

高效节能型钢包烘烤器的研究和设计

涂卫国 刘日新

(北京赛维美高科技有限公司,北京 100073)

摘要 本文概述了钢包烘烤的意义、国内外烘包器的现状,重点介绍了新开发的自身预热钢包烘烤器和高效蓄热钢包烘烤器;对高炉煤气用于钢包烘烤进行了分析;以马钢烘包器改造为例进行了简要的技术经济分析。

关键词 钢包烘包器 自身预热烧嘴 蓄热燃烧烧嘴 高炉煤气

Research & Design of Ladle Pre-heater with High-Efficiency and Energy-Saving

Tuweiguo* Liu Rixin**

[Email:rixin@163bj.com](mailto:rixin@163bj.com)

<http://www.cnmeter.com>

ABSTRACT

The significance of ladle preheating and the application status of ladle pre-heater in abroad and China were introduced. The developed ladle pre-heater with self-preheating burner or with regenerative ceramic burners was described. The blast furnace gas could be used to heat ladle to the required high temperature if using this high efficiency and energy-saving ladle pre-heater. The technical and economic analysis was made according to the reforming results in Ma'anshan Steel Company.

Key words: Ladle pre-heater, Self- preheating burner, Regenerative ceramic burner, Blast furnace gas

1 前言

随着钢铁生产者对钢铁生产质量和成本的重视,对钢包、中间罐、铁水包烘烤温度和能耗提出了更高要求。一方面要求把钢包烘烤到较高温度和温度均匀性,另一方面要求能耗低、环境污染少,甚至可以应用低热值燃料。

目前国内外钢铁企业普遍采用的钢包烘烤器主要分为两类:立式烘烤器和卧式烘烤器。存在的主要问题是:烘烤时间长、烘烤温度低、烘烤质量差、能耗高。我们所开发的采用空气自身预热烧嘴的立式烘烤器和卧式烘烤器,对提高烘烤温度、烘烤的温度均匀性、节约能源具有独到之处。采用高效蓄热燃烧技术的蓄热燃烧钢包烘烤器,利用高效蓄热体将烟气的热量传给助燃空气,可以利用低热值煤气如高炉煤气来烘烤钢包,可以达到节能、减少污染的目的。

本文主要对国内外钢包烘烤器的现状进行了分析,对所开发的采用空气自身预热烧嘴的立式烘烤器和卧式烘烤器、蓄热式钢包烘烤器进行了介绍,并对其技术经济进行了分析。

2 钢包烘烤的意义

钢包是盛储钢水的容器,又是精练设备的组成部分。钢水在装入钢包后的传输和浇铸过程中要损失大量热量,其热量损失大致分为三部分:第一部分为钢水上表面(钢包口)的辐射热损失;第

二部分为钢包外壳表面的综合散热损失；第三部分为钢包内衬的蓄热损失。其中以钢包内衬的蓄热损失为主。钢水在钢包中的热损失比例大概是：包衬蓄热 45~50%，包壁散热 20%，钢水上表面辐射 20~30%，如果减少钢包的热损失，钢水在钢包中的温降可以大大减低，有测定数据^[1]指出：对于 90t 钢包，包衬温度由 400℃ 提高到 1200℃，钢水总温降可以减少 25℃。

钢水温度稳定在低过热度下浇注，可以实现高拉速、减少漏钢事故，而且可以提高铸坯的内部质量、消除中心缩孔、减轻中心偏析，同时对炼钢也有利，可以减低出钢温度，从而提高炉衬使用寿命，降低钢中气体含量。

采取提高出钢温度的方法来补偿钢包盛钢期间钢水的温度损失是不经济的，过高的提高炼钢温度不仅延长了炼钢时间，降低钢产量，增加原材料（耐火材料）和动力能源消耗，缩短熔炼炉的检修周期，而且容易造成连铸生产的波动和铸坯的质量缺陷。因此提高钢包的烘烤温度，在保证连铸合理的浇铸温度前提下，减少连铸工艺过程系统的钢水温降，适当降低出钢温度，无疑对炼钢和连铸生产都有实际的意义和明显的经济效益。

3 国外的经验

俄罗斯的经验^[2]是采用沉入式烧嘴，即将烧嘴的喷口沉入到钢包的底部，整个烧嘴本体置于钢包之中“烧热”。第聂伯钢铁公司采用 Г К - 300 II 型多孔新型烧嘴（如图 1）可将钢包烘至 1400℃，热效率高达 55-60%。这种烧嘴结构庞大，采用耐热钢制造，价格昂贵，不适合我国国情。

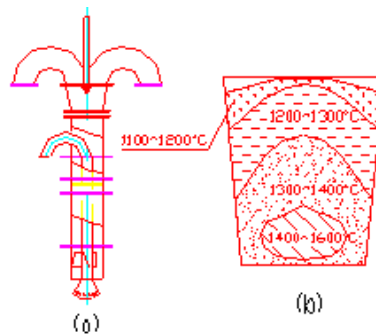


图 1 沉入式烧嘴

日本的经验是采用 TRMG 烧嘴（如图 2），我国称之为自身预热式烧嘴，助燃空气预热温度大于 500℃，喷口喷出速度较大的直进火焰，直冲包底。这种烧嘴具有以下优点。

- 1) 预热器与烧嘴一体，助燃风预热到 500℃ 以上。
- 2) 钢包盖盖严钢包口，火焰不能外逸，多从烧嘴预热器通道走，防止了火焰大量外逸的热损失。
- 3) 采用较高速度的直进火焰，包底加热效率非常高，烧嘴的噪音不超标。
- 4) 烧嘴的调节范围相当广，空气和煤气的配比容易调节，可根据规定的升温程序进行操作。
- 5) 采用外混式喷嘴，故不回火。

日本的经验还有：如采用钢包二级加热，即在离线钢包烘烤器将钢包予加热到 800~1000℃ 保温备用。使用前通过在线钢包烘烤器迅速将钢包升温至 1400℃ 盛钢，这种方式可减少高温保温时间过长的热损失。

日本的卧式钢包烘烤器经验也很好：即将钢包放倒烘，卧式钢包烘烤器置于台车上。这种结构钢包烘烤器的烧嘴及换热器放在钢包侧面，工作条件得到极大改善，有利于延长设备的使用寿命。这种形式的钢包烘烤器在我国已有引进和消化。

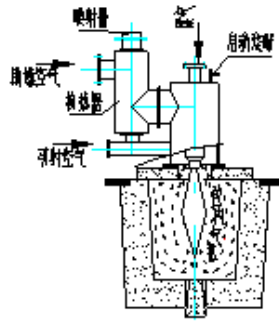


图 2 TRMG 烧嘴

80年代初在英国开发成功的陶瓷球蓄热RCB系统，大大超过了管式换热系统的废热利用效率，但仍存在Nox高，蓄热效率不够高（给受热体温差仍有150-250K）和设备笨重的缺点。

75吨铁水包预热装置采用烧重油的能力为5GJ/h的蓄热式RCB烧嘴后，比原先的烧嘴节约了一半燃料消耗量，即每次节约燃料3000L。切换燃烧的效果是温度差为±15℃。

日本新开发的蜂窝式蓄热体(HRS)（如图3），与陶瓷球蓄热体比较，有单位体积换热面积大（大4倍左右）；有效流通截面大（大7倍左右）；防尘结渣的特点。蜂窝式蓄热体实际应用获得：蓄热效率85-95%，给（炉子排出废气）受（燃烧用空气）热体温差50K，正常工作寿命两年。

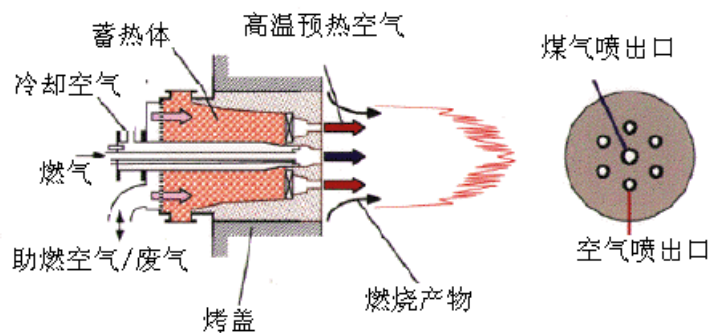


图 3 蜂窝式蓄热燃烧器

在开发蜂窝式蓄热体烧嘴的同时，NKK和NFK进行了一系列炉内燃烧控制和烧嘴结构的研究，已应用在NKK一台60吨电炉钢包的烘烤^[3]。在采用HRS以前，烤包系统无废热回收，排气温度约有1000℃。由于HRS体积小，重量轻，可直接安置在钢包盖上。使用效果说明，在传统的无废热回收的烤包下，燃料的热利用率只有30%，在采用HRS后，燃料的热利用率达到了70%。采用新烤包技术时，在钢包加热升温阶段，只需改造前供热量的60%烘烤，在红钢包保温阶段只需原燃耗35-40%，综合烤包节能可达到56%。且烤包质量明显提高，包衬温差减小，钢包使用寿命提高10%左右。

4 高效节能型钢包烘烤器

4.1 自身预热热钢包烘烤器

我们开发了采用空气自身预热烧嘴的立式烘烤器和卧式烘烤器。通过回收燃烧废气

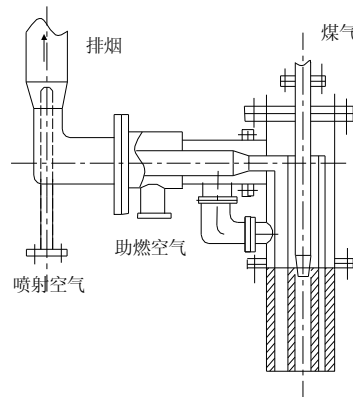


图 4 自身预热烧嘴

中的热量把空气预热高达 500℃，对提高烘烤温度、烘烤的温度均匀性、节约能源具有独到之处。目前已被国内抚顺、江阴、大同等多家企业采用，并取得良好效果。如在中美合资大同 ABC 铸造有限公司使用，由于钢包烘烤温度和质量的提高，降低了出钢温度，有利于提高后工序产品质量和产品合格率，降低了钢的烧损率和耐火材料的消耗。

4. 2 蓄热燃烧钢包烘烤器

我们开发了蓄热燃烧钢包烘烤器,如图 5 所示，一个 HN-RCB 单元由两个烧嘴、两个蜂窝蓄热

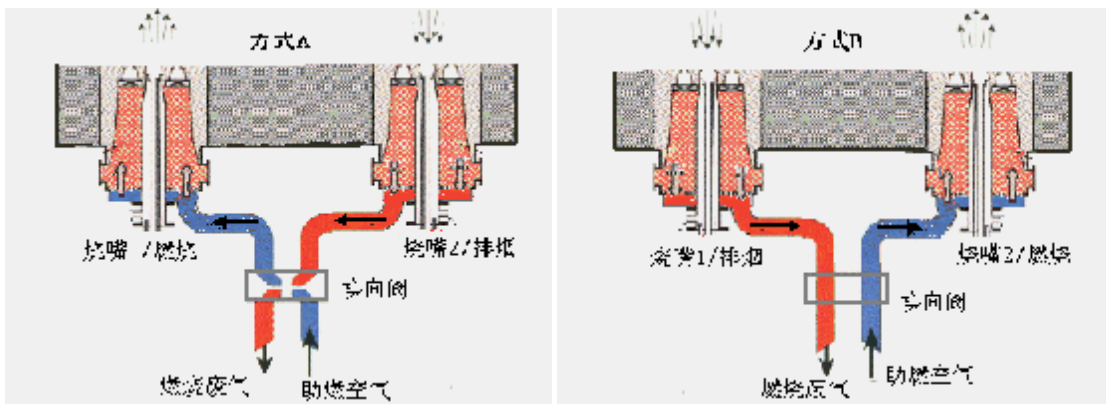


图 5 蓄热式钢包烘烤器

体、气体切换阀和相关控制系统组成。在一个烧嘴的助燃空气通过蓄热体燃烧供热时，另一个烧嘴充当排烟的角色，同时加热蓄热体，当这个蓄热体充分加热后，切换系统动作使系统反向运行。被助燃空气冷却的蓄热体轮流地由离开钢包烘烤器的高温气体加热，由于最后排出的废气温度只有 150-200℃，切换阀在低温下工作，同时排出燃烧废气的风机也在低温工作，标准设计的风机可以满足要求。

4. 2. 1 换向阀

传统的蓄热式预热器所采用的换向装置多为钟罩式或碟阀式，结构庞大，动作迟缓。高效蓄热式预热器，排烟温度降低，烟气流速增大，因此必须而且能够采用各种机械排烟方式，通过定时切断引射气流通路的方法进行换向。采用我们具有知识产权的旋转式双位四通阀。也可以采用我们代理的采用日本专利技术台湾生产的换向阀。

4. 2. 2 换向时间

蓄热式钢包烘烤器的热工工况是蓄热和释热交替进行，换向时间的选择则与炉温高低及蓄热体的透热厚度有关。换向时间较长时，对透热厚度不大的蓄热体，在蓄热期内将很快达到热饱和，因而离开预热器的烟气温度将提高，使热回收率降低，但空气预热温度波动小，对稳定炉温有利；对透热厚度大的蓄热体，在蓄热期内不易达到热饱和，因而离开预热器的烟气温度较低，使热回收率提高，但空气预热温度波动较大，对炉温的稳定不利。最佳换向时间应使蓄热体即将达到热饱和时进行，此时既可使预热器温度波动较小，又能获得较高的热回收率。高效蓄热式钢包烘烤器的换向时间为 30~200s 可调。

4. 2. 3 自动控制系统

蓄热式钢包烘烤器技术使燃烧系统和热回收系统有机地结合在一起，既提高了余热回收率，又提高了加热速度和炉温均匀性。为了保证钢包烘烤器的稳定运行，燃烧系统采用数字调节器实现温度和空燃比例调节控制。

换向阀的换向由一套专门控制系统来实现，具有定温换向、定时换向、超温报警、程序动作自动保护等一系列功能。如果排烟温度超温，系统发出声光报警，并自动切断煤气，全系统自锁以防止因超温造成设备损坏。

4. 2. 4 高炉煤气的利用

高炉煤气作为炼铁工艺过程的副产品的利用问题一直是困扰钢铁企业的一个很难解决的问题，由于高炉煤气的热值较低，一般不能直接在钢铁企业的耗能设备上使用，一部分高炉煤气与焦炉煤气混合后作为其它耗能设备的燃料，还有相当一部分被直接排放到大气里了，据有关资料介绍每年我国各钢铁企业高炉煤气的放散率为 13.72%，高炉煤气的大量对空排放不但造成大量的能源浪费（每年排放的高炉煤气相当于 260 万吨标准煤产生的热焓），而且造成环境污染，近年来各国政府的环保意识不断加强，允许高炉煤气大量对空排放的时间不会太长了。

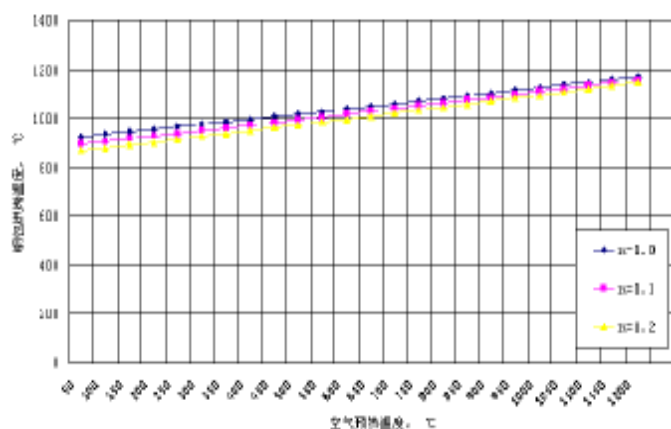


图6 不同预热温度下的钢包烘烤温度

随着能源成本占产品成本的比例的不断提高以及迫于政府环保标准越来越严格的压力，各企业对高炉煤气的利用也越来越重视，正是在这种客观条件下使得已经沉寂了近 20 年的旨在利用低热值燃料的高效蓄热技术得以进一步的完善和使用。

高炉煤气的热值一般不高于 $900 \times 4.1816 \text{KJ/Nm}^3$ ，高炉煤气因其热值较低其燃烧温度很难达到工艺要求，应用蓄热式高效燃烧技术为提高高炉煤气的燃烧温度提供了手段，图 6 为不同空气预热温度下的钢包烘烤温度。如果采用蓄热式高效燃烧技术使助燃空气的预热温度超过 800°C ，可以使实际燃烧温度提高约 250°C 。空、煤气同时预热效果就越明显。

5 高效节能钢包烘烤器技术经济分析实例

在马钢钢包烘烤器改造设计工程中，采用了自身预热式亚高速烧嘴（如图 4）。该工程包括 10 个离线立式钢包烘烤器及 3 个在线钢包烘烤器。现以 10 个离线立式钢包烘烤器为例来探讨一下本次改造的效益。

改造前烘烤器烧嘴为 0.4~0.6MPa 压缩空气助燃的套筒烧嘴。

改造前烘烤器烧嘴技术性能参数如下：

燃气：焦炉煤气 热值：~4000x4.18kJ/m³ 压力：>6000Pa

烧嘴能力：350m³/h

助燃空气：压缩空气 压力：0.4~0.6MPa

助燃空气量：理论量：1540 m³/h

实际量：1000 m³/h（Φ20 压缩空气喷口）

由于助燃空气量不足，约使 1/3 的煤气量不能燃烧。改造前烘烤 8 小时，钢包内衬温度仅烘至 400~800℃，热效率低于 10%。

本次改造采用的烘烤器烧嘴为自身预热式烧嘴。改造后采用混合煤气为燃料。

自身预热式烧嘴性能参数如下：

燃气：高、焦混合煤气 热值：~2000x4.18kJ/m³ 压力：>3000Pa

烧嘴能力：350m³/h

助燃空气压力：>6000Pa

助燃空气量：700 m³/h

助燃空气预热温度：500℃

引射空气压力：>6000Pa

引射空气量：350 m³/h

本次改造增加助燃风机，风机功率：11kW，一台风机给两台钢包烘烤器供风。

风机价：5800 元/台

本次改造烘烤器的烘烤效果优于改造前。改造前烘烤 8 小时的效果改造后烘烤 4 小时即可达到，烘烤器热效率达 45%。

改造前每台烘烤器每年消耗：（按年工作 5000 小时计算）

焦炉煤气消耗量：350x5000=1750000m³

折合热量：1.75x10⁶x4000x4.18kJ=2.9x10⁴GJ

折合人民币：（内部价 24 元/GJ）：69.6 万元

压缩空气消耗量：1000x5000=5.0x10⁶m³

折合人民币：（内部价 48 元/1000m³）：24 万元

合计人民币：93.6 万元

改造后每台烘烤器每年消耗：（按年工作 5000 小时计算）

混合煤气消耗量：350x5000=1750000m³

折合热量：1.75x10⁶x2000x4.18kJ=1.45x10⁴GJ

折合人民币：（内部价 24 元/GJ）：34.8 万元

电消耗量：5.5x5000=5.0x10⁶m³

折合人民币：（内部价 0.37 元/度）：1.02 万元

合计人民币：35.82 万元

每年每台钢包烘烤器节约费用：93.6 - 35.8=57.8 万元。

本次改造每台钢包烘烤器一次性投资约 3 万元（大臂、卷扬等设备利旧）。其经济效益非常可观。改造后车间环境得到改善。

6 结论

提高钢包的烘烤温度，在保证连铸合理的浇铸温度前提下，减少连铸工艺过程系统的钢水温度，适当降低出钢温度。钢水温度稳定在低过热度下浇注，可以实现高拉速、减少漏钢事故，而且可以提高铸坯的内部质量、消除中心缩孔、减轻中心偏析，同时对炼钢也有利，可以减低出钢温度，从而提高炉衬使用寿命，降低钢中气体含量。

开发了采用空气自身预热烧嘴的烘烤器。通过回收燃烧废气中的热量把空气预热高达 500℃，对提高烘烤温度、烘烤的温度均匀性、节约能源具有独到之处。目前已被国内抚顺、江阴、大同等多家企业采用，并取得良好效果。以马钢烘包器改造为例进行了简要的技术经济分析。

开发了采用高效蓄热燃烧技术的钢包烘烤器。使燃烧系统和热回收系统有机地结合在一起，既可以在最大程度上节约燃料，又提高了加热速度和温度均匀性。其燃烧系统采用数字调节器实现温度和空燃比例调节控制。可以实现用高炉煤气对钢包的高温烘烤。

参考文献

- [1] 倪满森. 降低出钢温度 实现低过热度连铸. 炼钢. 15(1999) 5:10~13.
- [2] 徐成章译. 节能型烧嘴. 工业炉, 10(1988),1: .
- [3] Toshikazu Akiyama, Application of Regenerative burner for Ladle Preheating System of Electric Arc Furnace. In: Hsiao Tsechiang and Yoshikawa, Kunio, High Temperature Combustion, Beijing Sept.1999:181-190.

作者简介

涂卫国，高级工程师，1987年东北大学学士，1987年---1999年9月在马钢设计院从事工业炉设计工作。

[刘日新](#)，博士，高级工程师。纽约科学院院士。[北京赛维美高科技有限公司](#)总经理。1986年东北大学学士，1989年东北大学硕士，1994年1月昆明理工大学冶金学博士. 1994年1月---1995年12月在中国科学院化工冶金研究所进行博士后研究。主要从事过程模拟与控制、能源利用、网络信息系统和知识产权的研究和开发工作。