

文章编号:1671-6833(2020)03-0047-06

GW46-126 高压隔离开关耐温性试验研究

邱正新¹, 刘本学², 张赛鹏³, 李付永¹, 敖明³, 冯世涛³, 张任¹

(1.平高集团有限公司, 河南 平顶山 467001; 2.郑州大学 机械与动力工程学院, 河南 郑州 450001; 3.国家电网吉林省电力有限公司 电力科学研究院, 吉林 长春 130021)

摘要: 高压隔离开关是电网中广泛使用的开关设备,其性能的好坏直接决定了用电安全。为评价 GW46-126 型高压隔离开关在不同环境温度下的使用性能,在气候试验室±60 °C 温度环境范围内,对隔离开关的触头接触压力、动静触头相对位置、机构操作扭矩、机构输出角等机械参数和电学参数回路电阻随温度变化的规律进行试验研究。通过试验数据采集和分析,确定环境温度变化对隔离开关机械特性和电学特性的影响,为进一步优化 GW46-126 型高压隔离开关性能和提高环境温度适用性提供了重要的理论支持。

关键词: 高压隔离开关; 超高低温; 触头压力; 相对位置; 耐温性

中图分类号: TM564.1

文献标志码: A

doi: 10.13705/j.issn.1671-6833.2020.02.005

0 引言

高压隔离开关是电网中使用最广泛、使用量最大的高压开关设备,其使用量是高压断路器使用数量的 2~4 倍^[1-2]。其结构包含了多连杆机构、锁死机构、传动机构等,结构所用材料有普通碳钢、铝合金、铜等不同环境温度差异性材料。当隔离开关在敞开的自然环境中运行时,由于受到各种恶劣环境对产品的影响,会出现触头发热、操作卡滞等故障^[3]。如在我国内蒙古地区,冬季局部地区气温最低可达到-57.6 °C;新疆最高气温可达 47 °C,地表温度最高 75.8 °C,金属体的温度更高,因此产品的热胀冷缩变形严重。极端天气下的产品工作与常温下的表现差别巨大。高低温会影响到电力设备零部件材料的物理属性,直接影响其机械特性,间接影响其电气特性。但由于现场环境的影响,事故发生时很难找到根本的原因,难以作出有效的处理。因此开展超高低温研究对恶劣环境下隔离开关的安全运行具有重要的实用价值和一定的理论意义。

目前对于高压隔离开关的研究主要集中在动

静触头的发热及其在线监测^[4-5]、机械振动对高压隔离开关变形性能的影响^[6]、隔离开关故障及诊断^[7]等方面,关于隔离开关的超高低温研究尚属空白。笔者选择受环境温度影响较明显的剪刀式 GW46-126 隔离开关作为研究对象,进行超高低温环境对其机械特性和电学特性影响的试验研究。根据试验结果,笔者分析隔离开关特性与环境温度变化的关系,总结隔离开关触头可靠性、温升、机构及机械传动等高低温技术适应性要求,提供满足超低温环境的隔离开关研发设计相关的技术支持。

1 隔离开关结构

剪刀式 GW46-126 型高压交流隔离开关外形图如图 1 所示,主要由主刀静触头、主闸刀、绝缘子、底座及操作机构等部分组成。工作原理为:隔离开关的分、合闸运动是由电动操作机构带动旋转绝缘子旋转,导电箱体里的空间四连杆通过法兰与旋转绝缘子连接,电动操作机构工作时,导电箱体里的空间四连杆带动一侧闸刀运动,同时与此相连的交叉四连杆带动另一侧闸刀运动,从而实现隔离开关的分闸与合闸^[8]。

收稿日期: 2019-11-11; **修订日期:** 2019-12-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51801187); 国家电网有限公司科技项目(5223001600M8); 河南省高等学校重点科研项目(17A460023)

通信作者: 刘本学(1977—),男,河南上蔡人,郑州大学高级工程师,博士,主要从事结构可靠性分析及优化研究, E-mail: liubenxue@zzu.edu.cn。

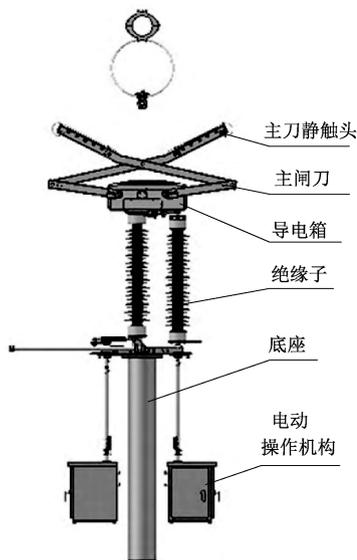


图1 隔离开关

Figure 1 Isolation switch

2 试验平台建立

2.1 试验原理

为得到该产品的性能,首先将 GW46-126 隔离开关置于具有高低温调节功能的气候试验室内(如图2所示),在气候试验室模拟产品的环境温度变化,在设定的试验温度下,依照 GB/T 2423.1—2008《电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 A:低温》与 GB/T 2423.2—2008^[9-10]《电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 B:高温》,对 GW46-126 隔离开关进行耐温试验测试(主要进行机械特性测试和部分电学特性测试),并记录 GW46-126 隔离开关机械

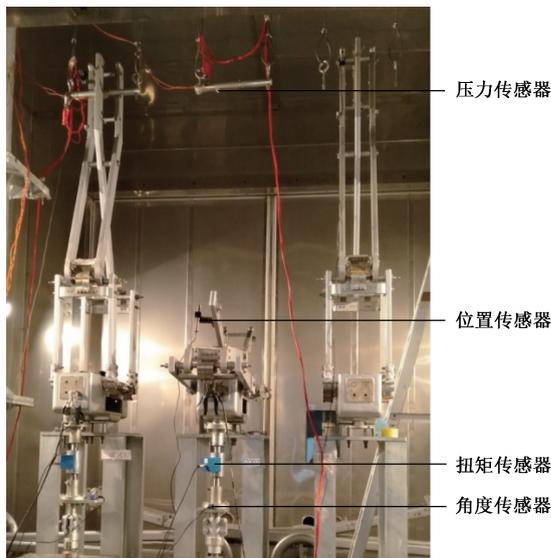


图2 隔离开关室内试验

Figure 2 Laboratory experiment of isolating switch

特性参数与电学参数的试验数据,研究其随温度改变而产生的变化规律,分析环境温度对产品特性的影响。

进行测试时,需要安装接触压力传感器、位置传感器、扭矩传感器和角传感器。气候试验室可调整温度范围为 $-65 \sim 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$,容积为 6 m (长) $\times 6 \text{ m}$ (宽) $\times 5.5 \text{ m}$ (高)。

2.2 试验方案

隔离开关运行包括长期合闸运行与短时停电维护两种状态。笔者针对该开关的分、合闸状态制定了试验方案,主要包含合闸静态保持状态与电动分合闸操作两种状态。在气候试验室内安放三相 GW46-126 隔离开关试品,一相电路控制合闸静止状态,其余两相电路控制电机驱动操作,在触头上安装位置传感器和压力传感器,机构输出轴位置安装角度传感器和扭矩传感器,隔离开关转动关节涂抹耐低温航空 7007 润滑脂,试验过程中不做任何调整,传感器安装位置及外观如图2所示。

试验温度流程:起始自然环境温度($14 \text{ }^{\circ}\text{C}$) $\rightarrow 60 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 20 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 0 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow -40 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow -60 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow$ 恢复自然环境温度($14 \text{ }^{\circ}\text{C}$)。设定气候试验室的每个预定温度点,在达到该试验温度点之后,恒温 8 h,保证隔离开关试品与试验室温度一致后,隔离开关进行 5 次分、合闸操作,分别检测、记录相应的数值,评估试品的特性变化。试品与传感器同在环境试验室内,试验数据通过数据线传输到试验室外的记录显示装置。

3 超高低温对隔离开关耐温性的影响

3.1 温度对触头接触压力的影响

触头接触压力是高压隔离开关的重要参数,是保持高压隔离开关传导和不放电的重要保障^[5]。接触力过小会引起接触电阻增大,出现触头发热、粘连损坏等现象,为此需要进行触头接触压力检测试验^[11-13]。试验时静触头悬挂在气候试验室顶部,保持位置不变,压力传感器嵌于隔离开关静触杆内(如图2所示),隔离开关动触头钳夹紧触杆产生的接触力就是所检测的接触压力,也就是隔离开关动静触头间的夹紧力。试验前自然环境温度 $14 \text{ }^{\circ}\text{C}$,依照 GW46-126 隔离开关设计要求规定的额定接触压力($(46 \pm 2.5) \text{ kg}$ 对应接触压力范围为 $426.3 \sim 475.3 \text{ N}$)对其进行调整,满足要求后进行 6 个温度点($14, 60, 20, 0, -40, -60 \text{ }^{\circ}\text{C}$)环境温度试验。每个温度点进行 5 次接触压力循

环检测,读取检测数值,动静触头间接触压力测试结果如表1所示。

表1 不同温度下动静触头间接触压力测试值

Table 1 Test value of contact pressure of dynamic and static contacts at different temperatures N

序号	接触压力					
	-60 ℃	-40 ℃	0 ℃	14 ℃	20 ℃	60 ℃
1	491.0	470.4	458.4	449.8	429.3	399.2
2	499.6	471.4	454.8	447.8	432.5	397.5
3	513.3	467.9	440.2	449.5	435.0	396.1
4	527.5	464.8	460.1	450.5	439.2	394.4
5	526.8	471.5	474.9	450.2	440.9	399.4
平均值	511.6	469.2	457.6	449.6	435.4	397.3

表1给出了6种温度下触头接触压力的测试值,包括每个温度下5次测试的动静触头间接触压力值及5次测试结果的平均数值。由表1可知,60 ℃时的平均接触压力最小,为397.3 N,小于其设计范围内的最小值426.3 N;-60 ℃时平均接触压力最大,为511.6 N,接触压力相对环境温度为60 ℃时增加了114.3 N,增加28.77%,说明动静触头间的接触压力受环境温度影响较大,同时动静触头间接触压力511.6 N大于其设计要求的最大值475.3 N。利用表1中的测试温度及其所对应接触压力测试结果的平均值绘制隔离开关动静触头间平均接触压力随温度变化曲线,如图3所示。

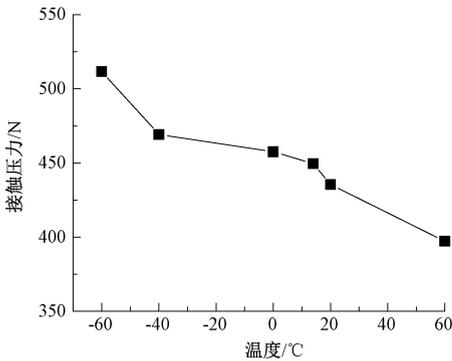


图3 动静触头间接触压力与环境温度的关系

Figure 3 Relationship between contact pressure of dynamic and static contacts and environmental temperature

由图3可知,隔离开关动静触头间接触压力随环境温度的增加而变小。以试验前温度14 ℃时测得的触头接触压力数值为基准,温度升高动静触头接触压力变小,温度下降接触压力增加,因此产品安装时要注意高温环境因接触压力减小带来的电阻升高、触头损坏的问题。

综合考虑图3中动静触头间接触压力与环境温度的曲线关系及表1中的测试数据,可以判断GW46-126型高压隔离开关的合理温度工作范围

为-40~40 ℃,和GW46-126型高压隔离开关的设计工作温度范围(-40~40 ℃)一致。

3.2 温度对动静触头相对位置的影响

动静触头相对位置体现在夹持位置的变化和动静触头间接触压力的变化。根据结构相对位置关系,相同情况下,动静触头相对位置越小,位移传感器测得的相对位移量越大,动静触头与高压电缆间接触压力越大。相对位置的测试利用位移传感器实现。位移传感器安装在单相隔离开关动触头的一个动触片上(如图2所示),使位移传感器移动探针能够接触对侧动触片,通过动触片压缩探针检测动触片相对位移量。在自然环境14 ℃下安装调试,设定初始数值,满足检测要求后,分别进行6个温度点的位置检测,相对位置(位移传感器测得的相对位移量)测试结果如表2所示。

表2 不同温度下动静触头相对位置测试值

Table 2 Relative position test value of dynamic and static contacts at different temperatures mm

序号	相对位置					
	-60 ℃	-40 ℃	0 ℃	14 ℃	20 ℃	60 ℃
1	7.226	7.535	7.668	7.902	7.650	7.728
2	7.241	7.49	7.665	7.864	7.726	7.745
3	7.244	7.437	7.721	7.877	7.701	7.801
4	7.298	7.422	7.712	7.907	7.673	7.797
5	7.303	7.448	7.713	7.896	7.675	7.792
平均值	7.262	7.466	7.695	7.889	7.685	7.772

由表2中测试结果平均数值可知,动静触头的接触点相对位置受环境温度变化的影响,其影响曲线如图4所示。

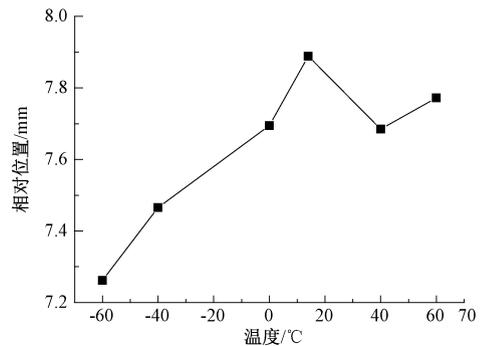


图4 动静触头相对位置与环境温度的关系

Figure 4 Relationship between relative position of dynamic and static contacts and environmental temperature

由表2和图4可知,随着温度升高,动静触头的接触点相对位置(即间隙)总体趋势增大,即位移传感器测得相对位移量变大。当自然环境14 ℃时动静触头接触点相对位置最大,为7.889 mm,-60 ℃时动静触头接触点相对位置最小,为7.262 mm。如果以试验前14 ℃动静触头

相对位置数值为基准,温度下降则动静触头间隙减小,位移传感器测得相对位移量减小;温度上升则动静触头间隙增大,位移传感器测得相对位移量增大。动静触头相对位置变小,其受到的接触压力变大;反之,接触压力变小。因此,在安装调整过程中需要考虑不同温度时的动静触头接触压力,以保证高温时触头能紧密配合,低温时动静触头接触压力不能超过额定接触压力范围。

3.3 温度对机构输出扭矩的影响

扭矩传感器安装在机构输出轴上,如图2所示。试验测试前,首先取下隔离开关导电箱体驱

动连杆,空载操作。调整、固定试验装置零部件之间相对位置,保证机构输出扭矩小于 $10\text{ N}\cdot\text{m}$,减小预装扭矩值和额外负载,以减小测量误差。然后连接隔离开关驱动连杆,检测自然环境 $14\text{ }^\circ\text{C}$ 下隔离开关基准扭矩,并进行6个温度点环境温度试验。测试数值为合闸与分闸的扭矩最大峰值,测试结果如表3所示。

表3给出了不同温度条件下隔离开关分、合闸时的峰值扭矩测试结果。利用表3中的测试结果绘制隔离开关分、合闸平均操作峰值扭矩随环境温度变化曲线,如图5所示。

表3 不同温度下隔离开关分、合闸操作峰值扭矩

Table 3 Peak torque in opening and closing operation of isolation switch at different temperatures $\text{N}\cdot\text{m}$

序号	峰值扭矩											
	$-60\text{ }^\circ\text{C}$		$-40\text{ }^\circ\text{C}$		$0\text{ }^\circ\text{C}$		$14\text{ }^\circ\text{C}$		$20\text{ }^\circ\text{C}$		$60\text{ }^\circ\text{C}$	
	合	分	合	分	合	分	合	分	合	分	合	分
1	194	214	107	91	75	30	92	47	102	49	132	85
2	188	188	110	93	72	69	87	42	103	57	146	89
3	202	167	109	88	71	43	84	37	108	60	116	89
4	193	193	110	86	71	42	92	47	103	58	123	87
5	197	201	107	83	80	42	82	38	102	60	135	84
平均值	194	192	108	88.2	73.8	45.2	87.4	42.2	103	56.8	130	86.8

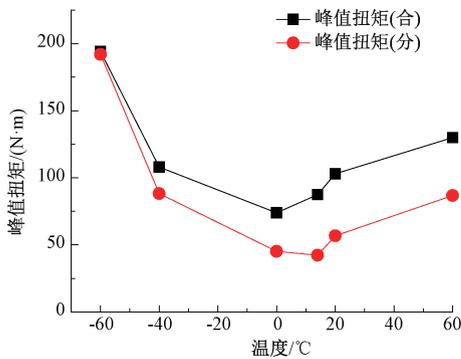


图5 峰值扭矩与环境温度的关系

Figure 5 The relationship between peak torque and environmental temperature

由表3和图5可以看出:①分闸状态, $14\text{ }^\circ\text{C}$ 温度下测得分闸机构输出峰值扭矩最小,为 $42.2\text{ N}\cdot\text{m}$; $-60\text{ }^\circ\text{C}$ 温度下测得分闸机构输出峰值扭矩最大,为 $192\text{ N}\cdot\text{m}$,是 $14\text{ }^\circ\text{C}$ 温度下分闸机构输出扭矩的4.5倍; $60\text{ }^\circ\text{C}$ 时分闸机构输出峰值扭矩为 $86.8\text{ N}\cdot\text{m}$,是 $14\text{ }^\circ\text{C}$ 温度下分闸机构输出扭矩的2.06倍。②合闸状态, $0\text{ }^\circ\text{C}$ 温度下测得分闸机构输出峰值扭矩最小,为 $73.8\text{ N}\cdot\text{m}$; $-60\text{ }^\circ\text{C}$ 温度下测得分闸机构输出峰值扭矩最大,为 $194\text{ N}\cdot\text{m}$,是 $14\text{ }^\circ\text{C}$ 温度下分闸机构输出扭矩的2.2倍; $60\text{ }^\circ\text{C}$ 时分闸机构输出峰值扭矩为 $130\text{ N}\cdot\text{m}$,是 $14\text{ }^\circ\text{C}$ 温度下分闸机构输出扭矩的

1.49倍。③相同温度下,隔离开关合闸状态的操作峰值扭矩大于分闸状态时的操作峰值扭矩。④隔离开关分、合闸操作输出峰值扭矩随着温度的升高呈现出先减小再增加的趋势。综上所述,隔离开关分、合闸操作峰值扭矩受外界环境温度的影响较大,且温度对于隔离开关分闸状态操作峰值扭矩的影响大于合闸状态。

3.4 温度对机构输出角度影响

隔离开关电动机构输出角度允许变化范围为 $(88\pm 2)^\circ$,空载条件下重复角度误差 0.1° 。为检测机构输出角度受环境变化的影响程度,调整机构分合闸限位,自然环境 $14\text{ }^\circ\text{C}$ 下将机构输出角度调整到 $86^\circ\sim 90^\circ$,同时为保证隔离开关能够正常检测操作,在机构箱内安放3个 100 W 和1个 30 W 的加热器, $0\text{ }^\circ\text{C}$ 以上时加热器不工作, $0\text{ }^\circ\text{C}$ 及以下加热器工作效果如表4所示,机构分合闸操作角度试验测试数据如表5所示。

表4 机构箱体温度

Table 4 Temperature of mechanism box

序号	试验温度/ $^\circ\text{C}$	机构箱内温度/ $^\circ\text{C}$	加热器功率/ W
1	0	14.9	130
2	-40	-16.7	200
3	-60	-33.9	300

由表5中检测数据表的数值可得,隔离开关

表5 不同温度下隔离开关分、合闸机构输出角

Table 5 Output angle of opening and closing mechanism of isolation switch at different temperatures (°)

序号	-60 °C		-40 °C		0 °C		14 °C		20 °C		60 °C	
	合	分	合	分	合	分	合	分	合	分	合	分
1	86.45	86.48	87.46	87.48	86.97	87.17	87.89	87.39	88.18	88.2	89.26	89.33
2	86.64	86.57	87.65	87.58	87.26	87.24	88.01	87.18	88.2	88.3	89.2	89.21
3	86.62	86.65	87.6	87.66	87.17	87.27	88.91	87.96	88.4	88.5	88.98	89.17
4	86.5	86.61	87.54	87.59	86.94	87.07	88.63	87.27	88.4	88.47	89.03	88.84
5	86.67	86.61	87.6	87.65	87.03	87.04	88.78	87.36	88.43	88.56	89.11	88.93
平均值	86.58	86.58	87.57	87.59	87.07	87.16	88.44	87.43	88.32	88.41	89.12	89.00

电动机构的输出角受外界环境的变化影响。自然环境 14 °C 温度时分、合闸时机构平均输出角分别为 87.43°、88.44°; -60 °C 温度时分、合闸时机构平均输出角分别为 86.58°、86.58°, 相对于检测前(自然环境 14 °C) 输出角变化分别为 0.85°、1.86°; 60 °C 温度时分、合闸时机构平均输出角分别为 89°、89.12°, 相对于检测前(自然环境 14 °C) 输出角变化分别为 1.57°、0.68°。隔离开关角度的变化一方面受所带负载的影响, 另一方面受温度的变化影响, 隔离开关分、合闸时机构输出角受外界环境温度的影响曲线如图 6 所示。

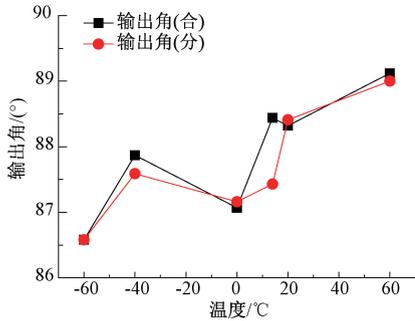


图6 机构输出角与环境温度的关系
Figure 6 Relationship between output angle of mechanism and environmental temperature

由图 6 可以看出, 隔离开关机构输出角随温度的总体变化趋势为随着温度的升高而增加, 变化范围均小于 2°, 满足高压隔离开关机构输出角允许变化范围。

3.5 温度对回路电阻的影响

在上述温度下, 应用回路电阻仪检测 100 A 试验电流条件下隔离开关回路电阻, 检测接入点分别为隔离开关的下端接线板和上端静触杆, 结果如表 6 所示。利用表 6 中数据绘制隔离开关回路电阻随环境温度变化曲线, 如图 7 所示。

从图 7 可以看出, 隔离开关的回路电阻随环境温度增加而不断增加。60°时电阻比-60°时电阻增加了 103.4 μΩ, 增加了约 41%, 可见高压隔离开关回路电阻受环境温度影响较大。

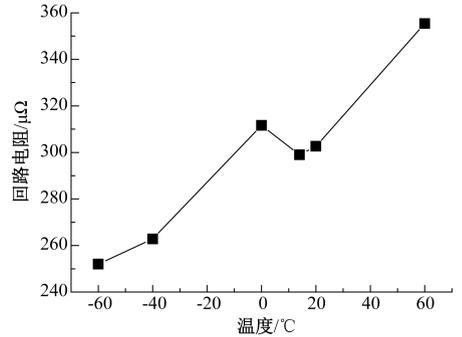


图7 隔离开关回路电阻与环境温度的关系
Figure 7 Relationship between circuit resistance of isolation switch and environmental temperature

表6 不同温度下隔离开关回路电阻

Table 6 Circuit resistance of isolation switch at different temperatures μΩ

序号	回路电阻					
	-60 °C	-40 °C	0 °C	14 °C	20 °C	60 °C
1	247	262	311	297	322	347
2	250	272	328	291	297	363
3	255	265	316	299	301	370
4	248	255	307	304	291	342
5	260	260	296	304	302	355
平均值	252	262.8	311.6	299	302.6	355.4

4 结论

在气候试验室, 通过测试 GW46-126 型剪刀式高压隔离开关在 60、20、14、0、-40、-60 °C 环境下的触头接触压力、触头相对位移、驱动扭矩、机构输出角度等参数的性能变化, 以及 100 A 电流下温度对隔离开关电阻的影响, 得到以下结论:

(1) 环境温度对于隔离开关动静触头间接触压力、动静触头相对位置、开合闸操作峰值扭矩影响较大, 对机构输出角影响较小。

(2) 随环境温度的增加, 隔离开关动静触头间接触压力变小, 动静触头相对位置数值增大, 分合闸状态扭矩非线性变化, 且环境温度对于隔离开关开闸状态操作峰值扭矩的影响大于合闸状态。

(3)该项研究结果直接反映 GW46-126 型隔离开关的机械性能参数及电学参数在高低温环境下随温度的变化规律,可为高压隔离开关的户外应用提供一定的指导。

参考文献:

- [1] 江岳文,钱佳琦.基于改进蚁群算法的专用输电工程电气设备优化选型[J].郑州大学学报(工学版), 2016, 37(4):15-19.
- [2] PURUSHOTHAMAN S, DE LEON F. Heat-transfer model for toroidal transformers[J]. IEEE transactions on power delivery, 2012, 27(2): 813-820.
- [3] 李宁. 变电站高压隔离开关自动控制技术的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.
- [4] 滕松, 刘新, 李毅, 等. 电网中高压隔离开关触头接触温升实验测试分析[J]. 电子测量技术, 2019, 42(8): 119-122.
- [5] 黄涛, 冯世涛, 李劼, 等. 高压隔离开关触头温度实时监测技术的研究[J]. 通信电源技术, 2018, 35(3): 241-242.
- [6] 周雨琪. 基于振动分析法的高压隔离开关分合状态振动研究[D]. 南京: 东南大学, 2018.
- [7] 刘煌煌, 张国灿, 林向宇, 等. 110 kV 高压隔离开

关线夹发热故障的分析与研究[J]. 电工技术, 2017,32(2): 90-91.

- [8] 李竞, 王福亚, 张任, 等. GW46-126 型高压交流隔离开关的研制[J]. 机电工程技术, 2016, 45(2): 93-96.
- [9] 全国电工电子产品环境条件与环境试验标准化技术委员会. 电工电子产品环境试验 第2部分: 试验方法 试验 A: 低温: GB/T 2423. 1—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [10] 全国电工电子产品环境条件与环境试验标准化技术委员会. 电工电子产品环境试验 第2部分: 试验方法 试验 B: 高温: GB/T 2423. 2—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [11] 吴旭涛, 马波, 李秀广, 等. 基于有限元分析的不同电压等级 GIS 隔离开关温度场仿真研究[J]. 高压电器, 2018, 54(11): 160-164.
- [12] 韩彬, 林集明, 陈维江, 等. 隔离开关操作速度对特快速瞬态过电压的影响[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(31): 12-17.
- [13] MOMBELLO E E, MOLLER K. New power transformer model for the calculation of electromagnetic resonant transient phenomena including frequency-dependent losses[J]. IEEE transactions on power delivery, 2000, 15(1): 167-174.

Experimental Study on Temperature Resistance of GW46-126 High Voltage Isolation Switch

QIU Zhengxin¹, LIU Benxue², ZHANG Saipeng³, LI Fuyong¹, AO Ming³, FENG Shitao³, ZHANG Ren¹

(1.State Grid Ping Gao Group Co., Ltd., Pingdingshan 467001, China; 2.School of Mechanical and Power Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 3.Electric Power Research Institute, State Grid Jilin Electric Power Co., Ltd., Changchun 130021, China)

Abstract: High voltage isolation switch was widely used in power grid. Its performance directly determined the safety of electricity consumption. In order to evaluate the performance of GW46-126 high voltage isolation switch at different ambient temperatures, the experimental studies on the contact clamping force, contact relative position, mechanism operating torque, output angle of mechanism, circuit resistance and other parameters of the isolation switch within the temperature range of ± 60 °C in climate laboratory were conducted to get the relationship between the qualities and temperature. Through experimental data collection and analysis, the impact of environmental temperature change on the mechanical and electrical characteristics of isolation switch was determined, which could provide important theoretical support for further optimizing the performance of GW46-126 high-voltage isolation switch and improving the applicability of environmental temperature.

Key words: high voltage isolation switch; ultra high-low temperature; contact pressure; relative position; temperature resistance