

某核电厂上充泵平衡鼓磨损问题分析

王岩

(辽宁红沿河核电有限公司 辽宁 大连 116001)

摘要: 某核电厂上充泵在机组调试、日常及大修期间均出现了不同程度的平衡鼓磨损现象。根据平衡鼓磨损情况,分析讨论其产生原因、预防方法,以及磨损后所带来的影响。利用 CFD 软件模拟对比了平衡鼓磨损前后间隙处的流动情况及平衡鼓两侧的压差情况,验证结果显示,磨痕不会减弱节流装置的节流效果,同时也不影响泵的可用性。

关键词: 上充泵; 平衡鼓; 磨损; 间隙

1 系统及设备简介

多级离心泵是重要的泵类产品,被广泛应用于核电领域,在其高压力、高扬程的工况运行下,由于叶轮前后盖板的外表面压力分布不对称等原因,在离心泵转子上会产生较大的轴向力。多级泵常通过安装平衡鼓或平衡盘等装置来平衡轴向力,其中,平衡鼓是多级泵平衡轴向力的主要平衡装置之一,它具有结构简单,不同动、静金属接触,运行可靠性好等优点。其原理是平衡鼓前面是末级叶轮的后腔,后面是与吸入口相连通的平衡室,这样作用在平衡鼓上的压差形成指向与转子轴向力相反的力,从而起到平衡的作用。

平衡鼓与平衡鼓套的间隙值对泵的正常运行起着至关重要的作用,合理的间隙值将增加泵组运行的稳定性,若此间隙值偏大,将导致间隙泄漏量增大,而不能起到很好的平衡作用;若此间隙偏小,则间隙泄漏量就会减少,平衡效果就会减弱,其产生的平衡力就会变大,同时时间隙值过小会直接导致平衡鼓与平衡鼓套之间的相互摩擦,引发设备振动、噪声等不利影响,降低设备使用的可靠性。

上充泵是核电厂化学和容积控制系统(RCV)的组成部分,其主要功能如下:

(1) 上充功能:向反应堆冷却剂系统输送上充水,维持稳压器正常水位,执行上充功能时仅需 1 台上充泵运行;

(2) 主泵密封水注入功能:为 3 台反应堆冷却剂泵的 1 号轴封提供密封水注入,既阻止主回路高温冷却剂沿主泵轴向向外泄漏,又润滑和冷却主泵轴承,防止主泵轴封损坏;

(3) 高压安注功能:在安全注入的情况下,上充泵作为高压安注泵运行,防止在 LOCA 事故中堆芯裸露。

上充泵采用 12 级径向叶轮及导叶单向布置,配合

中段用 4 根穿杠螺栓紧固连接,各中段之间采用 O 型圈密封,除首级叶轮为 5 枚叶片,其余 11 级叶轮均为 7 枚叶片,导叶采用 12 枚叶片设计。上充泵设计有平衡鼓同非驱动端推力轴承共同平衡转子的轴向力,两端轴封采用集装式机械密封。上充泵两端均采用滚动轴承设计,驱动端为自由端,采用径向圆柱滚子轴承,为油池润滑,油封采用非接触式铜合金骨架油封。非驱动端为受力端,采用圆锥滚子轴承来平衡轴向力,通过轴承自身的转动带动周围的润滑油循环冷却润滑。为了防止轴承温度过高,油室设计有供油、回油管线,形成一个从齿轮箱经冷却风扇到轴承室,最后返回齿轮箱的一个冷却循环系统,来冷却非驱动端轴承,油封采用机械油封。

2 问题描述

2014 年 5 月 23 日,在对泵轴卡环凹槽部位进行 PT、MT 探伤检查工作过程中,解体 3RCV003PO 时发现节流衬套、平衡鼓磨损(图 1),后更换新的节流衬套、平衡鼓,并于 2014 年 7 月 18 日完成回装和再鉴定工作。再鉴定期间,各项参数均正常。

2014 年 5 月 31 日,在对 3RCV002PO 泵轴卡环凹槽部位进行 PT、MT 探伤检查过程中,解体发现节流衬套、平衡鼓磨损(图 2),后更换新的节流衬套、平衡鼓,并于 2014 年 7 月 18 日完成回装和再鉴定工作。再鉴定期间,各项参数均正常。

3 原因分析

根据现场各上充泵平衡鼓及节流衬套的磨损情况,同时结合与国内外厂家的共同研究讨论,初步分析得出以下三点为导致平衡鼓、节流衬套发生异常磨损的主要原因:

(1) 上充泵在偏小流量工况下运行;

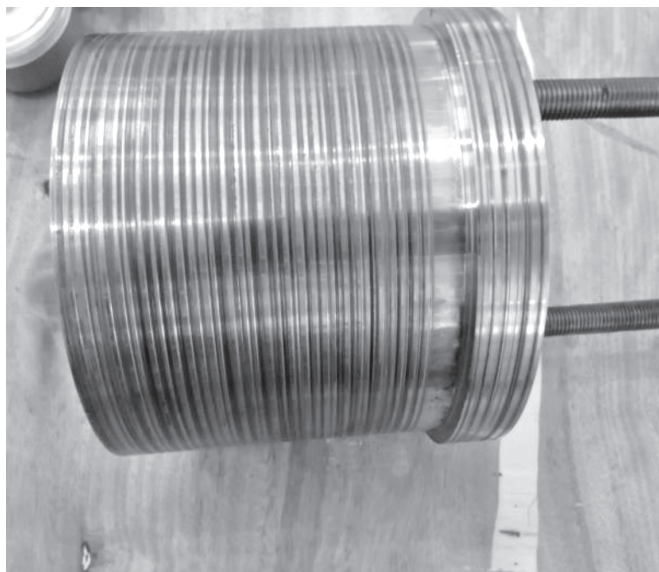


图 1 3RCV003PO 平衡鼓磨损情况

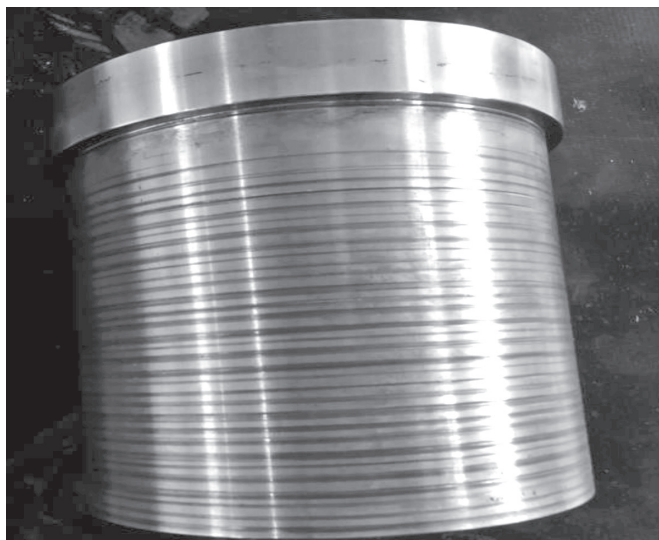


图 2 3RCV002PO 平衡鼓磨损情况

两端不回装机械密封的情况下回装两端轴承，各连接处按照相应的力矩要求进行紧固，用塞尺塞出平衡鼓与平衡鼓套上下左右的间隙，结果为左右均等，底部间隙明显小于上部间隙（底部为 0.10mm，上部为 0.30mm，标准直径间隙为 0.45 ~ 0.505mm，因塞尺头部宽度问题测量存在误差），上下部间隙的不同说明了止口配合的弊端，造成了静、转子不同心的现象，同时也导致了平衡鼓的磨损。

4 处理措施

根据平衡鼓磨损的原因，制定出了如下 4 点预防措施：

- (1) 加强对设备回装的质量控制，严格控制各止口处尺寸，避免因安装不当导致设备部件的磨损；
- (2) 防止设备在偏小流量下运行；
- (3) 做好防异物措施；
- (4) 加强对设备运行参数的监控。

如果要彻底解决平衡鼓的磨损问题，需对两端轴承支架及筒体大盖处增加定位销，但根据目前现场情况及厂家反馈，可行性不大，且此原因导致的磨损在可控范围内，不影响泵组的正常运行，因此根据目前现场运行经验，无需进行改造。

5 影响分析

平衡鼓与平衡鼓套的摩擦会导致泵的振动增大，从而影响泵的正常运转，同时平衡鼓表面镀有铬层，镀层的存在保证了平衡鼓与平衡鼓套接触摩擦时不会出现咬合的现象。但磨损后表面镀层会脱落成锯齿状，脱落的部分会随着平衡管进入到泵入口处，随着水流进入系统，磨损掉落的镀层可能会导致主泵轴封水管线上的滤网堵塞，小于 $5\mu\text{m}$ 的异物进入到主泵轴封内，导致主泵轴封磨损加快，轴封泄漏量变大。

为了进一步验证平衡鼓磨损后的状态，进行了平衡鼓两次磨损的深度对比，将平衡鼓首次磨损后的深度进行测量后回装，经过一定时间的运行，将平衡鼓取出，再次测量平衡鼓磨损的深度，结果发现磨损深度并未增加，这证明平衡鼓的磨损只存在于设备检修后的首次启动的瞬间，当磨损深度达到一定时，平衡鼓与节流衬套不再摩擦，这时泵的振动也就比较平稳，不会对泵组造成影响。

平衡鼓与平衡鼓套发生磨损后，会在平衡鼓的表面形成宽度不一的锯齿状沟槽，为了探讨此沟槽对泵平衡鼓功能的影响，是否起到平衡轴向力的作用，通过 CFD 计算可以得出：此锯齿状沟槽会使间隙处的阻力变大，从而降低泄漏量，减小容积损失，最终导致平衡鼓两侧压差增大，这样有利于平衡鼓对轴向力的平衡，达到更好的平衡效果。

- (2) 泵内存在异物；
- (3) 泵安装采用止口配合，无定位销，不能排除定、转子不同心的可能。

第一次拆检发现，3RCV002/003PO 的平衡鼓、节流衬套磨损，芯包解体时存在异物，3RCV002PO 部分部件存在高温变色痕迹等异常现象，初步分析 3RCV002/003PO 平衡鼓和节流衬套磨损与异物及偏小流量运行因素有关，随后更换了新的平衡鼓、节流衬套。

第二次拆检发现，3RCV002/003PO 平衡鼓、节流衬套的磨损程度小于第一次，经核查运行记录及排查小流量保护系统，基本排除 3RCV002/003PO 偏小流量运行工况及泵内异物因素，判断泵安装采用止口配合，无定位销造成转子不同心为平衡鼓磨损的主要原因，并在设备回装阶段验证了此问题的存在，其验证方法为：在

CFD 计算过程简介如下:

初始条件设置: 采用 SST 湍流模型, 整体模型划分为约 0.9×10^6 个, 水温设置为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, 流速设置为 $10\text{ m}^3/\text{h}$, 转速设置为 4500 r/min , 入口处的压力按照泵出口压力设置, 磨痕的深度设置为 0.2 mm , 仿真模型如图 3 所示。

计算结果对比如下:

流速模拟如图 4 所示, 可以对比得出磨痕能够降低间隙处的流速。

压降模拟如图 5 所示, 可以对比得出磨痕使得间隙处压降变大, 增大了节流装置对流体的阻力。

综合以上对平衡鼓磨损后产生的影响分析, 并与国内外厂家达成共识, 确定平衡鼓的失效标准为:

(1) 平衡鼓表面镀层有脱落(非磨痕);

(2) 平衡鼓和平衡鼓套之间的径向间隙大于 0.3 mm ;

(3) 平衡鼓上出现 2 道及以上 1 mm 深的磨痕。

满足以上任何一点, 将对平衡鼓进行更换处理。

6 结语

上充泵作为重要的核岛泵, 平衡鼓作为上充泵的关键部件, 每次检修对其磨损量的检查及其可用性的判定至关重要, 从对平衡鼓磨损原因的深入分析, 可以更好地避免后续机组设备的平衡鼓磨损, 以减少不必要的磨损而造成的设备故障。从对平衡鼓磨损后的影响分析可以得出, 若未满足失效标准的三者之一, 如磨损产生的锯齿状沟槽属正常磨损, 不仅不影响平衡鼓的使用, 反而强化了其功能, 此成果有效地避免了后续检修过程中不必要的更换或因缺少备件延误工期, 从而避免不必要的经济损失, 具有较高的经济效益。

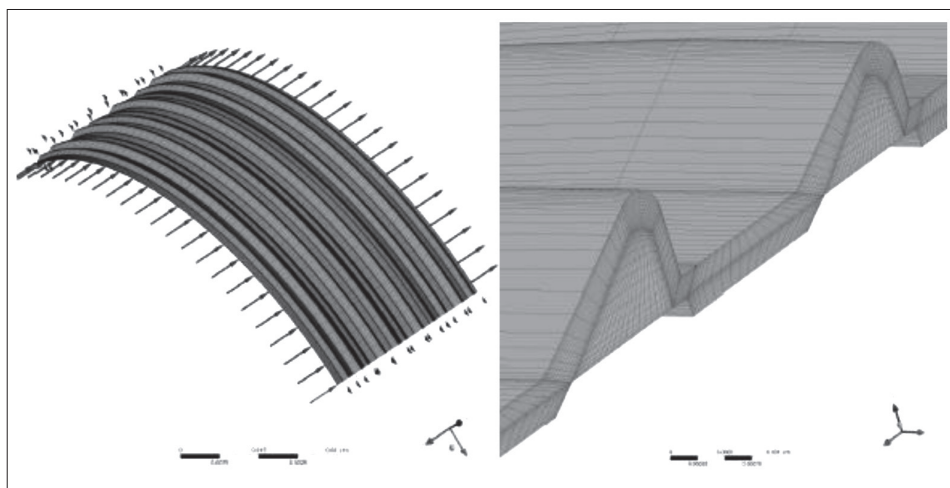


图 3 仿真模型

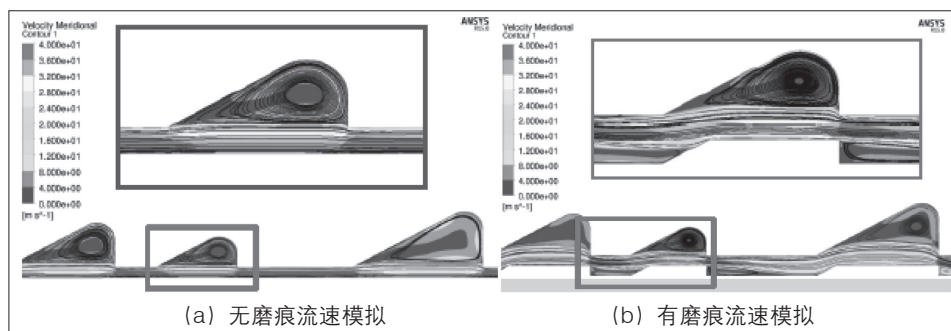


图 4 流速模拟对比

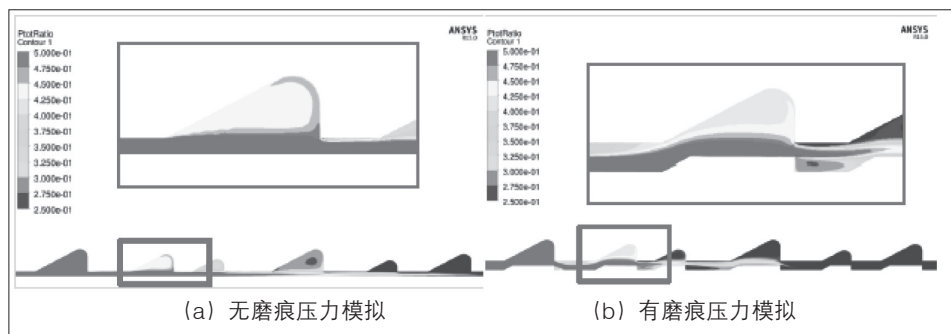


图 5 压降模拟对比

参考文献:

- [1] 关醒凡. 泵的理论与设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.
- [2] SOFOGLOU. Equipment Operation and Maintenance Manual (EOMM) for the RCV Charging Pump Set [M]. Germany: KSB AG, 2015.

作者简介: 王岩 (1988.06-), 男, 汉族, 本科, 研究方向: 核电站核岛泵检修。