

倒 T 形脱硫喷枪使用过程温度场数值模拟研究

李明晖^{1,2}, 李亚伟¹, 蒋扬虎², 欧阳德刚², 罗会信¹, 吴杰², 尚海涛¹, 朱善合², 罗巍²

(1. 武汉科技大学耐火材料与高温陶瓷国家重点实验室培育基地, 湖北 武汉 430081; 2. 武汉钢铁(集团)公司研究院, 湖北 武汉 430080)

摘要:利用 ANSYS 等有限元分析软件对倒 T 形脱硫喷枪 5 次脱硫循环过程中的温度场进行了数值模拟研究, 探讨了喷枪潜入铁液段截面上温度分布和变化规律, 为喷枪热应力分析奠定了基础。结果表明, 脱硫喷枪整体温度随着喷枪使用次数的增加不断上升并逐渐趋于稳定; 喷枪外层耐火材料温度变化剧烈, 而内层耐火材料的温度变化则较为平缓, 并相对于外层耐火材料在时间上有一定延迟; 喷吹过程中, 喷枪径向温度梯度较大, 周向温度分布随距加强筋距离的增大而逐渐升高; 而自然冷却过程中, 喷枪径向最高温度出现在耐火材料中层, 周向温度分布基本无差别。

关键词:脱硫喷枪; 有限元; 耐火材料; 温度场; 数值模拟

中图分类号: TG243 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8365(2011)08-1158-04

Numerical Simulation on Temperature Field of T Shaped Injection Lance for Liquid Iron Desulphurization

LI Ming-hui^{1,2}, LI Ya-wei¹, JIANG Yang-hu², OUYANG De-gang²,

LUO Hui-xin¹, WU Jie², SHANG Hai-tao¹, ZHU Shan-he², LUO Wei²

(1. Base of National Key Lab. of Refractory Material and High Temp. Ceramic, Wuhan Science and Technical University, Wuhan 430081, China; 2. Institute of Wuhan Steel and Iron Work(Group) Co., Wuhan 430080, China)

Abstract: The temperature field of T shape injection lance for liquid iron desulphurization in 5 working circles was analyzed by ANSYS FEM software. And the law of temperature distribution on the lance section was also discussed in this paper which laid a good foundation for the research on thermal stress field of injection lance. The results showed that: (1) With the increasing of used times, the temperature of whole lance rises and shows a tendency toward stabilization; (2) The temperature of lance outer refractories changes more intensely and drastically than the inner refractories; (3) When the lance is under injecting condition, temperature gradient in radial direction is large and in circumference direction, the temperature rise gradually with the distance from ribs; (4) When the lance is under natural cooling condition, the peak of temperatures in radial direction appears on the middle of lance refractories and in circumference direction, the temperature gradient is very small.

Key words: Injection lance; FEM; Refractory; Temperature field; Numerical simulation

脱硫喷枪是由金属枪芯和耐火材料枪衬组成的复合体, 其作用是利用高压氮气将脱硫剂导入熔融铁液之中进行脱硫, 因此脱硫喷枪是铁液预处理的关键设备^[1-3]。作为一种间歇式喷吹工具, 脱硫喷枪在实际使用过程中因温度变化剧烈常常出现枪衬剥落、纵裂纹烧穿等恶劣的热应力破损形式, 直至喷枪无法正常

使用^[2]。由此可见, 研究脱硫喷枪在使用过程中枪体温度变化, 对探讨喷枪破损机理具有重要意义^[4-6]。本文按照普遍使用的倒 T 形脱硫喷枪结构形式^[3] (如图 1 所示), 建立了脱硫喷枪三维瞬态温度场模型, 借助 ANSYS 等有限元分析软件, 研究了喷枪 5 次脱硫循环过程中的温度变化过程, 探讨喷枪截面上温度分布和变化规律, 为喷枪热应力分析奠定了基础。

收稿日期: 2011-03-11; 修订日期: 2011-04-15

作者简介: 李明晖(1983-), 河南安阳人, 硕士生。研究方向: 铸工材料。

Email: goodminghui@163.com

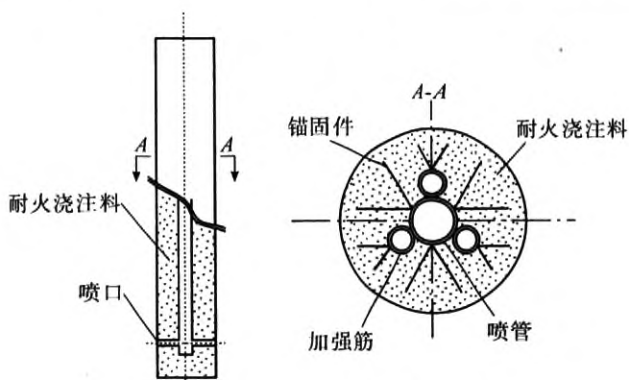


图 1 倒 T 形脱硫喷枪简图

Fig. 1 Scheme of T shape injection lance

1 传热数学模型

脱硫喷枪使用过程中的温度场均随时间变化,故脱硫喷枪的热分析属于瞬态热分析,其遵循的热传导微分方程如下^[7-9]:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c\rho} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{Q}{c\rho} \quad (1)$$

式中 x, y, z ——系统的坐标, m;

λ ——材料的热传导系数, W/(m·K);

ρ ——材料的密度, kg/m³;

c ——材料比热, J/(kg·K);

Q ——内热源生成的热量, J;

T ——所求温度函数, K;

τ ——时间, s.

根据脱硫喷枪的实际工作状况,枪身的温度场分布除由(1)式确定外,还要符合下列两类边界条件:

第一类边界条件:

$$T(x, y)|_{\Gamma} = t(x, y) \quad (2)$$

第三类边界条件:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} |_{\Gamma} = h(T - T_i) |_{\Gamma} \quad (3)$$

式中 Γ ——物体边界;

$t(x, y)$ ——已知温度函数, K;

h ——表面传热系数, W/(m²·K);

T_i ——流体介质温度, K.

2 有限元模型的建立

2.1 有限元模型

以喷枪整体(含枪衬、锚固件、加强筋与喷管等)为研究对象,建立温度场分析模型,并进行了相应的模型简化:①倒 T 形脱硫喷枪为对称结构,仅对其 1/2 部分进行建模;②锚固件长径比极大和数量众多,将其简化为一维单元进行建模。常规倒 T 形脱硫喷枪的温度场有限元模型如图 2。

2.2 边界条件的确定

脱硫喷枪完成一次脱硫循环,可以分为潜入铁液



图 2 倒 T 形脱硫喷枪整体有限元模型

Fig. 2 The FEM model of whole T shape injection lance

喷吹脱硫和提枪自然冷却两个阶段(本文计算时两个阶段时间均为 30 min)。喷吹脱硫时,喷枪潜入段的枪衬外表面与铁液直接接触,可认为该部分枪衬表面的温度与铁液温度相同,求解时按第 1 类边界条件处理;枪衬铁液以上部分受铁液辐射和空气自然对流换热作用,计算时将辐射传热和对流换热折算成表面传热,按第 3 类边界条件考虑;喷管内壁与高速氮气粉剂进行强制对流换热,也按第 3 类边界条件处理。自然冷却时,枪衬外表面因高温向环境空气辐射传热的同时与空气自然对流换热,仍然将辐射传热和对流换热折算成表面传热,按第 3 类边界条件求解;喷管内壁与空气自然对流换热,也属于第 3 类边界条件。

2.3 材料热物性参数

通过测定实验获得了实际使用喷枪浇注料不同温度下的热物性参数如表 1 所示,金属材料的热物性参数参考相关文献获得^[9]。

表 1 脱硫喷枪材料热物性参数

Tab. 1 Material thermal physical parameters of desulphurization injection lance

	温度/℃	耐火材料枪衬	金属枪芯
密度/(kg/m ³)	25	2 520	7 840
比热容/(J/kg·K)	25	960	465
	300	0.623	42.0
导热系数/(W/m·K)	600	0.632	34.0
	800	0.751	29.0
	1 000	1.054	—

3 结果与讨论

喷枪潜入铁液段轴向换热条件基本相同,轴向温度差别较小^[10],所以重点讨论喷枪潜入铁液段截面的温度分布和变化规律。倒 T 形脱硫喷枪 5 次脱硫循环过程中的典型截面(距喷枪底部 500 mm)的温度场分布如图 3 所示。由图 3 可知,随着喷枪使用次数的增加,喷枪整体温度不断上升;喷吹过程中,喷枪径向温度梯度较大,但随着喷枪使用次数的增加温度梯度逐渐缩小;自然冷却过程中,由于外层耐火材料自然冷却剧烈,最高温度出现在耐火材料中层。

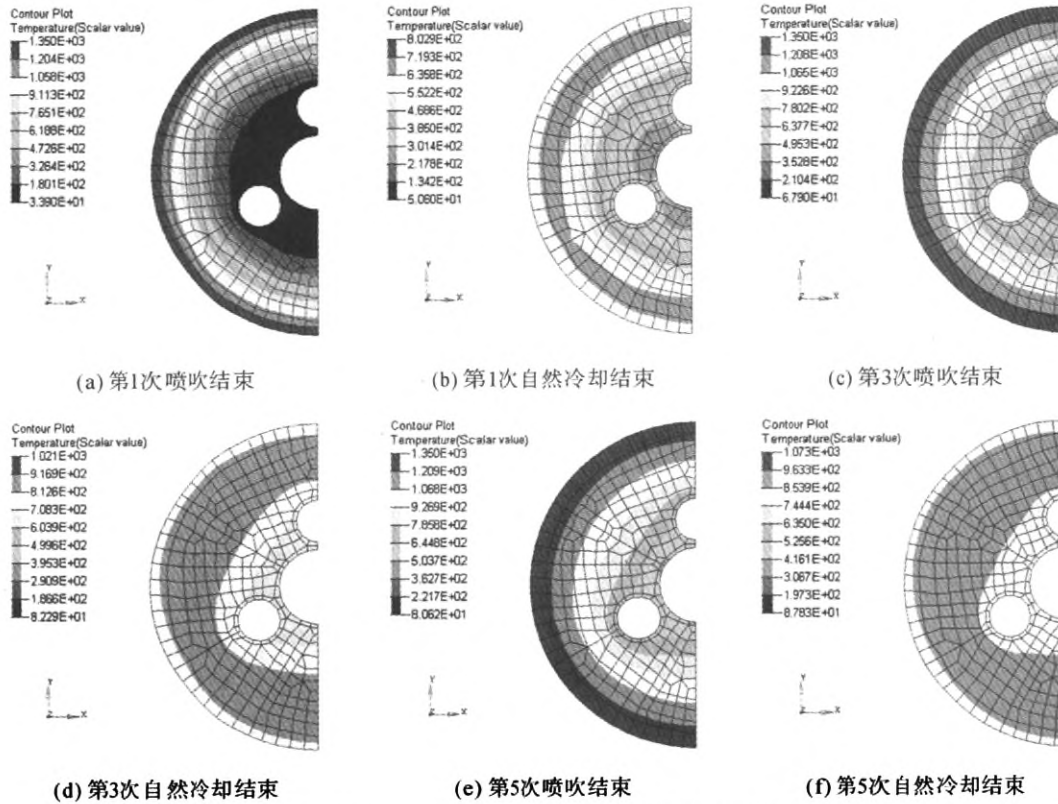


图3 倒T形脱硫喷枪5次脱硫循环过程截面温度场云图

Fig. 3 The Section temperature fields of T shape injection lance during 5 times of desulphurization circling

为了进一步研究脱硫喷枪在使用过程中温度场的变化规律,选取常规倒T形脱硫喷枪典型截面上9个点作为关键点,进行喷枪温度变化规律分析研究。选取的关键点如图4所示,各关键点温度随时间变化曲线如图5、6所示。

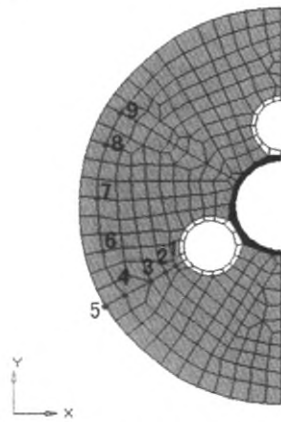


图4 喷枪截面关键点选取示意图

Fig. 4 Locations of key points on the test section

由喷枪各关键点温度随时间变化曲线可知:①在喷枪径向上,喷吹过程中外层耐火材料被铁液快速加热,而枪芯喷管内氮气粉剂则以对流冷却方式对内层耐火材料进行冷却,导致喷枪截面径向温度分布差距较大;但随着喷枪使用次数的增加,径向温度梯度逐步缩小;同时,喷吹和冷却过程中喷枪外层耐火材料直接

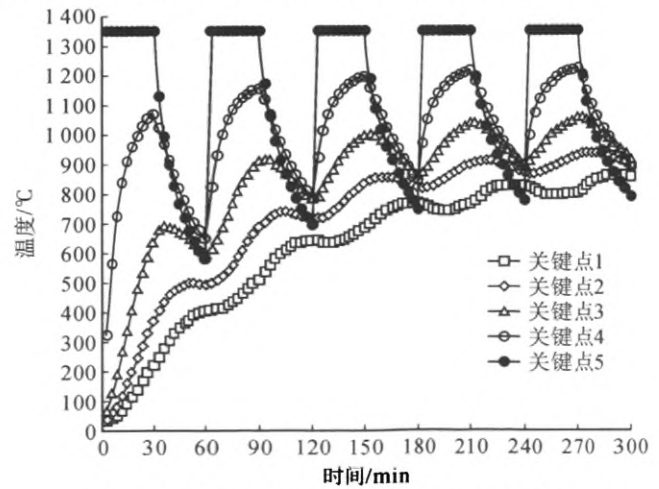


图5 喷枪径向关键点温度随时间变化曲线

Fig. 5 Temperature vs. time curve at key points along radial direction

与高温铁液和空气接触,其温度变化最为剧烈,喷枪第1次工作循环中外层耐火材料温差变化为771.6℃,随着喷枪使用次数增加温差变化逐步缩小,并趋于稳定,第5次使用过程中温差为562.1℃;由于耐火材料导热热阻的作用,喷枪内层耐火材料的温度变化较为平缓,并相对于外层耐火材料在时间上有一定延迟;越靠近内部,延迟时间越长;②在喷枪周向上,各关键点温度变化规律基本一致,整体温度随喷枪使用次数增加而逐渐增大;由于耐火材料的导热系数比金属枪芯

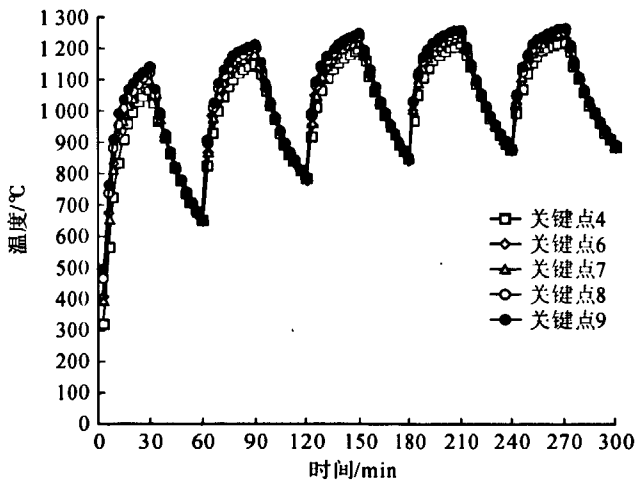


图6 喷枪周向关键点温度随时间变化曲线

Fig. 6 Temperature vs. time curve at key points along circumference direction

小,喷吹过程中喷管径向延长线上耐火材料较厚,氮气粉剂与喷管的强制对流换热对其影响较小,所以喷管径向延长线上关键点9温度最高,并沿周向方向依次降低,最低温度出现在加强筋径向延长线上关键点4;自然冷却过程中,由于外部空气冷却占主导作用,故外层耐火材料周向方向上温度分布基本无差别。

4 结论

(1) 脱硫喷枪整体温度随着喷枪使用次数的增加不断上升,使用5次后其整体温度基本趋于稳定,表明此时喷枪温度变化进入“准稳态”,热应力分析重点应放在喷枪使用初期。

(2) 喷枪外层耐火材料在喷枪第1次工作循环中温度差值达771.6℃,之后逐步缩小;内层耐火材料的温度变化较为平缓,并相对于外层耐火材料在时间上有一定延迟。

(3) 喷吹过程中,在径向方向上,喷枪截面温度梯度较大,但随着喷枪使用次数的增加径向温度梯度逐渐缩小;在周向方向上,随着距加强筋距离的增加耐火材料温度逐渐升高,实际生产中可以通过改善加强筋的布置形式,降低周向温度梯度,优化喷枪热应力分布。

(4) 自然冷却过程中,在径向方向上,喷枪截面最高温度出现在耐火材料中层;在周向方向上,温度分布基本无差别。

参考文献

[1] 杨天均,高征凯,刘述临,等.铁水炉外脱硫的新进展[J].钢铁,1991,(1),11-14.

[2] 欧阳德刚,胡铁山,周明石.倒T形脱硫喷枪破损原因与提高枪龄的实践[J].武钢技术,2004,43(6):45-49.
 [3] 欧阳德刚,胡铁山,周明石.倒T形脱硫喷枪的技术现状与发展趋势[J].武钢技术,2004,42(1):58-62.
 [4] 廖建国译.铁水和钢水处理用喷管的使用条件及损毁机理[J].国外耐火材料,2002,27(2):27-31.
 [5] 陈峰军,李成刚,王学林,等.脱硫喷枪温度场动态仿真[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2003,27(3):364-366.
 [6] 李江.脱硫喷枪用莫来石质浇注料及使用条件下的热应力研究[D].武汉:武汉科技大学,2004.
 [7] 杨世铭,陶文铨.传热学(第三版)[M].北京:高等教育出版社,1998.
 [8] 邵红艳.结构温度场和温度应力场分析[D].西安:西北工业大学,2001.
 [9] 张国智,胡仁喜,陈继刚,等.ANSYS10.0热力学有限元分析[M].北京:机械工业出版社,2007.
 [10] 欧阳德刚,胡铁山,胡清明,等.延缓倒T形脱硫喷枪纵裂纹破损的研究[J].炼钢,2006,22(2):50-52.

书

讯

《消失模铸造生产及应用实例》

章舟 编著

化学工业出版社 2007年6月出版

全书分6章:1.消失模铸造技术概述,2.消失模铸造白区生产技术,3.消失模铸造黑区生产技术,4.消失模铸造缺陷及防止,5.消失模铸件生产工艺应用实例,6.消失模铸造生产其它注意问题。32开本,212页,19.3万字,定价19元,邮购价25元。

邮购地址:浙江杭州文二路60号235室

邮编:310012

联系人:章舟

电话:0571-88062120

联系方式:杭州市西湖区学林科技开发服务部

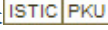
开户行:建行杭州高新开发区支行

账号:33001616735053011237

倒T形脱硫喷枪使用过程中温度场数值模拟研究

作者: 李明晖, 李亚伟, 蒋扬虎, 欧阳德刚, 罗会信, 吴杰, 尚海涛, 朱善合, 罗巍, LI Ming-hui, LI Ya-wei, JIANG Yang-hu, OUYANG De-gang, LUO Hui-xin, WU Jie, SHANG Hai-tao, ZHU Shan-he, LUO Wei

作者单位: 李明晖, LI Ming-hui (武汉科技大学耐火材料与高温陶瓷国家重点实验室培育基地, 湖北武汉430081; 武汉钢铁(集团)公司研究院, 湖北武汉430080), 李亚伟, 罗会信, 尚海涛, LI Ya-wei, LUO Hui-xin, SHANG Hai-tao (武汉科技大学耐火材料与高温陶瓷国家重点实验室培育基地, 湖北武汉, 430081), 蒋扬虎, 欧阳德刚, 吴杰, 朱善合, 罗巍, JIANG Yang-hu, OUYANG De-gang, WU Jie, ZHU Shan-he, LUO Wei (武汉钢铁(集团)公司研究院, 湖北武汉, 430080)

刊名: 铸造技术 

英文刊名: Foundry Technology

年, 卷(期): 2011, 32(8)

参考文献(10条)

1. 杨天均; 高征凯; 刘述临 铁水炉外脱硫的新进展[期刊论文]-钢铁 1991(01)
2. 欧阳德刚; 胡铁山; 周明石 倒T形脱硫喷枪破损原因与提高枪龄的实践[期刊论文]-武钢技术 2004(06)
3. 欧阳德刚; 胡铁山; 周明石 倒T形脱硫喷枪的技术现状与发展趋势[期刊论文]-武钢技术 2004(01)
4. 廖建国 铁水和钢水处理用喷管的使用条件及损毁机理[期刊论文]-国外耐火材料 2002(02)
5. 陈峰军; 李成刚; 王学林 脱硫喷枪温度场动态仿真[期刊论文]-武汉理工大学学报(交通科学与工程版) 2003(03)
6. 李江 脱硫喷枪用莫来石质浇注料及使用条件下的热应力研究 2004
7. 杨世铭; 陶文铨 传热学(第三版) 1998
8. 邵红艳 结构温度场和温度应力场分析[学位论文] 2001
9. 张国智; 胡仁喜; 陈继刚 ANSYS10.0热力学有限元分析 2007
10. 欧阳德刚; 胡铁山; 胡清明 延缓倒T形脱硫喷枪纵裂纹破损的研究[期刊论文]-炼钢 2006(02)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zzjs201108031.aspx