

# 基于 Flowmaster 的竖井贯流泵站技术供水系统分析

吴志峰<sup>1</sup>, 张友明<sup>2</sup>, 王 波<sup>1</sup>, 陈松山<sup>1</sup>

(1. 扬州大学水利与能源动力工程学院, 江苏 扬州 225127;

2. 江苏省洪泽湖水利工程管理处, 江苏 淮安 223100)

**摘要:** 电机、齿轮箱以及轴承等各个部件的温升过高会对泵站运行的稳定产生不利影响, 为使它们在温升限度内安全运行, 保证其运行的稳定性, 泵站一般都会有一套独立的冷却系统。以江尖泵站为例, 基于冷却系统各部件性能和结构的特点, 建立供水系统管网系统计算模型, 对冷却系统管网进行解算, 分析在不同工况下冷却系统各部件温度的变化规律, 得到如下结论: (1) 随着水泵运行工况的变化, 电机、齿轮箱以及轴承进出口温度都会相应升高, 但进口温度升高最大在 0.6℃ 左右, 并不明显。电机、齿轮箱和轴承出口温升较大, 电机出口最大温升为 5.18℃, 齿轮箱出口最大温升为 14.98℃, 轴承出口最大温升为 12.08℃, 循环水箱最大温升为 7.34℃; (2) 首次利用 Flowmaster 软件对泵站技术供水系统进行建模分析, 验证了该软件对技术供水系统建模分析的可行性。对竖井贯流泵站技术供水系统设计具有一定指导意义。

**关键词:** 泵站; 技术供水系统; 仿真计算

中图分类号: TP391.9

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839 (2018) 10-0017-05

## Analysis on technical water supply system of shaft tubular pumping station based on Flowmaster

WU Zhifeng<sup>1</sup>, ZHANG Youming<sup>2</sup>, WANG Bo<sup>1</sup>, CHEN Songshan<sup>1</sup>

( 1. College of Hydraulic, Energy and Power Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225127, Jiangsu;

2. The Hongze Lake Water Conservancy Project Management Office of Jiangsu Province, Huai'an 223100, Jiangsu )

**Abstract:** The high temperature rise of each component, such as motor, gearbox and bearing, will have an adverse effect on the stability of the pumping station. In order to run safely within the temperature rise limit and ensure the stability of the operation, a set of independent cooling system will be available in the pumping station. Taking Jiangjian pumping station as an example, based on the characteristics of the performance and structure of each component of the cooling system, the calculation model of the water supply system pipe network system was set up. The cooling system network was calculated and the changes of the temperature of each component in the cooling system under different working conditions were analyzed, which obtained the following conclusions: (1) with the change of the operating conditions of the pump, the inlet and outlet temperature of motor, gearbox and bearing would increase correspondingly, but the increase of inlet temperature was about 0.6 degrees Celsius, which was not obvious. However, the increase of outlet temperature rise of the motor, gear

收稿日期: 2018-05-24

项目基金: 江苏省水利科技重点项目 (2014022); 江苏省水利科技重点项目 (2016055)

作者简介: 吴志峰 (1996—), 男, 硕士, 主要研究领域为水泵及水泵站。

通讯作者: 陈松山 (1968—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为泵站工程。

box and bearing was larger, which was that the maximum temperature rise of the motor outlet was 5.18 degrees Celsius, the maximum temperature rise of the gear box exit was 14.98 degrees Celsius the maximum temperature rise of the bearing outlet was 12.08 degrees Celsius, and the maximum temperature rise of the circulating water tank was 7.34 degrees Celsius. (2) The Flowmaster software was used to model and analyze the technical water supply system of the pumping station for the first time, which verified the feasibility of the software for modeling and analyzing on technical water supply system. It had some guiding significance for the design of technical water supply system of shaft tubular pumping station.

**Key words:** pumping station; technical water supply system; simulation calculation

## 0 引言

随着我国农业治涝标准和沿江环湖城市的防洪标准提高,竖井贯流泵站在农业治涝和城市防洪工程发挥了巨大作用,但与此同时,在竖井贯流泵站运行中仍存在一些亟待解决的关键技术问题,这其中泵站技术供水系统的合理配置及其可靠性尤为关键。运行实践表明,因技术供水中断、供水量不足或系统出现过大真空等而导致电机烧瓦、水泵水导轴承干摩擦破坏、填料函失效漏水、电机与齿轮变速箱温升过高被迫停机 etc 事故屡有发生。因此,开展竖井贯流泵站技术供水系统研究具有重要现实意义。

近年来国内专家学者对泵站技术供水开展了一些研究。颜红勤<sup>[1]</sup>探讨了泵站技术供水盘管冷却器布置与换热面积计算;高钦<sup>[2]</sup>介绍新疆博斯腾湖东泵站采用循环冷却供水方式;杨邗<sup>[3]</sup>介绍了九里河、伯渎港和严埭港枢纽盘管置于流道中的冷去循环系统;董金龙<sup>[4]</sup>结合江苏3座泵站介绍净水循环3种供水方式;问泽杭<sup>[5]</sup>等提出改进

供水系统的3种方法:取水口调整法、闭路循环法和介质更换法,结合泗阳二站介绍 MFLS-10 型模块化风冷冷水空调机组;韩宏举<sup>[6]</sup>介绍了风冷式水冷机组在泗阳二站中应用等。总体而言,已发表的论文大多只是经验介绍,缺乏必要的计算分析。为此,本文以江尖泵站为研究对象,利用流体管路系统的计算分析软件 Flowmaster,通过系统各部分模块搭建,计算分析技术供水系统的管路阻力、流量分配以及各部温度。

## 1 研究对象

江尖水利枢纽为无锡市城市防洪工程八大枢纽之一,具有防洪、排涝和调水等多重功能。泵站安装3台2500ZWS-2型竖井式贯流泵,单机流量20 m<sup>3</sup>/s,总流量60 m<sup>3</sup>/s;配套电机为YKS560-8型水冷式高压防爆电机,单机容量800 kW,总装机容量2400 kW。

江尖泵站技术供水系统包括闭式循环热流系统和开式冷流2个子系统,如图1所示。系统设有35 m<sup>3</sup>循环供水贮水池,冷热流通过2台BFR250

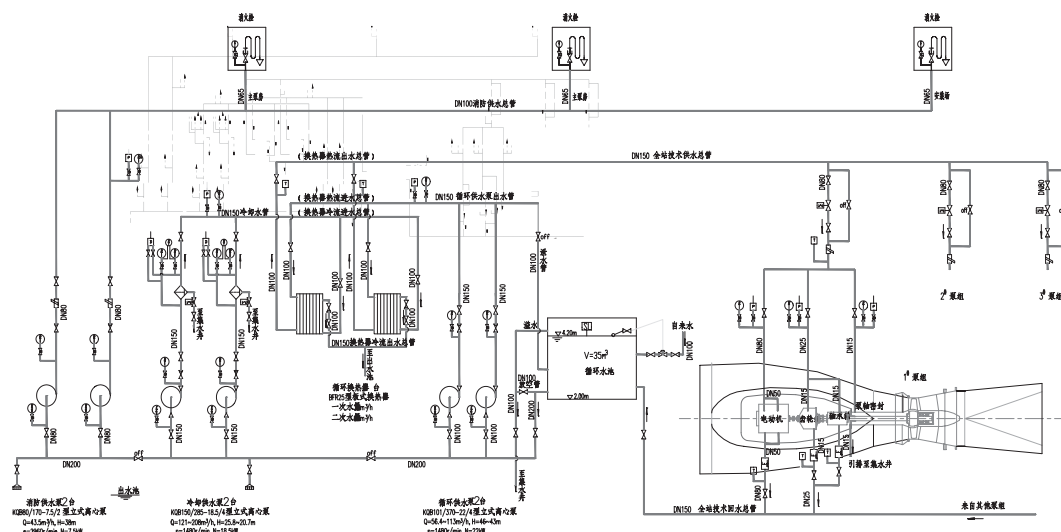


图1 技术供水系统原理图

型热交换器换热。热流系统循环水的动力是 2 台 LS100-44A 型离心泵, 它的循环路径是: 水箱→循环泵→进水管→板式热交换器→机组设备(电动机、齿轮箱和推力轴承)→回水管→储水池, 启动时供给填料函的润滑水不流储水池。冷流系统则是由 LS150-24B 型离心泵从河道取水, 经滤水器过滤, 流经板式热交换器换热后再排入河道, 为防止水中杂物淤堵热交换器, 冷流系统中还配置 2 台 TY 型滤水器。

## 2 系统模型建构

### 2.1 数学模型

一维流体流动控制方程及换热方程为:

质量守恒方程:

$$Q=A_1u_1=A_2u_2 \quad (1)$$

流动阻力方程:

$$p_1 - p_2 = \xi \frac{\rho}{2} u^2 \quad (2)$$

压力损失方程:

$$\Delta p = \left( p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} \right) - \left( p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} \right) + \rho g(z_1 - z_2) \quad (3)$$

换热方程:

$$T_2 = T_1 + \frac{Q}{mc_p} \quad (4)$$

式中:

$u_1$ 、 $u_2$ 、 $u$ —流速;

$A_1$ 、 $A_2$ —流体流过的面积;

$p_1$ 、 $p_2$ —进出口压力;

$\xi$ —流动损失系数;

$\rho$ —密度;

$p$ —静压力;

$z$ —标高;

$T_1$ 、 $T_2$ —进出口温度;

$Q$ —吸热 / 放热功率;

$m$ —质量流量;

$c_p$ —定压比热。

### 2.2 仿真计算模型

Flowmaster 软件包含许多求解模块, 技术供水系统仿真选用 Heat Transfer Steady State。

根据软件提供的元件库建立技术供水系统仿真模型。在建模过程中, 使用的管路、弯头、水泵、换热器、水箱等元件参数由厂家提供或由

Flowmaster 提供的经验数据、公式进行建模。

#### (1) 系统管路

采用元件库 Pipe 族, 选择 Cylindrical Rigid 管, 管道材质为不锈钢, 绝对粗糙度 0.15 mm, 管道长度及安装高度按照施工图设置。

将弯头、阀门、滤水器等元器件简化为阻力元件 Loss: Discrete, 并设置相应的损失系数。

#### (2) 循环水泵、冷却水泵

采用元件库 Pump 族, 选择 Radial Flow 径向流泵, 循环水泵额定流量 0.0261 m<sup>3</sup>/s, 额定扬程 44 m, 额定转速 2960 rpm, 额定率 18.5 kW, 性能曲线由厂家提供。冷却水泵额定流量 0.0667 m<sup>3</sup>/s, 额定扬程 20.7 m, 额定转速 1480 rpm, 额定功率 18.5 kW, 性能曲线由厂家提供。

#### (3) 换热器

采用元件库中的 Plate Heat Exchangers 板式热交换器, 板片数为 41 片, 孔口直径 0.08 m, 孔口水平距离 0.196 m, 孔口垂直距离 0.862 m, 板子有效宽度 0.18 m, 有效面积 0.25 m<sup>2</sup>, 板的厚度 0.5 mm, 人形纹夹角 30°。

#### (5) 各路负荷

电机采用空气冷却器冷却, 循环水流过电机空气冷却器对电机内部空气冷却降温, 从而降低电机内部空气温升。采用 Heat-Exchanger 族, 选择 Heater-Cooler 元件模拟电机, 采用 Radiator 模拟空气冷却器。空气冷却器 1-2 管路损失系数 16.66, 管路面积 3.43 m<sup>2</sup>, 3-4 管路损失系数 14.5, 管路面积 0.00553 m<sup>2</sup>, 电机发热量根据实际情况计算得到。

将齿轮箱与轴承看做热源, 用 Heat-Exchanger 族的 Heater-Cooler 进行模拟。发热量根据不同工况计算得到。

根据供水系统管路布置情况连接各类元件, 得到技术供水系统仿真设计图, 如图 2 所示。

## 3 仿真模型验证

为验证仿真实验准确性, 将额定扬程下的循环水箱仿真值与现场运行数据相比较, 仿真结果为 26.94℃, 现场运行结果为 27.7℃, 相差 0.76℃, 绝对误差 2.8%, 小于 5%。说明仿真实验结果准确可靠。

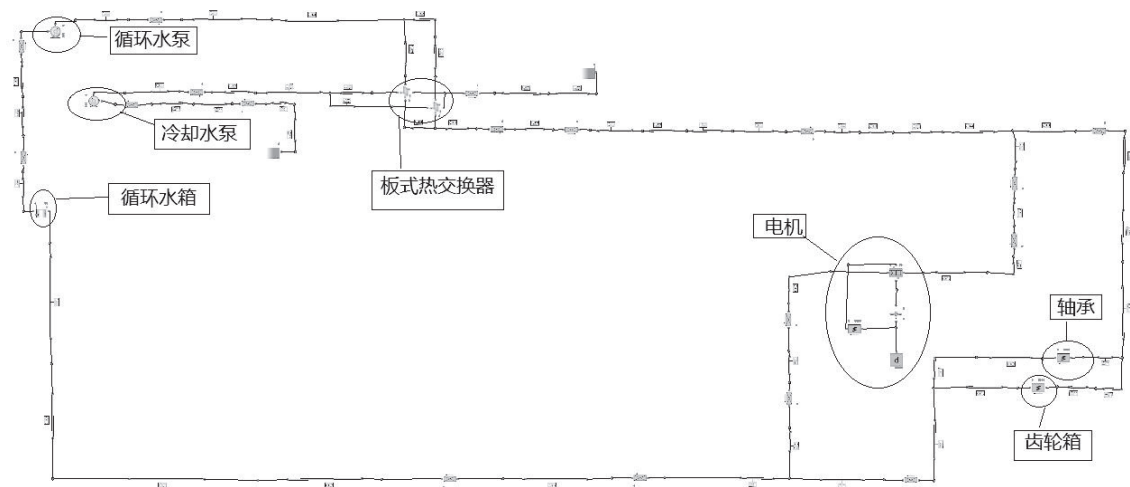


图2 技术供水系统仿真设计图

#### 4 变工况仿真结果与分析

选取5种不同的工况条件对技术供水系统进行分析,由下式计算得到电机产热量,齿轮箱与轴承的产热量按电机产热量的15%计算。

$$P_{\text{出}} = \frac{\rho g q H}{1000 \eta_{\text{泵}} \eta_{\text{传}}} \quad (4)$$

$$\Delta P = \frac{P_{\text{出}}}{\eta_{\text{电机}}} - P_{\text{出}} \quad (5)$$

式中:

$P_{\text{出}}$ —电机输出功率;

$\rho$ —密度;

$q$ —流量;

$\eta_{\text{泵}}$ 、 $\eta_{\text{传}}$ 、 $\eta_{\text{电机}}$ —水泵效率、传动效率、电机效率;

$H$ —扬程;

$\Delta p$ —产热量。

完成仿真模型搭建后输入每个元器件参数并调节工况,模拟不同水位情况下供水系统的工作状态。图3为1台水泵开机时,水泵扬程与电机进出口水温的关系。

由图3可以看出:随着扬程的增大,电机进出口温度均呈上升趋势。但水泵扬程的变化对电机进出口水温的影响并不大,电机进口温升最大约为0.5℃,而随着电机发热量的增大,电机出口水温温升最大约为4℃。

水泵工况的改变不仅对电机进出口水温有影响,对轴承以及齿轮箱的进出口水温都有影响,如

图4所示。

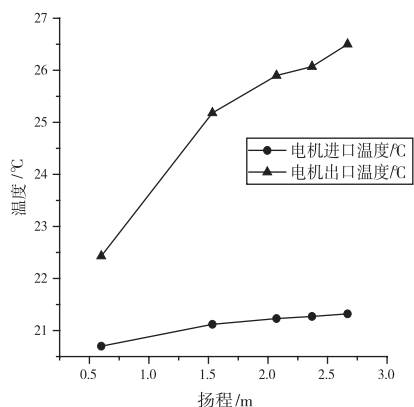


图3 水泵扬程与电机进出口水温

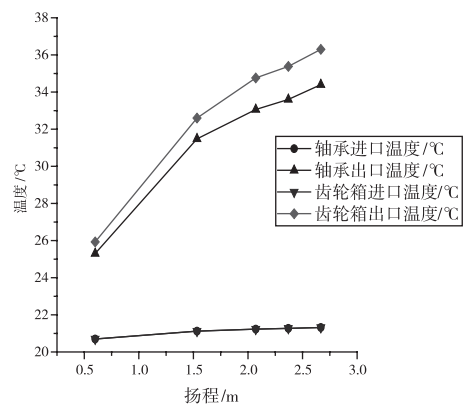


图4 扬程与轴承、齿轮箱进出口温度

由图4可以看出:齿轮箱与轴承的进出口水温随着扬程的增大不断上升。齿轮箱与轴承进口温度大致相等,最大温升为0.62℃。齿轮箱出口最大温升为14.98℃,轴承出口温升最大约为13.08℃。

图 5 为水泵扬程的改变对循环水箱水温的影响。

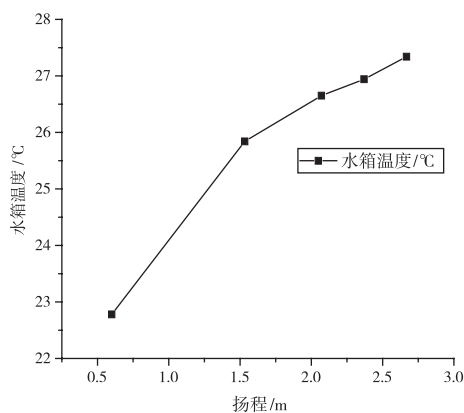


图 5 循环水箱温度

由图 5 可以看出: 随着水泵扬程的增大, 循环水箱水温也在不断增大, 最大温升为 7.34℃。

图 6 为额定扬程下循环水箱温度与冷却水泵阀门开度的关系。

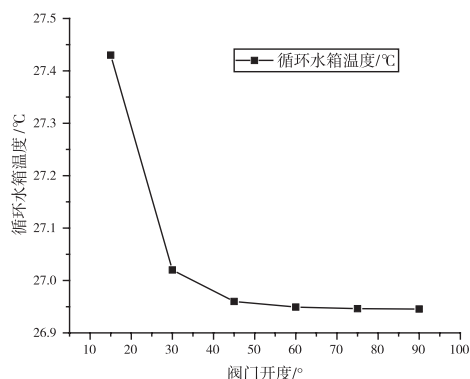


图 6 阀门开度与循环水箱温度关系

从图 6 可以看出随着阀门开度的增大循环水箱温度不断减小。当阀门开度小于 45° 时, 阀门开度的变化对循环水箱温度影响较为明显, 而开度大于 45° 后, 阀门开度的变化对循环水箱温度的

影响非常小。

## 5 结语

电机、轴承以及齿轮箱进出口温度直接影响到泵站的安全稳定运行, 本文基于 Flowmaster 软件对技术供水系统进行研究分析, 得出以下结论:

(1) 随着水泵运行工况的变化, 电机、齿轮箱以及轴承进出口温度都会相应升高, 但进口温度升高最大在 0.6℃左右, 并不明显。电机、齿轮箱和轴承出口温升较大, 电机出口最大温升为 5.18℃, 齿轮箱出口最大温升为 14.98℃, 轴承出口最大温升为 12.08℃, 循环水箱最大温升为 7.34℃。

(2) 首次利用 Flowmaster 软件对泵站技术供水系统进行建模分析, 验证了该软件对技术供水系统建模分析的可行性。对竖井贯流泵站技术供水系统设计具有一定的指导意义。

## 参考文献:

- [1] 颜红勤, 黄毅. 泵站技术供水盘管冷却器布置与换热面积计算[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(3): 173-176.
- [2] 高钦. 博斯腾湖东泵站技术供水系统设计[J]. 水泵技术, 2002(4): 41-42.
- [3] 扬邗. 无锡市城市防洪工程建设和管理的实践与思考[J]. 江苏水利, 2011(8): 40-42.
- [4] 董金龙, 何小军, 张建峰. 大型水泵电动机冷水的供水方式[J]. 江苏水利, 2007(5): 31-31.
- [5] 问泽杭, 张合朋. 泵站技术供水系统的改造途[J]. 排灌机械工程学报, 2003, 21(3): 20-22.
- [6] 韩宏举. 风冷冷水空调机组在大型泵站技术供水系统中的应用[J]. 山东工业技术, 2015(19): 208-209.