

微孔绝热材料在玻璃生产中的应用

1. 前言

玻璃制造是一个相当耗费能源的过程,大约有 75%至 85%的能源在玻璃的熔化期间被消耗。在玻璃制造的任何一个阶段,减少能源的损耗可以在两个方面表现出好处:第一,由于能源是制造过程中最昂贵的消耗品,节约能源可以直接节省费用;第二,在制造过程中,热效率利用越高,越可以精确控制玻璃熔液的粘度。这样可以使得产品质量控制变得更容易,导致可以进一步通过减少废料来直接节省成本。所以高效的耐火材料和绝热材料,用于玻璃制造的设备中变得越来越重要。除了玻璃的融化之外,在玻璃的后期加工阶段,例如汽车玻璃的热弯加工,优良的保温绝热材料对于能耗的节约和高品质产品的获得同样是极其重要的。

以往玻璃窑炉多采用传统的保温材料,但普遍存在高温时导热系数过高,节能效果不理想的问题。随着节能要求的不断提高,一种微孔绝热材料正在被越来越多地应用到玻璃生产中。

2. 微孔绝热材料性能

在玻璃制造中采用一种纳米微孔绝热材料,具有以下优点:

- 它的绝热效率是传统绝热材料的数倍左右,在相同的热能控制过程中,如果采用微孔绝热材料,绝热系统其厚度只是传统绝热材料厚度的四分之一。这种优势在空间受到限制时或者保温材料需要轻量化时显得极端重要。新型微孔绝热材料与传统绝热材料的导热系数比较图 1 所示。
- 轻量但能承载一定负荷;
- 在满足保温要求的前提下,提供最薄的保温材料厚度,可以优化炉内空间;
- 可以提供预先成形的产品,或者在安装现场方便地裁切和固定;
- 可以提供不同形式的产品,包括刚性和柔性板和块等。(图 2)



图 2 不同形式的微孔绝热保温材料

- 使用安全清洁,符合国际安全健康规范。

纳米微孔隔热材料(Microporous Insulation)是一种基于微孔隔热原理研制而成的新型材料,主要成分为直径 7 至 12 纳米的超细氧化硅粉末、混合热辐射遮蔽材料,经特殊工艺压制而成。

产品表面可以有玻璃纤维布包覆,常用形态有平板型,卷帘型,砌块型,柔毯型等。平板型可用于平面炉壁或弧度较大的炉壁,卷帘型主要用于管道系统。

上海赐业新能源材料科技有限公司出品的微孔绝热板目前有两种产品,HT-1000 的最高使用温度为 1000 度,MT-800 为 800 度,在此温度下材料可长期使用,并且线性收缩率低于 2%。在设计隔热层厚度时应避免过厚,否则隔热材料的热面温度容易过载。

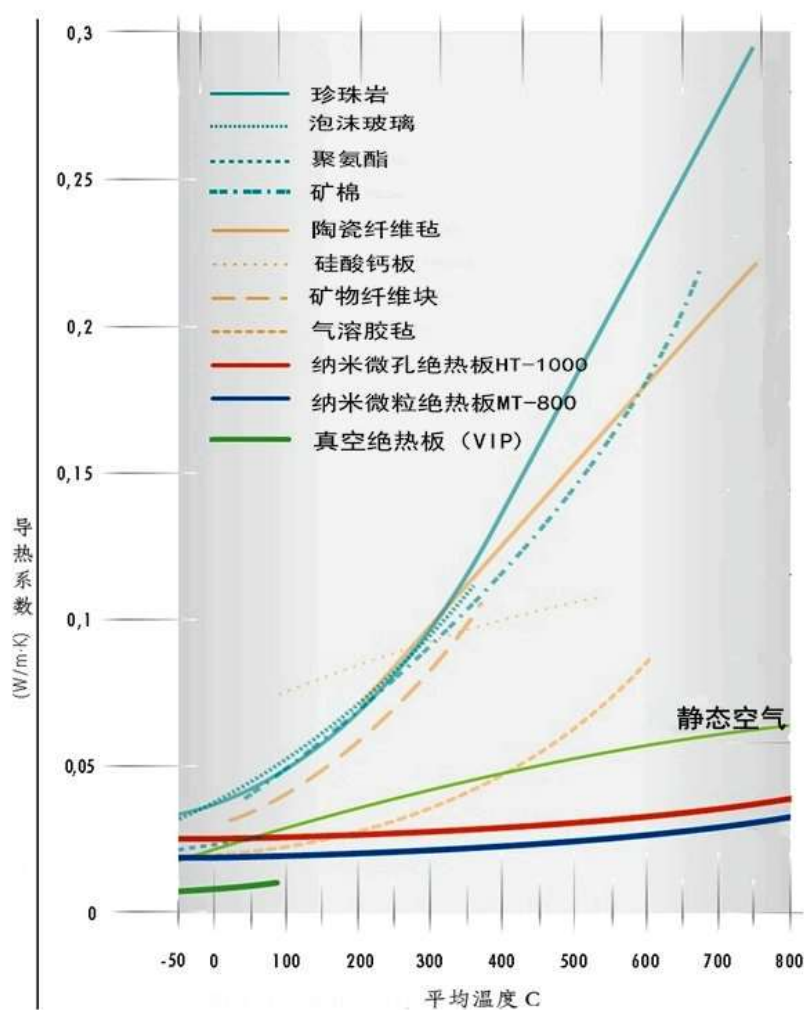


图 1 微孔绝热材料与其他保温材料的导热系数比较

在玻璃生产过程中，微孔绝热板所能起到的主要作用是：

- 减少热损失。降低能耗；改善工厂作业环境；延长设备寿命
- 减少隔热层厚度、缩小设备体积；增加内部容积
- 减少隔热层蓄热量，提高升温速度
-

3. 纳米微孔绝热原理

简而言之，能源的损失可以通过有效的绝热材料对热工设备进行密封保护来得以控制。为了优化生产过程中的热传导效率，绝热材料在高温时必须阻止任何形式的热传递，特别是要阻止红外线辐射，红外线辐射意味着大部分的热量可以在高温下传递。

热量总是从高温区向低温区传递。热量从高温到低温传递的速率取决于很多的因素。但总是会有一些移动的。在冷热区域之间的那一层保温材料会阻止热传递的。导热系数是材料的一个物理性质，它描述的是物质传递热量的能力大小。材料的热导率越低，那么它的绝热性能就越好。微孔绝热产品在整个玻璃生产的温度范围内保持一个较低的导热系数。它能持续不变并且稳定的暴露在800-1000℃下使用。它甚至比惰性气体起到更好的绝热保护。

热量转移从高温的区域到低温的区域发生所遵循三个基本机理。

- **传导。**发生在固体，液体和气体的传递时材料的一种热运动，它是通过分子和原子的动能来传递的。
 - **对流。**气体和液体的对流是由于热区域具有较低的密度导致气体上升的趋势而引起的。
 - **辐射。**这是一种能源电磁能量。它传递不需要任何的介质，最有效地途径就是通过真空。
- 在玻璃行业生产过程中，所有三个机理同时作用，由此实现所有热传递的效果。要实现高效率的隔热，必须在机理上同时抑制这三种传热过程。



图3. 微孔平均自由程非常小

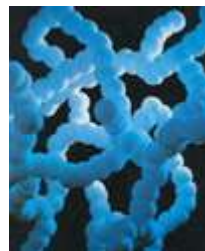


图4. 粒子链形成螺旋状传导路径以达到绝热的目的

微孔绝热的定义是要具有90%的气孔率，但是这些气孔包含在单元或则孔隙里，它们的平均尺寸比空气分子自由运动行程还要小。在传热过程中，气体分子相互碰撞，传递动能。平均自由程是指空气分子在碰到另一个分子之前需要经过平均距离。在微孔材料中，气体分子碰撞被阻隔了，因此在气体间的热传递会急剧减少（图3）。在标态下气体分子平均自由程的典型尺寸是约93纳米。在微孔隔热中气体分子的微小尺寸同样可以防止由于对流引起的热量传递。

目前微孔绝热的主要组成部分通常是超细的无定形二氧化硅颗粒，它的粒径为5 - 25纳米，而且二氧化硅同时具有固有约为 $1.4W/m \cdot k$ 的低导热系数，这意味着它是一个良好的绝热材料。就尺寸比较而言，人类头发直径可以使二氧化硅颗粒的1000倍甚至是7000多倍。这些小颗粒通过物理键形成粒子链，然后缠绕对方形成绝热混合（图4）。

在微观尺度上观察，这些粒子链形成螺旋状传导路径以达到绝热的目的。现在，当相邻的分子一起振动并且传递能量时，会通过材料发生固体的热传导，他有两个不同的影响因素。固体传导率与横截面面积成正比的，和传导路径即长度成反比。

在低温的条件下，如其他微孔隔热材料，硅结构的所有性能结合有利于形成一个非常低的固体传导率。

为了使得微孔绝热材料具有很好的机械加工性和铸造性，同时也为了使得材料具有很好的强度，这其中也包含了一小部分碎的玻璃纤维补强物。这种绝热材料被世界卫生组织划分为无可吸入性纤维产品，和欧洲危险物质改善指标（97 / 69 / EC）定义的一样。

其他更重要的因素是遮光剂，它是一个很好的氧化矿物粉末，使绝热有能力阻止几乎所有红外线的运动。在温度高于100摄氏度以上辐射成为主要的传热方式并随温度的升高而进一步增加。

红外线是一种电磁辐射，它的波长比可见光长，比微波短。它是在可见光谱末尾的红色以外，并且存在于整个波长范围内，被分成“短”，“中”，“长”的红外线。在这个波长范围内还可以分为“近”，“中”，和“远红外。任何高于绝对零度的物体都能发出红外辐射。矿物氧化粉末的微小颗粒在微孔绝热板中被均一地分散，通过红外线在颗粒表面的折射来工作，并改变其方向。为了实现效果优化，粒子的大小很接近红外线的波长。波的重复的



散射，大部分接近于微孔绝热板的表面。散射发生的有效性，意味着微孔绝热板可以有效阻断红外辐射的传播，这也是其能在高温下工作的显著原因。

4. 微孔绝热材料在玻璃生产中的应用：

4.1 玻璃融化窑中的应用

对玻璃熔窑窑体各部位,包括窑顶、胸墙、池壁、池底、小炉和蓄热室等施行合理的保温,是提高热效率的重要途径。窑体保温,不仅能显著地减少砌体表面向外界的热量损失,改善操作人员的工作条件,而且由于增大了窑体的热容量,有利于窑内温度制度的稳定和提高玻璃液本身的实际温度,使池内玻璃液的温度分布和流动更趋于合理。因此窑体保温已成为增大池窑出料量,提高玻璃质量和降低燃料消耗的主要措施。

窑体保温有如下优点:相同熔化率下,可降低热损耗,节约能源。池底可减少热损耗 72%,池壁 87%,胸墙 79%,蓄热室 80%,窑顶 49%;能量消耗相同情况下,可提高熔化率。一般 15%~20%。玻璃液平均温度提高 30~40℃,有利于玻璃液的澄清和均化,提高玻璃液质量,使成品率提高;火焰空间热负荷降低,延长了窑顶的使用寿命,并改善了操作条件。

值得一提的是在玻璃窑炉窑顶中,微孔绝热材料由于其低热收缩和高效保温,可以避免和减少沿保温材料接缝窜火,在保温窑顶中加剧烧损速度,造成保温层揭掉,并随着窑炉的运行变得越发严重,造成大量的热量损失。另外,由于减少重量,可以避免窑顶的负荷。

熔融的玻璃液在前炉里被调制均匀。绝热材料用于前炉的冷面,可以减少重量,减少能量的损失,将熔融玻璃的温度梯度最小化,并且可以降低前炉的表面温度,使人接近时更安全。

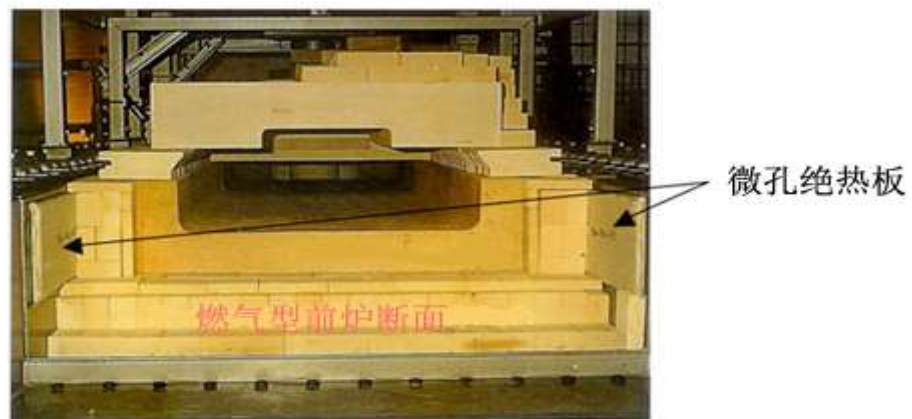


图5 前炉的保温

在热空气换热器,重要的一点是将热损失保持最小,它可以使管道系统中产生的热损失在750摄氏度给炉子提供热空气。所有的管道系统结合使用绝热板和管道的绝热材料,使换热室器与炉子的温差小于30度。换热室所有的管道都被其结构支持着,空间非常有限。微孔绝热材料系统与传统的绝热材料相比既轻又薄,安装空间极具优势。

一般融化炉炉内温度可达1550℃以上,注入温度在1100℃左右浮动,平板玻璃制造需要消耗大量的能源,同时控制产品质量的本质就是控制热损耗。有一个典型的例子是玻璃融化



温度为1300℃，玻璃生产设备周围铺了22毫米厚的微孔绝热层，它表面的温度从159℃降至114℃，底部温度从184℃下降130℃。整体热损失减少了45%左右。

一个大熔炉可以容纳2,000吨玻璃液，炉底可压缩的绝热层是保持热量的决定性因素。微孔绝热材料有着极好的抗压荷载性能，并且当炉子绝热材料的受热面上没有反作用力，仅仅只表现出轻微的被压缩，负载100 KN/M²只有5%的压缩结果。因为微孔绝热材料热导率在很宽的密度范围内只有轻微变化，所以其使用在有外加载荷的加工玻璃炉时不会导致绝热系统明显的热量损失变化。

综上所述，将现代先进的浮法窑玻璃制造技术与绝热材料上精确的温度控制相结合，有可能制造出平板的玻璃，最薄可达到0.3mm，最厚可以达到25mm。通过控制玻璃生产过程中的热量流失，可以实现能源的最佳使用效率并使环境受到最小影响的目标。

4.2 在汽车玻璃热弯加工上的应用

汽车玻璃很多采用重力热弯钢化法进行生产。它是将经预先处理好的普通平板玻璃水平放在模具环上，送至加热炉加热，当玻璃加热到软化点（650℃）附近时，用真空吸盘吸起，放开玻璃作自由下落，由于重力作用下垂贴至模具环而成形，再迅速将其送到冷却风栅区急冷钢化，最后运送至卸片台。整个过程按预先设定好的参数（各加热区温度、加热时间、冷却风压、冷却时间、运输速度等）控制完成。

由于生产参数，尤其是热量需要严格控制。硅酸盐纤维绝热材料和矿棉最常见的问题是在400℃以上时产品会有一些累积的损坏。这会导致绝热材料部分的坍塌和使用中绝热性能相应的变弱。

微孔绝热板的优点之一就是在很长的运行周期中持续暴露在高温下，不但导热系数比传统的保温材料低数倍，而且其绝热材料绝热性能还是很稳定。在运行过程中，经过10年的持续运转，（如果外部有玻璃纤维布包覆的情况下）唯一可见的是覆盖在产品暴露面的E级玻璃布的微小衰弱。而微孔绝热板本身并没有遭受任何损伤破坏。这对于生产线的稳定连续运营非常有益。

4.3 微孔绝热板在实际生产运行时可以有更多完善绝热方法的创新。在下面的例子中，客户希望使用熔炉生产透明玻璃和彩色玻璃。为了实现这一多功能性，有必要增加底部的温度从690℃至730℃（图6），以改善玻璃温度的均化。

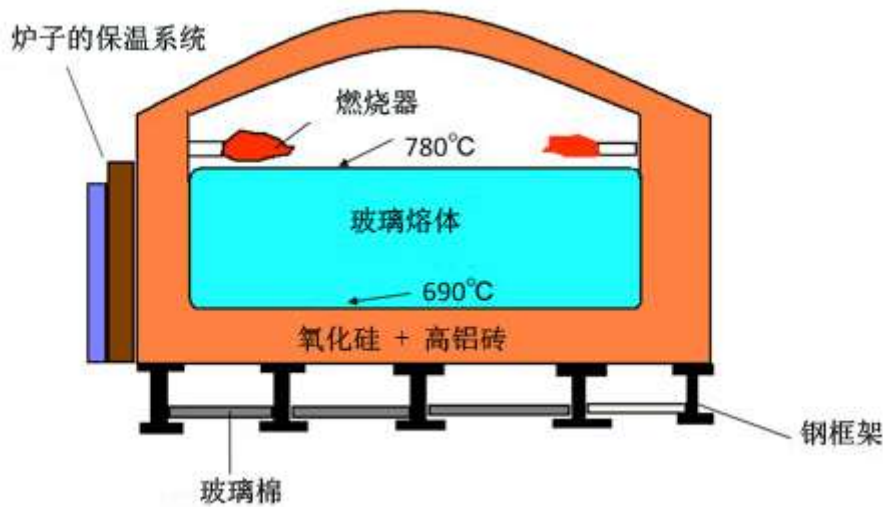


图6 需要将熔体底部温度进一步提高以提高均一性

解决办法是安装在原来玻璃棉部分以微孔绝热板代替，有可能将底部物料温度由690度提高到730度。支撑板的安装与拆卸下面如图7所示，可以方便迅速地调整热量与温度。

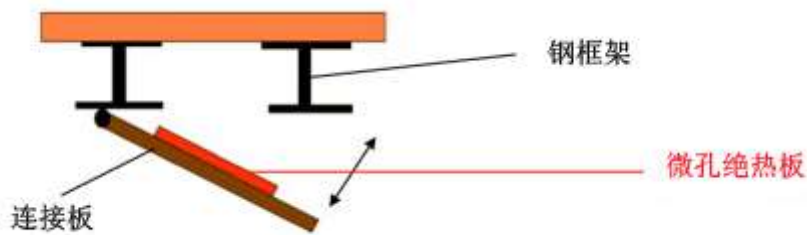


图7 微孔绝热板提高均一性并方便调节

4.4 需要注意的问题

由于微孔隔热材料的主要原料是不定形二氧化硅，其耐热温度不如耐火砖或一些高标号陶瓷纤维，牌号为HT-1000的产品，长期使用温度为1000度，牌号为MT-800的产品，长期使用温度为800度。当超出规定的使用温度时材料的收缩率会增大，带来安全隐患。

所以在设计耐火层和隔热层厚度时需要根据各层材料的导热系数计算出温度分布，确保微孔绝热层的温度不超过规定的最高使用温度，必要时需要调整耐火层结构与厚度。

5. 总结

整个玻璃制作过程中需要仔细地控制热量的损失，确保优化能源效率和对环境最小的影响。

保持热量的最有效的方法是采用微孔绝热系统，它的优势如下：

- 最低的导热系数是指最有效的控制玻璃的温度
- 最薄，最轻的绝热系统。
- 无可吸入纤维。完全无害，环保。
- 能够持续，稳定的连续运行在800°C-1000° C。在最大温度下具有可以忽略不计的线性收缩率，循环利用性能好，不会发生损坏。
- 需要时可以配合预制成型产品用于多方面产品的生产制造。

- 易于使用，成型和安装使用。
- 在空间是一个问题时，有多种形式绝热材料可供使用。
- 当温度控制要求高并且热损失起决定性作用时有各种绝热材料可供选择。
-

由于纳米微孔隔热材料应用技术的不断成熟，通过近年在一些国外玻璃厂的成功应用，证明了该材料在节能减排方面有显著效果。虽然相比传统隔热材料，初期投资成本会有一定增加，但后期降低能耗效益显著，考虑到节能减排所带来的长期效益，这样的投资是值得的。可以预见的是，在节能减排要求日益提高的背景下，纳米微孔隔热材料在玻璃行业的应用将会越来越得到普及。

文中的信息是基于我们对于该产品的最佳认识水平。我们对于这些信息的准确性和完整性不做任何保证，对任何财产权的潜在损失不承担任何责任。我们保留对产品的技术规格进行随时变更而不另行通知的权利。任何我们产品的使用者均需承担使用中其财产、健康及其他方面的全部风险。

若需要索取其他产品系列资料或技术支持，请联系：

安徽中和隔热材料制造有限公司

地址：安徽省马鞍山市雨山经济开发区智能装备产业园 6 号 120 栋

电话：185 5000 8101 网址：<http://www.ahtcm.net> 电邮：sales@ahtcm.net