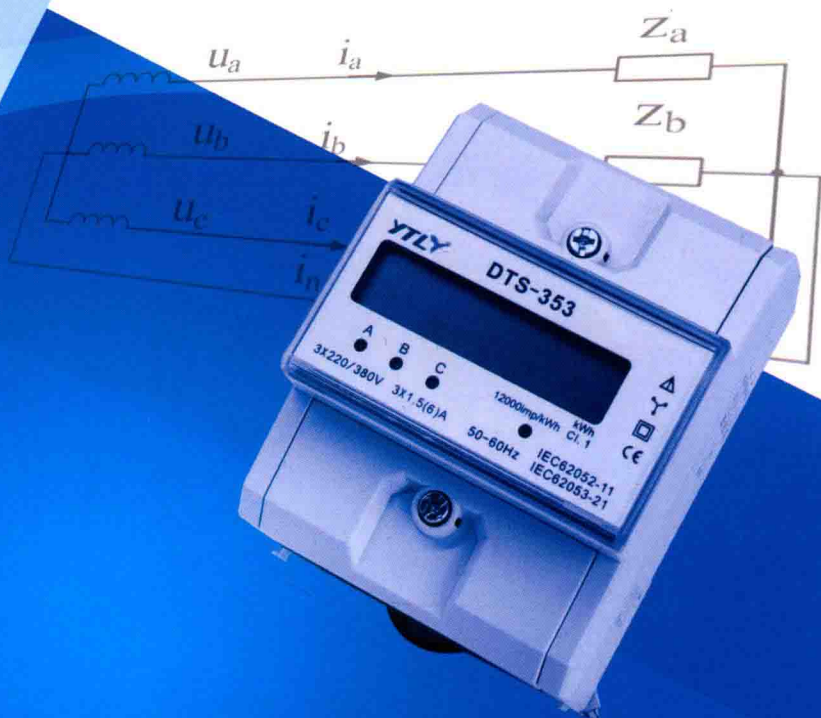


SANXIANG SIXIAN DIANNENG JILIANG ZHUANGZHI
CUOWU JIEXIAN JIEXI

三相四线电能计量装置 错误接线解析

常仕亮 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

三相四线电能计量装置 错误接线解析

常仕亮 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

电能计量装置是电能计量的工具,其准确性与电能计量装置接线方式有着重要的关系。熟练、快速地甄别与修正三相四线电能计量装置错误接线在实际生产中有着极为重要的意义。本书紧密结合现场实际、全面系统、实用性强,对提高技术人员关于三相四线电能计量装置错误接线的认知水平具有重要意义。

本书共有五章,分别为错误接线解析方法、低压三相四线电能计量装置错误接线解析、高压三相四线电能计量装置错误接线解析、牵引变压器电能计量装置错误接线解析和智能电表错误接线解析。

本书主要适用于从事电能计量、装表接电、用电信息采集、用电检查、业扩报装的技术人员和生产管理人员,也可供相关专业及管理人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

三相四线电能计量装置错误接线解析 / 常仕亮编. —北京: 中国电力出版社, 2017. 5 (2017. 9重印)
ISBN 978-7-5198-0554-8

I. ①三… II. ①常… III. ①电能计量—接线错误—分析 IV. ①TM933.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第061801号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 张 亮 苗唯时 (weishi-miao@sgcc.com.cn)

责任校对: 太兴华

装帧设计: 郝晓燕 张 娟

责任印制: 邹树群

印 刷: 汇鑫印务有限公司

版 次: 2017年5月第一版

印 次: 2017年9月北京第二次印刷

开 本: 787毫米×1092毫米 16开本

印 张: 12

字 数: 257千字

印 数: 2001—4000册

定 价: 75.00元



版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换



前言

电能计量装置是电能计量器具，为计收电量提供依据，其准确性将直接影响供电企业和用电客户的经济利益。电能计量装置的准确性，不仅与电能表相对误差、电压互感器和电流互感器的合成误差、电压互感器二次回路压降误差有关，还与电能计量接线方式有着极其重要的关系。电能计量装置错误接线多达几千种，这常常造成巨大的电量差错，严重影响计量的公平性与公正性。因此，掌握各种电能计量装置错误接线的解析方法，具有特别重大的意义。

本书第一章着重介绍了错误接线解析方法。第二章至第四章，结合大量现场实例和各种负荷潮流状态，详细阐述了低压和高压三相四线、牵引变压器电能计量装置错误接线的解析过程，第五章阐述了智能电能表错误接线的解析过程。

本书在编写过程中，得到了国网重庆市电力公司、国网重庆市电力公司电力科学研究院、国网重庆市电力公司万州供电分公司、国网重庆市电力公司技能培训中心、国网重庆市电力公司检修分公司等单位领导和同仁的指导与帮助，在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促，书中难免有不妥和错误之处，恳请读者指正。

常仕亮



目录

前言

第一章 错误接线解析方法	1
第一节 电能表运行象限的判断	1
第二节 错误接线解析基本方法	4
第三节 三相电能表现场校验仪测量参数简介	8
第四节 差错电量的退补	9
第五节 三相四线多功能电能表无功计量	10
第二章 低压三相四线电能计量装置错误接线解析	12
第一节 接线方式	12
第二节 错误接线实例解析	13
第三章 高压三相四线电能计量装置错误接线解析	70
第一节 接线方式	70
第二节 错误接线实例解析	71
第四章 牵引变压器电能计量装置错误接线解析	132
第一节 牵引供电系统	132
第二节 三相 VV-0 (6) 接线牵引变压器运行特性	133
第三节 三相 VX 接线牵引变压器运行特性	137
第四节 两相不对称运行错误接线解析方法	141
第五节 两相不对称运行错误接线实例解析	143
第六节 三相不对称运行错误接线解析方法	161
第七节 三相不对称运行错误接线实例解析	163
第五章 智能电能表错误接线解析	172
第一节 智能电能表错误接线概述	172
第二节 I 象限错误接线实例解析	173
第三节 II 象限错误接线实例解析	180
第四节 III 象限错误接线实例解析	181
第五节 IV 象限错误接线实例解析	183
参考文献	186

第一章

错误接线解析方法

第一节 电能表运行象限的判断

一、三相四线电能计量装置概述

三相四线电能计量装置广泛运用于中性点直接接地系统，同时，在中性点经消弧线圈接地、中性点经电阻接地系统也有运用。在我国大量运用于 0.4、35、66、110、220、330、500、750kV 以及 1000kV 等电压等级。

三相四线电能计量装置分低压和高压两种类型。低压三相四线电能计量装置广泛运用于 10kV 公用配电变压器 0.4kV 侧计量，10kV 专用配电变压器 0.4kV 侧计量用电客户，经电流互感器接入的 0.4kV 低压三相用电客户等供电系统。高压三相四线电能计量装置广泛运用于 110、220、330、500、750kV 及 1000kV 等中性点直接接地系统，同时，在发电上网、跨区输电、跨省输电、省级供电等关口计量点，专用供电线路用电客户计量点以及联络线路线损考核计量点也大量采用高压三相四线电能计量装置。三相四线电能计量装置接线错误常常造成巨大的电量差错，直接影响供电企业和用电客户的经济利益。因此，掌握三相四线电能计量装置错误接线解析方法，确保运行正确可靠，意义非常重大。

二、电能测量四象限

实际运行中，随着负荷潮流变化，电能表会运行在 I、II、III、IV 四个象限，四个象限分别表示不同潮流状态下，电压和电流之间的相位关系，以及有功功率、无功功率的传输方向，电能测量四象限示意图如图 1-1 所示。解析错误接线，掌握电能表运行的象限对于解析错误接线来说极为重要，下面将根据负载性质，结合负荷潮流变化，介绍电能表运行象限的判断方法。

三、I 象限

I 象限是指所在计量点，本侧供电线路向对侧供电线路输入有功功率，输

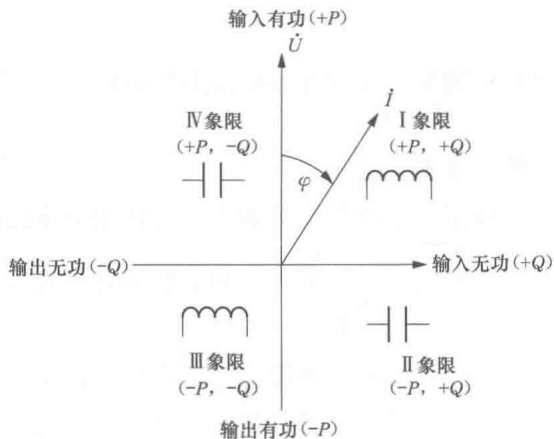


图 1-1 电能测量四象限示意图

入无功功率, 此时 $\hat{U}\hat{I}=0\sim 90^\circ$, 功率传输方向为 $+P$ 、 $+Q$, 一般情况下, 以下状态时的电能表运行在 I 象限。

1. 强感性负载

电力变压器空载运行、轻载运行或投入电抗器, 此时电路呈强感性, 电压超前电流的角度较大 ($60^\circ\sim 90^\circ$), 功率因数较低。强感性负载主要有以下计量点: 变电站主变压器电源侧计量点, 如 220kV 主变压器 220kV 侧 201 号、110kV 主变压器 110kV 侧 101 号、35kV 主变压器 35kV 侧 301 号; 接入 10kV 母线电抗器等计量点; 用电客户专用配电变压器、专用供电线路等计量点。I 象限强感性负载相量图如图 1-2 所示。

2. 感性负载

感性负载主要为三相电动机等电感性负载, 此时电路呈感性, 电压超前电流的角度较小 ($0\sim 30^\circ$), 功率因数较高。感性负载主要有以下计量点: 变电站主变压器电源侧计量点, 如 220kV 主变压器 220kV 侧 201 号、110kV 主变压器 110kV 侧 101 号、35kV 主变压器 35kV 侧 301 号等计量点; 变电站公用线路、关口联络线路等计量点; 用电客户专用配电变压器、专用供电线路等计量点。此状态可能有无功补偿装置投入, 但未过补偿运行。I 象限感性负载相量图如图 1-3 所示。

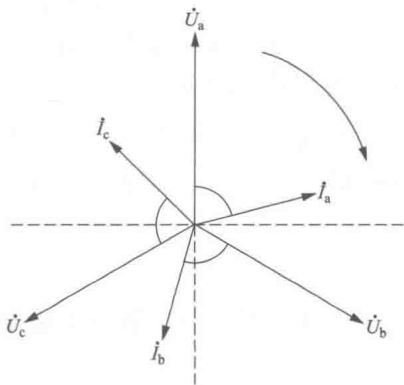


图 1-2 I 象限强感性负载相量图

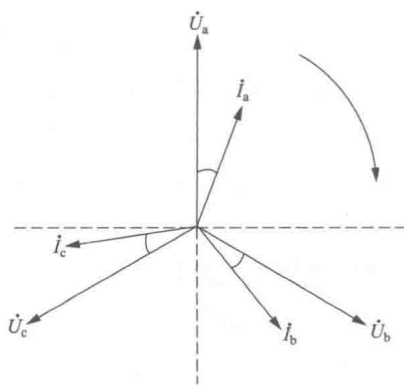


图 1-3 I 象限感性负载相量图

四、II 象限

II 象限指的是指所在计量点, 对侧供电线路向本侧输出有功功率, 本侧供电线路向对侧输入无功功率, 主要为三相电容器等电容性负载, 电路呈容性, 此时 $\hat{U}\hat{I}=90^\circ\sim 180^\circ$, 功率传输方向为 $-P$ 、 $+Q$ 。

电能表运行在 II 象限时主要有以下计量点: 变电站关口联络线路等计量点; 变电站的主变压器中低压侧等计量点, 如 220kV 主变压器 110kV 侧 101 号和 10kV 侧 901 号、110kV 主变压器 35kV 侧 301 号和 10kV 侧 901 号、35kV 主变压器 10kV 侧 901 号等。II 象限负载相量图如图 1-4 所示。

五、Ⅲ象限

Ⅲ象限是指所在计量点，对侧供电线路向本侧输出有功功率，输出无功功率，用电负载主要为三相电动机等感性负载，电路呈感性， $\hat{U}\hat{I} = 180^\circ \sim 270^\circ$ ，功率传输方向为 $-P$ 、 $-Q$ 。

电能表运行在Ⅲ象限主要有以下计量点：设置在变电站的发电上网计量点；变电站的公用线路、关口联络线路等计量点；变电站的主变压器中低压侧等计量点，如220kV主变压器110kV侧101号和10kV侧901号、110kV主变压器35kV侧301号和10kV侧901号、35kV主变压器10kV侧901号等。Ⅲ象限负载相量图如图1-5所示。

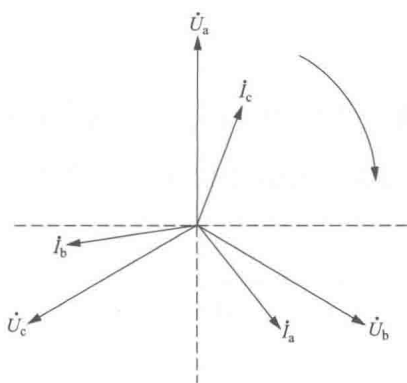


图 1-4 Ⅱ象限负载相量图

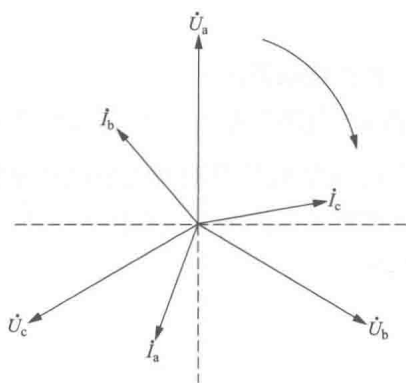


图 1-5 Ⅲ象限负载相量图

六、Ⅳ象限

Ⅳ象限是指所在计量点，本侧供电线路向对侧输入有功功率，对侧供电线路向本侧输出无功功率，此时 $\hat{U}\hat{I} = 0^\circ \sim -90^\circ$ ，功率传输方向为 $+P$ 、 $-Q$ ，一般情况下，以下状态电能表运行在Ⅳ象限。

1. 强容性负载

电力供电线路空载、轻载运行或投入电容器，用电负载主要为电容器，此时电路呈强容性，电流超前电压的角度较大（ $60^\circ \sim 90^\circ$ ）。强容性负载主要有以下计量点：变电站空载电力线路、接入10kV母线的电容器等计量点。Ⅳ象限强容性负载相量图如图1-6所示。

2. 容性负载

用电负载主要为三相电容器等容性负载，此时电路呈容性，电流超前电压的角度较小（ $0 \sim 30^\circ$ ）。大量投入无功补偿装置的用电客户专用配电变压器、专用供电线路，运行在过补偿状态属于容性负载，此运行状态有电动机等感性负载，只是无功补偿装置大量投入，使电路呈容性。Ⅳ象限容性负载相量图如图1-7所示。

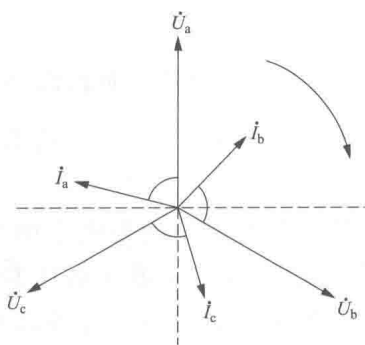


图 1-6 IV 象限强容性负载相量图

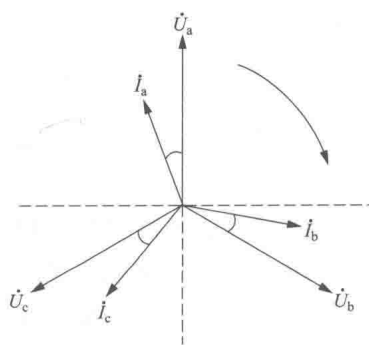


图 1-7 IV 象限容性负载相量图

第二节 错误接线解析基本方法

一、正确接线方式

三相四线电能计量装置电能表三组元件分别接入电流 $\dot{I}_a$ 、 $\dot{I}_b$ 、 $\dot{I}_c$ ，接入相电压 $\dot{U}_a$ 、 $\dot{U}_b$ 、 $\dot{U}_c$ 。0.4kV 低压三相四线电能计量装置正确接线方式如图 1-8 所示，高压三相四线电能计量装置正确接线方式如图 1-9 所示。

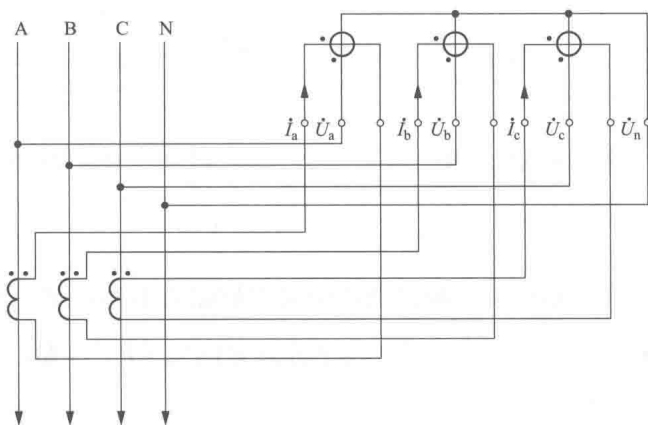


图 1-8 0.4kV 低压三相四线电能计量装置正确接线图

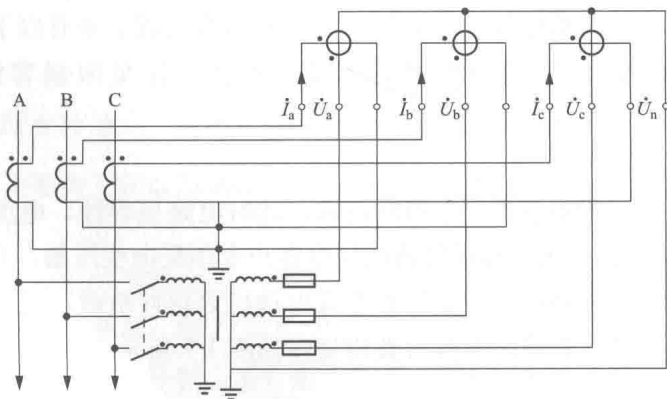


图 1-9 高压三相四线电能计量装置正确接线图

三相四线电能计量装置遵循“正相序、电压电流同相别”原则，按照以下三种接线方式均可正确计量。

(1) 第一种接线方式。第一元件电压接入 u_a ，电流接入 i_a ；第二元件电压接入 u_b ，电流接入 i_b ；第三元件电压接入 u_c ，电流接入 i_c 。

(2) 第二种接线方式。第一元件电压接入 u_b ，电流接入 i_b ；第二元件电压接入 u_c ，电流接入 i_c ；第三元件电压接入 u_a ，电流接入 i_a 。

(3) 第三种接线方式。第一元件电压接入 u_c ，电流接入 i_c ；第二元件电压接入 u_a ，电流接入 i_a ；第三元件电压接入 u_b ，电流接入 i_b 。

理论上，上述三种接线方式均可正确计量，实际运用中，应采用第一种接线方式，以保证二次系统和一次系统的对应性。

二、分析判断方法简析

(一) 表尾接线图

由于错误接线是未知的，三相四线电能表电压端钮用 $\dot{U}_1$ 、 $\dot{U}_2$ 、 $\dot{U}_3$ 、 $\dot{U}_n$ 表示，电流端钮用 $\dot{I}_1$ 、 $\dot{I}_2$ 、 $\dot{I}_3$ 表示，0.4kV 低压三相四线电能表表尾接线图如图 1-10 所示，高压三相四线电能表表尾接线图如图 1-11 所示。通过在表尾处测量电压、电流、相位等参数数据，分析判断接入 $\dot{U}_1$ 、 $\dot{U}_2$ 、 $\dot{U}_3$ 的实际相别和极性，接入 $\dot{I}_1$ 、 $\dot{I}_2$ 、 $\dot{I}_3$ 的实际相别和极性。

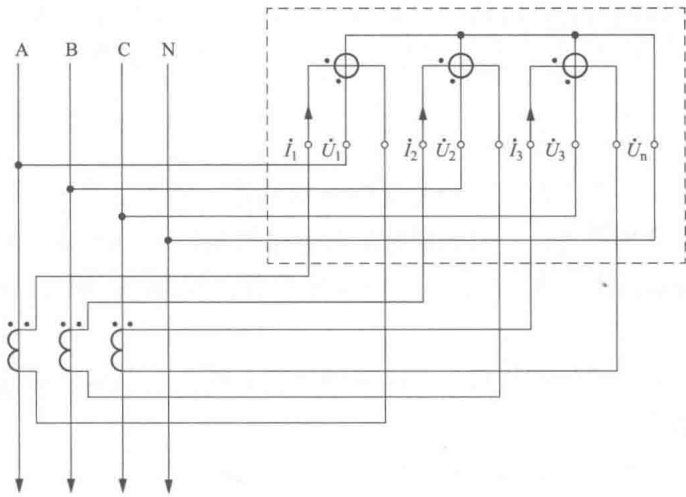


图 1-10 0.4kV 低压三相四线电能表尾线图

三相四线电能计量装置错误接线分析判断时，需测量 U_{12} 、 U_{32} 、 U_{31} 三组线电压，测量 U_1 、 U_2 、 U_3 、 U_n ，测量 $\dot{U}_1$ 、 $\dot{U}_2$ 、 $\dot{U}_3$ 、 $\dot{I}_1$ 、 $\dot{I}_2$ 、 $\dot{I}_3$ 两两之间五组不同的相位角，以便绘制错误接线相量图进行分析。

(二) 测量步骤和分析判断方法

1. 测量电压

测量 U_1 、 U_2 、 U_3 、 U_n ，测量三组线电压 U_{12} 、 U_{32} 、 U_{31} 。 U_1 、 U_2 、 U_3 三组相电压

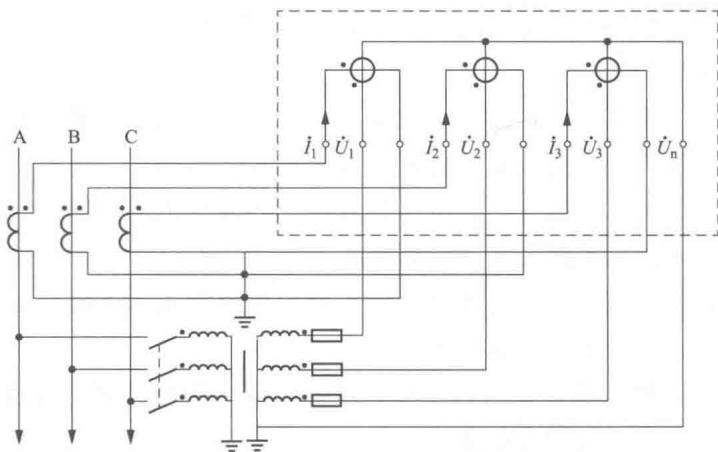


图 1-11 高压三相四线电能表表尾接线图

大致相等，0.4kV 低压三相四线电能计量装置大致为 220V，高压三相四线电能计量装置大致为 57.7V。若 U_n 约等于 0V，说明电能表零线接地（零）可靠，若 U_n 幅值较大，说明电能表零线接地（零）不良，产生了位移电压，应查明原因，直至可靠接地（零），否则测量其他参数时有一定的误差，给分析判断带来一定影响。三组线电压 U_{12} 、 U_{32} 、 U_{31} 应大致相等，0.4kV 低压三相四线电能计量装置大致为 380V，高压三相四线电能计量装置大致为 100V。需要说明的是，线电压和相电压的大小和系统一次电压有关，具体值根据现场运行情况综合判断电压范围。

对于高压三相四线电能计量装置，如果三组相电压大致相等，在 57.7V 左右；三组线电压中有一组为 100V，两组线电压在 57.7V 左右，则说明电压互感器一相极性或两相极性反接。

2. 测量电流

测量三相电流 I_1 、 I_2 、 I_3 ，三相电流应基本对称，幅值足够大，一般宜在 0.3A 以上，具体值和测量仪器有关，此时测量电压与电流的相位较为准确，测试相位作为分析判断的依据；电流值低于 0.3A 及以下，测量相位意义不大，需增大负荷电流进行测量。

3. 测量相位

测量五组及以上不同的相位角，在接线相量图上确定六个相量的位置，绘制出接线相量图得出接线结论。

测量相位角的原则：测量不同的相位角，需要说明的是，电压正常相和有一定幅值的电流相才能纳入相位测量，电压较低、电流较小的相别不能纳入相位测量，否则测量的相位意义不大，具体的测量方案如下。

(1) 测量方案 1。如果 $\dot{U}_1$ 、 $\dot{U}_2$ 、 $\dot{U}_3$ 接近于额定值，三相电流均有一定幅值，则以 $\dot{U}_1$ 为参考相量，测量 $\dot{U}_1$ 超前于 $\dot{I}_1$ 、 $\dot{I}_2$ 、 $\dot{I}_3$ 的角度， $\dot{U}_2$ 超前于 $\dot{I}_3$ 的角度， $\dot{U}_3$ 超前于 $\dot{I}_3$ 的角度。

(2) 测量方案 2。如果 $\dot{U}_1$ 、 $\dot{U}_2$ 、 $\dot{U}_3$ 接近于额定值，三相电流均有一定幅值，则以 $\dot{U}_2$ 为参考相量，测量 $\dot{U}_2$ 超前于 $\dot{I}_1$ 、 $\dot{I}_2$ 、 $\dot{I}_3$ 的角度， $\dot{U}_1$ 超前于 $\dot{I}_3$ 的角度， $\dot{U}_3$ 超前于

$\dot{I}_3$ 的角度。

(3) 测量方案 3。如果 $\dot{U}_1$ 、 $\dot{U}_2$ 、 $\dot{U}_3$ 接近于额定值，三相电流均有一定幅值，则以 $\dot{U}_1$ 为参考相量，测量 $\dot{U}_1$ 超前于 $\dot{U}_2$ 的角度，测量 $\dot{U}_1$ 超前于 $\dot{I}_1$ 、 $\dot{I}_2$ 、 $\dot{I}_3$ 的角度， $\dot{U}_3$ 超前于 $\dot{I}_1$ 的角度。

这里仅介绍三种测量方案，其他测量方案不再赘述，测量时可以根据实际情况，选择安全、简洁、方便的方式测量，总的原则是选择电压正常相作为参考相量，测量五组相位角，在相量图上确定六个相量的位置。也可以电压正常相作为参考相量，测量参考相电压与其他正常相电压之间的相位，测量参考相与有一定负荷电流相的相位。总之，选择正常相电压或有一定负荷电流相测量，最终在错误接线相量图上确定六个相量的位置即可。

4. 绘制接线相量图

根据测试的电压、电流、相位，绘制接线相量图。以参考相为基准，分别在相量图上确定其余五个相量的位置。

5. 分析判断

根据负荷潮流状态，确定功率因数角的大致范围，确定错误接线类型。

(1) 判断电压相序。绘制错误接线相量图后，判断接入三相电压的实际相序，如 $\dot{U}_1 \rightarrow \dot{U}_2 \rightarrow \dot{U}_3$ 顺时针方向为正相序， $\dot{U}_1 \rightarrow \dot{U}_2 \rightarrow \dot{U}_3$ 逆时针方向为逆相序，电流相序判断和电压类似。

(2) 判断相别。一般情况下，先确定电压相别，再确定电流相别；如电能表某两相接入了同一相电压或某相电压失压，三相电流未失流则先确定电流相别，再确定电压相别。最后按照“电压和电流接入正相序，同一元件电压与电流同相”的原则分析判断。

1) 接入三相电压相序为正相序。

第一种：假定 $\dot{U}_1$ 为 a 相电压，则 $\dot{U}_2$ 为 b 相电压， $\dot{U}_3$ 为 c 相电压。

第二种：假定 $\dot{U}_2$ 为 a 相电压，则 $\dot{U}_3$ 为 b 相电压， $\dot{U}_1$ 为 c 相电压。

第三种：假定 $\dot{U}_3$ 为 a 相电压，则 $\dot{U}_1$ 为 b 相电压， $\dot{U}_2$ 为 c 相电压。

2) 接入三相电压相序为逆相序。

第一种：假定 $\dot{U}_1$ 为 a 相电压，则 $\dot{U}_3$ 为 b 相电压， $\dot{U}_2$ 为 c 相电压。

第二种：假定 $\dot{U}_3$ 为 a 相电压，则 $\dot{U}_2$ 为 b 相电压， $\dot{U}_1$ 为 c 相电压。

第三种：假定 $\dot{U}_2$ 为 a 相电压，则 $\dot{U}_1$ 为 b 相电压， $\dot{U}_3$ 为 c 相电压。

6. 计算更正系数和退补电量

计算更正系数

$$K_g = \frac{P}{P'} = \frac{3U_p I \cos \varphi}{U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + U_3 I_3 \cos \varphi_3} \quad (1-1)$$

再计算退补电量，退补电量

$$\Delta W = W'(K_g - 1) \quad (1-2)$$

式中 W' 为错误接线期间的抄见电量。按照三相对称方式计算, $U_a=U_b=U_c=U_p$, $I_a=I_b=I_c=I$ 。

7. 更正接线

上述三种假定分别对应三种不同的错误接线, 现场接线是三种错误接线结论中的一种, 三种错误接线结论不一致, 但是错误接线功率表达式一致, 更正系数一致, 理论上根据三种错误接线结论更正均可正确计量。实际生产中, 必须按照安全管理规定, 严格履行保证安全的组织措施和技术措施后, 再更正接线, 更正时应核查接入电能表的实际电压和二次电流, 根据现场实际的错误接线, 按照正确接线方式更正。

第三节 三相电能表现场校验仪测量参数简介

电能计量装置首次现场检验和带电接线检查时, 主要采用三相电能表现场校验仪, 现以三相电能表现场校验仪为例, 介绍如何使用电能表现场校验仪测量二次电压和二次电流、相位角、相量图等参数数据, 结合错误接线解析方法, 根据测试的参数数据和相量图做出正确判断。

一、功能介绍

电能表现场校验仪测量功能非常强大, 综合测量界面可以测量三相电能表分元件和合元件的有功功率、无功功率、视在功率、功率因数, 以及每组元件电流、电压、相位, 同时还可测量相序、频率、温度、湿度、相量图等参数。

二、测量方法

先正确接入电能表现场校验仪侧的三相电压、电流测试导线、电源线, 以及脉冲采样线, 选择正确的电源开关位置, 再将电压、电流、脉冲采样线另外一端正确接入被检电能表, 开启电源切换至综合测量界面, 根据综合测量界面测量的参数数据, 可得到错误接线分析判断需要的各类参数数据, 其对应关系见表 1-1。

表 1-1 参数数据对应表

序号	三相三线		三相四线	
	校验仪测量 参数数据	对应参数数据	校验仪测量 参数数据	对应参数数据
1	U_{ab}	U_{12}	U_a	U_1
2	U_{cb}	U_{32}	U_b	U_2
3	I_a	I_1	U_c	U_3
4	I_c	I_2	I_a	I_1
5	$\hat{U}_{ab}\hat{I}_a$	$\hat{U}_{12}\hat{I}_1$	I_b	I_2
6	$\hat{U}_{ab}\hat{U}_{cb}$	$\hat{U}_{12}\hat{U}_{32}$	I_c	I_3
7	$\hat{U}_{ab}\hat{I}_c$	$\hat{U}_{12}\hat{I}_2$	$\hat{U}_a\hat{I}_a$	$\hat{U}_1\hat{I}_1$
8	$\hat{U}_{cb}\hat{I}_c$	$\hat{U}_{32}\hat{I}_2$	$\hat{U}_a\hat{I}_b$	$\hat{U}_1\hat{I}_2$

续表

序号	三相三线		三相四线	
	校验仪测量 参数数据	对应参数数据	校验仪测量 参数数据	对应参数数据
9			$\hat{U}_a \hat{I}_c$	$\hat{U}_1 \hat{I}_3$
10			$\hat{U}_a \hat{U}_b$	$\hat{U}_1 \hat{U}_2$
11			$\hat{U}_a \hat{U}_c$	$\hat{U}_1 \hat{U}_3$
12			$\hat{U}_b \hat{I}_b$	$\hat{U}_2 \hat{I}_2$
13			$\hat{U}_c \hat{I}_c$	$\hat{U}_3 \hat{I}_3$

第四节 差错电量的退补

为了公平、公正、合理计量电能，需通过相量分析，判断错误接线，然后计算更正系数，核定错误接线期间的平均功率因数，根据错误接线期间的抄见电量，计算用电客户错误接线期间的实际用电量，将多计的电量电费退还给用电客户，少计的电量电费由用电客户补缴给供电企业，退补差错电量，确保供用电双方的公平和公正。抄见电量为错误接线期间电能表起止电量示数乘以计量倍率，平均功率因数通过电量、用电情况核定，更正系数需要计算。

一、抄见电量计算方法

抄见电量用 W' 表示，如某 110kV 专用供电线路用电客户，采用三相四线接线计量方式，电流互感器变比为 150A/5A，电压互感器变比为 110kV/100V，投运时电能表有功总电量示数均为 0kWh，一个月后现场首次检验发现电能表接线错误，电能表正向有功电量示数为 36.89kWh，反向有功电量示数为 0kWh，抄见电量计算如下

$$W' = (36.89 - 0) \times \frac{150}{5} \times \frac{110000}{100} = 1217370(\text{kWh})$$

二、更正系数计算方法

(一) 更正系数的定义

更正系数 K_g 是在同一功率因数条件下，电能表应计量的正确电量 W 与错误接线期间抄见电量 W' 之比，即 $K_g = W/W'$ 。

电能表正确接线和错误接线计量的电量与功率始终成正比，设正确接线功率为 P ，错误接线功率为 P' ，发生错误接线期间时间为 t ，更正系数也可表达为

$$K_g = \frac{W}{W'} = \frac{Pt}{P't} = \frac{P}{P'} \tag{1-3}$$

(二) 更正系数的计算

下面简要介绍更正系数的两种计算方法，一种是测试法，一种是计算法。

1. 测试法

测试法是用准确度等级较高的标准功率表，测量出错误接线电能表测量的功率，更

正接线后再测量正确接线状态下的功率计算更正系数,此种方法要求功率恒定,其计算式如式(1-3)。

2. 计算法

计算法是先根据错误接线的相量图,求出错误接线时的功率表达式,然后计算更正系数,其计算式如下。

$$K_g = \frac{\text{正确接线功率表达式}}{\text{错误接线功率表达式}} = \frac{P}{P'} \quad (1-4)$$

错误接线功率表达式 P' 是各元件功率的代数和,接入各元件实际的电压、电流、电压与电流夹角余弦值的乘积即该组元件的功率,如电流接入反相电流,比如 $-\dot{I}_a$ 、 $-\dot{I}_b$ 、 $-\dot{I}_c$, 负号不参与错误功率表达式运算,反相电流关系在错误功率表达式中的夹角已经表达,三相四线接线更正系数计算如下

$$K_g = \frac{P}{P'} = \frac{3U_p I \cos\varphi}{U_1 I_1 \cos\varphi_1 + U_2 I_2 \cos\varphi_2 + U_3 I_3 \cos\varphi_3} \quad (1-5)$$

正确接线功率表达式为 $3U_p I \cos\varphi$, 按照三相负载对称方式计算, U_p 为相电压。

三、差错电量的计算

差错电量

$$\Delta W = W - W' = W'(K_g - 1) \quad (1-6)$$

如 ΔW 大于 0, 则说明少计量, 用电客户应补缴供电企业电量电费; 如 ΔW 小于 0, 则说明多计量, 供电企业应退还用电客户电量电费。

第五节 三相四线多功能电能表无功计量

随着微电子技术的快速发展, 采用全新测量原理的全电子式多功能电能表广泛应用于生产实际中, 使无功电能计量达到了新的高度, 全电子式多功能电能表主要基于正弦无功理论, 采用交流采样原理, 利用高精度转换器, 完成对电压、电流、有功功率、无功功率、视在功率、功率因数角等电参量的测量, 可分别计量 I、II、III、IV 象限无功电能, 三相四线全电子式多功能电能表无功计量主要采用间接测量法、移相法等方法。

一、间接测量法

间接测量法是根据视在功率、有功功率、无功功率的关系测量无功电能, 又称功率三角形法。间接测量法对电压、电流信号采样, 根据 $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$ 的关系计算无功功率, 通过对无功功率累加计量无功电能。对于三相四线全电子式多功能电能表, 三相无功功率为三组元件分相无功功率代数和, 公式如下。

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = \sqrt{(S_1^2 - P_1^2)} + \sqrt{(S_2^2 - P_2^2)} + \sqrt{(S_3^2 - P_3^2)} \quad (1-7)$$

二、移相法

1. 测量原理简述

移相法的基本原理是对正弦电压延时 $\frac{T}{4}$, 将电压移相 90° 后与电流相乘直接测量无

功率，然后累加计量无功电能，移相法原理如图 1-12 所示。

有功功率表达式 $P=UI\cos\varphi$ ，电压 U 移相 90° 后为 U' ， $U'=U$ ，无功功率表达式 $Q=U'I\cos(90^\circ-\varphi)=UI\sin\varphi$ ，和无功功率定义一致，达到直接测量无功功率的目的，从而实现无功电能的计量。

2. 三相四线测量原理

三相四线全电子式多功能电能表无功计量原理如图 1-13 所示。

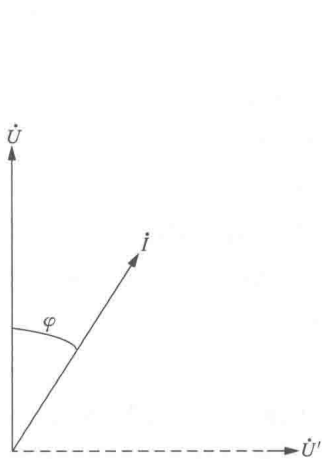


图 1-12 移相法原理图

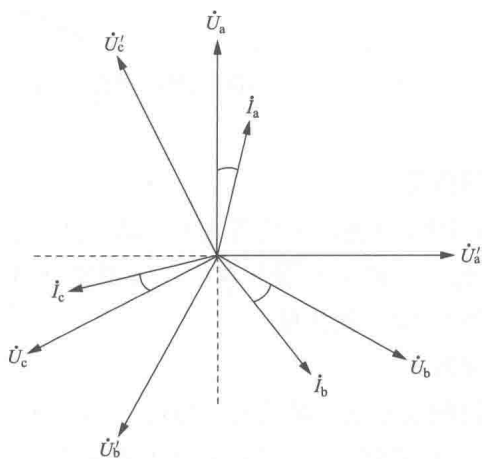


图 1-13 三相四线无功计量原理图

有功功率表达式为 $P=U_a I_a \cos\varphi_a + U_b I_b \cos\varphi_b + U_c I_c \cos\varphi_c$ ，将三相电压 U_a 、 U_b 、 U_c 分别移相 90° 后为 U'_a 、 U'_b 、 U'_c ， U'_a 、 U'_b 、 U'_c 与对应相别的电流相乘得到表达式为

$$\begin{aligned} Q &= U'_a I_a \cos(90^\circ - \varphi_a) + U'_b I_b \cos(90^\circ - \varphi_b) + U'_c I_c \cos(90^\circ - \varphi_c) \\ &= U'_a I_a \sin\varphi_a + U'_b I_b \sin\varphi_b + U'_c I_c \sin\varphi_c \end{aligned} \quad (1-8)$$

由于 $U'_a=U_a$ ， $U'_b=U_b$ ， $U'_c=U_c$ ，因此

$$Q = U_a I_a \sin\varphi_a + U_b I_b \sin\varphi_b + U_c I_c \sin\varphi_c \quad (1-9)$$

从以上分析可知，三相电压移相 90° 之后为 $UI\sin\varphi$ ，和无功功率定义一致，达到测量三相四线无功功率目的，实现了三相四线电路无功电能的计量。

第二章

低压三相四线电能计量装置错误接线解析

第一节 接线方式

一、运用范围

低压三相四线电能计量装置在 0.4kV 低压三相四线供电系统运用非常广泛，主要运用于 0.4kV 低压三相动力用电客户，高供低计专用变压器 0.4kV 侧计量用电客户，公用配电变压器 0.4kV 侧计量。

二、接线方式

低压三相四线电能计量装置，电能表第一元件电压接入 u_a ，电流接入 i_a ；第二元件电压接入 u_b ，电流接入 i_b ；第三元件电压接入 u_c ，电流接入 i_c 。其正确接线方式如图 2-1 所示。

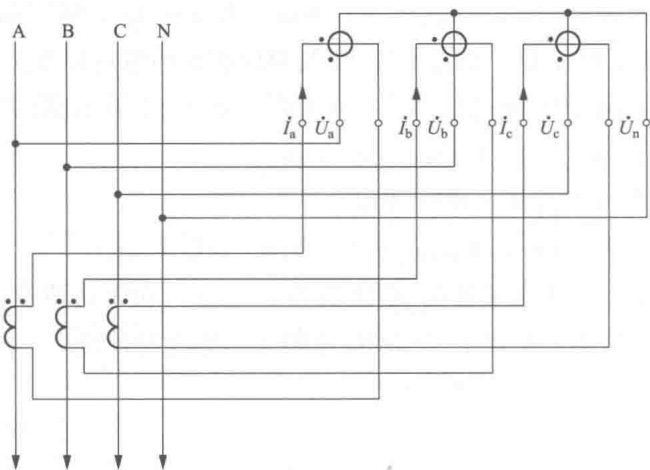


图 2-1 低压三相四线电能计量装置接线图

对于低压三相四线供电系统，负载功率

$$P_0 = u_a i_a + u_b i_b + u_c i_c \quad (2-1)$$

电能表测量功率

$$P' = u_a i_a + u_b i_b + u_c i_c \quad (2-2)$$

接线附加计量误差

$$r = \frac{p' - p_0}{p_0} \times 100\%$$