

交流电度表的接线

JIAOLIU DIANDUBIAO DE JIEXIAN

楊阿德著

中国工业出版社

交流电度表的接线

楊阿德著

中国工业出版社

本小册子介绍交流电度表的接线方法和读数的求算，并例举可能发生的错误接线，解释电度表不转或反转的原因，首先介绍了基本知识，可供有关电工阅读。

交流电度表的接线

杨阿德著

(根据原煤炭工业出版社原印)

煤炭工业部书刊编辑室编辑 (北京郑长安街煤炭工业部大楼)

中国工业出版社出版 (北京西单36号)

北京市书刊出版业营业登记证出字第110号

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $1 \frac{7}{8}$ · 字数 33,000

1960年5月北京第一版

1963年5月北京新一版·1970年7月北京第四次印刷

印数 35,771—150,980 · 定价(科二) 0.17元

*

统一书号: 15165·2509 (煤炭-129)

目 录

第一章 基本知識	5
第1节 有关的数学公式	5
第2节 有关的量电公式	5
第3节 三相交流电路的向量关系	6
第二章 单相电度表的接綫	9
第1节 测量有功电度时的接綫	9
第2节 测量无功电度时的接綫	15
第3节 测量功率因数时的接綫	18
第4节 可能发生的錯誤接綫	20
第三章 两原件电度表的接綫	24
第1节 两原件电度表对三相电能的測定	24
第2节 两原件电度表对三相无功电度的測定	26
第3节 两原件电度表接入后不轉的原因	28
第四章 三原件电度表的接綫	31
第1节 測定三相有功电能时的接綫	31
第2节 測定三相无功电能时的接綫	35
第3节 三原件电度表易发生的錯誤接綫	36
第五章 三相虛能电度表的接綫	39
第1节 三相虛能电度表的工作原理	39
第2节 测量三相虛能时的接綫	41
第3节 测量三相实能时的接綫	45
第4节 三相虛能表測值仅为一相的原因	49

第六章 联合接綫	51
第1节 联合接綫的意义	51
第2节 联合接綫的原则	51
第3节 联合接綫的条件	52
第七章 在正常运轉中电度表突然反轉的原因	52
第1节 有功电度表反轉	52
第2节 无功电度表反轉	53
第八章 从电度表的讀数中求算电度	54
第1节 直接获得实际电度数	54
第2节 間接获得实际电度数	55

第一章 基本知識

第1节 有关的数学公式

本書在求証电度表的接綫原理时，广泛地应用着三角学中的一些关系公式及函数值。讀者必須把这些关系式及函数值記住，以便容易地理解証題。本書常用的数学关系式有如下几个：

1. 余角函数， $\cos(90^\circ - \phi) = \sin \phi$

2. 两角和的函数， $\cos(a + b) = \cos a \cos b - \sin a \sin b$

3. 两角差的函数， $\cos(a - b) = \cos a \cos b + \sin a \sin b$

本書常用到的函数值有：

1. 余弦函数：

$$\cos 0^\circ = 1, \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}, \cos 60^\circ = \frac{1}{2}, \cos 90^\circ = 0,$$

$$\cos 120^\circ = -\frac{1}{2}, \cos 150^\circ = -\frac{\sqrt{3}}{2}, \cos 180^\circ = -1.$$

2. 正弦函数：

$$\sin 0^\circ = 0, \sin 30^\circ = \frac{1}{2}, \sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}, \sin 90^\circ = 1,$$

$$\sin 120^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}, \sin 150^\circ = \frac{1}{2}, \sin 180^\circ = 0.$$

第2节 有关的量电公式

1. 单相有功电度 = 电压 × 电流 × 时间 × 电流与电压相

角的余弦。

或 $A_R = U i t \cos \phi$ 。

2. 单相无功电度 = 电压 × 电流 × 时间 × 电流与电压相角的正弦

或 $A_L = U i t \sin \phi$ 。

式中 A_R ——有功电度，单位瓦-时；

A_L ——无功电度，单位乏-时；

U ——电压，单位伏；

i ——电流，单位安；

t ——时间，单位小时；

ϕ ——电流与电压之相角。

3. 三相有功电度，在三相负荷平衡时：

$$A_R = 3U_{ao} i_{ao} t \cos \phi' = \sqrt{3} U_{ab} i_{ao} t \cos \phi';$$

在三相负荷不平衡时：

$$A_R = U_{ao} i_{ao} t \cos \phi' + U_{bo} i_{bo} t \cos \phi'' + U_{co} i_{co} t \cos \phi'''。$$

4. 三相无功电度，在三相负荷平衡时：

$$A_L = 3U_{ao} i_{ao} t \sin \phi' = \sqrt{3} E i_{ao} t \sin \phi'$$

式中 U_{ao} , i_{ao} 等——分别为相电压及相电流；

$E = U_{ab}$ ——为线电压。

第3节 三相交流电路的向量关系

如向量图(图1)所示，三相交流电路有着下列关系。

1. 电压的量值(绝对值)关系：

$$\begin{aligned} U_{ab} &= \sqrt{3} U_{ao} = U_{ba} = U_{oa} \sqrt{3} = U_{bo} = \sqrt{3} U_{bo} \\ &= U_{cb} = \sqrt{3} U_{cb} = U_{ca} = \sqrt{3} U_{co} = U_{ao} = \sqrt{3} U_{ao} \end{aligned}$$

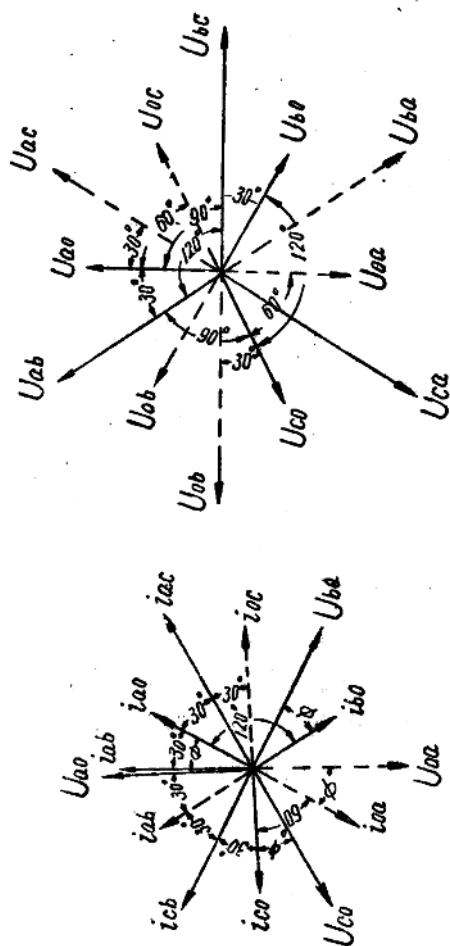


图 1 三相交流电路中的电压矢量图及电流矢量图

2. 电压的相角关系:

U_{ab} 較 U_{ao} 越前 30° , 但較 U_{co} 落后 90° ; U_{bo} 較 U_{ao} 越前 30° , 但較 U_{co} 落后 90° ; U_{co} 較 U_{ao} 越前 30° , 但較 U_{bo} 落后 90° 。 U_{ao} , U_{bo} , U_{co} 彼此相距 120° ; U_{ab} , U_{bo} , U_{ao} 也彼此相距 120° ; U_{oa} , U_{ob} , U_{oc} 彼此相距 120° ; U_{ba} , U_{cb} , U_{ao} 也彼此相距 120° ; U_{oa} 与 U_{bo} 与 U_{co} 相距 60° ; U_{ob} 与 U_{ao} 与 U_{co} 也相距 60° ; U_{oc} 与 U_{ao} 与 U_{bo} 也相距 60° ; U_{ao} 与 U_{oa} 彼此相距 180° 等等。这些相角关系, 只要讀者留心看, 是不难了解的。

电流与电流之間的量值关系及相角关系也如此。当然必須三相負荷平衡。

在电感性負荷时, 电流落后于电压一个 ϕ 角, 而且这个 ϕ 角, 不随电压方向的改变而变化。即: U_{ao} 与 i_{ao} 相距一个 ϕ 角, U_{oa} 与 i_{oa} 也相距一个 ϕ 角, 且均为之落后于 U 。

同时, 三相电流还有如下关系, 即:

$$\begin{aligned}\bar{i}_{ao} + \bar{i}_{co} &= -\bar{i}_{bo} = i_{ob}; \\ i_{bo} &= -\bar{i}_{ao} - \bar{i}_{co} = \bar{i}_{oa} + \bar{i}_{oc}; \\ \bar{i}_{ao} - \bar{i}_{co} &= \bar{i}_{ao} + \bar{i}_{oo} = i_{ac} = \sqrt{3} i_{ao}.\end{aligned}$$

且, i_{ac} 較 i_{ao} 落后 30° 等等关系。这些关系, 只要讀者仔細研究向量图, 也是很容易了解的。

第二章 单相电度表的接线

第1节 测量有功电度时的接线

单相电度表，在测量有功电度时，其接线方法可分如下几种：

1. 在低电压小电流的单相回路中，如小用户的照明用电等，电度表是直接接于馈电线路上的。全部负荷电流都通过电度表的电流线圈，电度表的电压线圈承受着全线路电压（通常是相电压）。图2所示为一照明电路中的电度表。其电流线圈与负荷成串联，而电压线圈与负荷成并联。

因为负荷是白热灯，所以电流与电压同相， ϕ 角等于

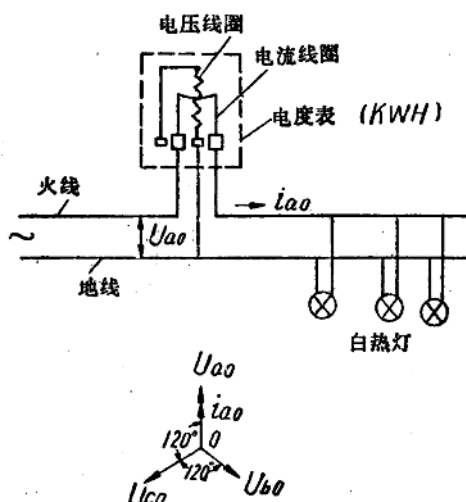


图2 单相有功电度表，在测量单相有功电度时的接线图

0. 电度表所测得的有功电度为:

$$A_R = U_{ao} i_{ao} \cos \phi t = U_{ao} i_{ao} t.$$

电压越高, 电流越大, 铝盘转得就越快。时间越长, 所积累的数字 W 就越大。因此, 上式可写成:

$$W = U_{ao} i_{ao} t \cos \phi.$$

必须说明, 单相电度表并不是在任何情况下都有地

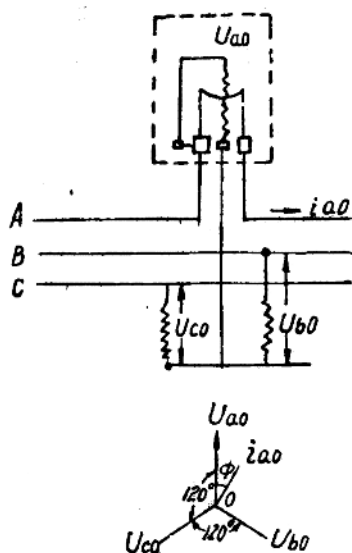


图 3 具有人造中性点的单相电度表接线

线(中性线)可以利用的。

如当系统是 Δ 形接线时, 就无地线可用。但我们还必须测量电度, 因此, 就有必要谈谈单相电度在无中性线可利用时的接线问题及求算电度的方法。

1) 人造中性点法。如图 3 所示, 在 3 相回路中, 选择两个阻抗值与电度表电压线圈阻抗值相等的附加线圈, 与电度表的电压线圈接成 Y 形。这时, 电度表的电压线圈即承受相电压, 如图 3 的矢量图所示。

2) 计算补偿法。如图 4 所示, 将电度表的电压线圈跨接于两相之间, 使之承受线电压。然后将电度表的读数除以 1.5, 方可求得单相回路的实际电度。不过必须指出,

这种做法只在负荷功率因数等于一时才正确。也就是说，这种做法限制于电阻性电路。

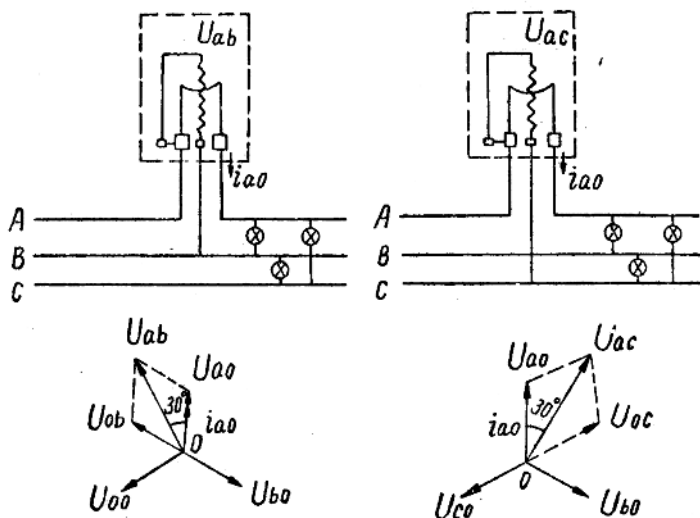


图 4 单相有功电表在三相三线制电阻性电路的接入法

1.5 的来源如图 4 的向量图所示。因为单相电度为：

$$A_R = U_{ao} i_{ao} t.$$

可是电度表的读数为：

$$\begin{aligned} W &= U_{ab} i_{ao} \cos 30^\circ t \\ &= \sqrt{3} U_{ao} i_{ao} \frac{\sqrt{3}}{2} t = U_{ao} i_{ao} \frac{3}{2} t = U_{ao} i_{ao} t 1.5 \end{aligned}$$

较实际电度大 1.5 倍，所以须将读数除以 1.5。因为：

$$\frac{W}{1.5} = \frac{U_{ao} i_{ao} t 1.5}{1.5} = U_{ao} i_{ao} t = A_R.$$

2. 在低电压大电流的回路中，如在企业变电所里的低压配电柜上。这时，单相电度表的接线法如图5，甲及乙所示。电度表的电流线圈经过电流互感器与线路成串连，电压线圈直接并联于线路的相线与地间，承受全相电压。

下面我们研究一下图5甲、乙两种接法的特点。首先，要明确的是通过电压线圈的电流 i_B 来自系统的一次侧，通过电流线圈的电流应来自电流互感器的二次侧。

尽管两种接法不同，电流线与电压线有连接之处，电流 i_B 只能通过大地与系统中点构成回路，而不会流到变流器中去。然而必须指出，这种电流的流动方向及在各处的分布情况，只有在电流互感器为加极性时，且按图甲的接法，电流互感器的一个端子接地，按图乙的接法，电流互感器的一个端子不接地才有可能。如果图甲变流器的一个端子（必须是电度表电流线圈与电压线圈相连的一个端子）不接者，则电度表的电压线圈中无电流通过，因无回路。而如果图乙变流器的任何一个端子接地，则造成短路。因为电度表的电压线圈阻抗很大，电流线圈的阻抗较小。于是，电流 i_B 不经过电压线圈，而经过电流线圈。加之，在这种接线中，电压引线又不装保险，情形就更危险了。所以，在按图乙的接法时，电流互感器禁止接地。

其次，在这两种接法中，电路中各部电流量的分布也是值得研究的。假定负荷功率因数等于1时。那么电流 i_1 与电压 U_0 同相。电流 i_B 落后于电流 i_1 90° （因电度表在构造上，为造成移动磁场，其电压线圈之电感很大）。因变流器是和极性者，电流 i_2 在外部电路中是与电流 i_1 同相的。所以

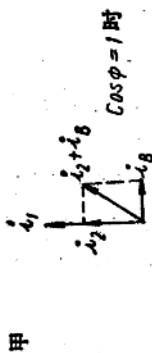
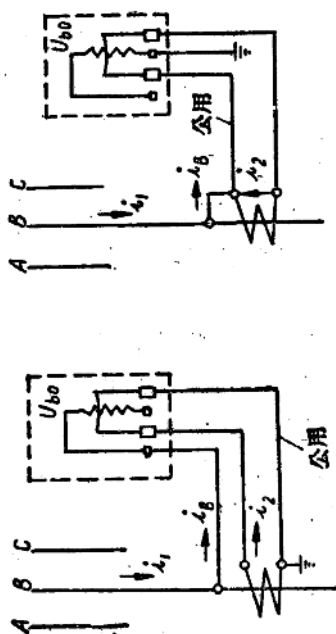


图 5 在系统中点接地，低电压大电流线路中，单相电度表的接入法，及通过电表的电流矢量图

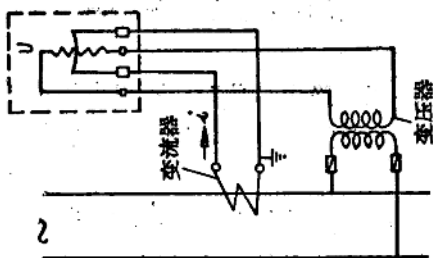


图 6 在高压系统中，单相电度表的接入法

电度表的引綫公共部分所通过的电流为 i_1 与 i_2 之几何和。如图 5 的矢量图所示。当負荷力率小时，通过公共部分的电流加大。

3. 在高电压电路中，此时，不仅电度表的电流綫圈需通过电流互感器連接，而且电压綫圈也需通过电压互感器連接，如图 6 所示。

电度表，特别是单相电度表，在全部通过互感器接入时，必須首先遵守的条件，就是使电流通入綫圈的方向，与在直接接入綫路时相一致；否則电度表在接入后可能反轉。想使电度表一接就正确，就必须預先知道互感器的极性。国制变流器均为加极性，而变压器均为减极性（与安装有关）。因此，在接电度表时，可先将电压綫与电流綫相連的端鈕拆开，将电压綫端，或电流綫端对調后才接入，或先接入；若反轉才对調引綫。

事实上，单相电度表在接入单相回路时，反轉是很容易消除的。只有在三相回路中接入时，若有反轉現象才需多加分析。

4. 用来直接测定三相电度时，此时单相电度表的接入法如图 7 所示。电度表电流綫圈所通过的电流为两相（在图 7 中为 $A-C$ 相）电流的几何差。电度表承受相間电压。因为在三相負荷平衡时： $A_R = 3U_a i_a \cos \phi t$ 。在本命题中，虽电流 i_{ao} 較电流 i_{ao} 滞后了 30° ，但电压 U_{ac} 也較电压 U_{ao} 滞后了 30° 。因此，电流与电压的相角不变，即 $\phi = \phi'$ 。

因此： $W_{ao} = U_{ao} i_{ao} \cos \phi' t$

$$= \sqrt{3} U_{ao} \sqrt{3} i_{ao} \cos \phi t = 3 U_{ao} i_{ao} \cos \phi t.$$

所以电度表的讀数包括三相电度。不过必須注意在按这种接法时，电度表的电压綫圈及电流綫圈必須允許承受綫电压及 $\sqrt{3}$ 倍額定电流才行。

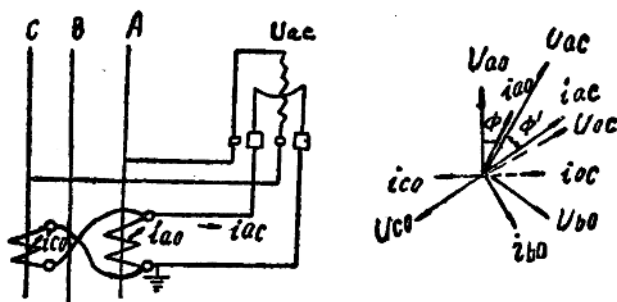
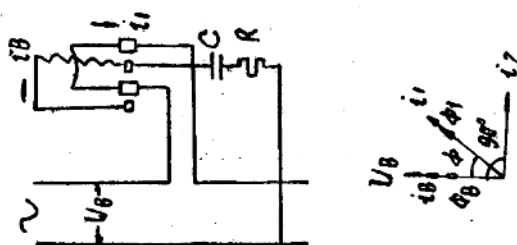


图 7 用一只单相电度表，直接測定三相有功电度时的接入法

第 2 节 测量无功电度时的接綫

1. 在单相回路中，此时，电度表的接綫手續非常麻煩。因为需要与电度表电压綫圈串联一电容器，以抵銷电压綫圈的感抗，使通过电压綫圈的电流 i_B 与电压 U_B 同相，才能測得无功电度。但是，电度表电压綫圈的有效电阻是很小的，当电容器的容抗与电压綫圈的感抗相等时，則会引起串联(电压)諧振。使通过电度表电压綫圈的电流超过額定值，形成測值的誤差，甚至燒燬电度表。因此，除与电压綫圈串联一电容器外，还必须串联一电阻，以維持电流 i_B 在原定值。这样一来，就导致了在配制过程中的許多計算。

配制后的单相电度表如图 8 所示。 C 为电容器， R 为



8图 单相电度表改为无功电度表的接线图及矢量图

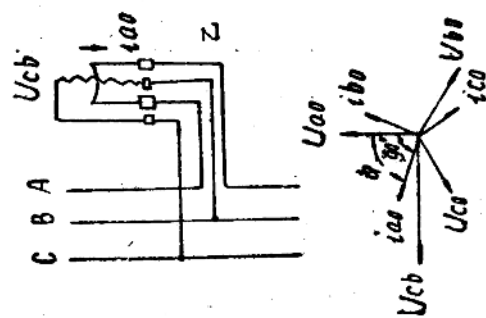
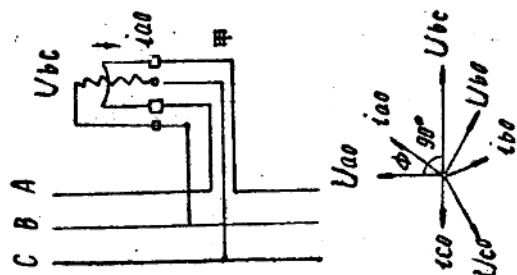


图 9 单相电度表, 用来测定三相无功电度时的接线法。甲—为电容性电路; 乙—为电感性电路。