

电业工人学习文选 10

电气设备的温度测定

舒 正 芳 編著

水利电力出版社

前 言

絕緣材料的寿命与温度有着很大关系，实际运行經驗証明：用油浸过的或者浸在油中的棉制品、絲制品、紙張以及相类似的有机性的 A 級絕緣材料，超过額定温度后，温度每增高 8°C ，寿命就要縮短一半。当 A 級絕緣材料用在 95°C 温度时，它的寿命有 20 年；假使用到 110°C 时，寿命就会減少到只有 5 年；用到 150°C 时，寿命只有几天！同样，由石棉、云母或类似的無机性含有膠合剂的制成品的 B 級絕緣材料，当超过額定温度后，温度每增高 10.5°C ，它的寿命也会減低一半。

根据上面的解釋，可以使我們很清楚的了解到，运行温度越低，絕緣材料的寿命就越長。是不是可以由此得出結論：电气設備在制造时便規定为較低的运行温度，以便得到較長的寿命呢？显然，这样做是不允許的，因为这样做会使电气設備的造价增高，材料的利用率降低。根据苏联 OCT/НКТП 8555/1472 的規定：

A 級絕緣材料的最高运行温度为 105°C ；

B 級絕緣材料的最高运行温度为 125°C ；

不含膠合剂的云母片、瓷質、石英、玻璃或类似的無机性的 C 級絕緣材料，最高运行温度沒有規定。

电气設備允許运行的温度，一般是由絕緣材料来决定的。对于本身沒有与絕緣材料直接相接触的帶电或者不帶电的部份，它的运行温度通常是受附近絕緣材料和接头的發熱

程度所限制的，也就是說決定這些部份的运行溫度時，還需要考慮附近的絕緣材料，不能因此超過規定的最高溫度。如以直流電動機的整流子為例，它的运行溫度就與整流子連接的綫圈的絕緣材料有關係：綫圈為 *A* 級絕緣時，整流子允許运行溫度為 100°C ；如為 *B* 級絕緣時，整流子允許运行溫度就高至 120°C 。但電氣設備的某些部份，跟附近絕緣材料不發生影響，或者影響很小時，它的允許运行溫度必需考慮到機械方面不能因此產生不良的後果。例如軸瓦就應該考慮到溫度太高會使錫金熔化；銅和鋁導體等的機械強度，在溫度昇高後就會迅速下降等等。

由於运行溫度直接關係到電氣設備的壽命，因此有系統的認識溫度測定工作是十分必要的。

目 录

前 言

第一章 一般常識	4
第一节 溫度測定的意义	4
第二节 最大容許溫度与溫昇	5
第三节 溫昇曲綫	6
第四节 最热点	9
第二章 溫度測定的方法	10
第一节 經驗判断	11
第二节 液体溫度計測定	12
第三节 电阻法測定	13
第四节 电阻溫度計測定	18
第五节 热电偶測定	20
第六节 变色漆測定	21
第三章 电气設備的溫昇許可值	22
第一节 电机的溫昇許可值	22
第二节 变压器的溫昇許可值	27
第三节 其他电气設備的溫昇許可值	30
第四节 短时过载或短路时电气設備的容許溫度	31
第五节 一般电气設備最热点与溫昇的差值	32
第四章 溫昇試驗	33
第一节 感应电动机的溫昇試驗	37
第二节 直流电机的溫昇試驗	40
第三节 变压器的溫昇試驗	42
第四节 靜电电容器的溫昇試驗	46
第五节 开关的溫昇試驗	48
第六节 電纜的运行溫度測定	49
第七节 連接器的溫昇試驗	51

第一章 一般常識

第一节 温度測定的意义

电气设备的温度测定是監視电气设备是否运行正常的一种重要方法，如果电气设备内部發生故障，它会表现在温度上反常的升高；另一方面我們还可以从温度測定的結果中判断是否可以在不影响电气设备的寿命下增加負荷。例如油浸自冷却的变压器，根据短期过負荷前的絕緣油（即变压器油）温度升高的数值，就能决定过負荷的百分数与过負荷時間；

根据过負荷前油的温昇值来决定許可过負荷時間 表 1

过負荷 % (以額定負荷为准)	过負荷前上層油温昇值为下列数值时，变压器許可过負荷時間(小时:分)					
	18°C	24°C	30°C	36°C	42°C	48°C
5	5:50	5:25	4:50	4:00	3:00	1:30
10	3:50	3:25	2:50	2:10	1:25	0:10
15	2:50	2:25	1:50	1:20	0:35	—
20	2:05	1:40	1:15	0:45	—	—
25	1:35	1:15	0:50	0:25	—	—
30	1:10	0:50	0:30	—	—	—
35	0:55	0:35	0:15	—	—	—
40	0:40	0:25	—	—	—	—
45	0:25	0:10	—	—	—	—
50	0:15	—	—	—	—	—

註：1.本表参考“变压器运行及維護規程”1951年6月燃料工業出版社第1版。

2.此表系指莫斯科变压器工厂制造的变压器而言。

如表 1 所示。当变压器过負荷前上層油面的温昇 为 30°C ，当超过变压器額定負荷 15% 运行时，許可过負荷的时间 就为 1 点 50 分鐘。

此外对于檢修后的电气设备进行温度昇高試驗，可以正确的判定电气设备是否已經达到檢修質量标准的要求；譬如經過修理后的电机当負載运行时，如果各部份温度昇高的数值超出規定值，那就說明修理的質量是不能令人滿意的。

由此可見，电气设备进行温度測定是有着多方面的意义的。

第二节 最大容許温度与温昇

电气设备的寿命既然与运行时本身的温度有密切的关系，所以它在运行时的最高温度就不能超过一定数值，否則，将会使电气设备在电气或机械性能方面遭到破坏，引起设备的过早损坏。保証电气设备安全連續运行的最高温度，就称为电气设备的最大容許温度。它的数值是随电气设备的种类及制造标准而不同的；例如

敷設于露天的或地下的(單独)紙質絕緣电纜的芯綫，电压为下列各值时，最大容許温度为：

当电压为 3 仟伏以下 最大容許温度为 80°C 。

当电压为 6 仟伏以下 最大容許温度为 65°C 。

当电压为 10 仟伏以下 最大容許温度为 60°C 。

任何电气设备不是固定用在一个地方或特定的季节中的，它允許在不同的地方、不同的季节中使用，但是我們应如何規定它的运行温度呢？如果只是一般的規定电气设备的最大容許温度，那末在热的地方或热的季节中，电气设备許

可的負載就要較冷的地方或冷的季节中小，因此电气設備就無法規定出額定容量。所以我們还采用温昇这一規定。所謂温昇是指电气設備超过周圍空气的温度值。例如某电动机的运行温度为 100°C ，而周圍空气温度是 35°C 时，它的温昇为： $100 - 35 = 65^{\circ}\text{C}$ 。

温昇值还可为电气設備运行監視工作提供帮助。当电气設備的温昇值在运行过程中發生显著变化时，假如不是由于外界的負載条件的改变，那就說明电气設備本身發生了故障。

在決定温昇值时，所采用的周圍空气温度是有一定的規定的，例如电机的周圍空气温度采用 35°C 。当实际使用地点的周圍空气温度与規定值不一致时，电气設備的許可負載需要加以修正。就电动机为例，当周圍空气温度不同于 35°C 时，电动机允許超过的电流值如表 2。

表 2

周圍空气的温度 ($^{\circ}\text{C}$)	允許超过的电流百分值 (以額定电流为标准)
低于 25	+ 8 %
30	+ 5 %
35	—
40	- 5 %
45	- 10 %
50	- 15 %

註：表中“+”表示允許增大。

表中“-”表示需要減少。

第三节 温 昇 曲 綫

沒有运行的电气設備，它的温度是与周圍空气的温度相同。但是將它投入运行以后，在运行过程中，电气設備本身就会产生各种損失，如鉄損、銅損、旋轉設備的風損等等，这些損失变为热量，使得电气設備各部分的温度逐漸升高。投入运行的時間越短，电气設備本身的温度与周圍空气的温

度相差越小，所以产生的热量也很少散到周圍空气中。随着运行時間的加長，电气設備本身的温度越昇越高，与周圍空气的温度相差也越来越大，这时損失所产生的热量，大部

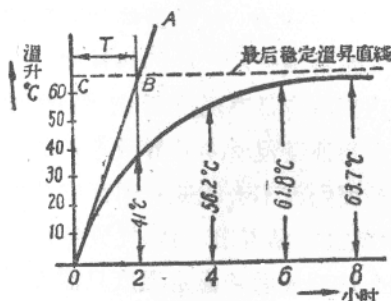


圖 1 温昇曲綫

分散到周圍空气中。

当电气設備的温昇达到某一数值时，損失所产生的热量就全部散到周圍空气中，在这种状况下就成为热的稳定状态。圖 1 表示一台电动机从停止状态到長期連續

运行时的温昇与运行時間的关系。从圖中可以看出：运转 2 小时后，电动机温昇为 41°C ；运转 4 小时后，它的温昇为 56.2°C ；运转 6 小时后，它的温昇为 61.8°C ；运转 8 小时后，它的温昇为 63.7°C ；由这例子可以算出它的平均温度上昇速度来(即單位時間內的温昇值)：

投入运转的第一个 2 小时(从 0 点到 2 点)：

平均温度上昇速度 $= 41 \div 2 = 20.5$ 度/小时；

投入运转的第二个 2 小时(从 2 点到 4 点)：

平均温度上昇速度 $= (56.2 - 41) \div 2 = 7.6$ 度/小时；

投入运转的第三个 2 小时(从 4 点到 6 点)：

平均温度上昇速度 $= (61.8 - 56.2) \div 2 = 2.8$ 度/小时；

投入运转的第四个 2 小时(从 6 点到 8 点)：

平均温度上昇速度 $= (63.7 - 61.8) \div 2 = 0.95$ 度/小时。

上面的計算結果很明显的証实了我們开始时的說明——电气設備的温度上昇速度是随着运转時間越来越小的。

圖 1 的曲綫我們就称为温昇曲綫，按照这种曲綫，电气設備要达到最后的稳定温度，需要相当長的时间。

在圖 1 中通过 O 点作温昇曲綫的切綫 OA ，切綫 OA 与最后稳定温昇直綫相交于 B 点，綫段 BC 就是發热時間常数 T 。發热時間常数 T 是指电气設備損失所产生的热量如果不向周圍空气散走，全部用来达到本身最高温度所需要的时间。假如电气設備損失所产生的热量沒有向外界散走，那么电气設備的温昇速度在任何時間內就不会改变，因而它是按照直綫 OA 变化的，由圖 1 中就很容易看出。当电气設備是在这种情况下昇高温度时，那么达到最后的稳定温度只需要 T 小时了。从圖 1 中还可看出，它的發热時間常数 T 等于 2 小时，也就是說这台电动机損失所产生的热量，如果不向外界散走，那么它只需要經過 2 小时就可达到最后的稳定温度。

現在讓我們以發热時間常数 T 作为時間的計算單位，那么經過 T 、 $2T$ 、 $3T$ 、 $4T$ 的运行時間，温昇所佔最高温昇值的数值分別如表 3。

表 3

时 間	T	$2T$	$3T$	$4T$
温 昇 最高温昇	0.632	0.865	0.95	0.982

由表 3 可以看出，电气設備运行的時間經過 $4T$ ，温昇值已經达到最后稳定温昇的 98.2%，也就是說与最后稳定状态的温昇值只相差 1.8%，所以我們可以將电气設備經過 $4T$ 時間的温昇值作为最后稳定状态的温昇。由此引起的誤差是非常小的。

同一个电气设备的各个部分，由于具有不同的重量、热容量等，所以它的各部分也就有着不同的发热时间常数。例如变压器铁心、线圈、变压器油都有着不同的发热时间常数。就以油浸自冷式 5600 仟伏安，35 仟伏，50 週波的三相变压器为例：铁心的发热时间常数等于 47.5 分，线圈的发热时间常数等于 2.7 分，变压器油的发热时间常数等于 82 分；变压器油的发热时间常数为铁心的 1.73 倍，为线圈的 30.4 倍。同样，电机的各种线圈，整流子，轴承等彼此也都有着不同的发热时间常数。

第四节 最 热 点

电气设备运行以后，它的温度一定要升高，经过了相当长的时间，例如经过 $4T$ 的时间以后，它的温度将趋于稳定。但这是不是说在它的任何地方温度都相同呢？事实上是不一样的。电气设备由于构造上的关系，同一部件各部分散热条件并不是都相同的，所以有的地方温度就比较高，有的地方温度就比较低。以变压器为例，铁心、线圈、线圈沟中的变压器油、靠油箱壁的变压器油及油箱的外表面等，它们的温升与变压器的高度有关，现分别绘成曲线 1、2、3、4 和 5，如图 2 所示。

从图中可以看出：铁心的上部温升较下部稍高；线圈的温升则跟高度的关系很大，在线圈总高 0.7~0.75 处最热，最热的地方比最低地方温度高达 30°C 。曲线 3、4、5 随冷却状况而不同，图 2 只表示一般情况；它也表示出各处的温升是不同的。

一开始我们就说过，绝缘材料的寿命与温度有很大关

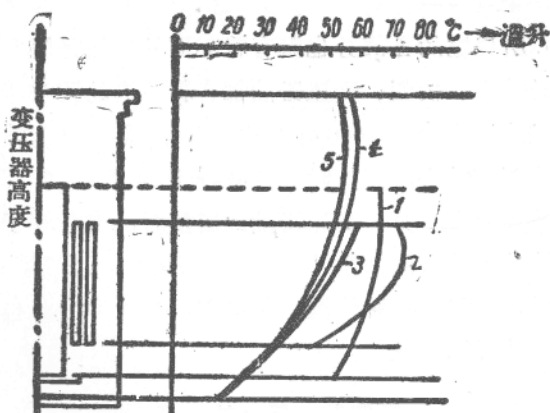


圖 2 油浸变压器溫昇与变压器高度的关系
1—鉄心；2—綫圈；3—綫圈溝中变压器油；4—靠油箱壁的
变压器油；5—油箱的外表面。

系；但必須指明，那里所指的溫度不是最低的溫度，而是指
电气設備本身最熱的地方的溫度。由于这种最熱溫度通常發
生的範圍不大，所以称为最熱點。

既然最熱點同电气設備的壽命有着最密切的關係，我們
自然沒有理由忽視它。

第二章 溫度測定的方法

电气設備的溫度測定通常采用：經驗判斷，液体溫度計
測定，電阻法測定，電阻溫度計測定，热电偶測定以及變色
漆測定等幾種。現在分別介紹如下。

第一节 經驗判断

經驗判断是最簡單、最方便的方法，但是它需要依靠工作人員本身所积累的經驗来进行判断，因而不能十分正确的决定电气设备的运行温度。例如：对变电所內电气设备的温度进行测定时，我們可以利用各种不同熔点的腊燭来测定，假如某一电气设备用 100°C 熔点的腊燭来测时，不会熔化，如果用 80°C 熔点的腊燭来测就会熔化，那么可以确定該电气设备的温度是在 $80\sim 100^{\circ}\text{C}$ 之間，但是究竟是多少度呢？这就需要結合工作人員的經驗，并根据腊燭熔化程度来判断了。

既然經驗判断这一方法不够正确，为什么在現場中还普遍采用呢？因为它具备了下列优点：

1. 测定的方法簡單，不需要貴重的仪表来进行测定，因而在测温仪器不全的厂矿或地点都可以进行工作。

2. 对于某些电气设备的温昇测定值不需要正确数字时，用这一方法是很方便的。例如工業企業中的低压电气设备的監視工作，通常都只需要知道温度有沒有超过最大容許温度，或者与以往运行温度相比較有沒有显著差別就可以了，在这种情况下如能利用工作人員的經驗，作一粗略的判断是很有益的。对于某些电气设备运行温度有怀疑时，如温度較往常有显著昇高，或温度过高，估計超过最大容許温度时，便可再利用表計来测，这样可以节省测定温度時間。

如設備本身已裝有测温表計时，那自然就不需用經驗判断了。

在經驗判断中最常采用的是手测，就是用手测摸电气設

备的外壳，但必需注意安全，不可触及任何帶电或轉动部分。在用手摸电气設備外壳时，还應該預先檢查地綫是否良好。

手測的温度随各人的感觉而不同，無法提供数字，但可以根据具体工作条件，积累經驗。例如可以利用裝有溫度計的电气設備的發热情况来比較手的感覺。

此外，还可以用腊燭或焊錫来試測帶电設備的温度，一般腊燭在 $50\sim 60^{\circ}\text{C}$ 时就开始熔化。焊錫熔化的温度（指錫、鉛、銻合金的軟焊錫）为： $192\sim 299^{\circ}\text{C}$ 。但不适用于含錫 5 % 的軟焊錫。

另外还可以利用电气設備本身的裝置，例如直流电动机整流子片、軸瓦的烏金的变色来判断这些部分是否受过高热。

利用上述办法进行判断是很粗略的，如果沒有把握，那就需要利用表計来进行測定。

第二节 液体溫度計測定

將液体溫度計放置在电气設備需要測定温度的地方，那么溫度計就指示出这一部分的温度。利用这种方法測定温度比較簡單，但是不能測出电气設備內部的最高温度。

測定溫度計必須具备下列条件：

1. 与測定物体相接触，溫度計应有明确并且一定的温度指示值；
2. 溫度計不能太大，以免与被測物体接触后，使被測物体的温度發生变化；
3. 溫度計應該具有相当高的灵敏度，以便在測定不同的

温度时，溫度計能有明显的指示值；

4. 使用方便，便于攜帶。

通常采用的液体溫度計有水銀溫度計和酒精溫度計兩種。

液体溫度計适用于測定电气設備的綫圈，金屬部分，空气或設備的表面温度。

用在磁場强度变化大的地方，不宜采用水銀溫度計，因为水銀溫度計中的水銀会因为磁場强度的变化而發生渦流，

产生热量，这就会影响測定結果的准确性；在这种場合，就要采用酒精溫度計或其它溫度計。

在測定电气設備冷却空气进出口温度时，可以將液体溫度計掛在支架小孔中，不过應該防止受电气設備發散的热量影响，否則將會得不出正确的測定結果。

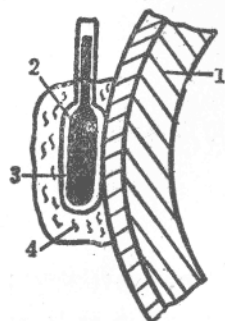


圖 3 用溫度計測定發熱体

1—綫圈； 2—溫度計；
3—錫箔或鋁箔； 4—棉紗。

用液体溫度計測定發熱体表面温度时，应將溫度計小球包上二三層錫箔或鋁箔，然后把它和發熱体表面紧密地接

触，再在外面包以棉織物或者干燥的棉紗，以免热量散失。它的放置情况如圖 3。

第三节 电阻法測定

任何导电的物体，它本身的电阻是随着温度而改变的，电阻法測定就是利用这一原理。

假定： R_{15} = 导体在假定温度 15°C 时的电阻(欧)，

R_1 = 导体在温度 $t_1^\circ\text{C}$ (冷状态) 时的电阻 (欧),

R_2 = 导体在温度 $t_2^\circ\text{C}$ (热状态) 时的电阻 (欧),

α = 电阻的温度系数。

根据金属导体受热后电阻增加的原理, 我们可以得到:

$$R_1 = R_{15} [1 + \alpha(t_1 - 15)] \quad (1)$$

$$R_2 = R_{15} [1 + \alpha(t_2 - 15)] \quad (2)$$

(1) 除 (2), 得:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{1 + \alpha(t_1 - 15)}{1 + \alpha(t_2 - 15)} = \frac{t_1 + \frac{1}{\alpha} - 15}{t_2 + \frac{1}{\alpha} - 15}.$$

铜线的温度系数为 $\frac{1}{249.5}$, 代入上式可以得到:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{t_1 + 234.5}{t_2 + 234.5} \quad (3)$$

如果冷状态的温度 t_1 及电阻 R_1 已经测知, 那只要测出热状态时的电阻 R_2 , 就可以利用 (3) 式计算出发热的温度 t_2 。

例如有一电气设备的线圈在室温 20°C 时, 测得电阻为 5.21 欧, 在热状态时, 测得为 5.45 欧, 试求它的温升值?

解: 代入 (3) 式得:

$$\frac{5.21}{5.45} = \frac{20 + 234.5}{t_2 + 234.5},$$

所以 $t_2 = 32.5^\circ\text{C}$.

温升为 $t_2 - t_1 = 32.5 - 20 = 12.5^\circ\text{C}$.

利用电阻法进行测定时, 应该根据实际情况, 采用不同的方法。如果线圈是静止不动的 (例如变压器的线圈, 电机

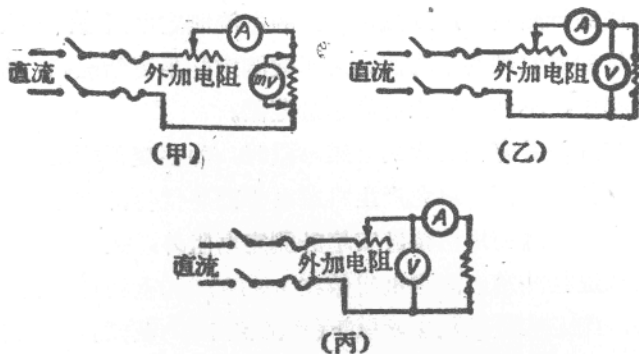


圖 4 直流电阻的測定

的定子等)，可以通以直流电，并接入一个伏特計和一个安培計，如圖 4 (甲) 是用来測量低电阻的，它能測量最小电阻值 0.001 欧。采用 (甲) 圖的測定方法，毫伏特計已避免了被测繞圈接点上电阻的影响。

圖 (乙) 接綫与圖 (甲) 不同的地方是沒有避免被测繞圈接点电阻的影响，它适用測定比圖 (甲) 还高的电阻，但被测电阻值应远較电压表本身的电阻为小，通常应在 $\frac{1}{100}$ 以下。

圖 (丙) 适合測定更高的电阻，通常可測定数十欧到数百欧。

被测电阻值可以根据下式进行計算：

$$r = \frac{U}{I} \text{ 欧}$$

式中 r = 被测电阻值 (欧)；

U = 伏特計指示值 (伏)；

I = 安培計指示值 (安)。

在进行测定时，应该用不同的电流测定电阻值三次以上，然后取它们的平均值。为了使测定结果更为准确，在测定过程中，不能改变表计的测量范围。

在测量具有相当大的电感电阻时，如要变更测定电流，应将伏特计拆离，以免产生自感电势而将伏特计烧坏。

除了上述利用伏特计安培计测定电阻外，还可以采用电桥法来进行测定。测定电阻值在 $1 \sim 100\,000$ 欧的可以利用单电桥；测定电阻值在 1 欧以下（可测到 10^{-6} 欧）的可以利用双电桥；但苏联“标准”工厂出产的复用电桥既可以按照单电桥接法来测定，又可以按照双电桥接法来测定，可以测定 $10^{-6} \sim 10^6$ 欧的电阻。

单电桥的原理如图 5。当 K_1, K_2 合上后，调整变阻臂

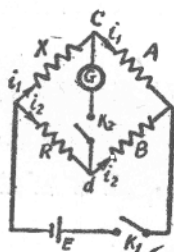


圖 5 單电桥原理圖

G —檢流計； A, B, R —已知电阻； X —被測电阻； K_1, K_2 —电鍵； E —電池。

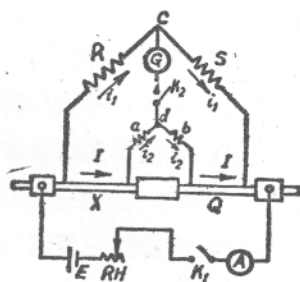


圖 6 双电桥原理圖

R ，使檢流計 G 指針不發生偏轉（即無电流通过），那么就可根据变阻臂 R 和电桥其他二臂 A 及 B 的电阻值，計算出被测电阻 X 的电阻。当檢流計中沒有电流通过时， c, d 兩点間一定沒有电位差，因此通过被测电阻 X 的电流 i_1 一定与通过 A 臂电流相同；同样，通过 R 臂的电流 i_2 一定与 B 臂