

污水提升泵站水泵运行调控优化与节能研究

覃映玫

广西绿城股份有限公司, 广西 南宁 450001

摘要: 污水提升泵站为污水处理厂的管网上重要的污水输送来源, 部分提升泵站设计容量和实际污水来水情况不符, 本文主要探讨使用变频器+PID自控系统解决污水提升泵站的进水泵的运行中频繁启停的问题并解决方法, 及其节能的原因。为出现此类问题的污水提升泵站和污水处理厂提供解决方案, 在目前污水处理厂推广节能降耗及的提质增效的需求大环境下, 具有推广意义。

关键词: 污水泵; 变频器; 性能曲线; 节能; 调控优化

Research on Operation Regulation Optimization and Energy Saving of Water Pumps in Sewage Lift Pump Stations

Qin,Yingmei

Guangxi Nanning Water CO.,Ltd., Nanning, Guangxi, 450001, China

Abstract: Sewage lift pump stations serve as important sources for sewage transportation in the pipe network of wastewater treatment plants. The design capacity of some lift pump stations does not match the actual sewage inflow. This paper mainly discusses the use of a frequency converter + PID automatic control system to solve the problem of frequent start-stop of inlet pumps in sewage lift pump stations, as well as the solution and the reasons for energy saving. It provides solutions for sewage lift pump stations and wastewater treatment plants facing such problems, which is of promotional significance under the current environment where wastewater treatment plants have a strong demand for energy conservation, consumption reduction, quality improvement, and efficiency enhancement.

Keywords: Sewage pump; Frequency converter; Performance curve; Energy saving; Regulation optimization

DOI: 10.62639/sspis29.20250207

一、项目选题

公司下辖的WX污水提升泵站采用无人值守远程自动运行管理模式, 由于泵井设计容积较小, 且来水量波动大, 采用原有的基于水位控制的PLC自动程序来启停水泵时, 变频水泵频繁出现启停现象, 启停频次最高达二十余次/小时, 水泵设备寿命缩短, 较易发生故障, 效率降低, 且增加运行能耗, 易出现水锤现象, 对管道, 水泵部件有较大的冲击, 容易发生零部件损坏的极端故障。泵站运行维护成本增加的问题。为优化水泵运行状况和节能需求, 选定WX泵站作为试验点, 探索降低WX提升泵站水泵启停频次及能耗的有效策略。

二、泵站概况

WX泵站设计输送量: 4.32万 m³/天, 进水泵房池底最低标高: 69.5米, 最低运行液位: 1.85米, 启泵液位为: 3.3米, 2台75kW(本次试验投运一台)威乐水泵, 泵房有效池容: 143.55m³。

WX污水提升泵站为无人值守泵站, 水泵为远程自动运行模式, 自动程序按照设置水位点按需投入水泵的运行台数。该泵站无溢流口。2024

年该泵站日均污水处理量1.73万吨, 实际水量远低于设计水量。

三、泵站存在问题调查分析

根据实际运行情况, WX泵站来水量偏少, 早上4:00-9:00的来水量略有增加, 水泵运行时较长一些, 其余时间段变频泵启停次数密集, 达到20-30次, 因为泵池偏小, 蓄水能力弱, 水位会随水泵的启停出现以下的情况, 选取某一天最极端的情况0:00-18:00水泵启停33次, 启停非常频繁, 水泵损坏风险极高, 且能耗较高, 日常运行电耗率达60Kwh/m³。

(一)从性能曲线来分析。

泵站进水泵井池底: 69.5米, 出水管释放点最高点: 82米, 水泵定频运行水位波动在1.8-3.4米之间。实际扬程计算如下:

3.4米: 实际扬程 = 释放点82 - (池底69.5 + 液位3.4) + 沿途损失0.68 + 局部损失0.16 = 9.94米

1.9米: 实际扬程 = 释放点82 - (池底69.5 + 液位1.9) + 沿途损失0.68 + 局部损失0.16 = 11.54米

结合该水泵性能曲线可以看出: 运行在扬程9.94-11.54米范围内对应的水泵的性能曲线, 水泵工作在扬程9.94米时, 在性能曲线高效段偏右

(稿件编号: IS-25-7-17001)

作者简介: 覃映玫(1972-), 女, 广西南宁人, 化工仪表及其自动化工程师, 电气管理员, 研究方向: 工厂电力、自动化。

较多区域(越偏右效率越低),虽然流量偏大,但效率59%偏低。在这种偏右的性能曲线情况下,使用变频器将工作点向左拉靠近高效区是合理的,能提升水泵的效率。

(二) 频繁启停对水泵冲击影响的分析

电机启动阶段为克服系统的静摩擦力、惯性力,启动电流达到3-6倍额定电流,如果配置变频器,电机降频启动电流仍然达到1.2-1.5倍额定电流,多次的启动电流较平稳运行中电机耗电量大。而且启动的大电流对电机的线圈进行冲击,容易引起线圈发热,对线圈间绝缘,硅钢片等元器件损耗较大,长期频繁启动水泵还会引起机械部件损伤。

综述:WX泵站的水泵目前的运行工况下,从性能曲线方面分析,水泵运行在性能曲线的低效段及其频繁启动的大电流冲击,会引发水泵的电机损坏和电耗量增加的后果。

四、技改思路

综上所述通过对水泵性能曲线及频繁启动对设备冲击影响的分析,发现:保持泵井恒液位,解决水泵频繁启停是技改关键逻辑,在保障生产水量和不发生溢流的环境事故前提下,最终确定了以下技改方案。

通过水泵配置变频器+PID自动控制程序组合实现闭环控制减缓泵井液波动。目前WX泵站的2台水泵已配有变频器,可直接引入PID自动控制程序,优化原有程序,保持泵井恒液位运行。在保持原有水泵根据液位启停的功能前提下,根据WX泵站的来水特点,水位高于设置液位时,频率自动调高,水位低于设置液位时,频率自动调低,使泵井液位变化平缓,避免水泵在短时间频繁启停。

五、论证过程

为论证该模式的有效和合理性,在WX泵站采用下面两个模式进行比较,进行了两次试验。

A 调节变频模式(简称:调频模式),通过人工根据固定液位控制变频器的频率,减少水位大幅波动,达到减少水泵频繁启停的运行模式。

B 固定频率,(简称:定频模式)水泵按液位启停模式,频率不变化。

(一) 第一次试验

选取2024年7月25日、26日(无雨水影响)2小时内,投入一台75kW变频器运行在调频和定频两种模式下的电量比较。

A 调频模式:水泵在此期间启动1次,电量:70.2KWH。

B 定频模式:水泵会启停4次。电量:75KWH

调频模式用电量低于定频频率模式电量,节约 $(75-70.2)/75=6.4\%$,水泵启停次数减少: $(4-1)/4=75\%$ 。

(二) 第二次试验

2024年8月23日、27日两天选择3小时采

用一台变频器运行在定频和调频两种模式下的电量比对。

A 调频模式:水泵启动次数为1次。电量:104.4KWH。

B 定频模式:水泵启动次数为4次。电量:138KWH

调频模式用电量低于固定频率模式电量:节约 $(138-104.4)/138=24.3\%$,水泵启停次数减低: $(4-1)/4=75\%$

(三) 试验结论

通过两次试验,调频模式的节电效果对比定频模式更有优势,节约电量2%~24.3%,节能效果较为显著,水泵启停次数减少了75%。采用可根据液位进行自动调节频率的模式恒液位运行更经济,技改方案节能效果明显。

六、技改实施内容

(一) 对泵站自控程序进行升级优化,重新编写自控程序,引入PID运算程序,并优化上位机操作界面,在操作界面添加自动调频程序的启用和停用的按键,无需增加硬件,造价3.2万元。2024年12月11日已经完成该项工作。

七、技改成效

(一) 控制效果:液位恒定和启停频次减少
技改的目标是减少泵井液位频繁波动,降低水泵频繁启停次数。技改后通过对比技改前后泵井液位曲线波动情况可以得出成效,技改前2024年8月27日24小时液位曲线图中,水泵启停31次。对比技改后2024年12月18日24小时液位曲线图,可对比发现技改后液位波动比较平缓,保持在2.45米液位范围,水泵启动次数也由原来的31次减少到1次。达到了项目设立时的目标效果。

(二) 节电效果优势

2024年12月11日自控系统技改完成后,再次对两种模式运行的电量进行2天对比,验收技改成果。

A 模式(调频):水泵启动次数:5次,电量:151.02KWH。

B 模式(定频):水泵启动次数:14次,电量:170.1KWH。

总结:通过验证对比,自动调频运行比定频自动运行节约电量约 $(170.1-151.02)/151.02=12.6\%$,如以2024年为例,全年WX泵站电费:24.5万元,一年节约总电费约为:3.087万元。水泵启停次数降低了:64.3%~75%。

(三) 设备维修费降低

水泵启动次数减少64.3%~75%,较少的启动次数和变频器的缓速启动,对水泵冲击少,故障率降低,可减少设备维修次数。如按一年一次的大修(维修电机线圈和拆卸时需更换上轴承等引起的费用等)频次,维修费约在7.83万元。

八、节能原理分析

(一) 变频器的省电原理

以WX泵站威乐水泵75KW带变频性能曲线进行分析:水泵工作在35赫兹(红色线)的工况线和在50赫兹(绿色线)工况,可以看出降频后轴功率由68kW降低到23kW,降低了约66.2%的电量。可看出变频后性能曲线向左偏移,流量和功率都降低下来,根据电量公式=功率*运行时间,虽然运行时间变长,但通过多次试验证实了时间的增量比不上功率的减量,总体还是体现变频+PID运行模式是省电的。

WX泵站技改前虽然采用变频器但是固定频率运行,为保障泵站运行安全不发生溢流风险,频率基本是设置较高频率50—45HZ范围运行,采用变频+PID自动恒液位模式运行后,频率可控制在45—30HZ之间(低过30HZ会停机),输入功率P1会下降更多。

由于恒水位运行,应选择合适的液位和频率是节电的关键。

通过对比45HZ、40HZ、35HZ三个性能曲线对应的扬程13.2米、10.6米、8.3米,对应的液位为0.14米(不在水泵合理的运行液位),2.74米、5.04米(液位为3米会淹没泵站地面),根据泵站安全运行的液位,匹配2.74米作为恒液位比较合适,运行在40—35赫兹的性能曲线,都可以获得较好的效率和工况点。

(二) 减少水泵启动次数达到的省电效果

1. 减少启动电流大引起的电耗。

泵在启动时,需要克服系统的静摩擦力、惯性力等,此时电机需要较大的启动电流来提供足够的转矩,通常软启动水泵启动时电流达到3—6倍额定电流,如果配置变频器,启动电流仍然达到1.2—1.5倍额定电流。根据焦耳定律 $Q = I^2 R t$,电流增大,在电阻R和时间t一定的情况下,产生的热量Q会大幅增加,这些额外的热量意味着额外的电能消耗。而且启动时电流的急剧变化,还可能导致电网电压波动,进一步增加了能量损耗。

2. 减少启动时机械损耗大。

启动瞬间,泵的叶轮从静止状态加速到额定转速,泵内的机械部件之间的摩擦力、冲击力等会比正常运行时大很多。为了克服这些阻力,电机需要消耗更多的能量。同时,较大的机械应力也可能使部件磨损加剧,间接影响设备的整体效率,使得在启动过程中需要消耗更多的电能来维持运行。

3. 系统稳定后效率更高

泵启动后,需要一定时间才能使整个系统达到稳定运行状态。在这个过程中,泵的运行效率往往较低,能耗相对较高。当系统稳定运行后,泵的叶轮转速、流量、压力等参数都处于相对稳定的状态,泵和电机都能在较高效的工况下运行,此时电能转化为机械能以及机械能传递给液体的效率较高,相比启动过程更加省电。

(三) 通过变频器+PID自动控制系统优化控制

变频器+PID自动控制系统控制恒液位,控制曲线更合理,响应时间短,控制更精准,避免能耗的浪费。

工作原理:当设置值与实际值产生偏差时,PID控制程序根据下面的原理调节,响应时间TI比未采用PID控制程序的更短,避免了能耗浪费。

1. 比例单元P:即时成比例地反应控制系统的偏差信号 $e(t)$,偏差一旦产生,调节器立即产生控制作用以减小偏差。

2. 积分单元I:主要用于消除静差,提高系统的无差度。积分作用的强弱取决于积分时间常数TI, TI越大,积分作用越弱,反之则越强。

3. 微分单元D:能反应偏差信号的变化趋势(变化速率),并能在偏差信号的值变得太大之前,在系统中引入一个有效的早期修正信号,从而加快系统的动作速度,减小调节时间。

可见程序中选取合理的PID控制参数,调节过程时间较短,响应更快,节能效果佳。

九、项目效益总结

(一) 经济效益

通过对友谊、WX泵站自控程序的优化,实现由PLC程序根据来水变化自动调频保持泵井液位基本恒定,大大降低水泵的频繁启停对设备的影响,确保水泵安全运行,提高泵站运行的稳定性。经统计投入与产生的经济效益具体如下:

1. WX泵站技改投入费用:3.2万元。

2. 实现降耗产生效益

WX泵站根据3次试验的数据测算节电及维修成本约为:10.91万元/年,具体如下:

2024年WX泵站电费:24.5万元/年,按照试验节电12.6%测算,一年节约电量3.08万元;维修成本费7.83万元。

该项目具有小成本收获高经济效益的优点。

十、结束语

经过验证,该技改思路可应用于来水波动大且泵井蓄水能力弱的污水泵站及污水厂,水泵运行更为安全稳定,经济效益可观,具有推广意义。

参考文献:

- [1] 路丹丹. 离心泵特性曲线的测定. 西北民族大学.
- [2] 姚福来、孙鹤旭, 变频器及节能控制实用技术速成, 2011.
- [3] 王敬怡. 变频器节能技术原理及其用浅析 [J]. 科技创新导报, 2013年.
- [4] Smith, J., & Brown, R. Energy Efficiency Improvement of Centrifugal Pumps with Variable Frequency Drives [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2018.
- [5] 刘安军(肥城市自来水公司). 变频器在潜水泵中的应用与节能分析. 会议: 2010年中国水务信息与自动化应用研讨会时间: 2010年.