

# 基于重力原理的油水分离盒子 在贯流泵站的应用探讨

边晓阳,赵 凯,张继来  
(无锡市水利工程管理中心,江苏 无锡 214000)

**摘要:** 研制一种用于贯流泵水导油腔油水分离的重力盒子,通过安装位置的优化设计,能实时测量油位并及时排出水导油腔的多余水分,消除了原液位变送器测量盲区。利用重力原理在盒子内实现油水分离,可有效解决困扰贯流泵安全运行的类似技术难题,进一步提升泵站自动化运行管理水平。

**关键词:** 贯流泵站; 液位测量; 油水分离; 重力盒子

**中图分类号:** TV675 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839(2024)11-0069-0004

## Discussion on the application of oil-water separation box based on gravity principle in cross-flow pumping station

BIAN Xiaoyang, ZHAO Kai, ZHANG Jilai  
(Wuxi Water Conservancy Engineering Management Center, Wuxi 214000, China)

**Abstract:** A gravity box is developed for oil-water separation in the water guide oil chamber of a cross-flow pump. Through the optimized design of the installation position, the oil level can be measured in real time and the excess water in the water guide oil chamber can be discharged in time, eliminating the measurement blind area of the original liquid level transmitter. By using the principle of gravity, oil-water separation is achieved inside the box, effectively solving the similar technical problems that trouble the safe operation of the cross-flow pump, and further improving the level of automated operation management.

**Key words:** cross-flow pumping station; liquid level measurement; oil-water separation; gravity box

### 1 概 述

贯流泵是卧式轴流泵的一种,由电动机、减速装置和水泵组成整体,装设在水下混凝土建筑内部

的机坑内,其进出水流道位于一条直线上,近似直圆筒形,水力损失少,提水效率高,且结构紧凑,安装、检修方便,适用于低洼地区的排涝和调水。该泵型因流量大、结构简单、造价低、效率高<sup>[1]</sup>,近年来

收稿日期: 2024-06-22

作者简介: 边晓阳(1978—),男,高级工程师,本科,主要从事水利工程运行管理及水利科技创新应用工作。E-mail: 1044941803@qq.com

应用较多。

运行过程中位于水下工作的叶轮机构因荷载大、工作强度高且又是隐蔽工程,其中水导轴承润滑油系统的漏油和进水是引发故障的两大主要因素,表现为润滑油剂减少和乳化。漏油会引起水导轴承润滑剂不足,加速磨损。水导轴承润滑油乳化的原因主要包括水份、乳化剂和高速搅拌,其中水份是引起油质乳化的主要原因<sup>[2]</sup>。

本文介绍一种基于重力原理的油水分离盒子通过安装位置的巧妙设计,较好解决了贯流泵水导轴承润滑油系统安全运行的两大技术难题,避免运行后油润滑系统的故障,进一步保证了运行的可靠性和稳定性,在调水和排涝较多的地区具有一定的实用性。

## 2 研究现状

### 2.1 水导轴承的润滑性能

泵站装机中轴流泵及导叶式混流泵占很大比例,水导轴承是大型水泵最为关键的易磨易损部件<sup>[3]</sup>。因此,水泵导轴承是决定泵机组运行寿命、大修周期和可靠性的主要控制性影响因素,研究水泵导轴承的润滑与密封,对减小轴承摩擦损耗,降低故障率,提高可靠性,节省泵站维护检修费用具有重要意义。

### 2.2 油润滑装置功能特性

大型泵或水轮机轴承润滑系统采用润滑油外循环冷却方式,便于获得大换热功率并简化结构,利于运行维护<sup>[4]</sup>。一般在外壳上端的机体上壁固定有油箱,油箱的下端固定有油泵,油泵的进油口和出油口通过导管分别与外壳的底部和油箱的上端内部连通,并使用油泵抽动润滑油使其在油箱和外壳之间循环流动,可以给轴承起到润滑的作用,保证润滑比较充分。但是,如何对油箱里面的油位实时监控并随时补充润滑油,成为轴流泵组安全运行的重要因素。要掌握油系统的用油现状,需在入油管安装示流信号器,但示流信号器报警时通常油箱已空,主机为避免润滑油中断而烧轴,可能在短时间内跳闸停机。也有安装油位变送器的,但高精度的进口油位变送器通常价格昂贵且安装条件限制较多。同时,油位变送器采集的数据通常需要人工分析来确定是否漏油,增加了日常养护的难度,可能会由于轴承润滑不到位或者冷却不及时造成轴温过高而导致停机甚至故障大修。

### 2.3 重力盒子技术性能

油水分离重力盒子的研发与应用,有效解决了油位测量盲区,自动给水导油腔补油,将水导油腔中的油水自然分离,这2个功能方便了维修检测,延长了水导轴承使用时间,减少了人工维护和设备成本,降低了养护过程中润滑油对环境的影响并减少了润滑油的用量。

## 3 工程实例

### 3.1 水导润滑问题

无锡市水利工程管理中心梅梁湖贯流泵站,是常年不间断运行的调水泵站,因此如何保障水泵机组的常年运行并减少故障,是工程运行管理单位需要首要考虑并研究的重要议题。由于前期运行中因水导轴承润滑故障曾经出现过叶轮碰壳、机组大修的情况,经初步分析发现该泵站贯流泵的叶轮机构工作时位于水下,荷载大,强度高,且又是隐蔽工程,因而需进一步剖析其故障成因。

#### 3.1.1 水导油腔漏油引起的水导轴承故障

水导轴承长期浸没在水泵流道中,运行过程中水导轴承油腔内润滑油不可避免地出现泄漏损耗时,储油箱会对油腔进行补油。目前普遍采用人工定期查看储油箱油位的检查方式,存在当储油箱内润滑油耗尽时,不能及时发现并进行润滑油补充的情况,一旦补充不及时可能会导致水导轴承因失去润滑和冷却而报废。原油系统示意图见图1。

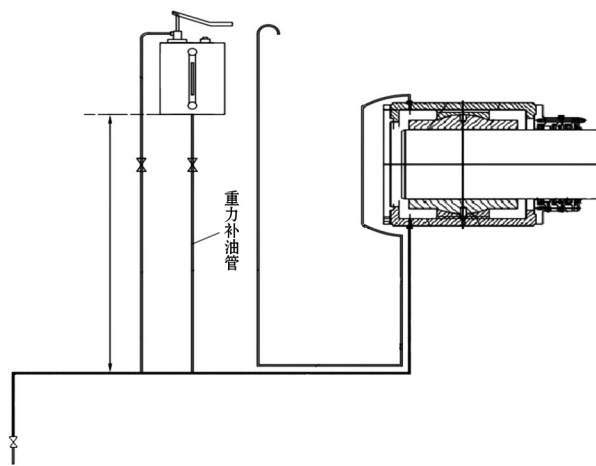


图1 改进前油系统示意

#### 3.1.2 水导油腔进水引起的水导轴承故障

轴承在转动的过程中,会将水带入水导油腔,随着水泵运行台时的增加,轴承密封件的磨损,带

入的水也会相应增加。轴承在转动时,油腔中的油与水混合会产生乳化现象,当油腔内水的占比超过临界值时,乳化后的油液就失去对轴承润滑和冷却的保护作用,会导致水导轴承烧瓦,甚至可能发生叶轮碰壳事故。

### 3.2 解决方案

#### 3.2.1 水导油腔漏油解决方案

对于情况一,解决的方法是在储油箱内安装液位变送器,通过变送器将液位数据传送到中控室上位机,当液位低于报警值时能提醒工作人员注意,供工作人员分析处理,便于及时发现漏油并及时补充,通常有以下2种解决方案。

方案一:在储油箱内加装静压式液位变送器,如恩德斯豪斯FMX21型。该类型设备可直接安装于储油箱内,能测量0.1~2 m范围内的油液位,基本能满足要求,但是这种变送器的测压头目前多为进口且价格偏贵,单套价格为15 000元以上,而且对环境要求较高,耐强磁、耐腐蚀能力不够。

方案二:在储油箱内加装投入式液位变送器,如LX-YW001型。类似设备价格为300~1 000元且采购便捷,但该类型设备只能精准测量深度1 m以上的液位变化情况。梅梁湖泵站机组储油箱高0.55 m,油箱内液位高0.5 m,因此该款液位变送器无法直接在储油箱内安装使用。

经过研究和多次改进,决定采用如下设计来解决投入式液位变送器测量深度的问题。储油箱底部有1根铜管连接水导轴承油腔,储油箱底部位置高于水导油腔顶部,油腔内的润滑油一旦有泄漏或损耗,储油箱内的油液根据自身的重力,会自行流入油腔给水导油腔补油,可称之为“重力补油管”。这根补油管从储油箱底部垂直向下1.5 m,从水泵底部顺着导叶体进入水导油腔,根据帕斯卡定律,液体同一深度处,压强一致,但深度越大,压强越大。因此,在铜管1.5 m位置,其压强是满足安装条件的,技术团队的解决方法就是在1.5 m处设计1个不锈钢盒子,盒子内充满润滑油,并与储油箱连通,投入式液位变送器的测压装置就安装在不锈钢盒子内,称之为“重力盒子”。改进后的油系统示意图见图2。

#### 3.2.2 水导油腔进水解决方案

对于情况二,经过测算,水导轴承正常荷载运行72 h,水导油腔进水约100 mL,油腔润滑油含水率约3.5%,此时油水乳化较严重,明显影响轴承的润滑和冷却,因此运行管理单位规定,机组运作72 h

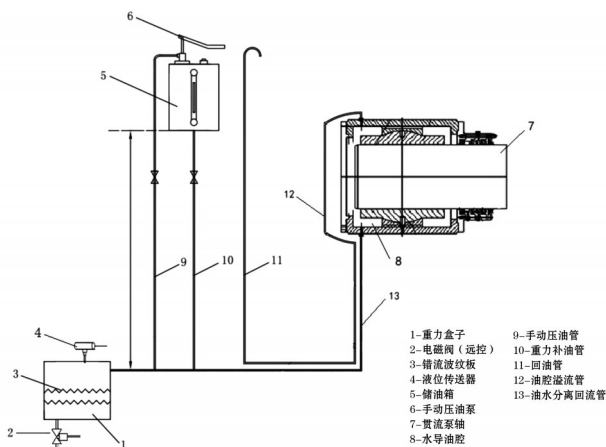


图2 改进后油系统示意

必须停机维护。停机后,经过约1 h的静置,根据重力沉降原理,水导油腔内的油逐渐上升,汇聚到油腔的顶部,水逐渐下沉至油腔的底部,并沿着油腔底部的1根铜管,称之为“油水分离回流管”,回流至“重力盒子”。排入“重力盒子”的水含油量 $\leq 19$  mg/L,直接排入污水井会污染环境,所以在“重力盒子”下部,又加装2层错流式波纹板(按浅池理论设计),详见图3。通过静置,进一步进行油水分离。上位机组态软件按照逻辑设置,机组开机72 h,停机5 h后,自动打开电磁阀10 s将水排出。对排出的水进行检验,含油量 $\leq 5$  mg/L,基本对环境无影响。

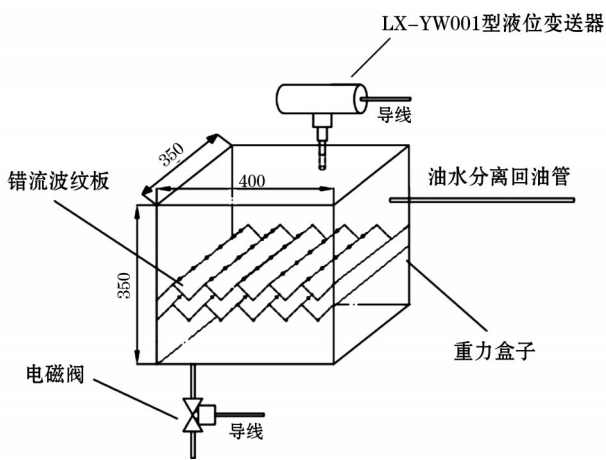


图3 重力盒子结构简图(单位:mm)

### 3.3 应用情况

#### 3.3.1 梅梁湖泵站

目前该装置已在梅梁湖泵站5台竖井式贯流泵油润滑系统上安装应用(图4)。经统计,在梅梁湖泵站成功应用后,水导轴承养护人工成本降低50%以上,润滑油用量减少60%以上。同时,延长了水



导轴承的维修周期,大大降低了水泵机组的维养成本。经测算,该“重力盒子”在水导轴承油润滑系统上的优化设计和成功应用为管理单位节省保养维修经费约50万元/台。



图4 重力盒子实物安装图

### 3.3.2 大渲河泵站

无锡大渲河泵站共装设3台竖井贯流泵,单泵设计流量 $10\text{ m}^3/\text{s}$ ,也是常年运行的调水泵站。贯流泵水导油腔的储油箱安装位置较梅梁湖泵站进行了调高,高程高于河道水位,油腔内的油压力高于油封中渗入的河水压力,轴承在转动的过程中,更少的水带入水导油腔。但储油箱的液位测量也是同样难以监测,通过在水导油腔底部排水口位置加装上述研制的重力盒子,较好地解决了类似问题。同时,由于高强度运行轴承密封套件的磨损,油腔内的进水会偏多,也能发挥排水作用,保证了机组正常运行。

## 4 改进措施

重力盒子在实际运用中体现出其在贯流泵站

的推广价值,安装后可直接解决水导油腔通病问题。但同时也存在一些不足,如安装现场直观度较低,功能还不够全面等,结合实际工程管理的需要,提出以下改进措施:鉴于目前该系统在现场PLC柜和中控室上位机读取油位,可以考虑改为透明盒子,这样便于现场维护人员直接观察油水含量。同时,也可建立油位数据库,分析每台机组的润滑补油曲线。此外,还可以考虑和GPRS数据传输和无线智能终端手机APP结合起来,使工作人员在智能手机端也能读取油位数据。

此种类型的重力盒子功能目前仍有拓展空间,后期考虑在盒内安装排水采集器,通过运行时间和排水量算法,测算油腔的进水程度和油封的磨损程度,给出提前警示,以便及时维护。

## 5 结 语

所研制的重力盒子的应用与推广,可以提高工程安全诊断水平,提升泵站自动化管理能力,大大降低同类泵站水导轴承的故障率,减少类似泵型油系统事故的发生,同时减小维修养护支出,提升管理单位经济效益,具有安全可靠、运行稳定、安装简便,便于后期维护等诸多优点,为调水和排涝泵站的运行管理提供了有力保障。

### 参考文献:

- [1] 杨帆,陈世杰,刘超,等. 贯流泵装置出水流动进口区压力及速度场分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2018,46(4):360-365.
- [2] 祁广福. 水导轴承润滑油乳化原因分析及对策[J]. 水电站机电技术,2020,43(1):39-41.
- [3] 陈君辉. HBM型立式轴流泵永磁轴承的设计[D]. 兰州: 兰州理工大学,2010.
- [4] 刘平安,武仲德. 三峡发电机推力轴承外循环冷却技术[J]. 大电机技术,2008(1):7-12.