

# 套筒对烧石灰窑燃烧电石尾气和高炉煤气的对比分析

谭思哲, 荣文杰, 李宝宽

(东北大学 冶金学院, 辽宁 沈阳 110819)

[摘要] 燃料消耗是影响套筒对烧石灰窑(Annular shaft kiln with opposite burners, OBASK)节能减排的重要因素。为了提高OBASK的能效,减少碳排放,本文从燃料种类出发,基于METSIM软件对比分析燃料为高炉煤气和电石尾气时,OBASK的能量效率、燃料成本以及CO<sub>2</sub>排放量在数值上的差异。结果表明:当燃料用电石尾气替代高炉煤气时,OBASK的能量效率提高了4.77%;燃料消耗大幅减少,仅为原来的30%;生产每吨石灰CO<sub>2</sub>排放减少了325.01 kg。因此,套筒对烧石灰窑采用电石尾气作为燃料的方案,在实现工业副产有效利用的同时,还增加了经济利益和环保收益。

[关键词] 燃料;套筒对烧石灰窑;节能减排;高炉煤气;电石尾气;METSIM

[中图分类号] TQ177.2; TF044 [文献标志码] A [文章编号] 1672-6103(2020)03-0066-07

DOI:10.19612/j.cnki.cn11-5066/tf.2022.03.011

石灰窑按燃料类型可划分为混烧窑和气烧窑,其中气烧窑的燃料可以是高炉煤气、电石尾气和天然气等。虽然天然气是一种优质的清洁能源,但是其高昂的价格会增加石灰的生产成本。此外,国内电石行业持续低迷,对石灰的生产成本、环境保护和废气再利用提出了更高的要求。此前,高炉煤气和电石尾气均为工业副产排放的有害气体,现在用于石灰窑的燃料可以说是变废为宝。因此,气烧窑发展迅速,燃料种类也越来越多。套筒对烧石灰窑属于气烧窑的一种,具有工艺简单、操作方便、投资少的特点,从国外引进以后,在冶金行业充分发展成为优选窑型<sup>[1]</sup>,并且其燃料适合采用低热值的工业废气,有益于节能减排。

为了实现节能降耗与环境保护的目标,学者们针对燃料消耗对石灰窑节能减排的主要影响展开研究。在工业副产电石尾气的再利用方面,谢斌等<sup>[3]</sup>提出经过简单净化后的电石尾气可以达到石灰窑燃

料的基本要求;作者所在团队<sup>[4]</sup>也对电石尾气为燃料的套筒对烧石灰窑进行了CFD模拟,电石尾气是一种可利用的能源,作为燃料是极好的资源化利用途径,其中的高浓度CO可以燃烧放出大量热量,在节能减排的同时,还提高了企业的经济效益;Deng等<sup>[5]</sup>提出在石灰生产成本中,燃料成本可以达到总成本的50%,可见燃料对成本有很大影响;Gutierrez等<sup>[6]</sup>说明了CO<sub>2</sub>的排放也与燃料密切相关,由于CaCO<sub>3</sub>分解产生CO<sub>2</sub>,其排放量是恒定的,CO<sub>2</sub>的最终排放量取决于窑内燃料消耗的情况;胡学琼等<sup>[7]</sup>选用黄磷尾气作为替代燃料用于石灰石煅烧工艺,获得经济利益的同时还具有可观的环境收益;奥乔亚等<sup>[8]</sup>利用统计方法在燃料方面进行了试验优化,实现了降低燃料消耗和减少CO<sub>2</sub>排放的目的;王晓明等<sup>[9]</sup>对电石尾气再利用的可行性进行了研究,计算了电石尾气经净化后可以满足石灰窑的燃气用量,但是没有将电石尾气的应用效果进一步探讨。从以上文献可以看出随着石灰窑技术的发展,石灰窑也在追求着更高的效率、更低的成本和更洁净的排放,而燃料消耗是影响能量效率、成本以及CO<sub>2</sub>排放量的主要因素,对节能减排产生着很大的影响。目前,对于石灰生产,提高石灰窑能效,降低燃料成本和相关的环境影响,特别是CO<sub>2</sub>的排放成为了主要目标。上述文献中体现了燃料的重要性,然而尚无不同燃料间直观的数值对比分析。

[收稿日期] 2021-10-09

[作者简介] 谭思哲(1998—),男,辽宁沈阳人,硕士生,主要从事炉窑热工及燃烧控制方面的研究。

[通信作者] 李宝宽(1963—),男,辽宁辽阳人,博士,教授,主要从事能源环保方面的基础与应用研究。

[基金项目] 国家自然科学基金重点项目(51934002)。

[引用格式] 谭思哲,荣文杰,李宝宽.套筒对烧石灰窑燃烧电石尾气和高炉煤气的对比分析[J].中国有色冶金,2022,51(3):66-72.

作者所在团队<sup>[2]</sup>对以高炉煤气为燃料的套筒对烧石灰窑的能效进行了计算,在此基础上利用冶金流程软件 METSIM<sup>[10-11]</sup>针对套筒对烧石灰窑应用电石尾气与原高炉煤气的效果进行计算对比分析。METSIM 软件在国外已得到广泛应用,具有直观、计算机化的优点,在国内的氧化铜矿浸出<sup>[12]</sup>和 RKEF<sup>[13]</sup>上也有所应用,但是目前关于 METSIM 软件在石灰窑上的应用还鲜有报道。本文根据计算结果,讨论了电石尾气替代高炉煤气作为石灰窑燃料时,对石灰窑能效产生的影响以及燃料成本和 CO<sub>2</sub> 排放量在数值上的差异,在套筒对烧石灰窑提高效益、洁净生产以及燃料优化等方面具有重要意义。

## 1 套筒对烧石灰窑工艺流程

如图 1 所示,石灰石从窑顶部的进料口进入窑,并逐渐向下运动,向上流动的热燃烧气体与向下流动的石灰石逆流,充分换热。为了方便理解,套筒对烧石灰窑一般自上而下分为 3 个区域:预热区、燃烧区和冷却区(又称煅烧区)和冷却区。

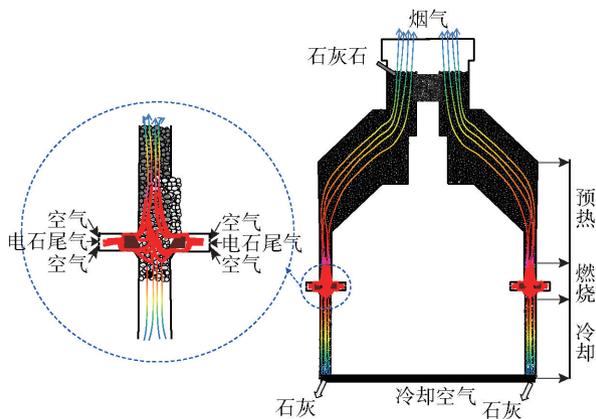


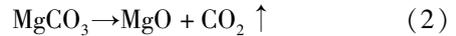
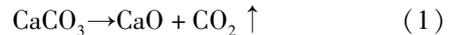
图 1 套筒对烧石灰窑示意

Fig.1 Schematic of the OBASK

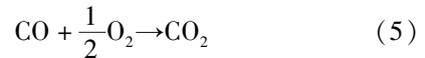
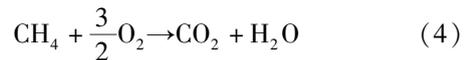
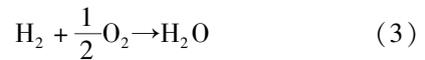
1)在预热区,石灰石与烟气进行对流换热,从环境温度升温至分解温度。在预热区的末端,石灰石会通过吸收燃烧区燃料燃烧的热量而开始经历分解过程。

2)在燃烧区,内部和外部燃烧器以相同的结构彼此相对布置。在图 1 放大的视图中可以看出燃烧器的中间放置了防火墙,用于防止燃烧火焰直接穿透到窑膛中。在套筒对烧石灰窑的燃烧区,电石尾气(成分: N<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO 和 H<sub>2</sub>)燃烧产生的大部分热量被 CaCO<sub>3</sub> 的吸热反应所利用。同时,石灰

石中含有的少量 MgCO<sub>3</sub> 也会发生分解。由于 MgO 不被视为炼钢用生石灰中的杂质, MgCO<sub>3</sub> 的分解反应也被考虑在内。因此,在燃烧区中发生的化学反应见式(1)~(2)。



煅烧所需的热量通过燃烧电石尾气来提供,电石尾气燃烧反应见式(3)~(5)。



当过量空气系数为 1.0 时,燃料中 H<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 完全反应,但是燃烧室出口依然会有 CO 剩余,即少量燃料会随烟气流动到窑膛内燃尽<sup>[14]</sup>, CaCO<sub>3</sub> 和 MgCO<sub>3</sub> 均反应完全。

3)在冷却区,石灰在出灰前被来自石灰窑底部的冷却风冷却。经过换热,升温后的冷却风用于燃料燃烧,从而提高该过程的热效率,防止窑内过烧,有助于提高石灰的活性。最终燃气由燃烧室进入窑膛并向上流动连同冷却风经烟囱排出。

## 2 METSIM 模型

### 2.1 METSIM 建模

套筒对烧石灰窑 METSIM 流程模型如图 2 所示,图中设置了预热、燃气、分解和冷却 4 个操作单元。

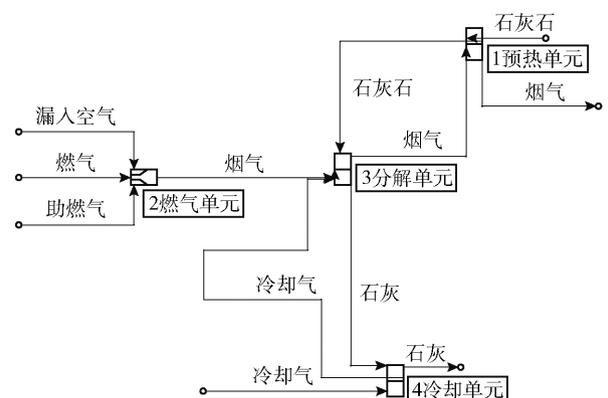


图 2 套筒对烧石灰窑 METSIM 流程

Fig.2 METSIM flowsheet of the OBASK

①预热单元:石灰石通过与烟气进行对流换热完成预热后,被送进窑内;②燃气单元:电石尾气作

为燃料,配以适当的助燃空气在燃烧室内完成燃烧放出热量,并以烟气的形式送入窑;③分解单元:石灰石受热达到一定温度,开始进行煅烧分解,生成的产物石灰继续向下运动到冷却单元;④冷却单元:冷却空气对石灰进行冷却。同时冷却后的空气向上,连同石灰石分解产生的  $\text{CO}_2$  送回至预热单元,最终以烟气的形式排放。

## 2.2 初始数据设置

燃料采用的是电石尾气,其主要成分如表 1 所示。助燃空气和冷却空气均为普通空气。根据  $\text{MgCO}_3$  含量的不同,石灰石可以分成多种类型,该研究的套筒对烧石灰窑原料石灰石的成分见表 2。在计算前根据 METSIM 软件热力学数据库输入元素确定所需化合物并编写化学方程式。根据某厂 600 t/d 套筒对烧石灰窑实际生产数据,对其热耗设置为

4 185 kJ/kg,并根据燃料的热值和燃烧室喷嘴参数,同时考虑到助燃空气的预热,确定各初始物质的质量流量以及温度,如表 3 所示。按以上初始数据设置,即可启动 METSIM 软件的质量和能量平衡模型。

表 1 电石尾气成分

Tab. 1 Composition of calcium carbide furnace off-gas

成分	$\text{N}_2$	$\text{CH}_4$	$\text{O}_2$	$\text{CO}_2$	CO	$\text{H}_2$
体积分数/%	4.30	0.20	0.50	10.00	84.00	1.00

表 2 石灰石成分

Tab. 2 Composition of limestone

成分	$\text{CaCO}_3$	$\text{MgCO}_3$	MgO	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	CaO	$\text{SiO}_2$
质量分数/%	95.00	2.80	0.18	0.40	0.34	1.20	0.08

表 3 物质流输入参数

Tab. 3 Input parameters of mass flows

参数	燃料	助燃空气	漏入空气	石灰石	冷却风
质量流量/( $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ )	7 330.92	21 924.99	680.00	44 000.00	7 276.66
温度/ $^{\circ}\text{C}$	150	40	25	25	25

## 3 结果与讨论

表 4 为 METSIM 软件物料计算结果,给出了石灰石反应前、后各组分比例变化情况。可以

看出  $\text{CaCO}_3$  与  $\text{MgCO}_3$  完全被分解,生成石灰中 CaO 含量高达 95.88%。METSIM 软件计算结果如图 3 所示,根据物质的不同形态将物质流分为固相流和气相流。

表 4 METSIM 软件物料计算结果

Tab. 4 Results of material calculation of METSIM software

组分	$\text{CaCO}_3$	$\text{MgCO}_3$	MgO	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	CaO	$\text{SiO}_2$
反应前质量分数/%	95.00	2.80	0.18	0.40	0.34	1.20	0.08
反应后质量分数/%	0.00	0.00	2.68	0.70	0.60	95.88	0.14

### 3.1 电石尾气作为替代燃料的可行性分析

电石尾气作为替代燃料应保持稳定持续的供应。从燃气数据框中可以看出该石灰窑对电石尾气的处理量为 7 330 kg/h,即  $2.76 \text{ m}^3/\text{s}$ ,年处理量可以达到  $2.76 \times 3 600 \times 24 \times 365 \approx 8.7 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。对于年产量 60 万 t 电石来说,电石尾气的年产量可超过  $2 \times 10^8 \text{ m}^3$ <sup>[9]</sup>,可提供给石灰窑足够的燃料用气。

### 3.2 能效对比分析

能量效率是企业环境战略中一个重要的组成部

分。根据研究目的,研究人员对于能量效率的定义有着不同的方法。在本研究中,石灰石煅烧在整个石灰生产过程中起着最重要的作用。在石灰石煅烧过程中, $\text{CaCO}_3$  的分解需要从燃料的放热反应中吸收足够的热量。但是烟气和石灰也会带走一部分热量,这会对能效产生影响。因此,能量效率定义为式(6)。

$$\eta = \frac{En_{\text{反应}}}{En_{\text{燃料}}} \quad (6)$$

式中: $En_{\text{反应}}$ 为石灰石煅烧所需能量; $En_{\text{燃料}}$ 为燃料提

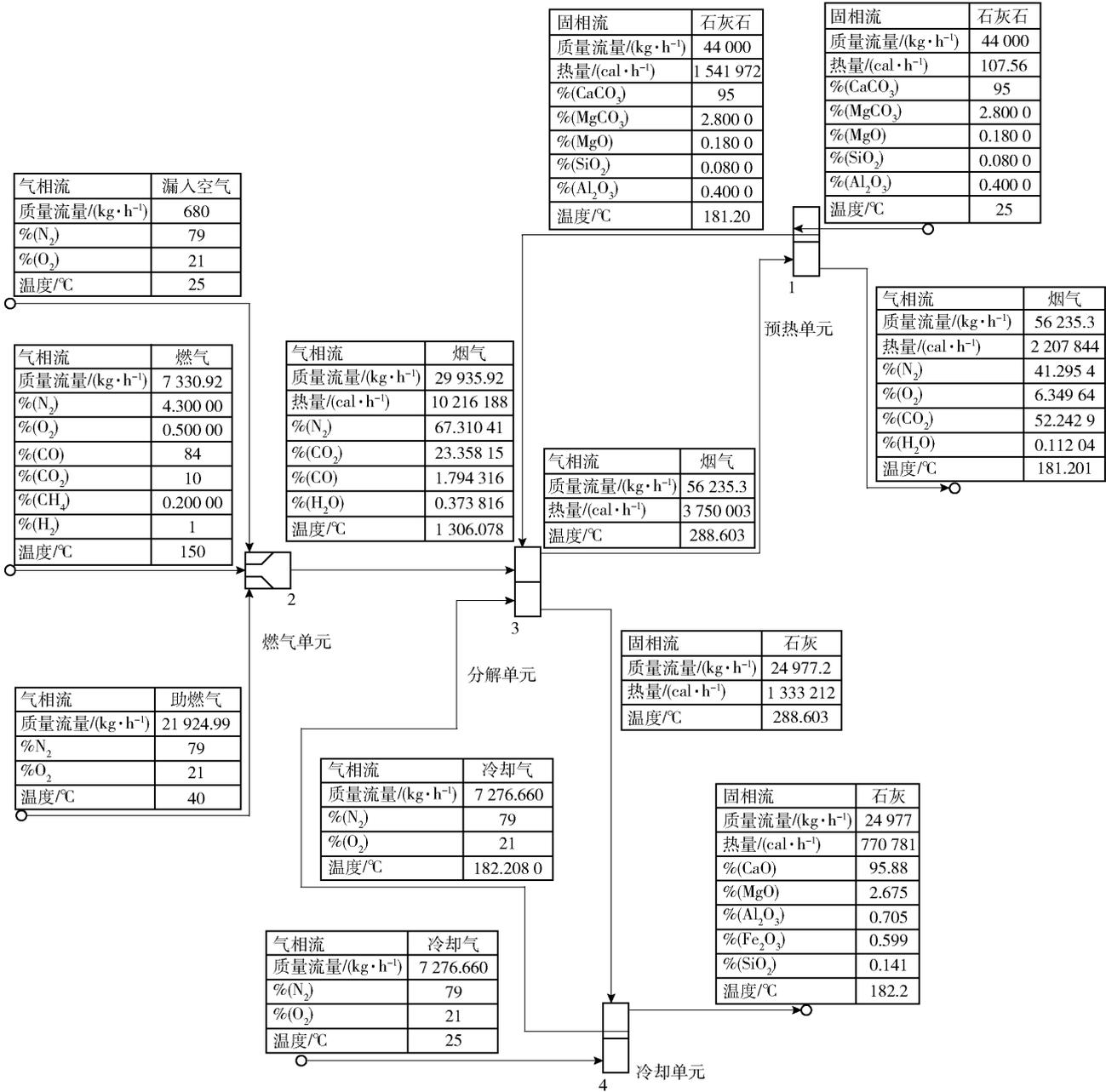


图 3 METSIM 软件计算结果

Fig. 3 Results of METSIM software calculation

供的能量。

根据 METSIM 软件计算结果,石灰石煅烧分解单元局部能量流如图 4 所示。输入能流包括预热后的石灰石,燃料燃烧后的燃气以及换热后的冷却空气;其中燃气的能量是燃料燃烧放出的热量,是最重要的输入能流,输出能流包括烟气和石灰。能量计算结果如表 5 所示。根据能量平衡,得到式(7)结果。

$$En_{\text{反应}} = En_{\text{输入}} - En_{\text{输出}} = En_1 + En_2 + En_3 - En_4 - En_5 \quad (7)$$

经计算,  $En_{\text{反应}} = 6 984 752 \text{ kcal/h}$ 。将此结果与  $En_{\text{燃料}} = 10 216 188 \text{ kcal/h}$  代入式(6), 得出  $\eta = 68.37\%$ 。有研究表明<sup>[2]</sup>以高炉煤气为燃料的套筒对烧石灰窑的能量效率为 63.60%。因此,套筒对烧石灰窑采用电石尾气作为燃料相比于高炉煤气时能量效率提高了 4.77%。从图 3 中可以看出,电石

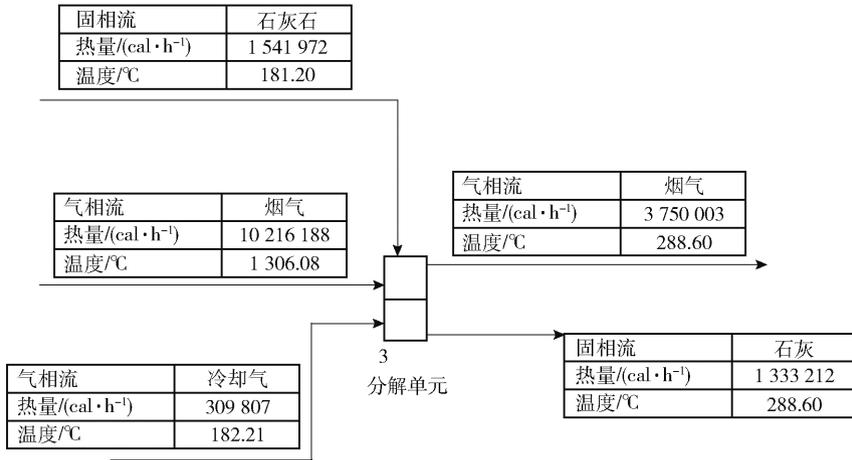


图4 分解单元的能量流

Fig. 4 Energy stream of Resolve unit

表5 能量计算结果

Tab. 5 Results of energy calculation

能量流	输入			输出	
	石灰石	烟气	冷却气	烟气	石灰
	$En_1$	$En_2$	$En_3$	$En_4$	$En_5$
能量/(kcal·h <sup>-1</sup> )	1 541 972	10 216 188	309 807	3 750 003	1 333 212

尾气作为燃料时燃烧室出口温度达到了 1 300 °C, 处于利于石灰石煅烧的气体温度区间, 为石灰石的分解提供了适宜的温度场; 而燃料为高炉煤气时, 燃烧室出口温度较低, 约 1 100 °C。燃烧室出口温度高会提升石灰石和高温烟气间的传热速率, 进而提高能量效率。

### 3.3 成本对比分析

为了追求石灰生产的利润, 必须要从燃料上节约成本。套筒对烧石灰窑的 2 种燃料成本计算如表 6 所示。基于之前以高炉煤气为燃料的研究<sup>[2]</sup>, 结合电石尾气的 METSIM 软件计算结果, 得出每生产 1 t 产物石灰所消耗的燃料量, 可根据燃料单价最终计算出单位成本。

表6 燃料成本对比

Tab. 6 The comparison of fuel costs

燃料种类	单价/(元·Nm <sup>-3</sup> )	消耗量/(m <sup>3</sup> ·t <sup>-1</sup> )	石灰/(元·t <sup>-1</sup> )
高炉煤气	0.2	1 367.39	273.48
电石尾气	0.6	397.81	238.69

由表 6 可以看出, 以电石尾气为燃料时, 燃料消

耗量会大幅减少, 仅为原来的 30%。每生产 1 t 石灰, 燃料成本为 238.69 元, 相对于高炉煤气节省了 34.79 元。另外, 如图 3 所示, 电石尾气中的 CH<sub>4</sub> 和 H<sub>2</sub> 在燃烧室中完全燃烧, 作为燃料主要成分的 CO 虽然会有所剩余, 但是燃烧率也高达 97%, 高于高炉煤气的 92%, 因此, 合理的燃烧使电石尾气燃料消耗量大幅减小。按照 600 t/d 的套筒对烧石灰窑计算, 每年可节约 34.79 × 600 × 365 = 761.90 (万元)。因此, 对于套筒对烧石灰窑工艺, 电石尾气在燃料成本方面有明显的优势。

### 3.4 CO<sub>2</sub>排放量对比分析

石灰窑本体的漏风、石灰窑运行不合理和烟气循环燃烧技术的运用等均会对套筒对烧石灰窑的 CO<sub>2</sub> 排放量产生影响。本文只考虑当燃料变化时, 套筒对烧石灰窑 CO<sub>2</sub> 排放量的差异。以电石尾气为燃料的套筒对烧石灰窑, 根据 METSIM 软件的计算结果, 从图 3 烟气数据输出框中可以看出其排放的烟气总量为 56 235.3 kg/h, 成分如表 7 所示。虽然 CO<sub>2</sub> 在烟气中所占的比例仍然很大, 但是因为烟气总量的降低, 使得电石尾气作为燃料时 CO<sub>2</sub> 排放量有所减少。每生产 1 t 石灰, 将排放的 CO<sub>2</sub>:

$56\ 235.3 \times 0.522\ 4 \div (600 \div 24) \approx 1\ 175.09$  (kg)。同样,根据计算得出,当燃料为高炉煤气时,每生产1 t石灰,CO<sub>2</sub>排放量约为1 500.10 kg。

表7 烟气计算结果

Tab.7 Results of flue gas calculation

成分	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
质量分数/%	41.30	6.35	52.24	0.11

因此,当燃料为电石尾气时,生产单位石灰CO<sub>2</sub>排放量相对于燃料为高炉煤气时要减少325.01 kg/t,约合0.11 Nm<sup>3</sup>/t,则每年可以减少CO<sub>2</sub>排放量 $0.11 \times 600 \times 365 \approx 2.42 \times 10^4$  (Nm<sup>3</sup>);同时,年处理电石尾气量为 $8.7 \times 10^7$  m<sup>3</sup>,则每年减少了有毒气体CO排放 $8.7 \times 10^7$  m<sup>3</sup>  $\times$  0.84 =  $7.3 \times 10^7$  (m<sup>3</sup>)。因此,以电石尾气为燃料的套筒对烧石灰窑可以实现更低的碳排放。

## 4 结 论

本文以燃料为高炉煤气的套筒对烧石灰窑研究为基础,将燃料改为电石尾气,并建立METSIM模型,与高炉煤气作为燃料在能量效率、燃料成本和CO<sub>2</sub>排放量3个方面进行了对比分析,得到如下结论。

1)在能量效率方面,当燃料为电石尾气时能量效率为68.37%,比燃料为高炉煤气时提高了4.77%,仍然有一定提高的潜力。

2)在燃料成本上,虽然电石尾气的单价相对较高,但是因为电石尾气具有更高的热值,其消耗量将大幅减少,仅为原来的30%。综合计算可得出,电石尾气作为燃料时年成本可节约761.90万元。

3)在CO<sub>2</sub>排放量上,每生产1 t石灰,当燃料为高炉煤气时,将排放约1 500.10 kg的CO<sub>2</sub>;当燃料为电石尾气时,将排放约1 175.09 kg的CO<sub>2</sub>,年排放量减少约 $2.42 \times 10^4$  Nm<sup>3</sup>。

### [参考文献]

[1] 张林进,唐丹,赵波. 环形套筒窑上燃烧室组合式烧嘴模拟计算[J]. 工业炉,2020,42(4):34-37.  
ZHANG Linjin, TAN Dan, ZHAO Bo. Simulation calculation of combined burner in upper combustion chamber of annular lime kiln [J]. Industrial Furnace, 2020, 42(4):34-37.

[2] RONG W J, LI B K, QI F S, et al. Energy and exergy analysis of an annular shaft kiln with opposite burners [J]. Applied Thermal Engineering, 2017, 119:629-638.

[3] 谢斌,杨昊. 电石炉尾气化工利用与煤烧套筒窑市场前景初探[J]. 工业炉,2016,38(6):57-59.  
XIE Bin, YANG Hao. Discussion on chemical utilization of calcium carbide furnace tail gas and market prospect of coal-fired annular shaft kiln with opposite burners [J]. Industrial Furnace, 2016, 38(6):57-59.

[4] 方政喆,李宝宽,穆永鸿. 套筒对烧石灰窑的性能分析与设计优化[C]//第27届全国铁合金学术研讨会论文集,2019:261-265.  
FANG Zhengzhe, LI Baokuan, MU Yonghong. The performance analysis and design optimization of the annular shaft kiln [C] // Collection of Papers of the 27th National Symposium on Iron and Alloy Technology, 2019:261-265.

[5] DENG S D, XIE Q S, ZHOU J M. A lime shaft kiln di-agnostic expert system based on holographic monitoring and real-time simulation [J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(12):15400-15408.

[6] GUTIERREZ A S, VANDECASTEELE C. Exergy-based indicators to evaluate the possibilities to reduce fuel consumption in lime production [J]. Fuel & Energy Abstracts, 2011, 36(5):2820-2827.

[7] 胡学琼,宁平,部华萍,等. 黄磷尾气作为替代燃料用于石灰窑煅烧工艺[J]. 无机盐工业,2013,45(12):38-40.  
HU Xueqiong, NING Ping, GAO Huaping, et al. Yellow phosphorus tail gas as alternative fuel for lime kiln calcining process [J]. Inorganic Chemicals Industry, 2013, 45(12):38-40.

[8] GEORGE P A O, GUTIERREZ R S, MARTINEZ R B C, et al. Cleaner production in a small lime factory by means of process control [J]. Journal of Cleaner Production, 2010, 18(12):1171-1176.

[9] 王晓明,郭贵中. 电石炉尾气再利用可行性研究[J]. 中国氯碱,2020(8):39-41.  
WANG Xiaoming, GUO Guizhong. Feasibility study on reuse of carbide furnace tail gas [J]. China Chlor-Alkali, 2020(8):39-41.

[10] SHUKLA A K. Thermodynamics-based modeling of iron and steel-making processes using flow sheet-based approach employing METSIM [J]. Transactions of the Indian Institute of Metals, 2019, 72(3):767-775.

[11] RASID R A. Modelling and simulation of lanthanum (La) and neodymium (Nd) leaching from monazite ore using METSIM [J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 736:1-12.

[12] 孙宁磊,董爱国,殷书岩,等. Metsim软件在氧化铜矿湿法浸出项目中的应用[J]. 中国有色冶金,2013,42(4):31-33.  
SUN Ninglei, DONG Aiguo, YIN Shuyan, et al. Application of Metsim software in tenorite hydrometallurgy project [J]. China Nonferrous Metallurgy, 2013, 42(4):31-33.

[13] 孙海阔. METSIM 在红土镍矿回转窑-电炉 (RKEF) 工艺中的模拟应用[J]. 中国有色冶金, 2013, 42(5):101-104.

SUN Haikuo. Application of Metsim modeling in laterite rotary kiln electric furnace (RKEF) process [J]. China Nonferrous Metallurgy, 2013, 42(5):101-104.

[14] 荣文杰, 李宝宽, 齐凤升. 套筒对烧窑新型燃烧室内电石尾气

的燃烧特性[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2018, 39(2):51-55.

RONG Wenjie, LI Baokuan, QI Fengsheng. Combustion characteristics of calcium carbide furnace off-gas in a new type combustor of twin burn annular shaft kiln [J]. Journal of Northeastern University (Natural science), 2018, 39(2):51-55.

## Comparative analysis of calcium-carbide tail gas and blast furnace gas as fuel of annular shaft kilns with opposite burners (OBASKs)

TAN Si-zhe, RONG Wen-jie, LI Bao-kuan

(School of Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110819, China)

**Abstract:** Fuel consumption is an important factor affecting energy conservation and emission reduction of OBASKs. To promote the energy efficiency of OBASK and reduce carbon emission, targeting at the fuel type, this paper replaced the original blast furnace gas with calcium carbide gas of higher calorific value and analyzed the numerical differences in the energy efficiency of OBASK, fuel cost, and CO<sub>2</sub> emission based on METSIM. The results indicate that when the calcium carbide gas is adopted to replace blast furnace gas, there is an increase of 4.77% in energy efficiency of OBASK, a sharp decrease (only 30% of the original) in fuel consumption, and a decrease of 325.01 kg in CO<sub>2</sub> emission for per ton of lime production. Therefore, calcium carbide gas is recommended as the fuel of OBASKs to boost economic interest and environmental benefits in addition to realizing effective utilization of industrial by-products.

**Key words:** fuel; annular shaft kilns with opposite burners (OBASKs); energy conservation and emission reduction; blast furnace gas; calcium carbide gas; METSIM

## 工信部等六部门印发《工业水效提升行动计划》 提高有色等行业工业废水循环利用水平

6月21日,工业和信息化部、水利部、国家发展改革委、财政部、住房城乡建设部、市场监管总局等六部门联合印发《工业水效提升行动计划》(以下简称《计划》),提出到2025年,全国万元工业增加值用水量较2020年下降16%。重点用水行业水效进一步提升,钢铁行业吨钢取水量、造纸行业主要产品单位取水量下降10%,石化化工行业主要产品单位取水量下降5%,纺织、食品、有色金属行业主要产品单位取水量下降15%。工业废水循环利用水平进一步提高,力争全国规模以上工业用水重复利用率达到94%左右。工业节水政策机制更加健全,企业节水意识普遍增强,节水型生产方式基本建立,初步形成工业用水与发展规模、产业结构和空间布局等协调发展的现代化格局。

《计划》重点从六个方面对工业水效提升行动提出要求,在强化创新应用、加快节水技术推广方面,指出要加强关键核心技术攻关和转化,其中,有色金属行业关键核心技术攻关方向是,有色冶炼重金属废水深度处理与回用、湿法冶金高含盐废水循环利用、重金属冶金污酸废水处理及资源化等。遴选推广节水技术装备。鼓励地方、行业协会以及重点企业开展技术交流、业务培训和供需对接等活动,大力推广应用高效冷却和洗涤、废水循环利用、高耗水工艺替代等节水工艺技术装备。到2025年,推广应用200项先进适用的工业节水技术装备。

(资料来源:中国有色金属报)