

# 水闸闸门启闭电动机启动改进与探究

杜晓磊

(常熟市沿江堤闸管理所, 江苏 苏州 215500)

**摘要:** 结合常熟望虞船闸启闭系统, 阐述了水闸闸门启闭系统电动机的起动方式与改进, 对水工闸门全载启动运行时, 电动机不同起动方式的工作状态及其启动性能等进行了分析研究。

**关键词:** 电机; 启动; 改进

**中图分类号:** TV664

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1007-7839 (2018) 03-0052-03

## Improvement and exploration of starting and closing of sluice gate motor

DU Xiaolei

(The Yangtze River Levee and Lock Project Management Office of Changshu City, Suzhou 215500, Jiangsu)

**Abstract:** Combined with the opening and closing system of Wangyu Lock in Changshu, the booting method and improvement of the motor for the sluice gate opening and closing system were expounded. The working status and performance of the motor booting with different starting modes were analyzed and studied.

**Key words:** motor; starting; improvement

## 1 概述

水利工程闸门启闭依靠闸门启闭机的控制运行, 平面直升式闸门、弧形闸门及目前应用较多的升卧式闸门等类型的闸门大都采用固定卷扬式启闭机配套定、动滑轮组组成闸门机械启闭系统。此类启闭机的电动机一般配置功率小, 大都采用直接起动方式。大中型闸门如升卧式和弧门式闸门的启闭系统因启闭速度等原因掘弃了滑轮组, 采用了弧门式启闭机从而增大了启闭功率, 这类启闭系统的电动机直接起动会对电网电压产生较大冲击, 对电源配电容量要求高, 因此一般采用降压启动方式。常用的降压启动方式有早期的频敏变阻器启动和目前流行的“软启动”等。频敏变阻器以往应用于小型闸门的电动机启动较多, 启动平稳, 电流冲击小, 启动转矩适中, 适用于中小型闸门启闭系统, 但当前运用很少。当前

应用较多的是“软启动”, 所谓“软启动”大概分为 2 大类: 一是采用可控硅技术, 改变可控硅导通角降低电压; 二是采用电抗器串联降低电压。这 2 种软启动方式的共同特点是“软”, 就是启动电流降低的同时降低了电动机的启动转矩<sup>[1]</sup>。所以在实际运行中这种“软启动”常出现各种各样的状况, 以致影响了闸门的启闭运行。本文就水闸闸门启闭系统电动机的启动方式以常熟望虞船闸启闭机改造实践为例作一探讨。

## 2 常熟望虞船闸启闭系统概况

常熟望虞船闸上闸首闸门采用下卧式弧形闸门, 原设计启闭机采用弧门双吊点固定卷扬式启闭机, 吊点距 17.8 m, 启闭机采用三体展开式布置, 集中驱动方式, 电动机功率为 35 kW, 启门力 2×300 kN, 起升速

收稿日期: 2017-12-28

作者简介: 杜晓磊 (1981-), 男, 本科, 工程师, 主要从事水闸泵站工程管理工作。

度为 3 ~ 3.5 m/min, 扬程为 13.5 m, 启闭机总重 25 t。两侧各用两根钢丝绳, 采用平衡杠杆与闸门吊耳连接。钢丝绳规格为: 6×37 sw, 直径 35 mm。

电动机启动为“软启动”方式。“软启动”采用一组三相电抗器及电动机电子保护器组成, 电子保护器是由热继电器加上一个电子缺相保护电路组成。电动机启动时三相电抗器线圈串入定子线圈与电源之间, 经时间继电器控制由交流接触器短接电抗器线圈完成启动。

“软启动”的工作方式是电动机启动时, 在电动机定子绕组串入电抗器, 增加线路阻抗, 降低电压以达到降低启动电流的目的。电源的频率及电动机其它参数不变时, 最大转矩与电压的平方成正比。降低电动机启动时的电压, 同时也降低了电动机的启动转矩<sup>[2]</sup>, 闸门启闭机是重载全负荷启动<sup>[3]</sup>。综上所述, 闸门启闭机的电动机启动不应选用串联电抗器的“软启动”方式。

常熟望虞船闸由常熟水利枢纽直接供电, 输电电缆约 500 m, 上闸首电动机在线电压 380 V 以上时可正常启动, 如果电压降至 375 V 时会启动困难, 电压降至 370 V 时, 电动机长时间堵转, 无法启动。电动机正常启动时间为 5 ~ 7 s, 而该电动机的启动时间一般都在 10 ~ 30 s 以上, 所以在用电高峰时, 经常出现电动机过流, 无法启动, 造成短暂停航, 严重影响了船闸的正常运行。

### 3 常熟望虞船闸启闭系统改造

望虞船闸上闸首启闭系统因电动机启动问题长期困扰, 严重影响了船闸的正常运行, 同时启闭机械部分因运行频繁出现严重磨损, 经过相关调研论证, 决定对上游启闭机进行全面改造。

启闭机改造方案仍采用固定卷扬式启闭机, 设计启门力为 2×320 kN, 采用弧门式启闭机结构的船闸用启闭机。启闭机设计工作寿命为 12500 h, 采用两体式单独驱动中间轴同步布置方式, 减速机构仍采用开式齿轮加减速器的传动方式, 对应启门速度为 3.5 m/min, 采用双绳卷筒, 钢丝绳采用 6×36 sw, 直径 35 mm, 采用 2 台 YZR200L-6/22 kW 绕线式电动机。

#### 3.1 电动机启动方式的研究改进

启闭机改造后由两台 YZR200L-6/22 kW 电动机构成双驱动, 电动机转子为绕线式转子结构。两

台电动机合计容量为 44 kW, 较改造前的 35 kW 容量更大, 因此启动电流也相应增大。

纵观目前常用的星三角启动, 补偿器启动, “软启动”等, 皆为降低电压同时降低启动转矩的方式, 所以不能满足现有设备的要求。

降低启动电压减小启动电流而不降低启动转矩的启动方式, 目前主要有 2 种<sup>[4]</sup>: 一是变频启动, 用变频器改变电动机启动时的频率即电动机低速启动, 降低荷载, 减小电流。这种方式较为先进但设备和控制复杂, 采用 PLC 编程控制器控制。造价成本随技术的进步虽然降低很快, 但相对传统启动方式还是比较高, 主要用于对转速要求较高的场合。变频启动理论上不改变转矩, 但目前多应用于风机和水泵等设备, 主要功能是调速, 可能是闸门提升的安全因素或是成本等因素, 应用于闸门重载启闭的实例还不多; 二是改变电动机转差率启动, 在电机转子电路里串接电阻器启动的启动方式就是改变电动机的临界转差率, 因此而获得不同的机械特性。改变转子绕组串入的电阻大小就可以改变电动机的转差率, 同时因电阻的串入还提高了启动时的功率因数, 最大转矩  $T_M$  与转子电阻无关而不变, 而电动机在不同转差率时均能获得较大启动转矩<sup>[4]</sup>。所以串入电阻相对提高了启动转矩, 并改善了启动性能; 增加电阻则又限制了转子电流, 使启动电流降低。这种方法成本不高, 适合于闸门启闭机的启动, 所以决定采用改变转差率的启动方案。

望虞船闸闸门启闭频繁, 所以经咨询相关专家的建议, 电阻器采用某电阻器厂生产的型号为 ZX15-40 环绕片状电阻器。设计单相总电阻为 0.704  $\Omega$ 。

改造后的闸门运行速度设计为 3.5 m/min, 电动机额

定转速  $n = 964 \text{ r/min}$ , 转差率  $S_n = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1000 - 964}{1000} = 0.036$ ,

投入电阻后的转差率  $S_c = \frac{r_2 + R_1}{r^2} S_n = \frac{0.0595 + 0.704}{0.0595} \times 0.036$

$= 0.46$ , 式中  $r_2 = \frac{S_n E_{2n}}{\sqrt{3} I_{2n}} = \frac{0.036 \times 200}{\sqrt{3} \times 69.9} = 0.0595 \Omega$  (每相),

投入电阻后的电动机最大转速  $n_c = (1 - S_n) n_1 = (1 - 0.46) \times 1000 = 540 \text{ r/min}$ , 相应闸门运行速度为 1.96 m/min。

为保证电动机平滑启动, 每相电阻器分成三级, 一级为 0.16  $\Omega$ , 二级为 0.224  $\Omega$ , 三级为 0.32  $\Omega$ 。电动机启动时电阻器逐级撤出。

电动机转子绕组内串入了电阻, 减小了启动电

流,而电动机的最大转矩并未改变,而电动机因串入电阻器使电动机在低速启动,增加了启闭机的牵引力,所以增加了启动的安全可靠性能。

减速启动电路图如图1所示。三级电阻器在停电时自动投入,启动时随启动电流的减小,延时分段撤出,减小启动电流冲击保证电动机平滑启动。启动控制电源由电动机主电路提供,即随电动机定子电源供电,启动控制电路与主控二次电路无直接关联。其工作原理为:电机在停止状态时,1KM、2KM、3KM均处于断开状态,三相电阻器全部串入转子绕组电路,当电机启动时,主接触器吸合,电机定子线圈得电。而同时减速启动控制电路得电,则1KT得电并延时接通1KM,撤出第三级电阻;1KT又同时接通2KT,2KT延时接通2KM,撤出第二级电阻;2KT又同时接通3KT,3KT延时接通3KM,撤出第一级电阻,电动机完成启动进入正常运行。每级电阻撤出延时间隔时间设定为2s,总启动时间大约为6s。

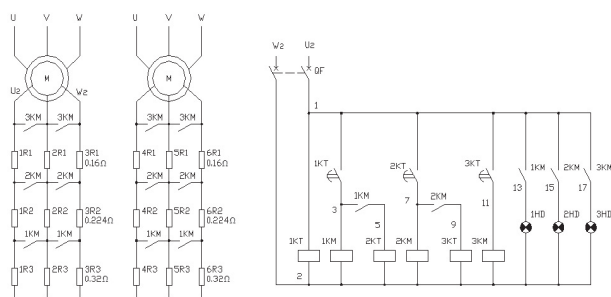


图1 减速启动电路图

改造后的启闭机由两台电动机单独驱动。为保证两台电动机的同步启动,交流接触器采用了某电器公司生产的3只具有四极主触头的NC2-150/4型交流接触器。每台电动机每级电阻器的投入独立使用2对触头,即2台电动机每级电阻器的投入与撤出由同1台接触器完成,从而保证了2台电动机的电阻器同步投入,确保2台电动机的同步启动运行。

### 3.2 闸门启闭机的调速运行

船闸启闭机因通航需要,闸门运行速度提高了许多,超出一般水闸闸门启闭机的设计速度,几乎接近闸门运行速度的极限。虽大大提高了通航运行效率,但因速度的提升使闸门运动惯性增大,特别是在闸门下降运行时不仅增加了机械冲击,加大了机械磨损,对机械行程控制及自动控制保护系统的精度和可靠性能也产生很大影响。在对闸门启闭机运行观察与研究后采取措施,诸如更新了行程控制的

设备,采用2IN1XCKG-2行程控制器取代早期生产的LX系列的主令控制器,确保行程控制安全可靠、灵敏快速,调整适宜并安全的制动力矩,同时在闸门下降接近终端运行段对启闭机实行调速运行,降低闸门运行速度。闸门运行下降到终端位置前约0.5m时串入电阻器降压减速,以减小闸门在停止时产生的运动惯量对钢丝绳及减速器等机械部分形成的冲击,防止产生闸门与底板的撞击,从而确保闸门的安全运行。

为节省经费及简化设备,调速电阻器与启动电阻器共用,利用启动电阻器的后两级进行调速。第二级为0.22Ω,第三级为0.224Ω,用于调速运行的电阻器则为0.16+0.224=0.384Ω。调速电阻器分两级投入以减少冲击,电阻器投入信号由PLC提供,调速行程终了电阻器自动恢复初始状态。

减速启动及调速控制电路如图2所示,闸门运行至预设调速的开度时,PLC发出减速运行指令,通过继电器P1接通4KT、KA,KA吸合立即断开3KM、2KM,串入第一级和第二组电阻器。

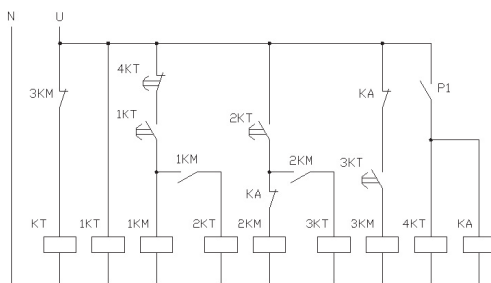


图2 减速启动及调速控制电路图

$$\text{电动机转差率 } S_a = \frac{r_2 + R_1}{r^2} S_n = \frac{0.0595 + 0.704}{0.0595} \times 0.036$$

=0.268,电动机转速  $n_a = (1 - S_a) n_1 = (1 - 0.268) \times 1000 = 732 \text{ r/min}$ ,相应闸门运行速度为2.60 m/min,闸门运行速度下降25%。而4KT延时断开1KM,串入第三级电阻,

$$\text{电动机转差率 } S_b = \frac{r_2 + R_1}{r^2} S_n = \frac{0.0595 + 0.16 + 0.224 + 0.32}{0.0595}$$

$\times 0.036 = 0.462$ ,电动机转速  $n_b = (1 - S_b) n_1 = (1 - 0.462) \times 1000 = 538 \text{ r/min}$ ,相应闸门运行速度1.95 m/min,闸门运行速度下降45%。

至此,减速过程完成。调速运行至关门到位停止运行后,自动复位至初始状态。KT为启动总时间控制,防止因元器件故障导致启动时间延长或无法启动,如发生启动超时即停止启动,并在工控机主画

(下转第58页)

（上接第 54 页）

面显示故障内容,同时发出警报。

## 4 结语

望虞船闸启闭系统电动机的起动及调速运行,电阻投入和相应的电机转差率,电机调速运行的速度的计算,忽略了绕组的电抗  $X_1$ 、 $X_2$  及其它一些参数的影响,所以不是特别精确,但与实际数据相差很小,对于应用于闸门启闭系统实际运行,从技术角度看没有任何问题或影响。经过几年来的实际运行,电动机起动及调速运行效果良好,达到了预期的目的。由于减小了启动时的电流冲击,在相应开度减速运行,设备的保护装置的安全可靠性能得到加强,电气设备及机械设备的故障率大大降低,启动时因冲击电流而影响其它设备的现象再未发生,市电线电压降至 360 V 时仍然正常起动,完全满足闸门启闭机的重载启动与调速运行要求。

水工闸门启闭机由于水工建筑的特殊性,闸门运行荷载除设计荷载,在闸门实际运行时因水位变化、气候原因、时效老化等多方面条件的影响,使启闭机负载在运行时发生变化,甚至超载的情况都可

能发生。按常规机械设计电动机的起动方案,诸如“软起动”等起动方式,都会造成管理运行中的隐患和困扰,甚至严重影响到正常运行。目前绝大多数水利工程都已实现了自动化控制,电压波动、电流冲击等不稳定因素对电子设备的干扰和影响不可忽视。常熟望虞船闸并不是个例,诸如此类的设计隐患依然存在,相对规范也有待改进。以常熟望虞船闸启闭机改造为例,对闸门启闭电动机起动方式的研究探讨,对以后的水闸设计或者管理工作都具有一定的意义。

## 参考文献:

- [1] 井建康. 电工学基础 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996: 185-195.
- [2] 中华人民共和国能源部. 电工进网作业培训教材 [M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992: 214-233.
- [3] GB/GT 3811-2008 起重机设计规范 [S]. 中国标准出版社, 2008.
- [4] 苏建国. 三相异步电动机的几种降压启动方式探讨 [J]. 天津航海, 2011 (2): 17-18.