

## 工业窑炉红外辐射涂层节能机理

工业窑炉红外辐射涂层的节能机理遵循辐射热 4 次方原理, 是通过提高窑炉炉膛内普通耐火材料表面黑度, 改变热辐射波谱分布, 弥补普通耐火材料发射率不足, 从而能充分利用窑炉内热能量, 较少通过炉壁和烟道散发出的热能而实现节能的。在工业生产中, 窑炉作为关键的生产设备, 其能耗问题一直备受关注。为了提高能源利用效率, 降低生产成本, 同时减少环境污染, 红外辐射涂料应运而生, 凭借其独特的节能机理, 为工业窑炉的节能降耗提供了有效的技术手段。

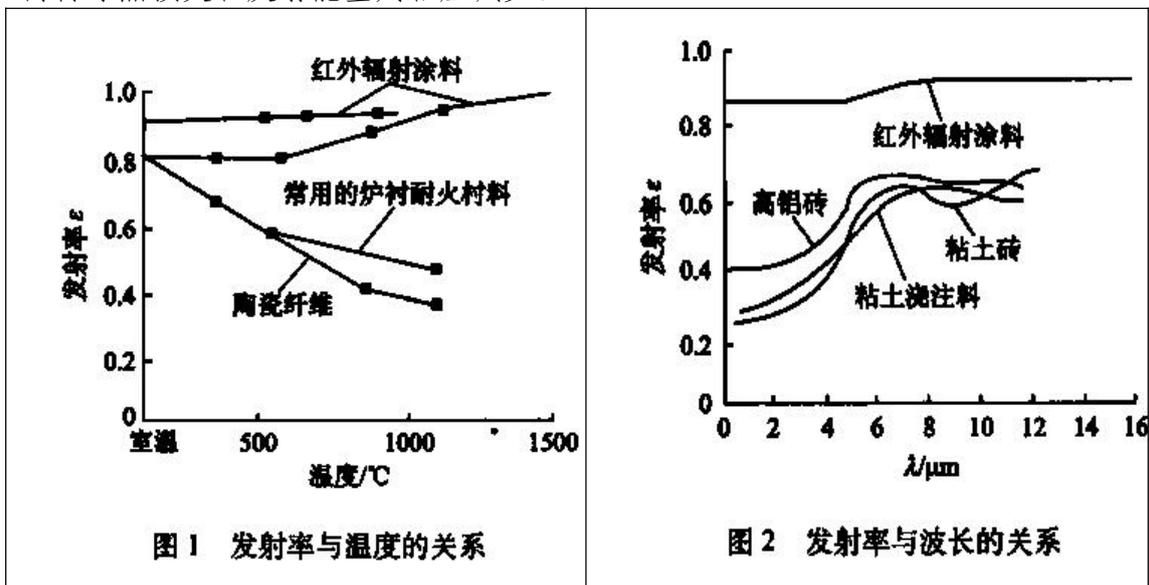
### 一、工业窑炉的热交换过程

工业窑炉炉膛内的热交换主要通过火焰辐射、燃烧产物辐射、炉墙固体表面辐射以及炉内气体辐射和对流传热等方式进行。在不同温度区间, 各种传热方式的贡献度有所不同。在  $800^{\circ}\text{C}$  以下, 炉气与被加热物之间的传热主要依靠对流传热; 当温度在  $800^{\circ}\text{C}$  至  $1000^{\circ}\text{C}$  之间时, 传热过程同时依赖对流和辐射; 而当温度高于  $1000^{\circ}\text{C}$  时, 炉气与被加热物之间的热传导则主要依靠远红外辐射换热, 此时被加热物所吸收的热量中有 90% 是通过辐射换热来实现的。

### 二、红外辐射涂层的节能机理

#### (一) 提高基体表面黑度

工业窑炉红外辐射涂料能够显著增加基体表面的黑度, 即发射率。在炉窑内衬使用的耐火材料中, 常温下的黑度一般为  $0.6\sim 0.8$ , 但随着炉温的升高, 黑度会大幅度下降。红外辐射涂料的使用可以减缓这种下降趋势, 有时甚至使其升高。例如, 当炉内壁辐射率从  $0.35$  提高到  $0.90$  时, 辐射能量占比从 30% 增加到 85%, 而传导热损失和反射能量则相应减少。



#### (二) 改变热辐射波谱分布

涂料通过基体表面的吸收和辐射作用, 改变了传热区内的热辐射波谱分布, 将热源发出的间断式波谱转变为连续波谱。这种波谱的连续化有助于促进被加热物体更有效地吸收热量, 提高热能的利用效率。

#### (三) 弥补耐火材料发射率不足

根据 Wien 位移定律, 随着温度的升高, 辐射峰值波长会向短波段移动。而根据 Planck 定律计算可知, 高温辐射能量大多数集中在  $1\sim 5\mu\text{m}$  波段。然而, 一般

的耐火材料在这一波段的发射率较低，不利于高温辐射的高效利用。红外辐射涂料能够弥补这一不足，提高耐火材料在关键波段的发射率。

#### （四）遵循辐射热 4 次方原理

红外辐射涂料的节能效果还体现在遵循热工学中的辐射热 4 次方原理，即斯蒂芬-波尔兹曼公式。该公式表明，炉壁的辐射热能与其发射率和温度的四次方成正比。例如，在 1100℃ 时，使用红外辐射涂料后，炉壁的发射率从 0.7 提高到 0.96，辐射热能从 121384kcal/m<sup>2</sup> h 增加到 166486kcal/m<sup>2</sup> h。这表明涂料能够显著提高炉壁的辐射热能输出，从而提高整个窑炉的热效率。

#### 三、应用效果与前景

红外辐射涂料在工业窑炉中的应用，能够显著提高能源利用效率，降低能耗和生产成本。其节能效果不仅体现在直接的能源节省上，还包括延长窑炉的使用寿命、减少维护次数和费用等间接效益。此外，涂料的使用还有助于减少温室气体的排放，符合当前环保和可持续发展的要求。随着工业生产对节能降耗要求的不断提高，红外辐射涂料的应用前景将更加广阔。未来，通过进一步优化涂料的配方和性能，以及拓展其在不同工业领域的应用范围，红外辐射涂料有望为工业节能事业做出更大的贡献。