

[SF₆高压开关]

低温环境下SF₆高压开关设备的保温装置控制回路设计研究

文/王霞 李锋
西安西开电力装备智慧服务有限公司

根据SF₆高压开关设备独有特征, 对其在低温环境中保温装置的控制回路的设计进行分析研究, 针对现有设计的不足提出了改进优化方案, 提高了SF₆高压开关设备在高寒地区的运行稳定性。

环境因素是制约特高压电网建设的重要因素之一, 特别是低温问题, 严重威胁输变电设备中SF₆高压开关设备的运行安全。本文对用于低温地区的SF₆高压开关设备的保温控制设计进行探讨研究, 以期提高低温地区SF₆高压开关设备运行的安全性、稳定性。

SF₆的特性

SF₆高压开关设备在我国电网中广泛应用, 我国东北、西北地区特别是高寒环境地区, 由于冬季平均气温低、风速高, 对SF₆高压开关设备的运行可靠性影响大。

SF₆气体以优异的灭弧性能和较高的电绝缘性能广泛应用于高电压电器设备中。但SF₆是一种分子量大的气体, 露点比较高, 特别是随着密度提升, 液化温度也会大幅提升, 详见表1。在我国西北及东北地区的极寒情况下SF₆会发生液化, 给开关设备带来绝缘降低的风险。

表1 SF₆气体在不同压力下的液化温度

气体压力/MPa	0.6	0.5	0.4	0.35	0.3	0.29
液化温度/℃	-27.5	-32.5	-38	-41	-44.3	-45

避免SF₆液化的方法

1. 降低额定压力值

通过表1可知, 压力对SF₆液化的影响较大, 通

过降低开关设备中SF₆的额定压力值可以将其液化温度降低。但由于SF₆的额定压力是开关设备固有的参数, 更改压力值会改变高压开关设备的开断性能, 现有设备无法采用。可在新研发的产品中使用降低SF₆额定压力的方法来降低其液化温度。

2. 采用混合气体

利用新型绝缘气体或者混合气体替代SF₆气体是一种可行的办法。1997年通过的《京都议定书》将SF₆列为六种受限制的温室气体之一。现在各大高压开关设备制造厂家在研发混合气体的应对方案。SF₆/N₂采用3:7混合可满足-50℃不液化, SF₆/CF₄也可满足-50℃不液化, 但维护较为麻烦。尽管混合气体已经在110 kV电压等级的开关设备以及高电压GIL中取得了进展, 但是全面替代SF₆气体还需要一定的时间。

3. 物理强制加热

在开关设备的断路器外壳上安装加热带, 通过加热强制提升罐体内部SF₆的温度, 达到环境温度在-45℃时SF₆不液化。这是现在国内绝大多数开关厂家防止设备SF₆低温液化的方式。常规控制回路如图1所示。

回路的控制原理: 通过温控器KT1监视环境温度, 当环境温度降低到KT1的设置的阈值-25℃时, KT1起动KTX1接触器。KTX1接触器

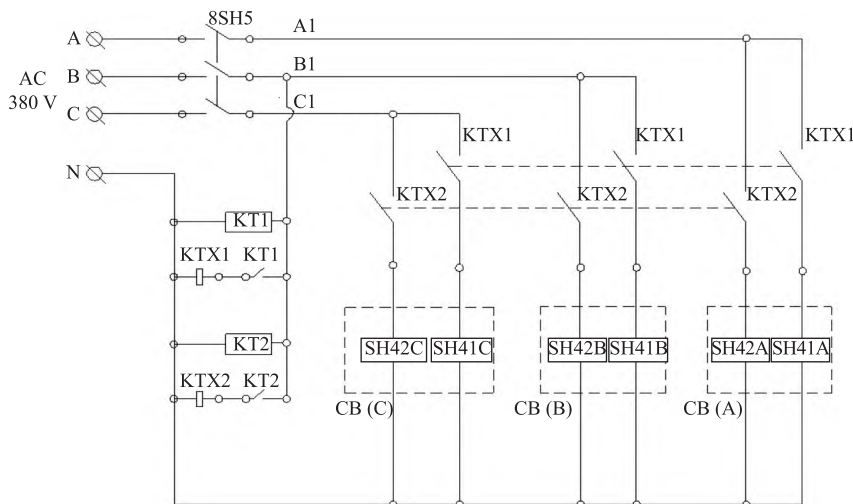


图1 常规控制回路

KT1—温控器（-25℃起动，-20℃复归） KTX1/KTX2—温控器扩展接触器 KT2—温控器（-30℃起动，-25℃复归）
SH41/SH42—加热带 8SH5—微型空气断路器

接通回路，让加热带SH41带电对开关的罐体进行加热。当环境温度继续降低达到KT2设置的阈值-30℃时，KT2起动KTX2接触器，则起动SH42带电，增加对罐体加热的功率。

开关设备加热带的配置功率通常在进行型式试验时确定。将保温带安装在试验设备上，在开关空载不通电的情况下，通过给加热带通电测出SF₆的实时温升。根据LW13-550罐式断路器产品试验结果表明，加热功率为4 800 W时SF₆的温升在13.5~17.5℃，7 200 W时为15~21℃。此为断路器单相的加热功率，整台断路器需要配置加热带，则总功率应当按照单相功率的3倍计算。

现有开关设备加热带的控制通常采用分布式，即每台设备的加热带在相应的LCP内配置独立的温度控制回路，各自独立控制本台开关设备的加热带。根据多年的施工和运行经验，常规的保温控制回路显现出一些不足之处，需要对回路进行优化和改进。

改进和优化

由上文可知，现有开关设备加热带的功率配置一般较大，供电的额定电流也相应较大，如果开关设备数量较多，则加热带的供电回路的累加总电流将特别大。为了保证交流供电回路的可靠性，变电站交流电的供电方式一般设计成环网的方式，如图2所示。采用这样的设计，现场电缆长度通常最少，电缆根数最少，电源的可靠性较高。但一般环

网电缆的累加通流值也最大。例如新疆某工程，单台单相开关设备的加热带功率为3 000 W，共27台设备，额定单相电流可达400 A左右，只能采用塑壳开关或者框架开关才能满足如此大电流的保护要求。此类开关的体积较大，控制柜空间一般较为紧张。根据铜质电缆的额定载流值可知，此时电缆的截面积应不小于200 mm²，而一般控制柜内导线的截面积为2.5 mm²，最大不超过6 mm²。控制柜常用的接线端子根本无法接入如此截面积的电缆。且此截面的电缆在现场安装和敷设较为困难，需要对柜体结构和电装方式进行较大的改造，需要专用的工艺器具，且与开关设备常规控制电缆一同敷设，安全性也较低。

同时，由于采用环网接线方式，环网电缆在柜体内的进线端子和出线端子部分均长期带电，当其中的某个间隔需要停电检修时，停电设备的控制柜内此端子的部位仍然带电，给检修运维人员带来较大的危险。

监控回路通常采用电子式温控器，采用分布式控制回路，通过传感器检测温度。按照设定值起动加热器，让保温带只在需要起动的时候起动。为了实时测量柜外的环境温度，温控器的探头需要裸露在柜外的环境中，保证测试到的温度的准确性。但是现在国内市场上温控器的使用寿命一般都不高，通常仅为5~6年，且对灰尘、盐雾等耐受较差，使用寿命更短。根据某地区对变电站的统计，温度控制器故障率达到49.5%，这就需要对温控器进行定

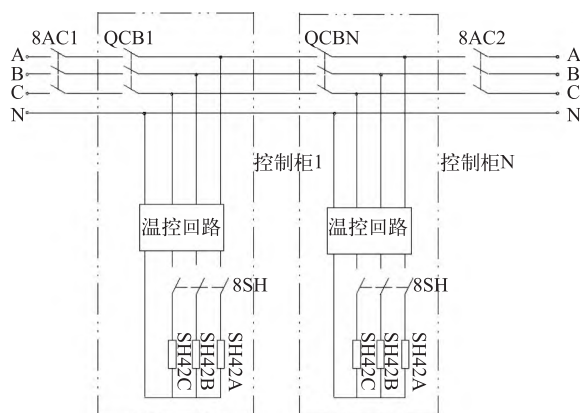


图2 环网供电方式

8AC1、QCB1、QCBN、8AC2—塑壳开关 8SH—空气开关

期检查维护。但温控器分散安置在LCP内，且每台控制柜内都有温控器，给开关设备检修维护带来较大的工作量和不确定性。特别是在开关设备运行时进行检修，检修工作需要LCP内进行，给设备运行带了一定的安全隐患。

有的厂家采用机械式温控器来替代电子式温控器。机械式温控器是靠压缩弹簧的热胀冷缩来起触点，通过调节弹簧的压缩量来改变起动的阈值，内部没有电子元件，寿命和质量较电子式温控器有极大的提升。但由于保温带的温控器需要实时监测环境温度，要暴露环境中，控制柜又要满足IP55的防护等级，带来极大的矛盾。

因此，对于设备较多的保温带加热回路不宜选用环网形式。推荐采用辐射方式，设置专用的配电柜，将总电源在电源柜内按照间隔进行分配，如图3所示。每个柜的负荷仅是单间隔加热带的功率。

伴热带温控回路监测的为变电站的整体环境温度，与除湿防结露的温控器监控LCP柜内温度的功能不同，没有必要每个控制柜内设置一个监控点，将所有的监控点合并为一个点，既便于维护和检修，又能极大地减少成本，同时又不影响监控的可靠性。

为了保证电源的可靠性，设置主电源和备用电源，用双电源切换装置在配电柜内进行自动切换。

例如上例中3 000 W的负荷，采用辐射式的供电方式，供电电缆通流约14 A，导线截面积2.5 mm²就可以满足负载要求。辐射供电方式电缆的用量比环网供电方式的电缆用量成倍增加，且配电柜需要额外布置。但可以大大减少运行的隐患和施工的复杂性，综合成本较优。

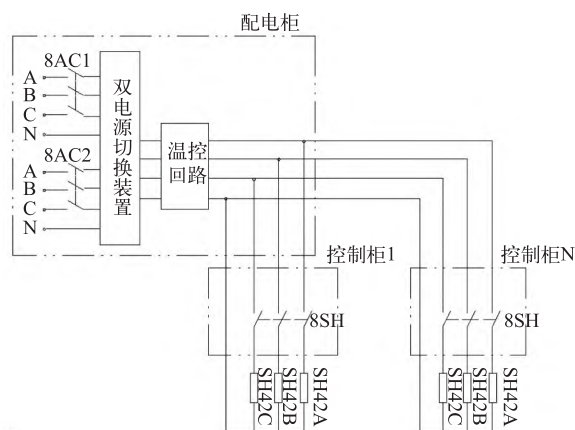


图3 辐射供电方式

8AC1、8AC2—塑壳开关 8SH—空气开关

对加热带供电回路的监控通常是将电流继电器串接在电流回路中，而对于电流较大、导线截面积大的回路采用电流继电器有一定的困难。可采用钳形表手动测量回路的电流值来确定回路的完整性。为了梳理每个回路是否正常，需要维护人员对每个回路进行手动测量，工作量较大，也容易漏检。采用了电流隔离器实时采集回路的电流值，实现自动检测，自动报警，如图4所示。电流隔离器相当于一个1:5或者1:10的电流互感器，可将加热回路的电流取样进行监控，并可实现报警功能。

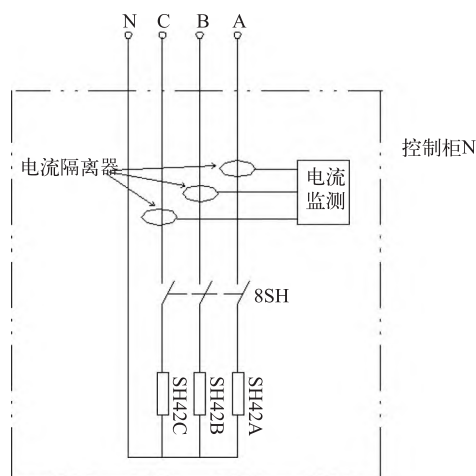


图4 供电回路监测

结束语

通过设计研究，给多个低温环境下的开关设备提供了保温带的控制回路设计，现场施工和维护反馈较好，保证了设备的安全运行。EA

(收稿日期：2023-08-07)