

文章编号: 1671-6612 (2021) 02-234-04

换流阀水冷系统三通调节阀流动特性分析

孔德卿^{1,2} 严鹏航^{1,2} 俞葆青^{1,2} 任海莹^{1,2}

(1. 南瑞集团(国网电力科学研究院)有限公司 南京 211106;

2. 北京国电富通科技发展有限公司 北京 100070)

【摘要】 为解决换流站阀冷系统无法准确获知阀外冷系统流量值及其散热量的问题, 利用流体分析软件 Flowmaster 对换流阀水冷系统三通调节阀内部流动特性进行了计算分析。以上海某直流输电工程换流阀水冷系统作为参考, 收集设备参数及控制策略, 建立换流阀水冷系统流体仿真模型, 通过控制三通调节阀阀门开度模拟计算得出内外冷流量值, 同时以流量系数公式为基础进行经验理论计算。仿真结果与经验理论分析结果极为吻合, 并依据仿真及计算结果绘制了换流阀内外冷系统流量与三通调节阀阀门开度的关系曲线, 为换流阀水冷系统工程应用及计算提供了理论基础。

【关键词】 换流阀水冷系统; 三通调节阀; 流量系数; Flowmaster

中图分类号 TH137.5 文献标识码 A

Analysis of Flow Characteristics of Three-way Control Valve in Converter Valve Cooling System

Kong Deqing^{1,2} Yan Penghang^{1,2} Yu Baoqing^{1,2} Ren Haiying^{1,2}

(1. NARI (State Grid Electric Power Research Institute) Group Corporation, Nanjing, 211106;

2. Beijing Guodian Futong Science, and Technology Development Co., Ltd, Beijing, 100070)

【Abstract】 In order to solve the problem that the converter valve cooling system cannot accurately know the flow value and heat dissipation of the external cooling system, the flow characteristics of the three-way control valve in the converter valve cooling system are simulated and analyzed by using the flowmaster software. Taking the HVDC converter valve cooling system in Shanghai as a reference, the equipment parameters and control strategies are collected, the fluid simulation model of the converter valve cooling system is established, and the internal and external cooling flow values are calculated by controlling the valve opening of the three-way control valve, and the empirical theoretical calculation is carried out based on the flow coefficient formula. The simulation results are in good agreement with the empirical theoretical analysis results, According to the simulation and calculation results, the relationship curve between the flow of the internal and external cooling system of the converter valve and the opening of the three-way control valve is drawn, which provides a theoretical basis for the engineering application and calculation of the HVDC converter valve cooling system.

【Keywords】 converter valve cooling system; three-way control valve; flow coefficient; Flowmaster

作者简介: 孔德卿(1985-), 男, 硕士研究生, 高级工程师, E-mail: kongdeqing@sgepri.sgcc.com.cn

通信作者: 严鹏航(1991-), 男, 硕士研究生, 工程师, E-mail: yanpenghang@sgepri.sgcc.com.cn

收稿日期: 2020-07-03

0 引言

换流阀是高压直流输电系统实现交直流转换的核心部件, 正常运行时会产生大量的热, 为保证元件的正常使用和防止老化, 需要一套可靠有效的

阀冷却系统对其冷却。换流阀水冷系统出现故障时可直接给出直流闭锁指令, 导致直流停运等重大事件, 因此换流阀水冷系统

的可靠性和稳定性对于整条直流输电线路的正常运行具有重要意义。

其中换流阀水冷系统的温度调节通过阀冷控制保护系统控制, 该系统配置有进阀温度变送器、电动比例三通调节阀、反馈机制等 **Error! Reference source not found.**, 进阀温度主要依赖于反馈机制控制的电动三通阀调节其外冷流量来改变温度。章茂森等利用 CFD 软件对冷却系统的三通调节阀内部的湍流动能和耗散率进行分析; 王程勇等利用 Simulink 对电动比例三通调节阀建立了仿真模型, 研究了调节阀调温特性; 严喜林等根据高压直流换流阀冷却系统实际应用经验, 对系统的保护配置和定制进行了整定。实际考虑到项目的安全可靠和降本增效, 目前国内各换流站阀冷系统只安装进出阀流量变送器, 无法准确获知外冷系统流量值, 进而无法计算其散热量, 只能依靠阀冷厂家积累的工程经验值, 因此有必要对阀冷系统三通阀开度与流量的逻辑关系进行计算分析。

本论文基于流量系数公式进行理论计算, 同时利用一维软件 Flowmaster 进行仿真分析, 并将二者结果对比分析得出结论。以某上海实际换流站阀冷系统为例进行计算, 该系统流量为 216 m³/h, 采用 DN200 不锈钢管道连接, 三通调节阀应用于阀冷系统中的内外冷系统分流处, 外冷却设备为空冷器+冷却塔串联使用。

1 流体特性理论计算分析

1.1 三通调节阀控制原理

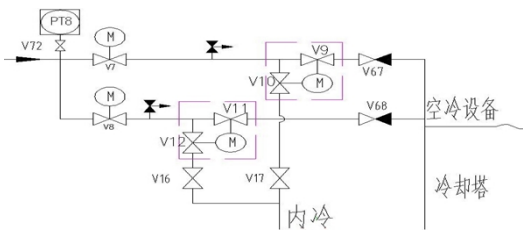


图1 三通调节阀工艺流程图

Fig.1 Process flow chart of three-way control valve

如图1所示, 以三通调节阀V9/V10为例, 蝶阀V9及V10为两个独立的阀门, 由连杆机构相连, 统一由一个执行机构控制, 组成1套阀冷系统三通调节阀, 系统采用三通调节阀一用一备运行方式。默认三通调节阀阀门开度表示为去外冷管道阀门开度, 两阀门开度之和为90° (即V9开度为X°, V10

开度即为(90-X)°), 由此调节内外冷支路流量比例。通常三通流量调节阀在阀芯旋转位置介于15° ~ 75° 时能有效分流 **Error! Reference source not found.**。

1.2 系统流量系数值换算

由厂家提供产品使用说明书以及工程经验可知, 流经阀门的介质流量与阀门的开度并不是成线性比例, 调节阀同孔板一样, 是局部阻力元件。

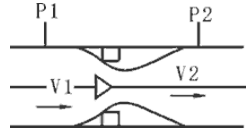


图2 调节阀节流模拟图

Fig.2 Throttle simulation diagram of control valve

如图2所示, 我们把调节阀模拟成孔板节流形, 对不可压流体, 代入伯努利方程:

$$\frac{p_1}{r} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{r} + \frac{v_2^2}{2g} \tag{1}$$

署并配合连续方程:

$$Q = AV \tag{2}$$

可推算出流量系数方程:

$$Q = K_v \sqrt{\frac{\Delta p}{r}} \tag{3}$$

式中, V_1 、 V_2 为节流前后速度; V 为平均流速; P_1 、 P_2 为节流前后压力, 100KPa; A 为节流面积, cm; Q 为流量, m³/h; r 为重度, N/m³; g 为加速度, $g=981\text{cm/s}$ 。

流量 Q 的系数为 K_v , 故称其流量系数。另一方面, 从公式中知道流量系数的大小反映调节阀流量 Q 的大小。流量系数国内习惯称为流通能力, 现国际已改称为流量系数。

根据蝶阀厂家提供产品说明书可知公称通径为DN200的对夹式蝶阀的阀门开度流量压差特性及流量系数表如表1所示。

表1 蝶阀流量系数表

Table 1 Flow coefficient table of butterfly valve

阀门开度/(°)	对应控制电流%	K_v 值
20°	22.22	137
30°	33.33	187
40°	44.44	373
50°	55.56	697
60°	66.67	1160

70°	77.78	1760
80°	88.89	2510
90°	100	3400

为了优化三通阀动作逻辑,模拟三通阀开关状况,我们对内外冷混合回路进行简化, V_{10} 为三通阀内循环开关阀,打开后直接进入内冷系统,内循环水进入换流阀,后续管路流阻影响极小,忽略不计; V_9 是外循环开关阀,其打开后外循环带上空冷器和冷却塔串联回路,用阻尼元件 $V_{外}$ 来表示。

根据空冷器和冷却塔厂家给出的流量阻尼特性表如表2所示。

表2 外冷系统流阻特性表

Table 2 Flow resistance characteristics of external cooling system

流量 / (m³/h)	空冷器压差 /bar	冷却塔压差 /bar	外冷合计 /bar
216	0.4	0.459	0.859

将外冷部分模拟成阻尼元件,根据公式(3),计算得出流量系数为233.054。

1.3 内外冷系统流量计算

根据流量系数特性,可推出以下计算公式,可折算出外冷回路中 ($V_9+V_{外}$) 的流量系数在不同阀门开度下的值。

系统并联流量系数公式:

$$K_{v0} = K_{v1} + K_{v2} \quad (4)$$

系统串联流量系数公式:

$$\frac{1}{K_{v0}^2} = \frac{1}{K_{v1}^2} + \frac{1}{K_{v2}^2} \quad (5)$$

同时由流量系数公式可知系统流量与 K_v 值成正比,如表3所示,由此可推算出内外冷回路流量。

表3 内外冷系统流量计算表

Table 3 Flow calculation table of internal and external cooling system

三通阀 开度 °	外冷流量系 数拟合值 K_v	内冷流量系 数拟合值 K_v	外冷:内冷 流量比 无量纲	K_v 值 m³/h
20	118.105	1760	0.0671	13.5832
30	145.852	1160	0.1257	24.1253
40	197.646	697	0.2835	47.7189
50	221.025	373	0.5925	80.3695
60	228.488	187	1.2218	118.7843
70	231.037	137	1.686	135.5951

2 基于Flowmaster仿真软件计算

2.1 软件介绍及参数设置

Flowmaster 软件是全球领先的一维热流体系统仿真专家,对于各种复杂的流体系统,工程师可以利用Flowmaster快速有效地建立精确的系统仿真模型进行瞬态/稳态求解并进行压力、流量、温度、流速等参数的分析 **Error! Reference source not found.**

参数设置:

泵 pump: 流量216 m³/h, 扬程55m, 功率65.4kW, Suter Head-Torque Curve按厂家提供曲线导入 **Error! Reference source not found.**

蝶阀 Butterfly Valve: 直径0.2m, 开度通过阀门控制器调节, 随时间变化;

空冷器及冷却塔模块: 水力直径0.2m, 据局部阻力系数计算公式 **Error! Reference source not found.** 可得 Loss Coefficient 为62.91;

换流阀模块: 水力直径0.2m, 根据局部阻力系数计算公式可得 Loss Coefficient 为124.48。

2.2 仿真模型搭建及计算

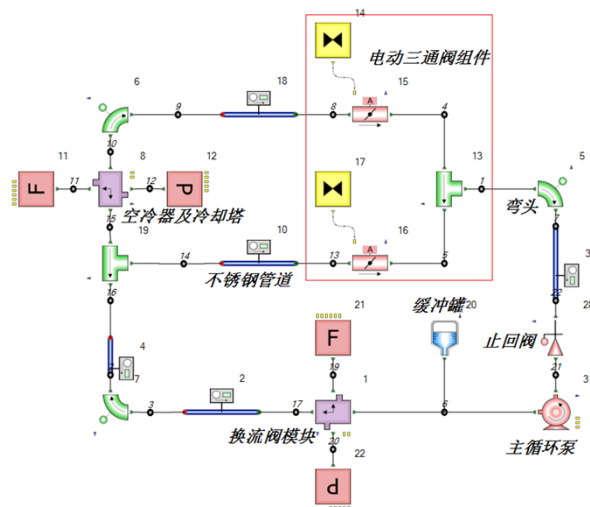


图3 三通调节阀计算仿真模型

Fig.3 Simulation model of three-way control valve

如图3所示,三通调节阀流动特性计算仿真模型建立如下,通过阀门控制器 Valve Opening 可按照程序化逻辑严格控制阀门开度。

三通调节阀阀门开度及去外冷管道阀门开度变化如表4所示, Valve Position 根据时间规律变化。

如图4可知,随着时间及三通调节阀阀门开度由0° 逐渐开启至90°,内冷流量显著降低,外冷流量显著升高,外冷流量在阀门开度为90° 时增至199.036m³/h;同时需要注意的是总流量有所降低,降低份额占初始流量的8.53%,与工程实际记录数据较为相符,分析原因为三通调节阀全开,水冷系统整体流阻升高,流量有所降低,仍满足散热需求。

表4 三通阀阀门开度随时间变化表

Table 4 Table of three-way valve opening changing with

time		
时间/s	阀门开度/(°)	Valve Position/ratio
0	0	0.000
10	10	0.111
20	20	0.222
30	30	0.333
40	40	0.444
50	50	0.556
60	60	0.667
70	70	0.778
80	80	0.889
90	90	1.000

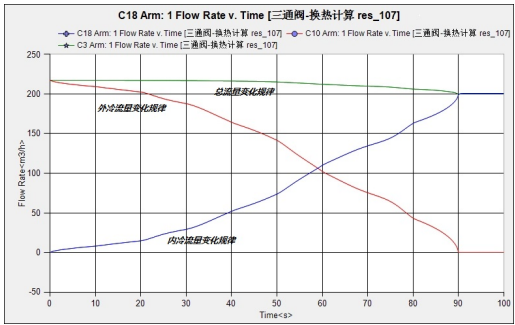


图4 流量随时间变化规律

Fig.4 Flow rate changing with time

3 理论与仿真计算对比分析

利用origin数据处理软件分析数据,研究换流阀水冷系统三通调节阀相同阀门开度下,仿真及理论计算结果的差异性,以便更直观的分析研究结论。

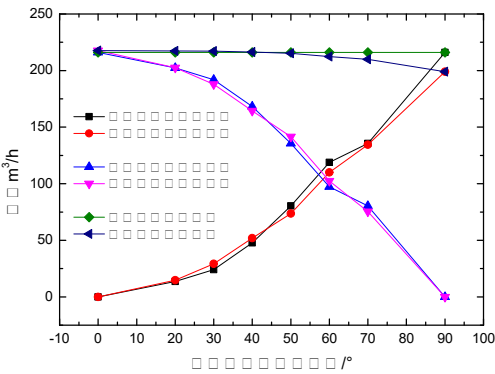


图5 系统流量随时间变化规律

Fig.5 The law of system flow changing with time

从图5看出,在相同三通阀开度工况下,换流阀内外冷系统流量理论计算值与flowmaster仿真计算值极为接近,同时变化趋势一致。

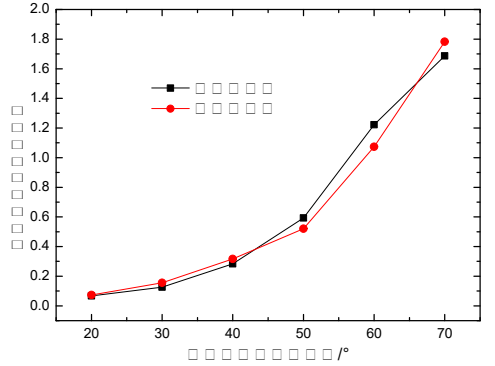


图6 内外冷流量比值随时间变化规律

Fig.6 The change rule of the ratio of internal and external cooling flow with time

如图6所示,在相同三通阀开度工况下,从理论计算和仿真计算皆可看出,内外冷流量比值较为接近。因此在实际工程中,基于流量系数公式,可依据理论分析得出较为准确的内外冷流量值,为了解系统工况提供有力支撑。

4 结论

Flowmaster 软件可精确计算分析得出换流阀水冷系统三通调节阀阀门开度波动下的内外冷流量值,同时可分析总流量在系统水阻增大时有所降低的变化趋势,与实际工程数据相符;同时可以看出理论计算具有一定的参考性,基于流量系数公式,在实际工程中已知系统总流量的工况下,根据流量比可得到内外冷系统流量值;通过理论和仿真计算两种方式得出三通调节阀开度波动下的内外冷流量基本吻合,具有较高的利用价值,为换流阀水冷

系统的换热分析及定值计算提供了参考。

参考文献:

- [1] 严喜林, 国建宝, 杨光源, 等. 高压直流换流阀冷却系统保护配置及定值整定[J]. 广东电力, 2019, (4): 125-130.
- [2] 李洁, 黄凯漩, 陈志伟, 等. 南澳柔性直流输电工程换流阀保护拒动原因分析[J]. 广东电力, 2017, 30(11): 114-

119.

- [3] 赖皓, 李靖翔, 梁天明. 换流站阀冷系统轻微漏水检测方法研究[J]. 电气自动化, 2016, 38(1): 106-108.
- [4] 孙彩珍, 李红, 汤攀. 三通调节阀分流比及内部流动特性分析[J]. 排灌机械工程学报, 2019, 37(5): 441-446.

(下转第242页)