

# 长寿高炉铜冷却壁

杨天钧 程素森

吴启常

余克事

北京科技大学

北京钢铁设计院

汕头华兴冶金备件厂

**摘要** 作者已研制成功高炉用纯铜冷却壁并在首钢试用,本文进行了全面的传热学分析,结论是安全有效的。计算的工作参数和国外的设计极为吻合。作者并提出了工业材质与制造工艺的建议和实用方面的考虑。

99年宜昌炼铁年会,我们论及了高炉整个下部“湿区”应设计成一个大的冰箱<sup>[1]</sup>。即把液态的渣和铁能冻结在炉墙的一定范围内。铜冷却壁给高炉围成了一道只有200℃的墙,高炉寿命可达15年以上。亦即至少在冷却壁的热面上能使渣铁有效冻结,而且不使冷却壁热面过热。这冷却壁热面的极限温度对铸铁来说约为650℃,对炉底、炉缸碳砖的热面来说为1100℃,对铜壁来说只有230℃。

在掌握水处理技术的基础上(使用不结垢、无腐蚀的冷却水),人们自然把目光集中在铜冷却壁的使用。目前世界铜壁高炉迅速增加到30座以上,铜壁在高炉上由只用两带增加到3~4带。铜壁安全吗?怎么制造?用什么材料?铜壁合算吗?按我们的研究和制造经验作如下的分析。

## 一 铜冷却壁的传热学分析

冷却壁的传热学分析方法和模型,我们已多次介绍[2][3][4],不再详述。我们用以计算分析的铜壁由北京钢铁设计研究总院设计。本体总厚度135mm,镶砖厚度35mm,镶砖面积50%。分析结果见图1,即在不同的炉内气流温度下(实际也是高炉的不同部位),在铜壁热面裸露于气流中时,热面的最高温度和穿过热面的热

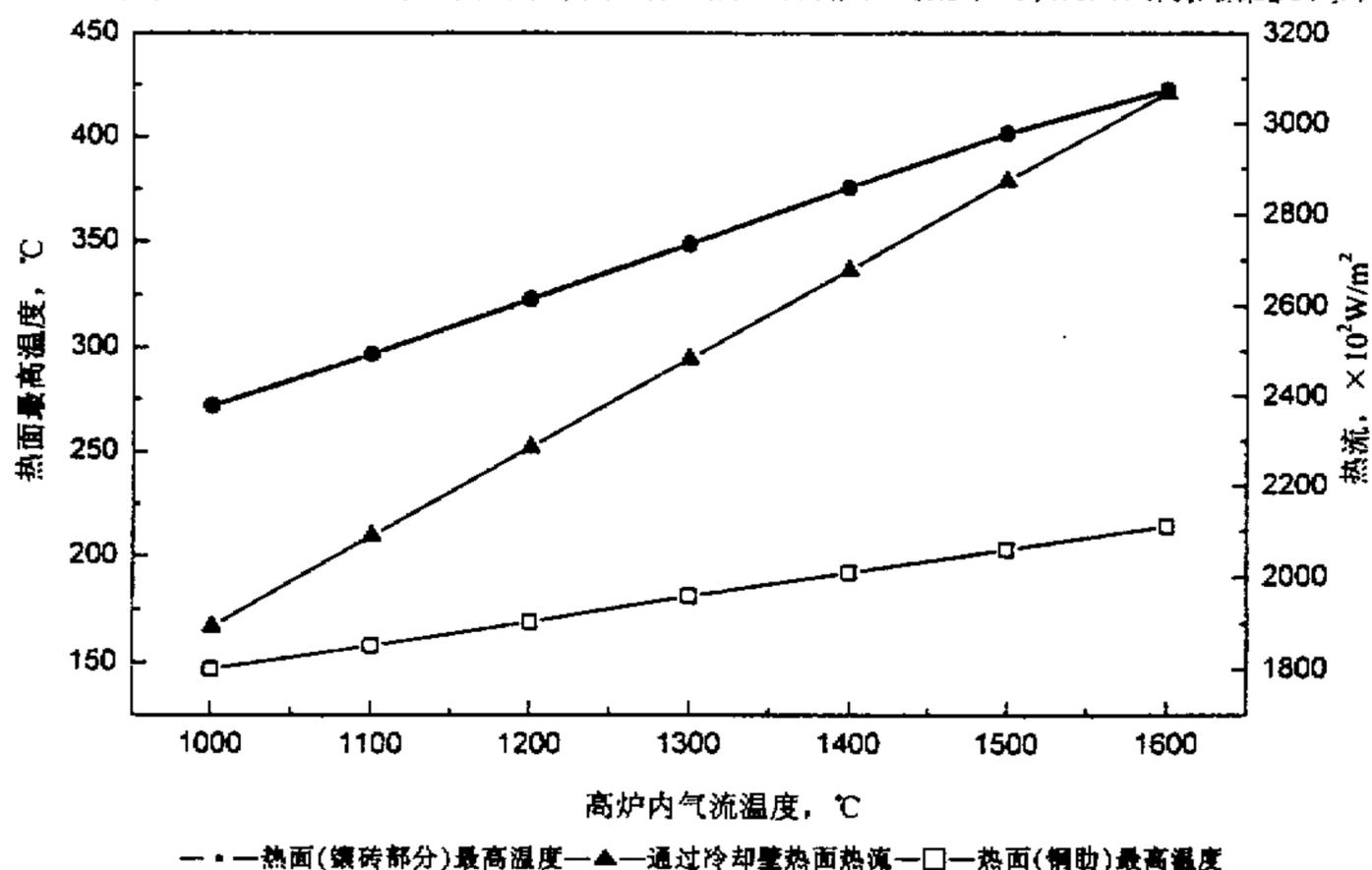


图1 在铜壁裸露时,高炉内气流温度对铜壁热面温度和热流的影响

流。图 2 是铜壁上凝有 10 mm 渣皮时热面最高温度和热流。图 3 则是冷却水自铜壁带走的热量。

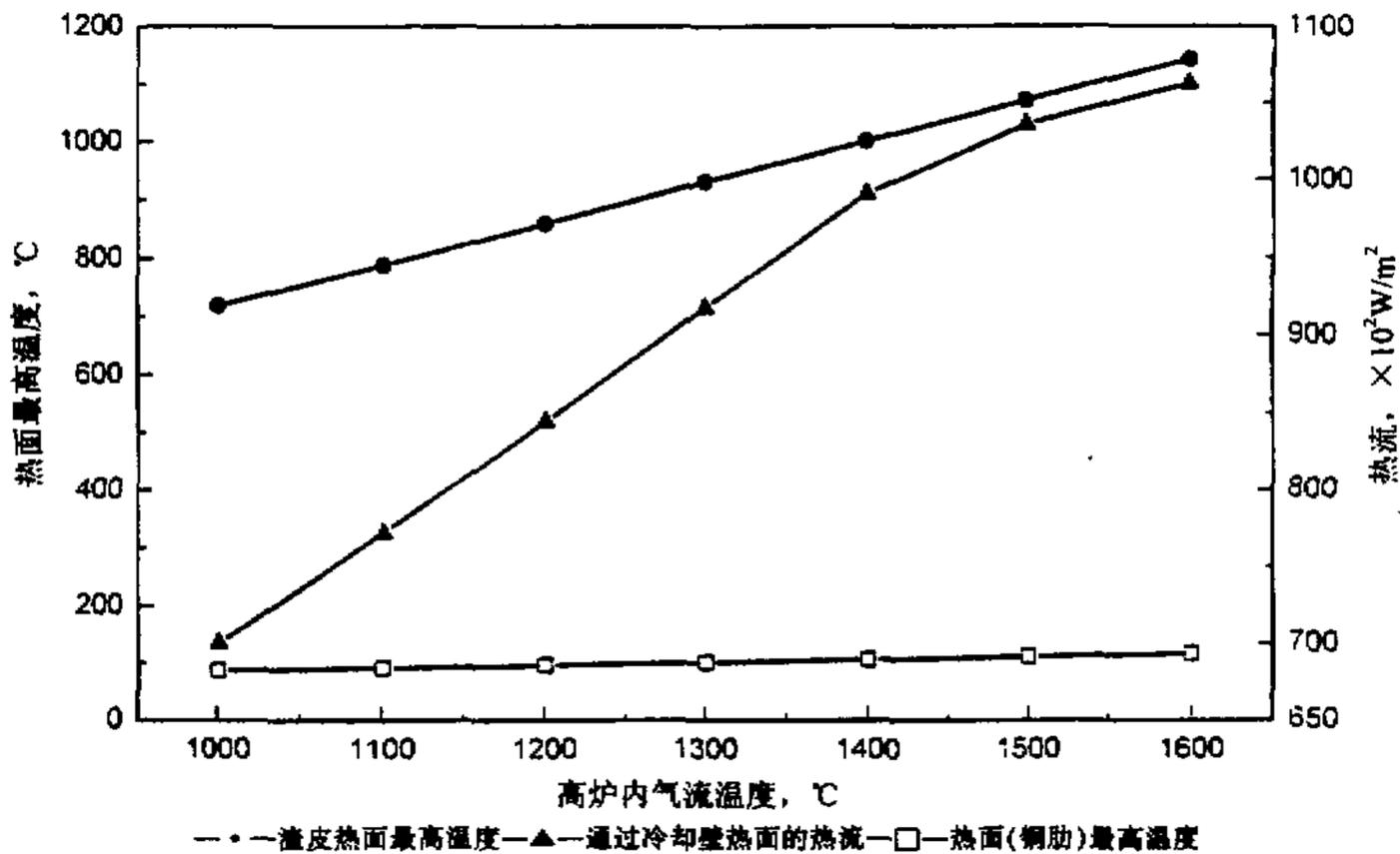


图 2 在铜壁热面上凝有 10mm 渣皮时, 高炉内气流温度对铜壁热面温度和热流的影响

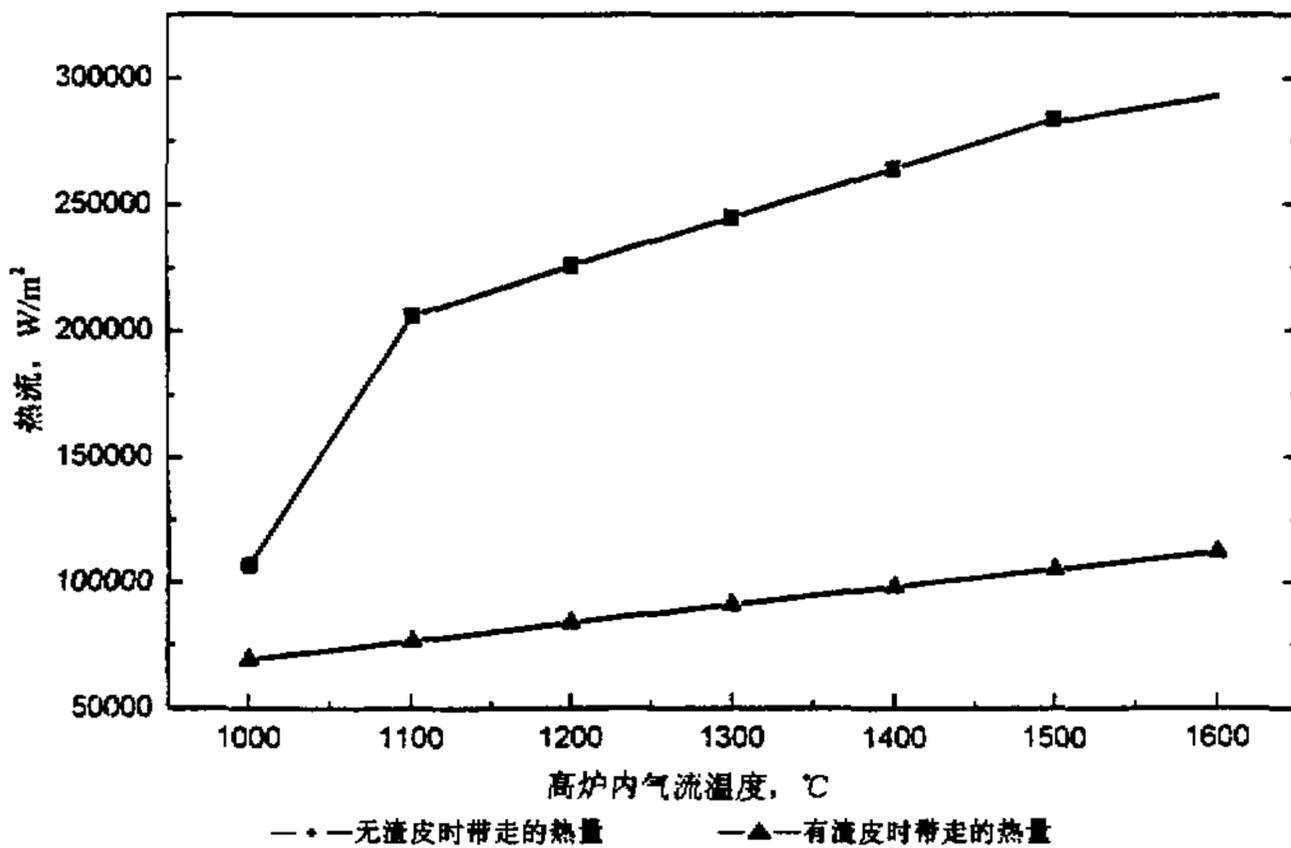


图 3 高炉冷却水带走热量

基于以上的计算结果, 结论十分明确:

- (1) 在铜壁裸露时, 其热面可承受的热流高达  $240 \text{ kW/m}^2$ , 而热面温度还可保持在铜的极限工作温度  $230^\circ\text{C}$  以下。如果常规铸铁壁测得如此高的热流时, 则说明冷却壁本体已烧毁只剩钢管了。
- (2) 更实际说, 铜壁裸露的时间只会是极短的。在极限状态下铜壁热面总会凝有薄层渣皮(按 10 mm 计算), 于是它的热面温度将降到  $150^\circ\text{C}$  的水平, 热流只有上述的  $1/3$  ( $70 \sim 80 \text{ kW/m}^2$ ), 这是铜件更安全的工作温度。这样的热流水平也使操作人员放心, 即铜壁的冷却热损失并不太高, 和铸铁壁在同一数量级。以上计算结

果也和德国报导数据是一致的。

## 二 铜冷却壁的材质分析

先看纯铜的机械强度(图4)<sup>[5]</sup>。把纯铜的极限工作温度定在230~250℃,经常工作温度定在120~150℃是合理的。国外也是同样意见<sup>[6][7]</sup>。

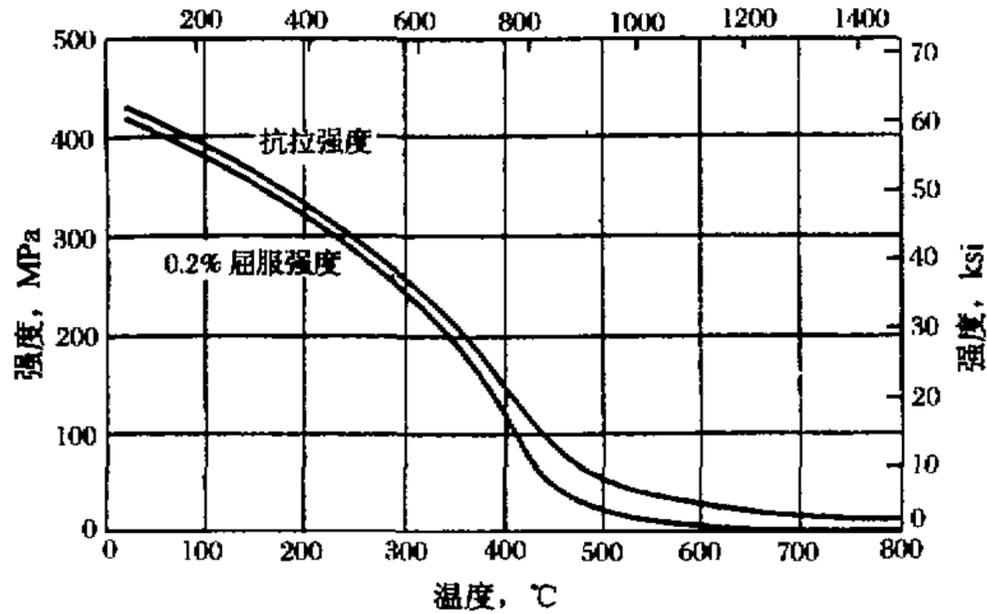


图4 不同温度下轧制铜板的机械强度

我国生产的纯铜板,按GB5231-85的TU2牌号,无氧铜(杂质总含量 $\leq 0.05\%$ )是可满足铜壁制造的。主要是它的P $< 0.03\%$ ,在240℃时导热系数达到370W/m·K以上。至于更高标准如TU1(杂质 $< 0.03\%$ )对冷却制造是不必要的。当然,考虑在热疲劳的条件下产生“氢脆”也可用其它牌号的国产纯铜,但不宜使用T2、T3和TP2。

生产控制化学成分的中心点是纯铜的磷含量,它和铜的导热性有如图5的关系。

关于纯铜的导热是不容易测的,作为日常生产控制可测其导电率(IACS%)它和导热系数的关系如图6,要求导电率IACS $\geq 75\%$ 。

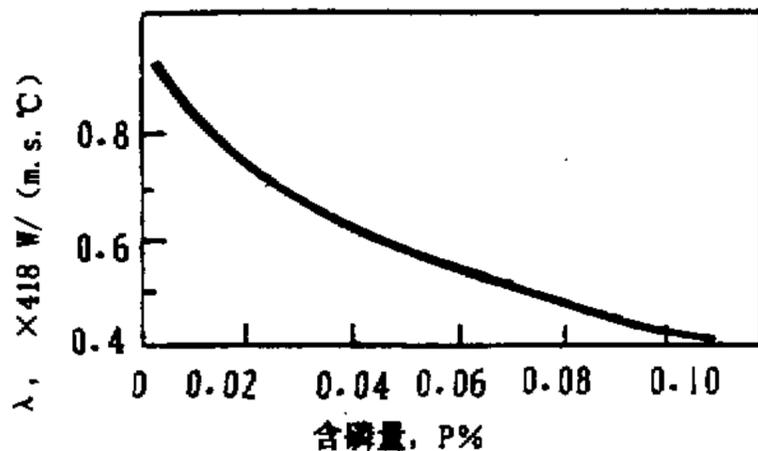


图5 20℃时纯铜中磷含量对导热系数的影响

加入合金一样,可以适当放宽导热性以获取机械性能的改善。

由研制和实际应用考虑,以上新的材质都可在第二、三期发展。当前还是以纯铜板制造较为成熟,成本也低。

## 三 冷却壁的制造工艺

铜冷却壁的制造工艺显然是可以多样的。第一类方法是在锻造的纯铜厚板上(镗)深孔,再焊上水管和外界连接。这是最初的做法,也是目前使用的绝对多数。我们起步也用这最成熟的办法。第一代产品(用于

首钢)的水流通道与基准面(热面)的不平行度已小于0.85mm,对于冷却壁是完全可行了。至于焊接技术在风口制造上已长期投入商业使用。图7是显示壁上有8个焊口的冷却壁全图。

第二类方法是使用芯棒,在类似连铸机的设备上铸出带孔的冷却壁主体。当然,芯棒可以是椭圆断面,这在传热学性能上又会有提高。从开始开发阶段,这办法似乎麻烦了一点,而必要性并不大。可是由发展看,有利于大量生产。

第三类方法是如前所述即铸铜件内铸铜管或铜镍合金管,这同样是可开发的工艺。当然,铸铜可能会比锻造有较多的质量缺陷,但例如可用压铸等办法提高铸铜件的密度。

后两类方法是可以分别到第二、三期开发。

#### 四 极限温度的自动保护

我们也必需承认我国现行高炉操作的不规范性。因而可能产生边缘气流的过分发展造成铜壁过热的可能性。在我们生产的铜壁上可以加装有效的过热报警,也可自动去提高布料流槽的角度,从而极迅速不受人为因素的影响去抑制冷却壁过热,给高炉长寿一个极限保护。当然,敏感元件只能是“焊”在壁体上,而不是“塞”在壁体上的。这个系统已开发成功。

#### 五 铜壁成本

一吨铜壁比一吨铸铁壁贵。这是人们讨论铜壁的最直接的考虑。实际上应该考虑我们有用的是多少平方米冷却壁,而不是多少吨冷却壁。实际上,一吨铜壁的面积比常规铸铁壁至少大一倍,于是铜壁就相对便宜了。估计我们铜壁的制造成本应当在6.5-7.0万元/吨上下。如鞍钢大高炉用两带日式宝钢产铸铁冷却壁或铜壁,则价格几乎相近。何况铜壁的这笔投资比耐材投资对高炉长寿的利益就大多了。

#### 六 结论

(1) 对铜壁的可靠性计算与国产化可行性研究业已完成,这是高炉长寿的关键技术。

(2) 开发铜壁的第一期工作,宜首先试制纯铜板孔,并焊接的冷却壁,即最成熟的技术。将来,二、三期开发可试用不同的材质和制造工艺,如合金铜材和铸造工艺。

(3) 我国TU2牌号(GB5231-85)纯铜或类似的含P≤0.03%的纯铜板是目前适用的国产化材料。

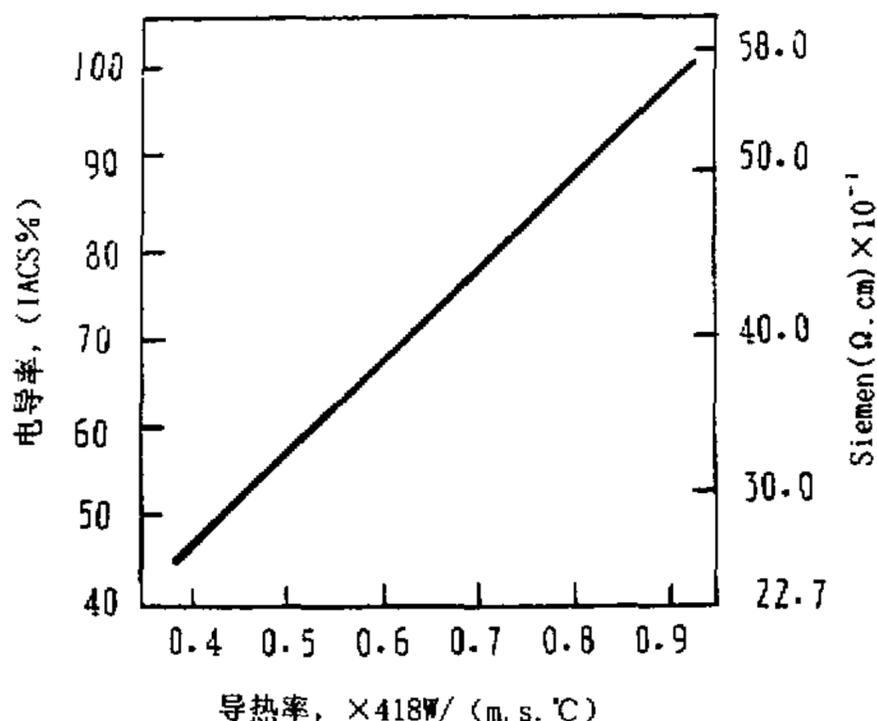


图6 室温时纯铜导电和导热的关系

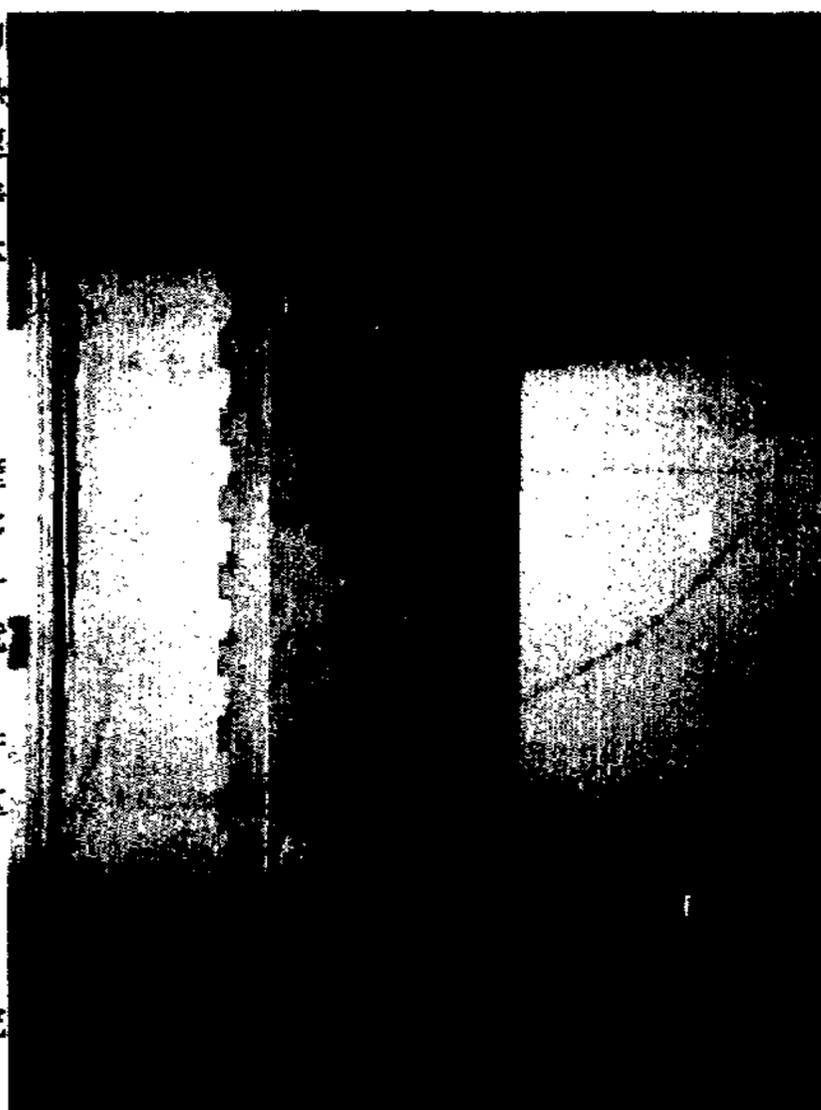


图7 汕头华兴厂制造的铜冷却壁

# 新型冷却壁的设计研究与应用

张福明 黄晋 徐辉

(首钢总公司)

**摘要** 本文对铜冷却板和铸铁冷却壁进行了分析评述。讨论了铸铁冷却壁存在的技术缺陷,介绍了铜冷却壁设计研制及应用实践。

**关键词** 高炉 长寿<sup>\*</sup> 设计<sup>^</sup> 铜冷却壁

## 1 前言

随着高炉炼铁技术进步,高炉正向大型化、高效化、现代化、长寿化方向发展,当前世界各主要产钢国都在竞相延长高炉寿命。到90年代末,日本和欧美等国的高炉寿命已达到或超过10~15年。我国高炉一代寿命也正向10年迈进,近年又有了新的突破。实践表明,高炉易损区域主要有两个,一是炉缸、炉底;二是炉腹至炉身下部。纵观近年国内外高炉长寿技术的发展历程,由于高炉炉缸炉底结构设计、耐火材料和冷却系统的不断改进和完善,影响高炉寿命的关键部位已集中到高炉炉腹至炉身下部区域。如何延长高炉炉腹至炉身下部区域的寿命,已成为国内外炼铁工作者关注的技术热点。

## 2 高炉冷却器的技术评价

高炉长寿技术的设计是高炉长寿的前提。长寿高炉设计的技术思想应是:①改善冷却介质,采用软水(纯水)密闭循环冷却系统;②采用新型高效冷却器;③采用优质耐火材料。这是高炉长寿的必要条件,当然,高质

---

## 七 致谢

这一项目在工作中得到国家冶金工业局的支持和北京钢铁设计总院王泽、全强、杨为国等同志的大力帮助,特此致谢。

## 八 文献

- [1] 杨天钧等,长寿高炉趋议,炼铁专业委员会论文集,1999年6月宜昌,P4
- [2] 程素森,炼铁专业委员会论文集,1999年6月宜昌,P268
- [3] 杨天钧、程素森、吴启常,面向二十一世纪长寿高效高炉,钢铁,1999,84(增刊)
- [4] 程素森,长寿高效高炉综合技术,北京科技大学博士后出站报告,1998,3
- [5] 赵祖德,铜及铜合金手册,科学出版社,1993
- [6] Robert G.H., Iron and steel Engineer, 1999, No8, P30-34
- [7] 伊藤史生,铁と钢,1992, No7 P225-232

---

联系人:张福明,男,北京(100043)首钢设计院炼铁室主任,高级工程师,电话:(010)68292003 传真:(010)68295389