

凝结水泵（多级离心泵）推力瓦温度高分析及处理

马俊豪

国家电投集团贵州金元鸭溪发电有限公司, 贵州 遵义 563108

DOI:10.61369/ETQM.2026030021

摘 要： 为了提高凝结水泵在运行中推力瓦温度的可靠性，保证机组安全稳定运行。对凝结水泵的推力瓦工作窜动量进行了专项分析，推力瓦温度主要取决于冷油器进水温度、油质及泵体检修的配合间隙，通过对我厂凝结水泵运行中推力瓦温高进行分析及处理，保证了凝结水泵的在运行中工况优秀，增强了机组运行的可靠性。工作窜动量的调整按照常规检修思路调整后并不能保证在运行中，如果诱导轮发生汽蚀现象，泄漏量将会增大，使轴向窜动发生波动，若此时没有工作窜动的富裕量，极大可能造成烧瓦的现象发生。本次对工作富裕量、泵体的轴向窜动及诱导轮间隙之间的联系进行进一步分析，对于这一问题，抢修期间短时间提出了解决办法。

关 键 词： 工作窜动量；富裕工作窜动量；诱导轮；技术分析

Analysis and Treatment of High Temperature of Thrust Bearing of Condensate Pump Multistage Centrifugal Pump

Ma Junhao

SPIC GUIZHOU JINYUAN YAXI POWER CO.,LTD, Zunyi, Guizhou 563108

Abstract： To enhance the reliability of the thrust bearing temperature of the condensate pump during operation and ensure the safe and stable operation of the unit. A special analysis was conducted on the working movement of the thrust bearing of the condensate pump. The temperature of the thrust bearing mainly depends on the inlet and return water temperatures of the cooler, the quality of the oil, and the fit clearance during the inspection and maintenance of the pump. Through the analysis and treatment of the high temperature of the thrust bearing during the operation of the condensate pump in our factory, the excellent working condition of the condensate pump during operation was ensured, and the reliability of the unit operation was enhanced.

Keywords： work movement; rich job rush; induction wheel; technical analysis

前言

多级离心泵作为一种关键的动力输送设备，广泛应用于国民经济的多个核心领域，涵盖能源开发、石油化工、冶金制造、城市及工业供水系统等重要工业部门。尤其是在高速运转、高温工况以及高压运行等极端条件下，多级离心泵所处的工作环境异常严苛，因此对泵机组的整体结构强度、材料耐久性 & 运行可靠性提出了非常高的要求。在众多影响泵长期稳定运行的因素中，平衡机构（例如常见的平衡盘或平衡鼓结构）的设计合理性与制造精度，以及推力轴承的选型匹配与动态性能表现，是尤为关键的两个方面。通常，在多级离心泵的叶轮设计阶段，工程师并不考虑设置专门的轴向力平衡结构，这就使得泵在实际运行过程中由于流体动力学效应所产生的轴向推力，必须完全依赖外部附加机构进行动态平衡。因此，对轴向力进行精确计算的准确性显得至关重要，它直接决定了平衡机构与推力轴承的设计方案是否科学合理，进而显著影响这些关键部件的机械寿命、磨损状况及整机的运行稳定性和效率。在实际的设备维护、故障诊断与定期检修过程中，维护人员必须对工作窜动量、轴向位移以及其余相关配合间隙进行严格的监控、调整与检测，以确保泵组始终处于设计允许的工作范围之内，从而实现安全、高效和长期可靠的运行目标。^[1]

一、设备概况

5440kg

设备型号：NLT350—400*6（立式多级离心泵）

制造厂家：上海 KSB 水泵厂

流 量：887m³/h 扬 程：305m 转 速：1480r/min 质 量：

二、轴向力的产生及影响因素

一般认为多级离心泵中的轴向力由下列几方面原因产生：

作者简介：马俊豪（1999.03-），男，汉族，贵州省遵义市人，助理工程师，大学专科，研究方向：汽轮机本体及辅机设备。

(1) 由于叶轮前后盖板外表面压力分布不对称产生的力, 以及受压面积不同产生的压力;

(2) 由于液体流经叶轮后流动方向变化产生的动反力;

(3) 扭曲叶片工作面与背面压力不同产生的力;

(4) 由于叶轮流道内前后盖板在同一半径处的压力不同产生的力。

虽然以上有4种产生轴向力的原因, 但一般只考虑前两种原因产生的轴向力。当然离心式叶轮轴向力的产生主要是由叶轮外侧进出口液体引起。但是还有其他很多因素对叶轮轴向力的形成也有影响, 有些属于加工制造装配等因素; 有些属于使用后密封环磨损, 间隙增大引起的。^[2]

以上4种假设原因与实际情况不完全相符, 甚至有些差别很大。实际上叶轮因铸造关系, 每级叶轮产生的扬程都不尽相同; 叶轮前盖板外腔内液体将向内流经密封环, 回到叶轮进口; 叶轮后盖板外腔液体有向外流动, 也有向内流动, 也就是末级叶轮向内流动, 其余叶轮有向外流动的趋势。因此, 每级叶轮通过的液体不尽相同; 另外, 叶轮出口若与导叶或流道不对中, 将引起叶轮出口边在前后盖板处压力值不同; 叶轮密封环间隙和级间间隙变化也会引起叶轮盖板上压力分布变化。^[3]

这些因素综合起来, 使得叶轮前后盖板上的压力分布变得复杂且不对称, 进而产生轴向力。而且, 不同级数的叶轮, 由于位置、液体流动状态以及所受压力的差异, 其产生的轴向力大小和方向也可能各不相同。此外, 泵在运行过程中, 液体的温度、粘度等物理性质的变化, 也会对叶轮前后盖板的压力分布产生影响, 从而间接影响轴向力的大小。同时, 泵的转速、流量等运行参数的变化, 同样会导致轴向力的波动。这些复杂的影响因素相互交织, 使得准确计算和分析多级离心泵中的轴向力变得十分困难。

三、诱导轮与离心轮的结构配置

除了诱导轮与离心轮合理的能量匹配之外, 它们的结构配置是否合理对机组的稳定性和抗汽蚀性能也有直接影响。

高速泵诱导轮的流量系数较小, 易造成叶片上绕流液体的脱流失速。因为在诱导轮同一轴向位置, 叶片的安放角是按照 $\tan \alpha = r = \text{const}$ 来设计的, 安放角随半径的增大而减小, 因此, 轮缘处安放角最小, 轮毂处安放角最大, 冲角也就最大, 脱流失速始于轮毂, 从而使流道中的速度、压力分布不均。^[4] 而失速的流体受诱导轮离心力的作用, 向诱导轮外缘扩展升压, 使诱导轮轮缘处压力骤增, 流体便经诱导轮与壳体之间的间隙, 向进口方向旋转回流回去, 在进口管道形成了与诱导轮旋转方向一致的所谓“回转逆流”, 此回流形成了进口外缘涡流区, 使进口主流扭转地进入诱导轮, 使得流动效率下降。同时, 诱导轮出口轮缘处压力大于轮毂处的压力形成了出口轮毂附近的涡流区。^[5]

诱导轮出口涡流不仅降低了泵的效率, 严重情况还会导致离心轮汽蚀性能的下降, 并产生不稳定工况。

为了改善这一状况, 需对诱导轮的结构进行优化设计。例如, 采用变螺距诱导轮, 通过改变叶片的螺距分布, 使得诱导轮在不同半径处的安放角更加合理, 从而减少冲角, 降低脱流失速的风险。另外, 优化诱导轮与壳体之间的间隙设计, 避免过大的

间隙导致回流现象加剧, 进而减少进口外缘涡流区的形成。同时, 合理匹配诱导轮与离心轮的叶片数和叶片形状, 使两者之间的能量传递更加平稳, 减少出口涡流区的产生, 提高泵的整体效率和抗汽蚀性能。

四、工作窜动量及富裕工作窜动量

泵体的总窜动量: 叶轮在腔室内自由窜动的最大值

工作窜动量: 推力头锁紧后, 推力头的轴向窜动的量

工作窜动量的富裕量: 推力头窜动中防止摩擦的量。^[6]

工作窜动量的调整公式: 总窜 / 2 — 0.5mm (根据实际情况可调整)

工作窜动量的合理设置对于凝结水泵的稳定运行至关重要。若工作窜动量过小, 可能导致推力头与固定部件之间的摩擦增大, 产生过多的热量, 进而影响泵的性能和寿命。反之, 若工作窜动量过大, 则可能引发泵的振动和噪音问题, 同样不利于泵的长期稳定运行。因此, 在实际操作中, 需要根据泵的具体型号、运行工况以及历史数据等因素, 综合考虑确定合适的工作窜动量。同时, 定期对工作窜动量进行检查和调整, 也是确保泵正常运行的重要措施之一。

五、存在主要问题

2025年8月份以前鸭溪电厂3号机A凝结水泵在运行中温度波动较大, 长时间超过标准要求, 采用外接风扇处理温度较高的问题, 此方法存在较大安全隐患, 凝结水泵推力瓦温严重影响给水系统安全稳定运行。^[7]

诱导轮间隙过大导致压力分布不对称性加剧:

(1) 叶片工作面(压力面):

泄露带走能量, 降低压力面整体压力 → 削弱正向轴向推力 (指向出口方向的力)

(2) 叶片背面(吸力面):

泄露诱发汽蚀与流动分离, 吸力面压力进一步降低 → 增大反向轴向力 (指向入口方向的力)

反向轴向力的增大, 使得推力瓦承受的载荷分布发生改变, 原本平衡的受力状态被打破。这种不平衡的受力状况, 加剧了推力瓦的磨损, 导致推力瓦温度升高。而且, 汽蚀现象的产生不仅会损坏叶片背面的表面质量, 还会引发振动和噪音问题, 进一步影响凝结水泵的稳定运行, 给整个给水系统的安全可靠运行带来潜在威胁。

六、分析与调整

通过实施停机检修, 对推力瓦进行解体并展开深入分析, 最终得出结论: 影响推力瓦温度偏高的主要因素在于诱导轮的外缘尺寸较大。这一结构特点导致凝结水在进入诱导轮及泵体之后, 一部分水流会从高压区域 (即出口端) 向低压区域 (即进口端) 发生泄漏, 从而对泵体产生一个反向的轴向推力。若此时反向轴向推力产生的位移量大于等于工作窜动量, 便会破坏推力瓦与推力头之间原有的油膜结构, 导致两者直接接触摩擦, 进而引发烧

瓦现象，最终表现为推力瓦温度显著升高。

在设备运行过程中，高转速工况下诱导轮的泄漏量明显大于低转速时的泄漏量，因此高转速下泵体所受的反向轴向力也相应更大。这就解释了为何设备在高转速运行时推力瓦的温度普遍高于低转速运行时的温度。同时分析表明，运行环境的环境温度对推力瓦温度的影响可以忽略不计，基本不构成显著因素。

在本次检修过程中，基于实际工作条件和操作可行性，并未将泵体整体提出，因此无法直接调整诱导轮间隙。检修团队采取调整工作窜动量的方法：检修前总窜量为8.9mm，工作窜量为4.45mm；通过将工作窜动量直接调整至3.70mm，使推力瓦在工作中保留5.20mm的富余量，推动泵体整体下移，从而为推力头留出足够的工作窜动余量。这一调整有效保障了推力瓦与推力头之间形成稳定、充分的油膜，从根本上消除了运行中推力瓦温度过高的隐患。

本次检修所发现的问题及其解决方案，可推广应用于解决我厂多数多级离心泵推力瓦温度偏高的问题，显著增强设备运行的可靠性与稳定性。

七、调整后效果

检修后凝结水泵运行中的推力瓦温从修前76.3°下降至50.68°，且推力瓦温度一直处于稳定状态。



参考文献

[1] 郑建华, 孙玉琢, 刘志军, 等. 多级离心泵的轴向力研究 [J]. 水泵技术, 1999, (04): 7-14.

[2] 徐成波, 骆大章. 高速离心泵中诱导轮与离心轮的匹配关系研究 [J]. 水泵技术, 1997, (03): 6-8+20.

[3] 赵雅丽. 多级离心泵转子轴向位移(窜量)的分析及调整 [J]. 水泵技术, 1997, (03): 45-47.

[4] 龚桂华. 汽动锅炉给水泵推力瓦温度高的原因分析及处理 [J]. 水泵技术, 2015, (05): 43-44.

[5] 吕亚飞. DG600-240型给水泵推力瓦温度高原因分析及处理 [C]// 中国电力技术市场协会. 2024年电力行业技术监督专业技术交流研讨会优秀论文集. 华润电力湖北有限公司; 2024: 565-569.

[6] 高红俐, 杨继隆, 叶力, 等. 分段式多级离心泵的轴向力计算 [J]. 水泵技术, 2000, (02): 8-12.

[7] 葛杰, 李长贵, 师延盛, 等. 多级离心泵轴向力的数值计算与平衡 [J]. 通用机械, 2016, (11): 80-83.

[8] 吕亚飞. DG600-240型给水泵推力瓦温度高原因分析及处理 [C]// 中国电力技术市场协会. 2024年电力行业技术监督专业技术交流研讨会优秀论文集. 华润电力湖北有限公司; 2024: 565-569.

[9] 陈红霞. 600MW机组汽动给水泵推力轴承温度高问题分析及处理 [J]. 机电信息, 2012, (21): 98-99.

[10] 尹以宣, 何鹏. 某核电站海水泵推力轴承温度高故障分析及处理 [J]. 电子世界, 2014, (06): 174-175.

八、结论

诱导轮间隙是决定凝结水泵汽蚀性能的关键因素，其大小直接关系到设备的运行稳定性和寿命。若诱导轮间隙设置过大，将严重削弱泵的抗汽蚀能力，甚至导致性能完全崩溃。从经济性角度看，间隙过大会造成泵内泄漏增加，有效输出流量降低，为维持所需扬程和流量，必须提高运行转速，从而导致效率显著下降，厂用电率随之上升，运行成本增加。此外，汽蚀现象会诱发强烈振动，长期运行可能进一步引起机械密封、轴承等关键部件的损坏，严重时甚至引发非计划停运事故，对电厂运行安全性与经济性均构成威胁。因此，在每次检修过程中，必须严格检测并控制诱导轮的外缘间隙以及级间叶轮的各个配合间隙，具体数值应严格参照设备制造厂家提供的技术规范和说明书要求执行，以确保机组始终在最佳工况下安全、稳定、高效运行。

同时，对于凝结水泵轴向力的平衡问题也不容忽视。合理的结构配置以及准确的工作窜动量设定，能够有效平衡轴向力，减少推力瓦的磨损，降低推力瓦温度过高的风险，进一步提升泵运行的稳定性与可靠性。通过对诱导轮间隙以及轴向力相关因素的精准把控和合理调整，可显著提高凝结水泵（多级离心泵）的整体性能，保障电厂发电系统的稳定运行，降低运行成本与安全风险，为电厂带来良好的经济效益与社会效益。