 25
- 三、用天然碱代替纯碱..... 31
- 四、采用熔化温度低的玻璃组成、助熔剂和澄清剂..... 32

第二章 正确选择窑型，改进窑炉结构，

提高窑炉热效率 39

- 一、正确选择窑型..... 39
- 二、改进窑炉结构，提高窑炉热效率..... 45

第三章 正确选择和合理 燃烧燃料 62

- 一、燃料的选择..... 62
- 二、以煤代油问题..... 66
- 三、有效燃烧燃料的基本理论原理..... 72
- 四、火焰亮度对散热的影响..... 79
- 五、火焰空间高度和火焰配置对窑内热交换的影响..... 83
- 六、窑内辐射热交换与火焰尺寸和特性的关系..... 90

第四章 改进燃烧方法和 燃烧装置 93

一、在玻璃熔窑中烧液体燃料的方法和装置	93
二、在玻璃熔窑中烧气体燃料的方法和装置	109
三、改进燃烧管理和燃烧控制	138
第五章 强化玻璃熔化、均化和冷却过程	151
一、发展高温熔化, 强化玻璃熔化过程	151
二、电辅助加热	158
三、玻璃液鼓泡和浸没(接触)式燃烧	163
四、强化玻璃液的均化和冷却过程	204
第六章 对玻璃熔窑进行保温和密封	224
一、窑碲的保温	226
二、池壁的保温	240
三、胸墙和投料口的保温	254
四、窑底的保温	255
五、小炉和蓄热室的保温	258
六、熔窑的密封	265
第七章 综合利用玻璃熔窑废气的余热	269
一、废气余热的一次利用	269
二、废气余热的二次利用	273
三、废气余热的其它利用方式	289
第八章 发展优质耐火材料生产, 延长窑炉使用周期	292
一、池壁用的耐火材料	293
二、上部结构用的耐火材料	298
三、池底用的耐火材料	302
四、冷却部和成型部用的耐火材料	303
五、蓄热室用的耐火材料	306
第九章 其它节能途径	310
一、玻璃熔窑池壁采用蒸发冷却	310
二、采用新的节能工艺熔化玻璃	313

三、发展节能效果好的玻璃品种	315
参考文献	322

第一章

采用低温、易熔、节能原料 和助熔剂熔化玻璃

一、密实和预热玻璃配合料

当用粉料熔制玻璃时，由于固相间接触面积小，因而反应速度慢。如果用粒化或压块（压片）法把粉料压成致密的料球或料块（料片），这样可以增加配合料颗粒之间的接触面积，配合料密度可从 $1\sim 1.1$ 吨/米³增加到 $2\sim 2.3$ 吨/米³，气孔率可以从 $40\sim 50\%$ 减少到 8% ，导热系数可从 0.273 瓦/米·°C增加到 0.43 瓦/米·°C，从而有利于加速固相之间的反应速度。燃料消耗可以减少 $15\sim 20\%$ （苏联、英国），甚至 $24\sim 25\%$ （美国）。

采用粉状配合料会造成车间扬尘，损害操作人员的健康，配料时显著提高物料消耗。将这种配合料投入窑中，会失去许多扬尘的组分期限，堵塞蓄热室和换热器，缩短池窑的使用期限，还排入大气中许多有害成分。

为了解决这些问题^[253]，在制备玻璃配合料时可采用将粉状物料粒化的方法。粒化配合料没有粉状配合料的上述缺点，而且能使玻璃熔化时间缩短 $30\sim 40\%$ ，熔窑熔化能力提

高20~60%，并可能将配合料在熔化前预热^[254~258]。

配合料粒化时，制成一定大小和形状的，符合规定的化学组成并具有一定物理机械性质的固体颗粒。

在大多数情况下，粒化前配合料要发生聚集现象。所谓聚集可以理解为一些微分散的物料颗粒自然或定向的接近，通过其相互作用，形成聚集体^[259~261]。

可以采用各种设备进行玻璃配合料的压块和粒化。玻璃配合料的粒化方法和所采用的设备可按下列方式分类：

将固相和液相混合物在盘式和筒式粒化器内滚成球，然后在消除液相的情况下，通过颗粒之间粘接在一起粒化；

将增湿的配合料或带塑化剂的配合料通过穿孔的辊筒制成挤压体，然后干燥或冷却而形成颗粒；

用流态化设备喷射液相和固相混合物；

将固相（也可添加液相）压成片剂、块状或直接使用的片状，或用压片机、压块机和辊压机压制成所需大小的颗粒。

下面介绍一下试验室或工业条件下所采用的玻璃配合料的粒化方法。

滚 球 法

在玻璃制品的生产中，用滚球法粒化粉状配合料主要是用盘式和鼓形（圆柱形和锥形）粒化器。

盘式粒化器是一个带有不高边子的圆盘或带有球形表面的盘子（图1）。粉状配合料放入倾斜的转盘内，同时往盘上喷洒一定剂量的水或其他粘合剂。在增湿原料的同时，在粒化器的底部滚动配合料，于盘式粒化器内形成颗粒。离心力使物料紧贴粒化器的底部和边部，从而防止其掉下来。形

成的颗粒与转盘一起上升一定高度，然后在重力的作用下，沿料层表面以自然倾斜角度往下滚成球。盘内配合料洒水用喷雾器。沿盘滚动的颗粒，体积日益增大，由于盘表面各种尺寸的颗粒之间的摩擦系数不同，颗粒按尺寸大小分级。在

这种情况下，大颗粒滚动着集中到卸料溜槽的边部，而小颗粒则在距其边缘较远的范围内以大的弧度滚动（图2）。达到所要求大小的颗粒，通过边子抛入卸料溜槽内。

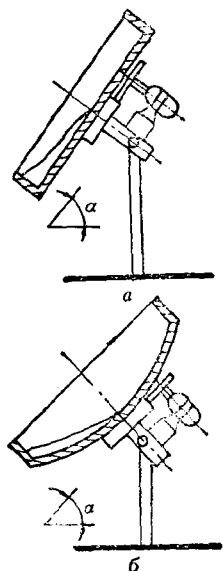


图1 盘式粒化器
a—平底式；b—球形底式

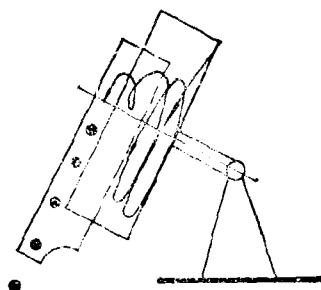


图2 颗粒在盘式粒化器内的运动图示

颗粒在盘式粒化器内的形成机理如下^[255, 262~264]。用喷雾器洒到粒化器内的水分散到料层上。配合料颗粒在表面张力和运动着的液体薄膜毛细管压力的作用下聚结在一起，形成最初的料团，粒团在上述力的作用下滚成球形。初始料团的大小决定于水滴的大小。大量形成的这些新物体彼此聚拢并被水薄膜部分地连在一起。

玻璃配合料颗粒在运动时彼此接近起来，饱和水的粒团被密实，多余的水被挤到表面。在粒化器旋转时所产生的离心力和水薄膜表面张力的作用下，小料团成长为大的料球，该小料团乃是形成粒化料的核心。在下一步粒化过程中，未增湿的（干燥）颗粒被一层层地聚积到润湿的核心上。如果液滴很大，形成的核直径为3~5毫米。颗粒结构的进一步密实是通过致密动态层颗粒间的相互作用力实现。颗粒的大小，在很大程度上取决于它通过增湿区域的次数。

在工业中采用的粒化器直径为1~6米，能制成所规定大小的颗粒。盘式粒化器的单位产量为500~1000公斤/米²·时，粒化时间5~10分钟，成品率90%以上^[255, 285]。

颗粒大小和粒化器产量取决于配合料与液体的比例和颗粒沿粒化盘内料层表面运动轨迹的长度。当延长颗粒运动轨迹时，能提高粒化料组成的均匀性。

旋转速度和盘的倾角是粒化过程的主要调节参数。当转速不变时，减小粒化盘的倾角能增加大颗粒的数量。当转速提高时，由于延长了在单位时间内颗粒经过的路程，所以颗粒的平均直径增加。

为了改进粒化产品的质量，经常用洒水装置将水或其他液体粘合剂喷入粒化器内^[266~273]。粒化物料的比表面越大和它的可塑性越小，雾化的分散度则应越高。当雾化的分散度增加时，颗粒的尺寸会变小。

在用直径6米的盘式粒化器粒化玻璃配合料时，颗粒的湿度高，抗压强度小。随后将颗粒在干燥室内于600°C温度下热处理1.5~2分钟，其强度可增加0.5~1倍。用盘式粒化器制取的颗粒直径为2~25毫米。它符合玻璃熔化过程工艺参数的要求。

国外用盘式粒化器制取粒化料的主要指标和特点见表 1 所列^[255, 267~274]。

表 1

参 数	国 别 和 公 司			
	美国PPG 公司等	联邦德国 Lurgi公司	日本旭玻 璃 公 司	瑞士Pelltee S.A公司
转速(转/分钟)	5~25			
盘的倾角, α°	40~60			
盘的直径(毫米)	1000	5500		
配合料颗粒的最佳 粒度(毫米)	0.07~0.3(砂子) 0.008(白云石)	<0.5~5% <0.09~5%		0.1~0.45 (砂子)
配合料湿度(%)	5~25		8~20	7~10
颗粒尺寸(毫米)	9.5~15.9	5~15	5~25	5~20
窑炉熔化粒化料时 产量提高率(%)		20~60		40~50
粒化器产量(公斤/ 时)	180~454	~10000		
干燥温度($^\circ\text{C}$)	104~538			250~450
颗粒强度(公斤力/ 粒)	34~100(干料)	1~3(湿料) 20(干料)		
粘合剂类型	水, 50~75%的 NaOH溶液	NaOH 水 溶 液	NaOH 水 溶 液	水, 50%的 NaOH溶液
玻璃种类	玻璃纤维钠钙玻璃			

盘式粒化器的优点是：所生产的颗粒度组成均匀，便于目测和比较低的设备投资就能控制粒化过程。但这种设备也有许多缺点，主要是在粒化配合料时对所添加的液相数量非常敏感，这就使工作制度的范围很狭窄；所规定的参数和所要求大小的成品产量常发生很大波动，这是由于稳定的工作制度范围很窄，加之大量的偶然性扰动影响生产过程所致，粒化器的产量取决于盘的直径，但此参数不能变化太大。

筒式粒化器是一个直径 2 米以下和长 5~8 米的水平金属

圆筒，安装倾角 $\sim 4^\circ$ ，转速10~18转/分钟。筒的旋转是由带减速器的电动机组成的传动装置驱动。圆筒装有护箍和齿圈，放在支撑台的辊式支座上^[255,260,275,276]。

往圆筒内喂粉状配合料用喂料机。往圆筒内输运液相是在筒式粒化器内进行滚球过程的必要条件。湿润的配合料在圆筒旋转的过程中通过细粒滚着移动，与此同时向颗粒的中心产生冲击作用。冲击力冲向颗粒的垂直表面，保证球形颗粒的形成^[277]。在冲击力的作用下，颗粒表面的不均匀性受到破坏，牢牢粘附的微粒挤到颗粒里面。

筒式粒化器的产量取决于它的尺寸，圆周转速、圆筒的倾角、粘合剂的类型、所规定的湿度和颗粒的大小。

所制取的颗粒的质量，取决于颗粒的碰撞次数，其碰撞值随着颗粒平均运动速度和容积内速度的递减率的提高而增长。颗粒发生碰撞能保证各个颗粒的运动轨迹相互强烈交叉。

在圆筒内滚动时，要保证轻微湿润的颗粒能沿干物料的倾斜表面滚动（环绕速度0.7~0.8米/秒）。这时圆筒的充填程度为5~10%。

下面介绍一下生产玻璃配合料用的筒式粒化器的某些工作特点。

联邦德国Zippe KG公司的产量为1~2吨/时的半工业筒式粒化器，可供粒化水晶玻璃、钠玻璃和光学玻璃配合料时使用，配合料通过圆筒运动时要经过两个区：粒化区和干燥区。借助与垂直线成 45° 和 70° 角配置的两个喷嘴在粒化区将混合好的配合料增湿到8~9%。在用喷嘴燃烧重油的情况下，干燥区的温度达250~550°C设备出口料粒的温度为150°C。

圆筒的结构特点呈锥形 ($D_{入口}=1000$ 毫米, $D_{出口}=700$ 毫米), 拥有改变圆筒倾角的装置。安装在圆筒出口的挡料环使它里面形成高30~60毫米的配合料层。当砂子和白云石粒度尺寸分别为 $d_{砂}=0.3$ 毫米和 $d_{白云石}=0.1$ 毫米时, 配合料起始湿度3~4%为最佳粒化制度。粒化生产水晶玻璃用的配合料时, 圆筒转速等于10~12转/分钟。

要把粒化设备的产量提高到10~20吨/时, 寻找较便宜的粘合剂取代水有一定困难。研究表明, 引入碳酸钾(K_2CO_3)作为配合料组分, 在水量不大的情况下, 就能提高玻璃配合料的粘着能力。

已经发现, 用半工业试验装置制成的颗粒具有高的强度。这样能防止其在进行装卸作业时破碎, 并能以粒化料的形式将配合料贮存在大高度的料仓中。此外, 在工厂条件下熔化玻璃时, 在改进玻璃质量的同时, 窑炉产量可提高25~30%。不过, 在这种情况下, 澄清过程并没有明显地加速。

在直径1000毫米的筒式粒化器中粒化配合料, 投料600~800公斤/时, 耗水量70~90公斤/时, 圆筒倾角 5.5° , 转速16~18转/分钟, 粒化带出口颗粒的温度 $170\sim 180^\circ C$ 。制成的颗粒直径1.4~3.1毫米, 这种粒度的比重占总成品率的71%。已经证实, 颗粒中原组分的分布优于粉料。粒化配合料的熔化表明, 玻璃澄清速度与采用粉料时相同^[278]。

用筒式粒化器粒化有一些缺点。由圆筒结构决定的这些缺点包括:

- 物料粘在圆筒内壁及其套管上, 难于净化;
- 水喷头被配合料堵塞, 导致破坏工艺制度;
- 粒化过程高度往复, 为100~400%。

此外, 还应指出, 圆筒内料滚动的工艺过程不完善^[260]。

当改变料的湿度时，过程的稳定性急剧下降，难以目测工艺过程，颗粒增大难以控制。当提高圆筒内加料量时，颗粒的线速度减小，从而降低密实的作用力和影响粒化器的操作。

使用半工业试验性粒化器的结果表明，石灰石颗粒的大小增至0.4毫米，就被从成球过程中排除出去，从而破坏所规定的粒化料的化学组成^[275]。

还要指出的是在粒化含有磨得太细的砂子配合料时所产生的困难，尽管大家都知道，用太细的配合料组分熔制玻璃具有最大的熔化和澄清速度。

在圆筒内粒化和干燥的显著缺点是耗热量大。例如，以重油供给干燥带热量时，其耗量等于100000千卡/吨粒化料，自然，这会对用这种方法进行粒化过程的经济性产生明显的影响。

挤 压 法

挤压法是一种较新的玻璃配合料粒化方法。配合料预先在混合机内进行处理，在强烈混合时将其润湿，使其变为塑性状态。然后将塑性料投入挤压机内，混合物在这里被密实并在压力下通过专门的圆柱形阴模挤出。

颗粒质量取决于料的湿度、粘合剂含量和种类、阴模孔的尺寸和数量以及刮刀的形状。

挤压机的主要结构如图3所示。

加工用的穿孔辊压机（图3a、b）是由两个相向旋转的空心圆辊构成。为避免在压力的作用下变形，辊壁做得相当厚。湿润的塑化配合料被送到两根辊子（其中一根穿孔）之间。料以柱状形式挤入辊子的通道内，然后用刮刀切下。对于易于挤压的物料来说，两根辊子可以都制成穿孔的。带旋