

海水冷却循环水泵泵壳材料及选用分析

陈沈伟
(浙江浙能嘉华发电有限公司, 浙江 嘉兴 314201)

摘 要:针对 2×1 000 MW 机组循环水泵泵壳裂纹情况进行分析,从材料的化学成分、力学性能、焊接工艺等多方面分析泵壳裂纹的原因,提出了相应的防范措施,确保发电机组安全、经济运行。

关键词:循环水泵;泵壳;裂纹;海水

中图分类号:TQ 085 **文献标志码:**B **文章编号:**1674-1951(2018)10-0040-03

0 引言

某电厂 2×1 000 MW 机组循环水系统采用海水作为冷却水,共配置 6 台立式循环水泵,泵壳材料为双相不锈钢 2205 (00Cr22Ni5Mo3N)。在机组运行不到 7 000 h 时,6 台循环水泵泵壳均发现多处裂纹缺陷,有的已经破裂。在当前循环水泵泵壳选用材料当中,双相不锈钢是耐海水腐蚀最优、价格最贵的一种材料,在如此短的时间内发生破坏性失效,造成人们对该材料在安全运行上的担忧,并对泵壳选材的合理性提出了质疑。为此,对周边其他电厂不同材料的泵壳使用情况进行了调研,对各种材料的性能特点进行了分析和比较,并对泵壳材料的选用进行了分析,为设备选材提供参考。

1 在役循环水泵泵壳材料情况

通过调研周边 5 家沿海电厂,对循环水泵泵壳材料的使用和防腐情况进行了统计,见表 1。从表中可以看出,循环水泵泵壳的材料根据耐海水腐蚀性能由低到高大致可分 3 档。

(1) 碳钢和低合金铸铁如 Q235A、HT250Ni2、HT200Ni2Cr。

(2) 奥氏体钢如 SUS321 (1Cr18Ni9Ti)、SUS316L(00Cr17Ni14Mo2)。

(3) 双相不锈钢如 2205(00Cr22Ni5Mo3N)等。

2 泵壳常用材料的成分及性能

泵壳在一台泵上的作用是汇集液体及将液体的部分动能转为静压能,故要求泵壳材料具有良好的

表 1 沿海电厂循环水泵泵壳材料及使用情况统计表

序号	调研电厂(机组)	壳体材料	最早投用时间	腐蚀或损坏情况	防腐保护措施
1	某厂一期 2×600 MW	HT250Ni2	1990 年	良好	阴极保护
2	某厂二期 3×600 MW	HT250Ni2	2000 年	良好	阴极保护
3	某厂三期 2×1 000 MW	双相不锈钢 2205 (00Cr22Ni5Mo3N)	2010 年	#7 机组 B 泵内 筒体断裂	无阴极保护
4	某厂一期 2×300 MW	HT200-Ni2Cr	1995 年	良好	阴极保护
5	某厂二期 4×600 MW	SUS316L	2004 年	良好	阴极保护
6	某厂三期 2×1 000 MW	双相不锈钢 2205 (00Cr22Ni5Mo3N)	2011 年	6 台泵壳体 全部破损	无阴极保护
7	某厂四期 2×300 MW	外壳:HT200-Ni2Cr; 内壳:1Cr18Ni9Ti	1997 年	良好	阴极保护
8	某厂二期 2×300 MW	HT200-Ni2Cr	2001 年	内壁有腐蚀剥落现象	目前阴极保护未用
9	某厂三期 2×300 MW	Q235A	2005 年	焊接接头部位 腐蚀较严重	目前部分阴极 保护装置失效
10	某厂一期 4×600MW	双相不锈钢 2205 (00Cr22Ni5Mo3N)	2005 年	#3 机组 A 泵母材出现破 裂,轴承损坏造成卡涩。	无阴极保护

力学性能。而海水中含有较多的氯离子,其吸附于金属表面,使得金属表面难以钝化,且氯离子具有很

强的穿透能力,能穿透金属表面的钝化层,故要求海水中的泵壳材料又要有良好的防腐性能。金属的耐腐蚀性取决于金属本身的组织结构和化学成分,合金元素铬、钼、氮、镍、硅、钒等能够防腐。收集了上述常用循环水泵泵壳材料的化学成分和力学性能见表 2 及表 3。

3 泵壳常用材料的性能特点分析

3.1 Q235A

碳素结构钢,强度较低,其韧性和塑性较好,并具有良好的热加工性能和焊接性能^[1]。其最大缺点是耐海水腐蚀性差,需要采取很好的防腐涂料及阴极保护措施^[2]。焊接修复比较容易,材料价格便宜但防腐要求高。

3.2 HT250Ni2、HT200Ni2Cr

合金铸铁,强度比 Q235A 还低,其脆性较大,焊接性能也差。由于加入 2% 左右的 Ni,比 Q235A 的耐海水腐蚀性能有较大改善,但壳体仍需要采取很好的防腐涂料^[3]及阴极保护措施。由于脆性大,其抗冲击载荷和抗机械疲劳性能差,材料价格相对较便宜,焊接修复较困难,易产生冷裂纹。

3.3 SUS321

18-8 型奥氏体不锈钢,其抗拉强度比前面的钢种要高得多,具有良好的韧性和塑性,并具有良好

的焊接性能。由于 Cr 含量达到 18%,因此耐腐蚀性能也得以大大提高。由于钢中含有 Ti 元素,能形成稳定的 TiC,一定程度上可避免在晶界上析出 Cr23C6 引起的晶间腐蚀,故抗腐蚀性能比不含 Ti 的 SUS304 好,不过仍然需要采取较好的防腐措施。其价格适中,焊接修复时要重点考虑防止热裂纹和采取防止接头产生晶间腐蚀措施。

3.4 SUS316L

超低碳奥氏体不锈钢,其强度比 SUS321 稍低,具有良好的韧性和塑性,并具有良好的焊接性能^[4]。由于钢中加入了 2%~3% 左右的 Mo,其耐酸蚀和点蚀性能显著提高,是针对海水介质中使用开发的钢种,其耐海水腐蚀性能比 SUS321 好,但价格比 SUS321 贵 15% 左右。316L 尽管具有良好的耐海水腐蚀性能,但为确保长期使用的可靠性,仍需要采取一定的防腐措施。焊接修复时也要重点考虑防止热裂纹和采取防止接头产生晶间腐蚀措施。

3.5 00Cr22Ni5Mo3N

双相不锈钢,其固溶组织中铁素体相与奥氏体相约各占一半。该类钢兼有奥氏体和铁素体不锈钢的特点,与铁素体不锈钢相比,塑性、韧性更高,无室温脆性,耐晶间腐蚀性能显著提高;与奥氏体不锈钢相比,强度高且耐晶间腐蚀和耐氯化物应力腐蚀有明显提高。另外,双相不锈钢具有优良的耐点蚀

表 2 泵壳常用材料的化学成分 %

钢种	Q235A	HT250Ni2	HT200Ni2C	SUS321	SUS316L	双相不锈钢 2205 (00Cr22Ni5 Mo3N)
C	0.14~0.22	2.80~3.20	2.80~3.20	≤0.08	≤0.03	≤0.03
Mn	0.30~0.65	1.30~1.60	1.30~1.60	≤2.00	≤2.00	≤2.00
Si	≤0.30	0.80~1.20	0.80~1.20	≤1.00	≤1.00	≤1.00
P	≤0.05	≤0.08	≤0.08	≤0.04	≤0.04	≤0.03
S	≤0.05	≤0.10	≤0.10	≤0.03	≤0.03	≤0.02
Cr			0.30~0.50	17.00~19.00	16.00~18.00	21.00~23.00
Mo					2.00~3.00	2.50~3.50
Ni		1.80~2.00	1.80~2.00	9.00~13.00	12.00~16.00	4.50~6.50
N						0.08~0.20
Ti				≥5×w(C)		

表 3 泵壳常用材料的力学性能

钢种	抗拉强度/(MPa·min ⁻¹)	屈服强度(0.2%)/(MPa·min ⁻¹)	延伸率/%	布氏硬度/HB
Q235A	≥370	≥235	≥24	
HT250Ni2	≥250			170~241
HT200Ni2Cr	≥200			170~241
SUS321	≥520	≥205	≥25	≤190
SUS316L	≥480	≥175	≥25	≤192
双相不锈钢 00Cr22Ni5Mo3N	620	450	25	≤290

性能。耐海水腐蚀性能比 316L 还好,不需采取防腐措施,但价格比 316L 高 20% 左右。双相不锈钢焊接过程对于线能量和层间温度的控制要求很高^[5],工艺掌握不当,导致接头的双相组织比例得不到保证,会影响其耐蚀性能。另外,双相不锈钢对氢致裂纹比较敏感。焊接修复时要重点考虑焊缝和热影响区的两相比比例,确保奥氏体组织数量,同时要做好防止氢致裂纹措施。

4 循环水泵壳体失效原因分析

该电厂 2 台机组 6 台循环水泵在投产后不到 7 000 h 就发现各台泵泵壳(材质为双相不锈钢 00Cr22Ni5Mo3N)均出现多处裂纹,最大的破口达到 $1\,300 \times 1\,500\text{ mm}$ 。根据循环泵厂方提供的分析报告得知:对筒体母材和焊缝进行检查、分析和取样试验,结果表明母材质量符合规范要求,而焊缝中出现凝固裂纹、未熔合、夹渣等缺陷,另外存在铁素体与奥氏体相的不平衡现象;对频率进行了校核计算,结果表明筒体固有频率(31.58 Hz)与水泵压力脉动频率(31.00 Hz)非常接近,表明运行过程不可避免地存在共振。由此分析泵壳失效原因有存在共振现象,导致筒体的应力水平大大增加;筒节之间呈“V”字形的结构不连续导致应力进一步集中;筒节法兰焊缝缺陷的存在。以上为疲劳源产生的 3 个方面原因。

5 循环水泵材料选用分析

从以上情况看,早期投产的循环水泵泵壳选用 HT250Ni2, HT200Ni2Cr 材料较多,如果防腐措施做得好,也能保障其长期运行。但如果阴极保护装置投用不正常也容易出现腐蚀剥落现象。目前,新建机组海水循环水泵泵壳较多地采用了双相不锈钢,其最大的优点是不需采取防腐措施。但均有电厂发生双相不锈钢材料的泵壳破裂或断裂失效事件,已引起大家的高度关注。

对于循环水泵的叶轮、叶片、转动轴等关键部件应采用耐海水腐蚀性能优良的双相不锈钢。这些部件不仅重要性高,且难以采取防腐措施,另外基本上没有焊接接头。

循环水泵壳体选材分析:因循环水管道普遍使用 Q235A 或 10CrMoAl,阀门使用带衬胶的铸钢,因此从循环水整个系统设备用材情况看,循环水泵壳体使用铸铁合金也能匹配。以下是循环水泵壳体 3 档备选材料的简要分析。

(1)采用低档材料(碳钢或铸铁合金)。最大优点是材料价格低廉、初投资少,但对防腐要求高,如果阴极保护措施失灵,材料很容易被腐蚀。另外,铸

铁合金由于材料较脆,抗冲击载荷和机械疲劳性能较差,如果要修复,其焊接难度大。

(2)采用中档材料(奥氏体钢)。SUS316L 或 SUS321 是性价比和可靠性都较高的奥氏体钢材料。用于海水环境下,SUS316L 的抗腐蚀性性能更好,应优先考虑。相对于双相不锈钢,奥氏体钢是更加成熟的钢种,同时其焊接工艺也容易把握。当然,奥氏体钢的防腐措施仍需做好。

(3)采用高档材料(双相不锈钢)。从近几年新投产的海水循环水泵来看,泵壳基本上都使用 00Cr22Ni5Mo3N 双相不锈钢。该材料除了比奥氏体钢具有更好的抗腐蚀性性能外,强度要高一些,因此用材可以省一些。但双相不锈钢的价格要比奥氏体钢高。从失效的案例来看,材料本身应该没有什么问题,但在执行焊接工艺和焊缝质量检验上需要提高。从该厂 2 台机组的循环水泵泵壳失效情况看,焊接缺陷成为产生疲劳裂纹的疲劳源。另外焊缝质量差仍然会产生壳体腐蚀问题,因此仍然有防腐的需要。

6 结束语

根据以上分析,虽然双相不锈钢具有更好的耐海水腐蚀性能,且强度也更高一些,但在焊接工艺和焊接质量方面提出了更高的要求,正是焊缝的质量差造成了泵体腐蚀开裂,影响了机组的安全运行。碳钢或铸铁合金等低档材料虽然价格低廉,但防腐要求高,一旦阴极保护失效就很容易产生腐蚀,故也影响到机组的安全运行。综合考虑材料化学性能、力学性能、工艺性能和防腐措施等因素,建议采用中等偏上的材料 SUS316L 作为循环水泵壳体材料,完全可以满足机组使用寿命的需求。

参考文献:

- [1]姜志宏,王宝雨,龚姚腾,等.在低频振动作用下 Q235A 钢的拉伸变形行为[J].机械工程材料,2017,41(6):14-16.
- [2]张克凤,吴洪辉,李威.立式循环水泵阴极保护方案的探讨[J].通用机械,2017(5):70-73.
- [3]李伟光,赵万祥,王佳栋,等.核电厂循环水泵腐蚀与防护[J].全面腐蚀控制,2014(9):78-81.
- [4]刘敏,陈士焯,霍立兴,等.奥氏体不锈钢焊缝金属断裂韧度概率分布的确定[J].机械工程材料,2000,24(4):1-3.
- [5]李国平,王建军,吴天海,等.2205 双相不锈钢 TIG 焊接头组织及力学性能[J].材料研究学报,2016,30(12):897-902.

(本文责编:齐琳)

作者简介:

陈沈伟(1971—),男,浙江嘉兴人,工程师,从事电厂热力设备管理及检修维护方面的工作(E-mail:2809282558@qq.com)。