

双向流道泵站典型故障案例分析

肖忠明¹, 颜红勤², 蒋红樱², 成 立³, 刘志泉³

(1. 丹阳市九曲河枢纽管理处, 江苏 镇江 212000; 2. 江苏省水利工程科技咨询股份有限公司, 江苏 南京 210029;
3. 扬州大学 水利科学与工程学院, 江苏 扬州 225009)

摘要: 泵站双向流道型式在发挥其优点的同时也带来了许多缺点, 这些缺点使此类泵站的故障特点区别于其他装置形式的立式轴流泵站。案例分析将双向流道常见的故障类型分为水力故障、机械故障和电气故障, 并对其中的典型故障发生的原因进行了详细说明, 针对性地提出了相应的改进措施。

关键词: 双向流道; 故障; 泵站; 泵轴; 压力脉动; 汽蚀

中图分类号: TV675 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839(2021)12-0011-04

Typical fault case analysis of two-way passage pumping station

XIAO Zhongming¹, YAN Hongqin², JIANG Hongying², CHENG Li³, LIU Zhiqun³

(1. Jiuqu River Administration Office of Danyang City, Zhenjiang 212000, China;

2. Jiangsu Province Water Engineering Sci-tech Consulting Co., Ltd., Nanjing 210029, China;

3. College of Hydraulic Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: The two-way passage type of pumping station has brought many shortcomings while playing its advantages. These shortcomings make the fault characteristics of such pumping stations different from those of other vertical axial flow pumping stations. The common fault types of two-way passage were divided into hydraulic fault, mechanical fault and electrical fault in case analysis, and the causes of typical faults were described in detail, and the corresponding improvement measures were put forward.

Key words: two-way passage; fault; pumping station; pump shaft; pressure pulsation; steam erosion

在许多泵站建设中, 为满足自引、自排及双向提水的需求, 常常将流道设计成“X”形, 即双向流道^[1], 如图 1 所示。双向流道泵站虽然具有结构简单紧凑、占地面积小、工程投资省等优点^[2], 但由于其箱式结构的特点, 加之双向流道泵站对进水流道水力设计要求较高, 目前在应用中水力性能普遍较低, 运行稳定性普遍较差^[3-4], 在实际运行中故障几率较高。

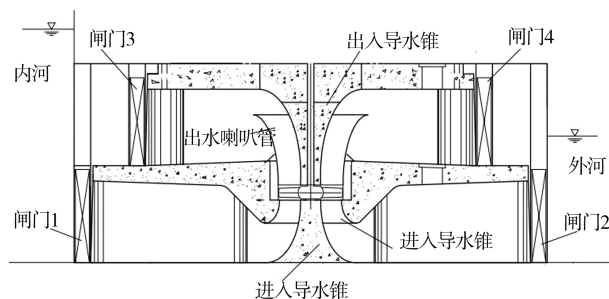


图 1 双向流道泵站示意图

收稿日期: 2021-10-12

基金项目: 国家自然科学基金(51779214); 江苏水利科技项目(2019014)(2020027)

作者简介: 肖忠明(1973—), 男, 高级工程师, 本科, 主要从事水利工程建设与管理工。E-mail: 849298118@qq.com

通信作者: 成 立(1975—), 男, 教授, 博士, 主要从事泵站工程研究工作。E-mail: chengli@yzu.edu.cn

1 双向流道泵站常见故障类型

根据长期调研发现,双向流道泵站常见故障类型可分为水力故障、机械故障、电气故障 3 类。水力故障主要表现为不良压力脉动、水泵叶片和叶轮室的汽蚀;机械故障有叶调机构损坏、主水泵部件损坏、液压启闭机故障、清污机故障等;电气故障有站用变压器故障、直流系统故障等。本文选择其中的典型故障成因及其解决措施进行分析说明。

2 水力故障

2.1 不良压力脉动

2.1.1 成因

双向流道泵站由于其结构的特点,在运行时一端进水、一端封闭,在封闭端会形成一个死水区,即盲端。盲端的存在往往导致回流的产生,使进水流道内易产生涡带,造成叶轮及机组不良振动^[5-6]而引发泵站故障,严重时可能危及机组和泵站安全。另外,双向流道型式本身存在不可避免的缺陷:出水流道顶板偏高,导轴泵轴长度增加,运行时摆度过大;出水流道为双向出水设计,主机组运行时,受盲端静水区影响,容易产生较大的水流脉动^[7]。

2.1.2 解决措施

对水泵结构进行优化:适当缩小导叶扩散角度,提高扩散管出口断面高程,这样有利于改善出水流态和回收动能。对泵轴过长的缺点,在出水流道增设顶板,将电机基础高程下降,使泵轴长度得以缩短;或者通过增加泵轴直径,提高泵轴运行时的稳定性。对导水锥结构进行优化,选择合适的型式减少进出水涡带的产生;对其分段设计,采用哈夫连接,以便于对水导轴承进行检修;利用导水锥将泵轴包裹,减少水流对泵轴的冲击,从而减少泵轴振动的发生。

2.2 汽蚀

2.2.1 成因

某些泵站在建设时未充分考虑双向流道的特点,按照普通轴流泵站的泵型设计选择,导致水泵型号配套不当,结构形式不合理。例如某泵站为满足现场安装要求,加大叶片与叶轮室之间的间隙,导致叶顶间隙超规范,机组运行不稳定,振动偏大,诱发汽蚀。还有的泵站位于江河沿岸,进出口水位变化较大,水泵长期偏离高效区运行,水泵运转不稳定,导致水泵汽蚀。

2.2.2 解决措施

在进行泵站水泵选型时,应进行模型试验和数值模拟计算,合理设计选择泵站的前池和流道型式,使水流平顺地进入流道和叶轮室。水泵的汽蚀主要发生在叶轮室,首先应考虑优化叶轮室的结构。例如某双向流道泵站叶轮室由球形改为圆柱形,使叶轮可以直接从叶轮室中抽出和落下,解决了叶轮不便安装,叶顶间隙不均匀、间隙过大的问题,运行后发现叶轮室无汽蚀状况。其次可对水泵材质进行优化,叶片、泵壳等采用不锈钢等抗汽蚀材料,提高水泵的抗汽蚀性能;对于已被汽蚀破坏的过流部件可采用表面保护技术加以修复。另外应针对河流水位变化特点考虑更换或重新设计合适的泵型,避免水泵偏离设计工况运行。在泵站实际运行中,常在泵壳外部安装传感器监测振动,以判断汽蚀是否发生。

3 机械故障

3.1 叶片调节机构损坏

3.1.1 原因

叶片调节机构损坏会导致水泵变角调节失灵或者出现偏差,影响泵站的高效运行。双向流道泵站叶调机构损坏主要在工厂装配和运行时产生。可能调节机构内的轴承的质量差、装配间隙不符合规范。可能是叶调机构与主机转动的同心度不符合要求,导致机组运行时叶调机构内的轴承径向受力发生变形。也可能当叶调系统在停运状态无油压,在泵站监控系统或在叶调系统 PLC 触摸屏进行叶片调节控制,由于没有液压油,机组叶片角度无变化,叶角电位计无叶片动作反馈信号,叶调系统 PLC 内部程序接收不到叶片角度达到设定值的反馈,导致程序一直给步进电机发调节信号,使步进电机带动调节杠杆达到或甚至超过最大正或负角度,致使配压阀处于完全打开状态。当叶调系统再次投入运行时,系统建立工作油压,因此时叶调系统配压阀处打开位置,叶片角度迅速增大或减小,达到调节机构设定的限位角度,而此时叶调的上或下限位开关已无限位作用(限位开关仅在叶片调节超限时,断开步进电机脉冲调节信号),最终导致机组叶片角度至极限位置。因叶片止点不同,造成不同叶片不均匀受力导致操作架变形,从而导致叶调机构故障。叶调机构工作原理图见图 2。

3.1.2 解决措施

当叶调机构出现损坏时,应对分离器解体检

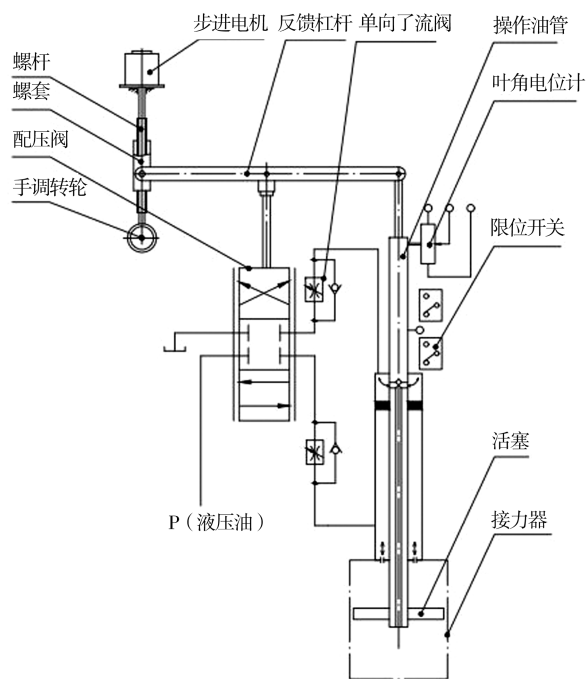


图2 叶调机构工作原理

查,对损坏轴承进行更换,确保分离器的正常运行^[8]。还需检查轴承间隙,如果间隙偏小,调整轴承压盖及其间隙,将其控制在允许范围内。校正调节机构与主机转动部分的同心度及垂直度,使其符合安装标准。在活塞上下增加限位块,在运行操作不当时,使正负极限角度不致造成叶片不均匀受力现象。

3.2 主水泵部件损坏

3.2.1 原因

有的泵站由于受建造时技术及施工条件的限制,水泵选型配套不当,结构形式设计不合理,使水泵运行一段时间后部件发生磨损锈蚀。而且双向流道泵站导叶体常为埋入式的整体,预埋在混凝土内,一旦导叶体发生故障,无法实施更换。

3.2.2 解决措施

对于水泵配套不当应考虑更换泵型号,或者对泵结构形式更新改造。比如某泵站针对该问题进行更新改造,由固定埋入式结构改为竖井筒体式轴流泵结构形式,改用钢结构泵壳与预埋的上底座相连,拆卸安装方便;在混凝土底座植筋预埋,使导叶与中底座连接起来,整个水泵部件置于竖井,可方便地从中吊出,大大方便了水泵的安装维修。

3.3 液压启闭机故障

3.3.1 原因

有些双向流道泵站建设时间较早,启闭机型式老旧,加工粗糙,密封件容易出现损坏,导致活塞漏

油,严重时甚至不能启闭。当启闭机下油封漏油时,水和杂质会随活塞杆的往复运动进入油缸,导致液压油发生乳化,沉积物增多,进而致使阀门锈蚀和堵塞,甚至造成系统失灵,启闭机不能自动锁定,发生跌落,不仅严重影响泵站运行,更易引发安全事故。这是因为原设计的液压油在回油箱和净油箱中只靠压力滤油机净化,如果液压控制阀件加工精度差,在循环过程中压力滤油机只能将液压油过滤一次,导致液压油净化程度不能满足液压控制阀的技术要求。液压油长期在含水和杂质的情况下运行,形成液压油净化不净的恶性循环,油质不断乳化,使阀组阀芯锈蚀、堵塞,最终使阀件失去自动复位功能,造成液压系统故障,影响泵站安全运行。

3.3.2 解决措施

若有效除去油中水分,可在回油箱与净油箱之间增加真空加热滤油装置^[9],使液压油的净化程度满足液压控制阀的技术要求。为防止油缸内进气锈蚀,保证系统工作可靠性,可改造提升油箱高度,改用宽径不锈钢管母管,通过不锈钢支管连接启闭机上腔,保证在开启或关闭闸门时无压油均充满启闭机上腔。如果启闭机柱塞泵仍不能满足运行要求,应考虑换用新型优质的柱塞泵。

4 电气故障

4.1 直流系统故障

4.1.1 原因

直流系统常见故障有系统失电、接地故障、熔断器熔断等。当无交流电输入、元器件损坏、接触不良时^[10-11],均可能导致电气设备停止运行,使直流系统失电。直流系统常见接地故障有绝缘不良、一点接地、多点接地等,设备损坏、天气引起的设备及端子受潮、电缆表皮绝缘破损、裸露金属积有灰尘、控制电缆的接头被渗漏油侵蚀等均可能引起接地故障。

4.1.2 解决措施

对于直流系统失电故障,可先用电压表测量蓄电池组两端电压,若电压显示240V左右,说明蓄电池组正常连接,电池性能正常;然后沿蓄电池组放电回路依次检查输出电压,看各进、出线端是否有电压显示;若某处无电压显示,说明故障极有可能出在此处;之后再通过拆线检查,确定其故障原因。对于直流系统接地故障,处理方法有拉回路法和仪器定位法。应用拉回路法,切断各直流回路时,切

断时间不能超过 3 s,届时无论故障报警信号是否消除均应合上。若接地出现在某一回路,有环路的先解环,再采用取熔丝和拆端子的方法,直至找到故障位置并解决。

5 总 结

双向流道泵站运行水位常常变化较大,死水区的存在导致了回流的发生,这是诱发不良压力脉动、汽蚀等水力故障的重要原因。双向流道型式的特点往往导致泵轴过长,流道水流脉动压强差更容易引发泵轴振摆,导致机组振动,发生机械故障。直流系统失电、绝缘不良等引发电气故障。故障发生时应根据其类型和特点进行解决和预防,在日常运行中注意对泵站进行维护和检修,减少泵站水力故障、机械故障和电气故障的发生频率。很多故障都是由于流道设计、水泵选型、安装不合理引起的,设计人员应根据实际情况选择合理的流道和水泵型式,这对减少故障的发生至关重要;制造人员应提高主机泵结构设计、加工制造工艺,生产合格优质的产品部件;泵站工作人员应结合工程实际不断学习、探索和实践,加强巡视和管理,及时将泵站故障隐患消灭在萌芽状态。

参考文献:

[1] 刘超. 水泵及水泵站[M]. 北京:中国水利水电出版

社, 2009.

- [2] 戴立明. 双向流道泵站的特点分析[J]. 江苏水利, 1999(7):33-34.
- [3] 张鹏, 王麦琪, 李彦军, 等. 大型双向流道泵装置优化与试验研究[J]. 江苏水利, 2017(7):28-32.
- [4] 刘超, 金燕, 周济人, 等. 箱型双向流道轴流泵装置内部流动的数值模拟和试验研究[J]. 水力发电学报, 2011, 30(5):192-198.
- [5] 傅宗甫, 严忠民, 周春天, 等. 双向流道模型脉动压力测试及其特性[J]. 中国农村水利水电, 2005(1): 88-91.
- [6] 焦伟轩, 成立, 颜红勤, 等. 超低扬程双向流道泵装置压力脉动特性研究[J]. 水力发电学报, 2019, 38(6):101-112.
- [7] 郝春明, 万继芳, 黄季艳. 常熟水利枢纽泵站水泵典型故障分析与改造[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(3):44-47.
- [8] 赵翠萍, 王霞, 张雪峰. 高港枢纽轴流泵叶片调节机构的改进[J]. 科技传播, 2011(24):37, 40.
- [9] 杨继松. 谏壁抽水站闸门液压启闭系统技改研究[J]. 科技创新导报, 2010(34):28-29.
- [10] 蔡亚琴, 钱华清, 陈擎环. 浅析高港泵站直流系统的运行维护及故障处理[J]. 科技创新导报, 2014, 11(18):70.
- [11] 罗仕宏, 朱华明, 刘朝福, 等. 大型双向 X 型流道泵站机组减振技术研究[J]. 排灌机械, 2001(4):15-20.

(上接第 7 页)

- [4] 鄢碧鹏, 汤方平, 刘超. 水泵选型方法的研究[J]. 扬州大学学报(自然科学版), 1999, 2(3):59-61.
- [5] 刘竹溪, 刘景植. 水泵及水泵站[M]. 北京:水利水电出版社, 2009.
- [6] 陆林广. 高性能低扬程泵装置优化水力设计[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2013.
- [7] 陆林广, 祝婕, 冷豫, 等. 泵站进水流道模型水力损失的测试[J]. 排灌机械, 2005, 23(4):14-17.
- [8] 陆林广, 吴开平, 冷豫, 等. 泵站出水流道模型水力损失的测试[J]. 排灌机械, 2005, 23(5):23-26.
- [9] 中水北方勘测设计研究有限责任公司. 南水北调东线

一期工程轴流泵站效率、机组运行稳定性示范研究与评价[R]. 天津:中水北方勘测设计研究有限责任公司, 2019.

- [10] 王岩, 邵羽中, 叶奎成. 泗阳第二抽水站真空破坏阀改造[J]. 中国农村水利水电, 2010(5):147-148.
- [11] 朱佳佳, 刘斌. 大型泵站常用断流方式分析[J]. 机电工程技术, 2021, 50(1):186-188.
- [12] 刘军, 施伟, 陆林广, 等. 前置竖井式贯流泵装置水力设计标准化可行性研究[J]. 江苏水利, 2019(11):1-8.