

统一潮流控制器阀厅微正压环境的建立和管理策略

刘瑜俊, 柏彬, 朱海峰, 洪莎莎, 王章轩

(江苏省电力公司电力经济技术研究院, 江苏南京 210008)

摘要: 南京西环网统一潮流控制器(UPFC)示范工程是我国第一个基于模块化多电平技术的UPFC工程,是我国在柔性交流输电领域的重要成果。阀厅是UPFC示范工程的重要设备换流阀所在区域,而换流阀对阀厅的温度、湿度和洁净度要求很高,使得阀厅的建设和管理成为整个工程的关键点和难点。文中首先通过对阀厅内温度、湿度的数学建模,分析了影响阀厅温湿度的关键因素,然后针对阀厅的环境要求,使用分阶段管控方案、暖通系统、新风系统和新型监控手段对阀厅环境进行严密管控,形成了符合要求的阀厅微正压环境。

关键词: 建设管理;UPFC;微正压

中图分类号: TM631

文献标志码: A

文章编号: 1009-0665(2015)06-0061-04

南京西环网统一潮流控制器(UPFC)示范工程是我国第一个、世界上第四个UPFC工程^[1-4],也是世界上第一个基于模块化多电平(MMC)技术的UPFC工程,代表了当今世界柔性交流输电技术的最高水平^[5]。该工程由我国自主设计、研发和建设,是我国在柔性交流输电技术领域取得的又一世界级创新成果。南京UPFC工程的建设可以使得南京西环网各输电通道的潮流分布能够灵活调节,解决了南京西环网地区长期存在的潮流分布不均、供电能力不足,新增输电通道又投资巨大、难以实施的问题。该工程的建设为国内高度城市化地区电网采用智能输电技术提升供电能力,破解电网建设难题起到示范作用,并为将来在更高电压等级电网应用UPFC积累运行经验,将有力地推进我国坚强智能电网的建设与发展。阀厅是UPFC工程中最为关键的区域,阀厅中布置有换流阀阀塔、换流阀控制保护系统、直流场、晶闸管旁路开关以及水冷设备,是实现潮流控制的核心区域。其中的设备对阀厅环境具有比较高的“微正压”要求,需一定的管控手段,来保证工程的安全质量符合设备所需指标。

1 南京西环网统一潮流控制器示范工程

1.1 工程概况

南京220 kV西环网统一潮流控制器示范工程,站址位于南京市栖霞区燕子矶新城,利用原燕子矶220 kV变电站户内化改造后的空余场地。建设UPFC成套装置,输出功率40~40 MW,无功-60~60 Mvar,分为阀厅区和户外设备区,建筑体积18 757 m³,占地面积9400 m²。同期新建铁北220 kV开关站工程,占地面积8400 m²。建设配套220 kV线路9条。

1.2 阀厅建立和运行的环境要求

阀厅包含3个换流阀室、直流场区域、水冷却机

室、晶闸管旁路开关室、UPFC控制保护室、备品备件室、检修巡视通道和参观通道,如图1所示。



图1 阀厅平面示意图

(1) 换流阀阀厅电磁屏蔽要求。换流站阀厅采取严格的电磁屏蔽措施,来削弱向阀厅外传播的空间辐射,避免换流阀所产生的电磁骚扰对周边人员、换流站内设备和邻近地区的通信系统形成干扰。

(2) 对于换流阀室微正压和无尘要求。换流阀室内安装有UPFC换流主设备,因此在安装和运行过程中对换流阀室内的环境要求比较高。首先,换流阀组在安装之前需要对阀厅进行全面清洁;其次,换流阀拆箱、安装对环境的洁净、温度及空气相对湿度有较高的要求;更为重要的是,阀组设备要求阀厅密封状况必须良好,换流阀室内应保持微正压环境,空气相对湿度不能超过60% RH。具体运行及环境要求如表1所示。

表1 换流阀室的运行及试验环境要求

环境要求项目	具体参数
正压 / Pa	5~10
海拔高度 / m	<1000
温度 / °C	10~50
最大湿度 / %	60
污秽等级	户内

2 阀厅环境参数的温湿度建模

阀厅综合环境参数包含温度、湿度、粉尘3种参数,这3种参数即为阀厅环境控制的核心。

2.1 阀厅温度建模

首先, 阀厅内温度受室外气象条件与室外建筑(设备)及灯光散热等影响。周围环境表面的综合温度可以采用公式计算得到, 即:

$$T_{\text{com}}^4 = f_{\text{car}} T_{\text{car}}^4 + f_{\text{wea}} T_{\text{wea}}^4 + f_{\text{sur}} T_{\text{sur}}^4 \quad (1)$$

式(1)中: T_{com} 为周围环境表面的综合温度, K; T_{car} 为地表温度, K; T_{wea} 为天空有效温度, K; T_{sur} 为邻近建筑(设备)表面温度, K; f_{car} 为地面角系数; f_{sur} 为邻近建筑(设备)表面对待模拟建筑表面的角系数。以上各参数根据当地气象参数和设备运行参数决定^[6,7]。

阀厅北侧是交流配电装置区域, 主要包括机械旁路开关、TBS 进线设备、中性点接地电阻、启动电阻、运行方式转换隔离开关以及各种电压电流测量装置。在运行阶段, 交流配电设备产生的热将会对阀厅内的温度产生一定的影响。而在建设阶段, 这些设备本身不发热, 但是周围会有起重吊装设备、焊接设备等配套大功率施工设备, 对阀厅内温度产生一定的影响。其次, 阀厅室内影响因素对阀厅的整体温度影响更大, 主要包括室内照明装置、设备和人体等的散热。阀厅内主要设备包括换流阀、TBS 阀等, 在运行后将成阀厅内的主要热负荷。同时, 阀厅内还存在为阀组设备配备的用于散热的水冷设备, 其在自身产生热的同时, 更多带走了阀组和阀厅内的热量。因此阀厅在运行阶段的热负荷计算公式为:

$$Q_{\text{in}} = Q_{\text{equ}} + Q_{\text{lig}} + Q_{\text{man}} - Q_{\text{rad}} \quad (2)$$

式(2)中: Q_{in} 为阀厅内的热负荷总量; Q_{equ} 为由设备引起的热负荷; Q_{lig} 为由照明引起的热负荷; Q_{man} 为由人体引起的热负荷; Q_{rad} 为散热系统逸散的热负荷。

而在建设阶段主要电气设备都处于不运行的状态, 所以电气设备没有发热, 仅有施工设备的热量; 而为换流阀冷却配置的水冷设备也不在工作状态, 所以也没有额外的散热手段。因此式(2)可简化为:

$$Q'_{\text{in}} = Q'_{\text{equ}} + Q'_{\text{lig}} + Q'_{\text{man}} \quad (3)$$

式(3)中: Q'_{in} 为建设阶段阀厅的热负荷; Q'_{equ} 为除阀厅电气设备外由其他设备引起的热负荷。

因此阀厅的室内温度可以由计算得到^[8]:

$$T = \frac{Q_{\text{in}}}{CM} + T_{\text{com}}^4 \quad (4)$$

$$M = \rho gV \quad (5)$$

式(4,5)中: C 为空气比热容, 取值为 $1.4 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; M 为室内空气质量; ρ 为空气浓度, 取值为 $1.205 \text{ kg}/\text{m}^3$; V 为室内建筑体积, m^3 ; T 为室内温度, K。

通过分析可知, 阀厅的温度主要与气温、阀厅内外的运行设备以及进出人员有关, 应着力控制发热设备的使用, 限制人员进出阀厅。

2.2 阀厅湿度建模

阀厅内的湿度主要受到空气湿度的影响, 另外人员和水冷设备也会对阀厅湿度产生的一定的影响, 在管理到位的情况下, 影响比较轻微。因此湿度的计算主要考虑国家气象局出版的《湿度查算表》使用的国际气象组织(WMO)推荐的公式进行计算, 即:

$$U = \frac{e}{e_w(t_2)} \times 100 \quad (6)$$

$$e = e_w(t) - AP(t_2 - t_1) \quad (7)$$

$$\lg e_w(t) = 10.79574 \left(1 - \frac{T_1}{T}\right) - 5.02800 \lg \left(\frac{T}{T_1}\right) +$$

$$1.50475 \times 10^{-4} \left[1 - 10^{-8.2969 \left(\frac{T}{T_1} - 1\right)}\right] +$$

$$0.42873 \times 10^{-3} \left[10^{4.76955 \left(1 - \frac{T_1}{T}\right)} - 1\right] - 3.21386 \quad (8)$$

式(8)中: U 为相对湿度, %; t_1 为湿球温度, °C; t_2 为湿球温度, °C; T_1 为水的三相点温度, 取值为 273.16 K ; T 为绝对温度, K; P 为本地气压, MPa; A 为干湿表系数, 是随湿度表是否结冰和通风条件不同而定; e 为空气中的水汽压, MPa; $e_w(t)$ 为温度在 t 时的液面饱和和水汽压, MPa; 以上公式适宜温度范围是 $-49.9 \sim 49.8 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。

阀厅的湿度主要受到空气湿度的影响, 应对进入阀厅的空气进行一定的干燥处理, 同时避免人员等其他因素对阀厅湿度的影响。

3 阀厅的管理手段和模式

阀厅的微正压、湿度、温度和无尘要求需要通过多种管控手段协同才能保证, 工程中主要通过暖通设备来实现这一系列的要求, 并通过分阶段管控方案、水冷设备等手段进行辅助管理。阀厅管控手段与环境指标关系如图2所示。

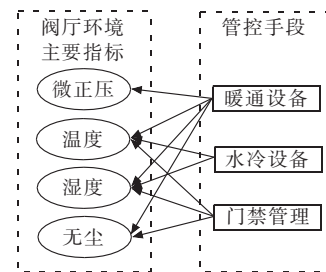


图2 阀厅管控手段与环境指标关系图

3.1 阀厅分阶段管控方案

因为主要换流阀设备对工作环境要求较高, 有严格的温度、湿度和防尘要求, 为确保阀厅建设施工的安全、有序、规范进行, 在阀厅土建基本完成后, 根据内部的建设流程和施工安排, 在管理上将阀厅从建设到试验运行的整个过程分成3个阶段, 实行不同等级的管理要求。

(1) 第一阶段主要施工内容为阀厅内各室中支架、管道等辅助设备安装,对环境要求不高,但必须保证各施工单位有序进场进行设备安装,防止对设施设备造成损坏。因此,这一阶段主要管控手段是在阀厅的2个门口实行严格的门禁标准化管理,对进出人员、设备、设施进行登记,并与施工计划进行核对,对于不符合计划安排的人员进行劝阻,保证现场施工人员能够顺畅作业。

(2) 第二阶段为阀厅内隔离刀闸等常规电气设备以及水冷机组、暖通设备的安装,需要阀厅内满足封闭、通风、和初步无尘要求。因此现场需要进一步加强第一阶段的门禁管理,进入现场的人员必须要有工作票,佩戴工作证才能进入,并且不允许在阀厅内进行可能对阀厅内环境造成污染的作业。

(3) 第三阶段为阀组等重要电气设备进场后的安装、接线、调试和运行阶段,这一阶段的要求将贯穿在阀组全寿命周期,是管理最为严格,指标要求最高的阶段。换流阀设备安装和运行对室内环境的要求主要集中在微正压、洁净、温度及空气相对湿度四个方面,因此阀厅内应严格达到封闭、通风、微正压和精细化无尘要求,还应保证阀厅内各室全封闭,保证阀厅进出人员的着装符合洁净要求。因此在阶段二的门禁管控基础上,要加强进入人员的洁净度,所以进入阀厅的人员要保证衣服整洁,穿鞋套进入。而对于要进入阀塔室的施工和调试人员,进一步要求其更换洁净的连体工作服,带头套后才能进入。

3个建设阶段之间均设置清洁阶段,分别在施工衔接时对阀厅内进行初步清洁和全面清洁,以配合实现阀厅内环境的洁净和无尘要求。

3.2 暖通系统

工程阀厅设置通风空调系统,其服务区域包括阀厅、水冷控制屏柜间、阀厅直流场、TBS阀组室等区域,系统型式为低速全空气空调系统,系统考虑全年运行。UPFC工程通过控制室设置全年运行的集中式全空气空调系统,维持房间的温度、湿度及微正压环境,其设计标准全年温度 $10\sim 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $25\%\sim 60\%$ 、室内微正压值 $5\sim 30\text{ Pa}$ 。

空调机组的自动控制系统,通过监测回风温湿度自动调节机组的制冷、加热、加湿、过滤运行,以使室内温湿度能满足设计要求。空调机组进出风口、新排风口处的电动风阀及加湿器管上的电动阀开启及关闭与机组启停连锁,并由机组电控柜控制。空调系统运行时需调节新、排风阀门的开度保证各空调区域 $5\sim 30\text{ Pa}$ 正压以防止粉尘侵入。屋顶空调采用双层百叶风口,减少风管内灰尘进入阀厅。夏季及冬季按总风量的 10% 补充新风,新风量约 $4500\text{ m}^3/\text{h}$,补充新风时空调机组的

排风阀关闭。暖通设备是维持阀厅环境的主力设备,是阀厅环境保持的关键技术。

3.3 阀厅新风系统

新风系统主要应用于对安装和运行环境要求较高的设备,例如工程中的阀组设备,灰尘将会减少设备的使用寿命,甚至出现设备事故^[9]。UPFC示范工程应用了最新研制的新风系统装置,装配在阀厅的东侧,在外部环境相对复杂的情况下,将会不断把干燥、洁净无尘的空气充入阀厅中,能够防止外部灰尘、潮气污染阀厅,保证阀厅安装的高要求、严标准,以及投运后的可靠运行,在工程中得到良好的应用。新风系统装置的顺利应用,对电网设备安全运行有着重要意义。可以增加电力设备全寿命周期中的运行效率,减少电网因设备故障停运的概率,有着极大的社会效益。

3.4 新型监控手段

工程还应用了新型监控手段来应对过热、火灾等特殊情况,保证阀厅的安全稳定运行。

3.2.1 阀厅红外测温巡检系统

示范工程的视频监控在站内设有常规监控系统,同时为了及时发现阀塔等设备的缺陷或隐患,提高巡视任务的效率,确保电气设备的安全稳定运行,还采用集中监控与智能轨道式巡检系统相结合方式构架的智能监控系统。集中监控与智能巡检系统互为备用,相互补充,能够有效解决图像监视系统的死区和遮挡问题。

巡检系统的安装地点依据阀室的巡视线路确定,每个阀厅内安装一套红外测温巡检远程红外温度智能在线监测系统,在阀塔四周架设一组U型轨道,搭载一套一体化可伸缩球型双仓热成像机。红外测温巡检系统运行时采用红外热像仪与可见光摄像机同步工作方式,监视阀厅内阀塔的外观状态、工作状态、温度场分布情况。摄像机可移动、伸缩,能对阀塔进行全方位监控,有效解决了固定位置的视频监控系统受阀塔整体较高且分层等客观条件限制。红外测温智能巡检系统除了具有在任意设定时间进行巡视检查工作、自主和遥控巡视、图像遥传、自动停障、各巡视设备历史数据分析等功能之外,还具备在自动巡检过程中任意采集红外热图进行智能识别技术,获得图中所有涉及设备的精确位置及工作温度的功能。红外测温智能巡检系统通过对设备温度数据的分析进行设备缺陷诊断,并提供超温报警、差温报警等功能。

3.2.2 阀厅火灾报警系统

因为阀厅布置相对密集,重要设备多,且设备发热量大,容易形成火灾。使用传统的火灾预防方法有可能出现报警信号滞后,无法及时发现设备异常,尽早消除隐患的问题。因此,阀厅的火灾报警系统根据UPFC控制室、TBS室、阀厅及直流设备室等不同的保护对象,

分别采用温、烟、光感探测器和热敏温感线等不同的探测手段,从多角度探测火灾隐患,力保设备安全。

工程火灾报警系统除配置了传统的感烟探测器外,还针对阀塔重要性高、容易发热的特点,综合配置了极早期烟雾探测器和紫外火焰探测器对阀室进行全方位的保护,如图3所示。另外还在新风口处设置了极早期烟雾探测器检测室外空气,防止室外空气中的烟雾进入阀室而导致火灾报警系统误动作。



(a) 极早期烟雾探测器



(b) 紫外火焰探测器

图3 阀厅火灾报警系统示意图

4 结束语

本文针对换流阀对阀厅微正压环境的具体要求,通过数学建模分析了影响阀厅温湿度度的主要因素,并相应地运用各种管控手段和设备来应对,取得了较好的效果,从而保证了阀厅内阀组设备的顺利安装、调试和运行。工程建设过程中采用的分阶段管控手段和设备对今后其他柔性输电技术建设管理方案的制定具有一定的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 李骈文. 美国 INEZ 变电站统一潮流控制器简介[J]. 电网技术, 2002, 26(8): 84-87.
- [2] HAN Y S, SUH I Y, KIM J M, et al. Commissioning and Testing of the KangJin UPFC in Korea[C]. Cigre Conference, 2004.
- [3] AHN S J, LEE D W, MOON S I. Structure and Operation Strategies of an Automatic Supervisory Control System of the KEPCO UPFC [J]. Electrical Engineer, vol. 90, 2008: 511-519.
- [4] KIM S Y, YOON J S, CHANG B H. The Operation Experience of KEPCO UPFC[C]. Proceedings of the 8th International Conference on Electrical Machines and Systems, Nanjing, 2005: 2502-2505.
- [5] GYUGYIL, SCHAUDER C D. The Unified Power Flow Controller-A new Approach to Power Transmission Controller [J]. IEEE Transaction on Power Delivery, vol. 10, no.2, April 1995: 1085-1097.
- [6] 曹建伟. 置换通风空调室内空气品质的数值模拟研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2007.
- [7] LEE C, KIM B, KO S. A New Lagrangian Stochastic Model for the Gravity-Slumping/Spreading Motion of a Dense Gas[J]. Atmospheric Environment, 2007, 41(36): 7874-7886.
- [8] 黄伟. 基于变电室综合环境控制的智能保障系统研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2014.
- [9] 李彬, 李卫国, 秦永生, 等. 离相封闭母线微正压装置的配置与安装标准探讨[J]. 内蒙古电力技术, 2010, 28(1): 25-28.

作者简介:

- 刘瑜俊(1988), 男, 江苏阜宁人, 博士, 研究方向为电力系统运行与控制、电动汽车与电网互动、储能技术;
- 柏彬(1980), 男, 江苏南京人, 高级工程师, 从事电网建设管理方面的工作;
- 朱海峰(1974), 男, 江苏启东人, 高级工程师, 从事电网规划及建设管理方面的工作;
- 洪莎莎(1984), 女, 江苏南京人, 工程师, 从事电网建设管理方面的工作;
- 王章轩(1984), 男, 江苏南京人, 工程师, 从事电网建设管理方面的工作。

Establishment and Management Strategy of the Micro-positive Pressure in the Valve Hall of UPFC

LIU Yujun, BAI Bin, ZHU Haifeng, HONG Shasha, WANG Zhangxuan
(State Grid Jiangsu Economic Research Institute, Nanjing 210008, China)

Abstract: The Nanjing western power grid unified power flow controller (UPFC) project is the first UPFC project based on the modular multilevel converter (MMC) technology. This project is an important achievement of flexible alternating current transmission system of China. The valve hall which contains the converters has a high level requirement of temperature, humidity and cleanliness. So the construction and management of the valve hall room becomes the most significant step of the whole project. With the analysis of the circumstances of the valve hall, this paper builds the mathematic models of the temperature and humidity. According to the analysis, a series of control method is applied to the hall, such as the staged control method, the heating and ventilating system, the fresh air system and the monitor systems. All the control methods form a strict control system to maintain the micro positive pressure in the valve hall.

Key words: construction management; unified power flow controller(UPFC); micro positive pressure