

Cause Analysis and Preventive Measures for Cavitation of Electric Feed Pump of 600MW Unit

Xiaoming Hao

Chengdu East Group Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610095, China

Abstract

Cavitation occurred in motor-driven water feed pump of a 622.5MW thermal power plant during load increasing and pump switching stage, leading to damage of the pump cartridge. Based on the actual operation situation and parameters, this paper has focused on the reason why cavitation occurs and putting forward corresponding preventive measures.

Keywords

electric feed pump; cavitation; minimum flow

600MW 机组电动给水泵汽蚀原因分析及预防措施

郝晓明

成都东部集团有限公司, 中国·四川成都 610095

摘要

越南某622.5MW火力发电厂电动给水泵在启机切汽泵过程中发生汽蚀,造成泵内芯包报废。论文从现场实际运行情况出发,结合运行参数,分析可能导致汽蚀的原因,并提出相应的预防措施。

关键词

电动给水泵; 汽蚀; 最小流量

1 引言

给水泵汽蚀归根到底是给水的汽化造成,泵运转时,液体局部压强下降到等于或低于当时温度下的汽化压力时,给水发生汽化,产生气泡,气泡随液流进入泵内较高压强处时,气泡被压缩而迅速变形破灭,周围液体以高速射向气泡中心,对流道表面产生高达几百个大气压的冲击,造成壁面材料剥蚀,其破坏机理可以归纳为机械作用、化学腐蚀作用、电化学反应和热力学作用^[1]。汽蚀发生后会影响泵的扬程、流量等,达不到额定出力,汽蚀发展到一定程度后,甚至能够堵塞流道,对泵造成较大损害。火力发电厂给水泵发生汽蚀的原因有多种,常见的原因有低压给水管道设计缺陷^[2],出口流量大幅波动^[3],现场安装不合要求^[4],给水欠焓较低^[5]等。

越南某 622.5MW 火力发电厂设计有一台 FK5F32(1) M 型电动给水泵组,配套于机组 30% 负荷容量,其前置泵额定性能参数为:流量 703.5m³/h,扬程 100m,必须汽蚀余量为 4.09m,转速 1490rpm;电泵额定性能参数为:流

量 703.5m³/h,扬程 2310m,必须汽蚀余量为 35.18m,转速 5486rpm。在机组启停需要启停电泵时,电泵给水需要走最小流量回路直至满足压力要求,以实现稳定切泵,最小流量回路由电泵出口至除氧器,管路上依次设置闸阀,再循环调节阀,闸阀及旋启式止回阀。在一次启机过程中,当汽泵已并入运行准备停电泵时,在电泵转速下降并已切入最小流量回路后,电泵发生汽蚀,芯包严重损坏。论文结合此次电泵发生汽蚀的实际运行及故障情况,对该电泵发生汽蚀的诱因进行分析,并提出相应的预防措施。

2 电泵汽蚀现象

该电厂在启机后升负荷阶段,汽泵已投入,电泵降转速切至最小流量管路后,电泵转速维持 3100rpm,出口压力约 9.59MPa,约 3min 后,突然在除氧器稳定运行时,电泵转速及出口压力出现大幅度反向波动,电泵转速峰值达到 5071rpm,出口压力同时降低至 1.44MPa,电泵机封位置冒出白烟,随即手动停电泵。清理电泵自密封水磁棒后,重新启动,勺管开度开至 13% 时,电泵转速仍为 0,电泵已抱死无法盘车。根据转速及压力等参数,推断电泵可能发生严重汽蚀。电泵芯包随后被抽出送回工厂返修,经检查,各级叶轮与泵壳、平衡鼓与节流衬套、多级叶轮间发生咬合,如

【作者简介】郝晓明(1990-),男,中国湖北十堰人,硕士,工程师,从事机电设备研究。

图 1 所示,同时大轴弯曲,超过校正范围,芯包整体报废。



图 1 平衡鼓与节流衬套咬合痕迹

3 原因分析

该泵在 3100rpm 稳定运行 3min 后开始出现转速及出口大力的大幅波动,以此时的参数来初步判定汽蚀发生原因。此时的参数如下:机组负荷 179.95MW,除氧器抽汽压力 0.29MPa (a),除氧器出水温度 133.55℃,前置泵入口压力 0.53MPa (a),电泵出口压力 9.59MPa (a),电泵最小流量阀阀位 99%。

汽蚀能否发生取决于液体局部压强是否能保证始终大于汽化压力,以水头来考量,即泵的有效汽蚀余量 (NPSHa) 需不小于泵的必需汽蚀余量 (NPSHr)。泵的必需汽蚀余量与泵的叶型及转速等泵固有参数相关,确定必需汽蚀余量一般通过实验曲线^[6],泵的有效汽蚀余量与泵及水源的安装高度差、泵的吸入装置参数及给水温度压力等参数有关,其计算公式为:

$$NPSH_a = \frac{V_d P_d}{g} + H_D - \Delta H_L - \frac{V_1 P_1}{g},$$

其中, V_d 、 P_d 为除氧器处平均给水比容 (m^3/kg) 及抽汽压力 (Pa), H_D 为除氧器与电泵安装高度差 (此电厂为 27m), ΔH_L 为给水管头损失 (此电厂为 5.3m), V_1 、 P_1 为电泵入口水温对应的平均比容 (m^3/kg) 及饱和压力 (Pa), g 为重力加速度。

前置泵入口水温可通过除氧器出口温度近似得到,此时需要注意除氧器压力突然下降或定压运行时系统故障、汽轮机甩负荷等暂态工况下,给水泵入口水温相比除氧器温度变化存在滞后,具体滞后时间为^[7]:

$$\tau_s = \frac{M_s}{W_s}$$

其中, M_s 为下降管水容量 (kg), W_s 为给水泵流量 (kg/s)。此次事故发生时,机组负荷略有下降,相应的除氧器水温也有下降,除氧器下降管水容量经测算为 6327kg 左右,最小回路流量在 200t/h 左右,则前置泵入口温度滞后时间为 113s,这个时间为估算时间,经查 DCS 记录,此时前置泵入口水温应为 134.33℃,略高于除氧器出水温度 133.55℃。

在得知前置泵入口压力、温度及除氧器参数后就可以根据公式计算,得到在前置泵入口处,前置泵有效汽蚀余量为 19.84m,大于前置泵必需汽蚀余量 4.09m,前置泵运转正常。

通俗而言,作为电泵吸入装置的前置泵正常运行则电泵入口压力一定大于对应的饱和压力,此时电泵发生汽蚀则可能是因为流体在电泵内温升过高,造成流体在泵内汽化。给水在吸入装置或电泵内的温升原因主要分为两部分:一是由于机械摩擦造成的给水温升;二是设计有平衡管的水泵。平衡管自泵出口至泵入口平衡鼓处,部分高温给水流过节流衬套进入泵入口后造成回流现象引发温升。由于摩擦及平衡管回流导致的给水温升高计算公式为^[8]:

$$\Delta t_{\text{摩}} = \frac{gH}{1000v} \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right),$$

$$\Delta t_{\text{回}} = \frac{gH}{1000v\eta},$$

$$\Delta t = \Delta t_{\text{摩}} + \Delta t_{\text{回}},$$

其中, $\Delta t_{\text{摩}}$ 、 $\Delta t_{\text{回}}$ 分别为摩擦及平衡管回流引起的给水温升, H 为泵的扬程, η 为泵效率, v 为介质化热,给水在泵内的温升主要跟给水扬程及效率有关。一般对于离心泵,在一定流量范围内,流量越低,则效率越低,扬程越高,也就是说流量越低则温升越高,即存在着泵的最小流量,保证泵内温升足够低,避免因为泵内温升造成水泵汽蚀。最小流量值不是一个严格的限值,以不同准则估算的最小流量也不尽相同,如以温升增加导致汽化为界限,以流量减少导致流动分离进而导致振动为界限,以流量减少时导致轴向力或径向力增加至泵强度极限为界限等^[9]。因而为保证给水泵不汽蚀,给水压力不仅需要大于当前给水温度对应的饱和压力外,给水流量还需大于泵的最小流量,以避免汽蚀发生。

对于该厂电泵,由于电泵吸入装置运转正常,电泵汽蚀的诱因不太可能是给水压力过低,而应是给水温升过高,即最小流量条件未能满足。考虑到电泵转速正常,则最可能造成最小流量条件不满足的原因就是管路堵塞,经检查该电泵最小流量回路调阀笼套发生堵塞,调阀后止回阀阀板掉落,堵塞管道。经分析,在电泵升负荷切汽泵时,止回阀阀板掉落堵塞流道,最小流量管路通流能力急剧下降,流体在经过前置泵及电泵后温升过高,造成汽蚀,汽蚀影响泵的性能进而加剧汽蚀现象,最终发展成汽体堵塞流道,流量降至零,电泵在此过程中持续受到水冲击,各级之间存在着较大作用力,发生咬死,平衡鼓与节流衬套因过热及较大作用力而失效,芯包报废。

4 处理及预防措施

现场工程师随后组织把损坏的给水泵芯包抽出,运回工厂检修,判定芯包报废后,更换了新的芯包。随后对管路进行了细致检查,发现电泵最小流量阀笼套堵塞后,对笼套及附近管线进行了清理。拆卸止回阀发现了阀板脱落后,

制作了新的转轴，将脱落的止回阀阀板重新安装并加固。新的芯包到场后，重新对电泵进行了试转。此次事故中，不可否认给水流量计不稳定对运行监护造成了一定障碍，但电泵从出现汽蚀到停泵持续二十分钟之久，在此期间，从集控室DCS画面上可明显看出，电泵转速及出口压力出现大幅波动，直至电泵机封处冒烟，运行人员未作出任何操作，运行监护的缺失也是导致此次事故扩大化的重要原因。

为预防此类事件再次发生，提出以下几点建议：

①更换高精度的给水流量计，使在小流量状态下，能够对电泵给水流量进行实时监控，并通过DCS组态，对小流量时，特别是电泵走最小流量回路时，进行监控，流量低于最小流量值则自动停机。

②对损坏的止回阀，建议更换新的旋启式带缓闭装置的止回阀，避免因管路压力迅速变化导致阀门损坏。

5 结语

越南某622.5MW电厂在升负荷切汽泵过程中，电泵发生严重汽蚀，经判定属于止回阀阀板脱落导致的给水在电泵内温升过高造成汽蚀。回装加固止回阀后，新电泵运转正常。电泵汽蚀归根到底是因为给水发生汽化，为保证不发生汽

蚀，应尽量使给水压力高于给水温度对应的饱和压力，同时给水流量应大于厂家要求的最小流量，避免电泵汽蚀。

参考文献

- [1] 王勇,刘厚林,谈明高.泵汽蚀研究现状及展望[J].水泵技术,2008(1):1-4.
- [2] 闫晓宇,贾磊.给水泵汽蚀原因分析及低压给水系统优化[J].内蒙古电力技术,2015,33,2(96):100.
- [3] 王秀娟,曹亚楠,阳黎明.南屯矿电厂给水泵汽蚀分析及处理[J].通用机械,2010(12):62-63.
- [4] 李建山,宋秀范.300MW机组电动给水泵剧烈振动的原因分析及对策[J].华北电力技术,2010(2):39-41.
- [5] 刘刚,周忠涛,刘海明,等.1000MW超超临界机组炉水循环泵汽蚀原因分析及解决措施[J].湖北电力,2013(6):37.
- [6] 潘中永,倪永燕,汤跃,等.离心泵汽蚀余量计算与预测[J].农业机械学报,2008,39(12):4.
- [7] 蓬静欣,邓祖诚.除氧器滑压运行暂态过程及给水泵汽蚀余量降落值的计算[J].热力发电,1987(6):10.
- [8] 郝阳洋.离心泵最小连续热限制流量的估算[J].中国石油和化工标准与质量,2011(12):2.
- [9] 张翼飞.离心泵最小流量的确定[J].流体机械,1996,24(1):4.