

电能计量装置状态检验方法研究

伴随着智能电表技术的广泛应用以及电信息采集平台的建设，电能计量装置的运行监测手段较之机械表有了质的飞跃。目前对电能计量装置已经可以进行远程监测，实时采集计量装置的运行信息，从而使得电能计量装置的现场检验工作逐步实现由计划检修模式向状态检修模式的转变。综合考虑电能计量装置中包含的电能表、电流互感器、电压互感器以及二次回路的运行状态，提出一种基于序关系分析法的计量装置总体状态评价方法。在电能计量装置的状态检修策略中，系统根据状态评价结果对计量装置进行现场检验计划的调整，可以使检验工作更具有针对性，减少不必要的检验操作，并及时发现计量装置隐患。

何 蓓/国网重庆市电力公司营销部

肖 冀 程瑛颖 周 峰/国网重庆市电力公司电力科学研究院计量中心

0 引言

电能计量装置的正常运转是电力系统运行的重要保障，高压电能计量装置的微小故障可能扩大为严重的经济责任事故^[1-2]。在电网的电能计量管理工作中，需要掌握电能计量装置的动态稳定性，以保证各主要计量装置安全、准确运行，同时能对事故处理信息进行动态跟踪及分析，并对严重故障进行动态控制。为了确保电能计量的准确运行，需要对有隐患的电能计量装置进行检修。在机械电表时代，由于计量装置运行信息的获得必须依赖于现场查验，所以电能计量装置的检修工作采用的是周期性计划检修模式。该方式不考虑电能计量装置的实时状态信息，只根据计量装置的类别进行周期性的检修。由于不同计量装置的状态具有很大随机性，定期检修方式造成了系统运行隐患和人力资源的浪费。

目前在电网系统中已经大规模采用电子式电能计量装置，与机械式计量装置不同，电子式计量装置的计量误差在检定周期内更加稳定，并可实现装置运行信息的在线监测，随时对计量装置进行状态评估。学术界已有部分针对电能计量装置运行误差分析以及状态评价的相关研究^[3-6]。在这些研究基础上，本文提出了一种多方位的电能计量装置状态评价方法。具体来说，该状态评价方法考虑电能计量装置的四个方面即电能表、电流互感器、电压互感器以及二次回路，对计量装置各部分的运行状态进行评分后，采用序关系分析法得到电能计量装置的总体评分。根据评分结果，将电能计量装置的运行状态分为稳定、正常和预警三个级别，并据此对检修策略进行调整。该状态评价方案使得电能计量装置的检修更有针对性，可以减少检修次数并及时排除计量装置的安全隐患。

1 电能计量装置检修现状

目前电力二次设备检验依据的标准为DL/T 448—2000《电能计量装置技术管理规程》^[7]。该标准规定了不同类别电能计量装置的现场检验周期。在标准制定时，主流电能表是机械式、机电式电能表，其运行时间越长，机械摩擦阻力越大，从而导致表计的计量误差发生变化。由于缺少远程抄表、在线监测等自动化手段，只能依靠人工定期现场查验来判断电能计量装置的状态。固定周期检验根据电能表技术特点，对不同类型



何 蓓/工程师

关键词/Keywords

电能计量 ·
状态检修 ·
序关系分析法 ·

的计量装置统一制定检验周期和检验项目。该检验模式没有考虑到不同电能计量装置运行状态的随机性,使得现场检验工作负担过重。目前电力系统内已开始广泛采用电子式电能表,与机械式电能表相比,电子式电能表的计量误差在运行中更加稳定,并且可以实现计量装置的在线信息采集。为了更加有效地进行电能计量装置的检修工作,需要改变过去的固定检修模式,建设计量装置的状态检修系统。

电力系统各个生产平台的建设,为计量装置的状态检修提供了足够信息。其中采集计量生产调度平台具备对电能表投运的资产和误差管理,可以对供货商和设备进行状态评价。用电信息采集系统可实现对计量装置投运后的数据抄收以及智能诊断,营销业务应用系统可以提供电力用户的缴费及用电情况。为了实现电能计量装置的状态检修,必须将各系统中的数据进行整合,建立科学的计量装置状态评价模型,从而指导检修计划的修订。实现电能计量装置状态检修的关键是提出合理的状态评价方法。本文综合考虑电能计量装置包含的电能表、互感器和二次回路等组成部分,提出一种电能计量装置的状态评价方案。该方案根据先验信息以及在线监测信息对计量装置各部分进行打分,再基于序关系分析法对计量装置进行总体状态评价。

2 电能计量装置状态检验方法

电能计量装置包含电能表、电压互感器、电流互感器及二次回路四个部分。首先根据相关状态量用百分制对四个部分分别进行状态评分,然后衡量计量装置不同部分间的相对重要性,采用序关系分析法得到电能计量装置的总体评价结果。对计量装置各部分评分的方法是类似的,首先设置一个满分为100分的基础评分,该分数反映计量装置各部分的基础运行状态,然后再依次乘上范围从0到1的检测评分、监测评分以及家族缺陷评分,从而得到最终的电能计量装置状态评价。下面分别给出电能计量装置的各部分评分方法以及总体评价方法。

2.1 电能表状态评价方法

电能表状态评分 G_S 可以表示为

$$G_S = B_S T_S M_S F_S \quad (1)$$

式中, B_S 为电能表基础评分; T_S 为电能表检测评分,是对电能表测量误差的现场检测评分,该项评分通过记录电能表运行期间进行的每次现场检测,利用最近多次测量误差的平均值进行评分; M_S 为监测评分,反映在线监测模块发现电能表运行期间发生的异常情况数量; F_S 为电能表家族缺陷评分,当发现一类电能表有家族缺陷时,在隐患消除之前,需要考虑同一家族电能表的缺陷并反映到其状态评价中。

B_S 计算公式为

$$B_S = B_{S1} + B_{S2} + B_{S3} + B_{S4} + B_{S5} + B_{S6} \quad (2)$$

式中, B_{S1} 为基本误差评分,满分为30分,该评分涉及多个具有不同电压、电流和相位的负荷点测试误差的统计平均值,反映了电能表测量准确度的先验信息; B_{S2} 为运行时间评分,满分为20分,电能表具有一定的期望寿命,其运行时间越接近期望寿命则评分越低; B_{S3} 和 B_{S4} 分别为同批次误差分散性和同批次运行故障率评分,其满分分别为20分和10分,该项评分涉及同一批次电能表的测量误差方差以及运行故障比例; B_{S5} 为同批次电能表退货率评分,满分为10分,其分值由该批次电能表的退货比例决定; B_{S6} 为用户信誉,衡量用户在一年的内是否发生过窃电等破坏电能表的行为。

在评价过程中各项分值并非固定,可根据装置运行的实际情况对基本评分的各项分值进行动态修改,更好地反映不同因素的相对重要性。

在基础评分的基础上,再分别考虑检测评分、监测评分以及家族缺陷评分。

2.2 电流互感器状态评价方法

对电流互感器的状态评价需要结合计量生产调度平台、营销业务应用和电流互感器前端监测采集器提供的信息,同时考虑其误差稳定性、运行可靠性和潜在缺陷等。电流互感器的状态评分计算公式为

$$G_C = B_C T_C M_C F_C \quad (3)$$

式中, B_C 为5项评分构成的电流互感器基本评分; T_C 为检测评分,是现场检测电流互感器运行误差的评分值; M_C 为电流互感器监测评分,是考虑在线监测模块发现的电流互感器运行异常数量; F_C 为电流互感器的家族缺陷评分。

B_C 计算公式为

$$B_C = B_{C1} + B_{C2} + B_{C3} + B_{C4} + B_{C5} \quad (4)$$

式中, B_{C1} 为电流互感器的基本误差评分,满分为40分; B_{C2} 为电流互感器的运行时间评分,满分为20分; B_{C3} 为同批次误差分散性评分,满分为10分; B_{C4} 为同批次电流互感器退货率评分,满分为10分。

T_C 计算时选择现场周期检测的5个负荷点,比较其测量误差值和误差限间的关系,并计算其平均值得到运行误差评分。在消除相关运行故障前, M_C 监测评分计算公式为

$$M_C = M_{C1} M_{C2} M_{C3} \quad (5)$$

式中, M_{C1} 、 M_{C2} 和 M_{C3} 分别为在线监测异常事件数量、在线监测比值差和在线监测相位差。

当在线监测发现的相关运行故障已消除,就不再考虑其影响。

2.3 电压互感器状态评价方法

电压互感器状态评分计算公式为

$$G_p = B_p T_p M_p F_p \quad (6)$$

式中, B_p 为电压互感器基础评分; T_p 为检测评分,是现场检测电压互感器运行误差的评分值,该评分通过周期性地检测5个负荷点的比值差和相位差得到; M_p 为监测评分,由在线监测模块发现的电压互感器运行异常数量决定; F_p 为电压互感器的家族缺陷评分。

B_p 计算公式为

$$B_p = B_{p1} + B_{p2} + B_{p3} + B_{p4} + B_{p5} \quad (7)$$

式中, B_{p1} 、 B_{p2} 、 B_{p3} 和 B_{p4} 分别为对电压互感器的基本误差、运行时间、同批次误差分散性以及同批次退货率的评分。

2.4 二次回路状态评价方法

二次回路的基本状态分数为100分,其状态评分中也不包含家族缺陷评分,其评分方式计算公式为

$$G_D = 100 T_D M_D \quad (8)$$

式中, T_D 为检测评分,是现场检测二次回路运行误差的评分值,通过平均检验现场5个测试点的测量误差值得到; M_D 为监测评分,是对二次回路运行异常程度的评分值,其计算公式为

$$M_D = M_{D1} M_{D2} M_{D3} \quad (9)$$

式中, M_{D1} 、 M_{D2} 和 M_{D3} 分别为在线监测压降异常事件数量、在线监测附加比值差和在线监测附加相位差。

2.5 计量装置总体状态评价

上述已给出了对电能计量装置的各部分进行状态评分的方法,现在需要综合四个部分的评分得到计量装置的总体评分。为体现电能计量装置四个部分的不同重要性,将计量装置的总体评分设为四个分项评分的加权和,计算公式为

$$G = \omega_S G_S + \omega_C G_C + \omega_P G_P + \omega_D G_D \quad (10)$$

式中, ω_S 、 ω_C 、 ω_P 和 ω_D 分别为电能表、电流互感器、电压互感器和二次回路评分的权值,且满足 $\omega_S + \omega_C + \omega_P + \omega_D = 1$ 。

本文采用无须一致性检验的序关系分析法来计算各部分评分对应的权值。

首先按照重要性对电能计量装置的四个部分建立序关系,即

$$G_1 \succ G_2 \succ G_3 \succ G_4 \quad (11)$$

式中, G_k 为计量装置中电能表、电流互感器、电压互感器和二次回路中的某一项,且 $G_k \succ G_{k+1}$ 表示前者重要性高于后者。

应用序关系评价法,令 ω_k 表示 G_k 的权重,其中 $k=1, \dots, 4$,并设相邻部分 G_{k-1} 和 G_k 的重要性比值为

$$\eta_k = \begin{cases} 1 & k=1 \\ \omega_{k-1} / \omega_k & k=2, \dots, 4 \end{cases} \quad (12)$$

其判断方法如表1所示。

表1 相邻部分重要性比值判断方法

描述	相邻部分重要性比值 η_k
G_{k-1} 和 G_k 具有同样的比重	1.0
类型 G_{k-1} 的比重稍微高于类型 G_k 的比重	1.2
类型 G_{k-1} 的比重明显高于类型 G_k 的比重	1.4
类型 G_{k-1} 的比重强烈高于类型 G_k 的比重	1.6
类型 G_{k-1} 的比重极端高于类型 G_k 的比重	1.8

对电能计量装置的四个部分进行相对重要性判断后,各部分评分的权值系数计算公式为

$$\begin{cases} \omega_4 = \left(1 + \sum_{k=2}^4 \prod_{i=k}^4 \eta_i \right)^{-1} \\ \omega_{k-1} = \eta_k \omega_k \quad k=2, \dots, 4 \end{cases} \quad (13)$$

在实际工作中,电能计量装置各部分的相对重要性将根据装置的运行以及检修结果进行调整,计量装置中容易出故障的部分应当被赋予较高的权值。

3 状态判定及检修计划调整

电能计量装置的状态评价由在线监测、现场检测、家族缺陷和定期检查四种触发方式来启动。在每次状态评分后,系统将记录下评分结果,并在一次状态判定周期结束后输出所有评分的平均值。在每一次状态判断周期结束后,对比本周期评分和上一周期评分,可以将电能计量装置的运行状态分为三种状态,即稳定、一般和预警,状态判定流程如下图所示。

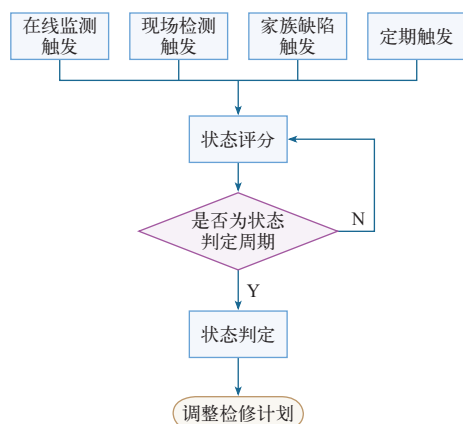


图 电能计量装置状态判定流程

电能计量装置的状态判定按照表2给出的规则进行,当绝对分值与两次状态分值差所判定的状态不一致时,应取较差状态。

表2 电能计量装置状态判定规则

运行状态	绝对分值	上次状态分值-本次状态分值
稳定	(80, 100]	$(-\infty, 5]$
一般	[30, 80]	(5, 30]
预警	[0, 30)	(30, $+\infty$)

结合电能计量装置状态,系统在原有DL/T

448—2000规定的检修计划上,对计量装置的检修计划作出相应调整。当计量装置状态为稳定时,可以将原有检修周期适当加长;当计量装置处于一般状态时,不改变原有检修计划;当状态检验结果为预警时,则需要尽快安排临时检修以排除隐患。

4 结束语

本文提出一种电能计量装置状态评价方案,该方案综合考虑电能计量装置包含的电能表、电流互感器、电压互感器和二次回路四个部分,基于序关系分析法处理各部分的重要程度,并对电能计量装置的总体状态进行评价。根据评价结果对电能计量装置的检修计划作出调整,使电能计量装置的现场检验工作从定期检验模式转变为状态检验模式。本文提出的状态检验方法可以有效降低电能计量装置的检修次数,提高检验工作效率,并及时排除计量装置的安全隐患,有力保障了电网的平稳安全运行。

参考文献

- [1] 李静,杨以涵,于文斌,等. 电能计量系统发展综述[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(11): 130-134.
- [2] 罗志坤,滕召胜,万全. 高压电能计量装置远程校验与监测系统及其应用[J]. 电子测量技术, 2007, (2): 172-175.
- [3] 陈黎来. 电流互感器对电能计量的影响[J]. 电力自动化设备, 2011, (1): 138-141.
- [4] 郭立才,彭志伟,范强. 电能计量及反窃电方法综述[J]. 高压电器, 2010, (5): 86-88, 91.
- [5] 杜卫华,曹祎,厉达. 状态评估技术在关口电能计量装置管理上的应用[J]. 华东电力, 2013, 41(10): 2107-2110.
- [6] 黄俐萍,王卉,杜卫华. 电能计量装置运行评价方法研究[J]. 华东电力, 2014, (11): 2322-2326.
- [7] 国家电网公司发输电运营部组. DL/T 448—2000《电能计量装置技术管理规程》[S]. 北京: 中国电力出版社, 2001.

(收稿日期: 2017-02-10) EA