

提高玻璃熔窑热效率的途径

建材部技术情报标准研究所

一九七九年八月



目 录

概述.....	1
一、玻璃配合料的密实工艺	2
二、制备粒化料、块化料的工艺	3
三、粉料的预处理工艺	6
(一) 换热器式熔窑的玻璃配合料预热系统	6
(二) 换热器式双段熔窑玻璃配合料预热系统	8
(三) 带蓄热室的玻璃熔窑配合料预热系统	10

提高玻璃熔窑热效率的途径

概 述

如何提高玻璃熔窑的热效率，这是若干年来玻璃问题专家们一直在探索解决的课题。这是因为玻璃熔窑目前的结构形式和熔制工艺本身不合理，不能充分利用燃料燃烧的热能。一般来说，平板玻璃熔窑的热效率只达到百分之二十五，而大部分白白地浪费掉了。近些年来，随着世界能源出现危机，许多工业发达国家为解决节约能源这一问题想了许多办法以提高热效率。随着浮法工艺的诞生，成型设备的能力大幅度提高。为了满足这一变化的需要，设计师们便将玻璃熔窑越建越大，近年来所建的新型浮法线一般都是日产量为500~600吨，最大的达到700吨。浮法玻璃窑的横跨达到11~12米，长度达到65米。尽管熔窑的大型化和超大型化能够在总的方面使玻璃成本有所降低，但对于提高熔窑热效率方面却很不明显。这是因为它并没有从根本上摆脱效率很低的加热方式，使用的仍旧是松散的粉状配合料，配合料入窑后仍然只是依靠火焰和大拱的辐射热来加热熔化，堆积在玻璃液面上的底层配合料依旧是靠玻璃液本身的热传递给配合料而熔化。

为了降低玻璃熔制过程中的燃料消耗，目前国外对玻璃熔窑所采取的措施有：

选择合适的燃料—空气比例(火焰长度为横火焰窑宽度的3/4)、合适的燃料供给角度和流速，将空气过剩量控制在1.1~1.15；

实现燃烧过程的自动调节；

将换火时间减少至最小限度；

连续控制烟气成份；

将火焰尽量贴近玻璃液面；

保持窑压稳定，将通过观察孔、池窑砌体和蓄热室吸入的冷空气量降至最低限度；

改进池窑结构(其中包括消灭“死角”)和小炉结构，以及小炉的配置等；

准确地调节玻璃液面，以减少热损失；

保证玻璃配合料的均一性和适宜的湿度；

增加配合料中碎玻璃的比重(将其含量增至10%可节约4.5%的燃料)；

对玻璃熔窑进行保温；

密封池窑的各部分(在不密封的情况下，其热损失能达到热消耗总量的10%)。

上述措施是在现有熔制工艺基础上总结出来，并且是行之有效的措施。但是，即便综合采用了上述各种措施，仍不能得到令人满意的效果，如果单独采用其中的某些措施则更是如此。由于上述情况，国外各主要玻璃生产国都在不断致力于研究出一种能大幅度提高熔窑热效率，节约能源的方法。这方面的工作大体可分为两个方向：(1)对玻璃原料的研究和玻璃配合料预处理工艺的研究；(2)对玻璃熔制工艺合理化及窑炉结构的研究。还有一些方案是属于这两者的结合。本文想就三个问题来谈谈上述的研究工作情况和已取得的一些结果。

一、玻璃配合料的密实工艺

采用松散的粉状配合料加入熔窑进行熔化的方法存在着不少缺点。由于配合料呈松散状加入，各种成份的料粒之间存在着大量的气体，影响了各种成分的料粒之间的固相反应过程，延长了反应所需的时间，因而造成能量消耗的增加。此外，配合料在熔化过程中，首先是表面层熔化。已熔化的玻璃液会包住下面的颗粒，延缓反应速度。而且，使用松散的粉状配合料，极易造成飞料现象，堵塞蓄热室格子体，影响燃烧用二次空气的预热。

为了解决松散的粉料所造成的上述问题，法国圣戈班公司提出了一种将粉料进行密实处理后，再投入熔窑使用的办法。平板玻璃厂使用的粉状配合料如果含有2.9%的水分，那么，其表密度就只有1.2克/厘米³，而它的真密度应该是2.7克/厘米³。所谓真密度，就是配合料中各种组分按理论计算出来的平均比重。该公司提出的方法，就是通过将玻璃配合料加压密实，使其达到与真比重接近的程度，而将配合料粒之间的空气几乎全部压出。配合料中不需加入粘合剂或水，但也不需进行预干燥处理。但它的粘结力是很高的，这是由于颗粒间范德瓦耳斯力的作用的结果。经过密实的配合料的热传导性能会有明显的改善。这样，就大大缩短了熔化时间，能更有效地利用热能。另外，由于配合料各种成分被压得很紧，各组分相互扩散的行程缩短，加剧了固相反应和玻璃相生成的过程。

经过密实的料块大小，对熔化速度有着直接的影响，如果料块过小，在加入熔窑时会出现堆积重叠现象，就会使料间含有或多或少的空气，料块间的热传导也就差。该公司提出的方法认为，经过密实的配合料块以2厘米厚、50~100厘米见方的形状进入熔窑为最好。

密实配合料中颗粒度小于0.1毫米的细料比例应高些为好，最好占50%。细料含量比例高不仅使配合料中各种组分便于相互粘附，同时有利于熔化过程。以前筛分出来不能使用的粉尘料，在密实工艺中也可以被使用，这是这种工艺的又一优点。

密实工艺所采用的设备最好是辊筒压机，因为它可以连续压制一条配合料带，而且有利于密实过程中的排气。工业设备及工艺流程如图1：

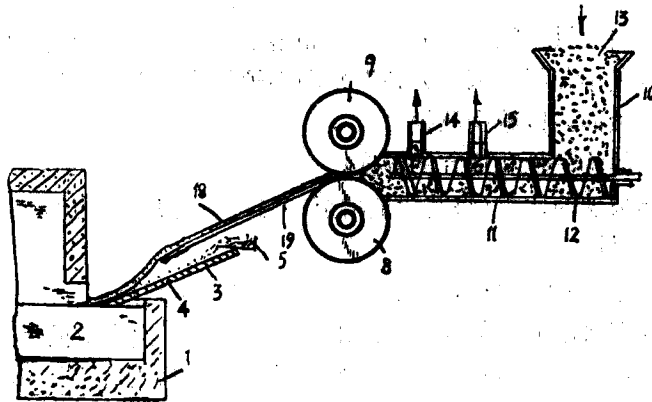


图 1

玻璃配合料的密实装置主要包括一个喂料斗10(斗内装着待压实的配合料13)，一个蜗杆输料器11以及辊筒压机8和9。蜗杆输料器12将待压实的配合料送至辊筒压机，与此同

时，由于蜗杆搅动的作用，使配合料内的部分气体从排气管道14和15排出。剩余的气体在辊筒压机加压时排出。辊筒压机将粉粒状的配合料压成密实的料带18，经过滑槽19铺复在熟料（碎玻璃）层4上。熟料是从料斗5经过喂料器3铺在熔窑1的熔融玻璃液2上的。

在采用普通粉状配合料时，料面的总宽度为熔窑的3/4。采用密实配合料时，料带的宽度比前一种方式窄一些。这样还可以减轻玻璃料对池壁的侵蚀。

采用上述设备制备出来的密实料块的比重约为2.6克/厘米³。

下面是两例实验过程和结果。

例1 在实验室内进行一般粉状配合料与加压密实配合料的熔化状态比较：

用于实验的配合料各组分重量比(%)：

砂	SiO ₂	59
碱	Na ₂ CO ₃	16
石灰石	CaCO ₃	5
白云石	CaCO ₃ · MgCO ₃	18
硫酸钠	Na ₂ SO ₄	2

配合料的颗粒度百分比：

> 1 毫米	36
0.1~1 毫米	63
<0.1毫米	1

配合料天然湿度为重量比的2.9%。

将70克重的粉状配合料和同样重量的密实配合料分别放入具有1350℃熔融玻璃液的坩埚内。在加料120分钟后，将坩埚从炉中取出，慢慢冷却至室温。将凝结物纵切取样，进行比较。加入的粉状配合料表密度为1.3克/厘米³，密实配合料是经1600公斤/厘米²的专门液压装置压制而成的，其比重为2.5克/厘米³，相当于真比重的90%。比较结果证明，粉状料只有60%被熔化，而密实料则有75%被熔化。

例2 实验方法同上，所不同的是密实料用2500公斤/厘米²的压机加压，其比重达2.6克/厘米³，为真比重的95%，实验结果是：粉状料仍是60%被熔化，而密实料有83%被熔化了。

从所进行的实验来看，这种方法的确具有能缩短熔化时间、降低能量消耗、提高熔窑的热效率、改善熔制条件和减少飞料堵塞蓄热室格子体等优点。但这种方法至目前为止，尚未见用于正式工业性生产。

二、制备粒化料、块化料的工艺

粒化料和块化料的研究工作早在三十年代就已开始了。而且，这种工艺在制作瓶罐玻璃和其它一些特殊用途玻璃的工艺中也早有采用。例如，在四十年代，美国福特汽车公司就用硅酸钠作粘合剂在辊压机中成型块化料，但因粘合剂和辊压机更换等费用较大，没有继续发展。美国其它的公司和西德、日本等国的玻璃公司也都几度致力于粒化料和块化料的研究。在这方面，日本发展得较快，1965年日本成立了“日本玻璃原料公司”，目前，除供应本系统粒化料以外，还供应其它玻璃公司粒化料。

采用经过预成型处理的配合料具有许多优点：

1. 可以防止配合料在输送过程中的分层现象。这对提高玻璃液的化学均一性很有好处。
2. 经过预烧结的料块投入熔窑使用，可以大大缩短熔化所需的时间，加速反应过程。日本在器皿玻璃窑上使用粒化料有个实例对比，情况如下：

窑炉类别	粉料日熔化量	粒化料日熔化量
①大型池窑(带色制品)	150吨	190吨
②中型池窑(白色玻璃)	19吨	30吨
③小型池窑(带色制品)	10吨	20吨

从第一栏中可看出，熔化效率提高了26.7%，中型池窑提高了57.9%，小型池窑则提高了1倍。熔化时间可缩短30~40%。

3. 可减少窑内强风造成的飞料，防止了蓄热室格子体的堵塞，烟道内灰尘堆积和烟囱排出的粉尘也大大减少。

其它国家对原料的粒化和块化工艺也颇为注意。但至目前为止，粒化料和块化料尽管有许多优点，也只局限在生产器皿玻璃和一些特殊用途玻璃的范围内，而未在平板玻璃工业中应用。其主要原因有：

1. 六十年代的主要成型工艺—浮法还处在发展阶段，一般浮法窑生产能力都在300吨/日左右，成型能力有一定限度。另外，不少国家仍然是以传统的垂直引上工艺为主。成型设备和熔窑能力之间保持着平衡状态。如果在原有的熔窑上使用粒化料或块化料，成型设备能力没提高，好处不明显，除非将窑炉改小。

2. 生产预烧结的块化料、粒化料需要有一定的设备和能量消耗，从经济角度看，由于受当时工艺条件所限，收益不能补偿上述损耗。

3. 另外，生产块化料、粒化料的工艺本身在当时也不完备，仍不能基本克服在运输过程中产生粉料、造成分层现象的问题。最初的粒化料强度为8公斤/厘米²，以后达到20~30公斤/厘米²。

但是，随着浮法工艺的不断完善，成型速度有了大幅度提高，而且，为了降低成本并与普通平板玻璃竞争，浮法熔窑日趋大型化。但熔炉结构跨度过大在技术上是困难的。加上能源问题的影响，粒化料、块化料工艺的研究再度被提出来了。

下面，介绍一下美国福特汽车公司在1978年宣布试验成功的块化料制备工艺。据实验结果证明，将松散的配合料加压处理后使用，可节省能量消耗25%。将料块在1500°F (816℃) 下进行预反应，则可以节省能源50%左右。目前，已将这种块化料工艺进行了小规模试生产。由于玻璃熔窑内熔化温度的降低，可节约能源15%至30%，同时还可延长熔窑寿命，减少空气污染。如果熔窑保持高温作业，则可大幅度提高熔窑生产能力。据报道，每生产一吨玻璃的成本可由此而降低2~4美元。

要提高玻璃熔窑的热效率，用较少的燃料熔制出较多的质量合格的玻璃液，玻璃配合料在熔窑内的熔化速度是很重要的。在美国，十年前的熔窑熔化率为0.37~0.56平方米熔化面积/吨玻璃液/天，而现代熔窑一般可达到0.19~0.28平方米熔化面积/吨玻璃液/天。要达到较高的熔化速度和质量，必须具备较高的熔化温度。一般熔窑的熔化温度在2700~2900°F (1480~1590℃) 之间。但是，从某些方面来看，玻璃熔窑进行高温作业并不合适。首先，玻璃熔窑的耐火材料寿命会大大缩短。这是因为上述温度十分接近耐火材料失去结构完

整性的温度。例如，若将上述温度再提高 50°F (10°C)，耐火材料的寿命就会降低 50% 左右。而且，玻璃熔窑的加热方式已决定了其热效率很低，要进行高温作业，就需要耗费更多的燃料。温度越高则热损耗也越高。通过蓄热室或换热器回收的热量是有限的。高温熔制的另一个缺点是造成污染的增加。温度增高则污染加剧。这是因为从熔融玻璃液表面析出的钠份增加，此外，氧化氮的形成也增多。钠盐会在热交换过程中造成沉积现象，不论其是硫酸钠、亚硫酸钠或是其它钠盐类，都会堵塞蓄热室而妨碍二次空气的预热。

该公司实验成功的工艺是用于生产有一定强度、不易碎而且部分反应了的块化料，该工艺包括如下工序：

1. 将水或苛性钠水溶液作粘合剂加入玻璃配合料，其加入量为总重量的 10%；
2. 将玻璃配合料与粘合剂一起熟化，一个周期至少 10 分钟；
3. 在预成块阶段将玻璃配合料与粘合剂压实；
4. 将压实的玻璃料分离成颗粒状；
5. 将颗粒料加压成型为块状料；
6. 将块化料加热至 $750\sim 900^{\circ}\text{C}$ 左右，并用充分的时间来达到玻璃配合料中的二氧化硅向硅酸盐的基本转变；
7. 最终得到具有强度、不易碎而且已经部分反应的块化料。

无论是将水或是苛性钠水溶液作为粘合剂加入配合料都可以得到令人满意的效果。苛性钠水溶液的浓度最好为 50%。粘合剂的加入量可达总重量的 10%，但最适宜的加入量是 3~7.5%。往玻璃配合料中加粘合剂时应缓慢地进行，使其均匀地分布在玻璃料中。配合料中砂的规格约为 16~325 目。按照块化料工艺的要求，可使用 16~200 目的砂子，可节省部分细磨料的费用。经过搅拌的配合料和粘合剂，要作 10~60 分钟的熟化处理。其目的是为了提高料块的生料（未烧结）强度。熟化处理也可以在预成型之后进行。预成型是指将熟化处理过的配合料采用辊筒压机或是蜗杆式压机等进行预加压处理。预成型处理后的配合料形状因设备不同而异，有的呈薄板状，有的呈颗粒状。经预加压后，配合料进入成块设备。最合适、而且通常采用的成块设备有两个相互平行安装、并向相反方向转动的辊子，辊子具有凹陷的表面，物料在凹陷的表面之间挤过，被挤压成块。实际块料成型所用的压力取决于玻璃的组分、加入的粘合剂量、以及成块的颗粒料的大小。一般 492 公斤/厘米^2 的压力即可满足制备合适的块化料的需要。块化料一般制成 4.76 厘米长、4.45 厘米宽、1.27 厘米厚、重量为 88~90 克的椭圆形块料较好。因为较大的块料比较小的块料需要更大的压力用于成型，随后的加热和预反应过程也需更长，熔化的速度也会减慢。采用上述工艺制备的生料块具有足够的强度，能在正常的输送装置上运至预加热部分的过程中不破碎。

预加热烧结的过程一般在能使块料不滚动并且保持静态的加热设备中进行，例如活动式篦子炉等。生料块在加热设备中，加热至 900°C ，加热时间视二氧化硅转变为硅酸盐这一反应过程所需的时间，一般是半小时至 12 小时。在这段恒温时间里主要是为了脱气（水和 CO_2 ）和进行玻璃配合料的预反应。

加热设备所使用的热量是从玻璃熔窑的废气中得到的。通常玻璃熔窑不能回收的那部分余热，现在可以被用来加热块料，使部分硅酸盐反应在熔窑外就已经完成，从而达到提高熔窑热效率的目的。被加热至 $750\sim 900^{\circ}\text{C}$ 的块料直接加入玻璃熔窑，使之在窑内熔化、澄清的速度得到提高。

采用块化料工艺进行熔制的又一个优点是，由于可以降低熔制温度，因而使钠的挥发份大大减少，进而减缓了蓄热室格子体的堵塞现象，可以延长蓄热室的使用期。这对玻璃窑的操作来说是很经济的。一般采用粉状料熔制玻璃液，熔化温度高达1590℃，经过实验证明，采用块化料进行熔制的最合适温度为1430℃。由于低温操作，熔窑的耐火材料寿命也得到延长。正如前面已经讲到的。在高温条件下作业，耐火材料会很快失去其整体结构，破坏其热强度。如果操作温度降低至上述温度，便能使耐火材料的寿命提高2~3倍。

就目前所进行的工业性试生产结果来看，块化料、粒化料工艺还是比较有发展前途的原料预处理工艺，它的许多优点正随着平板玻璃浮法工艺的发展逐渐显示出来。

三、粉料的预处理工艺

玻璃工业界的一些科技人员基于目前玻璃熔窑对配合料的加热方式不合理的现状和受水泥工业采用粉料进行窑外分解工艺的启示，正在致力于研究一种类似水泥工业窑外分解的玻璃配合料窑外预反应处理工艺。

日本自从能源危机以来，玻璃工业界也同其它各行业一样，正在努力致力于节省能源的研究工作。据日本1977年《公开特许公报》介绍，日本研究成功了一些有关利用玻璃熔窑的高温废气预热玻璃原料和燃烧用二次空气的新技术。采用这种新技术熔制玻璃，可以充分利用热能，降低生产成本，提高热效率，节省燃料。以下将玻璃配合料预热法的不同工艺归纳为三种类型分别进行介绍：

(一) 换热器式熔窑的玻璃配合料预热系统

这一新技术的特点是：省略了一般玻璃熔窑中所采用的蓄热室，利用玻璃熔窑排出的高温废气有效地将燃烧用二次空气和玻璃原料预热到一定的温度。

目前的蓄热室式横火焰玻璃熔窑的缺点是：蓄热室的热气逐渐被二次空气带走，因而蓄热室的温度不断降低，这样二次空气的预热温度也随之逐渐降低，因此往窑内供给的二次空气

很难保持一定的预热温度，而且蓄热室所需的建筑费用也很大。此外，至今在玻璃生产中所采用的熔化法都是将混合后的玻璃配合料投入玻璃熔窑内的玻璃液上，依靠重油燃烧焰幅射加热来熔化堆积在上层的原料，依靠熔融玻璃的热传导来加热和熔化堆积在底层的原料。然而，由于堆积在表层部的玻璃原料在火焰的加热作用下，熔化得比较快，会

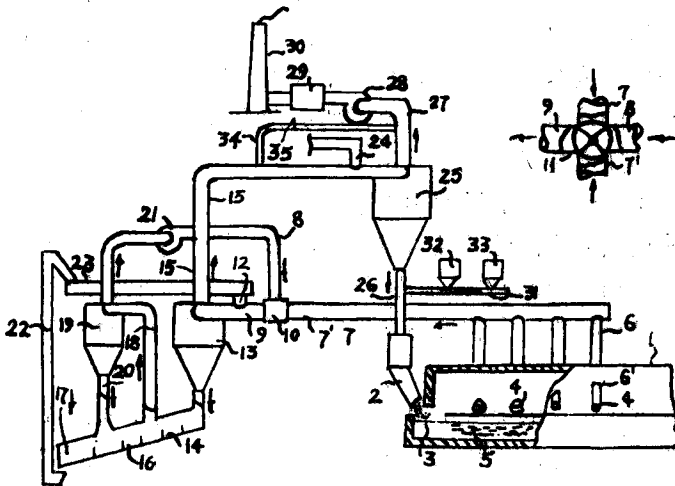


图 2

蒙住内层原料颗粒，降低熔化速度。因此，这是一种热效率极差的熔化法。

采用带换热器式的玻璃原料预热装置，可以解决上述的问题。这种装置如图2所示。

图中1是玻璃熔窑，玻璃原料3从设在窑头的料斗2给入窑内。熔窑的两侧设有重油喷嘴4，这些喷嘴往窑内喷焰，将玻璃原料熔化成熔融玻璃5。玻璃液从熔窑的另一端被拉引出窑，成型为制品(图中未示)。在喷嘴4的近旁设有支管6、6'，其作用是供给窑内燃烧用的二次空气和排出熔窑内的废气。这些支管联结在熔窑两侧的主管7、7'上，这些主管通过交换阀10，与二次空气供给管8和废气的排气管9联结着。在交换阀10内，嵌装着用轴承支撑的可转动的阀板11，二次空气依靠阀板的转动，经过管8、7及6供给重油喷嘴燃烧使用，燃烧废气经过管6'、7'及7排出。两侧管路是互相交替动作的。

热交换介质的粉粒物质，从支管12与废气一起进入旋风筒13内，在旋风筒13内，粉粒物质在高温、废气中分散呈悬浮状态，并在不断旋转的过程中被加热，然后落到旋风筒底部与燃烧废气分离，再落到移动的倾斜式输送机14的上端部。在旋风筒13内，高温燃烧废气加热粉粒物质后，从旋风筒的中心管15排出。

移动的倾斜式输送机14的底部，按一定间距设置着一些能活动的挡料板16，其作用是将堆积在挡料板间的粉粒物质依靠该板的活动而逐渐送下方。在输送机14下侧的上部设有供往玻璃熔窑1内燃烧用二次空气的供气管，低温二次空气经进气口17在输送机14内流经不断移动着的高温粉粒物质而被加热，然后从管18排出，送入旋风筒19内，在旋风筒内除去粉粒物质的粉尘，依靠排风机21，从旋风筒19的中心管排出，经过管8及交换阀10，供入玻璃熔窑1，在旋风筒19内从二次空气中分离出的粉粒物质则通过旋风筒底部的管20回到输送机14中。

从输送机14排出的粉粒物质经过输送装置22，23，进入支管12后，再重复前面所述的流程。

另一方面，从管15排出的高温废气与混合后的玻璃配合料(从支管24加入的)一起被吹入旋风筒25内，那里粉粒状的玻璃配合料在高温燃烧废气中分散，呈悬浮状态，在旋转过程中被加热后落到旋风筒底部，然后再与燃烧废气分离，经过管26，进入料斗2，再供入玻璃熔窑。

从旋风筒25的中心管排出的燃烧废气，经过管27，排风机28及废气处理装置29后，从烟囱30放入大气中。从管15吹入旋风筒25内的燃烧废气，由于交换阀11的动作等而发生流量不稳时，可用管34连结管15与27，并在管34上设一个控制阀35，其作用是根据熔窑1窑压信号进行控制，使熔窑1内保持一定的压力。

由于玻璃原料是在旋风筒13、25内与高温燃烧气体在悬浮状态下被加热，因此玻璃原料中的煤粉往往会由于其形态，加入量及燃烧气的温度，残存氧含量等因素，而燃烧或飞散。所以应该将煤粉从其它入口加入窑内。在管26处设一个输送器31，输送器内装有叶片式螺旋搅刀，在输送器31处设一个装煤粉用的贮罐32，依靠输送器31的叶片式螺旋搅刀，将一定量的煤粉送入管26中，这样便可在玻璃原料中均匀地混入一定量的煤粉。

此外，混入玻璃配合料中的碎玻璃一般都是一些相当粗的块状物，如果这样的碎玻璃与其它玻璃原料一同通过旋风筒投入玻璃熔窑的话，便会磨损装置的内壁，因此在输送器31处设一个贮罐33，将碎玻璃装进这个贮罐，同样依靠输送器31叶片式螺旋搅刀的转动，定量地将碎玻璃与煤粉一起送入管26中，这样便可均匀地将碎玻璃混入玻璃原料内。旋风筒内若产

生结皮时，可经常从旋风筒的上部投入一些碎玻璃除去结皮。

在粉粒物质的选用上，在高温废气中不产生热分解和热软化，并且具有较好的热传导率的物质，都能作为预热二次空气用的粉粒物质使用。然而最理想的还是使用玻璃原料物质。

也可将一部分玻璃熔窑排出的废气送入旋风筒25内，直接预热配合料，同时也可以利用一部分高温废气预热碎玻璃以达到充分利用热能，提高热效率的目的。

(二) 换热器式双段熔窑玻璃配合料预热系统

这一例如前面所述的第一类型的基本原理相同，所不同的是在熔窑形式上采取了双段构造。这一新技术的特点是：将粉粒状的玻璃原料投入燃烧焰中，利用与火焰的接触加热和火焰的辐射加热，非常有效地熔化玻璃配合料。同时，利用高温废气加热换热器中的热交换介质，用热交换介质加热二次空气，因此能使二次空气保持一定的温度，这对熔窑操作十分有利。如果将加热后的二次空气仍最高温的介质作为玻璃原料使用的话，便可以预热玻璃原料，还可以节省燃料。另外，由于热交换介质是粉粒状的，所以与以往蓄热室内的格子砖相

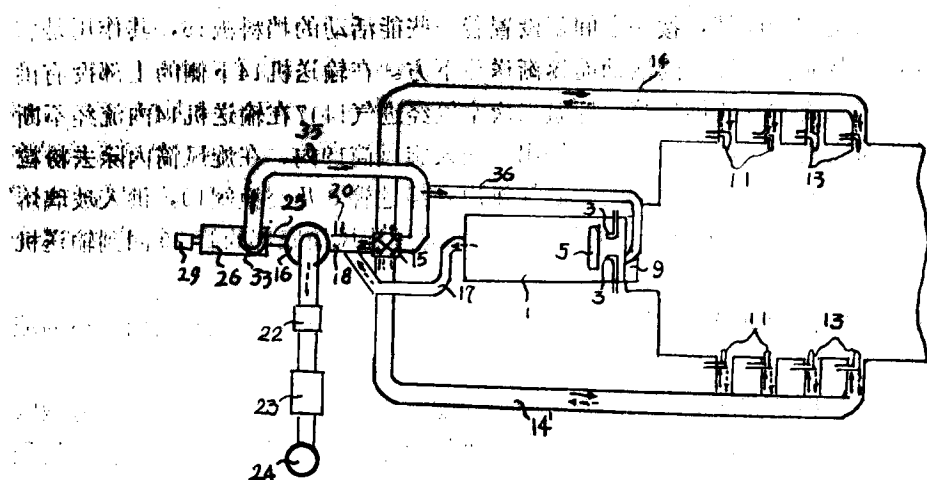


图 3

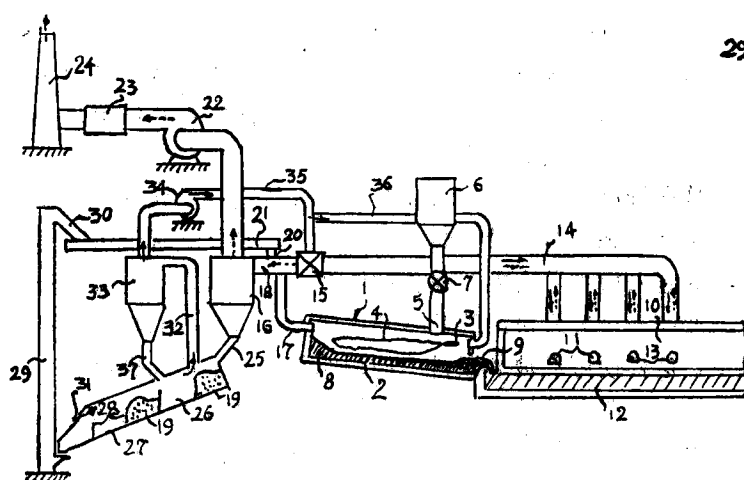


图 4

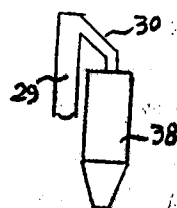


图 5

比，与高温废气的接触面积要大得多，因而可以有效地回收高温废气中的热量，特别是可以省略建筑蓄热室所需的费用，这在经济上有着显著的效果。

图4中，1是玻璃熔窑，该熔窑1有一个倾斜的炉床2称为第一段熔窑，在第一段窑的倾斜下部的上部设有燃烧喷嘴3，该喷嘴以重油为燃料，喷出燃烧焰4。

在燃烧焰4的上部设有投料口5，混合完的玻璃配合料用适当的输送手段送入原料贮罐6内，再通过供给装置7连续定量地投入燃烧焰4中。玻璃配合料随着燃烧气体的气流被吹往该窑的上部，靠燃烧焰4进行第一次加热。然后这些配合料由于自重而落到倾斜炉床2的上部，继续被燃烧焰4加热至熔融状，它沿着倾斜炉床2往下流动，在流动的过程中仍受到燃烧焰4的辐射热的作用，因而增加了熔融物的流动性。熔融物经给料口9流入玻璃熔窑10。玻璃熔窑10两侧的加热喷嘴11所喷出的火焰将流入的熔融物加热至完全熔化，成为熔融玻璃12，经过澄清后拉引出窑成为制品。在加热喷嘴11的安装部位设有开口13，其作用是吹进燃烧用二次空气排出燃烧废气。加热喷嘴以一定的时间左右两侧相互交换使用。加热后的二次空气由使用一侧的开口13供入窑内，高温燃烧废气则通过对面一侧的开口13排出窑外。图中二次空气的流动方向用实线箭头(—→)表示，废气的流动方向用虚线箭头(---→)表示。从开口13排出的废气在管14、14'内按虚线箭头的方向流动，通过交换阀15，再经过风管18后进入旋风筒16，另一方面，第一段熔窑1所排出的高温废气通过排出管17也流入风管18。在风管18靠近旋风筒16的入口前面设有投料口20，其作用是将热交换介质19从这个投料口20投入高温废气的气流中。21是由皮带输送机和螺旋式输送机组成的供给装置，将热交换介质19连续输送到投料口20，热交换介质19在旋风筒16内与废气分离的过程中被高温废气加热。同时从第一段熔窑中排出的废气中的粉粒体也由于旋风筒16的作用而与废气分离。与粉粒体分离后的废气被鼓风机22吸走，经过脱硫，脱硝等公害防止装置23后，成为无害废气，从烟囱24放入大气中。

在旋风筒16中分离出的热交换介质19与从第一段熔窑的废气中分离出的高温粉粒体从卸料管25排入热交换室26。热交换室26有一个倾斜的炉床27，挡料板28将这个倾斜的炉床区分成多段，挡料板28可以活动，当热交换介质堆积在挡板之间时，挡板28便向下方移动，从而带着介质19有秩序地移入下方的另一格中。最底部的热交换介质落入其下部的斗式提升机29，该提升机将热介质送往上方，依靠上方的滑动面30，再将热介质送入供给装置21，这样便可以循环使用热交换介质。热交换介质19也可以依靠滑动面30送入图3中所示的贮罐38中，再从该罐38送入调合装置内作为玻璃原料使用，这样既可以预热玻璃原料，又可以节省燃料。

从空气吸入口31送入的二次空气与热交换介质19接触被加热后，通过风管32进入旋风筒33内，在该旋气筒内与微粒粉尘分离后，依靠排风机的作用经过风管35，交换阀15，风管14，14'后送入开口13。在风管35处设有支管36，将一部分二次空气送入燃烧喷嘴3处。

废气进入风管14时，交换阀15便将风管35内加热了的二次空气送入管14'，当废气进入风管14时，交换阀15便将加热的二次空气送入管14。

由于将玻璃原料作为热交换介质19而使用，所以即使在二次空气中带进热交换介质19，也不会影响玻璃的质量。在选择作为热交换介质而使用的粉粒物质中，由于硅砂原料多，而且在高温废气中不会产生热分解，因此采用硅砂较合适。如果将高温废气控制到一定温度的话，则可以采用比硅砂硬度低的白云石及纯碱等物质，采用这些物质时，与采用硅砂相比，

可以减少对旋风筒16等设备的磨损。

熔窑的形式也可以在第一段熔窑上采取下坡式的构造(以上介绍的第1段熔窑为上坡式)。因为在下坡式构造的炉底最前部,即喷嘴对面的部位低,能滞留玻璃液,这样便能使玻璃液均化,降低粘度,增大流动性,易往喷嘴方向流动,并能减少粉尘量。

(三)带蓄热室的玻璃熔窑配合料预热系统

这一技术的特点是利用玻璃熔窑中产生的高温燃烧废气在悬浮状态下预热玻璃原料。由于气体和玻璃原料的接触面积很大,因而可以充分地进行热交换,有效地提高热效率,并能节省燃料。

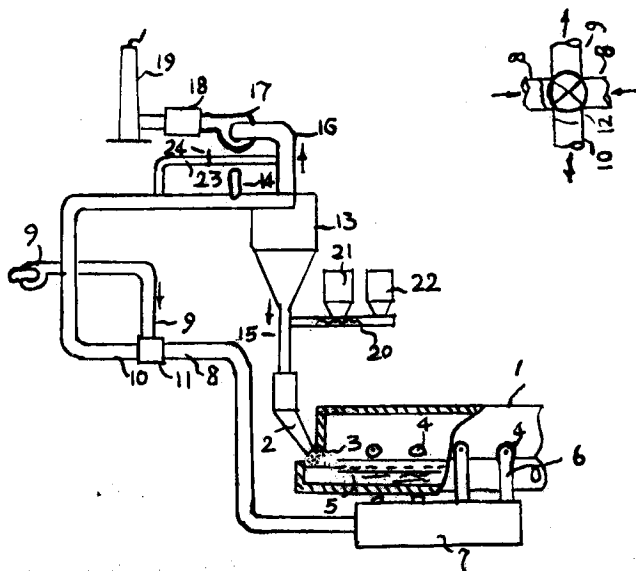


图 6

图6中1是玻璃熔窑。粉粒状的玻璃原料3通过斜斗2送入熔窑,熔窑的两侧排列着重油喷嘴4,依靠这些喷嘴所喷射的火焰将玻璃原料熔化成熔融玻璃5。玻璃液的拉引和成型是在熔窑的另一端进行,图中没有示出。

在喷嘴4附近窑壁上,为了供给燃烧用空气或排出其燃烧气体,还装有支管6,这些支管通过内部垒有格子砖的蓄热室7与熔窑两侧的主管8联接着,两侧的主管8与燃烧用空气供给管9,燃烧废气管10及交换阀11联接着。交换阀11内嵌装着用轴承支撑的可转动的阀板12,依靠该阀板12的转动,燃烧用二次空气经过鼓风机9',管9、8后供给熔窑侧面排列的重油喷嘴4;燃烧废气则从相反一侧的管8、10排出,两侧相互交换动作。

管10的末端连接在旋风筒13圆筒上部的切线方向,此外,管10内还设有支管14',是玻璃配合料的投料口。玻璃配合料与高温废气一起被吹到旋风筒13内,粉粒状的玻璃料在高温废气中分散呈悬浮状态,并不断回旋,被加热后便落到旋风筒底部,与燃烧废气分离,经过管15进入料斗2,供给玻璃熔窑1。

旋风筒13的中心管内的燃烧废气,经过管16,排风机17及废气处理装置18后,从烟囱19放入大气中。

管23连接于管10与16之间，上面设有控制阀24，该控制阀根据信号控制熔窑1的压力，使窑内保持一定的窑压，从而解决从管10排入旋风筒13内的燃烧废气由于交换阀11的动作而产生的流量不稳的问题。

旋风筒13内，由于玻璃配合料与高温燃烧废气在悬浮状态下接触加热，所以玻璃配合料中的煤粉往往由于其形态，加入量及燃烧气体的温度、残存氧量等因素而被氧化，燃烧、耗尽或飞散。因此在管15处装一个输送器20，内设有叶片式螺旋搅刀，输送器上还设有贮罐21，将煤粉装入该贮罐内，依靠输送器叶片式螺旋搅刀煤粉便按一定的比例定量地混入玻璃配合料中。

为了避免碎玻璃对旋风筒内壁的磨损，在输送器20处与21并列地设置一个贮罐22，将碎玻璃装入这个贮罐22内，同样依靠输送器叶片式螺旋搅刀，碎玻璃便能按一定比例定量地同煤粉一同供入熔窑。旋风筒13内如果产生结皮，可经常从旋风筒13上面投入一些碎玻璃，利用其粗块物对旋风筒内壁的磨擦而除去内壁结皮。

据了解，日本对上述工艺的研究已取得一定成绩，并实验成功。但目前尚未应用于工业性生产。几种方法都各有其优点，但也存在一些问题。例如旋风筒材质的磨损问题，双段熔窑中第一段熔窑内采用火焰喷吹会造成分离现象，使熔化不均匀的问题，以及耐火材料的腐蚀条件加剧等等。

如何大幅度地提高玻璃熔窑的热效率，从根本上改变目前燃耗高，收益小的状况，已经成为必须加强研究，力争早解决的大问题。现在，我国的平板玻璃工业如同建筑材料其它行业一样，正有待一个巨大的发展，随着今后浮法成型工艺在我国逐渐发展推广，单窑生产能力将要有一个较大的提高。为此我们编写了这篇资料，供有关方面参考。

参 考 文 献

- (1) 保加利亚《建筑材料与硅酸盐工业》1979, № 3;
- (2) 法国专利, №2266663;
- (3) 美国《玻璃工业》, 1978, 59, № 1;
- (4) 美国专利, №4023976;
- (5) 日本公开特许公报: 52-41620;
52-41621;
52-41622;
52-41623;
52-41624;
52-56118;
52-56119;

(本所情报一室玻璃组编, 丁海嘉执笔)

