

特大型倒挂液压启闭机安装与调试技术研究

杨文中¹ 刘雄¹ 何婉玉² 杨利²

(1. 武汉市水务建设工程有限公司 2. 武汉三镇实业控股股份有限公司)

摘要：由于水利工程规模的扩大和技术要求的提高，超大型倒立液压启闭机的安装调试面临诸多挑战。因此，提出特大型倒挂液压启闭机安装与调试技术研究。基于启闭机的基本结构，通过机架安装、油缸安装、泵油站安装以及电气系统安装完成启闭机的整机安装过程，以此为依据，对启闭机进行性能调试，包括空载动作试验、带闸门联动试验系统静压试验以及管路耐压试验，提高安装质量，确保启闭机的调试性能。以某大型水电站为研究背景，对工程中的启闭机进行安装与调试，结果表明，调试后的闸门启落速度和沉降量均在标准范围内，启闭机的性能调试效果较好。

关键词：特大型倒挂液压启闭机；安装与调试；水电站；闸门

0 引言

超大型倒立液压启闭机作为一种关键设备，在水电站、船闸、防洪闸门等工程中发挥着至关重要的作用。该型启闭机具有独特的倒置结构和强大的启闭能力，确保了工程的安全高效运行。然而，其安装调试技术的复杂性和挑战性也随之增加，成为水利工程研究领域的热点之一。

传统上，超大尺寸倒立液压启闭机的安装调试主要依靠经验和实践，缺乏系统的理论指导和规范的操作规程。这种方法不仅效率低，而且难以保证安装调试的质量和安全性。此外，随着工程规模的扩大和技术要求的提高，传统方法已不能满足现代水利工程的需要。因此，探索和研究更先进、更高效的安装调试技术已成为水利工程领域亟待解决的问题。

本研究旨在对超大型倒立液压启闭机的安装调试

技术进行深入的研究和探索。基于启闭机的结构特点和工作原理，提出科学、系统的安装调试技术流程。该工艺不仅能提高安装调试的效率和质量，还能降低工程成本，增强工程的安全性和稳定性。本研究不仅具有重要的理论价值，而且具有广阔的应用前景。研究成果将为水利工程领域的实践提供强有力的技术支持，促进水利工程技术的进步和发展。

1 特大型倒挂液压启闭机安装技术设计

特大型倒挂液压启闭机的安装主要内容包括油缸安装、泵油站安装以及电气系统安装等步骤。油缸是液压启闭机的执行机构；泵油站为液压系统提供动力源，即高压油液；电气系统的控制可以保证泵油站的正常稳定运行^[1]。特大型倒挂液压启闭机安装流程如图1所示。

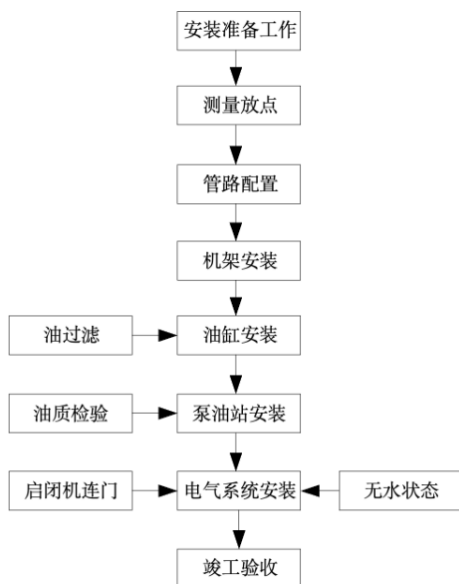


图 1 特大型倒挂液压启闭机安装流程

如图 1 所示，油缸安装、泵油站安装以及电气系统安装三个安装步骤是相互联系、相互依赖的，它们之间的合理协调与配合是确保启闭机能够安全运行并发挥良好性能的关键。本文将主要分析上述三个步骤的具体施工工艺。

1.1 机架安装

首先，做好基础准备工作。按设计要求进行地基处理，确保地基承载力符合要求。根据启闭机的尺寸和重量选择基础板和支撑结构。其次，定位并调整齿条。使用激光测距仪确定机架的水平度和垂直度。然后，固定并加固支架。使用高强度螺栓和焊接技术将框架牢固地连接到基础板上，在机架上增加支撑梁和加强板，以提高机架的承载能力和稳定性^[2]。最后，进行机架安装的验收工作。通过检查机架的水平度、垂直度和连接紧密度，确保机架的安装质量符合要求。

1.2 油缸安装

安装准备工作。对现场进行清理，确保安装现场无杂物、油污等，且保证地面平整度误差不超过

±2mm；检查油缸、支架、密封部件等是否符合设计要求，是否有损坏或缺失^[3]。

测量放点。以基线为基准，用经纬仪确定油缸中心线，误差在 ±0.5mm 之内；用激光测距仪测量油缸底座的安装高度，并做好标记^[4]；使用起重设备将油缸提升到预定位置，确保油缸在提升过程中稳定无晃动；用定位销和螺栓将油缸固定在基础上，确保油缸与基础的连接牢固可靠^[5]。用水平仪检查油缸底座的水平度，调整至水平度误差不大于 0.05mm/m。

管路配置与油液冲洗。根据液压系统图，用管卡和密封材料将管道与油缸的接口紧密连接；用肥皂水检查所有连接部件，确保密封性能良好，无泄漏；启动泵油站，进行油循环冲洗^[6]。冲洗时间不少于 2 小时，直到清洁度达到要求。

油缸安装。调整油缸的角度，使得油缸倾斜并提升到位；随后，将油缸插入支撑铰链预埋件的相应位置，并安装定位轴套；接下来，穿过销轴并拧紧挡板以确保稳定性^[7]。起吊和捆扎时，使用保护垫，以防止损坏油缸外观上的油漆；最后，用钢丝绳将气缸体下端固定在支撑臂上，确保其稳定性。

1.3 泵油站安装

首先，将泵站和油站的固定框架放置在建造的基础平台上。为了保证泵体的水平度，使用高精度的水平仪和调整垫片进行调整，以确保泵体的轴线与基础的中心线完全对齐，且偏差不超过 ±0.2mm。接下来，使用定位销来确定泵体在基础上的准确位置，以确保其稳定性和可靠性。一旦确定位置，立即将其固定，以防止在施工过程中发生位移。在固定好泵体后，按照泵站工艺流程图的要求和设计规范连接吸入管、压力管、回流管等管道，并使用法兰进行固定。此外，为了确保电机和泵体之间的联轴器精确对齐，使用膨胀螺栓进行调整。在调整过程中，严格控制偏差，确保偏差不超过 ±0.1mm。最后，将整个框

架固定在混凝土地板上，并通过焊接将其连接到大坝接地网。这一步骤不仅提高了泵站的整体稳定性，而且保证了泵站的安全可靠运行。

1.4 电气控制系统安装

将控制柜水平放置，垂直偏差不大于0.5%，水平偏差不大于0.2%，控制柜之间的距离不小于800mm；根据设计图纸的技术要求，将电气盘柜运输至安装地点位于支架上，并用螺栓固定。配电盘和配电柜就位后，用水平仪和铅锤调整机柜的水平度和垂直度；按照安装要求进行电缆桥架和布线，电缆的弯曲半径不小于电缆外径的10倍^[10]；使用专用的接线端子连接控制电路，接线完成后，进行绝缘测试，以确保电路的绝缘性能符合要求。

在安装过程中，记录详细的安装数据、调试参数和测试结果，并将其汇编成安装报告^[11]。安装调试完成后，应进行验收，以确保电气控制系统符合设计要求和技术规范。

通过对以上步骤的详细描述，完成了超大型倒挂液压启闭机的安装过程。在整个安装过程中，需要进行精确的数据控制、遵循严格的安装要求和细致的操作步骤，并对液压启闭机的运行状况进行验证和调试，以确保最终的安装质量和有效性。

2 倒挂液压启闭机调试

为验证特大型倒挂液压启闭机的安装效果，对其进行调试与试运行。对于液压启闭机的调试过程包括空载动作试验、带闸门联动试验以及系统静压试验三个方面。

2.1 空载动作试验

打开电气控制系统的电源，然后空载启动液压机开关，观察液压机的启动过程，电机、泵和其他相关部件能否启动，是否存在任何异常声音或振动^[12]。在空载状态下，用0.51~1.05MPa的低压来驱动已经排

过气的液压缸，执行全行程空载往复动作3次，观察其运行中是否出现平稳，卡涩或冲击现象。为保证不同低压条件下系统的运行数据可比性，对系统的变频参数进行设定，如表1所示。

表1 系统的变频参数设定

参数号	设定值	描述
P101	350	额定电压
P102	228	额定电流
P103	50	额定频率
P104	45	额定频率
P451	124	正向最大频率
P452	-200	反向最大频率
P453	740	直流母线额定电压
P095	10	异步电机

使用传感器和测量设备监测液压机的控制参数，可采用下式计算，即：

$$\begin{cases} P = \frac{F}{A} \\ Q = \frac{V}{t} \end{cases} \quad (1)$$

式中， P 为压力； F 为油液作用力； A 为液压机的单位作用面积； Q 为油液流量； V 为流速； t 为流动时间。

在进行空载试验时，系统应及时向油箱补油，确保液压泵站油量充足，以防止油箱吸空。

2.2 带闸门联动试验

闸门联动试验的目的是确保液压启闭机与闸门之间的正常协同工作，并确保两者在实际工作中能够准确、快速地响应控制指令。

启动液压启闭机，观察闸门的开启和关闭动作。记录启闭机和闸门从静止移动到完全打开或关闭所需的时间（ T_1 ， T_2 ），并计算整个过程的时间差 ΔT ，即：

$$\begin{cases} \Delta T = T_2 - T_1 \\ \Delta T \leq \mu_t \end{cases} \quad (2)$$

式中, μ_t 为允许的时间差。

在启闭机和闸门的整个行程中设置多个位置检测点, 当启闭机到达某一检测点时, 记录闸门的相应位置, 并计算两个位置之间的偏差值 ΔP , 并与允许值相比较。向液压启闭机和闸门发送快开、慢关两个控制指令, 观察两者的响应速度和动作执行情况。

在联动测试过程中, 详细记录每个测试项目的数据, 包括时间、位置偏差、控制命令响应等^[13]。分析这些数据, 以确保它们符合设计要求和技术规范。如果发现数据异常或不符合要求, 应立即进行调整和维修。

2.3 系统静压试验

启动液压系统, 观察压力传感器和压力表的读数, 并记录初始压力值 P_0 , 保持液压泵运转, 并持续监测液压系统的压力, 计算压力波动值 P' , 即:

$$P' = P_0 \times \beta_0 \quad (3)$$

式中, β_0 为监测频率。

逐渐增加液压机的工作压力, 观察压力传感器和压力表的读数。记录每个阶段的压力值 (P_1, P_2, \dots, P_n) 以及液压机的相应工作状态, 并计算压力波动值, 判断压力波动是否在预设范围内。

在一定的设定压力下, 保持液压机静止, 观察压力传感器和压力表的读数变化^[14]。记录保温时间 (T') 和保温过程中的压力变化, 观察保持时间内的压降是否超过允许值, 以验证液压系统的保持性能。

根据以上计算与分析过程, 即可完成对特大型倒挂液压启闭机的性能调试过程, 为液压启闭机的安全稳定运行提供保障。

2.4 管路耐压试验

管道耐压试验是保证启闭机系统安全稳定运行的关键环节。该过程旨在验证启闭机液压系统中管道、

接头和阀门等部件的密封和承压能力, 以确保在实际操作过程中不会发生泄漏或破裂。

首先, 对液压系统中的所有管道进行目视检查, 确保所有接头没有损坏、裂纹和可靠的紧固。同时, 检查管道的支撑和固定情况, 确保在测试过程中没有位移或变形。接下来, 根据设计要求, 向液压系统中注入适量的液压油, 油温控制在 $40^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 的范围内^[15]。然后, 将液压系统的工作压力控制为 20MPa, 使用专业的压力测试设备, 逐渐增加液压系统中的压力, 压力逐渐增加到工作压力的 1.5 倍, 即 30MPa, 并保持 30min, 以测试管道的密封和承压能力。在此期间压力波动应不超过 $\pm 0.5\text{MPa}$ 。

实验结束后, 逐渐降低液压系统中的压力, 并检查管路的状况。如果发现任何泄漏或异常现象, 应立即修复并重新测试。

3 调试结果与分析

为验证本文提出的特大型倒挂液压启闭机安装与调试技术在实际应用中的效果, 将本文方法应用在某大型水电站中, 并对工程中的液压启闭机进行安装与调试, 根据调试结果分析该方法应用性能。

3.1 研究背景

某大型水电站位于长江上游峡谷区, 电站总装机容量达到 3000MW, 配备 10 台单机容量为 300MW 的水轮发电机。水电站上游水库最大库容 50 亿 m^3 , 水库面积 150 km^2 , 平均水深 30m。年均发电量约 100 亿 kWh, 占全国年发电总量的 15%, 是全国电力供应的重要支柱。该水电站共有 10 个工作闸门, 每个工作闸门设计为弧形闸门, 以适应水库的高水位和强水流。每个工作闸门宽 20m, 高 15m, 总重量 500t。工作闸门采用液压启闭机进行开启与闭合操作, 并根据本文提出的安装流程完成启闭机的安装。水电站与采用的液压启闭机概况如图 2 所示。

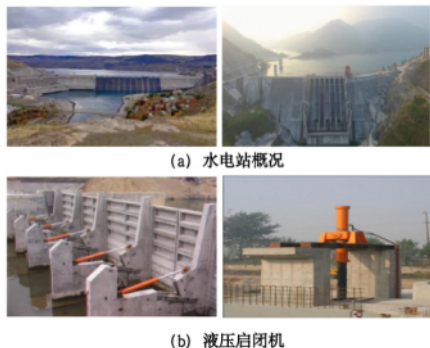


图2 水电站与液压启闭机概况

闸门采用的特大型倒挂液压启闭机型号为 DHQ-3000T, 其各项技术参数如表 2 所示。

表 2 液压启闭机技术参数

项目	参数
启闭力	3000T
液压泵站功率	2×500kW
油缸直径	2000mm
油缸行程	5000mm
液压系统压力	25MPa
额定启门力	5500kN
额定闭门力	2000kN
活塞杆径	700mm
有杆腔计算压力	19.6 MPa
油泵额定流量	180L/min
油泵额定排量	120 L/min
电机功率	120kW
电机转速	1250rpm
油箱容积	5000L

调试平台是一个坚固的钢结构平台, 可以承受起重机及其附件的总重量; 电力系统采用三相四线制电源, 电压稳定, 配备一台功率为 1000kVA 的变压器, 以保证启闭机调试过程中的电力需求; 控制系统采用 PLC 控制柜, 用于控制启闭机的动作, 监视其运行状态。

根据文中所述的工艺流程, 对液压启闭机进行安装和调试, 并分析启闭机的调试效果。

3.2 启门与闭门速度测试

基于以上准备与相关参数的设置, 将本文提出的

方法应用于图 2 所示的液压启闭机安装与调试中, 对经过调试后水电站的启门速度和闭门速度进行监测。根据该工程液压启闭机的安装与设计的要求, 确定启门速度不小于 0.8m/min, 闭门速度不小于 0.4m/min, 即符合预设要求。测试结果如图 3 所示。

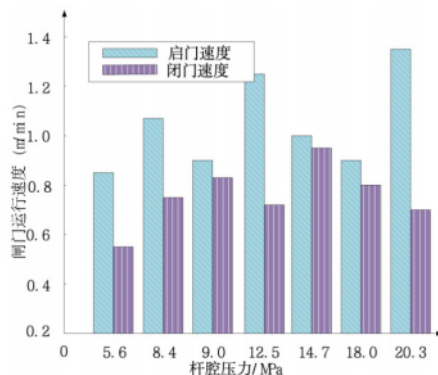


图 3 启门与闭门速度测试结果

根据图 3 中的数据可以看出, 经过本文提出的工艺对该水电站倒挂液压启闭机进行调试, 通过工程应用后, 在不同杆腔压力条件下, 闸门的启门速度始终保持在 0.83 以上, 同时, 闭门速度均超过 0.50, 满足了启门速度不小于 0.8m/min, 闭门速度不小于 0.4m/min 的预设标准。由此可以说明, 本文的调试技术可以保证液压启闭机的性能符合技术标准。

3.3 闸门沉降量测试

在上述测试结果基础上, 为进一步验证本文调试技术的可靠性, 对启动液压启闭机后闸门的沉降量进行测试, 以评估启闭机的性能。

启动闸门前, 使用激光测距仪和精密水准仪测量闸门上每个标记点的初始位置并记录数据; 启动液压启闭机, 使闸门全开并保持稳定状态; 利用位移传感器实时监测闸门各标记点的沉降情况, 并将数据实时传输至数据采集器。当在监测周期内, 闸门的沉降量不大于 200mm, 表明启闭机的性能满足应用需求。测试结果如表 3 所示。

表 3 闸门沉降量测试结果

闸门提起时间/h	闸门沉降量/m
4	89.10
8	96.33
12	102.45
16	82.13
20	81.36
24	81.02

由上表中的数据可知，在闸门提起的 24h 区间内，闸门的沉降量逐渐升高后又趋于稳定，最终保持在 81m 左右。其中闸门最大沉降量为 102.45m，在设计 200m 要求范围内。通过闸门沉降量监测结果可以说明，本文设计的启闭机调试技术可以保证闸门的启闭平稳性，调试后启闭机的性能更佳。

4 结束语

本研究系统地探索和创新了超大型倒立液压启闭机的安装调试技术，提出一种高效、安全的操作流程，不仅为水利工程领域的实践提供了强有力的技术支持，也为相关学术研究提供了新的思路和方法。

未来，随着技术的不断进步和应用领域的拓展，超大型倒立液压启闭机的安装调试技术将不断优化和完善，为水利工程领域贡献更多的智慧和力量，共同推动水利工程技术的发展。

参考文献

[1] 冯亚鹏, 马峰, 吴锐. 三河口大坝表孔液压启闭机安装与调试技术探讨 [J]. 水电站机电技术, 2023, 46 (3): 82-85.

[2] 余德沙, 周益, 毛延翩, 等. 浅谈水电站闸门启闭机液压系统现场调试及维护 [J]. 水电与新能源, 2021, 35 (8): 61-64.

[3] Dobler T, Hoving S, Dreiser C. From Lab to Pilot Scale: Commissioning of an Integrated Device

for the Generation of Crystals[J]. Chemical Engineering & Technology: Industrial Chemistry -Plant Equipment -Process Engineering -Biotechnology, 2023, 30 (1): 471-473.

[4] Wang S J, Yang X F, Bai S W, et al. Construction and commissioning of the collinear laser spectroscopy system at brif[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 2022, 20 (15): 154-157.

[5] 冯学刚, 苏俊玮, 陈鹏, 等. 基于同步冗余策略的龙溪口船闸启闭机设计 [J]. 水运工程, 2023 (10): 37-41.

[6] 范如谷, 杨芳, 赵硕勇, 等. 新型结构清污双向门式启闭机设计 [J]. 起重运输机械, 2023 (17): 42-46.

[7] 翟大明, 黄尚品, 章俊展, 等. 闸门启闭机液压系统泄漏在线监测技术研究——以大藤峡水利枢纽工程为例 [J]. 人民长江, 2022, 53 (S2): 196-201.

[8] 谭志国, 胡凡, 郭金涛. 双吊点固定卷扬式启闭机吊点同步性问题研究 [J]. 人民长江, 2021, 52 (S1): 194-196.

[9] 张涛, 万名炎, 胡剑杰, 等. 基于大数据闸门启闭机健康状态分析方法的研究 [J]. 水电能源科学, 2022, 40 (11): 198-202.

[10] 姚怀智, 刘放, 余刚毅, 等. 液压启闭机-弧形闸门耦合动力学仿真与抑振研究 [J]. 机械科学与技术, 2023, 42 (8): 1178-1183.

[11] 赵汝和, 柳润清, 李小平. 基于 PLC 的机械液压启闭机动力节能数值仿真 [J]. 计算机仿真, 2022, 39 (1): 283-287.

(下转第 68 页)

[12] 王顶元. 大型闸门双液压缸启闭机同步控制原理及调试 [J]. 云南水力发电, 2021, 37 (7): 184-187.

[13] 李航, 李志强, 郭成操, 等. 门式启闭机门架结构 6 σ 稳健优化设计 [J]. 机械设计与制造, 2021 (10): 53-56.

[14] 薛晓, 王建刚, 刘国锋. 锂电池电动启闭方式

在小型手动闸门启闭机改造中的应用 [J]. 江苏水利, 2023 (11): 39-41.

[15] 李瑞, 徐平, 铁瑛, 等. 液压启闭弧形闸门多领域工作特性分析及故障模拟 [J]. 机床与液压, 2023, 51 (19): 140-147, 202.

(收稿日期: 2024-04-01)