

# 泗洪泵站灯泡式贯流泵机组 变频运行同步切换研究

许 委<sup>1</sup>, 许朝瑞<sup>2</sup>, 顾 静<sup>2</sup>, 许 桃<sup>2</sup>, 罗晓旭<sup>1</sup>

(1. 江苏省骆运水利工程项目管理处, 江苏 宿迁 223800;

2. 南水北调东线江苏水源有限责任公司宿迁分公司, 江苏 宿迁 223800)

**摘要:** 泗洪泵站是南水北调东线工程的重要节点枢纽工程, 也是促进区域协调发展的基础性水利工程, 泵站的稳定运行影响着水利工程的安全。在泵站机组变频调速控制系统中, 变频器经常需要操作从变频切换至工频状态, 结合泗洪泵站运行实践, 通过研究设计和应用机组变频运行同步切换, 可延长高压变频器及电抗器的寿命, 同时提高泵站效率, 降低能源单耗。

**关键词:** 变频器; 灯泡式贯流泵; 同步切换

中图分类号: TV675

文献标识码: A

文章编号: 1007-7839(2024)10-0048-0006

## Study on synchronous switchover of variable frequency operation for bulb type tubular flow pump unit in Sihong Pump Station

XU Wei<sup>1</sup>, XU Chaorui<sup>2</sup>, GU Jing<sup>2</sup>, XU Tao<sup>2</sup>, LUO Xiaoxu<sup>1</sup>

(1. Luoyun Hydraulic Project Management Division of Jiangsu Province, Suqian 223800, China;

2. Suqian Branch of the Eastern Route of South-to-North Water Diversion Jiangsu Water Resource Co., Ltd., Suqian 223800, China)

**Abstract:** The Sihong pumping station is an important node and hub project of the eastern route of south-to-north water diversion project, and also a fundamental water conservancy project that promotes regional coordinated development. The stable operation of the pumping station affects the safety of water conservancy projects. In the variable frequency speed control system of the pumping station unit, the frequency converter often needs to switch from the variable frequency to the power frequency state. Combining with the operation practice of the Sihong pumping station, through research, design, and application of synchronous switching of the unit variable frequency operation, the service life of the high-voltage frequency converter and reactor can be extended, while improving the efficiency of the pumping station and reducing energy consumption.

**Key words:** frequency converter; bulb type tubular flow pump; synchronous switching

## 1 工程简介

泗洪泵站是南水北调东线工程的第四梯级泵站, 其主要任务是将第三梯级抽入洪泽湖的长江水通过运西线徐洪河继续北送至第五梯级睢宁站, 再

由房亭河入骆马湖, 同时保障地方排涝和通航。泗洪泵站工程于2009年开工建设, 自2013年试运行以来, 顺利完成年度省内外调水、生态补水、地方排涝等任务。截至2024年3月, 泵站工程累计安全运行6.95万台时, 累计调水65.15亿m<sup>3</sup>, 工程效益得以

收稿日期: 2024-05-31

作者简介: 许委(1990—), 男, 工程师, 硕士, 主要从事水利工程管理工作。E-mail: 916784789@qq.com

充分发挥。

泵站工程规模为大(2)型,工程等别为Ⅰ等,相应防洪标准为100年一遇设计、300年一遇校核。泵站设计流量120 m<sup>3</sup>/s,安装后置灯泡贯流泵5台套(含1台备机),叶轮直径3 050 mm,单机流量30 m<sup>3</sup>/s,配套电机功率2 000 kW,总装机容量10 000 kW。主要设备参数如表1所示。

表1 主要设备参数

名称	输入电压/V		输出电压/V		输出电流/A		变频器功率/kW
高压变频器	6 000		6 000		260		2 000
名称	电机电压/V	电机电流/A	励磁电压/V	励磁电流/A	电机转速/(r/min)	电机功率/kW	
电机	6 000	225	95	260	107.1	2 000	

运转将产生严重的冲击甚至损坏,也会对电网产生严重的电磁干扰<sup>[1]</sup>。因此,研究变频器切换方法具有重要的社会价值与经济意义<sup>[2]</sup>。本文研究机组变频运行同步切换的实现,在泗洪泵站实际应用中利用变频器调速功能改变水泵转速调节流量,使水泵在不同扬程下稳定运行<sup>[3]</sup>。实现变频启动、变频制动功能,减小启动电流对电机的机械冲击和对电网的冲击,可延长高压变频器及电抗器的寿命,提升机组使用年限,同时提高泵站效率,降低能源单耗<sup>[4]</sup>。

3 机组变频运行同步切换介绍

同步切换分上切和下切2种操作,上切是指将电机从变频驱动运行状态切换到电网运行状态,然后将电机与变频器分离;下切是指将电机从电网运行状态切换到变频驱动运行状态,然后将电机与电网分离<sup>[5]</sup>。

3.1 上切

上切是在通过变频器将电机速度提高到和电网频率一致后进行,在获得上切请求后,变频器控制软件通过将变频器输入端的电网频率作为输出速度指令来实现频率匹配。在输入和输出的频率匹配后,相位也需要进行匹配,保证变频器的输出相位超前于电网相位一个预定义的值以使线路接触器合闸后电功率流出变频器。相位匹配是通过使用输入侧锁相环测得的电网频率和相位信息以及输出侧锁相环测得的输出相位信息,确定一个追加到输出速度指令的微调实现。当频率和相位的同步完成后,变频器输入接触器断开,变频器自由停机。

2 应用背景

泗洪泵站的灯泡式贯流泵扬程变幅范围较大,机组在不同扬程下运行需要确保稳定,在机组变频调速控制系统中,变频器经常需要操作从变频切换至工频状态。如切换操作有误,将导致产生较大的电流,而电流过大对变频器、电动机等设备的正常

3.2 下切

下切用于将电机从电网运行状态切换到变频驱动状态,NXG控制中,变频器在通过旋转负载算法输出与电机一致的频率之前持续地监测输出电压。为了完成这个同步过程,变频器接触器需要在下切时序一开始就闭合,变频器能够在数毫秒内完成同步过程。变频器接着提高输出转矩电流直到指示准备接受电机,并断开电网接触器。

同步切换系统框图如图1所示,其中KM1为变频器进线侧断路器(接触器),KM2为变频器出线侧断路器(接触器),KM3为工频旁路断路器(接触器)。

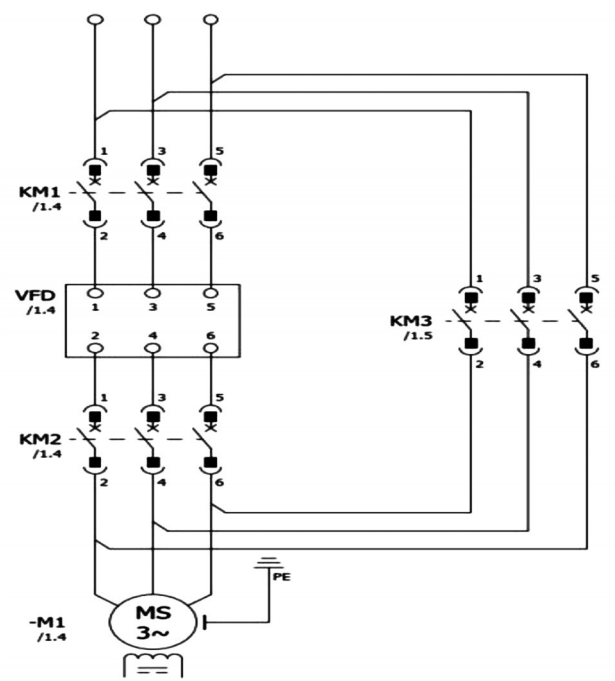


图1 同步切换系统框图

同步切换时序图如图2所示,其中A为同步切换初始状态,B为等待锁定频率(变频器输出电压频率与电网电压频率一致),C为等待锁定相位(变频器输出电压相位与电网电压相位一致),D为等待工频开关闭合,E为同步切换完成。操作顺序如图3所示。

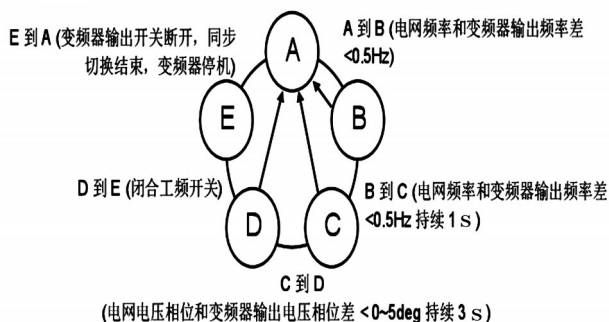


图2 同步切换时序

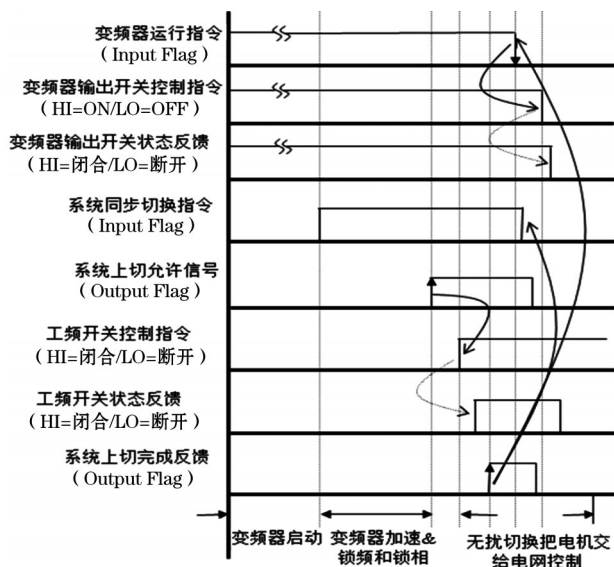


图3 操作顺序流程

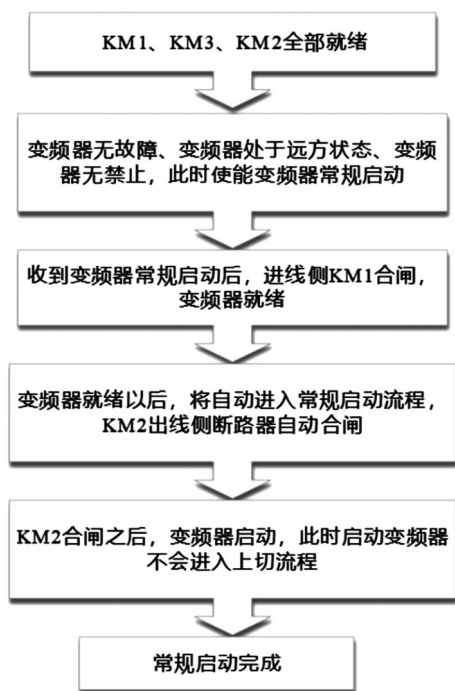


图4 远方常规变频启动逻辑流程

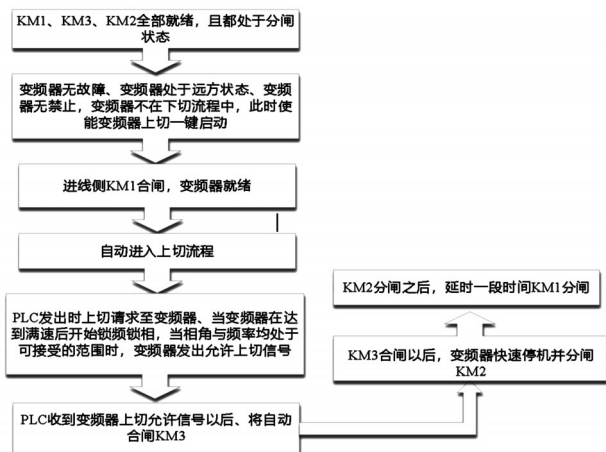


图5 远方上切一键启动逻辑流程

## 4 机组变频运行同步切换流程

### 4.1 远方常规变频启动逻辑

远方常规变频启动逻辑流程如图4所示。

### 4.2 远方上切一键启动逻辑

远方上切一键启动逻辑流程如图5所示。

### 4.3 常规启动转上切启动

常规启动转上切启动流程如图6所示。

在同步切换过程中当检测到上切故障时,会中止上切过程并停止变频器的运行,待问题处理后可再次启动上切流程,进行上切动作。通过远方停止或者变频器禁止,可随时终止上切流程或者常规启

动流程。

### 4.4 远方一键下切启动逻辑

远方一键下切启动逻辑流程如图7所示。

## 5 同步切换系统配置

确认现场KM1、KM2、KM3开关的就绪信号、合闸信号,接线无问题,输入接线图如图8所示。PLC相关硬件已正确连接到WAGO I/O模块,信号状态PLC均能够正常监视,如图9所示,此时同步切换配置就绪。

确认现场PLC指令发出后,KM1、KM2、KM3均能正常分合闸,接线无问题。“向上切换”和“向下切

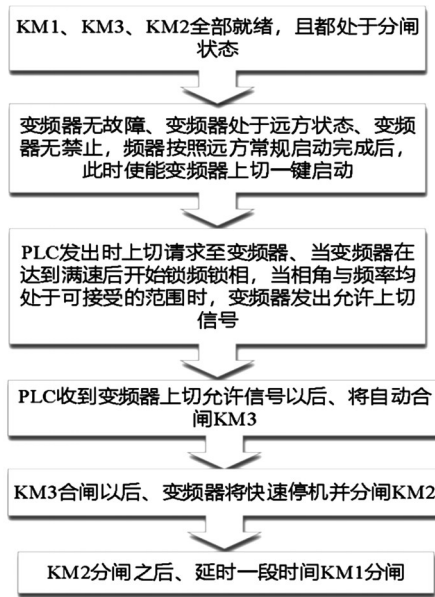


图6 常规启动转上切启动流程

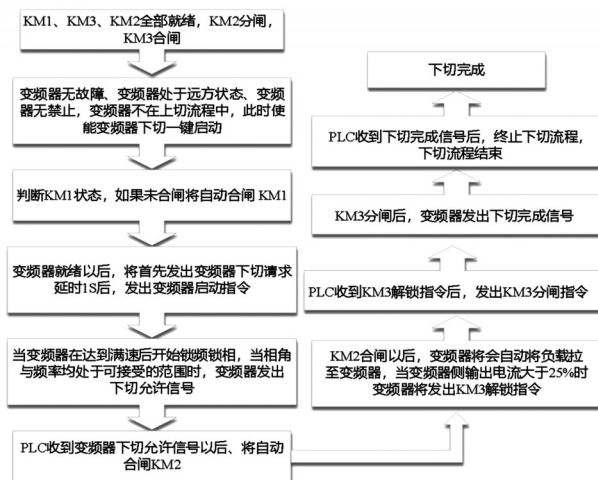


图7 常规启动转下切启动流程

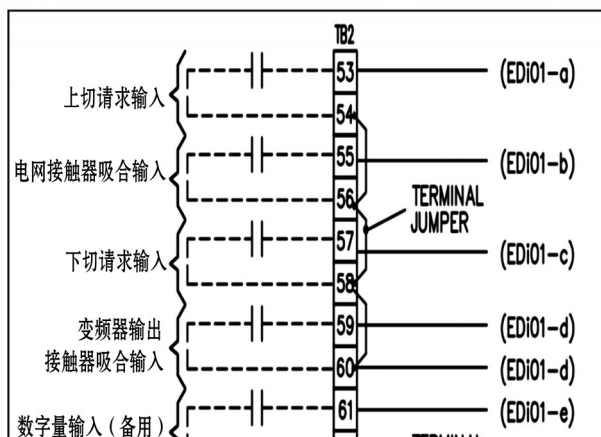


图8 同步切换请求输入接线图

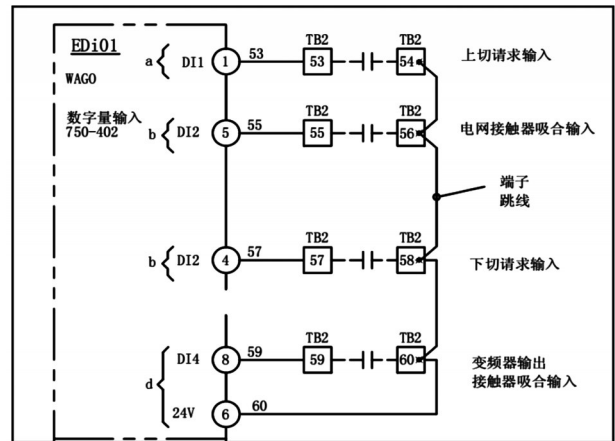


图9 同步切换请求输入连接到WAGO I/O模块

态监视常规启动和变频启动的流程,针对过程中的异常情况,进行动态把控(变频器厂家技术服务人员做好技术支持)。针对常规启动流程和上切流程中变频器启动的延时时间等,需依据现场情况灵活调整,以满足实际工艺要求为准。根据配置完成的同步切换系统可以执行同步切换操作,同步切换请求输出(I/O)如图10所示,同步切换请求输出(至外

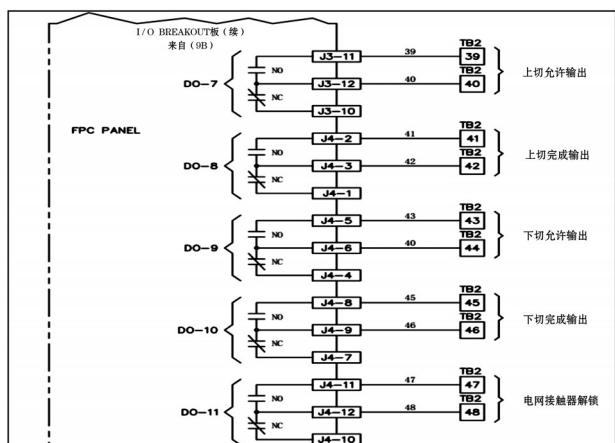


图10 同步切换请求输出(I/O)

换”过程逻辑的系统工作程序已完成,并经调试确认控制正常。启动之前,使用编程软件连接PLC,动



部设备)如图11所示。

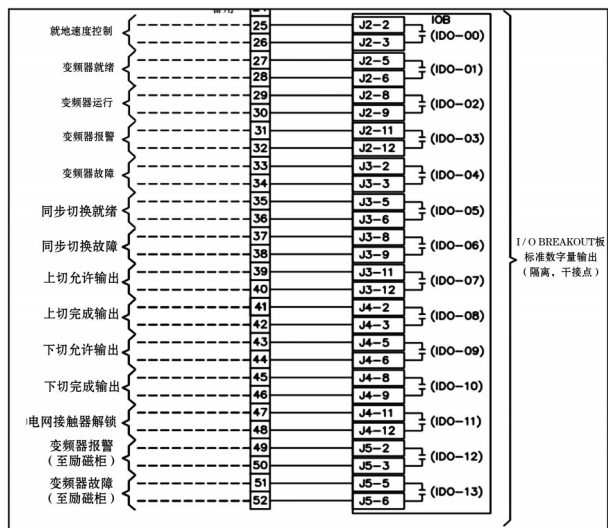


图11 同步切换请求输出(至外部设备)

## 6 机组变频运行同步切换的实现

### 6.1 上切操作

检查机组正常启动后,待机组工况满足工频运行时再进行上切操作。检查变频器控制方式在“远方”“自动”位置,进入上位机“变频系统”界面,选择相应机组,在控制页面处单击“上切请求”,在弹出的对话框内点击“确定”,变频器即可执行“上切”切换。

### 6.2 下切操作

检查变频器控制方式在“远方”“自动”位置,进入上位机“变频系统”界面,选择相应机组,在控制页面处单击“下切请求”,在弹出的对话框内点击“确定”,变频器即可执行“下切”切换。

## 7 注意事项及应急措施

### 7.1 注意事项

(1)变频器的常规远方启动、上切启动均为独立操作,即常规远方启动可正常启动变频器。上切启动过程中当变频器未运行时,会先正常执行启动变频器再执行上切逻辑;当变频器已运行时,会直接进入上切逻辑,从常规运行状态可转换为上切状态,但是不能从上切状态转换为常规运行态。

(2)远方条件下,由于外部接触器受PLC控制,因此出于安全考虑,变频器输出侧接触器(断路器)在停机状态下处于分断状态。常规远方启动、上切启动均会先自动合闸变频器输出侧接触器(断路

器),再启动变频器,当完成上切后变频器会自动退出并断开KM2。

(3)上切过程中,无法使用下切功能,下切过程中无法使用上切功能,如果需要切换功能,需要先停止再切换。

(4)变频器启动流程及相关切换的延时时间,可通过PLC进行调节,程序内时间仅供参考,参数率定以现场工艺要求为准。

(5)上切启动如果失败,应至少间隔15 min以上再次进行启动,避免变频器频繁重启,损坏单元设备。

(6)当转换开关为远方状态时,变频器停机、上切故障、上切完成,下切过程KM3退出超时,下切超时等,KM2均会自动分闸。

(7)当转换开关切换至本地时,PLC不再对现场开关做任何操作,一切工艺流程以现场为准。

(8)变频器远方启动之前,需要有速度给定,否则无法启动。

### 7.2 应急措施

#### 7.2.1 系统突然停电处理措施

(1)正常照明不亮,事故照明在数秒钟后自动投入,同时值班人员应随身携带巡视手电筒。

(2)应首先检查原投运机组快速门有无全关,主机泵是否停止运转。如未全关,值班人员应立即到液压站现场手动打开卸压阀,关闭闸门,确保机组停止运转。

(3)检查原投运机组断路器是否在分闸位置,若在分闸位,应将断路器拉开至试验位;否则应手动分闸,然后将开关退出至试验位置。

(4)视系统停电原因逐级分开6 kV进线601开关、110 kV GIS 7X11开关。

(5)高压断路器出现下列情况之一者,应立即退出运行:如,真空断路器出现真空损坏,瓷绝缘严重闪络放电,瓷绝缘断裂,连接点严重过热,断路器有异味或异声等。

#### 7.2.2 主机突然停电或保护跳闸

(1)检查“工作闸门”和“事故闸门”是否落下,否则应立即放下闸门。

(2)检查励磁装置应已停运,否则应立即断开其交流电源开关。

(3)拉跳闸主机断路器,将手车拉至“实验”位置。

(4)检查主机保护装置应正常。

(5)及时上报值班领导,并联系检修班进行现

场处理。

### 7.2.3 断路器拒分或拒合的处理

(1)检查直流电源是否消失,如未消失,检查仪表柜内的二次接线是否松动,断路器储能信号是否储能,或开机执行前重载接插件是否接插到位(上位机的接插件指示为灰色)。

(2)如未能检查出故障点原因,应及时上报,运行中紧急情况可按照紧急停机操作执行停机,现场手动按机械按钮断开断路器或者停止开机操作票任务,待查明原因再继续执行。事故原因也可能是储能电机烧坏或内部线圈烧毁,停机完成后,彻底检查真空断路器。

### 7.2.4 断路器合上后瞬间跳开或开关柜断路器跳闸的处理

(1)检查断路器是否为保护跳闸或变频器保护跳闸。保护跳闸即是高压开关室主机保护跳闸动作,表现为电流速断、过电流、过负荷、单相接地保护,需要查明事故原因,禁止继续硬合断路器。变频器保护跳闸,主要检查变频器是否有报警故障,复位取消报警信息,取消变频器报警故障后,不可立即执行操作票,等待 30 min 后再次合闸,按后续操作票任务执行。

(2)如未能检查出故障点应及时上报,运行中的紧急情况可按照紧急停机操作执行停机,停止开机操作票任务,查明原因再继续执行。

## 8 结 语

通过同步切换运行,可以检验 5 套高压变频器的技术性能是否满足设计要求,5 台贯流式水泵机组的运行状况与各项技术性能是否满足设计要求,检验与其相关的监控保护系统、高低压配电系统、闸门启闭液压系统等设备的运行状况与技术性能。同时,也要认识到贯流泵机组变频运行同步切换与数字孪生和智慧水利要求仍存在一定的差距,尚须进一步加以研究完善。总体来看,同步切换能够有效延长高压变频器及电抗器的寿命,同时提高泵站效率,降低能源单耗,对同类型泵站机组变频运行同步切换有良好的指导作用。

### 参考文献:

- [1] 李杰,李华奎. 一种适用于变频器电源切换装置的合闸方法[J]. 电气技术,2022,23(2):105-108.
- [2] 张仁田,朱峰,刘雪芹,等. 变频调速灯泡贯流泵性能与控制方式[J]. 排灌机械工程学报,2022,40(2):136-143.
- [3] 马晔锦. 南水北调泗洪站变频调节灯泡贯流泵运行性能分析[J]. 中国水能及电气化,2021(6):47-51.
- [4] 徐书涛,李崇坚,王成胜,等. 交流电机变频软启动及并网系统研究[J]. 电气传动,2017,47(1):51-54.
- [5] 郑少将,罗仁俊,彭力,等. 高压变频器中变频切工频方式的应用研究[J]. 大功率变流技术,2012(5):28-30.

(上接第 47 页)

轴及轴套无严重磨损,活塞杆外观良好,运行正常。上、下闸首三角门闸门面强度满足强度规范要求,上、下闸首主梁的强度与挠度满足规范要求,钢管桁架主要杆件满足强度与稳定性要求。

### 参考文献:

- [1] 刘冬山,曹艳华,韦晓蕾,等. 泰州引江河高港枢纽二线

船闸工程项目划分[J]. 江苏水利,2015(增刊1):35-36.

- [2] 杨本. 虞山一线船闸通航能力分析与技术改造研究[D]. 南京:河海大学,2005.
- [3] 邢述炳,戴振华. 邵伯三线船闸闸门设计[J]. 交通科技,2012(6):64-67.
- [4] 徐莉萍. 高港枢纽二线船闸工程安全复核报告[R]. 南京:高港枢纽二线船闸工程安全鉴定会,2023.