

# 高压交流断路器IEEE标准与IEC标准差异

随着电力行业的不断发展，中国电气产品制造企业的市场也不断扩展，部分产品出口到全球多个地区。不同地区对于产品参数的要求存在差异，采用的检验标准也不同。对高压交流断路器IEEE标准与IEC标准进行比较，并梳理出两类标准的主要差异。

张宇博 李 刚/西安高压电器研究院有限责任公司

## 0 引言

我国高压电器事业发展迅速，近年来部分电气产品开始进驻海外市场。每个市场对于电气产品的需求存在差异、产品的具体参数存在差异、产品检验所依据的标准也存在差异。笔者针对高压交流断路器检测所用的部分IEEE标准和IEC标准进行比较，并对标准存在的差异进行了梳理。

本文涉及的IEC标准包括：IEC 62271-1-2011《高压开关设备和控制设备-第1部分：一般规范》（《High-Voltage Switchgear and Controlgear-Part 1: Common Specifications》）；IEC 62271-100-2012《高压开关设备和控制设备-第100部分：交流断路器》（《High-Voltage Switchgear and Controlgear-Part 100: Alternating-Current Circuit-Breakers》）；IEC 62271-101-2012《高压开关设备和控制设备-第101部分：合成试验》（《High-Voltage Switchgear and Controlgear-Part 101: Synthetic Testing》）。

对应的IEEE标准包括：IEEE C37.100.1-2007《额定电压1 000 V以上

的高压电力开关的共用要求》（《IEEE Standard of Common Requirements for High Voltage Power Switchgear Rated Above 1 000 V》）；IEEE C37.09-1999《基于对称电流的交流高压断路器用标准试验程序》（《IEEE Standard Test Procedure for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis》）；IEEE C37.09a-2005《基于对称电流的交流高压断路器用标准试验程序 修订1：容性电流开合》（《IEEE Standard Test Procedure for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis - Amendment 1: Capacitance Current Switching》）；IEEE C37.09b-2010《基于对称电流的交流高压断路器用标准试验程序 修订2：为与IEC 62271-100协调进行的瞬态恢复电压描述的改变》（《IEEE Standard Test Procedure for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis - Amendment 2: to Change the Description of Transient Recovery Voltage for Harmonization with IEC 62271-100》）；IEEE C37.04-1999（R2006）《交流高压断路器参数结构》（《IEEE Standard Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers》）；IEEE C37.04a-2003《基于对称电流的交流高压断路器参数结构 修订1：容性电流开合》（《IEEE Standard Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis - Amendment 1: Capacitance



张宇博/工程师

### 关键词/Keywords

高压交流断路器 ·  
IEEE标准 ·  
IEC标准 ·  
差异 ·

Current Switching) ； IEEE C37.04b—2008《基于对称电流的交流高压断路器参数结构 修订2：为与IEC 62271-100协调进行的瞬态恢复电压描述的改变》（《IEEE Standard for Rating Structure for AC High-Voltage Circuit-Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis—Amendment 2：to Change the Description of Transient Recovery Voltage for Harmonization with IEC 62271-100》）； IEEE C37.06—2009《基于对称电流的高压交流断路器——额定电压1 000 V以上的设备优选值和相应性能要求》（《IEEE Standard for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis—Preferred Ratings and Related Required Capabilities for Voltages above 1 000 V》）； IEEE C37.011—2011《交流高压断路器瞬态恢复电压的应用导则》（《IEEE Guide for the Application of Transient Recovery Voltage for AC High-Voltage Circuit Breakers》）； IEEE C37.081—1981《基于对称电流的交流高压断路器的合成故障试验的导则》（《Guide for Synthetic Fault Testing for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis》）； IEEE C37.081a—1997《基于对称电流的交流高压断路器的合成故障试验导则》（《Guide for Synthetic Fault Testing for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis》）； IEEE C37.083—1999《交流高压断路器的合成容性电流开合试验导则》（《IEEE Guide for Synthetic Capacitive Current Switching Tests of AC High-Voltage Circuit Breakers》）。

笔者对以上列出的IEEE和IEC标准在针对交流

断路器的适用范围、使用条件、额定值、型式试验等多个方面进行比较，找出其中的异同点，以期分别为依据这两类标准或一次性试验覆盖两类标准的试验实施方案提供参考。本文后面出现的所有标准仅写出标准号，对应以上列出的标准。

## 1 适用范围的差异

引言中列出的IEEE和IEC标准在以下适用范围方面上没有差异。

- 1) 适用频率均包含50 Hz和60 Hz。
- 2) 额定电压均为1 000 V以上。
- 3) 均包含户内和户外类别。
- 4) 均适用三相系统中的三极断路器和单相系统中的单极断路器。
- 5) 均不适用于发电机断路器。

## 2 对于正常使用条件规定的差异

针对户内户外开关设备和控制设备多项正常使用条件，IEEE C37.100.1—2007和IEC 62271-1—2011规定有相同的地方，也存在不同的地方，户内开关设备和控制设备的正常使用条件比较如表1所示，户外开关设备和控制设备的正常使用条件比较如表2所示。

比较显示，对于户内外开关设备和控制设备的正常使用条件，IEC标准相对于IEEE标准，规定的更为详细，且存在明显的差异性。

## 3 额定值的差异

### 3.1 额定电压

两类标准对于额定电压的规定存在较小的差异，具体规定如下。

表1 IEEE与IEC对于户内开关设备和控制设备的正常使用条件规定的差异性

| 使用条件   | 标准 | 规定                                                                                                        |
|--------|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 周围空气温度 | A  | 不超过40℃，最低周围温度对于“—30户内类”为—30℃                                                                              |
|        | B  | 不超过40℃，且在24 h内测得的平均值不超过35℃，最低周围空气温度的优选值为—5℃，—15℃和—25℃                                                     |
| 湿度条件   | A  | ①在24 h内测得的相对湿度平均值不超过95%；②月相对湿度平均湿度不超过90%。在这样的条件偶尔会出现凝露                                                    |
|        | B  | ①在24 h内测得的相对湿度平均值不超过95%；②在24 h内测得的水蒸气压力的平均值不超过2.2 kPa；③月相对湿度平均湿度不超过90%；④月水蒸气压力平均值不超过1.8 kPa。在这样的条件偶尔会出现凝露 |

注：A为IEEE C37.100.1—2007；B为IEC 62271-1—2011。

表2 IEEE与IEC对于户外开关设备和控制设备的正常使用条件规定的差异性

| 使用条件      | 标准 | 规定                                                          |
|-----------|----|-------------------------------------------------------------|
| 周围空气温度    | A  | 不超过40℃，最低周围温度对于“-30户内类”为-30℃                                |
|           | B  | 不超过40℃，且在24 h内测得的平均值不超过35℃，最低周围空气温度的优选值为-10℃，-25℃，-30℃和-40℃ |
| 考虑温度的急剧变化 | A  | 晴天中午的阳光辐射1 044 W/m <sup>2</sup>                             |
|           | B  | 晴天中午的阳光辐射1 000 W/m <sup>2</sup>                             |
| 覆冰/mm     | A  | 不超过1                                                        |
|           | B  | 应考虑1~20的范围，但不超过20                                           |
| 风速/(m/s)  | A  | 不超过40                                                       |
|           | B  | 不超过34                                                       |

注：A为IEEE C37.100.1—2007；B为IEC 62271-1—2011。

IEEE C37.100.1—2007 对于额定电压的划分为两大类别，245 kV及以下，245 kV以上。

1) 245 kV及以下。系列A：4.76、8.25、15、15.5、25.8、27、38、48.3、72.5、123、145、170和245，单位：kV。系列B：3.6、7.2、12、17.5、24、36、52、72.5、100、123、145、170和245，单位：kV。

2) 245 kV以上。300、362、420、550和800，单位：kV。

IEC 62271-1—2011对额定电压的划分与IEEE C37.100.1—2007基本相同，同样分为245 kV及以下，245 kV以上两大类。其中245 kV以下分系列1和系列2，其规定的额定电压分别对应上述IEEE C37.100.1—2007规定的系列B和系列A；245 kV以上电压等级，增加了1 100 kV和1 200 kV。

比较显示，两个标准对于断路器额定电压的规定差异不大，相对于IEEE C37.100.1—2007，IEC 62271-1—2011增加了两个额定值，即1 100 kV和1 200 kV。

### 3.2 额定电流

两类标准规定相同，从R10系列中选取。对于R10的规定见IEC 60059。IEC 62271-1—2011中4.4.1。

注：R10系列包含数字1、1.25、1.6、2、2.5、3.15、4、5、6.3、8及其10<sup>n</sup>倍。

### 3.3 额定绝缘水平

两类标准对于245 kV及以下电压等级的额定绝缘水平规定相同，对于245 kV以上的相关规定

存在差异。

IEEE C37.100.1—2007的表2a对应IEC 62271-1—2011的表2b，涵盖电压362 kV—550 kV—800 kV，规定的额定绝缘水平具体值存在差异；IEEE C37.100.1—2007的表2b对应IEC 62271-1—2011的表2a，涵盖电压300 kV—362 kV—420 kV—550 kV—800 kV—1 100 kV—1 200 kV（注：1 100 kV及1 200 kV为IEC标准独有），规定的额定绝缘水平具体值也存在差异。

### 3.4 额定频率

两类标准规定相同。

### 3.5 温升

IEEE C37.100.1—2007的表3对应IEC 62271-1—2011的表3，规定基本相同，在“9 可触及的部件”的具体值方面存在差异。

### 3.6 其他额定值

如表3所示，将给出除了3.1~3.4之外的多个额定值的规定方面的差异。

## 4 同期性要求的差异

IEC较之IEEE，对同期性要求的规定要更详细一些。IEEE仅规定了极间不同同期性要求，IEC在此基础上还规定了一极多断口的不同期，以及使用合闸电阻情况的不同期要求。

IEEE C37.04 6.11规定：如无特殊要求，极间合闸的最大不同期不应超过额定频率的1/4周波，分闸不超过1/6周波。

IEC 62271-100 5.101规定：如无特殊要求，

表3 部分额定值差异

| 额定值          | IEEE规定                                                                                      | IEC规定                                                  |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 额定峰值耐受电流     | 45 ms时, 2.5/50 Hz、2.6/60 Hz。根据系统时间常数不同, 可能有更高的值                                             | 45 ms时, 2.5/50 Hz、2.6/60 Hz。其他时间常数2.7/50 Hz            |
| 额定短路持续时间/s   | 0.5、1、2和3                                                                                   | 1。需要时可采用0.5、2和3                                        |
| 额定直流时间常数/ms  | 45                                                                                          | 45、60、75、120                                           |
| 额定电源电压       | 规定了固定值 IEEE C37.100.1—2007的表4、表5, IEEE C37.06的表18                                           | 规定了范围IEC 62271-1的表4、表5                                 |
| 额定操作顺序       | O—t—CO—t'—CO<br>$t=15\text{ s}$ (非快速重合断路器); $t=0.3\text{ s}$ (快速重合断路器)<br>$t'=3\text{ min}$ | ①同左列IEEE规定; ②CO—t'—CO<br>$t'=15\text{ s}$ (非快速自动重合断路器) |
| 初始瞬态恢复电压ITRV | IEEE C37.04b—2008与IEC 62271-100—2012保持一致                                                    | 与IEEE相比, 增加了1 100 kV及1 200 kV两个电压等级                    |
| 额定容性开断电流     | 电流优选值见IEEE C37.06—2009的表4、表8和表14<br>注: 两类标准给出的额定电压存在差异, 优选值也多有不同, 尤其是背对背电容器组的关合涌流峰值和频率      | 电流优选值见IEC 62271-100—2012的表9                            |
| 额定开断时间       | 无要求                                                                                         | 有环境温度要求, 针对T30、T60 和T100                               |

各极合闸不同期不应超过额定频率的1/4周波, 一极多断口间合闸不同期最大不超过1/6。各极和一极多断口的分闸不同期性分别为1/6、1/8周波。如果使用合闸电阻, 则极间和一极多断口的合闸不同期分别为1/2、1/3。

## 5 瞬态恢复电压的协调及差异

IEC 62271-306—2012 《高压开关设备和控制设备—第306部分》、IEC 62271-1—2011、IEC 62271-100—2012及交流断路器相关的其他IEC标准导则 (Guide to IEC 62271-100, IEC 62271-1 and other IEC Standards Related to Alternating Current Circuit-Breakers) 条款6.1 IEC和IEEE瞬态恢复电压的协调, 就两个标准在瞬态恢复电压TRV的协调过程作了详细解释。条款6.1.2.5 表8给出了为了协调IEC和IEEE关于TRV的要求而推荐的变化摘要。

笔者将两者的目前关于TRV规定的部分异同点做了梳理, 经过协调, IEEE与IEC关于试验方式的命名、TRV的波形及部分参数达成一致, 但同时还存在一些差异, 包括如下几部分。

1) 额定电压等级存在不同, IEC比IEEE多了1 100 kV和1 200 kV两个电压等级。

2) 对于中性点非有效接地系统, T10和T30的振幅系数: IEEE为1.58和1.64, IEC为1.54和

$0.9 \times 1.7$ 。

3) 对于中性点有效接地系统, T10的首开极系数和振幅系数: IEEE为1.3和1.76, IEC为1.5和 $0.9 \times 1.7$ 。

4) 对于T60的 $t_2/t_1$ : IEEE是3, IEC是6, 二者的 $t_1$ 相等。

## 6 型式试验存在的部分差异

### 6.1 试验的分组

IEEE C37.100.1—2007的条款6.1与IEC 62271-1—2011的条款6.1.1对试验的分组进行了说明, 两者要求基本一致。在标准给出的可能分组中, IEC的第四个分组中的辅助和控制回路的绝缘试验。在IEEE划分在第一个分组中。

### 6.2 关合和开断试验的各项规定

#### 6.2.1 控制电压

IEEE规定允许提高控制电压, 但未给出允许提高电压的上限。

IEC规定允许电压提高至最多110%额定电压。

#### 6.2.2 操作和开断用的功能压力

IEEE和IEC均规定为最小值。

#### 6.2.3 试品的数量

IEEE C37.100.1—2007与IEC 62271-1—2011的规定相同最多四台试品。

#### 6.2.4 单元试验

IEEE和IEC都允许进行单元试验，并详细规定了可以实施单元试验的前提条件、单元的同性和电压分部等细节。

#### 6.2.5 多部试验

IEC有具体条款规定，IEEE未见相关描述。

#### 6.2.6 替代的操动机构

IEC有具体条款规定，IEEE未见相关描述。

#### 6.2.7 试验中断路器的性能

IEC有具体条款规定，IEEE未见相关描述。

#### 6.2.8 试验后断路器的状态

IEEE C37.09—1999的4.8.5.4和4.8.5.5分别给出了试验后断路器操作特性和试验后断路器状态的要求。

IEC 62271-100—2012的6.102.9给出了试验后断路器的状态要求，按不同情况分别给出了具体规定，比IEEE的规定更为细致。

#### 6.2.9 燃弧时间

IEEE与IEC在燃弧时间的规定上有明显的差异。

IEEE要求获取最严酷开合条件：在由燃弧时间的变化所引起的开断期间，通过开断观察得到的最大灭弧能量输入。

最短燃弧时间可由制造商规定。

燃弧时间的规定如下：单相对称电流试验：燃弧时间 = 最短燃弧时间 +  $0.75 \times t_1$  ( $t_1$  = 额定工频半波时间)。

单相非对称电流试验：燃弧时间 = 最短燃弧时间 + 大半波持续时间 - 1 ms。

三相对称电流试验：每一次操作触头分离时刻调整40°。

三相非对称电流试验：首开极大半波且带有要求的直流分量；后开极延长大半波且带有要求的直流分量。

相对于上述IEEE对燃弧时间的规定，IEC对三相、单相的燃弧时间进行了说明，区分对称、非对称以及接地和非有效接地，并对操作程序和每

次操作的燃弧时间都详细地进行了说明。

#### 6.2.10 非对称电流开断试验

IEC规定，单相试验中，如果断路器在要求的大半波末未开断，可以在随后的小半波末开断，燃弧时间延长相应的小半波持续时间。

IEEE未见相关描述。

#### 6.2.11 T100a最后电流半波参数

IEC按照运行频率和时间常数详细地分类列表，给出了具体值，见IEC 62271-100—2012表15～表22。

IEEE仅对时间常数45 ms进行了说明，未给出相关参数。

#### 6.2.12 功率因数

IEC规定，功率因数平均值不得超过0.15。

IEEE规定，60 Hz下不超过5.9%（即 $X/R = 17$ ），50 Hz下不超过7.1%（即 $X/R = 14$ ）。

#### 6.2.13 试验回路接地的要求

IEEE要求断路器的正常接地部件应接地，且在所有情况下，或短路接地或中性点接地，二者取其—。其规定等同于IEC中对首开极系数1.5的三相试验回路的要求。

IEC与IEEE的差异存在于上述情况之外，如首开极系数1.3的三相试验、首开极系数1.5的单相试验、首开极系数1.3的单相试验等，IEC对这些情况均有具体规定。

## 7 结束语

本文对高压交流断路器检测依据的IEEE与IEC标准存在的差异进行了梳理。结果显示，IEEE与IEC在TRV方面进行了多次协调，使得目前两类标准对于TRV的要求趋于—致，但还存在差异；对于型式试验的要求也不尽相同，包括最短燃弧时间的确定、产品的控制电压允许值、时间常数非45 ms条件T100a试验最后电流半波参数的要求等。这些差异，使得依据IEEE标准和IEC标准实施试验存在不同，也导致依据某—标准实施了全套试验时，并不能覆盖另—标准的检测需求。

### 参考文献

- [ 1 ] IEC 62271-1—2011 High-voltage switchgear and controlgear-part 1: common specifications [S]. Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2011.
- [ 2 ] IEC 62271-100—2012 High-voltage switchgear and controlgear-part 100: alternating-current circuit-breakers [S]. Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2012.
- [ 3 ] IEC 62271-101: 2012 High-voltage switchgear and controlgear-part 101: synthetic testing [S]. Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2012.
- [ 4 ] IEEE C37.100.1 (2007) IEEE standard of common requirements for high voltage power switchgear rated above 1000 V [S]. America: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2007.
- [ 5 ] IEEE C37.09 (1999) IEEE standard test procedure for AC high-voltage circuit breakers rated on a symmetrical current basis [S]. America: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1999.
- [ 6 ] IEEE C37.09a (2005) IEEE standard test procedure for AC high-voltage circuit breakers rated on a symmetrical current basis—amendment 1: capacitance current switching [S]. America: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2005.
- [ 7 ] IEEE C37.09b (2010) IEEE standard test procedure for AC high-voltage circuit breakers rated on a symmetrical current basis—amendment 2: to change the description of transient recovery voltage for harmonization with IEC 62271-100 [S]. America: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2010.
- [ 8 ] IEEE C37.04 (1999) (R2006) IEEE standard rating structure for AC high-voltage circuit breakers [S]. America: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1999.
- [ 9 ] IEEE C37.04a (2003) IEEE standard rating structure for AC high-voltage circuit breakers rated on a symmetrical current basis—amendment 1: capacitance current switching [S]. America: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2003.
- [ 10 ] IEEE C37.04b (2008) IEEE standard for rating structure for AC high-voltage circuit-breakers rated on a symmetrical current basis—amendment 2: to change the description of transient recovery voltage for harmonization with IEC 62271-100 [S]. America: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2008.
- [ 11 ] IEEE C37.06 (2009) IEEE standard for AC high-voltage circuit breakers rated on a symmetrical current basis—preferred ratings and related required capabilities for voltages above 1000 V [S]. America: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2009.
- [ 12 ] IEEE C37.011 (2011) IEEE guide for the application of transient recovery voltage for AC high-voltage circuit breakers [S]. America: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011.
- [ 13 ] IEEE C37.081 (1981) Guide for synthetic fault testing for AC high-voltage circuit breakers rated on a symmetrical current basis [S]. America: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1981.
- [ 14 ] IEEE C37.081a (1997) Guide for synthetic fault testing for AC high-voltage circuit breakers rated on a symmetrical current basis [S]. America: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1997.
- [ 15 ] IEEE C37.083 IEEE guide for synthetic capacitive current switching tests of AC high-voltage circuit breakers [S]. America: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1997.
- [ 16 ] IEC 62271-306 Guide to IEC 62271-100, IEC 62271-1 and other IEC standards related to alternating current circuit-breakers [S]. Switzerland: International electrotechnical commission, 2012.

(收稿日期: 2016-05-26) **EA**