

文章编号:1673-9981(2009)04-0281-03

# 循环泵连轴螺栓断裂原因分析

王 阒<sup>1</sup>, 屈 直<sup>2</sup>

(1. 云南电力试验研究院, 云南 昆明 650217; 2. 云南电力技术有限责任公司, 云南 昆明 650051)

**摘 要:**通过对某电厂浆液循环泵连轴螺栓失效原因进行理化试验分析,结果表明:螺栓热处理不当、安装时紧固力矩的不平衡及螺栓环向损伤等因素,是导致浆液循环泵连轴螺栓失效、断裂的主要原因。

**关键词:**循环泵; 连轴螺栓; 失效分析

**中图分类号:** TG111.9; TK 223.2

**文献标识码:** A

循环泵在火力发电厂除灰、脱硫系统及水系统中有着较为广泛地应用,其安全可靠性能对电厂经济稳定运行有着不可忽视的作用。然而,随机组服役时间的增加及新机组的不断投运,某电厂近两年来数次出现 300 MW 机组浆液循环泵轴或连轴螺栓断裂的事故,极大地影响了机组的安全稳定性。本文以浆液循环泵的连轴螺栓为例,对螺栓断裂的原因进行了分析。

## 1 试验部分

### 1.1 螺栓的化学成分组成

断裂螺栓断口附近区域的化学成分列于表 1。根据设计条件及 GB/T 3098.1-2000 对螺栓的化学成分的规定,由表 1 可知,所检试样的 S、P 和 C 元素的含量均符合标准规定。

### 1.2 试验方法

选取断裂螺栓及弯曲螺栓各一枚,在断裂或弯曲部位的中部靠螺母侧截取试样,用奥林巴斯体视显微镜观察断口宏观形貌、用欧波同 405M 型金相显微镜观察金相组织、用 CS300 型碳硫分析仪及 Spectro 定量光谱仪对样品进行化学成分分析及表面裂纹检查。

表 1 螺栓的化学成分组成

Table 1 Composition of the failed bolt

化学成分	含量 w%	
	设计/标准	断裂螺栓
C	0.25~0.55	0.42
Si	—	0.24
Mn	—	0.55
S	≤0.035	0.008
P	≤0.035	0.021
Cr	—	0.23

## 2 结果与分析

### 2.1 断口宏观形貌

某电厂 2007 年投产的 2 台 300 MW 机组浆液循环泵的连轴螺栓断裂失效,在运行中导致泵与电机连轴器飞出,经现场勘察发现,有的连轴螺栓沿螺杆中部断裂、有的发生严重弯曲,螺栓的断裂呈脆性断裂,断口表面较为新鲜,断裂部位为螺栓的中部靠螺母侧,且断口表面有摩擦的痕迹。

用体视显微镜观察螺栓断口发现,断口总体平整,表面有明显的颗粒状物质,断口晶面有一定程度的反光,边缘部位有长约 5 mm 月牙形的碎裂屑且

收稿日期:2009-07-06

作者简介:王阒(1979—),河南郑州人,工程师,硕士

呈明显的台阶状(图1)。

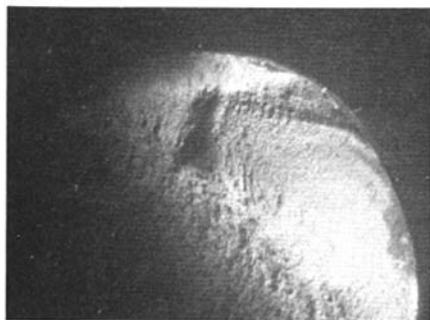


图1 螺栓断口的宏观形貌

Fig.1 Macroscopic fracture appearance of failed bolt

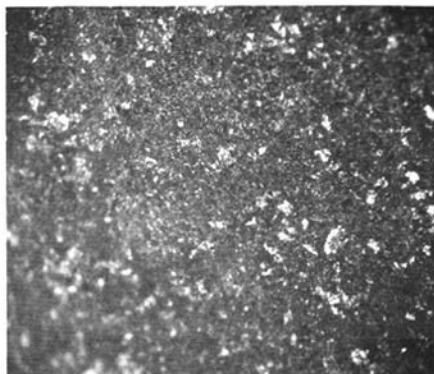


图2 断裂螺栓断口组织形貌,250×

Fig.2 Morphology of the fracture

## 2.2 金相组织分析

图2和图3分别为断裂螺栓及弯曲螺栓的显微组织形貌。从图2和图3可见,断裂螺栓断口部位及弯曲螺栓杆中部的组织均为回火索氏体及少量的铁素体,且铁素体相对集中地分布在部分区域内,试样中均未发现网状铁素体、夹杂及过烧等异常组织。参照螺栓铁素体含量评定级别图,所检试样的铁素体含量为3~4级,表明试样中铁素体含量略高。

螺栓回火组织中出現未溶铁素体,通常情况下为淬火后形成的。根据螺栓热处理工艺,在加热的过程中需使材料完成奥氏体较变后快速冷却,最终获得回火组织。若热处理工艺控制不当,则会出现非正常的淬火组织,如铁素体。如果螺栓组织中铁素体的含量较多,则会使螺栓的强度及疲劳寿命下降<sup>[1-2]</sup>。

本文试样组织中铁素体含量略高,其形貌为块状且相对集中在部分区域内,从而降低了螺栓的力学性能,因此对材料性能的均匀性存在一定的影响,这是螺栓断裂的主要因素之一。

## 2.3 螺栓受力分析

连接螺栓不仅受到因预紧力作用而产生的拉应力,而且还受到因螺纹摩擦力矩作用而产生的扭转剪应力。根据机械设计的螺纹连接理论<sup>[3-5]</sup>,该类型螺栓主要受拉伸力 $F_0$ 及拧紧力矩 $T$ ,其中 $F_0$ 应满足 $\sigma = F_0 / \frac{\pi}{4} d_1^2 \leq [\sigma]$ ,  $T$ 应满足 $\tau = \frac{T_1}{W_p}$ 和 $W_p = \frac{\pi d^3}{16}$ 。根据第四强度理论<sup>[3]</sup>,可得强度计算公式

$$\sigma_{\text{eq}} = 1.3 F_0 / \frac{\pi}{4} d_1^2 \leq [\sigma], \text{ 其中 } d_1 \geq \sqrt{1.3 F_0 / \frac{\pi}{4} [\sigma]}.$$

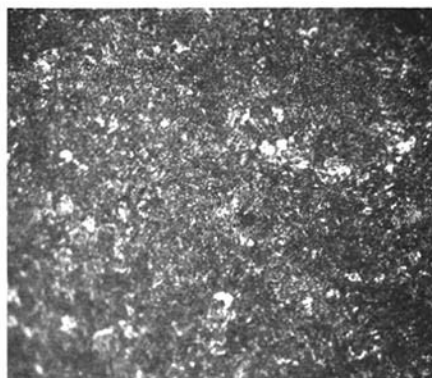


图3 弯曲螺栓组织形貌,250×

Fig.3 Morphology of the bent bolt

连轴螺栓在扭紧后其应力状态为拉、扭力的联合作用,同时在运行的过程中还受到因螺杆扭转的剪切应力的作用。若在扭紧螺栓的过程中螺栓的扭紧力矩分布不均衡,或个别螺栓的力学性能的差异,均会导致螺栓的剪切应力急剧增加,从而导致个别螺栓在剪应力和拉应力的共同作用下发生断裂失效。

断裂螺栓在失效断裂的初期,一是由于扭紧力矩的不均衡,使该螺栓受到较大剪应力的作用而发生剪切开裂,开裂后螺杆的受力截面积减少,导致螺栓的断裂;二是因螺杆断裂处存在环向的损伤而使受力截面积减少,造成螺杆断裂。所以,力矩的不均衡及环向损伤对螺栓的断裂有着直接的影响。

### 3 结论

(1)该联轴器螺栓局部铁素体含量偏高,致使螺栓局部的强度下降、抗疲劳寿命缩短。

(2)该联轴器螺栓在安装过程中出现的紧固力矩分布不均衡及环向损伤,导致应力分布不均,使个别螺栓承受较大的剪应力。

#### 参考文献:

- [1] 刘尚慈. 火力发电厂金属断裂与失效分析[M]. 北京:水利电力出版社,1990.
- [2] 郑修林. 材料的力学性能[M]. 西安:西北工业大学出版社,1996.
- [3] 李洪升,周承芳. 工程断裂力学[M]. 大连:大连理工大学出版社,1990.
- [4] 邱宣怀. 机械设计基础[M]. 北京:高等教育出版社,1997.
- [5] 上官同英. 机械设计基础[M]. 北京:清华大学出版社,2009.

## Analysis of fracture of joint bolts for circulating pump

WANG Zha<sup>1</sup>, QU Zhi<sup>2</sup>

(1. Yunnan Electrical Power Research & Test. Institute, Kunming 650217, China;

2. Yunnan Electrical Power Technology Co. Ltd., Kunming 650051, China)

**Abstract:** Physical and chemical experiments are made to investigate the fractures of joint bolts from circulating pump. The results show that the inappropriate heat treatment, imbalance torque in installation and circumferential direction failure result in the fracture occurring in the joint bolts.

**Key words:** circulating pump; joint bolts; failure analysis

(上接第 275 页)

#### 参考文献:

- [1] LOUCKA T. The potential—pH diagram for the Ru—H<sub>2</sub>O—Cl<sup>-</sup> system at 25°C [J]. J Appl Electrochem, 1990, 20 (3) : 522-523.
- [2] 舒余德,陈白珍. 冶金电化学研究方法[M]. 长沙:中南工业大学出版社,1990:217-222.
- [3] 蒋汉源. 冶金电化学[M]. 长沙:冶金工业出版社,1982:40.

## Study on the electrode process kinetics of recycle of spent acidic etchant for printed circuit board

ZHANG Jian-hua<sup>1</sup>, LUO Xiao-jun<sup>2</sup>, CHENG Hua-yue<sup>1</sup>, JIANG Yu-si<sup>1</sup>, CUI Jing<sup>1</sup>

(1. Guangzhou Research Institute of Non-ferrous Metals, Guangzhou 510650, China;

2. Guangzhou Sai Ai Environmental Protection Technology Development Co. Ltd., Guangzhou 510663, China)

**Abstract:** The electrodes in the system Ru and system Ir have been selected as anode used in the spent acidic etchant for printed circuit board. The electrode process kinetics of chlorine evolution and copper electrolytic deposition on the electrode surface has been investigated by the steady-state potentiodynamic scanning and cyclic voltammetry. The accelerating service life of electrode in the system Ir is twenty times as long as that in the system Ru in the 0.5 mol/L sulfuric acid solution under the current density of 20 kA/m<sup>2</sup> and the chlorine evolution voltage of the electrode in the system Ir is higher than that in the system Ru, too. The chlorine evolution reaction of both electrodes is an irreversible reaction.

**Key words:** acidic etchant; potentiodynamic scanning; cyclic voltammetry; kinetics; anode