

[高压电器]

高压开关设备控制柜的常用防结露方式研究

文/西安西电开关电气有限公司 李 锋 刘 慧

为保证高压开关设备安全可靠运行，避免由于配套的柜体出现结露，导致二次设备故障，在设计柜体时都应有防结露措施。介绍了防结露设计时需要关注的几个问题，对常用防露措施进行了分析，并提出了建议。供高压开关的设计、运行和维护人员参考。

高压开关设备安全可靠的运行，是电力系统安全的重要保证。控制设备作为高压开关设备的重要组成部分，对其运行要求极高。DL/T 720《电力系统继电保护柜、屏通用技术条件》规定了控制柜正常工作大气条件为相对湿度为5%~95%，并且要求内部应无凝露，也不应结冰。作为控制设备承载平台的控制柜，如果出现结露现象，可能由结露引起爬电、闪络事故，甚至引起断路器误跳闸的事故，给高压开关设备的安全带来了极大的隐患。因此避免控制柜的凝露是提高开关可靠运行的重要保证。

结露产生的原因

所谓结露现象是指柜体内表面温度下降到露点温度以下时，内壁表面会发生水珠凝结现象。由空气内水分和环境温度的特性可知，结露发生取决于实时的环境温度和柜内部温度、相对湿度以及露点温度。

控制柜设计时，可知只要存在温度差 ΔT ，就有结露的可能，且环境相对湿度越高，形成结露的温度差 ΔT 越小。例如：相对湿度为90%时，温度差 ΔT 为1.5~1.8时就会形成结露，相对湿度为60%时，温度差 ΔT 为6.9~7.6时才会形成结露（如下表所示）。也就是说，在一定的温度条件

下，空气中的相对湿度越高，结露的温度越是接近环境空气温度。环境温度越接近露点温度，凝露就越容易发生。

表 结露温度差

柜内湿度 (%RH)	20	30	40	50	60	65	70	75	80	85	90
结露温度差 /℃	20.4	15.6	10.6	9.2	6.9	5.8	4.8	3.9	3.1	2.2	1.5

要想防止开关柜体内部的结露，必须从结露形成的要素入手，破坏形成结露的条件。常用方式是提高柜体内的温度或者降低柜内相对湿度手段。

防止结露的方法

1. 设置通风口

柜体设置通风口是在柜体的表面开孔，利用自然的风速以及柜体内部空气的压力差，实现柜内空气的自然流动，避免柜内外出现温度差。通风窗一般上下设置，一个为进气口，一个为出气口，这种方式是最便利、也是最简单的防结露方式，但是缺点也很显著。要达到防结露理想的效果，通风窗的有效面积越大，则柜体内、外单位时间内空气交换次数就越大，防护效果越明显，但通风窗面积越大对柜体的防护性能影响就越大，尽管现在的通风孔一般会加装防护网、防护

罩等防尘和防虫措施,但对于雨雪的防护效果不是很理想,特别是对沿海地区台风、暴雨的防护。因此通常会在柜内安装加热器强制增加单位时间内空气交换次数。

由于是利用通风窗自然通风,柜内的环境和柜外的环境基本一致,高温、高湿、低温和盐雾等对柜内二次元件影响比较大的环境因素防护不理想。因此仅采用开通风窗防止结露的手段一般应用在柜体尺寸不大,没有条件安装其他防护措施,且柜内元件对环境要求不高的情况。

2. 设置加热器

设置加热器是我国开关柜体防结露设计最常用的做法,利用电热元件加热柜内的有限空间,强制柜内的空气流动,人为提高柜内的露点温度,破坏形成凝露的条件。加热器按工作原理一般分为对流式和辐射式。采用加热器防结露的方式相对简单、实施便利、成本较低、维护不大且对控制柜的结构影响不大,但在应用中也有一定的局限性,在设计时需要关注。

1) 在实际设备运行中,有的电站在加热器投入的户外柜体内产生了结露,没投入加热器的却没有。这是因为开关控制柜一般都设置在电缆沟的上方,方便电缆进入柜体的位置,柜体下部采用电缆泥、防火水泥和电缆接头等方式进行封堵。一般电缆沟内的湿度相对较大,由于“烟囱效应”的影响,不管封堵的多严密,水分子都会通过柜体底部电缆进线处源源不断进入柜体内,如下图所示。加热器安装在控制柜的底部,使柜内底部和顶部形成温度差。当环境湿度特别大,柜外温度急速变化时,柜体内不大的温度差,都会在柜体内部温度低的区域形成结露。这就需要加热器分散布置。由于现在的控制柜内的元件布置比较紧凑,多个加热器分散布置比较困难。

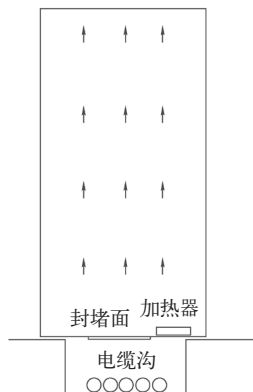


图 柜体示意

2) 功率选择。加热器的功率选择国内目前没有相关的标准,设计时加热器的功率选择一般都偏大。但是大功率的加热器弊端较大,加热器过高的温度会对柜内的电气元件造成损伤,并带有一定的事故隐患。同时也会损耗大量的电能,这点往往被忽视,例如:1个控制柜内布置200 W的加热器,长期通流一年的功率损耗为 $200\text{ W} \times 24\text{ h} \times 365 = 1\,752\text{ kW}\cdot\text{h}$ 。这是个不小的功率损耗,整个电站的加热器总损耗更是不可忽略。长期投入加热器会加快柜内的二次元件老化,因此一般会在柜内设置温控器对加热器的启动进行自动控制。

3) 使用温湿度控制器。通过传感器检测温度、湿度,按照设定值启动加热器。让加热器只在需要启动的时候投入,保障柜体防结露的要求。但是现在国内市场上温控器的使用电气寿命一般都不高,通常温度传感器寿命仅仅5~6年,湿度传感器,对灰尘、盐雾等耐受较差,使用寿命更短。根据南方某地区对变电站的统计,温湿度控制器故障率达到49.5%。实际投入率也不高,个别的元件仅仅只有80%。这就需要对温控器进行定期检查维护,有些温控器安置在封闭的箱体内部,这给检修维护带来较大的工作量和不确定性。且温控器的成本比较高,在运行中个别的温控器发生了着火烧毁控制柜的情况,给开关安全运行带来了隐患。

3. 设置空调

随着开关设备智能化普及,户外的智能控制柜空调大量配置,用空调控制独立柜体空间内的温度、湿度。避免高温或者低温给柜内的智能化组件运行造成影响,同时也使得柜内体的防凝露效能大大提升。安装空调的柜体一般需要密封成为一个独立的空间,使柜内环境和外部的环境隔离,形成一个相对独立的密闭空间。这就对控制柜体制造工艺要求较高。由于空调外形尺寸偏大,对柜体的制造、安装和柜体布置有一定的限制。且空调的成本较高,维护成本也高。另外空调柜在使用中有一个很大的事故隐患,往往被忽略。带有空调的柜体在运行过程中,如果需要临时打开控制柜门,由于此时柜体内温度低于外部,门打开后,可能会造成柜体急速结露,并且可能会在二次元件内部结露,造成的危害较大。为此可采用空调柜专用控制柜锁(专利号ZL2016 2 1021649.2),保证柜内外温

(下转第78页)

据段、帧填充和帧校验序列，并且数据的长度固定在从前导码到UDP分组报头的末尾的已知UDP分组的MAC数据帧中。因此，设计专用硬件报文检测电路根据同步报文MAC数据帧的相关特征元素确定当前检测到的报文是否是同步报文，从而校准精确采集时间。

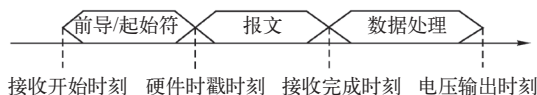


图6 9-2 SV、GOOSE报文基本结构

根据图5，从数字量输入到最终的电压、电流和开关量输出之间存在时间差且不固定，受影响因素包括：光纤传输延时、报文占用时间和纯模拟式功率放大器相位偏移等。为保证输出的同步性，因此需要根据实际情况进行时间补偿。时间补偿通过专用的硬件电路完成，CPU在分析以及确定补偿时间后，外部接口控制应能严格控制其驱动数模转换、继电器和数字报文输出的数字序列时间，如图7所示。

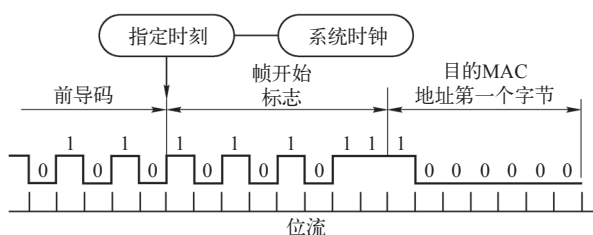


图7 数字序列时间控制示例

结束语

本文针对就地化保护装置测试系统的设计展开研究，首先介绍了就地化保护测试系统的系统架构和特征，提出采用甲乙类互补对称功率放大电路作为测试系统的功率放大器，最后提出分布式就地化保护环网配置方案。本文所提技术方案利用单根光纤可传输大量数据的特点，有效减少了长距离线缆的数量，降低了接线工作量，同时也不存在电压下降、负载增加和易受电磁干扰等问题，解决了当前存在的分布式就地化保护现场无法进行整体测试的难题。**EA**

(收稿日期：2019.08.18)

(编辑：朱金凤)

(上接第71页)

度相同才可以解锁开门。

4. 除湿器

除湿器是利用珀尔帖效应和微电子技术，通过在除湿器表面形成低温，强制在除湿器表面形成结露，可以人为降低控制柜内的空气相对湿度。这种方式是近些年才出现的一种新型的防结露方式。对于使用环境苛刻的柜体，特别是对箱体的密封性有要求无法设置换气口，或者是柜体内的元件无法承受高湿度环境的，采用除湿器可保证柜体的密封性，防止柜体内外的空气交换，避免外部潮湿空气的进入。在运行的环境温度高、湿度大的环境使用效果非常理想。但在环境温度低、湿度不大的地区则效果不明显，温度偏低环境还曾经出现除湿器结冰的情况。并且除湿器需要通过导水管将结露的水排出柜外，给柜体运行造成一定影响。

5. 其他

将柜体设计成为双层结构，双层结构内加入隔热材料或者空气。使得柜内外的温度传递被阻隔，柜体内的温度变化不受外部环境的影响或影响比较小，避免柜内的温度因为环境急剧变化产生温度差，形成结露。这个方式效果也比较

好，适用范围比较大，但是成本很高，柜体加工要求很高。

防结露方式的选择建议

通过以上分析，结合笔者在工程设计过程中对各方案应用情况，给出方案选择建议。确定防结露方式前，应先了解柜体运行的环境条件，可参考GB/T 4797.1《电工电子产品自然环境条件——温度和湿度》执行。户内开关设备配套柜体可采用加热器配置通风窗方案，如果柜体体积不大，也可以不配置加热器。户外的柜体，高湿、高温的地区采用除湿器不开通风窗，高湿、温度偏低的地区宜采用加热器和除湿器，同时加装温湿度控制器，温度高时启动除湿器，温度低时启动加热器，柜体应开通通风窗。普通地区采用开通通风窗配置加热器方案比较理想，不建议加装温湿度控制器，可采用小功率加热器常投，大功率加热器手动投入的方式。智能化工程采用空调后，则柜体不开通风窗，其他除湿功能均不需要配置。**EA**

(收稿日期：2019.04.28)

(编辑：朱金凤)