

冲天炉水冷风口的历史和现状

张宠元¹, 杨彬¹, 姜全², 张明³

(1. 包头职业技术学院, 内蒙古包头 014035; 2. 烟台鲁宝有色金属有限公司, 山东烟台 264002;
3. 威海科兴铸造机械有限公司, 山东威海 264200)

摘要: 简述了中国冲天炉水冷风口技术的发展历史与现状, 描述了水冷风口的结构和冷却水冷却原理, 分析了不同结构的水冷风口的冷却水流动速度, 评述了目前使用的三种冲天炉水冷风口。

关键词: 水冷长炉龄冲天炉; 水冷风口; 历史与现状

最早的冲天炉与高炉一样, 被称为鼓风炉 (Blast Furnace), 由此可以看出这两种工业炉的历史渊源。根据中国20世纪初有关冶铁学的译著推测, 英语中的Cupola Furnace一词, 应该出现于20世纪初20年代左右。“冲天炉”一词的文献记录, 首次出现于1950年《机械制造》(今《铸造》杂志前身)创刊号^[1]。长炉龄冲天炉的水冷风口, 属于冲天炉的关键部件, 其技术渊源于高炉风口, 本文拟对其技术发展历史进行回顾和总结。

1 水冷风口结构及其冷却原理

水冷风口前端插入炉内的部分, 一般为紫铜类材料, 其熔点在1 080 °C左右, 而炉内铁液的温度不会低于1 200 °C。风口通入冷却水的目的在于吸收铜材的热量, 保证铜材温度始终低于其熔点而不被炉内高温熔化。按照传热学理论, 冷却水和铜材之间的热交换量, 决定于冷却水的温度、流量、流速等。其中, 冷却水的流量、温度受工作条件及经济性约束, 因此水冷风口的技术进步, 主要集中在提高冷却水流速方向上, 即通过风口结构改进, 尽可能提高冷却水流过铜材时的速度, 使铜材充分冷却, 保证风口的正常有效工作。图1为高炉所用的几种铸铜风口, 可分析、说明水冷风口使用效果、寿命。

图1a为单腔风口, 结构最为简单, 可以一次性铸造成形。在这种风口中, 大部分冷却水从进水口进入后, 未到达风口前端就直接进入了回水口, 风口前端冷却水流速很低, 铜材得不到充分冷却。冷却水从进水口直接进入回水口的现象, 被称为风口的“流径短路”。显然, 单腔风口的可靠性低、寿命短。

2005年, 上海柴油机股份有限公司的15 t/h水冷冲天炉, 使用的便是单腔式风口, 效果不佳^[2]。另外, 上海铸管公司建造在盐城的15 t/h冲天炉, 也使用过该种风口, 使用效果也不佳。目前在冲天炉上已经基本见不到这种铸造结构的单腔风口。

图1b为一种结构改进的单腔风口, 结构也比较简单, 铸造成形、简单加工后, 在进水口插入一根(或多根)一定长度的金属管, 其末端可焊接于风口末端。插入风口的金属管, 将冷却水引导到了风口前端, 前端冷却水的流速得以成倍增加, 冷却水与风口前端热交换充分。因此提高了单腔风口的可靠性和寿命。单腔式风口除了可以插入金属管改进外, 还有其他改进形式。后文涉及的双腔风口, 应该视为单腔风口的一种结构改进。

图1c为贯流式水冷风口, 特指风口帽内的冷却水流道为螺旋形的风口, 其名称

作者简介:

张宠元(1971 -), 男, 副教授, 长期从事机械工程和材料成形技术的研究与教学工作。E-mail: nmgzcy@126.com

中图分类号: TG323

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2019)07-0749-06

收稿日期:

2019-04-24 收到初稿,
2019-05-31 收到修订稿。

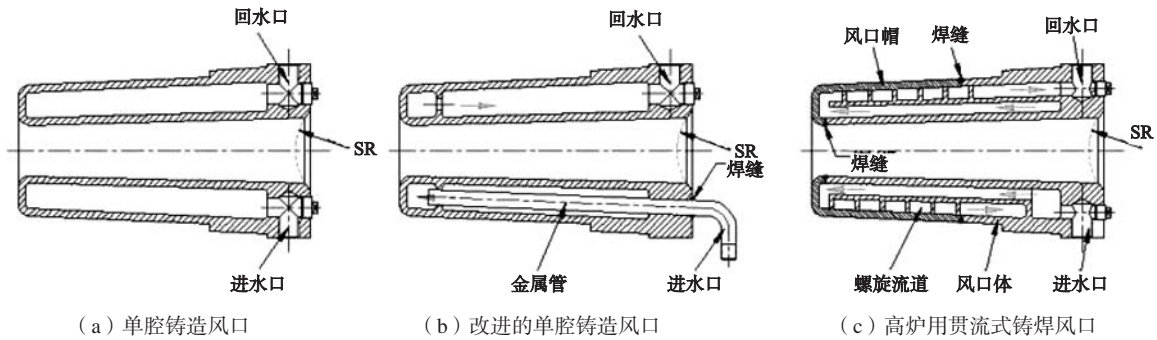


图1 几种高炉水冷风口

Fig. 1 Schematic diagram of several water-cooled tuyeres for blast furnaces

中“贯”的意思为“顺序、次序”，目前的高炉风口多为该结构形式。该风口的结构比较复杂，风口体和风口帽需要分别铸造或制造，两者经加工有关部分后焊接成一体。进入风口的冷却水，首先沿内流道流向风口前端，然后在前端折返，通过螺旋流道流过风口帽，最后到回水口。另外，如果这种风口的回水口和进水口互换，对风口性能并无太大影响。

贯流式风口中的螺旋流道，提高了冷却水的流速十几倍，加强了冷却水对风口帽的冷却强度，是该风口可靠性高、寿命长的主要原因。

2 早期水冷风口

我国冲天炉使用水冷风口的历史可以追溯到20世纪50年代。1957年，沈阳铸造厂的一台热风水冷碱性铁屑熔化炉使用了水冷风口^[3]，这是我国冲天炉使用水冷风口最早的文献记录。该铁屑炉的炉膛直径900 mm，设置了4个口径100 mm的风口，风口冷却水的出口与设置在炉内的冷却水套相连，见图2。

1959年5月，青岛市第五钢铁厂将该厂的一台5 t/h热风碱性化铁炉改造为水冷热风碱性化铁（图3）。该炉的炉膛内径900 mm，雨淋式炉壁冷却，设置了2个水冷风口，炉龄达到了26天^[4]。

1959年，浦镇车辆工厂为了使用高硫土铁，采用了碱性炉衬冲天炉，炉龄大概只有4 h，为此做了许多改进，其中包括将前炉上的出渣口改为水冷出渣口（见图4）。该出渣口用紫铜铸成或以钢板焊成，水压试验压力0.3 MPa，改进后炉龄可达到60 h以上^[5]。从前文已经知道，该水冷出渣口与高炉的单腔风口完全相同。

1960年初，唐山钢厂在该厂两台25 t/h冲天炉中的一台开始试用水冷风口（如图5），该水冷风口插入炉内270~280 mm，通风口径112 mm，由外部钢板卷制、焊接形成，水压试验0.3 MPa。该风口可靠性差，容易渗漏，寿命只有120 h左右^[6]。该钢制风口是见之于文献记录的、用于冲天炉的水冷风口。

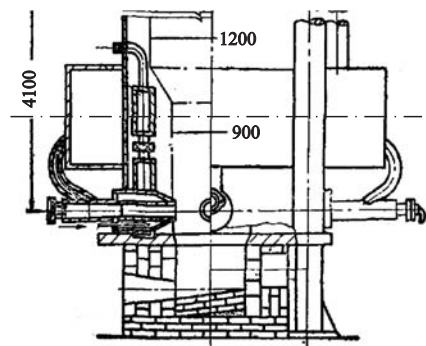


图2 沈阳铸造厂用水冷风口

Fig. 2 Schematic diagram and dimension showing a water-cooled tuyere used at Shenyang Foundry in 1957

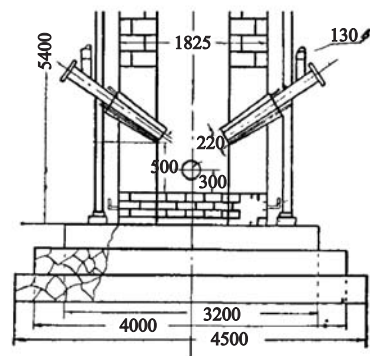


图3 青岛五钢厂用水冷风口

Fig. 3 Schematic diagram and dimension showing a water-cooled tuyere used at Qingdao No.5 Steel Factory in 1959

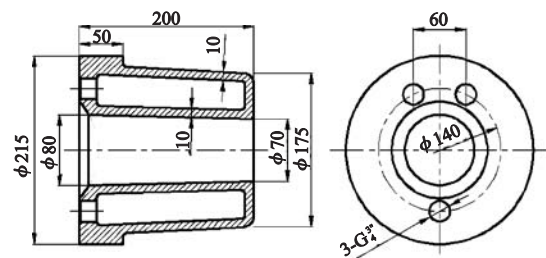


图4 浦镇车辆厂用水冷出渣口

Fig. 4 Schematic diagram and dimension showing a water-cooled slag outlet used at Nanjing Puzhen Vehicle Plant in 1959

3 引进的水冷风口

1983年，长春第一汽车制造厂用40万美元从日本引进了全部软件和少量关键零部件，建成了包含全套除尘装置及微机控制系统在内的20 t/h外热风水冷冲天炉，于1984年投入使用^[7-8]。该炉所用风口为铜钢焊接结构，风口帽为铜质，其余为普通钢材（见图6）。这是我国自1978年以后，从国外引进的第一台套外热风水冷长炉龄冲天炉所配带的水冷风口。该风口的进水口、出水口在同一个腔内，属于改进型单腔式风口，对中国水冷风口产生了重要影响，至今仍有个别工厂使用该种结构的水冷风口。

1993年底，天津内燃机厂引进了日本太阳铸机公司的4 t/h外热风水冷冲天炉及脱硫装置的技术和部分设备，该炉所配带的水冷风口，见图7^[9]。该风口为铜-钢焊接结构，包括紫铜、不锈钢和普通碳钢三种材料。风口帽铜材厚度7 mm，内、外两个环形流道的间隙约为6.5 mm，该风口内部流道狭窄，冷却水流动速度高，可靠性比较高，寿命比较长。

1991年9月，潍坊柴油机厂利用奥地利斯太尔公司设备整体出售的机会，引进了一台原产自德国某公司的二手10~14 t/h炉外热风水冷冲天炉，该炉所用的引进水冷风口，见图8a^[10]。该风口为改进型单腔风口，属于铸造结构，每支的进口价格为1.4万多欧元，合当时

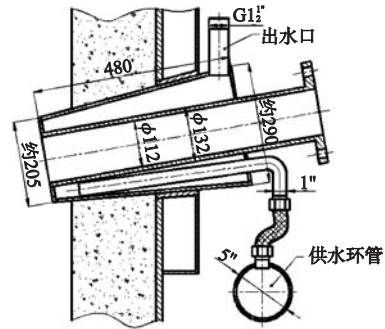


图5 唐钢水冷风口

Fig. 5 Schematic diagram and dimension showing a water-cooled tuyere used in Tangshan Iron and Steel Co. in 1960

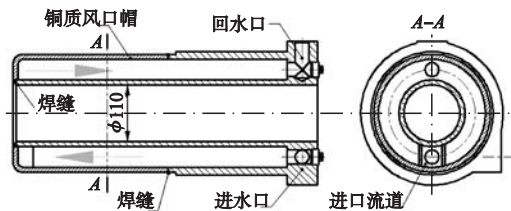


图6 一汽用水冷风口

Fig. 6 Schematic diagram and dimension showing a water-cooled air outlet used at First Automotive Works (FAW) in 1983

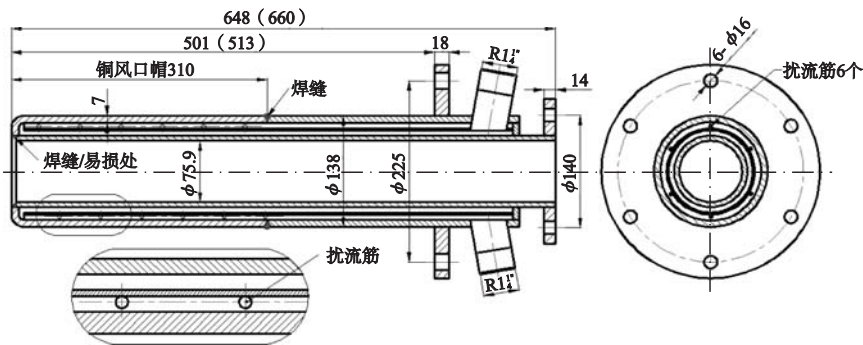


图7 天津内燃机厂用水冷风口

Fig. 7 Schematic diagram and dimension showing a water-cooled tuyere used at Tianjin Internal Combustion Engine Plant in 1993

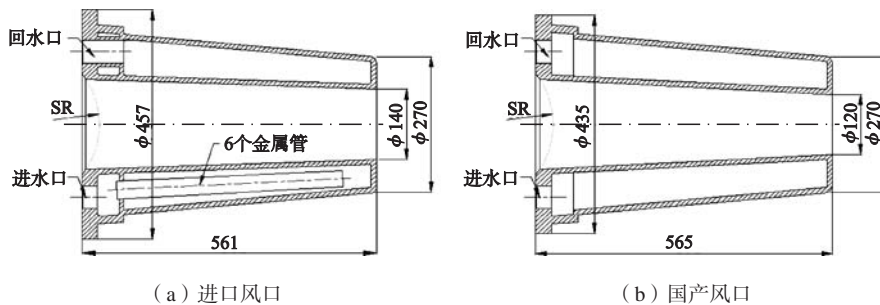


图8 潍柴用水冷风口

Fig. 8 Schematic diagram and dimension showing a water-cooled tuyere used at Weifang Diesel Engine Plant in 1991

人民币约15万多元。该风口后改用了结构更简单的国产单腔风口，见图8b。按照前文有关冷却水流速的分析，国产风口的可靠性可想而知。

2008年，潍坊柴油机股份有限公司投资1.4亿人民币，从美国引进了35 t/h外热风水冷冲天炉。此炉采用了一种结构新颖的螺旋管式水冷风口（Coil Tuyere），见图9。新版的美国《冲天炉手册》介绍过该种风口，并且说该风口的螺旋形冷却水管为纯铜管或者钛管。

中国自1978年以后，有多家引进过多台套外热风水冷冲天炉。例如，1982年上海第三钢铁厂的70 t/h冲天炉、1987年天津第三铸造厂的5 t/h冲天炉、2001年华东泰克西的16 t/h冲天炉、2008年太原钢铁公司的40 t/h冲天炉、2013年重庆某公司的30 t/h冲天炉、2014年长春一汽的25 t/h冲天炉，等等，其水冷风口与上述所介绍相差不多。

4 目前的水冷风口

目前在国内长炉龄冲天炉的水冷风口中，已经很少看到铸造结构的风口，也很少见到单腔风口。现有的三种水冷风口，均为铜-钢焊接结构。

4.1 双腔风口

双腔风口是指风口内设置流道隔套，将内腔分为进水腔、出水腔的水冷风口。目前有两种结构形式，其中一种设有扰流筋，另一种未设置扰流筋。如图7所示的双腔风口，口径75.9 mm，外径138 mm，风口帽处的环形流道中，设置了6个螺旋形扰流筋，有利于提高冷却水的流速，该风口的易损部位为风口前端的焊缝。图10为图7所示报废风口的图片，图11为该风口的剖开图。已知该风口的冷却水流量为 $7.5 \text{ m}^3/\text{h}$ ，按其结构尺寸，可以算出冷却水流过风口帽时的流速为 0.97 m/s 。

图12为一口径100 mm、无扰流筋的双腔式风口。该风口的易损部位包括前端焊缝和风口帽前端部共两处。图13和图14分别为该风口报废后的图片和剖开图。已知该风口的冷却水流量为 $13.5 \text{ m}^3/\text{h}$ ，可以计算出



图9 螺旋管式水冷风口

Fig. 9 A coil tuyere used at Weifang Diesel Engine Co. Ltd. in 2008



图10 有扰流筋的双腔风口

Fig. 10 A double cavity tuyere with spoiler ribs



图11 有扰流筋的双腔风口剖开图

Fig. 11 Cross section of the double cavity tuyere in Fig. 10

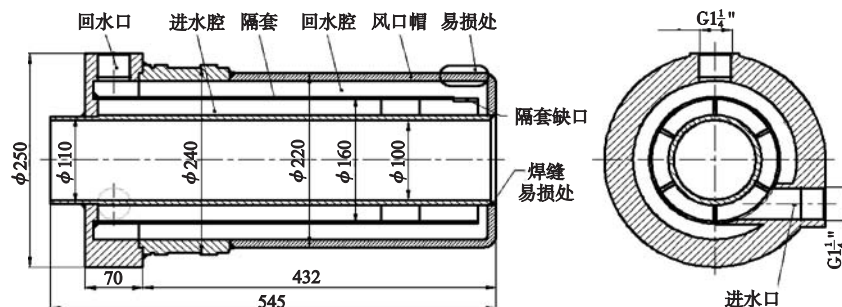


图12 无扰流筋的双腔式水冷风口

Fig. 12 Schematic diagram and dimension showing a double cavity tuyere without spoiler ribs, with a caliber of 100 mm

冷却水流过风口帽时的流速为0.63 m/s。流速低、冷却强度低，解释了该风口前端容易穿孔、烧毁的原因。

据笔者了解，该风口一般要求冷却水为工业纯水（俗称蒸馏水），但即便该风口使用工业纯水，也不能保证图12所示两处不发生穿透和渗漏。主要是因为冲天炉的冷却水多为开式循环系统，冷却水在循环中混入的矿物质，很快会使工业纯水失去其纯洁性，使用工业纯水并无实际意义。

4.2 贯流式水冷风口

贯流式水冷风口一词来源于高炉风口，其结构特征在于冷却水流过风口前端即风口帽的流道样式，该风口上的两个接口法兰并非该种风口的结构特征。几乎所有的高炉风口并不存在接口法兰（如图1），但它们多为贯流式风口。贯流式水冷风口是目前最可靠的水冷风口，冷却水流速高，流道不积垢，对冷却水的水质要求低。该风口进水口、回水口均为内螺纹，在安装、搬运过程中，螺纹不容易损坏，工作寿命不低于5 000 h。

图15为口径182 mm的贯流式水冷风口的发运图，图16表示了两种安装方式下该风口的主要尺寸。口径182 mm的水冷风口，属于目前国内最大的水冷风口。已知口径182 mm的贯流式水冷风口的冷却水流量为18 m³/h，按其有关结构尺寸，可以计算出冷却水流过螺旋流道的流速为17.13 m/s。冷却水流过风口帽的流速，分别是上述两种双腔风口的17倍和27倍，这是该风口可行性高、寿命长的主要原因之一。

我们知道潍坊柴油机股份有限公司的35 t/h冲天炉，有6个口径152.5 mm的水冷风口。按照该35 t/h冲天炉所配风口的参数推算，口径182 mm的风口可以满足50 t/h冲天炉的需要。

另外，贯流式水冷风口是目前唯一存在系列研制技术报告^[11-12]和使用经验总结^[13-14]的冲天炉水冷风口。我国现有的贯流式水冷风口的质量水平、尺寸规格均可满足大吨位外热风水冷长炉龄冲天炉的需求，水冷

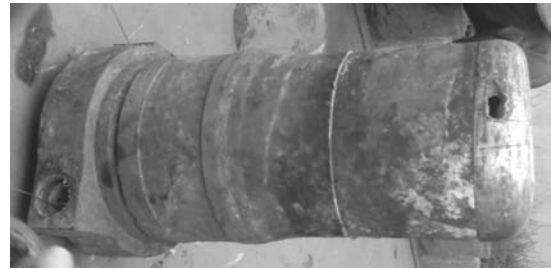


图13 无扰流筋的双腔风口

Fig. 13 A double cavity tuyere without spoiler ribs

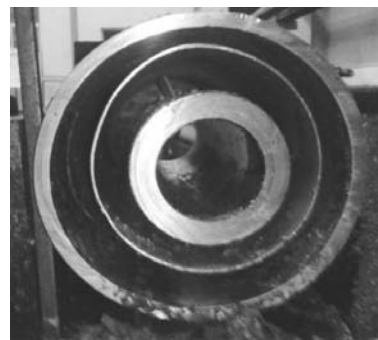


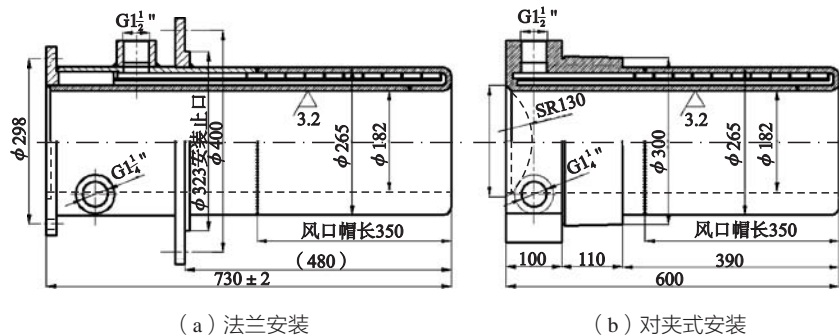
图14 无扰流筋的双腔风口剖开图

Fig. 14 Cross section of the double-chamber tuyere in Fig.13



图15 口径182 mm贯流式风口

Fig. 15 A cross-flow tuyere with a caliber of 182 mm



(a) 法兰安装

(b) 对夹式安装

图16 口径182 mm的贯流式水冷风口的主要尺寸

Fig. 16 Main dimensions of the cross-flow- tuyere in Fig. 15

风口已不构成推广有关项目的难题。

4.3 螺旋管式水冷风口

前文说过，潍坊柴油机股份有限公司在我国最先使用了该风口。2016年，济南玫德集团最先研制出了该风口并在有限范围进行了试用，但至今尚未取得满意效果。据笔者所知，国内某公司近期研制了该风口并将用于山西某冲天炉。该风口使用前，必须测试其冷却水的流量特性（即流量和压力间的关系），否则很难确定该风口的冷却水参数。螺旋管式水冷风口，结构简单、造价低，或是一种有发展前途的水冷风口。

从上述三种风口的实际使用效果看，螺旋管式水冷风口刚刚开始试用，目前尚无成熟经验。无扰流筋

的双腔式风口可靠性最差，个别风口使用十几个小时前端即严重渗漏，有扰流筋的双腔式风口可靠性略好一些。使用效果最好的为贯流式水冷风口，其服役寿命不低于5 000 h，可靠性和寿命已达世界先进水平。

冷却水流过风口帽的流速，对风口的可靠性有重要影响。此外，材料、制作工艺也直接影响水冷风口的可靠性。

5 结束语

水冷风口是一个小产品，但属于水冷长龄冲天炉的关键部件。今后应该逐步淘汰双腔式风口，大力推广贯流式水冷风口。在推广贯流式水冷风口的基础上，研究、测试螺旋管式水冷风口的流量特性，并逐渐推广。

参考文献:

- [1] 陈望隆. 上海的机械制造业[J]. 机械制造, 1950(1): 4-9.
- [2] 陈阳, 周勋, 施广中. 15 t/h长龄水冷冲天炉的设计改进和生产实践[J]. 现代铸铁, 2005(5): 52-55.
- [3] 萧至刚. 暖风、水冷却、碱性化铁炉[J]. 铸工, 1957(7): 15-16, 13.
- [4] 青岛市第五钢铁厂. 再生式碱性化铁炉的试用[J]. 钢铁, 1959, 13: 531-534.
- [5] 钟焕文. 延长碱性化铁炉炉龄的一些措施[J]. 铸工, 1959(8): 17-18.
- [6] 唐山钢厂. 唐山钢厂化铁炉试用水冷风口[J]. 钢铁, 1960(4): 234-235.
- [7] 王天宝. 引进技术的“一汽方式”[J]. 经济纵横, 1987(11): 29-31, 32.
- [8] 刘幼华. 国内外铸铁熔炼技术发展若干动态[J]. 现代铸铁, 1985(2): 14-17.
- [9] 张学新, 王传庆, 马宝山, 等. 4 t/h热风冲天炉在我厂的应用[J]. 铸造设备研究, 1996(1): 25-28.
- [10] 赵宗杰, 龚乃俊, 张华南, 等. 10-14 t/h外热风冲天炉的改造[J]. 中国铸造装备与技术, 2004(2): 58-60.
- [11] 张明, 孙厚勇, 殷黎丽. 冲天炉水冷风口[J]. 中国铸造装备与技术, 1999(5): 4-6.
- [12] 张明, 杨彬, 殷黎丽, 等. 冲天炉贯流式水冷风口的设计与制作[J]. 中国铸造装备与技术, 2001(4): 41-43.
- [13] 齐文远, 张明. 冲天炉水冷风口及其保护[J]. 中国铸造装备与技术, 2005(2): 60-61.
- [14] 李春澍, 裴学东, 张浩. 冲天炉贯流式水冷风口的使用经验[J]. 铸造, 2016, 65(2): 201-203.

Development History and Present Situation of Water Cooling Tuyere in Cupola Furnace

ZHANG Chong-yuan¹, YANG Bin¹, JIANG Quan², ZHANG Ming³

(1. Baotou Vocational & Technical College, Baotou 014035, Inner Mongolia, China; 2. Yantai Lubao Nonferrous Alloy Co., Ltd., Yantai 264002, Shandong, China; 3. Weihai Kexing Casting Machinery Co., Ltd., Weihai 264200, Shandong, China)

Abstract:

The paper briefly introduces the development history and current situation of the water-cooling tuyere technology of China's cupola furnace, describes the structure of the water-cooled tuyere and the cooling principle, analyzes the flow velocity of water in the water-cooled tuyere with different structures. Finally, the three types of cupola water-cooling tuyeres currently used are reviewed.

Key words:

water-cooled long-life cupola furnace; water-cooled tuyere; history and present situation