

弯管式混流泵导叶体维修探索

赵文军, 力 刚, 蔡晓东, 单翔宇

(江苏省骆运水利工程项目管理处, 江苏 宿迁 223800)

摘要:水泵运行中常有叶片气蚀、主轴颈磨损、导轴承损坏等问题, 导叶体损坏虽不常见, 但因其作用重要, 维修困难, 损坏后危害大, 必须高度重视。以沙集泵站为例, 在初步分析导叶体损坏原因基础上, 得出导叶体与橡胶轴承上下止口的配合间隙是导叶体维修的关键控制因素。从适用情况、实施时长、费用、优缺点和效果等方面, 分析比较垫青稞纸、镶内衬、加装新法兰、焊接连接螺栓和锥形止口等导叶体维修方案, 得出垫青稞纸方案未能完全改善导叶体止口受力, 镶内衬方案的台阶易损坏致使内衬脱落, 加装新法兰后因原法兰打孔较多而强度降低, 焊接连接螺栓方案间隙调整困难, 锥形止口方案费用较高但承载能力强且运行可靠性高, 效果最优。

关键词: 弯管式混流泵; 导叶体; 维修

中图分类号: TV675

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2021)06-0064-0005

Exploration on maintenance of guide vane body of elbow mixed flow pump

ZHAO Wenjun, LI Gang, CAI Xiaodong, SHAN Xiangyu

(Luoyun Hydraulic Project Management Division of Jiangsu Province, Suqian 223800, China)

Abstract: Problems such as blade cavitation, wear of main journal and damage of guide bearing often exist in the operation of water pump. The damage of guide vane body is not common, but it is difficult to maintain due to its important role and great harm after damage, which must be paid great attention to. Taking Shaji pump station as an example, based on the preliminary analysis of the damage causes of the guide vane body, it is concluded that the matching clearance between the guide vane body and the upper and lower stop of the rubber bearing is the key control factor for the maintenance of the guide vane body. From the aspects of application, implementation time, cost, advantages, disadvantages and effects, the maintenance schemes of guide vane body such as pad highland barley paper, lining, adding new flange, welding connecting bolt and conical stop are analyzed and compared. It is concluded that the pad highland barley paper scheme fails to completely improve the stress at the stop of guide vane body, and the steps of lining scheme are easy to be damaged, resulting in lining falling off. After the new flange is installed, the strength of the original flange is reduced due to more holes, the gap adjustment of the welded connecting bolt scheme is difficult, and the conical stop scheme has high cost, but strong bearing capacity, high operation reliability and optimal effect.

Key words: elbow mixed flow pump; guide vane body; maintenance

水泵运行中常存在水泵气蚀、水泵主轴颈磨损、水导轴承损坏等问题^[1-4]。水泵气蚀主要发生在叶片外缘进水边背面及叶轮外壳中心偏下部位, 主

轴颈磨损主要发生在下橡胶轴承处、上橡胶轴承处和填函内盘根处, 水导轴承故障主要表现为橡胶轴承严重磨损、烧瓦和橡胶瓦紧固螺钉松动等^[5-8]。据

收稿日期: 2021-12-07

基金项目: 国家自然科学基金(52179091, 51379182); 江苏省水利科技项目(2019017, 2019019)

作者简介: 赵文军(1976—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事大型泵站运行管理工作。E-mail: Jssqzwj@sohu.com

调查,水泵运转故障中大部分是导轴承故障,如果导轴承磨损过大或损坏,则会造成机组轴线动摆度增大,振动加剧,甚至发生叶片碰壳事故^[9-10]。水导轴承故障通过中修更换橡胶轴承即可,水泵气蚀和主轴颈磨损则需通过解体大修才能彻底解决。除上述故障外,导叶体损坏在弯管式混流泵中也发生较多,主要表现为导叶体上下止口损坏,导叶体止口与橡胶轴承之间的配后间隙增大,在电机不平衡磁拉力、叶片不对称、叶轮来流非轴向等原因引起的外力作用下,导叶体与橡胶轴承连接螺栓损坏,其后果更为严重甚至引起机组故障停机,严重影响工程效益的发挥。导叶体损坏致使故障停机虽不常见,但因维修困难,危害较大,必须引起高度重视。本文以沙集泵站为例,在初步分析导叶体损坏原因基础上,得出控制导叶体与橡胶轴承上下止口的间隙是导叶体维修的关键。从适用情况、优缺点等方面分析比较垫青稞纸、镶内衬、加装新法兰、焊接连接螺栓和锥形止口等导叶体维修方案。对工程实际中的不同情况合理选择维修方案,具有一定的借鉴意义。

1 基本情况

1.1 工程概况

江苏省沙集闸站工程采用闸站合一的结构形式,中间为抽水能力 $50\text{ m}^3/\text{s}$ 的抽水站,两侧布置设计流量为 $200\text{ m}^3/\text{s}$ 的节制闸。沙集站站身为堤身式块基型结构,进水流道采用肘形管,出水流道采用平直管,快速门断流,进水流道进口设置检修闸门,快速闸门采用绳鼓式快速启闭机操作。抽水站选用5台套1800HD-10.5型立式混流泵,单机流量 $10\text{ m}^3/\text{s}$,设计扬程 10.5 m ,配套5台TL1600-20/2150主电机,单台功率 $1\,600\text{ kW}$,总装机容量 $8\,000\text{ kW}$ 。该工程建成于1993年,主要抽取洪泽湖水保障徐州地区工农业生产、航运、环保以及调节骆马湖水位。2003年起,丰水季节可利用机组倒转发电。2012年睢宁二站建成后,沙集站与其共同组成南水北调工程运西线第五梯级泵站,使用频率与运行时间均较以往大幅增加。

1.2 机组结构

1800HD-10.5型立式混流泵为弯管式混流泵,设置2只导轴承,水泵上部导轴承(上水导)由双头螺栓固定在水泵的 60° 出水弯管的上半部位,水泵下部导轴承(下水导)则由双头螺栓固定在导叶体内。导轴承采用组合式水润滑橡胶轴承,轴承体为

分半式,轴瓦则为4块,由螺钉固定在轴承体内。水泵的弯管、导叶体、轴承体均为铸铁材质,水润滑橡胶轴承由铰制螺栓固定在导叶体内筒体上,导叶体轴窝上下止口与橡胶轴承为间隙配合。

2 故障情况及原因分析

2.1 故障情况

沙集泵站水泵运行中除发生水泵气蚀、水泵主轴颈磨损、水泵导轴承损坏等问题外,还多次发生导叶体损坏故障。如2014年运行期间,运行值班人员在巡视时听到2号机组水泵处发生轮胎爆破似的异响,紧急停机。随后将2号机上游工作门开高至大约 50 cm ,手放在导叶体和叶轮外壳处,能感觉到金属间有摩擦,将工作门继续开高,则发出金属间刺耳的碰击声。初步判断是水泵叶片处缠绕异物(铁链)或水泵导轴承松动导致叶片碰壳。落上游工作门和下游检修门封堵进出水流道后,对橡胶轴承与导叶体进行检查。发现橡胶轴承外壳法兰螺丝孔变形,与导叶体连接螺栓已脱落;橡胶轴承可自由地从导叶体内取出,导叶体上下止口损坏严重。

2.2 原因分析

导叶体除了起到扩散水流,回收部分动能和将叶轮抽出的水流的旋转运动变为轴向运动的作用外^[11],还将来自橡胶轴承的径向力和轴向力传导到泵墩上。理想对称情况下,对立式泵机组,机组转动部分所受径向力的合力为零,导轴承荷载为零。但由于设计制造、施工安装存在误差及某些结构问题,导轴承不可避免地受径向力作用。水泵运行过程中,橡胶轴承将由电机不平衡磁拉力、转动部件偏心旋转惯性离心力、叶片不对称、叶轮来流非轴向等原因引起的力经导叶体连接的螺栓及导叶体导轴窝的上下止口传递给导叶体,再由导叶体传导至中间接管和泵墩上。

沙集站导叶体导轴窝上、下止口均为间隙配合,上止口的间隙范围为 $0.00\sim 0.22\text{ mm}$,下止口的间隙范围为 $0.076\sim 0.256\text{ mm}$,下止口的间隙范围更大一些。水泵运行过程中,水泵大轴在橡胶轴承中旋转,将对橡胶轴承产生轴向力、径向力和周向力,其中以径向力和周向力产生破坏为主。导叶体与橡胶轴承的相对固定是通过螺栓预紧力作用下,导叶体上止口法兰与橡胶轴承顶部法兰的连接表面产生摩擦力保持的。橡胶轴承所受的径向力均在导叶体与橡胶轴承连接表面以下,其合力使橡胶轴承在导叶体下止口的间隙范围内晃动,加之运行时剧

烈的汽蚀振动产生冲击荷载,极易导致连接螺栓松动,连接表面的摩擦力减小。当传导的径向力和周向力大于摩擦力后,导叶体与橡胶轴承之间将在间隙范围内产生滑移。周期性的径向力(冲击荷载)和周向力将对导叶体法兰上的连接螺栓孔产生破坏,引起螺栓松动、丝牙断裂、螺栓孔增大。此后,径向力主要依靠导叶体上下止口与橡胶轴承之间来传导,因其本为间隙配合,在长期冲击荷载作用下,加之长期浸泡在水中发生化学腐蚀与电化学腐蚀,配合间隙将逐渐增大,引起导叶体上下止口损坏,进而引发水泵蹭壳,甚至产生叶片断裂等严重的后果。

因此,导叶体与橡胶轴承上下止口之间的配合间隙是水泵维修时的关键控制因素。沙集站多年机组大修的实践经验证明,导叶体与橡胶轴承紧配合(通常橡胶轴承是由千斤顶压入导叶体内),则在大修周期内水泵运行不会产生故障,如果橡胶轴承很容易安装到导叶体内,往往水泵没到大修周期就会产生问题。

3 维修方案

沙集站机组大修过程中,当导叶体上、下止口损坏时,根据止口损坏严重程度,分别采取分半轴承体之间垫青稞纸、车止口镶内衬、止口法兰面加装新法兰、连接螺栓焊接固定和锥形止口固定等方法,下面分别阐述并进行分析比较。

3.1 分半轴承体间垫青稞纸

导叶体上止口与橡胶轴承之间的配合间隙在0.06~0.1 mm区间时,通过施加外力(20~40 kN)将橡胶轴承压入导叶体内,可达到两者紧配合的目的;当两者之间的配合间隙小于0.05 mm时,安装时通过外力很难将橡胶轴承压入导叶体内;当两者之间的配合间隙大于0.1 mm时,通过外力容易将橡胶轴承压入导叶体,间隙大于0.15 mm时依靠橡胶轴承自重便可自由落体至导叶体内。若导叶体与橡胶轴承连接螺栓未损坏,可在分半轴承体间加垫青稞纸的方法减小橡胶轴与导叶体上止口的间隙,实现紧配。青稞纸的厚度有0.1 mm、0.15 mm、0.2 mm、0.3 mm等,可根据橡胶轴承与导叶体止口的间隙选用。根据研究^[11],作用于橡胶轴承上径向力大多指向左侧偏出水侧的45°方向^[12],因此安装时,分半式橡胶轴承的装配平面(青稞纸平面)与作用于橡胶轴承径向力方向垂直,可有效缓冲承载这个径向力,延长使用寿命。

3.2 车止口镶内衬

导叶体上止口损坏比较严重情况下,可通过车止口镶内衬的方法修复导叶体止口,具体方案以沙集站导叶体修复为例进行介绍。将导叶体原上止口(内径540 mm,深45 mm的孔)自上而下加工成内径555 mm,深40 mm的孔,底部留有5 mm的台阶不车削用于承载内衬。将内圆直径540 mm,外圆直径555 mm,高度40 mm的内衬(圆环体)镶嵌至前面加工而成的内径555 mm,深40 mm的孔里面。在内衬与导叶体上止口结合部位(直径555 mm)的圆周面上均匀钻4-M8深18 mm的螺纹孔,用M8×10螺钉将内衬与导叶体固定。通过车止口镶内衬的方法可以达到橡胶轴承与导叶体上止口紧配合的目的,但安装时所使用的压力将作用于车削止口时所留的5 mm厚的台阶上,所以使用外力不可过大,配合不宜过紧。

3.3 上止口法兰面加装新法兰

导叶体上止口损坏比较严重情况下,还可以在上止口法兰面上加装新法兰的方法,实现橡胶轴承与导叶体紧配合。先将导叶体上止口法兰面上损坏的螺纹孔塞焊,车平上止口法兰面,在原螺纹孔位置重新钻孔。用8颗M20螺栓将外圆直径647 mm,内圆直径540 mm,厚度25 mm的法兰面固定在导叶体上止口法兰面上。车出新增法兰内止口尺寸为 $\phi 540$ mm,偏原螺纹孔22.5°位置钻深40 mm螺纹孔,用于固定橡胶轴承。此方案在导叶体上止口法兰面上钻8只通孔和8只螺栓孔,法兰面强度有所下降,通过与导叶体螺栓连接的加装法兰面固定橡胶轴承,对连接螺栓的防松要求较高。运行中,一旦连接螺栓松动,导叶体与橡胶轴承的紧配合就会遭到破坏。

3.4 焊接固定导叶体连接螺栓

在农业大用水期间或泵站进行排涝时,水泵发生故障后必须尽快恢复运行,不允许对水泵进行解体大修,可以采取将连接螺栓焊接固定的方法进行抢修。此抢修不需将机组解体,只需将导水锥、水箱和橡胶轴承拆卸后,将导叶体上止口法兰面清理干净。用磁电钻或手电钻将法兰面上的8只盲孔(用于连接固定橡胶轴承的螺栓孔)打通,并自上而下用M20丝锥手动攻丝成通孔。将8只全螺纹六角头螺栓分别从导叶体法兰面自下而上旋转直至螺栓根部,并用扳手加力固定。用与橡胶轴承法兰面相同尺寸的模具检查连接螺栓位置,必要时可在螺栓处旋上螺母后用锤子进行校正。如导叶体上止

口法兰面螺栓孔损坏严重,成椭圆形或比原尺寸增大很多,还可用电焊将六角头螺栓与导叶体上止口法兰面固定后再校正位置。连接螺栓位置校正完成后,安装橡胶轴承,并检查调整轴承间隙。橡胶轴承单边间隙规范要求大于0.08 mm,总间隙小于0.4 mm,可适当放大总间隙,不大于0.6 mm。最后按顺序安装水箱和导水锥,提上游工作门倒转检查无异常后试运行。

3.5 采用锥形止口

前面几种维修方法均是恢复导叶体与橡胶轴承原来的配合结构。为增加承载力,延长使用寿命,提高运行可靠性,可以在导叶体下止口与橡胶轴承的配合上采用锥形止口紧密配合。

导叶体下止口处圆孔自上而下由圆孔和锥形孔(锥度1:10)组成,橡胶轴承与导叶体下止口配合处外圆柱面同样加工成锥形(锥度相同)。导叶体上止口与橡胶轴承维持原设计间隙配合不变。导叶体上止口法兰面与橡胶轴承上端面法兰由8-M20螺栓连接固定,为确保下止口锥度紧密配合,导叶体上止口法兰面与橡胶轴承间留0.5 mm左右间隙。为克服上止口橡胶轴承的径向力,与8-M20螺栓孔错开布置4-16锥销(锥度1:50),锥销上部有分半式压住锥销上的弹簧,确保锥销与锥孔即使遭到剧烈振动也能紧密配合。橡胶轴承所承受的径向力和周向力,通过导叶体下止口和锥销2个部位传导至导叶体上,保证径向力受力的平衡性。弹簧可有效减小剧烈振动引起的冲击破坏,也可预防螺栓松动。

4 维修方案分析比较

分半轴承体间垫青稞纸后,导叶体与橡胶轴配合间隙沿圆周方向并不一致,在青稞纸垂直面方向

形成紧配受力较好,青稞纸所在平面方向间隙较大,受力未得到改善。因此,只能用在当导叶体与橡胶轴上止口配合间隙不太大时使用,一般多用在周期性机组大修。

车止口镶内衬、上止口法兰面加装新法兰和焊接固定连接螺栓3种方法均可用于导叶体上下止口损坏严重情况下。车止口镶内衬,由于止口底部留有5 mm的台阶,承受不了太大的压力,导叶体与橡胶轴承之间的配合间隙不宜过小,否则安装时用力过大会损坏留有的台阶。运行过程中,在冲击力作用下,留有的台阶也极易损坏,引起导叶体上止口所镶的内衬脱落,故实践中车止口镶内衬的方法效果较差。沙集站1#主水泵和2#主水泵在机组大修时采用车止口镶内衬方案,1#主水泵运行2 a后内衬脱落,2#主水泵运行2.5 a后内衬脱落。上止口法兰面加装新法兰方案的关键是加装的新法兰与导叶体连接螺栓的防松,一旦螺栓松动就有可能造成叶片蹭壳,同时上止口法兰面上打16只孔,法兰面强度降低,存在安全隐患。2014年,沙集站2#机大修时,采用此方案维修,运行5 a(1个大修周期)后机组大修前,导叶体与橡胶轴承配合已发生松动。焊接固定连接螺栓主要用于抢修,施工难度较大,焊接螺栓后调整橡胶轴承与水泵主轴之间间隙困难。

采用锥形止口要求重新铸造加工导叶体和橡胶轴承,费用高,可在水泵改造时采用。此方案安装方便,导叶体受力平衡,增加了承载力,延长使用寿命,提高运行可靠性。

上述维修方案分析对比见表1。

5 结 语

弯管式混流泵运行中有叶片气蚀、主轴颈磨损

表1 维修方案对比

方案	适用情况	实施时长	费用	优缺点	效果
垫青稞纸	间隙不太大,多用于周期性大修	不回厂,增长1 d	非常少	间隙不一致,受力不均匀	一般
车止口镶内衬	损坏严重	回厂,增加10 d	较多,增加工费3万元	止口承受不了较大压力,内衬易脱落	较差
加装新法兰	损坏严重	回厂,增加10 d	较多,增加工费5.5万元	对连接螺栓防松要求高	较好
焊接螺栓	损坏严重,抢修	不回厂,增加3 d	较少	施工难度大,精度不高	一般
锥形止口	周期大修或改造	回厂,增加20 d	多,需增加25万元	便于安装,增加承载能力,延长寿命	好

和水导轴承损坏等常见故障,导叶体损坏并不常见,但因维修困难,危害较大,必须引起高度重视。本文以沙集泵站为例,分析比较导叶体维修5种方案,得出如下结论:

(1)通过分析导叶体损坏原因,得出控制导叶体上下止口与橡胶轴承之间的配合间隙是保证长期运行的关键因素。

(2)分半轴承体间垫青裸纸方法简单,导叶体止口受力未得到完全改善,适合在导叶体与橡胶轴承配合间隙不太大情况下使用。

(3)镶内衬和加装法兰方案实践中证明均存在缺陷,焊接螺栓适用于抢修。

(4)锥形止口受力平衡,承载力大,运行可靠性高,但费用也高,可在水泵改造时采用。

参考文献:

- [1] 杜刚海. 大型泵站机组安装与检修[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995.
- [2] 仇占仓, 闫凤建, 代小辉. 尔王庄暗渠泵站大型轴流泵机组常见故障分析与处理措施[J]. 海河水利, 2009(8): 83-85.
- [3] 薛秀燕, 吴晨波. 轴流泵导叶体橡胶轴承的改进及应用[J]. 通用机械, 2007(11): 63-64.
- [4] 仇宝云, 黄海田, 魏强林, 等. 大型立式水泵油轴承改水轴承的应用研究[J]. 流体机械, 2000(1): 35-37.
- [5] 仇宝云, 魏强林, 林海江, 等. 大型水泵导轴承应用研究[J]. 流体机械, 2006(11): 12-15.
- [6] 阚永庚. 江都抽水站一台立式泵机组振动故障的原因分析及消除措施[J]. 水泵技术, 2006(3): 45-47.
- [7] 雍成林, 阚永庚. 大型立式泵机组水导轴承安装方法的改进[J]. 排灌机械, 2007(1): 44-46.
- [8] 施翔, 莫兆祥, 钱杭, 等. 大中型泵站汽蚀修补新材料研究及应用[J]. 中国农村水利水电, 2018(2): 140-143.
- [9] 刘斌, 吴新明, 朱晓辉, 等. 浅谈沙集站水泵导叶体故障与检修[J]. 机电工程技术, 2012(8): 215-217.
- [10] 李久福, 梁鹏展. 1 600 HLBK 导叶体裂纹原因分析及修复焊补处理[J]. 科技信息, 2008(23): 84-85.
- [11] 刘超. 水泵及水泵站[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2003.
- [12] 仇宝云, 林海江, 黄季艳, 等. 大型立式轴流泵叶片进口流场及其对水泵影响研究[J]. 机械工程学报, 2005(4): 28-34.