电能表实际运行寿命评估方法研究

结合可靠性基本原理和电能表质量管理要求，提出了一种基于实际数据的电能表运行寿命评估方法，并结合实例进行分析，合理界定了电能表运行寿命范围，为电能表的周期检验和轮换时间提供有力参考。

李　健　肖　勇　党三磊/广东电网公司电力科学研究院

李　健/工程师

关键词/Keywords
电能表·
运行寿命·
寿命评估·
可靠性·

寿命是电能表的重要指标之一。我国电能表经历了由普通机械表、亚长寿命机械表和机电一体化表到长寿命机械表、全电子表和多功能表等若干发展阶段，产品的质量和功能不断提高的同时，对于实际运行的寿命也提出了较高的要求[1,2]。目前国内电表行业在生产工艺控制、可靠性管理等关键环节上与国际先进企业还有较大差距，供货时承诺的电能表使用寿命理论依据不足，不能成为有效的评价体系。对于已使用的各类型电能表，尤其数量庞大的单相居民用表，如何通过简单而有效的方法，合理评估各类型电能表的实际运行寿命范围，对于减少用电纠纷、提高计量管理水平都显得十分重要。

寿命概念

1. 设计寿命

设计寿命取决于产品生产设计时的可靠性保障，主要受电能表设计、元器件采购和存储、内部质量、工艺管理以及产品的储运等方面的水平和方法的影响，同时也与产品的可靠性指标相关。代表可靠性水平的指标称为可靠性特征量，包括可靠度、不可靠度、失效概率密度和失效率等[3]。对于设计的可靠性寿命评估，一般可采用现场数据统计分析、加速寿命试验以及可靠性预计等方法评价[4-6]。

1）基于现场数据统计分析。该可靠性分析方法需记录已失效电能表的失效前运行时间和未失效电能表的在运累计时间，这意味至少需要了解投运时间、寿命历史数据、运行状况、失效时间或未失效的在运累计时间。通过统计失效时间的拟合推导该批电能表的可靠性特征量和可靠寿命。

2）加速寿命试验。加速寿命试验是在不改变电子式电能表失效机理、不增加新的失效模式的前提下，提高试验应力强度，加速失效进程。然后根据试验结果，拟合可靠度－寿命分布曲线，计算推导电子式电能表的可靠性特征量和可靠寿命。

3）可靠性预计。可靠性预计指根据电能表的元器件、部件的可靠性数据和模型，预计电能表在规定时间内正常工作或失效的概率，是提高电能表固有可靠性的重要技术手段。常用的方法包括元器件应力法、元器件计数法、失效物理分析法和相似预计法等。由于电能表零部件种类繁多以及使用的方法和条件多样，数据的协调一致存在较大困难，并且在一种环境中使用的系统获得的数据不一定能适用于其他环境。因此，可靠性预计存在着基础数据难以更新和预测技术复杂的局限性，其预计的设计寿命需在实际运行过程中进一步有效验证。

由于国内各个厂家在软硬件设计、元器件采购和存储、内部质量、工艺管理以及产品的储运等方面的水平和方法都各不相同，不同厂家的产品可靠性指标参差不齐。一些在行业内具有多年深耕细作、注重长期利益和发展的企业，其产品可靠性相对较高，而另一些靠市场关系，注重短

期利益的企业，其产品的可靠性则难以保证。因此，在国内错综复杂的生产厂家中，不能仅按照制造厂的承诺、理论数据和实验室模拟试验结果作为实际运行寿命判断的依据，应基于运行统计数据进行合理界定。

2. 实际运行寿命

由于中国现行标准和检定方法无法对电能表的寿命指标作出定量的权威认定，因此在实际应用中，一般按照相应的管理要求，根据运行电能表的质量抽检情况界定是否进行轮换，故实际运行寿命主要体现在各自轮换周期时的检定结果。

根据国家经济贸易委员会发布的《电能计量装置技术管理规程》要求：运行中Ⅰ类、Ⅱ类和Ⅲ类电能表的轮换周期一般为 3～4 年；运行中Ⅳ类电能表的轮换周期一般为 4～6 年；运行中Ⅴ类电能表的轮换周期一般为 10 年。但对同一厂家、型号的感应式电能表可按上述轮换周期，到周期抽检 10%，做修调前检验，若满足“Ⅰ类、Ⅱ类电能表的修调前检验合格率为 100%，Ⅲ类电能表的修调前检验合格率为 98%，Ⅳ类电能表的修调前检验合格率不低于 95%”的条件，则其他运行的表计允许延长 1 年使用，待第 2 年再抽检，直到不能满足条件时全部轮换。

国家行业法规只是给出了电能表的一般寿命年限，决定电能表寿命的还是电能表的质量，经常有电能表因在轮换周期内抽检不合格而被提前淘汰。低压单相电能表的装用量大，产品质量与可靠性水平参差不齐，其运行和使用的寿命也待运行抽检结果进行合理判定。根据 DL/T 448—2000《电能计量装置技术管理规程》中的相关规定，用于单相供电的用户计费用电能计量装置列为第Ⅴ类，需对其增加运行抽检环节，采用单相电能表运行抽检的管理方法替代周期轮换。JJG 307—1988 规程宣贯材料中明确指出：目前，我国缺少统计数据说明保证电能表正确运行的期限，仅根据各地区电能计量管理规程和使用部门的意见，确定轮换周期，显然缺乏一定的客观依据。不能仅按照制造厂的承诺、理论数据和实验室的模拟试验结果作为实际运行寿命判断的依据，应基于运行统计数据进行合理界定。

运行寿命评估方法

1. 评估方式

对于电能表的实际运行寿命，可以基于实际运行抽检和故障更换数据，根据可靠性原理分析电能表整体合格率变化趋势，结合电能表运行轮换标准进行合理界定。

基于电能表运行数据的寿命评估方法如图 1 所示，主要分为以下三个步骤。

1）通过抽检各运行年限的电能表质量情况，并统计电能表的运行故障更换情况。

2）建立电能表合格率与运行年限的对应关系，并结合可靠性原理公式进行曲线拟合。

3）根据拟合曲线预计电能表后期年限的合格率情况，并结合轮换标准进行合理界定。

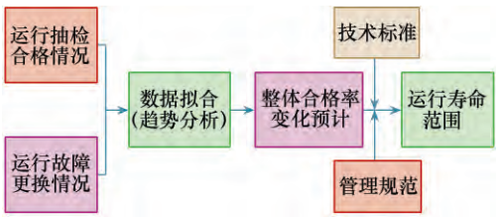


图 1　基于电能表运行数据的寿命评估方法

2. 运行数据采集

在运行环境中，现场数据代表了一批电能表的实际可靠性能。因此，基于实际运行数据统计分析在运电能表的可靠性是合适的选择。通过故障统计分析，可以发现电子式电能表多发生时钟异常、显示器故障和通信故障等非计量故障，故障发现具有直观性、及时性的特点；感应式电能表主要为计量故障，一般需检验后发现，具有隐蔽性、事后性的特点。因此，对于实际运行的电能表，除了运行抽检反映的质量情况，也要考虑平时运维工作中电能表的运行故障情况，用以综合评估电能表整体的质量水平。

1）运行质量抽检。运行质量抽检是定期对在运计量器具按一定比例进行质量抽检工作。通过运行质量抽检，可以及时跟踪电能计量器具质量情况，促使供应商提高产品质量，提高电能计量器具运行管理水平，确保计量准确可靠。质量抽检包括质量跟踪抽检、轮换质量抽检和现场运

行质量抽检等多种方式。在运行质量抽检中，要结合电能表运行时间明确归类，分别分析各运行年限的合格情况。

2) 运行故障更换。运行故障更换是指电能表运行期间因故障的及时发现而进行更换。由于电子式与感应式电能表各自故障的特点，且存在一定的外部环境的偶然因素，因此运行故障更换情况可考虑以年故障更换率作为数据统计基准，便于综合评估整体质量情况。年故障更换率是指电能表运行时间内，每年因故障而进行更换的电能表占总表数的比例。

3. 趋势分析

电能表由厂家交付电力公司的过程中经历过厂家合格检验筛选，同时也经历电力公司首检的质量检验，根据可靠性基本原理和浴盆曲线的规律，电能表在设计寿命范围内一般认为工作在偶然失效期，即在浴盆曲线的底部，其失效导致不合格概率服从指数分布。根据南方电网电能表相关技术标准，长寿命感应式电能表的寿命设计要求为 25 年，电子式电能表的设计寿命要求为 10 年，故可以近似认为在设计寿命时间范围内，电能表的可见故障情况处于偶然失效期。因此在区域内，可认为设计寿命范围内的电能表合格率随运行时间变化趋势符合

$$y(t) = Ke^{-\int_0^t \lambda(t)\,dt} = Ke^{-\lambda t}$$

通过电能表数据采集，收集历年各运行年限电能表的合格率和运行时间，按照指数分布的形式对电能表运行年限与合格率分布情况进行拟合，确定相应的变化参数，综合预测区域内电能表合格率变化趋势，评估电能表后期年限的合格率情况。

实例评估分析

低压单相电能表属于Ⅴ类电能表，参考 DL/T 448—2000《电能计量装置技术管理规程》中的抽检方案，可设定第Ⅴ类电能表运行合格率应大于 94%，若小于该水平，应进行该批次的轮换工作。由于长寿命感应式电能表大批量使用约在 2002 年，电子式电能表大批量使用约在 2004 年，而运行质量抽检主要针对运行 5～6 年的电能表展开，因此，根据某区域电能表的运行抽检情况，主要收集长寿命感应式电能表运行 3～8 年、电子式电能表运行 3～6 年的抽检数据，抽检情况如表 1 所示。

表 1　电子式与长寿命感应式电能表抽检数据

类型	运行年份/年	抽检数量	合格数量	合格率（%）
长寿命感应式电能表	3	1 044	1 022	97.9
	4	269	264	98.1
	5	5 450	5 326	97.7
	6	2 293	2 244	97.9
	7	824	796	96.6
	8	1 361	1 305	95.9
电子式电能表	3	619	610	98.5
	4	124	121	97.6
	5	2 257	2 215	98.1
	6	1 650	1 597	96.8

根据合格率与运行时间的相关性按指数分布拟合曲线，可得长寿命感应式电能表 3～8 年的抽检合格率随运行时间变化的趋势如图 2 所示，电子式电能表 3～6 年的抽检合格率随运行时间变化的趋势如图 3 所示。可以看出，由于抽检范围及不同厂家电能表质量的影响，抽检合格率有一定范围的波动，但随着运行时间的增长，电能表的合格率整体呈下降趋势，根据合格率变化曲线，可得其合格率变化指数趋势线。

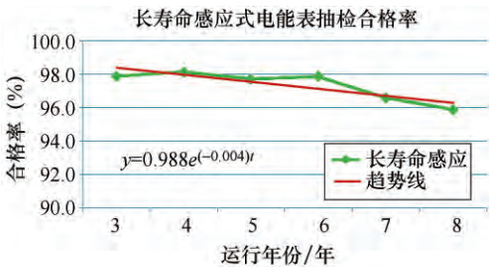


图 2　长寿命感应式电能表抽检合格率变化情况

因趋势线拟合值与实际值之间不可避免会出现相应的偏差，根据实际抽检合格率与趋势线合格率对比，可得到长寿命感应式电能表和电子式电能表因趋势线值导致与实际值之间方均根偏差范围分别为 ±0.42% 和 ±0.41%，如表 2、表 3 所示。

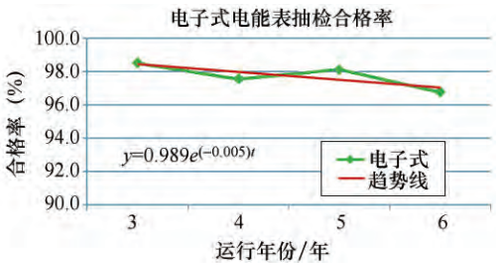


图3　电子式电能表抽检合格率变化情况

表2　长寿命感应式电能表合格率情况

运行年份/年	抽检合格率（%）	趋势线合格率（%）	偏差范围	
			偏差值（%）	平均范围（%）
3	97.9	98.4	−0.51	±0.42
4	98.1	98.0	0.13	
5	97.7	97.6	0.10	
6	97.9	97.2	0.63	
7	96.6	96.8	−0.24	
8	95.9	96.5	−0.57	

表3　电子式电能表合格率情况

运行年份/年	抽检合格率（%）	趋势线合格率（%）	偏差	
			偏差值（%）	平均范围（%）
3	98.5	98.4	0.14	±0.41
4	97.6	97.9	−0.34	
5	98.1	97.4	0.71	
6	96.8	96.9	−0.15	

根据区域内近3年的平均故障率统计，长寿命感应式电能表因故障更换的百分率为0.59%，电子式电能表因故障更换的百分率为1.16%，则考虑故障更换比率，根据趋势线拟合值的影响，可预计长寿命感应式电能表和电子式电能表整体合格率变化情况如表4、表5所示。

表4　长寿命感应式电能表合格率变化趋势

运行年份/年	趋势线值（%）	考虑故障更换比率（%）	趋势线偏差影响	
			范围低值（%）	范围高值（%）
9	96.1	95.5	95.1	95.9
10	95.7	95.1	94.7	95.5
11	95.3	94.7	94.3	95.1
12	94.9	94.3	93.9	94.8

（续）

运行年份/年	趋势线值（%）	考虑故障更换比率（%）	趋势线偏差影响	
			范围低值（%）	范围高值（%）
13	94.5	94.0	93.5	94.4
14	94.2	93.6	93.2	94.0
15	93.8	93.2	92.8	93.6
16	93.4	92.8	92.4	93.3
17	93.0	92.5	92.0	92.9
18	92.7	92.1	91.7	92.5
19	92.3	91.7	91.3	92.1
20	91.9	91.3	90.9	91.8

表5　电子式电能表合格率变化趋势

运行年份/年	趋势线值（%）	考虑故障更换比率（%）	趋势线偏差影响	
			范围低值（%）	范围高值（%）
7	96.5	95.3	94.9	95.7
8	96.0	94.8	94.4	95.2
9	95.5	94.3	93.9	94.7
10	95.0	93.9	93.5	94.3
11	94.5	93.4	93.0	93.8
12	94.1	92.9	92.5	93.3
13	93.6	92.4	92.0	92.9
14	93.1	92.0	91.6	92.4
15	92.7	91.5	91.1	91.9

根据合格率低于94%时应考虑轮换的轮换标准，可以看出，长寿命感应式电能表的平均运行寿命周期水平一般为11～14年，与JJG 307—2006规程中长寿命感应式电能表建议轮换周期不超过15年相符合；电子式电能表的平均运行寿命水平一般为8～10年，接近设计寿命10年的一般要求。由于不同厂家、不同批次及不同运行环境下的电能表运行质量情况不一，实际生产管理中，电能表的运行寿命需要根据详细规范的检定数据进行判定。该结果基于部分实际运行统计数据，采用一定的理论方法，作为一个范围和趋势的评估，一定程度上能够代表区域内电能表实际运行寿命的平均水平。

结束语

介绍了电能表寿命的基本概念与分析方法，

根据可靠性原理和电能表管理要求，提出了一种基于实际数据的电能表运行寿命评估方法，通过实例分析，可以看出各类型电能表实际运行寿命水平均小于设计寿命且有不同程度的差距，能够为区域内电能表周期检验和轮换时间提供一定的参考。

参考文献

[1] 王志月. 电能计量技术 [M]. 北京: 中国电力出版社，2007.

[2] 李向锋，陈俊，刘鹰. 电子式电能表寿命评估与长寿命电能表的应用 [J]. 湖北电力，2008（12）：22-24，37.

[3] 张增照，潘勇. 电子产品可靠性预计 [M]. 北京: 中国科学技术出版社，2007.

[4] 王思彤，罗玮，袁瑞铭，等. 电子式电能表寿命概念的探讨 [J]. 电测与仪表，2009，46（10）：48-52.

[5] 浦志勇，林克. 加速寿命试验与电能表的可靠性试验方法 [J]. 电测与仪表，2007，44（12）：63-66.

[6] 国家质量监督检验检疫总局职业技能鉴定指导中心. 产品可靠性性能检验 [M]. 北京: 中国计量出版社，2005.

[7] 王辉，刘品潇，周青辉. 浅谈感应式电能表在计量中的技术缺陷 [J]. 电测与仪表，2009，46（9）：26-27，106.

[8] 周孔均，李海俊，侯兴哲，等. 全寿命周期成本（LCC）理论在电能表管理中的应用 [J]. 电测与仪表，2006，43（10）：21-25.

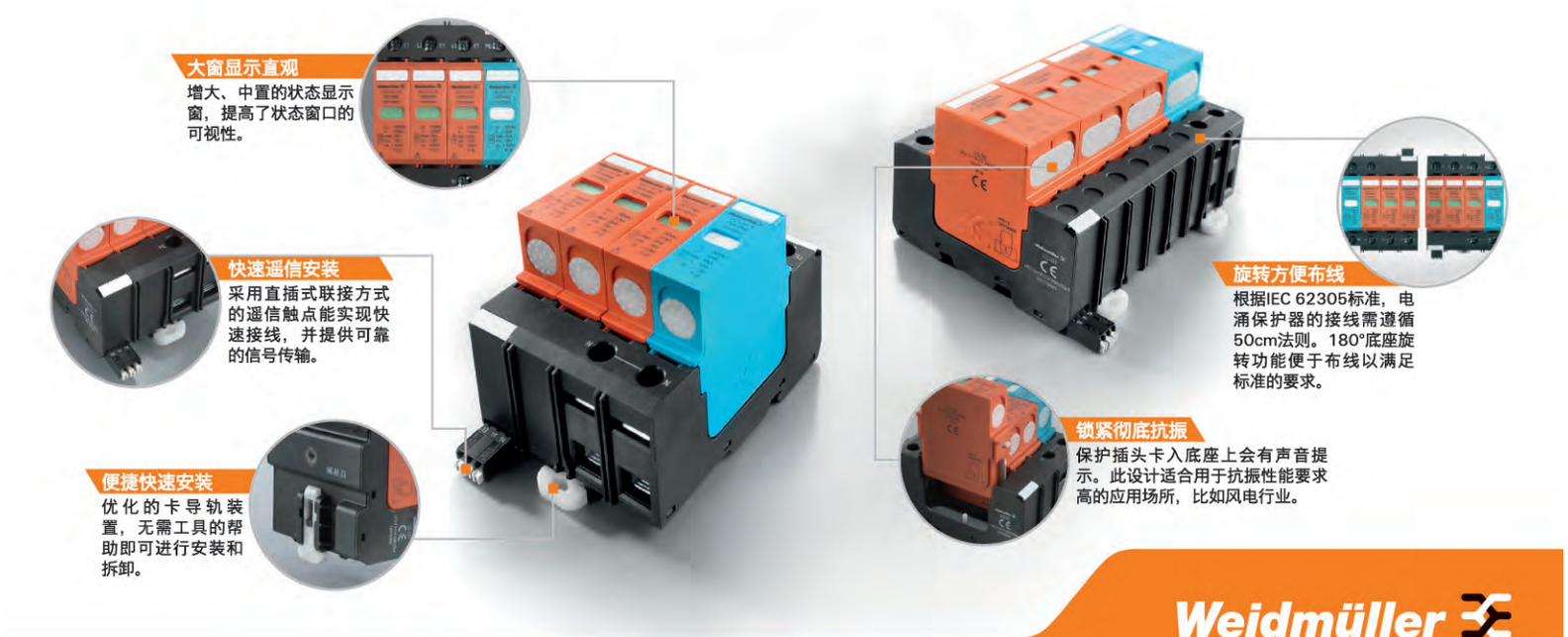
[9] 武宏波，王思彤，罗玮，等. 电子式电能表寿命概念的再探讨 [J]. 电测与仪表，2009，46（12）：68-72.

[10] DL/T 830—2002 静止式单相交流有功电能表使用导则 [S]. 北京: 中国电力出版社，2002.

[11] 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，2000.

[12] 国家质量监督检验检疫总局. JJG 307—2006 机电式交流电能表（电度表）检定规程 [S]. 北京: 中国计量出版社，2006.

（收稿日期：2014-06-10） EA



Weidmüller

魏德米勒VPU系列电涌保护器

—低压供电系统的升级版电涌保护卫士

魏德米勒VPU系列电涌保护器用于低压供电系统，符合2012年IEC/EN 61643-11国际标准，为您提供持久、安全、前瞻性的雷电和浪涌保护解决方案，并简化维修。

魏德米勒电联接(上海)有限公司
电话: 86 21-22195008 网址: www.weidmueller.com.cn

魏德米勒在华辉煌二十年