

循环水泵泵轴断裂原因分析及对策

郑宏练

(秦山核电公司, 海盐县 314300)

摘要: 介绍了秦山核电公司3#循环水泵在运行过程中发生泵轴断裂事故经过以及解体检查分析情况, 结果表明导致泵轴断裂的主要原因是疲劳断裂, 并提出了相应的防范措施。

关键词: 循环水泵; 泵轴; 疲劳断裂; 防范措施

中图分类号: TQ050.7

文献标识码: A

文章编号: 1009-3281(2008)02-0045-04

Cause Analysis and Protection Method of Shaft Fracture Occurred in Cyclic Water Pump

Zheng Honglian

(Qinshan Nuclear Power Co.)

Abstract In this article, the shaft fracture accident occurred in 3# cyclic water pump in performance in Qinshan Nuclear Power Co. as well as the dismount of the pump were introduced. The examination result showed that the main cause of the shaft fracture was fatigue damage. Then, the corresponding prevention measures were presented.

Keywords cyclic water pump; pump shaft; fatigue fracture; prevention measure

秦山核电公司3#循环水泵为大型立式斜流泵, 由沈阳水泵厂制造。泵轴总长约为19 m, 分为5根短轴, 泵轴直径为170 mm, 中间共有4个联轴器加以联接。该泵轴于2007年7月突然发生断裂, 随即停车将整台泵吊起后, 拆除大盖与出水筒体连接法兰螺栓24个, 发现螺栓已有4个断裂, 另一半已脱落。本次发生断裂的泵轴为第5根, 在拆除过程中, 发现固定在导流体内的轴承体法兰脱离, 导致轴承体滑出导流体, 泵轴断裂部位在键槽轴肩处。为了掌握该泵轴断裂的原因, 对泵轴断裂部位进行了取样分析。3#循环水泵的技术参数见表1。

表1 3#循环水泵技术参数

指标	型号	流量/ m ³ ·h ⁻¹	扬程/ m	转数/ r·min ⁻¹	效率/ %	轴功率/ kW
性能参数	1400HB	16000	25	495	86	1267

1 泵轴材料的化学成份分析

3#循环水泵泵轴设计时的材料为316, 化学成分分析结果见表2。断裂泵轴的化学成份与标准推荐值较一致, 具体牌号应为0Cr18Ni12Mo2Ti奥氏体不锈钢锻件, 与原设计选用材料相符。但是材料中含有较多的硅(1.27%), 已超过标准上限值, 而硅

表2 3#循环水泵第5根泵轴材料化学成份分析

	C	Mn	Si	S	P	Cr	Mo	Ni	Ti	Cu	Al
测试值	0.07	1.59	1.27	0.001	0.027	17.11	2.01	12.00	0.48	0.22	0.076
316	≤0.08	≤2.00	≤1.00	≤0.030	≤0.035	16.00~19.00	1.80~2.50	11.00~14.00	5×C~0.70		

含量较高时会降低材料的韧性和塑性, 对焊接性不利, 易导致冷脆。

2 泵轴断口宏观形貌分析

2.1 断裂部位分析

本次泵轴断裂部位(图1)位于轴上端联合轴键

槽下方部位, 清楚看到泵轴最底部有加工螺纹, 而断口则在远离底部螺纹的键槽圆弧交界处。

收稿日期: 2007-11-22

作者简介: 郑宏练(1965—), 男, 高级工程师。从事核电材料与防腐工作。

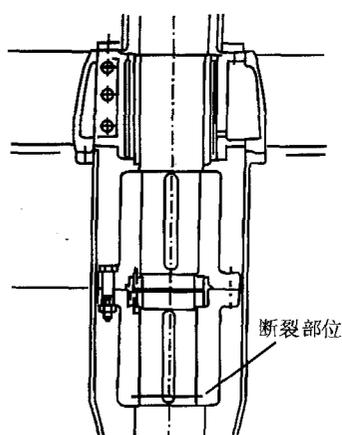


图1 泵轴断裂部位及局部结构示意图

2.2 断口宏观形貌分析

从图2中可看到整个断口分为两个主要区域,较为平滑的裂纹扩展区和凹凸不平的最终断裂区。在平滑的裂纹扩展区域里根据裂纹的扩展台阶条纹,发现有三个部位(图2箭头所指部位)。仔细观察三个部位(裂纹1:轴外表面与键槽加工面交界处;裂纹2、裂纹3,轴断口上方表面处)发现断口表面有年轮花样和压痕标记等特征,这些特征显示该断口属典型的疲劳断口。这三个部位就是疲劳裂纹源形成的起裂部位。由于三个裂源扩展表面处于不同的截面,因此,当裂源扩展至交界处形成了三个台阶,中间的台阶是三个裂源扩展的界面而形成的台阶。而断口上方较淡的直线则是裂源2和裂源1交界处的台阶。第三个台阶是疲劳扩展区和最终断裂区形成的台阶,该台阶最终以剪切方式快速撕裂,呈45°。

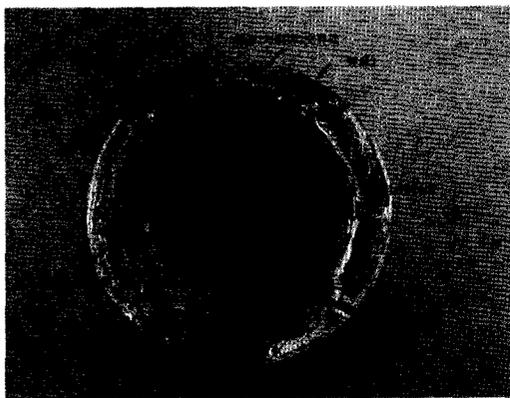


图2 断口宏观形貌

通过对泵轴断口的宏观形貌分析,可以确认本次3#循环水泵泵轴发生断裂的主要形式是由交变

载荷引起的疲劳断裂失效。

3 泵轴断口微观形貌分析

图3为泵轴断口中疲劳扩展的辉纹照片。一般疲劳断口上扩展辉纹条纹在低倍环境中是无法观察到的,图3照片是在2000倍的高倍电镜中观察到的。断口上存在疲劳辉纹是疲劳断口最为突出的特征,从照片上可以判断属于韧性疲劳辉纹,相互平行等间距的辉纹垂直方向为裂纹扩展方向。

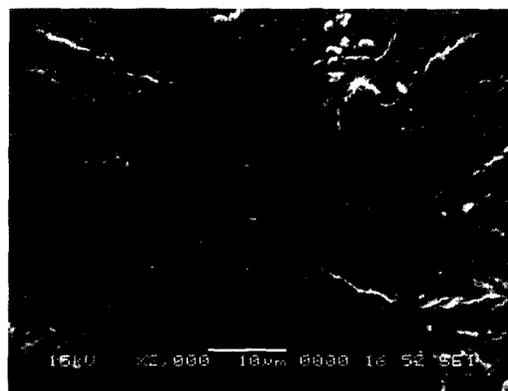


图3 断口微观形貌

4 泵轴疲劳断裂的主要影响因素分析

根据前面泵轴断口的宏观形貌和微观形貌特征,可确认泵轴断裂主要是疲劳引起的。针对本次泵轴的具体特点,以下几个因素需要着重分析:泵轴材料的组织分布状况及热处理工艺是否恰当;泵轴材料表面裂源处的状态是否正常;泵轴键槽处表面和侧面加工状态是否完好。

4.1 泵轴材料的组织分布及热处理工艺分析

本次对裂源1和裂源2近断口靠近轴表面处和远离断口处离轴中心部位进行了材料金相组织分析。

泵轴材料的组织为奥氏体+条状铁素体,奥氏体基体有孪晶存在,这表明材料是经过固溶化处理的。本次发现奥氏体基体中析出了较多条状分布的铁素体,表明固溶热处理温度偏高或时间偏长,导致了大量的铁素体析出。对条带状灰色的相进行能谱分析,结果表明灰色条状析出物主要元素为Cr和Fe,含铬量高达24.9%,含Fe量高达67.13%,因此确认灰色条状析出物是铁素体。

一般很少报道铁素体相析出对构件的疲劳性能的影响研究。且条状铁素体析出主要沿泵轴的轴向分布,而泵轴断面是垂直于条状铁素体分布方向。

因此可以认为本次泵轴疲劳断裂与钢中含有较多条状铁素体的关系不大。

4.2 泵轴材料表面裂源处状态因素分析

图4a为轴键槽裂源处的形貌,可以看到裂源边缘处没有凹坑腐蚀诱发因素,疲劳裂纹扩展台阶和条纹清晰可见。

图4b为轴键槽裂源局部放大1200倍的微观形貌,可看到裂源边缘起裂处含有较多夹杂物,这些夹杂物通过元素能谱分析主要成份为O、C、Si、Ca、Fe。其中Ca含量为3.11%,Fe含量为26.9%,Si含量为1.09%。因此可以确认这些夹杂物主要是钙硅酸盐(CaOSiO_2)。这类夹杂物在钢的凝固过程中,由于冷却速度较快,液态的钙硅酸盐来不及结晶,部分以夹杂形式保留在钢中,这些钙硅酸盐夹杂在室温下不会变形,较脆。

同时裂源起裂处的断口总体上呈韧窝状特征,这表明奥氏体材料具有较好的韧性和塑性,照片中看到的夹杂物是裂纹起裂的发源地,在疲劳裂纹源形成和塑性变形过程中存在密切的关系。这是由于比较容易变形的金属在难以变形的夹杂物周围塑性流动时,会产生很大的应力,使材料和夹杂物界面的联结断裂形成微裂纹,使之成为疲劳裂纹扩展的裂源。

综上所述,引发疲劳裂源产生的诱发因素是材料表面存在较多的钙硅酸盐夹杂物,在泵轴受到载荷作用下产生表面塑性变形,从而使不变形的夹杂物周围界面与塑性变形流动产生不匹配,造成疲劳裂源的小裂纹产生。

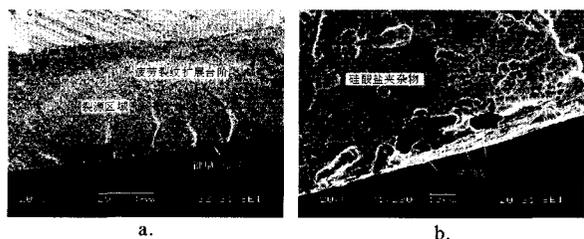


图4 泵轴键槽处裂源表面断口形貌

4.3 泵轴键槽处外表面状态因素分析

图5为裂源断口的垂直轴外表面状况,从图5a中可以看出,紧靠主断口下方的外表面存在多条相互平行的横向微裂纹,并伴有变形损伤的特征。图5b为紧靠键槽边缘的外表面状况,从中可以看出多条平行分布的横向微裂纹,并可清晰的看到在这些微裂纹之间含有钙硅酸盐夹杂物,表面沿轴向分布的条状物主要是铁素体相析出物。

以上分析可以验证,泵轴表面上疲劳裂源是非

金属钙硅酸盐夹杂引起产生的,并在不同截面形成多条相互平行的裂源,在交变载荷工况操作下使之造成疲劳裂纹扩展。

图6为主断口裂源下方部位外表面状况。从图6a中可以看到该处轴外表面存在明显的塑性变形滑移线,中间部位外表面由于塑性变形造成材料表面损伤引发外表面微裂纹。从图6b可以看出,外表面明显存在塑性挤压变形特征,使材料损伤引发微裂纹。

综上所述,综观轴断口附近轴外表面状况可以发现在裂源部位,轴外表面都发生了很大的塑性变形,也就是说,第五根泵轴键槽处和裂源处与联轴器内表面发生了相对极小的振动位移摩擦变形,使之引发表面夹杂物开裂,最终导致轴的疲劳裂纹扩展。

通过以上分析,本次泵轴发生疲劳裂纹扩展导致最终断裂失效直接原因是因为泵轴键槽部分的外表面发生了与联轴器相互摩擦变形损伤,使轴外表面产生了较大的塑性流动变形,加之轴表面存在大量分布的横向不变形的钙硅酸盐夹杂物,使之在界面上引发疲劳裂纹的诱发生,在交变载荷作用下产生疲劳裂纹扩展。

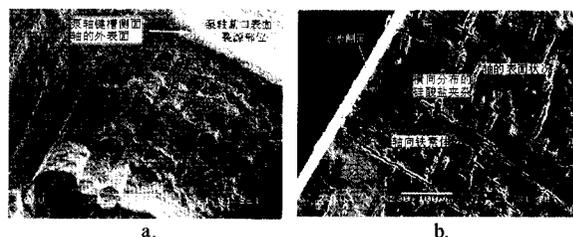


图5 键槽处泵轴外表面状态形貌照片

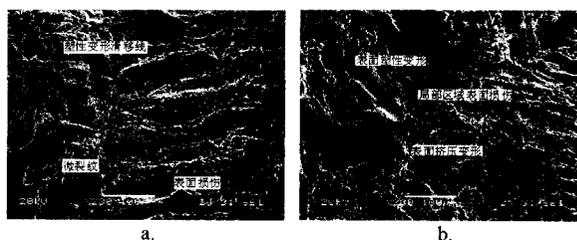


图6 键槽断口下方泵轴外表面状况

5 结论及建议

(1) 化学成份分析结果表明泵轴材料牌号为0Cr18Ni12Mo2Ti,但硅含量明显偏高,这与钢中含有一定量的硅酸盐夹杂有一定的关系。

(2) 泵轴断裂属于交变载荷作用下导致的疲劳裂纹扩展造成的。

(下转第51页)

器内的杂质及时清理出来。

2.4 加强设备的日常维护保养和日常巡检工作

没有排污装置的设备应制定一个合适的排污计划,定期对设备进行排污。茂昆管道在出现管道设备被杂质损伤的情况后,已加强了这方面的管理。

对装有注脂孔的设备密封装置定期注入润滑脂,一来可以润滑密封装置内的传动件,二来可以防止杂质进入密封装置内。

当过滤器堵塞时要及时清洗过滤器,并检查滤网有无破损,若有破损,应立即更换滤网。茂昆管道在密度计泵(磁力离心泵)被进入泵内的杂质损坏后立即制定了有效的防范措施,规定密度计泵过滤器在每次混油头进站之前进行清洗,并且缩短密度计泵的运行时间,每次混油头进站前启泵,混油头过站后停泵(以前密度计泵是长期不间断运行的)。采取以上措施后,密度计泵的故障率已大大降低。

成品油管道在正常运行一段时间后应根据管道运行情况安排时间进行通球清管,清除管内杂质及管壁结垢^[5]。

新管道在水联运结束后宜对在水联运期间运行时间最长的主输油泵进行拆泵清污维护。水联运期间管内水中杂质很多,主输油泵容易在泵腔内沉积大量泥沙铁锈,如不及时清理,很可能对泵造成损伤。

认真巡检,发现密度计泵(磁力离心泵)或主输油泵机械密封冲洗管有发热超标现象,须立即进行拆检清洗。

2.5 优化工艺操作调节方案

过低或过高的流速对管道和管道设备都会产生不利的影响,流速过低,流经设备的油品中的杂质容易沉淀出来,沉积于设备内对设备造成损伤;流速过高会导致湍流,沉积在管道底部的杂质会被大量卷起随油品进入设备内,每次较大幅度提高管道输油量时,进站过滤器就频繁堵塞足以说明这个问题。

为防止过多的杂质进入主输油泵出口平板闸阀内,条件许可的话,主输油泵每月应切换一次。

3 结束语

综上所述,管内杂质对管道设备的损伤形式主要是堵塞、刮伤和冲刷磨损。而应采取的预防措施主要是防止杂质进入管道及设备内,同时采取办法及时清除管道及设备内的杂质。另外,通过技术改造,改善设备性能,避免设备受到管内杂质的损伤可以成为探讨和研究的方向。

参考文献

- [1] 赵克中. 磁力驱动技术与设备[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [2] 李仕. 贵阳输油站水击池压阀误动作原因分析及防范措施[J]. 管道技术与设备, 2008, 15(1): 32-33.
- [3] 陆培文. 调节阀实用技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [4] 高慧, 侯晓辉. 管道球阀密封原理及泄漏分析[J]. 油气储运, 2006, 25(3): 58-60.
- [5] 杨筱衡. 油气管道安全工程[M]. 北京: 中国石化出版社, 2005.

(上接第47页)

(3) 泵轴材料组织为奥氏体+部分铁素体,在奥氏体基体上分布沿轴向条状铁素体析出相,说明材料固熔处理时加热温度偏高或时间偏长。

(4) 导致本次轴疲劳断裂的直接原因是轴表面存在较多的夹杂物,引起微裂纹引发大量平行的疲劳源。

(5) 针对本次轴发生的断裂位置分析,叶轮上部轴承下的法兰盘脱开,轴承下在导流体内孔内向下滑落,从而导致第五根轴底部发生径向方向摆动,产生动不平衡,引起轴底部振动加剧,引发轴表面产生较大的塑性挤压变形。这也是使之产生轴表面诸

多平行微裂纹,导致轴加速断裂的间接原因之一。

建议:

(1) 在安装泵时严禁强行组装,以避免轴键槽处表面损伤。

(2) 检修期间要注意检查叶轮部件是否有腐蚀现象存在,同时注意检查叶轮吸入口水流动分布均匀状态,以避免汽蚀和漩涡引起振动加剧现象出现。

(3) 联轴器法兰盘应采用全焊透结构,以避免向下滑落。

(4) 严格控制材料的化学成份,尤其是硫、磷、硅元素,使其含量在标准范围内,本次泵轴中硅元素偏高。另外对材料中的硅酸盐夹杂物要有一定的控制。