

隔离开关导体表面优化处理与成本控制

秦泳 曲欣 杨国华 / 河南平高电气股份有限公司

隔离开关是一种裸露在大气环境中的一种电器产品,为了保证隔离开关在工作年限内可靠工作,必须限制各种材料的发热温度,使其不超过一定温度,以保证多个通流接触区域不至温升超标。

热的传递有三种形式,传导、对流、辐射,隔离开关的工作环境是在大气中,空气是热的不良导体,故传导对热量的散失对整个热量传递可以忽略不计,因此,对流与辐射起到主导作用。对流换热是一个复杂的现象,简单地说,流体的物理性质:如黏度、膨胀系数、热导率、比热等;流体运动的情况:是自然对流还是强迫对流,是层流还是紊流。隔离开关在温升试验状态,风速 ≤ 0.5 m/s,因此,试验状态为自然对流,不存在强迫对流,

竖板周围有较冷(或较热)的流体的情况是最普通最简单的自然对流问题,贴近垂直平板表面的边界层如下图所示,为方便起见,图中水力边界层和热力边界层重叠了,这只是普朗特数为1时才会发生,当竖直板的温度比周围流体低时,所论的物理问题将相反,但数学处理是一样的。

一开始边界层内是层流,但视流体的物性和温度梯度不同,在离前缘某个距离后将开始转化为湍流,根据经验,当普朗特数和格拉晓夫数的乘积近似为时层流将转化为湍流,格拉晓夫数的定义式为

$$G_r = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} \propto \frac{\text{浮力}}{\text{黏性力}} \quad (1)$$

式中 g —— 9.8;

β —— 膨胀系数;

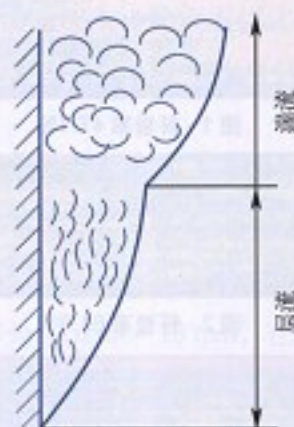


图 1

L —— 导体长度 (m);

T_s —— 导体表面温度 (K);

T_∞ —— 环境温度 (K)。

为确定与数,要知道在膜温或参考温度时的所有物性参数如表1所示,在式1中 β 是体积膨胀系数。

导体的对流换热系数,如表2所示。

$$h = \frac{CK(G_r P_r)^{1/4}}{L}$$

$$\text{平均膜温} \quad T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2}$$

式中 T_s —— 环境温度;

T_∞ —— 发热体表面温度。

$$\text{对流传热速率} \quad q = Ah(T_s + T_\infty) \quad (2)$$

第二种传热方式辐射:

总发射力 E 是单位时间内单位面积发射表面所发射的辐射能,总发射力只是物体本身所发射的辐射能,并不包含物体表面对外来投射辐射的反射辐射,气体几乎

表1 一个大气压下空气的物性值

温度膜温 /K	密度 / (kg/m ³)	比热容 / (J/kg · K)	黏度 / (m ² /s)	热导率 / (W/m · K)	热扩散率 / s	P_r	膨胀系数 1/K
200	1.768	1.006 1	1.328 9	7.490	0.018 09	0.101 6	0.739
250	1.412	1.005 3	1.559 0	11.31	0.022 27	0.156 8	0.722
300	1.174	1.005 7	1.846 2	15.69	0.026 24	0.221 6	0.708
350	0.998	1.009 0	2.075	20.76	0.030 03	0.298 3	0.697
400	0.882	1.014 0	2.286	25.90	0.0336 5	0.376 0	0.689

表2 导体的对流换热表

形状		GPr	C	a
竖直圆柱体	层流	$10^4 \sim 10^6$	0.59	1/4
	湍流	$10^6 \sim 10^{12}$	0.13	1/3
水平圆柱体	层流	$10^4 \sim 10^6$	0.53	1/4
	湍流	$10^6 \sim 10^{12}$	0.13	1/3

不反射辐射热,表面总发射力的大小取决于①材料或表面;②表面状态(包括表面粗糙度);③温度有效辐射是单位面积表面在单位时间内离开表面的总辐射能。

因此,在单位时间内的所放射的辐射能为

$$\Phi = \varepsilon \delta_b A (T_s^4 - T_{\infty}^4)$$

ε —— 物体的表面黑度,如表3所示;

δ_b —— 斯忒藩-波尔茨曼常数,其值为

$$5.67 \times 10^{-8} [(\text{m}^2/\text{K}^4)]。$$

表3 物体的表面黑度 ε

物体表面状况	ε	物体表面状况	ε
绝对黑体	1	抛光的铁	0.27
绿、灰、黑漆	0.95	抛光的铜	0.15
无光泽的铁	0.88	抛光的铝	0.08

导体的表面温度达到稳定的温度值时,单位时间内导体的发热与散热达到一个稳定的平衡,即

$$I^2 R = \Phi + q \quad (3)$$

此时电流即达到峰值。

试验比较验证:一段长1900 mm、 $\Phi 130 \times 8$ 6005-T5 合金铝管。通5500 A 电流,导体电阻19 $\mu\Omega$,环境温度17.5℃,导体表面温升不超过75 K,导体水平放置,试验方案

$$T_s = (273 + 17.5) \text{ K} = 290.5 \text{ K}$$

$$T_{\infty} = T_s + 75 \text{ K} = 365.5 \text{ K}$$

$$L = 1.9 \text{ m}$$

$$\beta = 0.708 \text{ (从表1中查询)}$$

$$\nu = 1.8462$$

$$Pr = 0.2216$$

$$A = 0.7 \text{ m}^2 \text{ (导体表面积)}$$

1) 计算对流传热速率

$$G_r = \frac{g\beta(T_s - T_{\infty})L_3}{\nu^2} = \frac{9.8 \times 0.708(243 - 290.5)1.9^3}{1.846^2}$$

$$= 3.3 \times 10^{10}$$

$$G_r Pr = 3.3 \times 10^{10} \times 0.2216 = 7.4 \times 10^9$$

从表2判断,在该条件下,对流属于湍流。

对流散热系数

$$h = \frac{CK(G_r Pr)^{1/4}}{L} = \frac{0.13 \times 0.02624 \times (3.3 \times 10^{10} \times 0.2216)}{L}$$

$$= 3.5$$

$$\text{对流传热速率 } q = Ah(T_{\infty} - T_s) = 0.7 \times 3.5(343 - 290.5) = 203.6$$

2) 表面辐射按两种方案试验

1) 表面不处理,裸铝状态,表面辐射率 $\varepsilon = 0.22$ (表面非抛光状态)

$$\Phi = \varepsilon \delta_b A (T_s^4 - T_{\infty}^4) = 0.22 \times 5.67 \times 10^{-8} \times 3.14 \times 0.065^2 \times 1.9 \times (365^4 - 290.5^4) = 103$$

表面刷银粉漆,表面辐射率 $\varepsilon = 0.90$

$$\Phi = \varepsilon \delta_b A (T_s^4 - T_{\infty}^4) = 0.90 \times 5.67 \times 10^{-8} \times 3.14 \times 0.065^2 \times 1.9 \times (365^4 - 290.5^4) = 424$$

上述基本传热数据已经得出,分别带入式(3)得

$$I = \sqrt{\frac{\Phi + q}{R}} = \sqrt{\frac{103 + 203.6}{19}} \text{ A} = 4013 \text{ A}$$

实际温升试验电流4300 A。

$$I = \sqrt{\frac{\Phi + q}{R}} = \sqrt{\frac{203.6 + 424}{19}} \text{ A} = 5744 \text{ A}$$

实际温升试验电流5600 A。

通过理论计算与实际试验增加导体表面黑度可提高25%的通流能力,理论计算与实际温升试验数据200~300 A的误差,因上述计算的数据气体黏度、膨胀系数是从实验室试验整理出来的数据,故与在实际具体试验过程中会有一定的误差。

在正常型式试验状态下,其导体的试验条件是固定的,其对流与空气流动、环境温度有关,不能在试验条件下改动,空气中热量传导可忽略不计,唯一能够改变的是辐射,辐射散热提高导体表面黑度,可提高25%的通流能力,通常铝材的通流设计按1.5 A/mm²,表面处理通流能力可达到1.875 A/mm²,这意味着,在同样的额定电流,表面处理,可节约导体原材料25%。导体的重量降低,对GW16/17类型曲臂折叠隔离开关的成本设计尤为重要,其导体内部的传动构件与平衡弹簧的设计均可以小型化设计,与常规的导体表面不处理比较,一相额定电流5000 A的导电系统,可节约设计成本5%。如果增加运输成本,管理成本等,可节约8%左右。**EM**

(收稿日期:2009.06.01)