

苏州河河口水闸液压启闭机设计与同步控制

陈文伟, 卞建, 孙美玲, 沈燕萍

(中国水电顾问集团华东勘测设计研究院, 浙江 杭州 310014)

摘要 苏州河河口水闸是一座集挡潮、防汛、调水、调节水位、通航等多种功能于一身的超大型挡潮闸, 液压启闭机由 4 套液压缸、2 套主系统和 2 套应急操作系统组成。启闭机分别布置在水闸南北两岸机房内, 相距约 107 m, 且水上无任何建筑物连接。经方案比选, 采用电液比例流量阀方案, 实现了两岸液压启闭机动作的同步。

关键词 翻板闸门, 液压启闭机, 同步控制, 苏州河河口水闸

中图分类号 TV664⁺.2 **文献标识码** B **文章编号** 1006-764X(2007)S1-0008-03

1 设备布置及主要技术参数

苏州河河口水闸工程水闸的挡水结构为一扇由底轴驱动单宽 100 m、高 9.76 m 的翻板闸门, 由设在左右机房内的四缸液压启闭机操作, 每侧为双缸并联布置。机房地面高程 -0.05 m, 各自设置独立的液压泵站和现地电控设备。液压缸采用中部转铰支承结构, 铰轴中心高程 1.35 m, 活塞杆吊头与固定于底轴端部的拐臂直接相连接。泵组、阀组、油箱为一体式结构, 每侧设 3 套油泵电动机组, 单机容量为 45 kW, 正常关门和开门工况分别按两用一备和一用两备工作。安装、检修及锁定操作时, 启闭机采用单套油泵电动机组驱动运行。启闭运行时设有闭环同步控制系统, 以保证闸门的同步运行。

设备主要技术参数如下: 额定闭门力 $2 \times 2 \times 4000$ kN, 额定持住力 $2 \times 2 \times 6300$ kN, 启闭运行活塞速度 0.5 m/min, 工作行程 4930 mm, 全行程 5100 mm, 两岸液压缸行程正常同步允许偏差 10 mm, 两岸液压缸行程允许最大同步偏差 30 mm。

2 液压控制系统

本液压启闭机主液压系统设备包括油泵电动机组、液压控制系统设备、电、液保护及电气监控设备和附属设备等。液压控制系统包括油源控制系统和主液压缸控制系统及闸门锁定液压缸控制系统。主要液压控制回路由油泵空载启动及压力控制回路、方向控制回路、速度及同步控制回路、液压锁定回路

等组成。此外, 还设有功能齐全、动作可靠的安全运行保护装置, 包括超压和欠压保护、备用泵自动投切、高压软管爆破保护、油箱内液面液温报警、滤油器堵塞报警等。

2.1 油泵电动机组

油泵选用德国 Rexroth 公司的产品, 型号 A4VS071DR, 额定压力 35 MPa, 额定排量 71 mL/r, 电动机选用 ABH(上海)公司的产品, 额定功率 45 kW, 额定转速 1480 r/min。每套系统设有 3 套油泵电动机组, 正常关门运行工况时, 2 套油泵电动机组工作, 1 套备用; 正常开门运行工况及锁定操作时, 1 套油泵电动机组工作, 2 套备用; 安装检修为现地手动操作 1 套油泵电动机组工作。

2.2 控制回路

a. 油泵空载启动及压力控制回路。本系统设置的油泵空载启动及压力控制回路, 由三位四通电磁换向阀(中位机能 H)和 2 个压力阀组成双调压控制回路, 设定压力分别为 20.5 MPa 和 8.0 MPa。油泵电动机组启动过程, 液压油先经三位四通阀中位直接流回油箱, 延时约 10 s 后, 根据所需执行操作动作的需要, 使相应的电磁阀得电, 系统随即建压。

b. 方向控制回路。本系统主液压缸控制系统的方向控制回路采用三位四通电液比例换向阀, 目的是减少换向阀动作时引起的系统压力冲击, 使启闭运行启、停更平稳。锁定液压缸控制系统的方向控制回路采用三位四通电磁换向阀。

c. 速度及同步控制回路。本系统速度控制回路

由一套流量控制阀加桥式整流块和一套电液比例流量阀加桥式整流块并联组成, 通径均为 16 mm, 每路最大允许工作流量为 160 L/min。两种流量控制阀均选用德国 Rexroth 公司产品, 其性能优良, 调定的过流量具有压力、温度补偿功能。由于速度控制回路兼作同步控制回路, 为提高设备的可靠性, 正常运行时, 两种阀并联工作, 并根据液压缸行程检测偏差信号, 实施闭环纠偏调节运行, 达到正常同步允许偏差的控制目的。万一上述闭环系统的电液比例流量阀(包括电液放大器)出现故障, 本系统仍可利用流量控制阀的事先调定特性, 辅以电磁球阀旁路泄油, 用单泵驱动维持同步运行, 使偏差控制在允许最大同步偏差的范围内。为此, 设备调试时, 应将两岸的流量控制阀调至基本一致的状态。

d. 液压锁定回路。液压锁定回路每侧采用一只液控单向阀闭锁两套主液压缸的有杆腔和一只抗衡阀连接无杆腔, 用于闸门处于任意开启位置时, 适应上下游水位差出现正负值交替变化时的定位。

2.3 液压元器件及辅助设备

鉴于工程的重要性, 启闭机液压系统的所有元器件均选用进口名牌产品, 特别是换向阀、流量控制阀、压力阀、液控单向阀以及油泵等关键元器件均采用德国 Rexroth 的产品。

本液压系统的辅助设备主要包括油箱及附件(滤油器、液位计、液温计、传感器、空清器)、管路(软管)及附件等。

根据 DL/T 5167—2002《水电水利工程启闭机设计规范》和水电工程的使用要求, 本工程液压系统的油箱及所有管路、管接头均采用不锈钢件。

油箱设有带传感器的液位计和液温计、吸湿式空气滤清器、加油口和用于排油的接头, 即使在液位变化最快的情况下油箱内的空气也能自由进出, 经吸湿式空气滤清器过滤后进入油箱的空气被有效地去除了空气中的潮气, 确保了油液的质量。油箱底部有坡度以便排油, 吸油侧和回油侧用隔板分隔, 以分离回油带来的气泡和脏物, 回油侧设置磁铁串, 用以吸附回油带来金属磨削。

回油滤油器的额定过流量按大于实际最大过流量的 4 倍选取。滤油器为旁通式并设有堵塞报警指示, 回油滤油器过滤精度为 $20\ \mu\text{m}$; 压力滤油器过滤精度为 $10\ \mu\text{m}$, 油箱注入口的过滤精度为 $180\ \mu\text{m}$ 。

3 同步控制研究

苏州河河口水闸工程翻板闸门孔口净宽 100 m, 南北两岸液压启闭机同步运行问题是该工程重大关键技术问题之一, 直接关系到水闸的运行安全。设

计之初即对该问题进行了深入的研究, 并就此向国内有关专家进行了专题技术咨询。之后, 根据苏州河河口水闸工程特点及其重要性, 并全面总结了国内外数十座电站(水闸)双缸液压启闭机的设计经验, 确定了苏州河河口水闸工程液压启闭机液压控制系统的同步控制设计方案。

3.1 同步方式的确定

苏州河河口水闸液压启闭机 4 套液压缸分别布置在水闸南北两岸机房内, 相距约 107 m, 且水上无任何建筑物连接, 因此, 无法用同一油源通过液压管路的连接和布置实现液压同步, 设计采用的两岸独立设置油源, 利用液压缸行程检测信号, 实施闭环同步纠偏调节方式成为本工程实现两岸液压启闭机同步运行的唯一选择。

3.2 同步控制方案的研究

基于上述同步方式, 液压控制系统同步方案的确定便显得尤为重要。根据河口水闸工程的特点, 结合国内外成熟工程的设计经验, 适合本工程同步方案基本可归结为以下 3 种:

a. 电磁换向阀旁通泄油纠偏方案。电磁换向阀旁通泄油方案是国内水利水电行业双缸液压启闭机控制系统中应用最广的同步控制方案, 其原理是在连接液压缸有杆腔管路上设置一旁路电磁换向阀, 其回油口与油箱连通。纠偏时, 根据偏差信号, 开启电磁换向阀旁路泄油至油箱, 以调节双缸的相对速度。当双缸偏差达到设定允许值时, 关闭电磁换向阀。如此不断地对两侧液压缸的运行速度进行开关式调整, 达到双缸同步的运行要求。该方案的最大特点是结构简单、动作可靠、成本相对较低。但由于是开关式纠偏调节, 同步控制精度不高, 响应速度也不易控制。

b. 电液比例流量阀方案。电液比例流量阀方案是利用电液比例技术, 根据同步偏差值连续输入的信号量通过高压比例电磁铁控制流量控制阀的阀芯位移变化, 达到流量连续跟踪调节实现同步的目的。电液比例流量阀的主阀体部分仍是普通的流量控制阀。由于电液比例流量阀较伺服阀的结构简单, 因而被广泛地应用于开环控制系统中对液压参数的连续控制和遥控。如果加入适当的反馈检测元件, 则可以实现闭环控制。电液比例流量阀的特点是: 控制系统较简单, 兼有常规滑阀耐油液污染能力强, 和可实施较高精度的连续调节的优良性能, 还具备与普通液压阀可互换、成本低等优点, 但动态特性及控制精度略逊于伺服控制阀。

c. 电液伺服阀方案。电液伺服阀方案是用电气模拟信号控制的电液伺服阀作为流量控制元件的系

统,它是自动控制系统中的功率转换或信号放大元件,能将小功率的电信号转换成大功率的油液能输出(即调制的流量或压力),电液伺服阀能与位移、速度和压力等传感器组成高精度闭环控制系统。与电液比例流量阀相比,具有动、静态特性更好,控制精度更高等优点,尤其零区特性更体现了电液伺服阀是一种高精度的电液控制元件。但是它对油液的污染度特别敏感(5~10 μm)。

三种方案性能对比见表1。

表1 同步控制方案性能对比

项 目	旁通泄油 纠偏方案	电液比例流量阀 方案	电液伺服阀 方案
阀体结构	简单	一般	复杂
可 靠 性	高	高	高
动、静态特性	差	好	很好
控制精度	低	高	很高
灵 敏 度	低	高	很高
抗干扰力	强	强	强
线 性 度	低	一般	高
对油液污染度要求	低	一般	高
系统维护要求	低	一般	高
设备成本	低	一般	高

综上所述,设计最终选用了控制精度足够高,且油液要求一般的电液比例流量阀方案作为系统的主调速方案。

4 系统可靠性分析

水利水电工程液压启闭机设备运行的可靠性大多取决于:①设备配置的合理性和安全裕度,核心是液压系统的清洁度和电、液控系统元器件选配的合理性、必要的冗余配置,运行程序设计的内容全面、闭锁保护系统的完整、有效等,以及可靠的故障处理预案。②设备的制造、安装质量,核心是液压系统和电控系统的产品质量。③设备的维护、管理质量,核心是确保整机设备始终处于良好的可运行状态。本机同步控制系统是整机液压、电气控制系统的核心,其运行的可靠性被广泛关注,现就其运行的可靠性问题分析如下。

4.1 关于液压系统的配置和元器件选择

主液压系统同步回路的设计考虑了事故备用,有一定的冗余功能,凡涉及同步系统的所有元件均选择国际最知名的质量一流品牌产品。作为闭环控制的重要部件——闸门开度检测装置除了考虑冗余设置外,其核心检测元件也是当前国际先进的技术和专利产品,即每侧启闭机配1套外置式磁致伸缩位移传感器作为检测元件的检测装置和1套液压缸自带的CIMS检测系统,可互为备用工作。前者检测信号为绝对量信号输出,后者检测信号为增量型

信号输出,两者检测精度均小于1mm,完全可满足本机控制精度要求。磁致伸缩位移传感器选用美国MTS系统公司产品。

4.2 关于电气控制系统的配置和元器件选择

每台油泵电动机配置1台施耐德生产的ALTISTART48系列软启动器,具有多重保护功能,不但使油泵电动机启动平稳而且调整方便。3台油泵电动机分别接入不同回路的动力电源,当一路动力电源因故消失后,不会影响另一台油泵电动机的正常工作,同时为提高可靠性设置了NS型断路器。

本系统控制电源采用直流24V,两路AC220V经互为备用切换后送入一套S-200开关电源装置转变为DC24V,另一路AC220V由集中控制室UPS引入另一套S-200开关电源装置转变为DC24V。两路DC24V经互为热备后为控制系统供电。西门子生产的开关电源装置和二路热备提高了控制电源的可靠性。

由于控制对象较为分散,为保证系统信号的采集和控制的可靠性,本控制系统选用了一套施耐德生产的MODICOM TSX Quantum PLC,PLC配置了本地I/O和远程I/O,采用双套CPU,并配置双套通信模块分别与上位机和本地I/O和远程I/O进行通信。为防止信号的干扰,与上位机的通信采用了光缆。CPU的总内存为512K,984型内存16K字。扫描性能0.3~1.4ms/kB,本系统选择的PLC能满足中型至大型控制系统的配置,可满足最高性能的应用要求,本系统根据要求配置了多种输入/输出模块,本地I/O和远程I/O由底板和相应的输入/输出模块组成。

本系统选用的PLC体积小、性价比高、结构坚固、保证在最恶劣的现场环境下也能可靠工作,并采用“可带电插拔”模块,简化了维护,进一步增加了系统的可靠性。

4.3 关于液压系统的污染度控制

按设计规定,使液压系统的污染度达到设计要求是确保本机可靠运行的重要环节。根据系统中的液压元件要求,设计规定污染度应达到ISO4406标准17/14级,并对管路清洗方式和检测要求作了规定,作为现场施工实施和质量控制的依据。

5 运行与调试

苏州河河口水闸液压启闭机于2005年7月进行了联门后的带载调试试验,对液压系统的闸门关闭、闸门开启、同步控制及纠偏、同步超差停机保护、单侧静态纠偏等功能进行了反复试验,取得了同步控制最佳参数,各项功能及运行过程的压力、速度、同步偏差值等实测数据达到和满足设计要求,设备运行正常。

(收稿日期:2007-01-15 编辑:熊水斌)