

岭澳核电站 CRF 系统碎石过滤器的腐蚀与防护

杨帆, 白荣国, 付淼磊, 韩庆浩

大亚湾核电运营管理有限责任公司技术部, 深圳 518124

摘要:通过形貌观察、化学成分分析、扫描电镜及能谱分析、浸泡试验、自腐蚀电位测定,研究了岭澳核电站 CRF 系统碎石过滤器的腐蚀现象,其主要原因被归结为微生物腐蚀的作用.对 CRF 系统碎石过滤器采用了以阴极保护为主的一系列防腐措施,保护电位测量和表面检查的结果表明,碎石过滤器得到了有效的防护.

关键词:岭澳核电站;碎石过滤器;腐蚀;防护

中图分类号: TG172.9 文献标识码: A 文章编号: 1002-6495(2005)04-0291-03

CORROSION AND PROTECTION OF DEBRIS FILTERS IN CRF SYSTEM OF LING-AO NUCLEAR POWER STATION

YANG Fan, BAI Rong-guo, FU Miao-lei, HAN Qing-hao

Technical Department, Daya Bay Nuclear Power Operations and Management Co. Ltd., Shenzhen 518124

ABSTRACT: With morphology observation and chemical composition analyses by SEM and EDS as well as immersion test and corrosion potential measurement, the corrosion of debris filters in the CRF system of Ling Ao Nuclear Power Station was studied. The primary cause was regarded as microbion induced corrosion. After a series of anti-corrosion measures consisted mainly of cathodic protection (CP) were applied to debris filters in the CRF system, the CP potential measurement and surface examination showed that the CRF debris filters were efficiently protected.

KEY WORDS: Ling Ao Nuclear Power Station; debris filter; corrosion; protection

岭澳核电站每台机组有 6 台 CRF 碎石过滤器, 每台碎石过滤器中装设有不锈钢滤网, 主要作用是把凝汽器水室的入口海水进一步进行过滤, 防止杂质可能对凝汽器造成的损害. 碎石过滤器安置在内壁衬胶的 CRF 碳钢管道内, 该管道流经的海水温度为 15℃ ~ 33℃, 流速约为 3 m/s. 碎石过滤器制造材料为 DIN1.4439, 这是一种抗海水腐蚀性非常好的不锈钢, 在许多利用海水冷却的电站得到广泛应用, 但在岭澳核电站却遭受海水严重腐蚀.

在 2003 年岭澳核电站大修期间发现 1 号机组及 2 号机组的 6 台过滤器都出现了严重的点蚀和缝隙腐蚀, 若过滤器齿轮罩焊缝被腐蚀穿孔, 海水就会进入轴承室内, 使轴承腐蚀从而导致过滤器失效, 甚至可能导致机组降功率维修; 脱落的连接件可能会随水流冲击而撞击到凝汽器钛管或凝汽器水室壳体上, 导致钛管、凝汽器水室壳体衬胶损伤; 过滤器支撑焊缝腐蚀穿孔后会导致支撑强度急剧下降. 因此, 我们对碎石过滤器的腐蚀原因进行了分析并采取了一系列防腐措施.

收稿日期: 2005-01-25 初稿; 2005-03-28 修改稿

作者简介: 杨帆(1971-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事电站设备腐蚀与防护研究.

Tel: 0755-84479021 E-mail: yangfan@cgnpc.com.cn

1 实验与分析

1.1 宏观检查

通过对现场腐蚀部件进行宏观观测, 发现腐蚀坑主要在焊缝、法兰接合面、紧固件螺栓处(见图 1a、b、c). 腐蚀坑大小、形状各不相同. 根据腐蚀宏观观察可以初步判断碎石过滤器腐蚀属于点蚀及缝隙腐蚀.

1.2 成分分析

对 CRF 碎石过滤器本体及焊缝处分别取样进行化学成分分析, 结果见表 1.

分析结果表明, 过滤器本体及焊缝成分符合 DIN/1.4439 材质的标准. 此外, 经检测过滤器连接螺栓成分也符合 DIN/1.4439 材质的标准.

1.3 扫描电镜观察及能谱分析

通过对腐蚀产物、腐蚀部件的扫描电镜观察(图 2a)及能谱分析(图 2b), 可以得出腐蚀产物及 CRF 过滤器上存在大量各种微生物. 同时对焊缝、法兰、螺母、螺杆的腐蚀坑进行能谱分析结果表明存在多处总的有机碳大于 20% 和低镍情况, 据此判断可能存在微生物腐蚀.

1.4 浸泡实验

取过滤器材料加工小试件在加氯自然海水(取自岭澳核

Table 1 Chemical Composition (mass%)

Site	C	N	Cr	Ni	Mo	Si	Mn	S	P
壳体	0.021	0.14	17.56	12.59	4.04	0.54	1.02	0.003	0.024
焊缝	0.023	0.14	17.57	13.0	4.10	0.67	1.07	0.0038	0.024
DIN 1.4439	<0.03	0.12/0.22	16.5/18.5	12.5/14.5	4.0/5.0	<1.0	<2.0	≤0.03	≤0.045

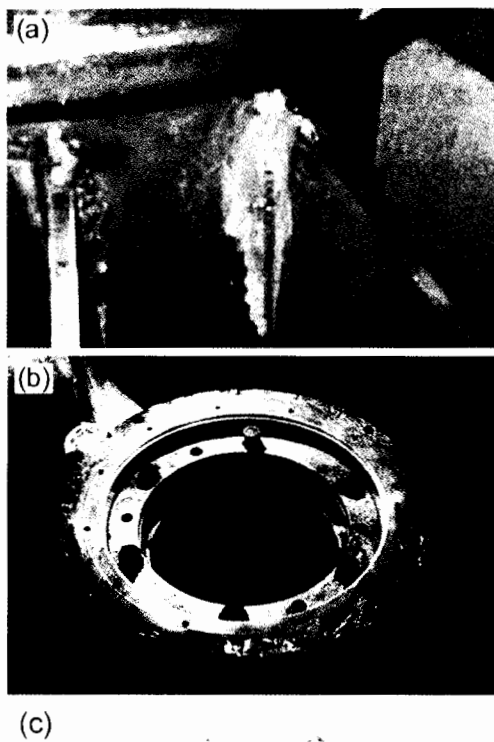


Fig. 1 Corrosion Morphology (a) Weld Line (b) Flange (c) Bolt

电站)及人造海水中进行浸泡实验.结果表明,不论是人工海水还是加氯海水,经浸泡 2 周后试片表面在高倍电镜下还可观察到很小的蚀坑.尽管蚀孔很少,但表明 DIN1.4439 不锈钢不能完全免疫于点蚀.同时,在实验中通过观察发现自然海水中微生物较多.

1.5 自腐蚀电位测定

取基材和焊缝部分分别制成为面积为 $10\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 的研究电极,非工作表面用环氧树脂封装.然后,在加氯自然海水中分别浸泡 3 天和 10 天后,测定基材和焊缝的自腐蚀

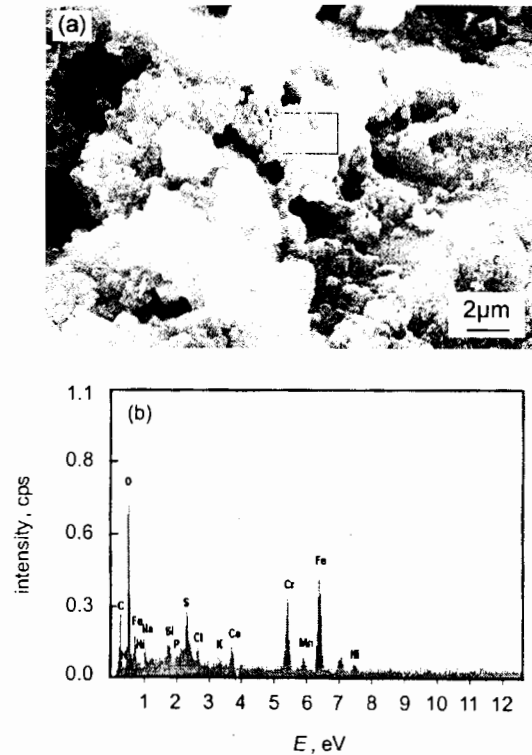


Fig. 2 SEM(a) and EDS(b) analysis for corrosion product of weld line

电位:基材在加氯自然海水中分别浸泡 3 天和 10 天后的自腐蚀电位分别为 -0.118 V(SCE) 和 -0.061 V(SCE) ;而焊缝在加氯自然海水中浸泡 3 天后自腐蚀电位为 -0.169 V ,在浸泡 10 天后则正向偏移为 -0.110 V(SCE) .以上结果说明焊缝相对于基材为阳极.

2 腐蚀原因讨论

从岭澳核电站 CRF 系统安装运行状况可知,CRF 系统安装调试期间多次停运,在停运期间过滤器表面残留少量静止海水,有利于点蚀及缝隙腐蚀的产生.

岭澳核电站碎石过滤器在调试期间也没发现明显腐蚀现象,但运行两年后不锈钢设备却腐蚀严重,导致齿轮罩、螺栓等大量设备需更换及补焊.在岭澳核电站,碎石过滤器(滤网)上管道、中管道、下管道内衬均为衬胶,碳钢水室内壁也为衬胶,水室板为钛,这里没有材质可充当 DIN1.4439 不锈钢过滤器的牺牲阳极,因此,在海水和微生物等多种因素作用下产生了严重的腐蚀.

综合上述实验结果和分析讨论,DIN1.4439 材质的 CRF 过滤器腐蚀主要原因:

1、DIN1.4439 不锈钢在海水中不能完全免疫于点蚀和缝隙腐蚀,尤其在温度较高和停滞的海水中,这与浸泡实验的结果是一致的。

2、调试期间 CRF 系统经常启停,停运期间有残留海水覆盖在不锈钢部件上,这些静止海水挥发浓缩后含有较高浓度氯离子,同时也含有较多微生物。这种恶劣环境对不锈钢表面点蚀和缝隙腐蚀的萌生起着相当大作用。

3、焊缝相对于母材为阳极,焊缝与母材之间会形成电偶腐蚀而使焊缝最易遭受腐蚀。

4、岭澳核电站与过滤器连接管道均为碳钢加衬胶结构,衬胶保护碳钢免遭腐蚀,整个环境中不锈钢碎石过滤器的电位最负,易遭受海水腐蚀。

3 防腐措施的应用

通过对腐蚀原因分析,提出并采取了下列应对措施:

1、开人孔时用淡水冲洗,避免 CRF 系统停运期间不锈钢设备表面有残留海水。

2、改善焊接工艺,提高焊条材质等级。

3、更换螺栓等连接件为更高等级的耐蚀不锈钢。

4、螺栓螺纹部位涂抹好紧固胶和密封胶,以避免缝隙腐蚀。

5、设计、安装阴极保护系统来抑制碎石过滤器腐蚀。

CRF 碎石过滤器内部空间狭小、结构复杂,对牺牲阳极设计分布造成很大困难。牺牲阳极设计必须考虑到对流通面积的影响、安装的可操作性、保护的力度以及对滤网产生的负荷。通过综合分析研究,设计、采用了尺寸较小而理论电容量较高的铝合金牺牲阳极;同时,还采取了一些措施,以尽可能地避免风险:

考虑到阳极脱落风险,增加了下述保障措施:首先,采用双螺帽固定方式,同时对螺杆和螺帽涂抹锁固胶,避免因水流冲击震动导致螺栓松动,提高连接牢固性;其次,连接螺栓

型号由 M10 改为 M12,提高抗流体冲击和剪切的能力,同时也能满足现场安装要求。

另一技术难题是如何避免钛管板产生氢脆。根据 CRF 系统原设计方英国 ALSTOM 公司的工程师提供的技术资料,在温度小于 80℃ 时,在有阴极保护的海水中,只有当电位比 -0.7V 更负时钛管板表面才有可能产生氢。因此,如果能通过控制电位抑制析氢,就不可能产生氢腐蚀或氢脆。岭澳核电站机组运行时凝气器水室内最高温度只能达到 70℃,而且该温度持续时间很短;而用边界元方法对钛板电位进行计算后得出加装牺牲阳极后凝气器水室钛板电位最负为 -0.49V;该电位比 ALSTOM 公司建议的 -0.70V 正,也比国标规定的 -0.80V 正,不会导致氢脆,是安全的。通过充分论证,加装牺牲阳极影响钛管氢脆的问题得到解决,并得到 ALSTOM 的认可。

4 防腐措施的效果

2004 年 3 月大修期间牺牲阳极阴极保护装置被安装在 CRF 碎石过滤器上,同时对 CRF 碎石过滤器采取了冲洗掉其表面残留海水、提高焊条材质等级及焊接工艺、提高螺栓等连接件材质、螺栓部位涂抹密封胶等措施。在 CRF 碎石过滤器投入运行后,通过安装在 CRF 过滤器海水管道及凝气器水室上的电位监测装置来监测钛管板电位:靠近钛管板附近的法兰电位约为 -300mV(相对 SCE),由于该法兰与钛管板相离很近,因此该法兰电位与钛管板电位相差无几,所以钛管板电位也约为 -300mV(相对 SCE)。该电位远比 ALSTOM 公司建议的 -0.70V 正,符合设计时的计算结果,证明了原设计是正确的,由此可确保钛管板并不会产生氢脆。

经过近一年的运行,在 2005 年 2 月大修期间通过对 CRF 碎石过滤器解体全面检查,发现过滤器腐蚀得到了非常有效的控制,阴极保护效果良好,本体、焊缝、缝隙均未发现明显可见的腐蚀。