

DOI: 10.3969/j.issn.1000-6826.2013.03.015

适应高风温热风炉的关键设备

——节能节水长寿型热风阀

Study on energy-saving water-saving long-life hot blast valve that applied to high blast temperature hot stove

供稿|杨树新, 孟翠娥/YANG Shu-xin, MENG Cui-e

内容导读

提高热风炉送风温度是提高高炉产量的有效措施之一。热风阀是热风炉送风管系统的关键设备, 节能节水长寿命的热风阀是安全、高效、不间断地将热风炉输出的热风送往高炉的有力保证。文章对影响热风阀耐高温、长寿命、节能的各项因素进行了详尽的分析介绍, 并根据分析结果对阀门的选材、结构等提出改进设计, 使秦冶热风阀耐高温、长寿命、节能效果更显著。

秦皇岛秦冶重工有限公司从2001年开始节能型热风阀的研制, 并于2006年形成标准系列, 编入行业标准YB/T 4072—2007中, 并于2008年获得实用新型专利。秦冶节能型热风阀早在小高炉上应用, 如淮钢5#、6#高炉680 m³高炉、凌钢450 m³高炉, 并推广于首钢京唐5500 m³、首钢迁钢4000 m³、张家港华盛5800 m³、安钢4000 m³、太钢4350 m³等国内大型高炉, 并出口到韩国, 应用在浦项、现代5000 m³等大型高炉上。

秦冶公司致力于冶金行业, 在国内技术领先的基础上, 力求赶超国际一流水平。

跟踪德国德恩杰产品和秦冶公司产品的使用现状, 并进行现场测试调研, 将国内节能热风阀产品

与德恩杰节能热风阀在结构、选材、节能方面进行了比较。本文对影响热风阀耐高温、长寿命、节能的各项因素进行了详尽的分析介绍, 并根据分析结果对秦冶阀门的选材、结构等提出了改进设计。

阀门损坏现象

在高炉炼铁中, 所有送往高炉的热风都要经过热风阀。在热风炉送风期, 热风阀打开, 在热风炉燃烧期, 热风阀关闭, 使热风炉和热风管道路隔离。阀门长期承受热对流、热辐射, 温度高达1200℃~1450℃, 是高炉设备中工作环境最恶劣的设备之一。超高的温度使得阀门必须通过冷却才能正常工作。

作者单位: 秦皇岛秦冶重工有限公司, 河北 秦皇岛 066318

阀门在开启初期,热风流通面积狭小,热风流速增高,阀板热负荷加大。

阀门在全开状态下,阀板下部长期受热风涡流扫掠,被吹扫出细微沟痕,逐渐产生微观裂纹,裂纹迁延直至漏水,如图1和图2。

阀板漏水,阀体内耐火涂料受潮大片脱落,阀体接着也发生破坏。



图1 阀板下部吹扫出的裂纹

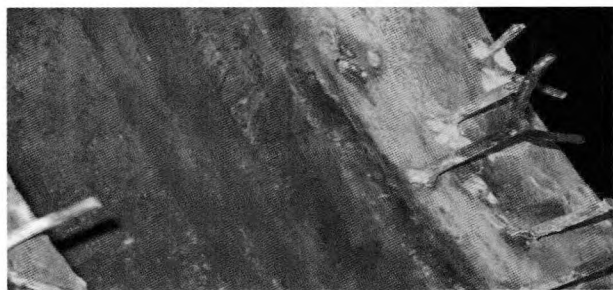


图2 阀体裂纹

研究分析

► 材料的破坏机理

利用秦冶公司为研究不同材料和防护方式的耐热疲劳性而自主设计研制的材料热疲劳试验机,对材料破坏过程进行了大量测试和研究,分析结果表明:材料在送风期和燃烧期转换时引起的低周波热应力循环导致疲劳;钢材在高温空气中氧化失效,材料本身的抗氧化性、热强性有重要的影响。

► 阀门温度场、应力场

采用三维软件仿真设计、施加等同工况的边界条件,对其温度场、应力场作有限元分析。分析结果表明:阀板钢板的最高温度出现在外水环的两侧

(图3和图4);最大应力同样出现在阀板外水环两侧(图5和图6)。

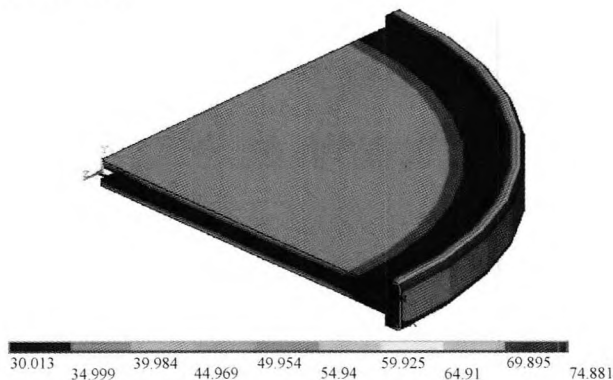


图3 阀板总体温度分布(单位: °C)

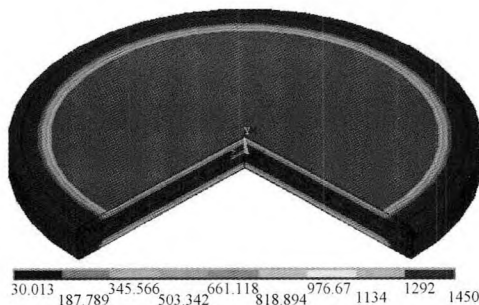


图4 阀板钢板温度分布(单位: °C)

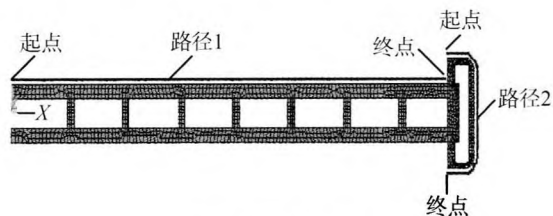


图5 路径示意图

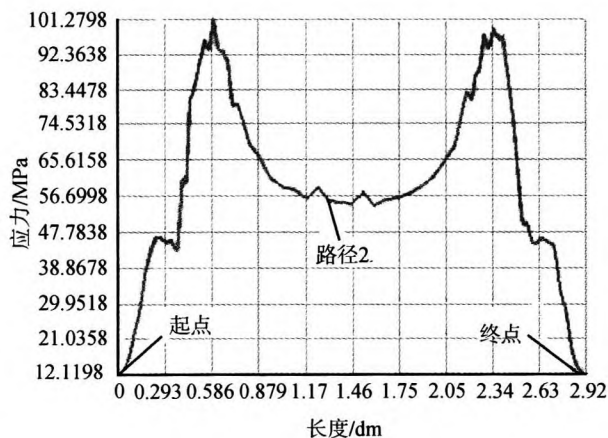


图6 阀板外水环表面沿轴向热应力分布

➤ 锚固钉受热

采用三维软件给阀板（有绝热材料层）施加1450℃温度载荷（图7），对锚固钉的受热进行加载分析（图8），锚固钉的最高温度达857℃。

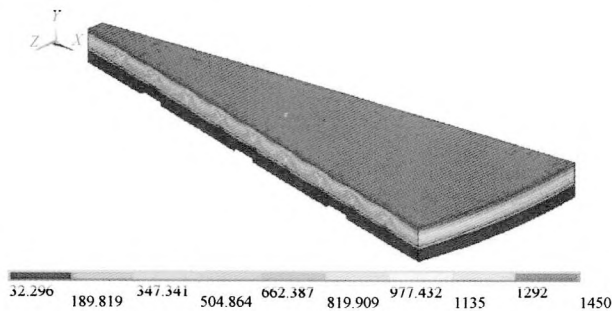


图7 阀板整体温度场(单位:℃)

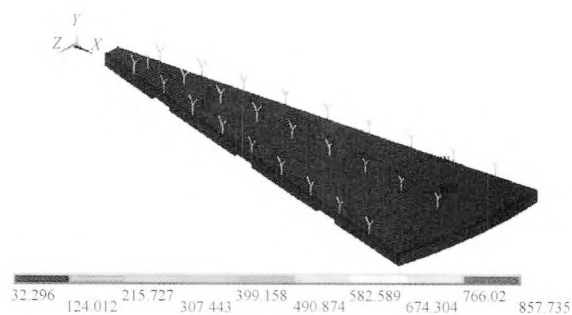


图8 铆固钉的温度场(单位:℃)

➤ 阀门热风通道结构

对比管道有无变径的热风速度分布（图9和图10），采用流场分析可知，管道变径的存在有利于减小阀板下沿的气体涡流强度，进而也就减小了热风对阀板和内侧板的冲刷侵蚀，延长阀门的使用寿命。

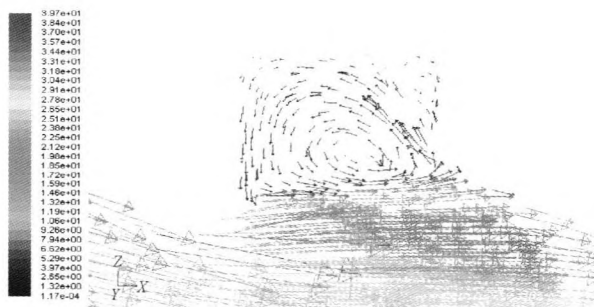
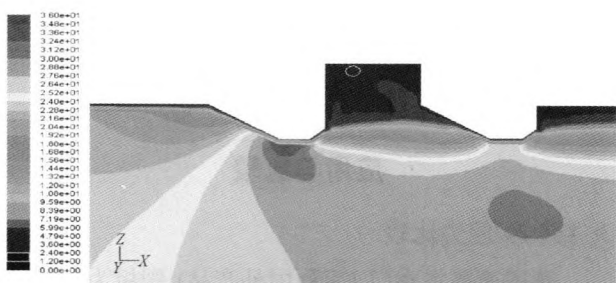


图9 热风通道有变径时速度分布

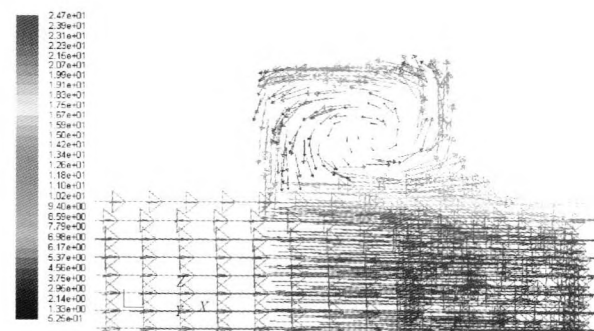
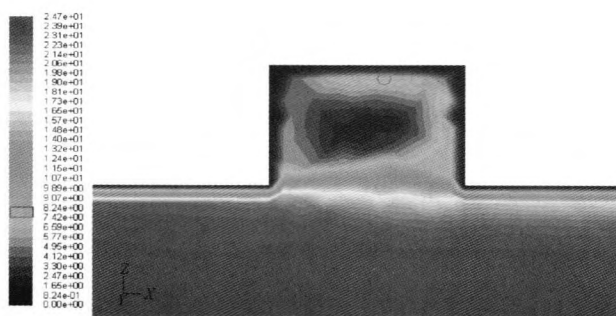


图10 热风通道无变径时速度分布

➤ 绝热材料对表面温度的影响

绝热材料的选用直接影响钢材的寿命和阀门表面温度（图11），即高隔热性能的绝热材料是阀门长寿和节能的保证。

产品设计

通过试验研究，对产品进行了相应的改进设计，使秦冶产品具有耐高温、长寿命、节能的特点，取得了长足的进步。

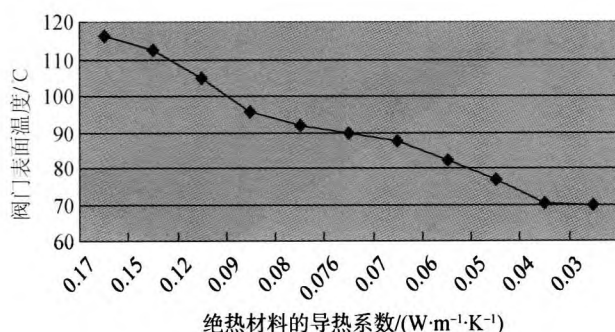


图11 阀门表面温度随绝热材料性能的变化

➤ 结构

采用大刚度、小水腔设计：保证冷却强度，减少冷却水带走的热量。

阀门内腔（除密封面外）捣固高强、轻质耐火衬，配合绝热材料，降低热负荷，达到节能效果。

热风通道设计成变径结构，减少热风对阀板下沿的冲刷(图12和图13)。



图12 被吹出沟痕的内侧板

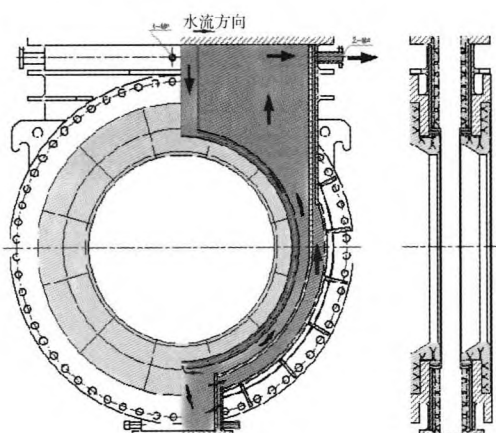


图13 阀门内腔全面保护

关键部位采用耐热合金钢整体压延成型，使接触热风部位无焊缝裸露，提高阀门耐热疲劳性能和抗高温氧化性能。

阀体风道上方的大侧板被热风产生的涡流长时间吹扫，容易产生径向裂纹。因此，在阀门内腔（除密封面外）捣固高阻热性的耐火材料，既可保护阀门内腔钢材，又可阻止热量向钢板的传递，减少热能损失。

➤ 材料

钢材的选择从三方面考虑：耐热疲劳性、抗氧化性和可焊性，关键部位采用低合金耐热钢锻件。

焊接材料选择与母材相匹配的焊材，等强度设计。

锚固钉材料选择耐高温合金材料。

隔热材料采用高性能耐高温材料组合使用（低水泥莫来石浇筑料+轻质莫来石浇筑料+绝热材料）。

耐火材料的耐火度1750℃，使用温度1450℃时寿命>15 a。

应用与比较

➤ 结构和应力比较

德国德恩杰阀门（简称国外产品）阀板为钻孔结构，冷却水道分布为方型，且阀板水圈分布在板芯两侧，有2道焊缝暴露在热风中（图14）。此结构阀板应力集中严重，对阀板冷却不均匀。阀板外水环表面中心的热应力最大，为458 MPa（图15），接近材料的强度极限，且这一应力周期性变化，在时间的效应下，将会使阀板边缘产生裂纹，影响密封效果。

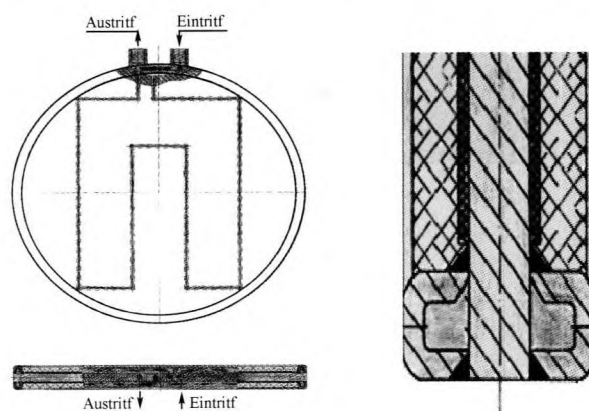


图14 国外阀板结构

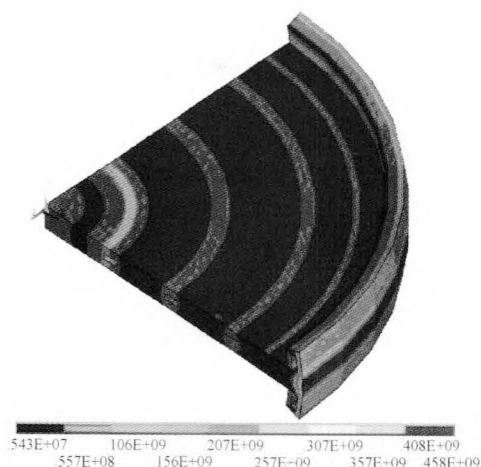


图15 国外阀板热应力场(单位:Pa)

秦冶阀板为螺旋式水道结构, 阀板外水圈为整体锻造结构, 无焊缝暴露在热风中(图16)。此结构阀板应力集中小, 冷却均匀, 阀板外水圈两侧热应力最大为115 MPa(图17), 远小于材料的强度极限。

由图18可知, 国外阀板外水环表面最高应力为458 MPa, 秦冶阀板为115 MPa, 应力情况明显优于国外阀板。

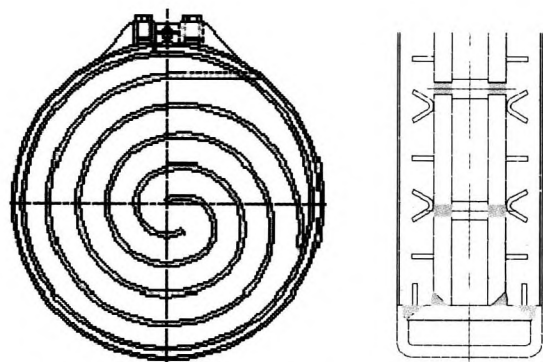


图16 秦冶阀板结构

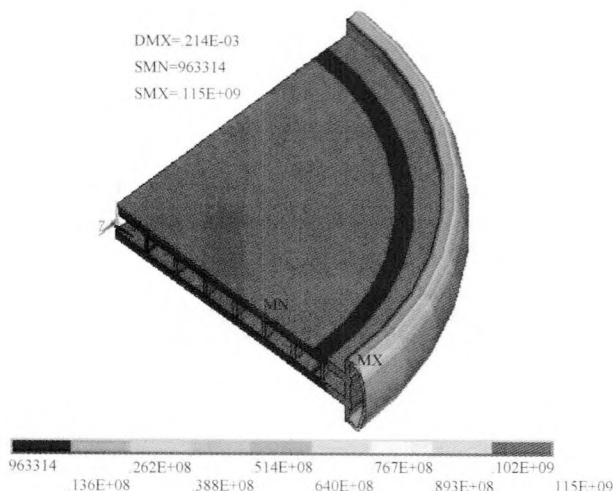


图17 秦冶阀板热应力场(单位:Pa)

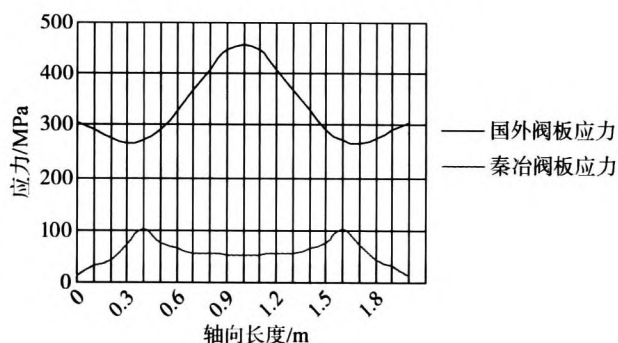


图18 阀板应力比较图

► 节能效果比较

表1为不同结构阀门在同一座高炉使用的实测数据。

(1) 冷却水带走的热量 Q_1 。根据公式计算得出表2所示结果。

(2) 阀门向大气散发的热量 Q_2 。根据 $\phi = \alpha_s(t_s - t_a) \cdot F$, 计算得出阀门表面在单位时间内散发的热量, 再计算出1 h内散失的热量, 见表3。

表1 不同结构阀门使用数据

阀门	阀板水量/ ($\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$)	阀体水量/ ($\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$)	进水温度/ $^{\circ}\text{C}$	阀板回水温度/ $^{\circ}\text{C}$	阀体回水温度/ $^{\circ}\text{C}$	阀体表面温度/ $^{\circ}\text{C}$	阀盖表面温度/ $^{\circ}\text{C}$	阀门状态
国内传统阀	48	100	39.7	41	41	41	41	燃烧
国内节能阀 (国内绝热材料)	34	56	39.7	41.6	40.15	104	116	燃烧
国外节能阀	12	64	39.7	47.2	39.95	65	75	燃烧

注: 热风温度1250 $^{\circ}\text{C}$, 冷却水压力0.63 MPa, 环境温度32 $^{\circ}\text{C}$ 。

表2 冷却水(1 h)带走的热量

阀门	$Q_{\text{散}}/\text{MJ}$	$Q_{\text{传}}/\text{MJ}$	Q_{V}/MJ
传统阀	260	542	802
国内节能阀(国内绝热材料)	270	105	375
国外节能阀	376	68	444

表3 阀门表面(1 h)散失的热量

阀门	$\alpha_1/(\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1})$	环境温度 $t_a/^\circ\text{C}$	阀门表面温度 $t_s/^\circ\text{C}$	$(t_s-t_a)/^\circ\text{C}$	Q_2/MJ
国内传统阀	2.43	32	41	9	2.3
国内节能阀(国内绝热材料)	34.6	32	110	78	384
国外节能阀	24.4	32	70	38	132

热风通过阀门的能量损失共有两部分,第一部分为冷却水带走的热量;第二部分为阀门表面向大气散发的热量。两部分能量损失之和 $Q_{\text{总}}$ 为:国内传统阀804.3 MJ,国内节能阀(国内绝热材料)759 MJ,国外节能阀576 MJ。热风通过阀门时的温度降 Δt 为:国内传统阀 1.75°C ,国

内节能阀(国内绝热材料) 1.65°C ,国外节能阀 1.256°C 。

(3) 提供冷却水所需电能比较。根据能量公式,在冷却水速度和提升高度相同的情况下,冷却水量的减少使得电能 E 减少,假定传统阀用电为1,节能阀节约的电能见表6。

表6 节约电能比较

阀门	冷却水量/($\text{t}\cdot\text{h}^{-1}$)	E	节约电能
国内传统阀	148	1	—
国内节能阀(国内绝热材料)	90	0.608	39.2%
国外节能阀	76	0.514	48.6%

节能阀的节能效果在于节省了电能。节能阀与传统阀相比,通过节省冷却水量减少的热能损失并不明显;试图以减少冷却水带走的热量来减少热风通过阀门时的风温降也不明显。相反,节能阀门表面温度高,给设备维护带来极大的不便。

对比国内节能阀和国外节能阀,差距在于阀门的表面温度。绝热材料的隔热性能决定了阀门的表面温度,而国内绝热材料的隔热性能还赶不上国外产品,有待于进一步改进。采用进口绝热材料后,国内节能阀达到了与国外节能阀同样的效果。

结束语

秦冶高温长寿节能热风阀产品,主要是在对热风阀的冷却、传热机理深刻认识的基础上,形成了较完整的理论体系,并且采用新型专用材料和新技术、新工艺使秦冶产品不但能够承受较高的风温,具有较长的寿命,而且具有显著的节能效果。

作者简介

杨树新(1962—),教授级高级工程师,主要从事技术开发工作。