

# 液态软启动在卧式轴流泵高压电机的应用及分析

朱毅阳<sup>1</sup>, 顾 振<sup>1</sup>, 郁 昊<sup>1</sup>, 李玮华<sup>1</sup>, 杜治潮<sup>2</sup>

(1. 苏州市河道管理处, 江苏 苏州 225000; 2. 江苏省江都水利工程管理处, 江苏 扬州 225200)

**摘要:** 液态软启动器与固态软启动器相比具有结构简单、维护方便、性价比高等特点, 在苏州市城市中心区防洪工程的低扬程卧式轴流泵机组配套使用, 根据高压三相鼠笼型异步电动机起动基本理论和液态软启动器的结构特点, 结合卧式轴流泵在活水工程投运情况, 分析在就地、远程自动化操作中的相关技术及应用。

**关键词:** 液态软启动; 高压电动机; 卧式轴流泵; 应用技术

**中图分类号:** TV675 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839 (2016) 09-0061-04

## Application and analysis of liquid state soft starter in high voltage motor of horizontal shaft axial pump

ZHU Yiyang<sup>1</sup>, GU Zhen<sup>1</sup>, YU Hao<sup>1</sup>, LI Weihua<sup>1</sup>, DU Zhichao<sup>2</sup>

(1. Suzhou River Management Division, Suzhou 225000, Jiangsu;

2. Jiangdu Hydraulic Project Management Division of Jiangsu Province, Yangzhou 225200, Jiangsu)

**Abstract:** Compared to solid state soft starter, liquid state soft starter has the advantages of simple structure, convenient maintenance and high performance price ratio. Matched with low head horizontal axial flow pump unit in urban city flood control project of Suzhou, according to the basic theory of high-voltage three-phase squirrel cage type asynchronous motor starter and structural characteristics of the liquid state soft starter, combined with the operation situation of horizontal shaft axial pump in running water project, techniques and application in local and remote automation operation are analyzed.

**Key words:** liquid state soft starter; high voltage motor; horizontal shaft axial pump; application technology

## 0 引言

苏州市城市中心区防洪枢纽有 10 个泵站(表 1), 安装大中型卧式轴流泵 36 台套, 总流量 225 m<sup>3</sup>/s, 总装机容量为 10800 kW。在承担防洪责任的同时也担负着城市中心区域内水环境的引水和活水功能。

苏州枢纽泵站根据双相抽水的特点, 扬程在 2 m 以内, 采用的压力面和吸力面相同的对称翼型转轮双向竖井贯流泵装置, 改变电机电压的正反相序就可以使转轮具有相同的正向和反向性能均能高效运行。与泰州引江河立式轴流泵双相流道

相比投资少、效率高、经济适用、安全可靠。

东风新双向 S 平面轴伸式轴流泵型号为 1500 ZWB-1, 水平位于泵房的最底层, 叶轮淹没在水下, 水泵进水流道的轴向中心线与出水流道的轴向中心线为同一条, 其叶轮中心高程均在同一个高程上。整个结构部分为泵体部件、叶轮部件、泵轴部件、填料密封部件、水导轴承、推力轴承部件及基础部件组成。

夏日高温蓝藻泛滥很快, 根据东风新枢纽的运行情况, 为增加活水改善苏州城区水环境, 在原来开 2 台的基础上增开 3 台或 4 台, 多次引起 10 kV 高压继电保护定值的过流速断保护动作, 在

收稿日期: 2016-01-06

作者简介: 朱毅阳(1985-), 男, 本科, 助理工程师, 主要从事机电设备和自动化系统的研究与运行工作。

表 1 苏州城市中心区防洪工程一览表

枢纽	泵型	台数	总流量 ( m <sup>3</sup> /s )	总功率(kW)
东风新	双向S型平面轴伸式轴流泵	4	20	1000
仙人港	同上	3	15	750
娄江	同上	3	15	600
南庄	同上	2	10	440
胥江	同上	4	20	1000
外塘河	同上	3	15	750
大龙港	同上	4	20	1000
元和塘	双向潜水式贯流泵	6	30	1600
青龙桥	双向潜水式贯流泵	4	20	1260
澹台湖	竖井式双向贯流泵	3	60	2400
合计		36	225	10800

起动瞬间即刻停机，直接影响正常运行。

8月17日，根据现场调研，原开的1号、4号机，外河水位3.66 m，内河水位2.44 m，经过对相关PLC程序检查及调整，接线进入KM3液阻接触器，在真空断路器试验位置时对液阻软起动整组合闸试验调试合格后，开2号机投运30分钟后停1号机，等待维持一定水位后再开1号机；在起动3号、4号电机时由于手动操作配合不好，电机速断过流保护跳闸停机。

1 高压电动机起动技术

当电动机在电网中从停止状态达到稳定运行状态的这一过程称之为起动。

1.1 全压起动的优点

起动设备比较简单，没有中间降压、限流环节，操作10 kV高压开关真空断路器即可开机运行。

1.2 全压直接起动的缺点

(1)从三相异步电动机固有机械特性可知，如果在额定电压下直接起动三相异步电动机，刚投入电网时，转子尚未开始转动，异步电动机的起动电流仅有电阻和漏抗所限制，电动机定子和转子漏抗在起动时使得漏磁路中的铁磁部分发生饱和，引起漏磁阻变大，最初起动瞬间主磁通约减少到额定值的一半，限制短路电流的短路阻抗的数值一般很小，功率因数又很低，起动转矩也不大，造成起动电流过大。以普通笼型三相异步电动机为例，起动电流 $I_s = K_I I_n = (5-8) I_n (K_I)$ 为启动转矩倍数，启动转矩 $T_s = K_T T_n = (0.4-1.6) T_n$ 。起动电流

正比于定子端电压，起动转矩正比于定子端电压的平方。

(2)三相异步电动机起动时，直接加载电网电压，会产生很大的冲击电流，对电网和设备都会产生不利影响，过大的起动电流会造成电网电压降低，10 kV线路可能引起速断过电流、过电流、欠电压保护动作，导致设备跳闸，严重时会影响其它用电设备的正常运行，甚至可能导致越级跳闸。

(3)过大的起动电流会使电机绕组快速发热，线圈发热量是电机正常运行时的36~49倍，产生的电磁力同样很大，过高的温度和电磁力产生了极大的破坏力，加快其绝缘老化，从而影响电机的使用寿命。

(4)定子和转子绕组上的铜耗 $\Delta P_{cu}$ ，它与流过定、转子绕组电流的平方成正比。

(5)铁心中的磁滞、涡流损耗，统称为铁损耗 $\Delta P_{\Omega}$ ，它与定子上所加电压的平方成正比。

(6)突然的冲击转矩容易损坏与电机相连的联轴节或者传动齿轮，设备非正常的磨损和老化将影响设备精度，减小其使用周期。

(7)使供电装置触头迅速发热，温度升高导致触头附件绝缘老化，故大电流起动是损坏供电装置一个主要原因。

(8)针对电动机的非经济运行情况，可参照《三相异步电动机经济运行》(GB12497-1995)的强制性国家标准。为了节省能耗，提高设备利用率，延长设备使用周期，应采取软起动器进行软起动。

2 液态软起动技术

2.1 原理和结构

液态软起动是将液体电阻串入电机定子回路中，取代传统的固定电阻值起动。2006 年，东风新枢纽建站时就选择了 GZ YQ 型液态软起动装置(图 1)。

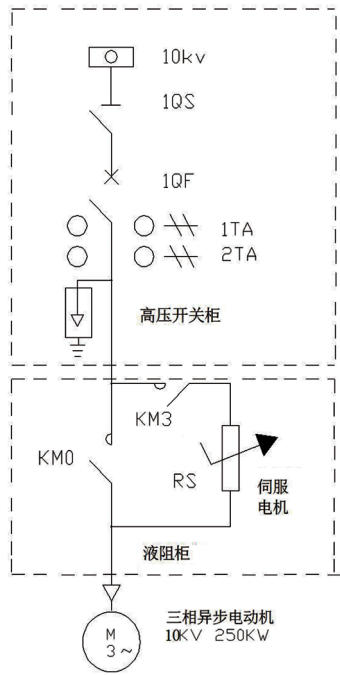


图 1 液态软启动器简图

图 1 中，高压开关柜电网电压为 10 kV，1QS 为隔离开关，1QF 为负荷开关，Rs 为水电阻，KM3 为水阻开关，KM0 为旁路开关，M 为电机。

图 2 所示的液态软启动装置的核心部分是水阻箱，包括箱体部分、传动部分和液阻液部分。

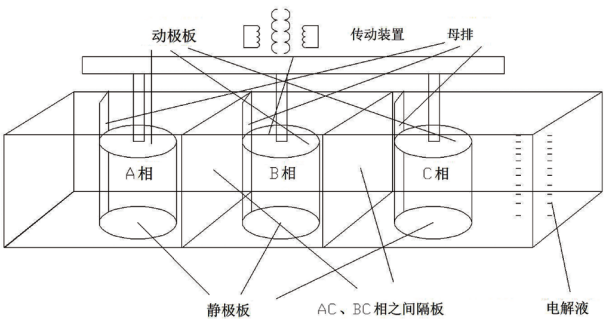


图 2 液态软启动的液阻箱

将配置好的电解液放入采用耐压、耐腐蚀、高强度绝缘材料制成的箱体内。

三相可靠绝缘，电极板为圆盘型，静极板与母排相连，初始电压为 10% ~ 50% 连续可调。此时 KM3 闭合，KM0 断开，电机开始起动。液态软起

动器通过机械传动伺服装置带动动极板和母排另一端向下移动，使导电液体中两平行极板的距离逐渐减小至零，从而实现分压、限流，电机转速随着液态电阻值的减小而平滑提升，A、B、C 三相同步运行，当电动机转速逐渐平滑上升至额定转速，不会产生谐波，减小了电流的冲击，达到无级软起动的目的，此时旁路开关 KM0 将水电阻短接，主机自动转为电网供电运行。

电解液变阻起动的优点在于其可塑性好，通过改变电解液中导电介质的浓度来改变本身的电阻率，一般由厂方到现场配置电解碳酸氢钠溶液，电液箱也不密封，其可调范围很大。

2.2 液态电阻配置的公式

东风新枢纽电机  $P_N = 250\text{ kW}$ ， $U_N = 10\text{ kV}$ ， $I_N = 18.4\text{ A}$ 。

则  $R_s = 1.01U_N / (1.73 \times 2.9I_N) = 108.8\text{ }\Omega$

式中：

$R_s$ —每相电液配置的最大值；

$I_N$ —电机额定电流；

$U_N$ —电网线电压。

三相液阻每相配置最大电阻为  $108.8\text{ }\Omega$  时，起动电流可以控制在 2.9 倍额定电流范围之内，闭合 KM3 后电机缓慢起动，起动瞬间电流为 55 A，随着电液电阻逐渐减小，电流逐渐增大，转速平滑上升，几秒钟后电机转速接近额定转速，电机电流迅速下降到 12.5 A 左右，起动过程共用 15 s 左右，整个起动过程中机械设备和电器设备都没有受到大电流冲击。

2.3 水电阻测量方法

单相水电阻柜电解液的水电阻测量方法如图 3 所示。

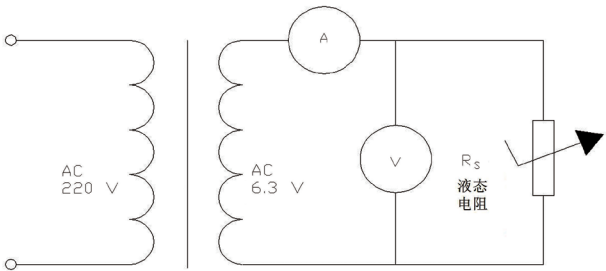


图 3 液态电阻测试电路

将液体电阻的动极板移动至初始位置，测量液阻箱两极板间的电压差以及电流大小，液态电阻由公式  $R = U / I$  算出。

用 6.3 V 交流电作为测量电源，配置液阻时按

图3连接电流表、电压表、液态电阻,得 $I = U / R = 6.3 / 108.8 = 0.058 \text{ A}$ 。液态电阻的阻值均可根据系统负载的实际情况进行调整,从而充分发挥了液态电阻可以无级切换及现场可随机调整的优势。

## 2.4 液阻软起动的缺点

(1)液阻限流,由于液阻箱容积大,且开启一次软起动后电解液通常会有 $10 \sim 30^\circ\text{C}$ 的温度上升,使软起动的重复性差。

(2)移动极板需要一套伺服结构,移动速度较慢,难以实现起动方式的多样化。

(3)液阻软起动装置箱中的水需要定期补充。电极板长期浸泡于电解液中,表面会有一定的锈蚀,需要作表面处理(一般 $3 \sim 4$ 次/年)。

(4)一个电解液的水箱要承受 $10 \text{ kV}$ 的电压,柜体的外壳要保持良好的绝缘,与电解液串联的真空接触器通断要可靠,柜内有 $10 \text{ kV}$ 的电压容易引起爆炸,且在梅雨季节更要注意防潮。

## 3 卧式轴流泵

通过卧式轴流泵的资料,分析影响电动机起动电流的主要因素有:

(1)与高压网电压有关。

(2)“活水”时与外、内河水位落差闸门止水有关。

(3)与机组安装轴瓦间隙,水泵、齿轮箱、电机传动有关。

(4)与直接起动和降压起动有关系,参照水位差的关系,一般在 $5.8$ 倍电动机额定电流,大约为 $107.3 \text{ A}$ 。8月19日,在现场采用液态软启动起动1号、2号电动机时,从数字表观察到1号机为 $55 \text{ A}$ ,2号机为 $59 \text{ A}$ ,在开3号、4号机时均出现继电保护速断过流动作,造成起动失败。

(5)要注意手动操作的时机掌握是否恰当,如一人在主机房开启1号机内、外河闸门,另一人在高压室对讲机接到闸门开启的指令后,在高压室按下1号高压柜合闸按钮 $1\text{QF}$ ,再到1号软起动柜按下软起动按钮 $\text{KM3}$ ,待 $15 \text{ s}$ 左右 $\text{KM0}$ 自动吸合,

$\text{KM3}$ 液阻投入断开,软起动结束。

(6)如何掌握各台机组的软起动投入的配合情况,首先要看闸门的情况,闸门是否关闭到位,上升时是否灵活无卡塞。当外河闸门打开较高时,水流会造成冲击水泵叶轮正向转动,流量和流速直接影响转速的快慢,如有的上下游闸门由于关闭不好,受大运河上游高水位压力对水泵产生的位移,加速度使得在没有开闸门时叶轮就转动,而当时闸门提升,叶轮会转得更快。当 $10 \text{ kV}$ 软起动液阻投入后,电动机即产生旋转磁场投入反向转动,克服原来因闸门开启造成的正向转动的动态惯性的阻力矩,有时会造成速断过电流跳闸。

## 4 结语

利用液体软起动降压原理,高压鼠笼型异步电动机用于双向S平面型卧式轴流泵电机节能软起动,能够抑制电机的起动电流,在一定时间内保证电机均匀升速达到额定转速,实现软起动,以改善直接起动时冲击电流大的缺陷。在实际应用中,及时处理相关故障使软起动装置正常运行,提高了电网的利用率,延长了机电设备使用周期。同时,应该极力避免采取电动机直接起动的方式,采用PC上位机与PLC监控技术配合而实现软起动器进行正常软起动,具有实际意义和显著的经济效益。在城市防洪、活水工程确保安全的前提下,减少了工程投资,具有较好的参考价值。

## 参考文献:

- [1] 李学炎.电机与变压器[M].北京:中国劳动社会保障出版社,2001.
- [2] 汤方平,刘超,王国强,等.平面S型流道双向轴流泵装置水力模型研究[J].北京:农业机械学报,2003.34(6):50-53.
- [3] 汤正军.江都水利枢纽志[M].南京:河海大学出版社,2004.
- [4] 周军.高压液态软起动器智能控制系统研究[D].武汉:武汉理工大学,2010.

(责任编辑:徐丽娜)