

# 陶瓷活塞杆液压启闭机在碾盘山枢纽泄水闸工程的应用

周雨果 周 纯

湖北省碾盘山水利水电枢纽工程建设管理局(筹) 湖北 武汉 430000

**摘要:**湖北省碾盘山水利水电枢纽工程泄水闸液压启闭机活塞杆设计常年工作在水下,工作环境较为恶劣和复杂,因此对活塞杆的防腐性、耐磨损性能及行程检测装置的防护等级要求很高。简要介绍应用于该工程的陶瓷活塞杆及行程检测传感器的工艺方案和结构特点,设备制造完成后,经检测,各项指标均满足设计要求。

**关键词:** 液压启闭机; 陶瓷活塞杆; 行程检测; 涂层处理

## 一、工程概况

碾盘山枢纽工程共设有 24 孔泄水闸。根据泄水闸底槛高程的不同(孔口宽度均相同),泄水闸分为 、 两个区。

区弧形工作闸门液压启闭机容量为  $2 \times 2800\text{kN}$ ,油缸工作行程为 9.66m,最大行程为 9.8m。区弧形工作闸门液压启闭机容量为  $2 \times 2500\text{kN}$ ,油缸工作行程为 9.26m,最大行程为 9.4m。电气控制系统采用集中/分布式二层系统结构,现地检修手动、现地自动及远程集中自动控制均能启闭弧形工作闸门。

## 二、液压启闭机的布置与结构

泄水闸 、 两个区 24 孔液压启闭机共设 24 套液压泵站,按一孔一站配置,泵站布置在闸顶  $\nabla 56.3\text{m}$  油泵房内。每台套液压启闭机的 2 支油缸、2 套油缸上部支座及埋件、2 套闸门行程测量装置左右对称分布在每个闸孔两侧,共用 1 套液压泵站设备及液压管道和 1 套在线监测系统。液压启闭机布置采用后拉式双缸单作用,上部支座采用悬臂梁形式,上吊点通过销轴安装在支铰座上,下吊点与闸门通过吊轴相连,油缸上下吊耳轴承均采用日本进口的 OILES 免维护带密封自润滑球面滑动轴承,能够充分适应水中和潮湿的工作环境,轴承内设铜基镶嵌,启闭过程中能够适应闸门的转动和细微变化。油缸与管路之间采用进口 EATON 高压软管螺纹连接,连接方式简单易维护,额定工作压力为 18.6MPa,无论启闭机是局部开启还是全程开启,油缸均能够自由摆动,而不影响周围其它设备和建筑物。启闭机布置见图 1。

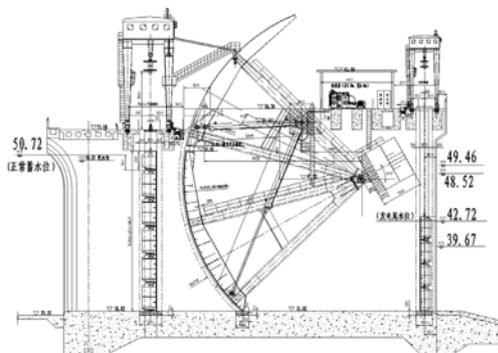


图 1 泄水闸液压启闭机立面布置

## 三、液压油缸活塞杆热喷涂及行程装置工艺的总体设计

### 1. 液压油缸缸体

缸体材料选用 45# 钢整段无缝钢管,其材料机械性能不低于 JB/T6397 中 45 钢正火热处理后的技术性能。缸体材料按 JB/T4730.1 和 JB/T4730.3 级进行 100% 超声波探伤。

### 2. 热喷涂陶瓷活塞杆的工艺设计

活塞杆制造的工艺流程主要分为 8 个工序,第一步是进行热处理;第二步是进行粗车,去除毛坯余量;第三步是进行超声波探伤;第四步是进行精车,使活塞杆外圆及两端达到设计尺寸要求;第五步是对位置行程编码沟槽进行加工;第六步是进行喷涂前珩磨;第七步是进行陶瓷喷涂;第八步是进行精磨(外圆珩磨)。

#### (1) 活塞杆的基质材料

活塞杆母材选用 45# 钢并进行正火或调质热处理,控制好活塞杆的抗拉强度和屈服强度的上、下限值,机械性能应满足钢锻件 JB/T6397 中相应牌号的性能。活塞杆母材为类整体锻件,应进行 100% 超声波探伤,并达到钢锻件超声检测方法 GB/T6402 中的 3 级质量要求。在对活塞杆进行粗车、半精车、精车加工时,一是控制活塞杆导向段外径公差不低于 GB/T1801 中的 e8;二是控制圆度公差不得低于 GB/T1184 中的 9 级,母线直线度公差不大于  $1000 : 0.1$ ;三是控制活塞杆导向段外径的表面粗糙度  $Ra \leq 0.35 \mu\text{m}$ 。

#### (2) 陶瓷涂层处理技术要求

活塞杆基础层喷涂 Ni/Cr,喷涂厚度  $150 \mu\text{m}$ ;面层喷涂  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ ,喷涂厚度  $200 \mu\text{m}$ ;面层硬度 950HVS,表面粗糙度  $Ra0.25$ ,表面抗冲击值  $> 2.5\text{J}$ 。涂层与活塞杆母材的结合强度  $30\text{MPa}$ ,弯曲极限强度  $350\text{MPa}$ ,经 2000 次弯曲试验,涂层不应产生裂纹和脱落等现象,孔隙率  $< 2\%$ ,表面深层封孔。陶瓷活塞杆按照 DIN50021 盐雾试验标准进行盐雾试验不少于 3000h,涂层应无气泡、锈蚀等现象。陶瓷活塞杆与非金属导向带之间配合公差等级采用 H8/e8。

#### (3) 先进的工艺设备

外圆珩磨机采用美国善能公司研制开发,外圆珩磨最大直径 600mm,长度 20m,外圆珩磨精度可达 0.02mm,表

面粗糙度可达 Ra0.1, 是目前国内外零件外圆珩磨能力最大的专用大型设备。

喷涂设备采用德国 GTV 公司的高速火焰(超音速气体)+3 阳极等离子陶瓷喷涂生产线, 该生产线采用高速火焰喷涂 NiCr 基础层 +3 阳极等离子喷涂表面层的工艺, 其喷涂层和母材的结合强度有了大幅的提升, 并全面提高了陶瓷涂层的性能。

### 3. 行程检测装置及限位装置

#### (1) 行程检测信号源<sup>[1]</sup>

采用绝对型功能的行程检测信号源内置于陶瓷涂层下, 刻制在陶瓷活塞杆上的刻度沟槽采用二维码原理, 每一处均是完全不同的, 传感器放置在任意位置均可以准确读出活塞杆的实际准确且唯一位置, 在系统突然掉电的情况下, 如果液压缸活塞杆仍然动作了一段距离, 在当系统恢复供电后, 行程检测装置仍能根据陶瓷层下的绝对型编码准确读出当前液压缸实际行程位置, 无论液压活塞杆是否往复运动, 或是停在任意位置, 检测结果不会像相对型传感器那样存在累计误差。采用上述制造工艺的活塞杆防护等级为 IP68, 满足长期泡水要求。

#### (2) 陶瓷杆行程检测装置

陶瓷杆行程检测装置采用江苏武进液压启闭机有限公司与常州创源公司共同研制的 CPMS-JD 系列产品, 该传感器是真正的绝对量型传感器, 它具有体积小、安装方便、测量精准、抗干扰能力强、防水防腐蚀性能优越、工艺成熟、运行可靠等特点。它的工作原理是读取内置于陶瓷涂层下的不同间距的刻度沟槽, 将其转换成不同的位置信号, 检测装置输出信号为格雷码并口或串口 (SSI) 信号, 可以直接与 PLC 的 SSI 输入模块连接, SSI 输入模块采用施耐德公司的 BMXEAE 0300 型号产品, 电气分辨率 1mm, 检测精度

1mm, 活塞杆任意位置输出唯一数据, 采用专用屏蔽电缆, 抗干扰能力和数据采集的实时性都极强, 检测距离不受限制, 掉电再上电后即得当前准确位置值, 无论活塞杆是否移动, 无断电时间限制, 适应环境温度为 -30 ~ +80 , 防护等级 IP68, 满足长期泡水要求。

#### (3) 位置检测限位开关

闸门位置检测上限位、下限位、检修位开关均选用进口 BALLUFF 公司优质产品, 防护等级 IP67。这些开关装在专用的支架上, 通过连接, 固定在适当位置上。在闸门启闭过程中, 这些极限位开关量信号可以有效应用于控制系统中, 起到良好的控制保护作用。

#### 四、陶瓷活塞杆的主要优点

陶瓷活塞杆相比传统镀铬活塞杆, 优势较为明显, 一是表面热喷涂致密的陶瓷涂层具有非常好的耐水、耐腐蚀性能, 化学性能极其稳定, 同条件下使用寿命相比普通镀铬活塞杆可提高 5~6 倍<sup>[2]</sup>; 二是陶瓷活塞杆的陶瓷涂层与母材的结合强度高, 经过长时间的使用, 相比镀铬活塞杆, 表面涂层更不易脱落; 三是陶瓷活塞杆涂层表面材料密度高, 硬度也高, 表面光滑, 摩擦系数小, 保证了陶瓷活塞杆耐磨损的性能, 从而减少了油缸密封件的磨损量, 降低了设备使用成本; 四是行程检测装置体积小、防护等级高, 直接安装于油缸端盖上, 相对于传统移动式静磁栅传感器, 稳定性、可靠性都强很多, 而且在后期维护与检修中更加简单方便。五是行程检测信号源置于活塞杆内部, 可以有效抵御洪水杂物等恶劣环境的影响。

#### 五、结语

由于陶瓷活塞杆在各方面都具有良好的性能指标, 近些年在国内外重大项目上都有成功的应用, 随着不断改进的制造工艺和更加先进的制造设备, 陶瓷活塞杆的品质在不断优化。碾盘山枢纽工程泄水闸液压启闭机部分已加工完成, 并通过第三方质量检验检测中心检测, 检验报告合格。2021 年 4 月, 在厂内机电液联调试验收中, 液压缸、活塞杆运行稳定, 行程测量准确, 所有测试项目均满足设计要求。

#### 参考文献:

[1] 陈光, 李霄琳, 李跃年. 国产陶瓷活塞杆液压缸在白沙滩泵站输水总干渠扩建工程的应用. 水利水电技术, 2008(7):58-60.

[2] 许旭东, 袁尧, 彭志芳. 陶瓷涂层技术在液压启闭机中的应用研究. 水利建设与管理, 2016(3):70-72.