

低压成套无功功率补偿装置新旧标准及 关键试验对比分析

陈广柱^{1,2}, 杨玉昕^{1,2}, 张雅楠^{1,2}, 吕培禾^{1,2}, 王建全^{1,2}

(1. 天津天传电控设备检测有限公司, 天津 300300;

2. 天津电气科学研究院有限公司, 天津 300180)

摘要: 新版本 GB/T 15576—2020《低压成套无功功率补偿装置》国家标准于 2020 年 11 月 19 日发布, 2021 年 6 月 1 日实施, 代替旧标准。通过对新旧标准内容和关键试验进行对比分析, 介绍了新标准的试验方法及新旧标准的差异。通过对关键差异试验项目的分析, 并依据新标准结合典型试验样品进行实例分析, 给出了试验结论。同时针对集成低压无功功率补偿功能验证、涌流试验、噪声测试等试验项目提出了优化观点, 为今后新标准的试验方法应用奠定了基础, 为开展后续的换版试验提供了重要的借鉴意义。

关键词: 标准换版; 低压成套无功功率补偿装置; 关键试验; 集成低压无功功率补偿功能验证; 涌流试验; 噪声测试

中图分类号: TM50 文献标识码: A DOI: 10.19457/j.1001-2095.dqed24071

Comparative Analysis of New and Old Standards and Key Tests of Low-voltage Reactive Power Compensation Assemblies

CHEN Guangzhu^{1,2}, YANG Yuxin^{1,2}, ZHANG Yanan^{1,2}, LÜ Peihe^{1,2}, WANG Jianquan^{1,2}

(1. Tianjin Tianchuan Electric Control Equipment Test Co., Ltd., Tianjin 300300, China;

2. Tianjin Research Institute of Electric Science Co., Ltd., Tianjin 300180, China)

Abstract: The new version of the national standard GB/T 15576—2020 《Low-voltage reactive power compensation assemblies》 was released on November 19, 2020, and has been implemented on June 1, 2021, replacing the old standard. Through comparative analysis of the content of the new and old standards and key tests, the test methods of the new standard and the differences between the new and old standards were introduced. Through the difference analysis of key tests, and based on the new standard combined with the typical test samples for case analysis, the test conclusions were given. At the same time, optimization points were put forward for the test items such as integrated low-voltage reactive power compensation function verification, inrush current test, noise test, etc., which lays the foundation for the application of new standard test methods in the future, and provides an important reference for the subsequent version change test.

Key words: standard version change; low-voltage reactive power compensation assemblies; key tests; function verification of integrated low-voltage reactive power compensation assemblies; inrush current test; noise test

低压成套无功功率补偿装置广泛应用于电力系统中, 用于补偿系统的无功功率, 降低网络损耗, 改善功率因数, 提高电能质量^[1]。低压无功功率补偿装置是一种经济、节能的电力电子装置^[2]。目前根据运行参数和应用场合不同, 普遍存在的电力系统无功补偿装置包括无源电力电容补偿装置、有源电力电容补偿装置、有源与无源混合补偿装置、集成电力电容补偿装置等。

低压成套无功功率补偿装置标准作为推荐性国家标准, 对产品的性能、设计、试验要求做了严格的规定。虽然是推荐性标准, 但是此标准一直是作为强制性产品认证依据的国标, 目前作为低压无功功率补偿装置强制性自我声明认证形式和自愿认证形式的唯一标准。低压成套无功功率补偿装置 GB/T 15576—2008《低压成套无功功率补偿装置》自 2008 年 6 月 30 日发布, 2009 年

基金项目: 天津电气科学研究院有限公司自立项目(JC2021ZL001)

通讯作者: 陈广柱(1988—), 男, 硕士, 高级工程师, Email: guangzhuchen606@163.com

4月1日实施以来,至2020年11月19日,历时12年,才由新版国家标准GB/T 15576—2020《低压成套无功功率补偿装置》发布实施替换原来的标准^[3-4]。本次新标准试验项目涉及的变化比较多,本文首先介绍新旧标准内容差异,然后以具体试验项目进行实例分析,对比新旧标准试验项目差异,对低压无功功率补偿装置的试验有一定的借鉴意义。

1 新版补偿装置国家标准中新增及差异内容

这里主要分析总结新版国家标准GB/T 15576—2020《低压成套无功功率补偿装置》与2008版国家标准GB/T 15576—2008《低压成套无功功率补偿装置》相比有关试验项目及参数变化的内容^[3-4]:

1)4.3节补偿相数有变化。新标准描述为依据补偿相数分为:单相补偿装置、相间补偿装置、三相补偿装置和混合补偿装置(以上三种方式中两种或两种以上的混合补偿)。相比于旧标准,主要增加了相间补偿装置新内容。

2)4.4节增加了复合开关(半导体电子开关和机电开关并联的组合物、单片机CPU控制+磁保持继电器)的描述,主要是针对集成低压无功功率补偿功能验证。

3)增加了7.1.3节绝缘材料的性能、7.1.6节提升装置、7.2.1节对机械碰撞的防护,主要针对补偿装置的新增项目。

4)7.3.2节和7.3.3节中新标准的取值方法与GB/T 7251.1—2013相同,且新标准的要求值降低。

5)8.1节工频耐压要求值有变化,新标准的取值方法与GB/T 7251.1—2013相同,新标准的要求值降低,新、旧版标准中的工频耐压值分别如表1和表2所示。

表1 新版标准中的工频耐压值

额定绝缘电压 (线-线交流或直流) U_i/V	介电试验电压 (交流有效值)/V	介电试验 电压(直流)/V
$U_i \leq 60$	1 000	1 415
$60 < U_i \leq 300$	1 500	2 120
$300 < U_i \leq 690$	1 890	2 670
$690 < U_i \leq 800$	2 000	2 830
$800 < U_i \leq 1\ 000$	2 200	3 110
$1\ 000 < U_i \leq 1\ 500$	2 700	3 820

表2 旧版标准中的工频耐压值

额定绝缘电压 U_i/V	试验电压有效值/V
$U_i \leq 60$	1 000
$60 < U_i \leq 300$	2 000
$300 < U_i \leq 690$	2 500
$690 < U_i \leq 800$	3 000
$800 < U_i \leq 1\ 000(1\ 140)$	3 500

6)8.2节温升极限有变化,温升限值表增加了注释。注1:当温升超过105 K时,铜很容易产生退火。其他材料有不同的最大温升值。注2:本表中给出的温升限值要求在正常使用条件下周围空气平均温度不超过+35℃。在验证过程中,允许有不同的环境温度。

7)8.6.3节有变化,涌流倍数降低。采用半导体电子开关或复合开关投切电容器的涌流应限制在该组电容器额定电流的3倍(旧标准5倍)以下,采用机电开关投切电容器的涌流应限制在该组电容器额定电流的50倍(旧标准100倍)以下。

8)8.9.2节和8.9.3节公用电网谐波电压(相电压)的限值和公用电网谐波电流允许值有变化,新标准删除了高电压部分的限制要求,仅保留了0.38 kV的限制要求。

9)9.14节噪声测试有变化,试验标准依据由GB/T 10233—2005《低压成套开关设备和电控设备基本试验方法》变更成GB/T 3768—2017《声学声压法测定噪声源声功率级和声能量级 采用反射面上方包络测量面的简易法》。

10)增加9.21节集成低压无功功率补偿装置功能验证。9.21.1节检测、控制功能验证,依据JB/T 9663—2013中8.3节和8.4节验证集成低压无功功率补偿装置的基本功能;9.21.2节投切开关的投切功能验证,依据GB/T 29312—2012中7.3节验证集成低压无功功率补偿装置的投切功能;9.21.3节智能化,依据GB/T 7251.8—2020中8.2节验证系统检测数据传输和远程控制功能。

2 新旧标准试验项目实例分析

本部分主要以集成低压无功功率补偿功能验证、涌流试验、噪声测试为例,进行实例分析。

2.1 集成低压无功功率补偿功能验证

此检测项目为新标准新增项目,需要依据新标准通过厂家送试控制部分或者从集成装置上拆机测得,某厂家集成低压无功补偿装置控制单元如图1所示。

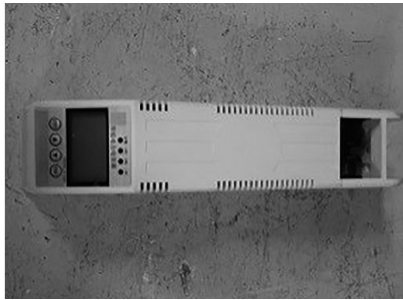


图1 集成装置控制单元

Fig.1 Integrated device control unit

依据新标准 9.21.1 节和 9.21.2 节测得某厂家额定容量 40 kvar 智能集成低压无功功率补偿装置波形如图 2~图 5 所示。

依据新标准 9.21.1 节中依据 JB/T 9663—2013 测得的动态响应时间波形图如图 2 和图 3 所示。

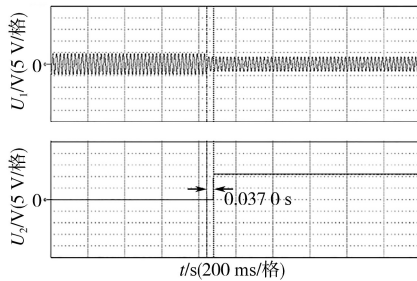


图2 动态响应时间波形图(接通)

Fig.2 Dynamic response time waveforms(on)

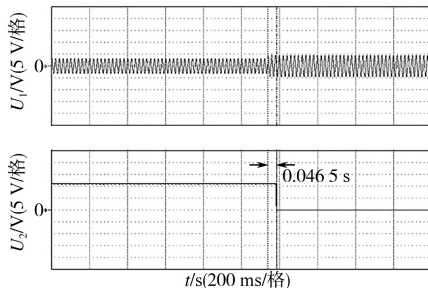


图3 动态响应时间波形图(分断)

Fig.3 Dynamic response time waveforms(off)

以单相复合开关(CPU+磁保持继电器)为例,依据新标准 9.21.2 节中依据 GB/T 29312—2013 测得的投切装置的动态响应时间波形图如图 4 所示。

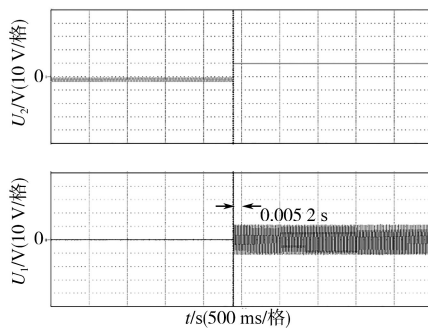


图4 动态响应时间波形图(单相复合开关)

Fig.4 Dynamic response time waveforms (single-phase composite switch)

以单相复合开关(CPU+磁保持继电器)为例,依据新标准 9.21.2 中依据 GB/T 29312—2013 测得的投切装置的涌流波形图如图 5 所示。

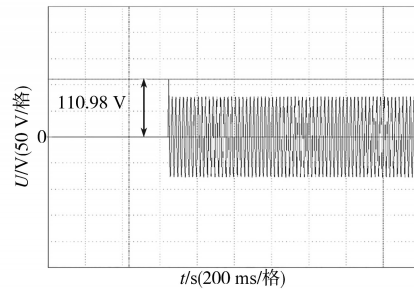


图5 涌流波形图(单相复合开关)

Fig.5 Surge waveforms(single-phase composite switch)

2.2 涌流试验

对于涌流试验,需核查原试验报告,如果试验结果符合新标准的要求,则不必进行试验,否则,需要进行试验验证。

以某两个厂家(A和B)某 40 kvar 投切开关类型为复合开关(CPU+磁保持继电器)低压无功功率补偿装置为例进行验证。

对于厂家 A,涌流波形图如图 6。已知图中电流钳变比为 1 V/2 A,电容器额定电流为 48 A。从图中可以读出,三相电容器涌流值为:A 相 124.676 A,B 相 86.580 A,C 相 98.702 A;涌流倍数计算分别为 A 相 2.60 倍、B 相 1.80 倍和 C 相 2.06 倍。

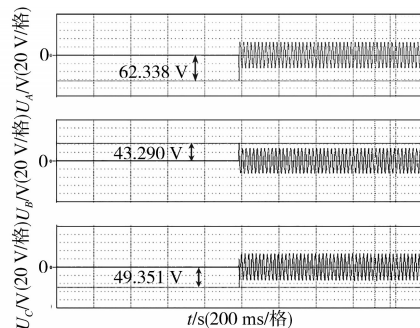


图6 厂家 A 样品的涌流波形图

Fig.6 Surge waveforms of factory A sample

对于厂家 B,涌流波形图如图 7 所示。已知

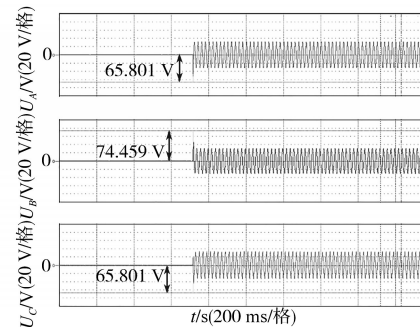


图7 厂家 B 样品的涌流波形图

Fig.7 Surge waveforms of factory B sample

图中电流钳变比为1 V/2 A,电容器额定电流为48 A。从图中可以读出,三相电容器涌流值分别为:A相131.602 A,B相148.918 A,C相131.602 A;涌流倍数计算分别为A相2.74倍、B相3.10倍和C相2.74倍。

综上,从厂家A和厂家B的涌流试验数据看,厂家A和厂家B均满足旧标准中“采用半导体电子开关及复合开关投切电容器的涌流,应限制在该组电容器额定电流的5倍以下”,但是厂家B的涌流数值为B相3.10倍,不满足新标准中“采用半导体电子开关及复合开关投切电容器的涌流,应限制在该组电容器额定电流的3倍以下”,故对于厂家B,进行换版试验时,试验结果不符合新标准的要求,需要进行试验验证。

2.3 噪声测试

对于噪声测试试验,新标准依据GB/T 3768—2017,旧标准按照GB/T 10233—2005,新旧标准测试方法和需要测试的参数有所不同。

对于新标准,依据GB/T 3768—2017测量面上的传声器阵列的A计权时间平均声压级的平均值 $\overline{L'_{pAi(ST)}}$ 按下式计算^[5]:

$$\overline{L'_{pAi(ST)}} = 10 \lg \left[\frac{1}{N_M} \sum_{i=1}^{N_M} 10^{0.1 L'_{pAi(ST)}} \right] \quad (1)$$

式中: $L'_{pAi(ST)}$ 为第*i*个传声器位置或移动路径被测噪声源(ST)的A计权时间平均声压级,dB; N_M 为传声器位置数或路径数。

背景噪声的A计权时间平均声压级的平均值 $\overline{L_{pAi(B)}}$ 按下式计算:

$$\overline{L_{pAi(B)}} = 10 \lg \left[\frac{1}{N_M} \sum_{i=1}^{N_M} 10^{0.1 L_{pAi(B)}} \right] \quad (2)$$

式中: $L_{pAi(B)}$ 为第*i*个传声器位置或路径背景噪声的A计权时间平均声压级,dB。

背景噪声修正值 K_{1A} 用下式计算:

$$K_{1A} = -10 \lg(1 - 10^{-0.1 \Delta L_{pA}}) \quad (3)$$

其中

$$\Delta L_{pA} = \overline{L'_{pAi(ST)}} - \overline{L_{pAi(B)}}$$

式中: K_{1A} 为背景噪声修正值,dB。

如果 $\Delta L_{pA} > 10$ dB,则可以认为 K_{1A} 为0。如果 $3 \text{ dB} \leq \Delta L_{pA} \leq 10$ dB,则应按式(3)进行修正。如果 $\Delta L_{pA} < 3$ dB,标准中规定,测量结果准确度会下降,此时 K_{1A} 取3 dB,同时在报告中予以说明相应情况。

测试环境修正值 K_{2A} 用下式计算:

$$K_{2A} = 10 \lg(1 + 4S/A) \quad (4)$$

综上,最终测得的测量面的时间平均声压级 $\overline{L_{pA}}$ 为对背景噪声和测试环境综合修正后计算得到的,如下式:

$$\overline{L_{pA}} = \overline{L'_{pAi(ST)}} - K_{1A} - K_{2A} \quad (5)$$

而对比旧标准,按照GB/T 10233—2005中规定,计算A计权表面声压级 L_{pAm} ^[6]用下式:

$$L_{pAm} = 10 \lg \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0.1 L_{pi}} \right] \quad (6)$$

式中: L_{pi} 为第*i*次测量所得的A计权表面声压级,dB; N 为测量次数。

和新标准GB/T 15576—2020对比,虽然旧标准中有规定背景噪声的修正(GB/T 10233—2005中表30),但新标准有明确计算得到背景噪声修正值 K_{1A} ,同时旧标准也未规定测试环境修正值 K_{2A} 。接下来以某厂家综合配电箱(JP)实际测量数据,对新、旧版标准噪声进行实例分析。

初始参数数据:某厂家综合配电箱,尺寸为高1.18 m、宽1.65 m和深0.8 m,结合GB/T 3768—2017中附录C,对于此样品,经过测量路径计算后,需要测得8个点,分别为:前侧2个、后侧2个、左侧1个、右侧1个和顶部2个,共8个传声器采样点。依据标准GB/T 3768—2017 7.2.4,取 $d=1$ 。测得各采样点的噪声源的A计权声压级如表3所示。

表3 新版标准实例中的测量结果
Tab.3 Measurements of instance in the new standard

测试点	设备运行中 $L'_{pAi(ST)}/\text{dB}$	背景噪声 $L_{pAi(B)}/\text{dB}$
1	58.12	50.30
2	58.33	50.20
3	57.37	50.30
4	57.04	52.07
5	57.90	51.77
6	58.12	52.26
7	58.66	50.99
8	58.44	50.39

经式(1)和式(2)计算得: $\overline{L'_{pAi(ST)}}=58.03$ dB; $\overline{L_{pAi(B)}}=51.11$ dB; $\Delta L_{pA}=6.92$ dB。按照标准规定,需要对 K_{1A} 进行计算。依据式(3)得 $K_{1A}=0.99$ dB,经式(4)计算得 $K_{2A}=4.29$ dB。最终经式(5)计算得到测量面时间的平均声压级为52.75 dB,不大于标准规定的声压级70 dB限值。

对于旧标准,正常取前、后、左、右4个点测量值,如表4所示。

表4 旧版标准实例中的测量结果

Tab.4 Measurements of instance in the old standard

测试点	未修正 L_{p1} /dB	背景噪声/dB	经修正后 L_{p1} /dB
1	58.12	50.30	57.12
2	57.37	50.30	56.37
3	57.90	51.77	56.90
4	58.12	52.26	57.12

经式(6)计算得 $L_{pm}=56.89$ dB。经对比,旧标准测得的声压级未考虑测试环境修正值 K_{2A} ,测得数据未经修正,数据较新标准比较严苛。

3 结论

本文首先对国标 GB/T 15576—2020新版补偿装置国家标准中新增及差异内容进行了分析,然后以新旧标准关键典型试验项目进行实例分析,列举了新版标准中集成低压无功功率补偿功能验证试验、涌流试验、噪声测试试验的新方法。最后从波形图、表格用数据对比了新旧标准试验的实际差异,给出了具体试验计算方法及建议,针对今后进行标准换版试验、进行新标准认证试验给出了很好的建议,同时对有效快捷地进行新标准试验有很好的推进作用。

参考文献

[1] 牟聿强,刘振东,张雅楠,等. 低压成套无功功率补偿装置标准及试验分析[J]. 电气传动,2014,44(1):93-96.
Mu Yuqiang, Liu Zhendong, Zhang Yanan, et al. Analysis of the standard and test about low-voltage reactive power compensation assemblies[J]. Electric Drive, 2014, 44(1): 93-96.

[2] 崔静,王阳,王沙. 低压成套无功功率补偿装置发展分析及
(上接第31页)

matching[J]. Proceedings of the CSEE, 2019, 39(23): 6867-6876, 7100.

[14] 王智博. 电流互感器取电电源的研究与设计[D]. 杭州:浙江大学,2015.
Wang Zhibo. Research and design of current transformer feeding power supply[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015.

[15] 谢志远,毕亭亭,金慧莹,等. 高压输配电线路在线监测设备供电电源的研究[J]. 电测与仪表,2016,53(22):16-21.
Xie Zhiyuan, Bi Tingting, Jin Huiying, et al. Research on power supply of online monitoring equipment for high-voltage trans-

研究[J]. 电工文摘,2009(5):66-67.
Cui Jing, Wang Yang, Wang Sha. Analysis and research on the development of low-voltage reactive power compensation assemblies[J]. Electrician's Digest, 2009 (5):66-67.

[3] 中华人民共和国国家标准. GB/T 15576—2008. 低压成套无功功率补偿装置[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
National standards of People's Republic of China. GB/T 15576—2008. Low-voltage reactive power compensation assemblies[S]. Beijing: China Standard Press, 2008.

[4] 中华人民共和国国家标准. GB/T 15576—2020. 低压成套无功功率补偿装置[S]. 北京:中国标准出版社,2020.
National standards of People's Republic of China. GB/T 15576—2020. Low-voltage reactive power compensation assemblies[S]. Beijing: China Standard Press, 2020.

[5] 中华人民共和国国家标准. GB/T 3768—2017/ISO 3746:2010. 声学 声压法测定噪声源声功率级和声能量级 采用反射面上方包络测量面的简易法[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
National standards of People's Republic of China. GB/T 3768—2017/ISO 3746:2010. Acoustics-determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure-survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane[S]. Beijing: China Standard Press, 2017.

[6] 中华人民共和国国家标准. GB/T 10233—2005. 低压成套开关设备和电控设备基本试验方法[S]. 北京:中国标准出版社,2005.
National standards of People's Republic of China. GB/T 10233—2005. Basic testing method for low-voltage switchgear and controlgear assemblies[S]. Beijing: China Standard Press, 2005.

收稿日期:2021-11-10

修改稿日期:2021-12-17

mission and distribution line[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2016, 53(22): 16-21.

[16] 李先志,杜林,陈伟根,等. 输电线路状态监测系统取电电源的设计新原理[J]. 电力系统自动化,2008,32(1):76-80.
Li Xianzhi, Du Lin, Chen Weigen, et al. A novel scheme of draw-out power supply utilized in transmission line state monitoring[J]. Automation of Electric Power System, 2008, 32(1): 76-80.

收稿日期:2021-03-23

修改稿日期:2021-04-07