

楊阿德著

交流电度表的接綫

JIAOLIU DIANDUBIAO DE JIEXIAN

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本小册子介绍交流电度表的接线方法和读数的求算，并列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。

1427

交流电度表的接线

楊 阿 德 著

*

煤炭工业出版社出版(社址：北京东长安街煤炭工业部)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 084 号

煤炭工业出版社印刷厂排印 新华书店发行

*

开本 787×1092 公厘 $\frac{1}{32}$ 印张 $1\frac{13}{16}$ 字数 33,000

1960年5月北京第1版 1960年5月北京第1次印刷

统一书号：15035·1072 印数：00,001—11,000册 定价：0.21元

电度表是量度电能的唯一器具，只要有电能的地方都要利用它，也只有利用它，我们才能精确地测定电能，才能知道发送、接受及消耗了多少电量，从而各个企业部门才能计算生产成本及生活消费，国家才能有计划地进行生产。

现代工业企业中广泛应用的是交流电能，特别是三相交流电能。交流电气设备（如感应电动机等）是极其有趣的。它不但要消耗有功电能，同时还要消耗无功电能。无功电能是不能为我们产生有效功的，但它要由发电机或变压器来负担，给国民经济造成损失。我们必须知道，并且必须设法减少发电机或变压器所负担的无功电能。因此，在测量有功电能的同时，还必须测量无功电能。

为了减少发电机所负担的无功电能，通常是在电感性用户方面装设补偿器（电容器、调相机等），借补偿器所发生的无功电能，抵销电感性负荷所需的无功电能，从而减少发电机向用户所支付的无功电能。为此，我们还需要测定补偿器所发生的无功电能，即纯电容性的无功电能。

有功电能及无功电能消耗的比較，习惯上是用功率因数来表征的。我们在测定有功电能的同时，其所以要测定无功电能的根本目的，正是为了求得精确的平均功率因数。

由上所述可知，电能的测定是具有经济意义的。但是，我们应该怎样进行接线，才能使电度表正确地为我们测定所需要的电能呢？如果接线错误，对电度表的读数都有一些什么影响呢？在需要测定无功电能，而没有无功电度表可

資利用時（只有有功電度表），或在需要測定有功電能，而沒有有功電度表可資利用時（只有三相虛能表），我們又怎樣把電度表互代呢？電度表互代後的接綫原理及計算電度的方法又怎樣呢？這一系列問題，就是我們需要進行研究和解決的問題。

三相電路有着一定相位及向量關係，電度表在構造上有着一定依據。我們確切地遵循着這些關係，並按照着這些依據來進行電度表的接綫，才能使電度表測得我們所需要的量值。

為了發揮電度表的萬能性，即為了使專為一種用途而製造的電度表能夠適合於多種用途（測定有功電度、無功電度），著者特根據個人的現場經驗和理論知識，在這本小冊子里比較系統地介紹了有關電度表接綫方面的常識。

雖然電度表接綫對一般電工來說不算新奇，在普通電工原理書籍中也有論述，但專門介紹電度表接綫的書籍還不多。因此，這本書的出版，對電工同志、尤其對從事配電盤二次接綫及從事配電盤值班的人員會有幫助。

本書所示的接綫圖，都是從理論上分析，並可從實際運用中得到正確答案的。但也難免有錯誤，如按圖26乙的方法把三相虛能表改為有功表時，所測得的數值較實際數值略小（誤差超過 -2% ）。

本書是在業餘時間寫的，時間不足，加之著者水平又低，不當之處可能很多，希望讀者多予指正。

楊阿德于陝西銅川礦務局王家河煤礦機電科

1959年10月25日

目 录

序 言

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 三相虚能电度表的接綫	39
第1节 三相虚能电度表的工作原理	39
第2节 测量三相虚能时的接綫	41
第3节 测量三相实能时的接綫	45
第4节 三相虚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 联合接綫的原則	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 × 時間 × 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，单位伏特；

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：

$$\begin{aligned} U_{ab} &= \sqrt{3} U_{ao} = U_{ba} = U_{oa} \sqrt{3} = U_{bc} = \sqrt{3} U_{bo} \\ &= U_{cb} = \sqrt{3} U_{ob} = U_{ca} = \sqrt{3} U_{oc} = U_{ac} = \sqrt{3} U_{ac} \end{aligned}$$

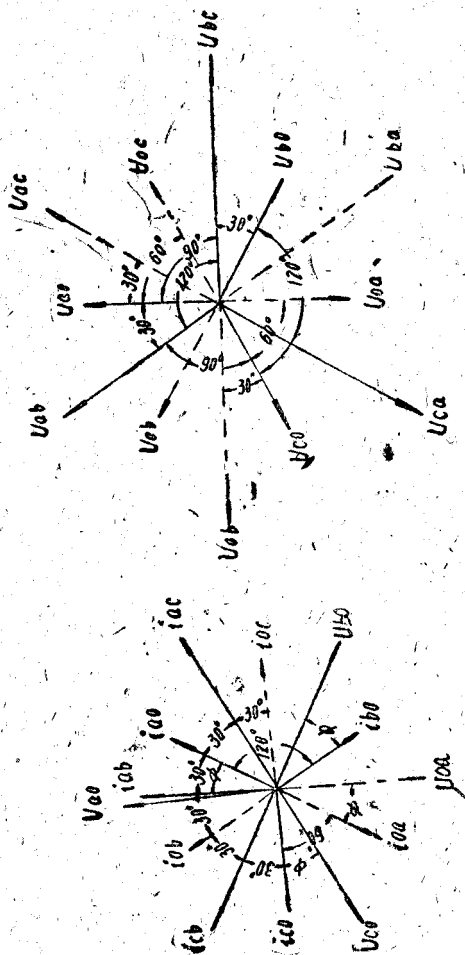


图 1 三相交流电路中的电压矢量图及电流矢量图

2. 电压的相角关系:

U_{ab} 較 U_{ao} 越前 30° , 但較 U_{co} 落后 90° ; U_{bc} 較 U_{bo} 越前 30° , 但較 U_{ao} 落后 90° ; U_{ca} 較 U_{co} 越前 30° , 但較 U_{bo} 落后 90° 。 U_{ao} , U_{bo} , U_{co} 彼此相距 120° ; U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} 也彼此相距 120° ; U_{oa} , U_{ob} , U_{oc} 彼此相距 120° ; U_{ba} , U_{cb} , U_{ac} 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:

$$\overline{i_{ao}} + \overline{i_{co}} = -\overline{i_{bo}} = \overline{i_{ob}};$$

$$\overline{i_{bo}} = -\overline{i_{ao}} - \overline{i_{co}} = \overline{i_{oa}} + \overline{i_{oc}};$$

$$\overline{i_{ao}} - \overline{i_{co}} = \overline{i_{ao}} + \overline{i_{oc}} = \overline{i_{ac}} = \sqrt{3} \overline{i_{co}}$$

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

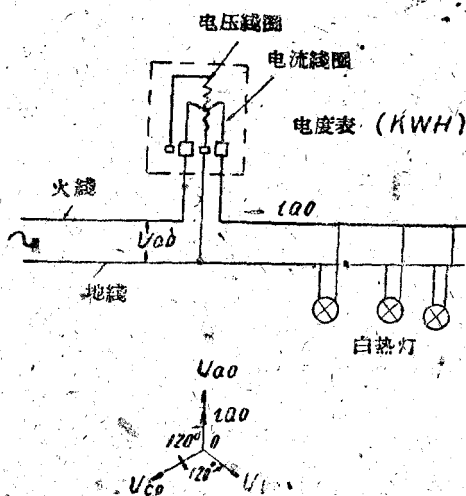


图2 单相有功电度表，在测量单相有功电度时的接线图

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, 铝盘轉得就越快。時間越长, 所积累的数字 W 就越大。因此, 上式可写成:

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

必須說明, 单相电度表并不是在任何情况下都有地

綫(中性綫)可以利用的。

如当系統是 Δ 形接綫时, 就无地綫可用。但我們还必须測量电度, 因此, 就有必要談談单相电度在无中性綫可利用时的接綫問題及求算电度的方法。

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綫圈阻抗值相等的附加綫圈, 与电度表的电压綫圈接成 Y 形。这时, 电度表的电压綫圈即承受相电压, 如图 3 的矢量图所示。

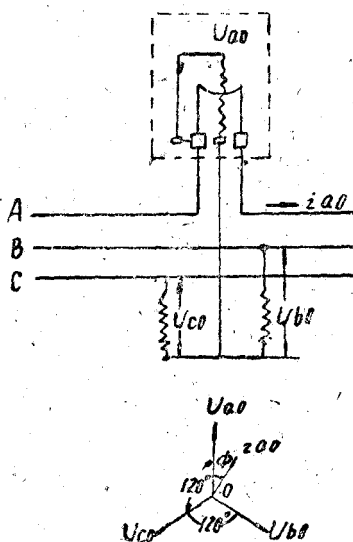


图 3 具有人造中性点的单相电度表接綫

2) 計算补偿法。如图 4 所示, 将电度表的电压綫圈跨接于两相之間, 使之承受綫电压。然后将电度表的讀数除以 1.5, 方可求得单相回路的实际电度。不过必須指出,

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。

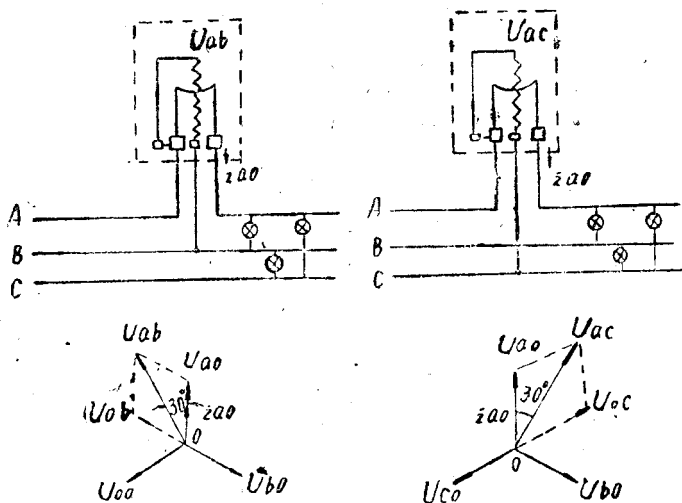


图 4 单相有功电度表在三相三线制电阻性电路的接入法

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：

$$W = U_{ab} i_{ao} \cos 30^\circ t = \sqrt{3} U_{ao} i_{ao} t$$

$$i_{ao} \frac{\sqrt{3}}{2} t = U_{ao} i_{ao} \frac{3}{2} t = U_{ao} i_{ao} t 1.5$$

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，单相电度表的接綫法如图5，甲及乙所示。电度表的电流綫圈經過电流互感器与綫路成串連，电压綫圈直接并联于綫路的相綫与地間，承受全相电压。

下面我們研究一下图5甲、乙两种接法的特点。首先，要明确的是通过电压綫圈的电流 i_B 来自系統的一次測，通过电流綫圈的电流应来自电流互感器的二次測。

尽管两种接法不同，电流綫与电压綫有連接之处，电流 i_B 只能通过大地与系統中点构成回路，而不会流到变流器中去。然而必須指出，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鈕接地，按图乙的接法，电流互感器的一个端鈕不接地才有可能。如果图甲变流器的一个端鈕(必須是电度表电流綫圈与电压綫圈相連的一个端鈕)不接者，則电度表的电压綫圈中无电流通过，因无回路。而如果图乙变流器的任何一个端鈕接地，則造成短路。因为电度表的电压綫圈阻抗很大，电流綫圈的阻抗較小。于是，电流 i_B 不經過电压綫圈，而經過电流綫圈。加之，在这种接綫中，电压引綫又不装保險，情形就更危險了。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。假定負荷功率因数等于1时。那么电流 i_1 与电压 U_b 同相。电流 i_B 落后于电流 i_1 90° (因电度表在构造上，为造成移动磁場，其电压綫圈之电感很大)。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

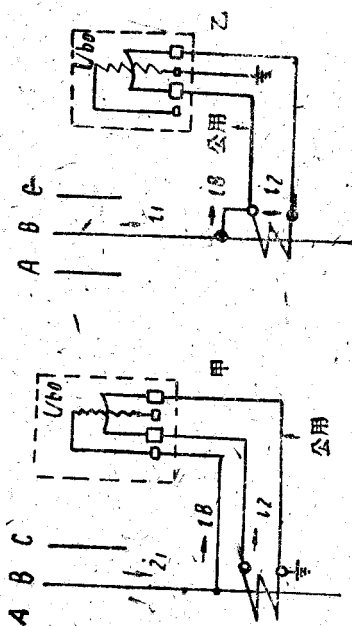


图 5 在系统中点接地，低电压大电流线路中，单相电度表的接入法，及通过电表的电流矢量图

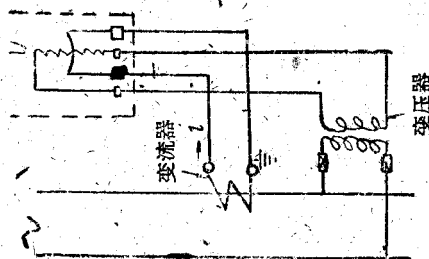


图 6 在高压系统中，单相电度表的接入法

电度表的引綫公共部分所通过的电流为 i_2 与 i_B 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. 用来直接測定三相电度时，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： $A_R = 3U_{ac} i_{ac} \cos \phi t$ 。在本命题中，虽电流 i_{ac} 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 $\phi = \phi'$ 。

$$\begin{aligned} \text{因此: } W_{ac} &= U_{ac} i_{ac} \cos \phi' t = \sqrt{3} U_{ao} \\ &\quad \sqrt{3} i_{ao} \cos \phi t = 3 U_{ao} i_{ao} \cos \phi t. \end{aligned}$$

所以电度表的读数包括三相电度。不过必须注意在按这种接法时，电度表的电压线圈及电流线圈必须允许承受线电压及 $\sqrt{3}$ 倍额定电流才行。

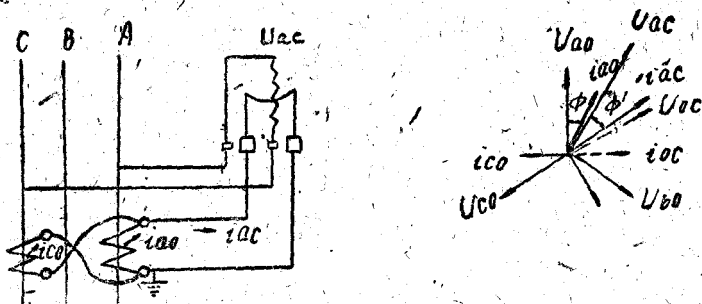


图 7 用一只单相电度表，直接测定三相有功电度时的接入法

第 2 节 测量无功电度时的接线

1. 在单相回路中，此时，电度表的接线手续非常麻烦。因为需要与电度表电压线圈串联一电容器，以抵销电压线圈的感抗，使通过电压线圈的电流 i_B 与电压 U_B 同相，才能测得无功电度。但是，电度表电压线圈的有效电阻是很小的，当电容器的容抗与电压线圈的感抗相等时，则会引起串联（电压）谐振，使通过电度表电压线圈的电流超过额定值，形成测值的误差，甚至烧毁电度表。因此，除与电压线圈串联一电容器外，还必须串联一电阻，以维持电流 i_B 在原定值。这样一来，就导致了在配制过程中的许多计算。

配制后的单相电度表如图 8 所示。C 为电容器，R 为