

# 催化装置烟气管线阀门失效分析

贾涛, 陈旭, 高瑾, 李晓刚

北京科技大学 材料科学与工程学院, 腐蚀与防护中心, 北京 100083

**摘要:**重油催化装置烟气管线阀密封面磨损严重、发生内漏造成装置停工,通过分析阀座的化学成分、硬度、微观组织以及操作条件对阀门的影响,认为阀门失效的原因是:阀门结构设计不合理及烟气管线内流体夹带固体粉末在高温下的冲蚀先造成了阀座密封面磨损,导致阀门失效。

**关键词:**阀门;密封面;冲蚀;失效

中图分类号: TG172.9 文献标识码: A 文章编号: 1002-6495(2007)02-0148-03

## FAILURE ANALYSIS ON DISABLED SEAL OF CATALYST GAS OUTLET VALVE

JIA Tao, CHEN Xu, GAO Jin, LI Xiao-gang

Corrosion and Protection Center, Material Science and Engineering School, USTB, Beijing 100083

**Abstract:** The seal of catalyst gas outlet valve was abraded badly which resulted in shut-down maintenance. Chemical composition, hardness, and micro-appearance analysis were used to investigate the disabled valve seat, and operating condition which influenced the life of valve was also analyzed. Results indicated that structural design was unreasonable and the catalyst mingled with high temperature gas scoured the seal of valve seat, which caused the valve to failure.

**Keywords:** valve; seal; scour; failure

某石化重油催化车间三旋出口烟气管线阀门直径为300 mm,厂方提供资料显示阀门材料可能为Cr5Mo,工作温度为550℃~600℃,该阀通过介质为来自再生器顶部压力为0.2 MPa夹带有催化剂的烟气,烟气的主要成分是CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O,催化剂主要成分是Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>。虽然经三级旋风分离器后分离出其中的大部分催化剂,烟气中催化剂颗粒的含量仍有970 mg/m<sup>3</sup>。该阀门使用不到半年,因阀板密封性降低而不能继续使用,不得不更换阀门。本文通过对失效阀门的观察分析,研究阀门失效的原因和影响因素,为新型阀门的研发和改进提供理论依据,这对降低材料消耗和提高经济效益具有现实意义。

## 1 实验方法与结果

### 1.1 阀门宏观形貌

观察现场失效阀门阀板和阀座上腐蚀失效的部分,发现阀板尺寸无明显变化,只是在与门槽相切合处的阀板表面上有几处冲蚀痕迹,尺寸如米粒大小,表现粗糙发黑。阀座失效形貌较为明显和严重,特别是门槽处。发生冲刷处表面呈黑

褐色,是明显的高温氧化痕迹。阀座其它部位为黄褐色锈层,是氧化铁的基本特征。冲蚀痕迹与流体流动方向一致,冲蚀痕迹最严重的部位是阀板与门槽相切合的密封面部位,对阀座发生腐蚀处进行测量,测得冲刷痕迹沿阀座周向长度为16 cm,呈齿状深度不等,最深处达2 cm~3 cm,如图1所示。通过比较可以看出,较之阀板的轻微失效,阀座处冲蚀失效很严重,因此下面着重对阀座进行失效分析。

### 1.2 阀座的化学成分

在阀座上具有较深冲刷痕迹的地方取样,进行化学成分分析,其化学成分化验值见表1,表1中同时列出了Cr5Mo钢的化学成分,可见阀座材料成分较接近Cr5Mo钢,但含C量偏高,另外掺入了提高耐磨性能的W元素等其他微量元

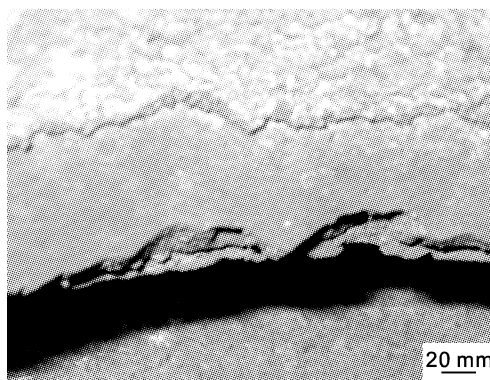


Fig. 1 Macro-appearance of disabled valve

收稿日期:2006-04-26 初稿;2006-06-27 修改稿

作者简介:贾涛(1981-),男,硕士,从事失效分析和高温耐磨耐蚀涂层研究。

Tel:13683501866 E-mail:lengjingt@yahoo.com.cn

Table 1 Chemical composition of valve seat, mass %

item	Si	Mn	C	S	P	Cr	Mo	Cu	Ni	Ti	W	V
valve seat	0.38	0.68	0.28	0.023	0.029	4.85	0.46	0.16	0.18	0.018	0.36	0.011
Cr5Mo	≤0.50	≤0.60	≤0.15	≤0.030	≤0.035	4.0~6.0	0.50~0.60					

Table 2 Hardness of valve seat

item	1	2	3	average
erosion surface of valve(Hv,MPa)	644	659	650	651
valve seat(Hv,MPa)	315	341	335	330

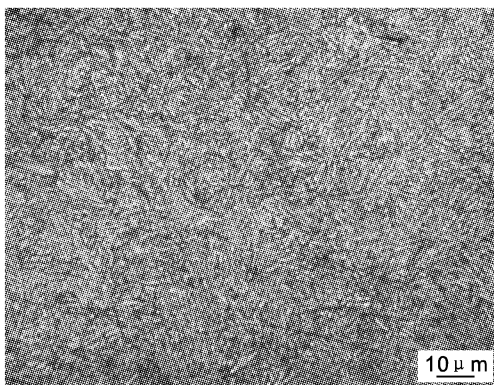


Fig. 2 Metallurgical structure on cross-section of valve seat

素.因此,阀座所用的材料与 Cr5Mo 钢有偏差.

### 1.3 硬度

在 HVS-1000 型数显显微硬度仪上进行阀座显微硬度测试,硬度检验结果见表 2,由表 2 可知,阀座表面发生冲蚀处的维氏硬度为 651,基体的维氏硬度为 330.显然,材料表面可能经过喷涂强化处理<sup>[1]</sup>,原阀门阀座表面的硬度得到较大程度的增强.

### 1.4 金相组织

截取阀座失效部位的横截面制成试样,用砂纸打磨至 1500#,在 MP-1A 型金相试验磨抛机上机械抛光至镜面光亮,再用 4% 的硝酸酒精浸蚀,在 POLYVAR-MET 万能金相显微镜上进行组织观察,微观组织如图 2 所示,阀座基体材料的

组织为细小的索氏体和少量的铁素体,且铁素体呈带条状分布特征.

### 1.5 微观形貌

分别在阀板和阀座表面冲刷部位截取试样,采用 S-4300 冷场发射扫描电镜进行观察.宏观上看阀板只是在和阀座门槽接触的部位有些许坑蚀,对该部位在扫描电镜下观察,结果如图 3 所示,在阀板上的冲刷出的沟槽和平滑处都可以明显看到马蹄状的冲刷痕迹,并没有太多的腐蚀产物,说明阀板上主要是由物理冲刷起主要作用的,另外阀座和阀板的密封面以及阀板外圆柱面处的堆焊处理也对阀板起了一定的保护作用.

对阀座冲蚀沟槽形态进行观察,结果如图 4;对阀座沟槽边冲刷不明显的部位观察,结果如图 5.可以看出,未冲刷处阀座表面比较致密,有丝状的迭起;而在发生冲刷的沟槽处,有横向和纵向裂纹,材料表面出现了团状突起的腐蚀产物.通过能谱分析得知,冲刷沟槽区和未冲刷区均有 Fe、Si、S、Cr 等元素,这是阀座本身的化学成分带入的,不同的是在冲刷的沟槽内出现了大量 Al 元素,这说明由于高速冲刷使得催化剂粒子  $Al_2O_3$  嵌入到材料表面形成团状突起的腐蚀产物.在这些粒子的下面可以明显地看到横向和径向裂纹的出现,随着粒子不断的冲击,载荷不断加大,裂纹不断地获得能量而扩展,这些横向裂纹和纵向裂纹交互作用,最终表层从基体上逐渐流失.

## 2 分析与讨论

### 2.1 环境参数的影响

攻角.阀座表面的失重与催化剂粒子的攻角有密切关系.由于现场采用的是闸阀,因此在阀门关闭、开启过程中,催化剂粒子通过阀门时由与阀座平行转为  $20^\circ \sim 30^\circ$ .对于表面硬化层来说,这时冲蚀率达到了一个很大的值<sup>[2]</sup>.

速度.当阀门完全开启时,催化剂粒子在 0.2 MPa 的压

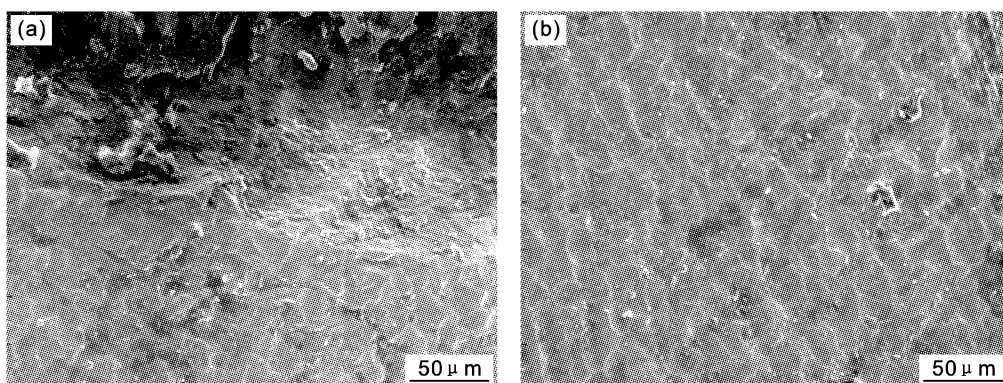


Fig. 3 Micro-appearances of wash zone on valve plate (a) trench zone, (b) smooth zone

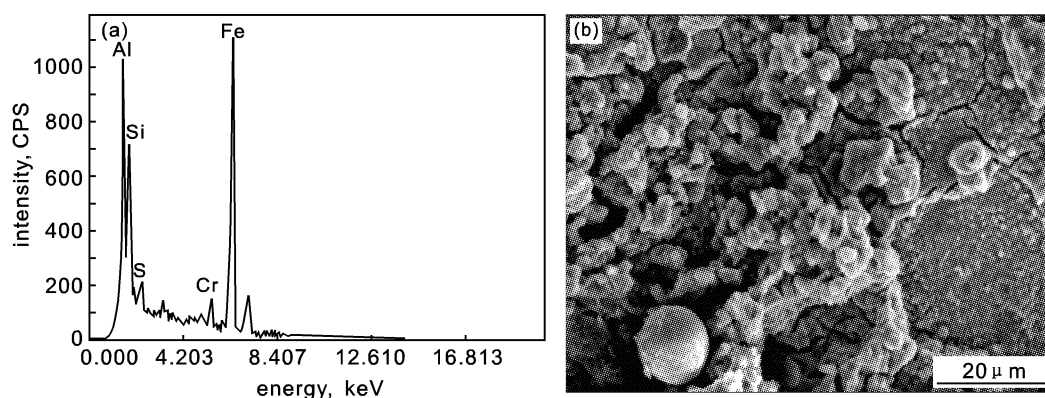


Fig. 4 Trench zone of valve seat (a) energy spectrum of corrosion products, (b) micro-appearence of corrosion products

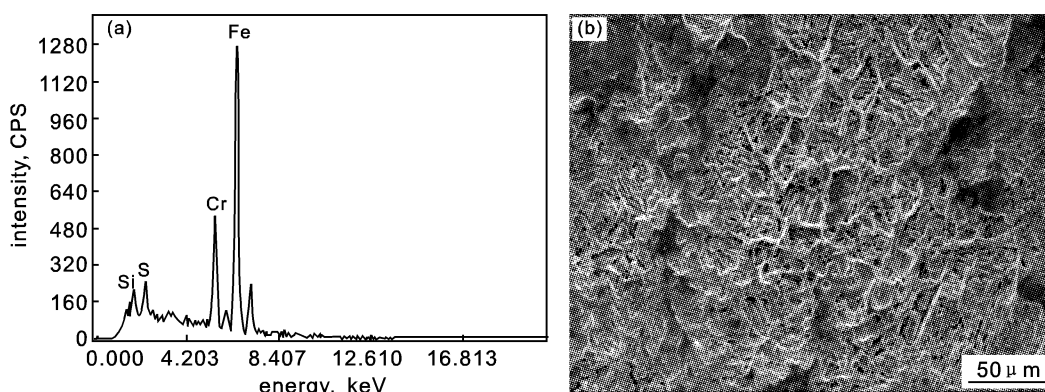


Fig. 5 Smooth zone of valve seat (a) energy spectrum, (b) micro-appearence

力作用下通过阀门速度为 3.5 m/s,而当阀门在阀板开启和闭合过程中,流道面积很小,粒子流速急剧增加,最高时以约 5.8 m/s 的速度高速低角冲向阀座表面,这对材料造成严重的冲刷。

时间. 冲刷时间也会对冲刷程度有很大影响,通过对试样的未发生冲刷部位和发生冲刷的部位进行能谱分析发现,在发生冲刷后,材料表面有催化剂粒子嵌入.这是由于在开始阶段,催化剂粒子冲击阀座表面使它发生加工硬化,表面粗糙,随着时间的增加,阀座表面逐渐发生流失并进入到稳定的冲刷阶段。

温度. 由于阀座工作在 550℃ ~ 600℃ 的高温下,当催化剂粒子对阀座表面的冲击,在瞬间会释放能量并产生大量的热,这个过程极快,可视为绝热过程,使得阀座表面发生塑性变形,这种变形速度很高,可以认为热量并没有向材料内部扩散,粒子能斜向掠过发生犁削和嵌入<sup>[2]</sup>。

## 2.2 磨粒性能的影响

催化剂磨粒的主要成分是  $Al_2O_3$  (48.7mass%), 它的摩氏硬度为 9, 平均粒度尺寸为 5 μm ~ 6 μm, 形状为尖锐的多角形, 这使得它具有很高的冲刷能力, 在适宜的温度、速度、角度下迅速对材料产生磨损。

## 2.3 闸阀结构设计的影响

门槽的弊端. 闸阀的流道上均有一个楔形门槽, 它使得流道成为断续表面, 这将导致介质流态急剧改变, 使门槽本身和流道加剧冲刷磨损<sup>[3]</sup>. 门槽处沉积的催化剂粉末致使阀

板关闭不到位, 阀座与阀板密封面贴合不严密, 导致漏流. 如果漏流严重, 对阀板下部造成冲刷磨损. 阀板下部磨损后使漏流更加严重. 两种失效互相影响, 使阀门使用寿命缩短。

密封面磨损量无法补偿. 阀门在启闭等运行过程中, 阀座密封面和阀板密封面相互摩擦, 密封面磨损量会越来越大, 贴合越来越不严密. 而常规闸阀不能补偿其磨损量, 因此不能保证密封的可靠性。

## 3 结论与建议

1. 阀座表面失效是腐蚀性环境参数与催化剂粒子自身性能相互作用的结果, 是腐蚀和冲刷协同作用的过程。

2. 选用阀门结构不合理是其失效的另一个主要原因, 应选用具有自研磨性能的阀门, 使其磨损量能得到补偿。

3. 现场应平稳操作, 减少开关阀门次数, 开启后应使阀门处于全开状态。

## 参考文献:

- [1] Gabe D R. Principles of metal surface treatment and protection [M]. Britain: Pergamon Press, 1978. 102.
- [2] 材料耐磨抗蚀及其表面技术丛书编委会. 材料的冲刷磨损与微动磨损 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1987. 73.
- [3] 肖荣清, 陈楚珍, 雷开运, 等. 抗磨损密封自补偿渣浆闸阀研究 [J]. 武汉水利电力大学学报, 1997, 30(2): 54.