

联合压缩机螺栓断裂失效分析^{*1}

余 炜

(中国石油长庆油田分公司甲醇厂 陕西靖边 718500)

摘 要:联合压缩机是甲醇生产中的关键设备,通过对其机体内部螺栓断裂原因进行分析,认为该螺栓断裂为氢致开裂,并采取了有效的解决方案。

关键词:压缩机;螺栓;氢致开裂;解决方案

中图分类号:TQ055.8 **文献标识码:**B **文章编号:**1673-5285(2006)05-0064-003

长庆油田分公司甲醇厂是长庆油田第一个天然气循环气混合后,再一起进行压缩。该机组采用两个进口一个出口的工艺流程。该设备自 1998 年 10 月开厂投用至 2001 年 2 月均运行正常。但自 2001 年 2 月以来压缩机进气、排气端径向轴承的振动值逐渐增大,由正常运转时 $10.23\mu\text{m}$ 这一平均值逐渐增大至 $32.33\mu\text{m}$,压缩机排气端径向轴承垂直振动值 VT-701Y 最高时达到 $39.39\mu\text{m}$,压缩机振动趋势如图 1 所示。

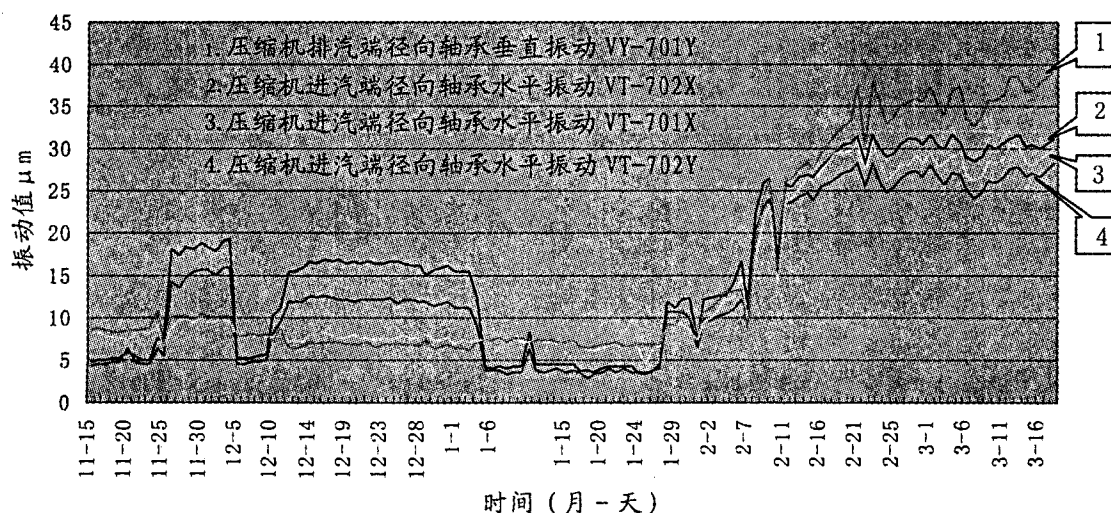


图 1 压缩机振动曲线

该振动值的报警值为 $49.5\mu\text{m}$,跳车设定值为 $61\mu\text{m}$ 。2001 年 5 月被迫停机进行检查。解体检查中

* 收稿日期:2006-08-24

发现:一级隔板从导叶上脱落,内筒体剖分面大部分螺栓及各级隔板与导叶定位螺栓在拆卸时全部断裂。从导叶上脱落后的一级隔板,与一级叶轮的背面相碰,造成了定子与高速旋转的转子之间相互摩擦,导致压缩机振动值逐渐增大。所以隔板螺栓断裂是造成压缩机振动值增大的根本原因,我们立即对断裂螺栓进行了检验,并分析断裂原因,采取了改进措施。

1 断裂分析

1.1 断口形貌分析 裂纹均始于螺纹根部,断口平齐,属典型的脆性断裂,宏观上看不出螺栓发生塑性变形。

1.2 化学成分分析 测定该螺栓材质各成分的含量见表 1。经化学成分确定,该螺栓材质中国牌号为:35CrMo。

表 1 化学成分测定值

化学成分	C	Cr	Mo	Mn	Si	P	S
测定值(%)	0.35	0.92	0.17	0.63	0.26	0.024	0.007

参照 GB3077 - 88 查得数据见表 2。

表 2 35CrMo 标准值

牌 号	化学成分(%)						
	C	Cr	Mo	Mn	Si	P	S
35CrMo	0.32 ~ 0.40	0.80 ~ 1.10	0.15 ~ 0.25	0.40 ~ 0.70	0.17 ~ 0.37	≤0.035	≤0.035

1.3 硬度实验 取样进行硬度实验,螺栓的洛氏硬度为 HRC38 ~ 39。

1.4 金相分析 组织特征为铁素体基体 + 细而均匀的粒状渗碳体,是典型的回火索氏体组织(见图 1),晶粒细小呈弥散分布。螺栓经抛光态观察,根据 YB25 - 77 评定氧化物夹杂为 I 级,硫化物的夹杂小于 I 级。这说明螺栓本身在材料及冶金方面没有缺陷。

1.5 断口分析 取断裂螺栓试样 4 件在扫描电镜下进行断口分析,从照片 2、3、4 观察发现 4 个断口宏观特征基本相近,裂纹均起始于螺纹根部近表面,呈放射



图 1

状向另一侧快速扩展,起始区和扩展区断口的微观特征为沿晶特征,晶界开裂的二次裂纹明显可见。

1.6 螺栓所处的工作环境 螺栓所处的工作环境中工艺气体为转化气和循环气,两种气体的压力、温度及气体成分见表 3。

表 3 转化气、循环气性质

名 称 压力 / 温度 组分 mol%	转化气	循环气
	2.91 MPa/39℃	4.65 MPa/42℃
CO	12.19	2.18
CO ₂	9.72	3.44
N ₂	0.08	0.17
CH ₄	5.72	18.90
H ₂	72.29	75.16
CH ₃ OH	无	0.15

从表 3 可以看出,螺栓这一受力件是在富含氢的环境中工作的。

综合以上检验结果分析认为,该螺栓断裂是由外氢(环境氢)导致的氢脆,即氢致开裂。目前对氢脆机理尚有不同认识,可以用晶格弱化机制理论来解释该螺栓的脆性断裂,即在一定的拉应力作用下,缺陷尖端塑性变形区形成了三向拉应力场,H₂ 在螺栓表面分解成原子氢而进入金属。当氢在应力场扩散氢量 C_T 达到引起此类缺陷开裂的临界氢浓度 C_{cr} 时,铁晶格原子结合力降低而脆化。C_T = C_{cr} 时开始氢裂,C_T > C_{cr} 时裂纹扩展。此外,有关 Cr - Mo 钢氢致开裂实验表

明,扩散氢浓度和环境温度是影响 Cr-Mo 钢氢致开裂性能的两个主要因素。且环境温度越低,发生氢致开裂的可能性越大。氢脆一般发生在 $-100 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内,在室温附近 $-30 \sim 30^{\circ}\text{C}$ 下最敏感、最为严重。而该螺栓工作环境下的工艺气体温度分别为 39°C 、 42°C ,接近该温度对氢脆发生最敏感。

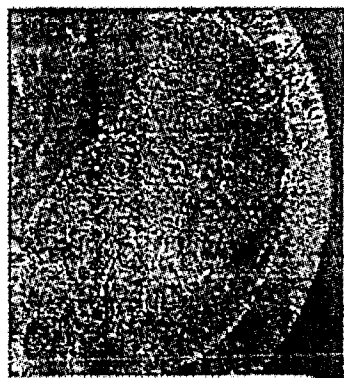


图 2

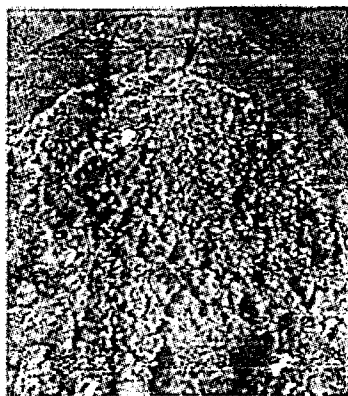


图 3



图 4

2 采取措施

在降低氢致开裂敏感性的途径和方法中,提高材料的临界氢浓度 C_{cr} 是一个非常重要的途径。一般认为,不同的组织对裂纹扩展的阻力不同,因而临界氢浓度 C_{cr} 不同。热力学较稳定的组织对氢致开裂的敏感性较小,奥氏体结构较铁素体结构更耐氢致开裂。这可能与奥氏体结构中氢的溶解度较高、扩散系数较低从而临界氢浓度 C_{cr} 较高有关。此外,一般钢强度越高,氢致开裂的敏感性越大。虽然它的机理目前还不十分清楚,但在氢脆的防护措施中要求:在容易发生氢脆的环境中,避免使用高强钢,可用 Cr、Ni 合金钢。遵循上述理论和原则,我们将螺栓材质更换为强度较低的奥氏体型不锈钢:1Cr18Ni9。在近年来联合压缩机

的大检修中,未发现有螺栓断裂的情况。彻底消除了因联合压缩机机体内螺栓断裂给我厂长周期、安全、平稳运行带来的隐患。减少了非计划停机,取得了良好的经济效益。

参考文献:

- [1] 何业东,齐慧滨.材料腐蚀与防护概论[M].北京:机械工业出版社,2005.
- [2] 曾荣昌,韩恩厚等.材料的腐蚀与防护[M].北京:化学工业出版社,2006.
- [3] 刘永辉,张佩芬.金属腐蚀学原理[M].北京:航空工业出版社,1993.
- [4] 成大先,机械设计[M].北京:化学工业出版社,1993.

作者简介:余 炜(1972-),女,工程师,从事化工设备管理与维修工作。

Reason Analysis on Fracture Union Compressor Bolt

YU Wei

(Methanol plant, CNPC Changqing Oil field Company, Shanxi 718500, China)

Abstract: Union compressor is an important equipment in methanol production. Because the vibration of bearing increased, the fracture bolts were found during examining and disassembly. By means of analysis the fracture bolts, the fracture reasons were found, the corresponding countermeasures were proposed.

Key words: compressor; bolt; hydrogen embrittlement crack; countermeasure