[电气开关]

控制电气开关运行温度环境的设计对策

文/万克栋
中石化石油工程设计有限公司

剖析一起电气开关运行环境温度过高导致动作跳闸的原因，分析过热环境对电气开关运行的影响，并提出电气设计过程中对环境过热控制的技术措施，提高开关装置运行环境适应性。

电气开关运行温度环境是影响电气设备安全运行的重要因素。过高或过低的温度条件下，对导体材料的机械性能、绝缘性能等产生明显影响，特别是电接触部位周边温度失控情况下，电气元件设计性能失稳，引发更为严重的电气故障。据统计，温度因素导致电气设备故障率增加36%，设计寿命缩短33%。因此，合理控制电气开关运行温度环境，确保电气设备长期安全运行，是电气工程设计中必须认真应对的重要内容。

故障报告

某工程建有10 kV/0.4 kV变电所一座，坐东朝西。两回10 kV电力电缆分别接入两台变压器高压侧；油浸变压器容量2×1 000 kV·A，户外布置；0.4 kV封闭母线接入低压配电室，低压侧单母线分段接线，馈出采用GCS型抽出式低压开关柜，室内面对面、两列三走廊布置。低压侧两段母线设四回250 kW出线，每段两回，抽屉单元均布置于同一面开关柜，开关柜无机械通风设计。抽屉单元内配置塑壳断路器壳架电流630 A一只，整定电流为500 A，运行电流447 A；配置600/5回路测量CT一只。馈出回路采用2×（YJV—0.6/1 kV 3×120+1×70）电力电缆。

工程建成试投产期间，恰逢当地夏季高温。现场运行人员报告，低压开关柜抽屉单元外壳烫手，抽屉打开后采用红外测温枪测量塑壳断路器表面温度达76 ℃。所配630 A塑壳断路器先后发生运行期间跳闸情况，最短动作时间运行后3 h，导致全站工艺系统无法正常运行。

设计人员在现场调研中发现，由于配电室开关柜内温度过高，为保证现场运行安全，制定实施临时措施。每段母线仅允许一回250 kW配出回路运行，投入运行抽屉单元位于开关柜底部，上部抽屉单元均抽出停运，留出空间进行散热。采用红外线测量枪进行了温度测试，发现室内墙面温度33 ℃，开关柜后侧母线表面温度36 ℃，正在运行的抽屉单元配出电缆端子表面温度56 ℃，连接至抽屉单元内部分支母线表面温度63 ℃，塑壳断路器运行正常。

过热环境对电气开关运行的影响

GB/T 7251.1—2013《低压成套开关设备和控制设备》中第7.1.1条所规定的环境条件，针对低压开关柜整体而非柜内逐个电气元件。开关柜内温度环境与设备安装地海拔、外部环境温度、开关柜的结构、柜内各元件的发热量、导体的发热量、各元件和导体的安装位置等众多因素有关，决定于柜体内/外部环境的共同作用。当成套装置内电气运行过程中的电阻损耗、介质损耗和铁损致热等原因产生

的热量大于散热量，使内部环境控制恶性循环，导致更为严重的后果。

现场每面GCS开关柜内两回出线运行时，抽屉单元温度过高导致断路器跳闸（60 ℃以上），一回出线运行时工作正常（上部抽屉全部抽出），且电气连接部位未发现明显高温异常，充分说明GCS抽出式开关柜的散热设计存在明显不足。GCS开关柜抽屉单元通风不良，未设机械通风，内部元件正常功率损耗热量聚集无法正常排出。环境温度超过断路器特性校验的基准温度，断路器安装于开关柜内需要适当地降低使用电流值，其值为额定电流乘以降容系数。该回路塑壳断路器使用电流随环境温度变化，需降容至0.76倍额定电流，无法满足正常工作电流要求，导致电气开关过负荷保护动作跳闸。

成套装置按内部电气元件种类和数量的不同，通过电流允许的最高环境温度（箱、柜环境）也不同。开关选用应根据开关柜内空气控制温度或元件最高允许环境温度进行整定验证，对应断路器制造厂提供的电流—温度关系表或温度补偿系数来降容使用。因此，设计阶段选择电气元件规格时，不能直接按环境温度为35 ℃时的电气元件使用电流取值，对于各个电气元件而言，开关柜内部空气温度才是其环境温度。降容系数见表1。

表1　环境温度变换的降容系数

温度系数 / 型号	+40 ℃	+45 ℃	+50 ℃	+55 ℃	+60 ℃
	降容系数				
□－63(L、M)	I*n*	0.94*In*	0.93*In*	0.83*In*	0.72*In*
□－100(C,L,M,H)	I*n*	0.94*In*	0.83*In*	0.79*In*	0.73*In*
□－160(C,L,M,H)	I*n*	0.93*In*	0.91*In*	0.80*In*	0.82*In*
□－225(C,L,M,H)	I*n*	0.88*In*	0.88*In*	0.81*In*	0.76*In*
□－400(C,L,M,H)	I*n*	0.95*In*	0.88*In*	0.84*In*	0.76*In*
□－630(C,L,M,H)	I*n*	0.96*In*	0.89*In*	0.9*In*	0.76*In*

加强环境控制的技术措施

1. 严格控制成套开关设备主回路用接插件温升水平

主回路接插部位是电气回路温升控制的重点，确保表面平整光洁无氧化层，并均匀涂抹导电膏以增强导电性和减少接触电阻；采用扭矩扳手拧紧螺栓，及时参照温升调整紧力控制接触电阻；对630 A出线回路连接外部导体的每个端子用铜导线截面积应控制在2×185 mm^2，以避免对接插件的应力变形；对400 A以上出线，推荐采用固定分隔式单元结构，整柜安装不超过2回630 A出线或1回630 A出线与多回（合计不超过400 A）出线。

2. 严格控制成套开关设备内部温度环境水平

当抽屉单元正常发热的情况下，GCS开关柜设计应严格按照GB 7251.1—2013《低压成套开关设备和控制设备》表6中对温升的相关要求。在确保温升控制的前提下，参考行业低压开关柜产品型式试验有关柜内空气温度的记录，设定预期柜内控制温度；根据控制温度确定相关电气元件的使用电流或整定电流，从而完成电气元件选型；最后通过理论计算对预期柜内空气温度进行验证，并采用技术措施（增设机械通风或扩大自然通风）达到预期控制温度，确保柜内电气元件运行环境要求。

开关柜内装电气元器件的发热功率是开关柜热设计的基础。只有正确了解元器件的发热功率及其与工作环境温度的关系，才能进行系列设计、计算。一般来说开关柜内电气元件发热功率是由元件制造厂提供，可参见制造厂样本或者直接向制造厂索取。不同电流容量的元器件额定发热功率典型值见表2。

表2　元器件额定发热功率的典型值

变压器容量/kV·A	160	250	400	630
开关柜额定电流/A	230	360	578	1 000
断路器额定电流/A	250	400	800	1 250
断路器额定电流热功耗/W	45	107	160	210
断路器负载系数	0.92	0.9	0.72	0.73
断路器实际工作功耗/W	38	86.6	82.9	134.4
连接母线功耗/W	10.6	25.9	24.8	40.32
互感器功耗/W	3×3	3×3	3×3	3×3
电气元器件总功耗/W	57.6	121.5	116.7	183.7

GB/T 24276—2017《通过计算进行低压成套开关设备和控制设备温升验证的一种方法》所得到的开关柜内部空气温升数据，与试验结果进行比较和验证后证明其具有广泛的指导意义。依据方法第5.2条，确定不同装配位置的散热状况，计算各电流等级开关柜外壳内的空气温升结果，验证是否满足电气元件运行环境预期温度限制要求，并以此修正开关柜内电气元件选型设计。

3. 加强型式试验中温升试验结果的验证

设备订货技术规格书应明确要求开关柜内温升控制要求，核对型式试验报告结果一致性，严禁未满足相关规程要求的产品进入现场。同一开关柜内

尽量避免大容量开关集中布置，避免元器件散热过于集中。

开关柜制造商对抽屉单元内各连接部件验证紧固应满足要求，对各易过热部位进行检查。金属封闭开关设备(包括元件)的温升，应以壳体外面周围的空气温度作为基准，各元件温升不应超过各自标准的规定。对于可触及的外壳和盖板，其温升不得超过30 K。对于可触及但在正常运行时无需触及的外壳或盖板，其温升不得超过40 K。对于不可能触及外壳的某些部位，若温升高于65 K时，应采取措施以确保周围的绝缘材料不会损伤。

4. 加强电气成套装置室内外环境设计优化

外部环境温度控制应考虑到配电间平面布置朝向，尽量避免开窗侧西晒，且现场开窗应避免较大玻璃窗，提供满足日间正常巡视的高窗（小窗），采用低辐射通过率玻璃，减少夏季太阳直射对室内温度的影响。内部环境温度控制充分收集成套装置散热功耗，对环境恶劣（高温、高湿和高污秽）地区，考虑空调制冷措施，变配电室最高运行环境温度不超过35 ℃，重要装置的变配电室运行环境温度不超过30 ℃。对高散热电气成套设备应优先考虑通风管道直排室外，无法直排的也可考虑水冷措施。

5. 加强内部温度日常巡检运维监测。

运行值班人员应加强对柜内电气元件运行温度的巡视监测，通过目视金属光泽减弱、色漆加深等设备发热后特征进行观察，采用红外测温、热成像测温等技术手段，提前排除电气缺陷隐患。

结束语

电气设备运行温度环境设计涉及工程建设过程的多个环节，成套装置制造、工程设计、施工质量和生产运行等各方面应密切配合。从配电室自然空气环境温度控制，到成套装置内部空气温度环境控制，加强开关柜热设计、柜内电气元件选型验证及3C认证的温升设计验证等环节，以确保电气元件运行在安全稳定的温度环境水平，使电气元件性能选型满足生产运行需要，提升工程建造整体水平。EA

（收稿日期：2023-10-11）

参考文献

[1] 张永峰．开关柜结构设计与制造的分析与实践[J]．机电工程，2014(1)：108-110．

[2] 姚远．高压开关柜过热问题及其解决方法研究与应用[D]．广州：华南理工大学，2018．

[3] 鄢来君，张颖．大电流封闭母线温升计算[J]．高电压技术，2008，34(1)：201-203．

[4] 周喜忠．开关柜内接头发热的原因及监测[J]．电气开关，2009，47(4)：6-7，11．

[5] 低压成套开关设备和控制设备 第1部分：总则：GB/T 7251．1—2013[S]．

[6] 张学军．低压成套开关设备温升测试及影响因素的分析[J]．电工电气，2015(4)：62-64．

[7] 通过计算进行低压成套开关设备和控制设备温升验证的一种方法：GB/T 24276—2017[S]．