

文章编号:1674-2869(2012)2-0071-03

# 天然气闸阀法兰螺钉断裂失效分析

何家胜<sup>1</sup>,陈文龙<sup>1</sup>,王彦馨<sup>2</sup>,徐绮宏<sup>2</sup>,邵小兰<sup>2</sup>,刘杰<sup>1</sup>

(1. 武汉工程大学机电工程学院,湖北武汉430074;2. 武汉市天然气有限公司,湖北武汉430022)

**摘要:**运用金相分析、化学成分分析、断口宏观分析、能谱分析等方法,对天然气闸阀法兰螺钉断裂的原因进行了研究。分析结果表明螺钉的断裂可能是由“氢脆”及“杂质偏析”引起的。

**关键词:**螺钉;失效分析;氢脆;杂质偏析

**中图分类号:**TH134,TE974.3

**文献标识码:**A

**doi:**10.3969/j.issn.1674-2869.2012.2.017

## 0 引言

某天然气公司对管线进行检修时,发现其闸阀矩形法兰的部分紧固螺钉发生断裂。该闸阀埋在地下,阀内压力为0.4 MPa,介质为天然气,螺钉的强度等级为12.9级,属高强度螺钉。为探讨螺钉断裂的原因,进行了下列检查与分析。

## 1 检查与分析

### 1.1 螺钉断口宏观检查

用丙酮和超声波对螺钉断口进行清洗,除去

其表面的杂物及污渍,然后进行宏观检查,发现螺钉断口均与其轴线垂直,断裂前无明显塑性变形,为脆性断裂。

### 1.2 螺钉化学成分分析

将螺钉送至湖北省冶金产品质量监督检验站理化实验室进行化学成分分析,检测结果如表1所示,参照厂家提供的标准与GB/T3077中35CrMoA材料要求,可以看到用化学法测定的螺钉材料化学成分符合35CrMoA材料的要求。

表1 螺钉化学成分

Table 1 Chemical composition of the bolts

%

	化学元素					
	C	Si	Mn	P	S	Cr
厂家提供的标准	0.35	0.20	0.83	0.013	0.019	1.12
本次检测结果	0.358	0.17	0.66	0.023	0.012	1.00
GB/T3077 35CrMoA	0.32~0.40	0.17~0.37	0.40~0.70	≤0.03	≤0.035	1.0~1.3

### 1.3 螺钉金相组织分析

根据湖北省冶金产品质量监督检验站理化实验室对螺钉材料的金相组织分析得知,螺钉的金相组织为回火索氏体,如图1所示。

### 1.4 螺钉断口微观形貌分析

对发生事故的闸阀上的5个断裂螺钉取样(编为1~5号),使用扫描电镜分别对螺钉断口进行观察。1号螺钉断口的微观形貌如图2所示,其中图2(a)、(b)、(c)为1号螺钉边缘区的微观形貌,从图中可以看出,晶界间的微裂纹清晰可见,是明显的晶间破坏,这些区域断面呈冰糖状。1号螺钉中心区微观形貌如图2(d)所示,韧性特征非常明显,微观组织形态非常完美,呈菊花状,说明

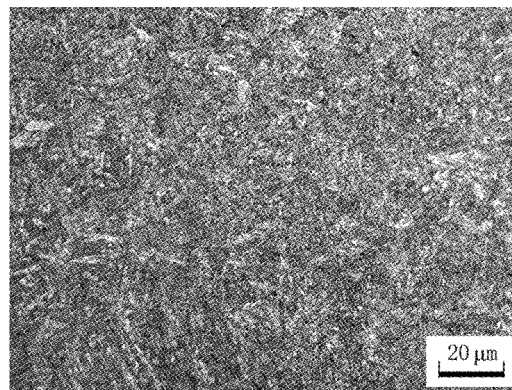


图1 螺钉金相组织

Fig. 1 The microstructure of bolts

收稿日期:2011-10-31

作者简介:何家胜(1958-),男,湖北武汉人,教授,硕士,硕士研究生导师。研究方向:化工设备的结构强度与失效分析。

螺钉的微观组织状态是从心部到外表面逐步变差的. 其他 4 个螺钉断口的微观形貌都与 1 号螺钉相似, 晶间开裂情况严重, 存在着多处晶间裂纹及连通性裂纹.

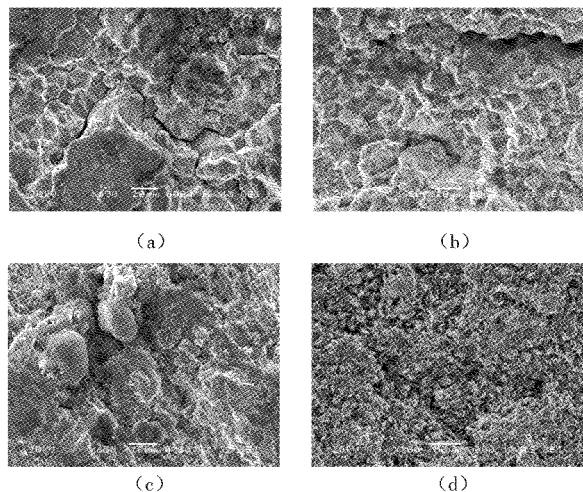


图 2 1 号螺钉断口的 SEM 形貌

Fig. 2 The SEM microstructure of the fracture surface of No. 1 bolt

### 1.5 螺钉轴剖面微观分析

为研究螺钉断口晶间裂纹产生的原因, 将 1 号螺钉沿轴剖面剖开, 使用扫描电镜进行分析. 如图 3 所示, 螺钉材料晶间开裂现象严重, 说明材料内部已经存在微裂纹等缺陷.

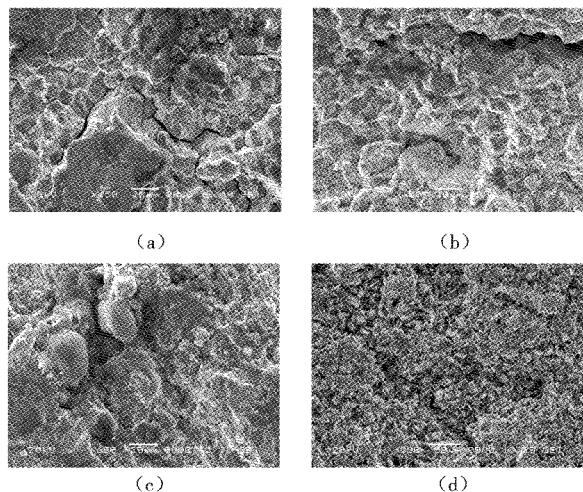


图 3 1 号螺钉轴剖面的 SEM 形貌

Fig. 3 The SEM microstructure of the axial - section of No. 1 bolt

### 1.6 螺钉断口能谱分析

对以上 5 个断裂螺钉的断口上相关点进行能谱分析, 结果如表 2 所示. 从 1、2 号螺钉微区能谱分析可知, 其微区元素中含有较高的 Si、S 等杂质 (Si: 3.26, 0.74; S: 0.34, 4.40, Si 正常值应小于 0.30%, S 正常值应小于 0.035%), 还有 Ca 甚至是 Cl. 这些元素都是在晶间开裂非常严重的区域

测得的, 硫、磷等元素的偏析形成夹杂, 元素结晶分布不均, 使材料的脆性增强, 有利于晶间裂纹缺陷的产生. 说明“杂质偏析”极有可能是引起这两个螺钉脆性断裂的原因. 又如 4、5 号螺钉的微区元素分析结果中 Si、S 等杂质含量非常低, 而 Cr、Mn 的含量非常饱满, 未在化合物中损耗、流失. 那么这种断裂有可能是“氢脆”引起的断裂.

表 2 螺钉断口的能谱分析

Table 2 The energy spectrum analysis of the fracture surface of bolts

化学元素	螺钉编号				
	1	2	3	4	5
C	4.69	1.71	3.31	1.41	1.14
O	23.79	23.67	30.03	9.57	10.31
Al	1.81	0.29	0.75	0.00	0.00
Si	3.26	0.74	0.84	0.00	0.00
S	0.34	4.40	0.48	0.00	0.00
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.90	0.24	0.25	0.00	0.00
Cr	1.05	0.97	0.91	1.49	1.24
Mn	0.69	0.84	0.55	1.22	1.18

## 2 综合分析

综合以上各种分析可知, 螺钉的断裂为脆性断裂, 由于螺钉微观上存在着晶间开裂缺陷, 其断裂为晶间裂纹扩展到一定程度时导致的脆性断裂.

虽然螺钉材料化学成分分析数据与厂家提供的标准相符, 但是螺钉断口能谱分析发现材料中杂质分布不均, 某些部位硅、硫、磷等杂质含量偏高, 有利于晶间裂纹缺陷的形成<sup>[1-2]</sup>. 同时, 通过螺钉轴剖面微观分析可知, 螺钉材料内部已经存在微裂纹等缺陷. 生产厂家螺钉的设计强度为最高等级, 高强度钢螺钉的制作工艺路线一般为: 盘条→冷拔→球化退火→机械除鳞→酸洗→冷拔→冷镦成形→搓齿→热处理<sup>[3]</sup>, 其中酸洗与搓齿两个环节易产生缺陷, 酸洗后如不注意去氢处理, 有可能引发材料的氢脆破坏<sup>[4]</sup>; 搓齿加工会引起材料变形, 可能会在螺纹的表面部分产生划伤或裂纹, 从而导致螺钉的脆断. 螺钉材料为 35CrMnA, 这种材料在无缺陷和较小拉应力条件下具有很强的抵抗硫化氢应力腐蚀的能力. 但在螺钉存在缺陷的情况下, 应研究如何防止裂纹扩展而引起螺钉的脆断.

## 3 结 语

断裂螺钉存在严重的晶间裂纹缺陷, 其断裂

为晶间裂纹扩展、贯通到一定程度时导致的脆性断裂. 螺钉断面某些部位硅、硫、磷等杂质含量偏高,“杂质偏析”有利于晶间裂纹缺陷的形成. 同时,厂家选用 12.9 级高强度螺钉,高强度螺钉制作工艺过程处理不当,有氢残余,螺钉材料内部已经存在微裂纹等缺陷,所以螺钉的断裂是由“氢脆”引起的,这也是螺钉脆断的主要因素.

通过计算,采用强度等级为 6.8 级的普通螺钉能够满足闸阀使用时的强度要求,同时 6.8 级的普通螺钉避免了酸洗等制作工艺过程,降低了螺钉制作中,氢残余及产生微观裂纹等缺陷的风险,建议更换 6.8 级的普通螺钉.

#### 参考文献:

- [1] 何家胜,刘杰,陈才. 闸阀加固中卡子有限元分析与扭矩试验研究[J]. 武汉工程大学学报,2011,33(6):85-88.
- [2] 何家胜,谢飞,朱晓明,等. 圆柱壳内曲面椭圆裂纹应力强度因子数值计算[J]. 武汉工程大学学报,2011,33(11):70-73.
- [3] 张瑞晓,苏惺. 高强度螺栓、螺钉、螺柱的分级及其性能[J]. 科技创新导报,2009(28):102-103.
- [4] 张先鸣. 高强度紧固件氢脆的产生及预防措施[J]. 现代零部件,2004(5):81-83.

## Fracture failure analysis of gas valve flange bolts

HE Jia-sheng<sup>1</sup>, CHEN Wen-long<sup>1</sup>, WANG Yan-xin<sup>2</sup>, XU Qi-hong<sup>2</sup>, SHAO Xiao-lan<sup>2</sup>, LIU Jie<sup>1</sup>

(1. School of Mechanical and Electric Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China;

2. Wuhan Natural Gas Company Limited, Wuhan 430022, China)

**Abstract:** The fracture reason of gas valve flange bolts was studied by metallographic analysis, chemical composition analysis, macro and micro fractography analysis and energy spectrum analysis. The result shows that the fractures of bolts are probably caused by hydrogen embrittlement and impurity segregation.

**Key words:** bolt ; failure analysis ; hydrogen embrittlement ; impurity segregation

本文编辑:陈小平



(上接第 70 页)

## Research on embedded security storage system

LUO Xiao<sup>1,2</sup>, LIU Jun<sup>1,2</sup>, YANG Hui<sup>1,2</sup>

(1. Hubei Province Key Laboratory of Intelligent Robot, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China;

2. School of Computer Science and Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** The security requirement of embedded system was analyzed and a security storage system based on tiny encryption algorithm was described. The system of security USB storage device was developed on the basis of controller CY7C68013, embedded system development board firmware using USB interface direct download, and it was used smart ICE on-line debugging. The results show that the USB storage system based on tiny encryption algorithm is effective and the system I/O performance cannot be slowed distinctly. Furthermore, the USB security storage system is a low cost and low power solution without modifying the file system and the storage devices.

**Key words:** security storage; improved tiny encryption algorithm; USB2.0; embedded system

本文编辑:陈小平