

核电站海水蝶阀蝶板腐蚀原因分析及改进实践

贾有根, 蒋晓红, 张浩然, 李洪武, 谭怀锋

(中广核工程有限公司, 深圳 518124)

摘要: 为解决核电站海水蝶阀蝶板腐蚀问题, 对可能产生腐蚀的各种因素进行了排查研究。通过对系统工况条件、蝶板选材、铸造工艺、环境条件等方面进行分析, 得出产生腐蚀的可能原因。结合蝶板腐蚀的各可能因素提出一些针对性的防腐措施, 为海水系统阀门腐蚀提供解决方案。

关键词: 核电站; 海水; 蝶阀; 腐蚀

中图分类号: **文献标志码:** **文章编号:** 2095-8676(2017)04-0108-05

Analysis and Improvement of Corrosion Cause of Seawater Butterfly Valve Disc in Nuclear Power Station

JIA Yougen, JIANG Xiaohong, ZHANG Haoran, LI Hongwu, TAN Huaifeng

(China Nuclear Power Engineering Co., Ltd., Shenzhen 518124, China)

Abstract: Various factors which may cause corrosion are investigated to solve the corrosion issue of seawater butterfly valves disc used in nuclear power station. The system working condition, butterfly valve disc material selection, casting process, environment condition and other factors were analyzed to find the possible causes of the corrosion of the disc. Finally, aiming at these factors, some targeted measures are put forward to provide solution for corrosion of seawater valves.

Key words: nuclear power station; seawater; butterfly valve; corrosion

在某核电站, 单机组 SEN 系统海水蝶阀共计 8 台, 在大修期间, 用户对该 8 台蝶阀进行了全面检修, 发现处于换热器的进出口的 4 台阀门, 蝶板腐蚀严重, 如图 1 所示, 其它换热器远端 4 台阀门蝶板轻微腐蚀。SEN 系统海水蝶阀出现泄漏, 将导致无法实现有效介质隔离。



图 1 换热器近端蝶板腐蚀图

Fig. 1 Butterfly valve disc corrosion near the end of heat exchanger

常规岛辅助冷却水系统 (SEN) 的功能是为常规岛闭路冷却水系统 (SRI) 的冷却器和冷凝器真空系统 (CVI) 的冷却器提供过滤的冷却水^[1]。核电站常规岛的冷却水源均取自海水, 其工作温度接近常温, 在海水入水口加入次氯酸以杀死海生物^[2], 所以海水系统中氯离子浓度较高加强海水腐蚀性。流程图如图 2 所示, 海水条件介绍如表 1 所示。

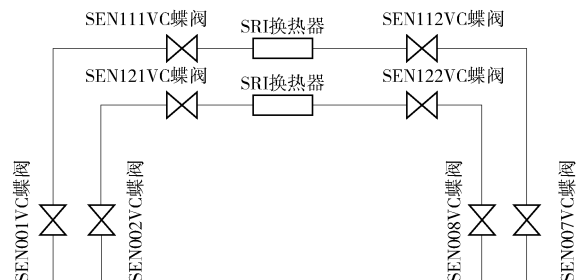


图 2 辅助冷却水系统流程图

Fig. 2 SEN flow chart

收稿日期: 2017-08-07

作者简介: 贾有根(1986), 男, 湖北襄阳人, 工程师, 学士, 主要从事阀门管理工作 (e-mail) jiayougen@cgnpc.com.cn

表 1 海水条件介绍
Tab. 1 Introduction for seawater condition

海水温度	正常水温度 25 ℃							最高海水温度 33 ℃			最低海水温度 17.70 ℃			
海水水质	Cl ⁻ / (g · L ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ / (g · L ⁻¹)	HCO ₃ ⁻ / (g · L ⁻¹)	CO ₃ ²⁻ / (g · L ⁻¹)	Mg ²⁺ / (g · L ⁻¹)	Ca ²⁺ / (g · L ⁻¹)	Na ⁺ & K ⁺ / (g · L ⁻¹)	总的固体含量 / (g · L ⁻¹)	溶解固形物 / (g · L ⁻¹)	悬浮物 / (g · L ⁻¹)	泥沙含量 / (g · L ⁻¹)	溶解氧 / (mmd · L ⁻¹)	硬度 / (mmol · L ⁻¹)	PH
数值	15.914	0.509 8	0.080 1	0.005	0.241 4	0.101 8	2.983	6.768 4	6.868 4	0.1	0.005	0.176	12.48	8.23
		~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
		2.180	0.116	0.114	1.080	0.347	9.236	29.8	30.7	0.9	0.014	0.442	53.15	8.37

注: 阀门工况; 系统正常运行时阀门常开, 需要隔离换热器时阀门关闭, 设计压力: 0.5 MPa, 设计温度: 50 ℃

1 原因分析

通过可能产生的原因, 采用鱼骨图分析如图 3 所示。

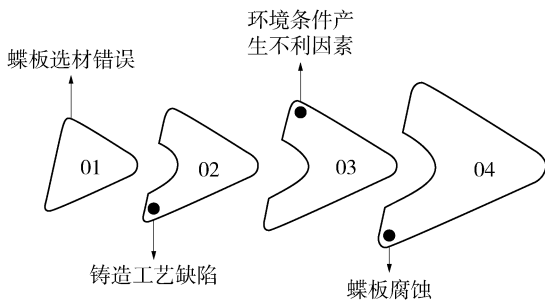


图 3 鱼骨图

Fig. 3 Fishbone Diagram

1.1 蝶板选材及制造工艺分析

SEN 系统蝶阀型号为 900D941J-16C, 阀门为中线衬胶法兰式蝶阀, 外形结构如图 4 所示, 发生腐蚀的部件为蝶板。

蝶板使用 ASTM A995 4A 材料(铸件), 根据完工报告资料, 蝶板化学成分和力学性能满足《ASME 锅炉及压力容器规范 第 II 卷 材料 A 篇 2010 中文版 铁基材料》手册要求。

ASTM A995 4A(对应锻造材料牌号 SAF 2205)双相不锈钢化学成分和力学性能如表 2 所示。蝶板在出厂前进行固溶处理, 金相组织是由约 50%(体积分数)的铁素体(α相)和约 50%的奥氏体(γ相)

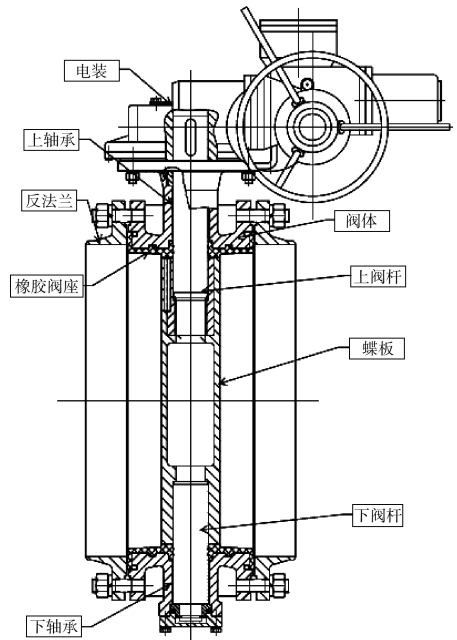


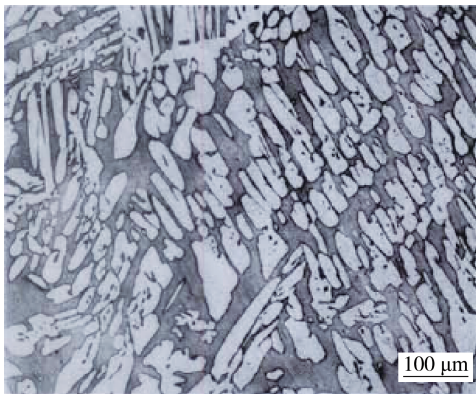
图 4 阀门外形结构图

Fig. 4 The drawing for butterfly valve

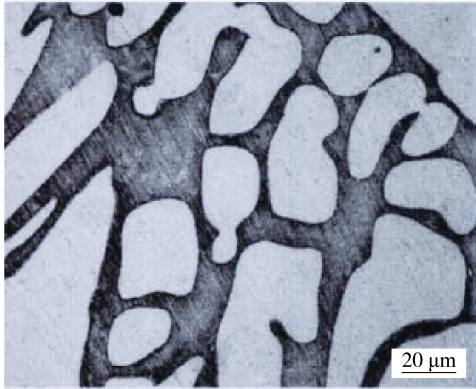
组成的双相组织。其合金成分和显微组织特征决定了 ASTM A995 4A 双相不锈钢是一种具有较高机械性能和优良的耐 Cl⁻ 离子和 CO₂ 腐蚀性能的钢种, 具有良好的抗均匀腐蚀、点蚀和应力腐蚀开裂的能力^[3]。蝶板出厂前进行酸洗钝化处理, 现场腐蚀蝶板金相分析如图 5 所示, 材料牌号选取符合技术规格书的要求。

表 2 ASTM A995 4A 机械性能与化学性能
Tab. 2 ASTM A995 4A tensile and chemical requirement

机械性能	抗拉强度					屈服强度					延伸率	
	≥650 MPa					≥415 MPa					≥25%	
化学性能	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	W	N	
质量百分数 W _i / %	≤0.03	≤1.50	≤1.00	0.04	0.02	21.0~23.5	4.5~6.5	2.5~3.5	≤1.00	—	0.10~0.30	



(a) X100



(b) X500

图5 金相分析(铁素体含量约46%+奥氏体含量约54%)

Fig. 5 Metallographic analysis (Ferrite 46% + Austenitic 54%)

1.2 铸造工艺分析

从蝶板的铸造工艺分析,蝶板采用传统砂模铸造,这是成熟工艺。双相不锈钢是一种特殊材料,由于双相不锈钢具有较高Cr、Ni含量,使得钢液粘稠,流动性较差,在钢液浇注过程中,渣不易上浮,易出现夹渣缺陷。同时,双相不锈钢的N含量较高,在铸件的最后凝固部位易形成析出式氮气孔。上述铸造缺陷易是双相不锈钢产生冷裂纹,双相不锈钢铸造收缩率较大,铸件易产生晶间开裂而形成热裂纹^[4]。

1.3 环境条件分析

1.3.1 系统布置分析

当把两种金属浸于一种腐蚀溶液(电解质溶液)中时,则每种金属都将建立起自身的腐蚀电位。如果两种金属的腐蚀电位值相差很大,而它们又是彼此接触或以电相通,则腐蚀电位更正的金属将明显地成为阴极,而腐蚀电位更负的金属将明显地成为阳极。从而,在阳极和阴极之间将有一种可测量的

电流流动。阳极的腐蚀速度将增加,而阴极的腐蚀速度将减少或完全停止。这种因与阴极材料相偶合而使阳极材料的腐蚀加剧的现象,称之为电偶腐蚀^[5]。

根据图2阀门系统布置图分析:蝶板、海水、换热器、管道系统形成闭合回路,出现腐蚀4台阀门位于SRI换热器进出口,SRI换热器换热管为钛(ASTM B338Gr.2),蝶板材质为双相不锈钢(ASTM A995 4A)。通过对该钛材和该双相不锈钢进行电偶模拟实验测得腐蚀电流,经现场实际电流检测,宏观电偶腐蚀可形成8250 μ A的持续腐蚀电流,双相不锈钢和钛金属为异种金属,在电连接的情况下,存在电偶腐蚀的风险,这也符合电偶腐蚀机理特征。

1.3.2 海水条件分析

蝶板长时间在海水工况下由于氯离子的腐蚀及海水的冲刷,可能使蝶板钝化膜受到破坏,蝶板表面存在的铸造缺陷,与海水介质直接接触后,将会加剧蝶板腐蚀。孔蚀(又称点蚀)产生的最常见原因是不锈钢与含氯离子水的接触。氯离子孔蚀的危害在于会在不锈钢表面下产生大的凹穴,一旦凹穴被引发并达到稳定的阶段,它将在不锈钢内连续扩展^[6],现场腐蚀蝶板外观形貌如图6所示。



图6 蝶板腐蚀外貌

Fig. 6 Appearance of butterfly valve disc corrosion

通过上述分析,得出结论:蝶板铸造缺陷、海水氯离子对蝶板表面的点蚀及换热器钛管与蝶板之间的电化学腐蚀是产生腐蚀的可能原因。

2 蝶板防腐处理方案

2.1 增加RT无损检测

通过对蝶板进行RT无损检测,消除由于铸造工艺产生的缺陷,提高蝶板铸造质量。

2.2 表面喷涂陶瓷涂料

对双相不锈钢蝶板喷涂陶瓷涂料提高耐腐蚀性能。不锈钢基材的防腐是非常特殊的技术, 由于不锈钢含有铬, 在喷砂除锈后, 裸露出来的铬与空气中的氧瞬间结合并生成致密钝化膜: 氧化铬。氧化铬会影响油漆在不锈钢表面的附着力。

所采用双组分无溶剂陶瓷涂料, 是以混合环氧酚醛树脂为基材, 添加硅烷化纳米级复合陶瓷颗粒涂料, 能耐高温氯离子腐蚀, 能轻易溶解掉氧化铬, 最终形成一个碳化物直接与不锈钢表面晶体接触, 形成一种致密涂层, 在基材表面获得优异附着力。在对蝶板附着力验收时最大值达到 24.57 MPa (验收标准 ≥ 12 MPa), 同时对试验样板进行破坏性试验, 油漆附着力良好, 未出现整体脱落现象。可防止海水介质与蝶板金属材料直接接触, 有效地防止点腐蚀发生, 蝶板喷涂陶瓷涂料如图 7 所示。

2.3 反法兰加装绝缘垫片

对 SRI 换热器近端的 SEN 系统阀门与管道之间进行绝缘处理, 在反法兰处加装绝缘垫片, 防止电偶腐蚀产生, 反法兰螺栓改进前、后装配图如图 8 和图 9 所示。

2.4 增加固态去耦合器

固态去耦合器是一种隔直通交的设施, 去耦合



图 7 蝶板喷涂陶瓷涂料

Fig. 7 Ceramic coating on the surface of the butterfly valve disc

器设置了一个导通阈值, 当电压超过该阈值时, 直流阻挡打开, 该设施即自动切换到短路模式, 提供过压保护, 当电压低于阈值电压时, 允许交流电通过而不允许直流电通过^[7]。

SEN 系统隔离阀在加装绝缘垫片后, 为防止因接地线导致蝶板与钛管形成腐蚀电流, 在隔离阀接地线路增加固态去耦合器, 对原阀门接地线路功能无影响同时阻断直流电通过, 固态去耦合器安装示意图、实物如图 10 和图 11 所示。

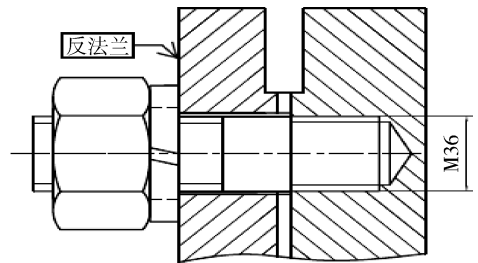
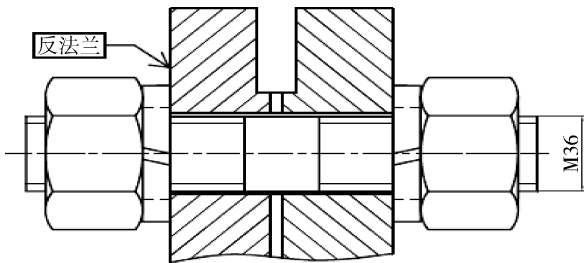


图 8 反法兰螺栓改进前装配图

Fig. 8 Drawings of the previous flange bolt

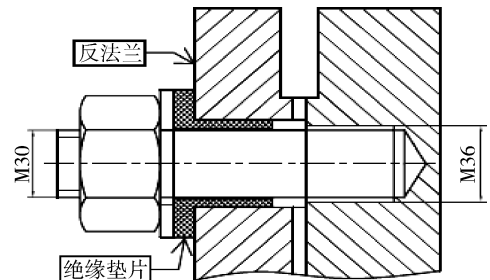
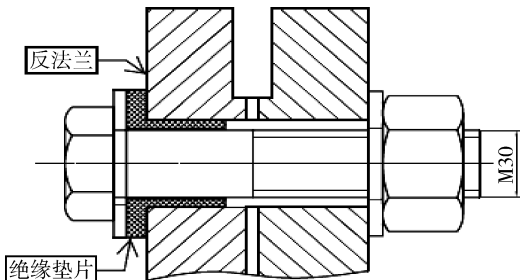


图 9 反法兰螺栓改进后装配图

Fig. 9 Drawings of the modified flange bolt

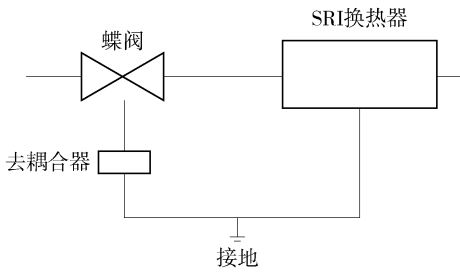


图 10 固态去耦合器安装示意图

Fig. 10 Installation drawing of solid-state decouples



图 13 固态去耦合器

Fig. 13 The solid-state decouplers

3 结论

根据上述措施改进后的蝶板，在海水系统使用取得了较好的效果，减少后期设备维修成本。

核电站阀门设备防腐问题是一项长期的工作，本文通过对蝶板所处的工况、腐蚀原因、防腐措施等方面对蝶板腐蚀情况进行论述，为后续阀门设备防腐提供参考。

(责任编辑 郑文棠)

参考文献:

- [1] 广东核电培训中心. 900 MW 压水堆核电站系统与设备下册 [M]. 北京: 原子能出版社, 2004: 497.
- [2] 马普东. 核电站海水系统蝶阀蝶板腐蚀原因分析及处理 [J]. 阀门, 2008(5): 37-40.
MA P D. The research of the corrosion reasons and some effective methods to solve the problem for the discs of seawater butterfly valves NPP [J]. Valve, 2008(5): 37-40.
- [3] 吴玖. 双相不锈钢 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002: 100-232.
- [4] 李杰, 王景成, 赵芳欣, 等. 双相不锈钢铸件裂纹的形成原因及对策 [J]. 铸造, 2015, 64(6): 590-593.
LI J, WANG J C, ZHAO F X, et al. Solving measures and forming reasons of duplex stainless steel crack [J]. Foundry, 2015, 64(6): 590-593.
- [5] 吴剑. 不锈钢的腐蚀破坏与防锈技术: (一)点腐蚀的形成条件、形貌特征及其预防 [J]. 腐蚀与防护, 1998, 18(1): 38-42.
- [6] 鲍其鼎. 氯离子与冷却水系统中不锈钢的腐蚀 [J]. 工业水处理, 2007, 27(9): 1-6.
BAO Q N. The relationship between chlorideion and the corrosion of stainless steel in cooling water system [J]. Industrial Water Treatment, 2007, 27(9): 1-6.
- [7] 腾延平, 张永盛, 王禹钦, 等. 杂散电流排流设施有效性评价研究 [J]. 管道技术与设备, 2012(4): 40-42 +54.
TENG Y P, ZHAGN Y S, WANG Y X, et al. Research on the evaluation of stray current drainage method [J]. Pipeline Technique and Equipment, 2012(4): 40-42 +54.

(责任编辑 郑文棠)

(上接第 107 页 Continued from Page 107)

- [17] ZEN K, YAMAZAKI H. Mechanism of wave-induced liquefaction and densification in seabed [J]. Soils and Foundations, 1990a, 30(4): 90-104.
- [18] ZEN K, YAMAZAKI H. Oscillatory pore pressure and liquefaction in seabed induced by ocean waves [J]. Soils and Foundations, 1990b, 30(4): 147-161.
- [19] LIU B, JENG D S, YE G L, et al. Laboratory study for pore

pressures in sandy deposit under wave loading [J]. Ocean Engineering, 2015, (106): 207-219.

- [20] MEI C C. The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves [M]. New Jersey: World Scientific, 2003: 740-741.

(责任编辑 郑文棠)