

# 泵站水泵机组成套化设计探讨

问泽杭<sup>1</sup>, 吴海军<sup>1</sup>, 张合朋<sup>2</sup>

(1. 江苏省南水北调工程建设领导小组办公室, 江苏 南京 210029; 2. 江苏省骆运水利工程管理处, 江苏 宿迁 223800)

**摘要:**大多数泵站除主机组外,还另行配置公共辅机系统。这一模式下,水泵机组的边界不够清晰,机组之间易相互干扰,对设备的可靠性造成很大影响。为解决这一问题,提出了水泵机组成套化设计的理念,并对其可行性进行研究。研究表明,水泵机组成套化设计解决上述问题的同时,可进一步简化泵站系统设备,并易于实现以机组为对象的自动控制,为智能化管理提供便利。

**关键词:**泵站; 辅助设备; 水泵成套化

中图分类号:TV675

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2021)12-0008-03

## Discussion on complete design of pump unit in pumping station

WEN Zehang<sup>1</sup>, WU Haijun<sup>1</sup>, ZHANG Hepeng<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Provincial South-to-North Water Transfer Project Construction Leading Group Office, Nanjing 210029, China;

2. Luoyun Hydraulic Project Management Division of Jiangsu Province, Suqian 223800, China)

**Abstract:** Most pumping stations are equipped with public auxiliary system in addition to the main unit. In this mode, the boundary of the pump unit is not clear enough, and the units are easy to interfere with each other, which greatly affects the reliability of the equipment. In order to solve this problem, the concept of complete design of pump units was proposed and its feasibility was studied, which showed that while the complete design of pump units solves the above problems, which could further simplify the pumping station system equipment, and easy to realize the automatic control with the unit as the object, providing convenience for intelligent management.

**Key words:** pumping station; auxiliary equipment; complete water pump

长期以来,泵站主电机、主水泵生产厂家只提供主机组,而为实现泵站主机组冷却、水泵叶片调节、水泵断流等功能,大部分泵站都需另行配备有公共辅机系统。公共辅机系统按功能又可分为压力油、压缩空气、技术供水等系统<sup>[1]</sup>,分别通过油、气、水管道与主机组连接,通过自动控制设备实现各自功能。泵站运行过程中,某一个辅机系统的故障将直接影响泵站的安全运行,因此有必要对当前的泵站主辅机系统配置模式进行调整。随着科学技术的发展,智能化、功能模块化的设备得到广泛应用,为泵站主辅机系统的优化设计提供了新的选

择。2016年,张广峰等<sup>[2]</sup>对190系列应急柴油机水泵机组的成套化设计进行了研究。本文提出水泵机组成套化设计的思路,并对其可行性进行了探讨,以供泵站设计、建设、管理人员参考。

## 1 水泵机组成套化的概念

水泵机组成套化就是以机组为单元,将其作为主要控制对象,不建立公共辅机系统,而采用“一对一”模式建立独立的配套系统。因此,水泵成套设备除主水泵和电机外,还包含主机冷却、断流、叶片调节、自动控制、继电保护等辅助设备或系统。水

收稿日期:2021-06-15

作者简介:问泽杭(1963—),男,教授级高级工程师,本科,主要从事水利工程建设和管理工作。E-mail:370485736@qq.com

泵成套化,可以有效解决传统方式下泵站所有机组对公共辅机系统的依赖,当一台主机的辅机设备发生故障时,其他机组的运行不受影响。此外,各设备还可以实现互换和备用,同时也省去了大量机组间、公共辅机和主机间的互联管道及供电电缆。

## 2 水泵机组成套化设计

水泵机组成套化设计是将机组、辅助设备及其控制系统进行统一,即围绕泵站机组冷却、叶片调节、断流等功能,将原来的系统拆分,进行独立设置。本文以立式泵站、虹吸式出水流道为例,提出成套化设计方案。

### 2.1 水泵机组的冷却型式及容量选择

#### 2.1.1 冷却型式选择

传统的技术供水采用直接从河道取水作为技术供水水源,近年来,由于受泵站河道水生生物及河道污物影响,往往会造成技术供水系统管道堵塞,进而影响机组冷却条件及运行可靠性。为解决泵站技术供水形式存在的问题,部分泵站将直接供水或间接供水方式改为流道闭路循环冷却、冷水机组供水、排水廊道循环冷却<sup>[3]</sup>等。目前以采用冷水机组作为冷却供水为最多,而这一方式除水的冷却由冷水机组完成外,整个系统仍采用原技术供水布置形式,即建立全站公用的技术供水系统。实际运行时,因运行的机组台数不一样,需要通过调整压力或水量来适应,也需要设置供、回水母管,这些都增加了能量损耗。为解决以上问题,采取单台机一对一技术供水或冷却方式,即以主机为单元,一对一安装小型冷水机组或蒸发式冷却。

#### 2.1.2 单台机组冷却容量选择计算

单台机组的冷却容量一般由电机或水泵制造厂提供,也可按制造厂提供的相关数据进行计算。

##### (1) 单台机组轴承发热量计算

$$Q = \frac{S \times D_e \times F \times T}{3600} \quad (1)$$

式中,  $Q$  为单台机组轴承发热量, kW;  $S$  比热, 通常水的比热为  $4.2 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ ;  $D_e$  为比重, 水的比重为  $1000 \text{ kg/m}^3$ ;  $F$  为流量,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;  $T$  为冷却水进出口温差(一般选用  $2 \sim 4^\circ\text{C}$ )。

以南水北调宝应泵站为例,电机上、下油缸设计供水压力为  $0.1 \sim 0.45 \text{ MPa}$ ,供水温度  $20^\circ\text{C}$ ,上油缸设计供水流量  $17 \text{ m}^3/\text{h}$ ,下油缸设计供水流量  $1.5 \text{ m}^3/\text{h}$ ,合计  $18.5 \text{ m}^3/\text{h}$ ,由式(1)计算得  $Q$  为  $43.17 \text{ kW}$ 。

##### (2) 冷水机组制冷量计算

根据上述计算发热量,按能耗比  $3.0$  计算,选择冷水机组制冷量  $43 \text{ kW}$ ,相应冷水机组压缩机电功率约  $14 \text{ kW}$ 。

因电机冷却进水温度不要求太低,冷水机组在高温制冷比低温制冷能力强,在实际选择时,冷水机组压缩机电功率可以适当低于计算值。

### 2.2 机组叶片调节设备型式选择及调节力的确定

为适应泵站不同运行工况的要求,并提高水泵运行效率,大型泵站通常采用叶片全调节水泵。叶片调节按照调节方式又分机械调节和液压调节。对于液压调节的泵站,需要增设压力油系统,其主要功用是为叶片调节机构提供压力油源。早期的压力油系统由中压空压机、压力油泵、油箱、阀件及控制系统组成。后期为取消中压空压机,采用氮气蓄能罐。最近,内置式液压水泵叶片调节器和内置式机械式水泵叶片调节器的使用,使取消泵站公用压力油系统成为可能。

水泵叶片调节器调节力的大小和水泵转轮直径、ND 值、叶片数量、水泵的流量、扬程以及操作机构制造质量等多种因素有关,目前精确计算仍有很大的难度。如 2013 年,陈红勋等<sup>[4]</sup>对江都四站的机组调节力进行了计算和测试,在叶片角度  $-6^\circ$  增加到  $+2^\circ$  时,测试调节力  $305 \sim 172 \text{ kN}$ ,计算调节力  $289 \sim -154 \text{ kN}$ 。湖北公安县拓宇水利水电自动控制设备厂经过多年经验总结,认为一般情况下,  $1.6 \text{ m}$  口径的泵,调节力  $150 \text{ kN}$  左右;  $2.8 \sim 3.1 \text{ m}$  口径的泵,调节力  $500 \sim 1000 \text{ kN}$  左右。此外,引江济淮工程的蜀山枢纽泵站,水泵叶轮直径为  $3480 \text{ mm}$ ,经测试,机组最大调节力为  $1800 \text{ kN}$ 。因此,目前市场上的内置式液压水泵叶片调节器调节能力均能满足工程需要。

### 2.3 泵站机组断流及设备选择

目前泵站断流方式大都采用快速闸门和真空破坏阀,分别适用于平直管出水和虹吸式出水的泵站。近年来,随着技术的进步,出现电磁式真空破坏阀和高速卷扬式启闭机,为机组成套化配置创造了条件。

#### 2.3.1 快速闸门断流速度选择

目前快速闸门断流按启闭方式分为液压启闭机和卷扬式启闭机。液压启闭机由油泵、电机、管道及阀件组成,系统相对复杂,因闭门速度快,通常适用于转动惯量小的卧式机组。卷扬式启闭机结构简单,早期设计的卷扬式启闭机闭门速度慢,近

年来,随着高速卷扬机出现,闭门速度可达 5 m/min,满足机组及规范规定的在 2 min 以内的关门要求。

### 2.3.2 电磁真空破坏阀通流直径的选择

真空破坏阀通流直径和机组流量、流道长度、断流时间及机组转动惯量等因素有关,以圆形截面为例,最小通流直径可按下面 2 种方法进行计算。

$$D = \sqrt{\frac{4Q_{\text{空}}}{\pi C \sqrt{2g\Delta p}}} \quad (2)$$

$$D = 0.175 \sqrt{Q_{\text{水}}} \quad (3)$$

式中:  $D$  为最小通流直径;  $Q_{\text{空}}$  为空气进入量,约等于出水流道倒泄水量或水泵启动流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $C$  为流量系数,对于通用虹吸破坏阀一般取 0.5;  $\gamma$  为空气容重,  $\text{t}/\text{m}^3$ ;  $\Delta p$  为虹吸破坏阀内外腔压力差,  $\text{m}$ ;  $g$  为重力加速度,  $\text{m}/\text{s}^2$ ;  $Q_{\text{水}}$  为水泵额定流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ 。

## 3 机组成套化计算机监控系统设计

机组成套化设计,可就近采集各种数据,就近建立管控系统,缩短控制信号电缆,节约工程费用,各现场控制单元(LCU)单独运行,某 LCU 发生故障不会影响到其他 LCU 的正常运行,也不会影响到上位机系统的正常运行,可为机组监控带来较大的便利。

以立式机组、真空破坏阀断流泵站为例,具体做法是采用可编程序控制器、DCS 或智能设备,面向单台机组建立现地控制单元。现地控制单元对水泵机组的设备功率、温度、振动、摆度、叶片承载力等参数进行实时监测,出现故障,系统自动发出报警信号;对水泵机组运行工况及高效运行进行自主调节;利用监测数据,通过相关算法、模型,对监测数据存储、边缘运算,对机组运行状态进行分析和辅助诊断。这一方式可以避免过去需要通过上位机对冷却水系统、压力油系统、低压气系统等泵站公用系统进行协调的难度。此外,由于全站所有机组编制相同的控制程序,编程及软件升级将更为便利,为程序标准化提供了基础条件。图 1 为现地控制单元控制示意图。

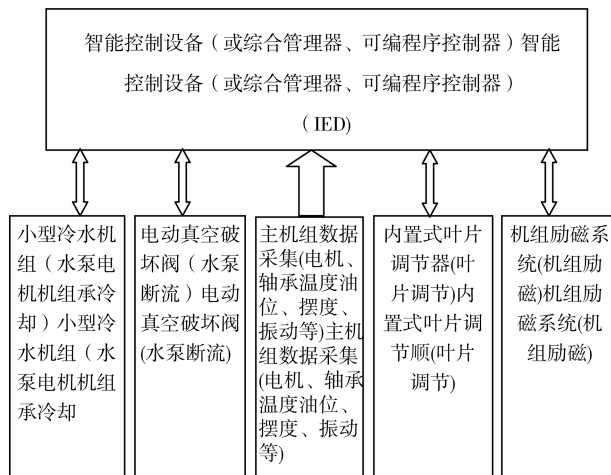


图 1 机组现地控制单元(LCU)示意图

## 4 结 语

采用泵站机组成套化设计,对机组为单元进行设计与管理,可以避免机组之间干扰,降低设备故障率,有效提高设备可靠性;机组边界清晰,易于实现自动控制、远程控制以及控制程序标准化,对于大型调水工程或泵站群工程,可以实现多座泵站虚拟成一座泵站。此外,由主设备厂家统一设计和配套辅助设备,有利提高设备质量,同时减少现场安装工作量。目前,虽然市场上的设备基本满足机组成套化要求,但泵站主机辅助设备智能化、简单化仍有较大的空间,需要作进一步研发,最终实现真正意义上的成套化。

### 参考文献:

- [1] 周君亮. 皂河第一抽水站辅机辅助设备和控制方式[J]. 江苏水利, 1992(4):16-24.
- [2] 张广峰, 曹修花, 王娅萍, 等. 190 系列应急柴油机水泵机组的成套化设计[J]. 内燃机, 2016(5):50-52.
- [3] 徐坚, 徐寅领. 大浦抽水站技术供水系统循环供水改造及应用[J]. 中国新技术新产品, 2020(4):125-126.
- [4] 陈红勋, 张维勇, 潘志军, 等. 轴流泵液压式叶片调节机构调节过程受力分析[J]. 排灌机械工程学报, 2013, 31(12):1034-1038.