

# 玻璃熔窑全氧煤气全氧燃烧理论计算

## The Calculation of Oxy-fuel Producer Gas with Oxy-fuel Technology in Glass Furnace

王志平

秦皇岛玻璃工业研究设计院 河北秦皇岛 066004

**摘要** 本文提出全氧煤气概念,并对全氧煤气三种类型进行理论计算,并对全氧煤气全氧燃烧进行了计算,并与普通发生炉煤气烟气辐射能力进行对比。全氧煤气全氧燃烧为煤炭在玻璃窑炉应用提供一种有效手段。

**Abstract** In this paper, give the concept of oxy-fuel producer gas and all three types of oxy-fuel producer gas were calculated, and oxy-fuel producer gas with oxy-fuel technology were calculated, and compared the radiation ability of oxy-fuel producer gas with the radiation ability of the common Furnace flue gas. The oxy-fuel producer gas with oxy-fuel technology provides an effective means for the coal used in the glass furnace.

**关键词** 全氧煤气 全氧燃烧 热辐射系数

**Keywords** oxy-fuel producer gas oxy-fuel Coefficient of thermal radiation

### 1 前言

玻璃工业是重要的基础材料工业。平板玻璃不仅是重要的生产材料,也是不可或缺的生活资料。随着我国向小康社会整体迈进,平板玻璃在国民经济建设中将发挥越来越重要的作用。

同时,玻璃工业也是能耗大户,基于我国的能源结构,上世纪80年代以前,我国玻璃熔窑大多使用发生炉煤气为燃料。近20年来,随着浮法玻璃生产线对熔窑产量,特别是对玻璃液质量要求日益提高,国内外的玻璃生产企业都趋向于使用高品质能源(重油、天然气)作为熔窑燃料。由于重油的燃烧火焰具有较大的辐射能力。燃油火焰的热辐射系数为0.65~0.85,而煤气火焰的热辐射系数仅为0.24~0.26。相同发热量的燃料,烧油比烧煤提高产量20%~25%。对比燃油和燃煤气玻璃熔窑的产品质量,烧油生产线玻璃的产品质量明显优于燃煤气生产线玻璃的产质量。日本大型玻璃熔窑全部用重油,俄罗斯用天然气的占70%。尽管我国是煤炭资源大国,迫于市场竞争压力,在近20年我国浮法玻璃企业改造中,大多放弃了使用全煤气作为玻璃熔窑的燃料,转而采用重油为燃料。国内现有190多条浮法玻璃生产线中,有170条以上是采用重油作燃料,玻璃企业对石油进口的依赖也日益加重。我国作为原油净进口国,对原油的依赖越来越受到政府及社会各界的关注。如今,随着全球能源危机的加剧,石油能源对外过度依赖已严重遏制我国的经济发展规划和国际战略地位。因此,玻璃熔窑煤气燃烧技术研究是一个具有重大战略意义的课题。

### 2 全氧煤气概念

#### 2.1 发生炉煤气

传统发生炉煤气以空气、水蒸气混合物为气化剂,由炉栅下面送入,在燃烧层中遇到炽热的煤发生化学反应,产生的混合煤气,称为发生炉煤气。

在理想状况下,发生炉煤气组成是:

$$\text{CO}=4.07 \div 9.9=41.1\%$$

$$\text{H}_2=2.07 \div 9.9=20.9\%$$

$$N_2=3.76 \div 9.9=38.0\%$$

理想混合发生炉煤气的热值为：7500kJ/Nm<sup>3</sup>

传统发生炉煤气中含有大量不可燃烧的氮气，不仅增加能耗，还降低窑炉热点温度、火焰的辐射系数。

## 2.2 全氧煤气

全氧煤气就是用纯氧或者氧气浓度大于90%气体代替发生炉煤气中所用的空气为气化剂与炽热的煤发生化学反应，产生的煤气，称为全氧煤气。根据与氧气混合介质气体不同，产生的煤气可分为三类，一是以氧气和二氧化碳混合物为气化剂所产生的全氧煤气；二是以氧气和水蒸气混合物为气化剂所产生的全氧煤气；三是以氧气、二氧化碳和水蒸汽混合物为气化剂所产生的全氧煤气。

## 3 全氧煤气理论计算

### 3.1 以氧气和二氧化碳混合物为气化剂所产生的全氧煤气

该煤气的生产过程中发生以下化学反应：

碳与氧气反应，生成一氧化碳，并且放出大量的热，其化学反应式如下：



炽热的碳与二氧化碳反应，生成一氧化碳，吸收热，其化学反应式如下：



在理想状况下，(1)式反应放出的热，全部被(2)式反应所吸收，所以综合(1)、(2)式得到反应式(3)如下：



该全氧煤气的组成为CO，理想状况下为100%。

该全氧煤气的热值为：

$$\begin{aligned} Q &= (M_{CO} \times Q_{CO}) \div (M_{总} \times V_{标}) \\ &= (5.04 \times 285569) \div (5.04 \times 22.4) \\ &= 12749 \text{kJ/Nm}^3 \end{aligned}$$

该全氧煤气的热值为：12749kJ/Nm<sup>3</sup>

该全氧煤气热值与普通发生炉煤气热值比较：

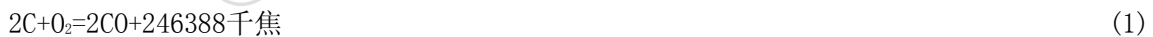
$$12749 \div 7500=1.70$$

该全氧煤气热值是发生炉煤气热值1.7倍。

### 3.2 以氧和水蒸气混合物为气化剂所产生的全氧煤气

该煤气的生产过程中发生以下化学反应：

碳与氧气反应，生成一氧化碳，并且放出大量的热，其化学反应式如下：



炽热的碳与水蒸汽反应，生成一氧化碳和氢气，吸收热，其化学反应式如下：



在理想状况下，(1)式反应放出的热，全部被(4)式反应所吸收，所以综合(1)、(4)式得到反应式(5)：



该全氧煤气的组成为：

$$CO=4.07 \div 6.14=66.3\%$$

$$H_2=2.07 \div 6.14=33.7\%$$

该全氧煤气的热值为：

$$\begin{aligned} Q &= (M_{CO} \times Q_{CO} + M_{H_2} \times Q_{H_2}) \div M_{总} \times V_{标} \\ &= (4.07 \times 285569 + 2.07 \times 241993) \div (6.14 \times 22.4) \end{aligned}$$

$$=12096\text{kJ}/\text{Nm}^3$$

该全氧煤气的热值为：12096kJ/Nm<sup>3</sup>。

该全氧煤气热值与普通发生炉煤气热值比较：

$$12096 \div 7500 = 1.61$$

该全氧煤气热值是发生炉煤气热值1.61倍。

### 3.3 以氧、水蒸气和二氧化碳混合物为气化剂所产生的全氧煤气

该全氧煤气的生产过程中发生以下化学反应：

碳与氧气反应，生成一氧化碳，并且放出大量的热，其化学反应式如下：



炽热的碳与水蒸汽反应，生成一氧化碳和氢气，吸收热，其化学反应式如下：



炽热的碳与二氧化碳反应，生成一氧化碳，吸收热，其化学反应式如下：



在理想状况下，(1)式反应放出的热，全部被(2)、(4)式反应所吸收，气化剂中二氧化碳和水蒸汽可以任意比例组合，从而得到不同组成的煤气。现以二氧化碳为80%，水蒸汽20%为例进行计算。

$$246388 \div (118798 \times 0.2 + 162375 \times 0.8) = 1.60$$

综合(4)、(2)和(1)式得到反应式(6)为：



该全氧煤气的组成为：

$$\text{CO} = 4.88 \div 5.20 = 93.8\%$$

$$\text{H}_2 = 0.32 \div 5.20 = 6.2\%$$

该全氧煤气的热值为：

$$\begin{aligned} Q &= (M_{\text{CO}} \times Q_{\text{CO}} + M_{\text{H}} \times Q_{\text{H}}) \div M_{\text{总}} \times V_{\text{标}} \\ &= (4.88 \times 285569 + 0.32 \times 241993) \div (5.20 \times 22.4) \\ &= 12630 \text{kJ}/\text{Nm}^3 \end{aligned}$$

该全氧煤气的热值为：12630kJ/Nm<sup>3</sup>

该全氧煤气热值与普通发生炉煤气热值比较：

$$12630 \div 7500 = 1.68$$

该全氧煤气热值是发生炉煤气热值1.68倍。

## 4 全氧煤气全氧燃烧计算

### 4.1 全氧煤气全氧燃烧需氧量及烟气量计算

实际煤炭中含有挥发份、固定碳、灰份和水份，为了简化计算，只考虑为固定碳，以氧和二氧化碳混合物为气化剂所产生的全氧煤气为例。将上式(3)产生的全氧煤气经全氧燃烧，然后将燃烧产物二氧化碳收集起来又作为产生全氧煤气的气化剂进行全氧燃烧的热工计算。

#### 4.1.1 产生1Nm<sup>3</sup>全氧煤气需氧量的计算

根据反应式(3)得到下式

$$1 \div 5.04 = 0.198 \text{Nm}^3$$

产生1Nm<sup>3</sup>全氧煤气需氧量为0.198Nm<sup>3</sup>。

#### 4.1.2 产生1Nm<sup>3</sup>全氧煤气利用二氧化碳量的计算

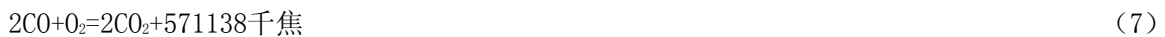
根据反应式(3)得到下式

$$1.52 \div 5.04 = 0.302 \text{Nm}^3$$

产生1Nm<sup>3</sup>全氧煤气利用二氧化碳量为0.302Nm<sup>3</sup>。

#### 4.1.3 燃烧1Nm<sup>3</sup>煤气需氧量计算

全氧煤气燃烧将发生以下反应：



根据反应式 (7)

$$1 \div 2 = 0.5 \text{Nm}^3$$

燃烧1Nm<sup>3</sup>煤气需氧量为0.5Nm<sup>3</sup>。

#### 4.1.4 燃烧1Nm<sup>3</sup>煤气产生的二氧化碳量计算

根据反应式 (7)

$$1 \div 1 = 1.0 \text{Nm}^3$$

燃烧1Nm<sup>3</sup>煤气产生的二氧化碳量为1.0Nm<sup>3</sup>。

#### 4.1.5 燃烧1Nm<sup>3</sup>煤气实际二氧化碳排放量计算

$$1 - 0.302 = 0.698 \text{Nm}^3$$

燃烧1Nm<sup>3</sup>煤气实际二氧化碳排放量为0.698Nm<sup>3</sup>。

减少30.2%二氧化碳的排放。

#### 4.1.6 1Nm<sup>3</sup>全氧煤气总需氧量计算

$$0.198 + 0.5 = 0.698 \text{Nm}^3$$

1Nm<sup>3</sup>全氧煤气总需氧量为0.698Nm<sup>3</sup>。

### 4.2 全氧煤气全氧燃烧与普通发生炉煤气辐射能力比较

气体具有反射和吸收辐射能的能力，但不同气体的这种能力是各不相同的。在玻璃窑炉中，主要影响辐射能力的是二氧化碳和水蒸汽两种气体，其他气体的辐射能力很弱，可以忽略不计。

气体的辐射能力与气体温度、气层的有效厚度和气体分压有关。当气体的温度、气层的有效厚度和气体分压增加时，气体的辐射能力也相应增加，当温度恒定时，气体的辐射能力与它的分压和气层厚度乘积成正比。

根据反应 (7) 全氧煤气全氧燃烧中二氧化碳为整个烟气的100%。

普通发生炉煤气空气燃烧反应是：



1Nm<sup>3</sup>发生炉煤气燃烧产生二氧化碳为：

$$1 \times 0.411 = 0.411 \text{Nm}^3$$

1Nm<sup>3</sup>发生炉煤气燃烧产生水蒸汽为：

$$1 \times 0.209 = 0.209 \text{Nm}^3$$

1Nm<sup>3</sup>发生炉煤气燃烧产生烟气量为：

$$0.411 \div 2 \times 5.76 + 0.209 \div 2 \times 5.76 + 0.38 = 2.17 \text{Nm}^3$$

将二氧化碳和水蒸汽为有效辐射能力气体，有效产生辐射气体分压为：

$$0.62 \div 2.17 = 0.286$$

与全氧煤气全氧燃烧比较，有效产生辐射气体分压相比为：

$$1 \div 0.286 = 3.5$$

根据气体分压与辐射能力成正比的关系，全氧煤气全氧燃烧烟气辐射是普通发生炉煤气空气燃烧烟气辐射能力3倍多。

## 5 结语

我国是煤炭资源大国，煤炭在玻璃窑炉上应用，是关系到我国平板玻璃在国际市场竞争的关键因素。全氧煤气全氧燃烧，为煤炭在玻璃窑炉应用提供一种有效手段，它有四个方面优势：一是大大提高煤气热值，提高玻璃熔窑热点温度；二是煤炭能源成本相对较低，可以降低玻璃单位成本；三是二氧化碳的回收利用，降低二氧化碳的排放；四是烟气热辐射率大大提高，提高玻璃窑炉产量

和质量，完全可以取代目前我国玻璃工业所用的重油和天然气等燃料。

#### 参考文献

- [1] 王志平等. 全氧发生炉煤气热值计算及燃煤气全氧燃烧技术探讨[J]. 玻璃, 2009, 36: 11-13.
- [2] 孙承绪等. 玻璃窑炉热工计算及设计[M]. 中国建筑工业出版社, 1983: 97-94.
- [3] 孙承绪等. 硅酸盐工业热工过程及设备(下)[M]. 中国建筑工业出版社, 1980: 226-258.

#### 作者简介

王志平 (Wang Zhiping), 高级工程师, 河北省秦皇岛市河北大街西段91#秦皇岛玻璃研究院,  
邮编: 066004.

E-mail: Wzhp1690@163.com

UnRegistered