

ICS 19.020  
CCS K 40



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 39891—2021

## 52 kV 及以上断路器电气耐久性试验方法

Electrical endurance testing for circuit-breakers above a rated voltage of 52 kV

2021-03-09 发布

2021-10-01 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布



目 次

前言 ..... III

引言 ..... IV

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 总则 ..... 2

    4.1 测试样品的免维护周期 ..... 2

    4.2 确定电气耐久性试验程序时考虑的因素 ..... 3

    4.3 电气耐久性试验的组成 ..... 3

    4.4 电气耐久性试验程序类别 ..... 3

    4.5 电气耐久性试验程序的基本原则 ..... 3

5 测试样品 ..... 3

    5.1 总则 ..... 3

    5.2 测试样品参数及结构 ..... 3

    5.3 测试样品的信息 ..... 4

    5.4 测试样品图样和资料一致性确认 ..... 4

6 和标准型式试验分开的电气耐久性试验程序 ..... 4

    6.1 试验顺序和判据 ..... 4

    6.2 和标准型式试验分开的电气耐久性试验的试验条件 ..... 5

7 和标准型式试验合并的电气耐久性试验程序 ..... 6

    7.1 总则 ..... 6

    7.2 开断操作的等效次数 ..... 6

    7.3 合并试验程序 ..... 7

8 空载试验 ..... 8

    8.1 总则 ..... 8

    8.2 额定操作顺序 ..... 8

    8.3 验证测试样品一致性的空载操作试验 ..... 9

    8.4 电气耐久性试验前、后的空载操作试验 ..... 9

9 磨损试验 ..... 9

    9.1 总则 ..... 9

    9.2 试验步骤和要求 ..... 9

10 验收试验 ..... 10

    10.1 总则 ..... 10

    10.2 空载操作试验 ..... 10

    10.3 T10 试验 ..... 10

    10.4 60%额定短路开断电流下的  $L_{75}$  试验 ..... 10

10.5 线路充电电流开合试验 .....	11
10.6 状态检查 .....	11
附录 A (资料性) 与电气耐久性试验相关联的断路器的关合和开断试验方式 .....	13
A.1 基本短路试验方式 .....	13
A.2 近区故障试验 .....	14
A.3 失步关合和开断试验(OP1 和 OP2) .....	14
A.4 线路充电电流开合试验 .....	14
附录 B (资料性) 与标准型式试验分开的断路器电气耐久性试验示例 .....	15
B.1 试验样品 .....	15
B.2 试验流程 .....	16
参考文献 .....	28
图 1 三极开关装置的联结图 .....	12
图 B.1 试验样品示意图 .....	16
图 B.2 单分空载特性曲线示波图 .....	17
图 B.3 单合空载特性曲线示波图 .....	17
图 B.4 T10(T60)磨损试验回路 .....	18
图 B.5 T10 磨损试验示波图 .....	19
图 B.6 T10 验收试验回路 .....	20
图 B.7 T10 验收试验示波图 .....	21
图 B.8 60%额定短路开断电流的 $L_{75}$ 验收试验回路 .....	22
图 B.9 60%额定短路开断电流的 $L_{75}$ 验收试验示波图 .....	24
图 B.10 LC1 验收试验回路 .....	25
图 B.11 LC1 验收试验示波图 .....	25
图 B.12 状态检查的冲击电压试验回路 .....	27
表 1 和标准型式试验分开的电气耐久性试验顺序和判据 .....	4
表 2 60%额定短路开断电流时的开断次数(M90) .....	5
表 3 和标准型式试验分开的电气耐久性试验的试验条件 .....	5
表 4 开断操作的等效次数 .....	6
表 5 50 kA 断路器采用合成试验的电气耐久性试验与标准型式试验合并程序——不计入电寿命的型式试验方式 .....	7
表 6 50 kA 断路器采用合成试验的电气耐久性试验与标准型式试验合并程序——可计入电寿命的型式试验方式 .....	8
表 7 用于验证电气耐久性的容性电流验收试验的容性电压系数与用于标准容性电流型式试验的容性电压系数之间的关系 .....	11
表 B.1 空载特性试验参数记录表 .....	18
表 B.2 T10(T60)磨损试验参数记录表 .....	19
表 B.3 T10 验收试验参数记录表 .....	21
表 B.4 60%额定短路开断电流的 $L_{75}$ 验收试验的 TRV 参数记录表 .....	23
表 B.5 60%额定开断电流的 $L_{75}$ 验收试验参数记录表 .....	23
表 B.6 LC1 验收试验参数记录表 .....	26
表 B.7 采用冲击电压或采用 T10 的 TRV 法的状态检查试验参数记录表 .....	27



## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由全国质量监管重点产品检验方法标准化技术委员会(SAC/TC 374)提出并归口。

本文件起草单位：苏州电器科学研究院股份有限公司、国家能源开关设备评定中心、国网物资有限公司、国网上海市电力公司电力科学研究院、沈阳工业大学、清华大学深圳研究生院、西安交通大学、甘肃电器科学研究院、上海天灵开关厂有限公司、上海西门子高压开关有限公司、正泰电气股份有限公司、江苏省如高高压电器有限公司、通用电气(中国)能源发展有限公司、国网宁夏电力有限公司电力科学研究院、国网江苏省电力有限公司物资分公司、国网江苏省电力有限公司电力科学研究院、北京京东方真空电器有限责任公司、北京科锐配电自动化股份有限公司、国网浙江省电力有限公司物资分公司、罗克韦尔自动化(中国)有限公司、国网湖南省电力有限公司电力科学研究院、江苏方天电力技术有限公司。

本文件主要起草人：胡德霖、胡醇、齐忠毅、吴鸿雁、陈金猛、李凌、袁志文、林莘、王黎明、吴翊、李平、谭燕、楼丹、郭晓敏、彭翔、任旭会、艾绍贵、殷玮珺、沈琦俊、贾勇勇、刘宝华、叶祖标、郭威、张莹、潘亮、毛柳明、胡加瑞、刘涛、陈燕擎、陈玉琴。

## 引 言

GB/T 1984—2014 的 3.4.113 定义的断路器延长的电寿命(E2 级断路器),亦即断路器的电气耐久性,是源于特定高压断路器的运行经验以及系统保护和维护策略。而且,对于新研制的断路器,电气耐久性仅能通过试验室试验验证。

新的维护策略趋向于“免维护断路器”,对于大多数用户,降低维护成本是主要问题,而断路器的免维护性能可以通过试验室试验验证。

为了避免不同用户采用不同的电气耐久性试验程序,确保各制造厂在销售过程中提供的断路器电气耐久性的资料的一致性,有必要提出标准化的试验程序。

## 52 kV 及以上断路器电气耐久性试验方法

### 1 范围

本文件规定了 52 kV 及以上断路器的电气耐久性试验的总则、测试样品、和标准型式试验分开的电气耐久性试验程序、和标准型式试验合并的电气耐久性试验程序、空载试验、磨损试验和验收试验。

本文件适用于 52 kV 及以上、用于架空线路的 E2 级 SF<sub>6</sub> 断路器。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 1984—2014 高压交流断路器

GB/T 2900.20—2016 电工术语 高压开关设备和控制设备

GB/T 7674—2008 额定电压 72.5 kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备

GB/T 11022—2011 高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求

### 3 术语和定义

GB/T 1984—2014、GB/T 2900.20—2016、GB/T 11022—2011 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

##### **重击穿 restrike**

开关装置在开断操作过程中电弧熄灭后,在四分之一工频周期或更长时间内,触头间非剩余电流的电流重现。

注:运行中所有的断路器都有一定程度的重击穿概率。重击穿概率的水平还取决于运行条件(例如绝缘配合,每年的操作次数,用户的维修方案等),因此,为了把断路器的重击穿性能分类,故而引入了两级断路器:C1 级和 C2 级。

[来源:GB/T 2900.20—2016,9.43,有修改]

#### 3.2

##### **C1 级断路器 circuit-breaker class C1**

一种断路器,在规定的型式试验验证容性电流开断过程中具有低的重击穿概率。

[来源:GB/T 1984—2014,3.4.114]

#### 3.3

##### **C2 级断路器 circuit-breaker class C2**

一种断路器,在规定的型式试验验证容性电流开断过程中具有非常低的重击穿概率。

[来源:GB/T 1984—2014,3.4.115]

#### 3.4

##### **E2 级断路器 circuit-breaker class E2**

一种断路器,在其预期的使用寿命期间,主回路中的开断用的零件不要求维护,其他零件只需很少的维护(具有延长的电寿命的断路器)。

注 1: 一般用于频繁开合故障电流场合。

注 2: 很少的维护是指润滑,如果适用,更换气体以及清洁外表面。

[来源:GB/T 1984—2014,3.4.113,有修改]

### 3.5

#### 额定短路开断电流 rated short-circuit break current

在规定的使用和性能条件以及规定的电压下,断路器端子处能够开断预期的最大短路电流有效值。

### 3.6

#### 燃弧时间 arcing time

从第一极电弧起始时刻到所有极电弧熄灭时刻的时间间隔。

[来源:GB/T 1984—2014,3.7.134]

### 3.7

#### 直接试验 direct test

外施电压、电流以及瞬态和工频恢复电压均由一个单电源回路获得的试验,该电源可以是电力系统或者是用在短路试验站的专用发电机、或者是两者的组合。

[来源:GB/T 4473—2018,3.1]

### 3.8

#### 合成试验 synthetic test

全部电流或者大部分电流从一个电源(电流回路)获得,而外施电压和/或恢复电压(瞬态的和工频的)全部或部分从另一个或多个独立的电源(电压回路)获得的试验。

[来源:GB/T 4473—2018,3.2]

### 3.9

#### 电气耐久性 electrical endurance

断路器在寿命期内的正常工作条件下,能够正常运行并耐受开断电流引起的累积电磨损的极限值。

注:通常也称为延长的电寿命。

### 3.10

#### 瞬态恢复电压 transient recovery voltage; TRV

断路器在开断短路电流电弧熄灭时,在断口上出现的具有显著瞬变特性的恢复电压。

注 1: 该电压取决于回路和开关装置的特性,它可以是振荡的或非振荡的或两者的组合。它包括多相回路的中性点电压偏移。

注 2: 三相回路中瞬态恢复电压是指首开相上的电压,因该电压比出现在另外两相上的要高。

注 3: 有关 TRV 的更详细内容见 GB/T 1984—2014 的 4.102 及附录 F。

[来源:GB/T 2900.20—2016,9.23,有修改]

### 3.11

#### 工频恢复电压 power frequency recovery voltage

断路器在开断短路电流电弧熄灭时,瞬态电压现象消失后,出现在开关断口间的恢复电压。

[来源:GB/T 2900.20—2016,9.24,有修改]

## 4 总则

### 4.1 测试样品的免维护周期

测试样品免维护周期通常假设为 25 年。

本文件给出的试验程序是基于 25 年寿命期内电流开断引起的累积电磨损,如果用户认为灭弧室的电磨损部件的大修周期长于 25 年,则需要专门制定试验程序。

注:电磨损是断路器在开断电流过程中,触头间隙中会产生金属液态桥和电弧等,引起触头材料的金属转移、喷溅和气化,从而导致触头材料损耗和触头表面变形的一种现象。灭弧室内的其他部分在电弧作用下也会产生电

磨损,如 SF<sub>6</sub> 灭弧室的喷口。电磨损对断路器的开断性能、通流性能和绝缘性能产生不利影响。

#### 4.2 确定电气耐久性试验程序时考虑的因素

确定电气耐久性试验程序时考虑的因素包括,但不限于:

- 试验程序的可靠性;
- 试验程序的经济性;
- 试验程序的替代性,如使用修改的标准型式试验作为验收试验的试验程序;
- 试验程序合并的可能性,如把标准型式试验和电气耐久性试验合并成一个试验程序。

注 1: 虽然这与实际的工况有差别,但这种方案能判断出产品在磨损条件下预期关合和开断的设计裕度。

注 2: 标准型式试验是指符合 GB/T 1984—2014 中 6.106~6.111 规定的关合和开断试验。

注 3: 本文件应与 GB/T 1984—2014 一起使用,包括试验参数的公差。

#### 4.3 电气耐久性试验的组成

电气耐久性试验由磨损试验(见第 9 章)和随后的验收试验(见第 10 章)组成。

#### 4.4 电气耐久性试验程序类别

本文件推荐两种电气耐久性试验程序,即

- a) 和标准型式试验分开的电气耐久性试验程序,见第 6 章。
- b) 和标准型式试验合并的电气耐久性试验程序,见第 7 章。

#### 4.5 电气耐久性试验程序的基本原则

电气耐久性试验程序的基本原则包括,但不限于:

- 电气耐久性试验程序中的试验由磨损试验阶段和随后的验收试验阶段组成。
- 在磨损试验阶段,断路器仅承受等效次数的累积开断操作,可不施加规定的瞬态恢复电压(TRV)。如果标准型式试验是电气耐久性试验与标准型式试验合并试验的一部分,GB/T 1984—2014 适用。有关标准型式试验中的关合和开断试验方式参见附录 A。
- 验收试验应在试验程序的磨损试验阶段后进行,断路器的磨损状态判定是按照断路器“接近免维护寿命终了条件”时的正常运行能力进行,而不是通过按照 GB/T 1984—2014 规定的全部开断能力来进行。
- 磨损试验和验收试验中的所有试验均可进行单相试验。如果与标准型式试验合并进行,也可进行三相试验(见 GB/T 1984—2014 的 6.102.4)。
- 磨损试验和验收试验应连续进行,不应中途间断,也不应进行任何形式的维护。但是,如果不可行(如转移场地),并且地方安全法规要求降低压力后才能移动设备,只要保证至少 95% 的气体被重新充入断路器再用,允许降低断路器的内部压力后进行移动。

### 5 测试样品

#### 5.1 总则

电气耐久性试验程序中的所有试验应在同一台测试样品上进行。

电气耐久性试验的试品应与标准型式试验的测试样品的机械特性一致。

#### 5.2 测试样品参数及结构

本文件适用的测试样品参数及结构特性主要包括,但不限于:

- 额定电压 52 kV 及以上;

- 运行频率 50 Hz；
- 设计安装在户内或户外；
- 根据使用功能和结构形式，通常包含落地罐式、瓷柱式及气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)中的断路器等。

5.3 测试样品的信息

- 测试样品的信息包括,但不限于：
- 图样和相关资料,包含型号、主要部件和零件信息；
  - 所有零部件的详细设计记录。

5.4 测试样品图样和资料一致性确认

测试样品图样和资料一致性确认见 GB/T 11022—2011 的附录 A。

6 和标准型式试验分开的电气耐久性试验程序

6.1 试验顺序和判据

和标准型式试验分开的电气耐久性试验顺序和判据见表 1。  
磨损试验中的 T60 开断操作(60%额定短路开断电流)的开断次数见表 2。

表 1 和标准型式试验分开的电气耐久性试验顺序和判据

试验项目		试验参数和要求
验证试样一致性的空载操作试验		按 8.3
磨损试验 <sup>a</sup>	空载操作	按 8.4
	T60 开断操作 <sup>b</sup> (单分操作次数)	见表 2
	T10 开断操作 (单分操作次数)	9
验收试验 <sup>c</sup>	空载操作	按 8.4
	T10	按 GB/T 1984—2014 的 6.106.1 进行,仅进行单分操作
	60%额定短路 开断电流的 L <sub>75</sub>	按 GB/T 1984—2014 的 6.109,并作如下修改： ——仅进行单分操作； ——通过增加电源回路阻抗将试验电流降低到额定短路开断电流的 60%
	LC1 <sup>d</sup>	——C1 级断路器:24 次 O 操作无重击穿或 48 次 O 操作一次重击穿； ——C2 级断路器:48 次 O 操作无重击穿或 96 次 O 操作一次重击穿
	空载操作	按 8.4
	状态检查	按 10.6
<p><sup>a</sup> 磨损试验中的 T10 和 T60 开断操作的次序可以改变;验收试验中的 T10 和 60%额定短路开断电流的 L<sub>75</sub> 开断操作的次序可以改变。</p> <p><sup>b</sup> 磨损试验阶段的 T60 的操作次数是基于假定在验收试验阶段进行了 3 次 60%额定短路开断电流的 L<sub>75</sub> 开断操作。在验收试验阶段 60%额定短路开断电流的 L<sub>75</sub> 实际开断的次数多于 3 次时(例如进行合成试验时进行 4 次开断),那么磨损试验阶段的试验次数应相应地减少。</p> <p><sup>c</sup> 验收试验阶段进行的所有开断试验应施加 TRV。</p> <p><sup>d</sup> 验收试验中 LC1 的试验次序在 T10 和 60%额定短路开断电流的 L<sub>75</sub> 之后进行。</p>		

表 2 60%额定短路开断电流时的开断次数(M90)

额定短路开断电流 kA	T60 开断操作次数(M90)
≤20	18
25	15
31.5	12
40	10
50	8
63	7
80	5
<p>注 1: M90 是指电气耐久性试验的磨损试验中 T60 的开断次数,覆盖了 25 年寿命期内 90%的累积电磨损。</p> <p>注 2: 此表中的开断次数是假设 25 年的免维护周期。对于其他免维护周期,磨损试验中 T60 和 T10 的开断次数为表中给出的开断次数乘以免维护周期与假设 25 年周期的比值。</p>	

附录 B 给出了和标准型式试验分开的电气耐久性试验示例。

6.2 和标准型式试验分开的电气耐久性试验的试验条件

和标准型式试验分开的电气耐久性试验的试验条件见表 3。

表 3 和标准型式试验分开的电气耐久性试验的试验条件

试验类型	操作 顺序	试验电压和试验电流	操作电压和 操作作用压力	绝缘和/ 或开断用 压力	燃弧时间
验证试品一致性的 空载操作试验	按 8.3				
磨损试验	空载操作	按 8.4	额定值	额定值	
	T60	O 按 GB/T 1984—2014 的 6.106.3 规定的 T60 型式试验,不施加 TRV	额定值	额定值	按 T60 标准型式试验中的中燃弧时间
	T10	O 按 GB/T 1984—2014 的 6.106.1 规定的 T10 型式试验,不施加 TRV	额定值	额定值	按 T10 标准型式试验中的中燃弧时间
验收试验 <sup>a</sup>	空载操作	按 8.4	额定值	额定值	
	T10	O 按 GB/T 1984—2014 的 6.106.1 的 T10 型式试验	额定值	额定值	<sup>a</sup>
	60%额定 短路开断 电流的 I <sub>75</sub>	O 按 GB/T 1984—2014 的 6.109.4, 通过提高电源回路阻抗将试验电流降到额定短路开断电流的 60% <sup>b</sup>	额定值	额定值	<sup>a</sup>

表 3 和标准型式试验分开的电气耐久性试验的试验条件（续）

试验类型		操作顺序	试验电压和试验电流	操作电压和操作作用压力	绝缘和/或开断用压力	燃弧时间
验收试验 <sup>a</sup>	LC1	O	按 GB/T 1984—2014 的 6.111,试验电压为型式试验规定的试验电压的 80%和相应于电压系数为 1.12 的电压值中的最大值(见表 7)	额定值	额定值	分闸脱扣脉冲依次提前 15°(电度)
	空载操作	按 8.4		额定值	额定值	
	状态检查	按 10.6		—	额定值	
<p><b>注 1:</b> 对于 T10 和 T60 的磨损试验,如果中燃弧时间的试验是在 50 Hz 下进行的,则 50 Hz 下的试验涵盖了 60 Hz 的要求。对于 LC1 的验收试验,60 Hz 下的试验涵盖了 50 Hz 的要求。</p> <p><b>注 2:</b> 允许按照 GB/T 1984—2014 的 6.102.4.2 进行单元试验。</p>						
<p><sup>a</sup> 由于操作或开断用的压力不同以及断路器的电磨损,对于验收试验,T10 和具有 60%额定短路开断电流的 L<sub>75</sub> 的燃弧时间可能不同于标准型式试验的数值。但是,试验中应再现全部的燃弧窗口,包括验证最短燃弧时间。</p> <p><sup>b</sup> 如果采用合成试验,设计 L<sub>75</sub> 试验回路时,在合成回路的电流源回路中添加一个与人工线路电抗值相等的附加电抗来满足回路要求。</p>						

7 和标准型式试验合并的电气耐久性试验程序

7.1 总则

如果电气耐久性试验与标准型式试验合并, 规定过于严格的限制条件会降低这一合并的经济性。

7.2 开断操作的等效次数

为了在合并程序的磨损试验中获得最大的自由度, 具有中燃弧时间的 T60 开断操作次数可以用其他试验方式代替, 表 4 和公式(1)给出了相关的试验方式在中燃弧时间下的开断操作和在中燃弧时间下进行 T60 开断操作之间的等效关系。

表 4 开断操作的等效次数

在中燃弧时间和相应电流下的一次开断操作	等效于 60% 额定短路开断电流(T60)开断操作的次数
T10(10% $I_{sc}$ )	0.01
OP2(25% $I_{sc}$ )	0.15
T30(30% $I_{sc}$ )	0.25
T60(60% $I_{sc}$ )	1.00

$$0.01N_{10} + 0.15N_{OP2} + 0.25N_{30} + N_{60} = M_{90} \dots\dots\dots (1)$$

式中:  
 $N_{10}$  —— 10% 额定短路开断电流的开断操作次数;



$N_{OP2}$  —— 试验方式 OP2 的开断操作次数；  
 $N_{30}$  —— 30%额定短路开断电流的开断操作次数；  
 $N_{60}$  —— 60%额定短路开断电流的开断操作次数；  
 $M_{90}$  —— 表 2 中所规定的次数(电气耐久性中磨损试验中 T60 的开断次数)，覆盖了 25 年寿命期内 90%的累积电磨损。

除了公式(1)中给出的等效判据外，还应满足下述要求：

- 合并试验程序至少应包括 3 次 60%电流的开断操作，即使在合并程序的型式试验部分已经获得了充分的磨损；
- 合并试验程序至少应包括 9 次 10%电流的开断操作，即使在合并程序的型式试验部分已经获得了充分的磨损；
- 公式(1)中考虑的开断操作的最大电流值应为额定短路开断电流的 60%。

在型式试验期间，可能会出现一些额外的开断操作。在这种情况下，根据实际燃弧时间(假设在同一电流下，磨损与燃弧时间成正比)，可考虑进行电磨损的等效计算。

7.3 合并试验程序

由于断路器额定短路开断电流不同，试验程序合并部分的试验方式的操作次数(见 7.2)可能不同。经验证，50 kA 断路器的合并试验采用以下程序是适宜的。

表 5 和表 6 给出了额定短路开断电流为 50 kA 断路器的与标准型式试验合并的电气耐久性试验的试验方式和试验次数。其中，表 5 中所列试验方式不计入本文件涵盖的电气耐久性试验的累计次数。本文件仅将表 6 中的试验方式列入总的电气耐久性试验次数中。

对于表 5 中规定的试验方式，试验期间允许按照 GB/T 1984—2014 的 6.102.9.5 进行维护、修整。  
合并试验程序中磨损试验的试验方式和要求见第 9 章，试验方式的顺序是任意的。  
合并试验程序中验收试验方式和要求见第 10 章。  
表 5 和表 6 中与型式试验相关的试验方式参见附录 A，具体试验要求见 GB/T 1984—2014。

表 5 50 kA 断路器采用合成试验的电气耐久性试验与标准型式试验合并程序——  
不计入电寿命的型式试验方式

试验方式	开断操作的预期次数	等效于 T60 下电磨损的次数	是否适用于磨损阶段	是否适用于验收阶段
仅型式试验				
T100s	4	不适用	>60%不适用	否
T100a	4		>60%不适用	否
L <sub>75</sub>	4		>60%不适用	否
L <sub>90</sub>	4		>60%不适用	否
异相或单相接地故障	4		>60%不适用	否
LC1	取决于 C1 级、C2 级		否	否
LC2	取决于 C1 级、C2 级		否	否

表 6 50 kA 断路器采用合成试验的电气耐久性试验与标准型式试验合并程序——  
可计入电寿命的型式试验方式

试验方式	开断操作的预期次数	等效于 T60 下电磨损 的次数	是否适用于磨损阶段	是否适用于验收阶段
试验程序的合并部分(型式试验+用于 E2 级验证的磨损试验)				
OP2(型式试验)	4	0.60	是	否
T30(型式试验)	4	1.00	是	否
T10	5	0.05	是	否
T10(型式试验)	4	0.04	是	否
T60(型式试验)	4	4.00	是	否
T60	2	2.00	是	否
合并部分累计的等效开断次数		7.69		
用于 E2 级验证的验收试验				
60%电流的 L <sub>75</sub>	4	1.00(见注 1)	试验计数记为 1	是
T10	4	不适用	否	是
LC1	见表 1	不适用	否	是
最终累计的等效开断次数		8.69		
<p>注 1: 本表中磨损试验累计的次数为 7.69 次,需要增加试验次数来满足表 2 中规定的 8 次要求。验收阶段的 4 次 60%电流的 L<sub>75</sub> 试验采用合成试验,其中的 1 次可以累加到磨损阶段累计的开断次数中,总计达到 8.69 次。</p> <p>注 2: 磨损试验中试验方式的次序是任意的。验收试验中 LC1 试验在 T10 和 60%电流的 L<sub>75</sub> 试验之后进行。</p>				

8 空载试验

8.1 总则

进行电气耐久性试验前,应进行空载试验。试验包括验证试品一致性的空载操作试验,以及磨损试验前、验收试验前后的空载操作试验。

8.2 额定操作顺序

断路器的机械特性与断路器的额定操作顺序有关。一般分为:

a) O—t—CO—t'—CO

除非另有规定,否则:

t=3 min 不用于快速自动重合闸的断路器;

t=0.3 s 用于快速自动重合闸的断路器;

t'=3 min。

注:取代 t'的其他值有 t'=15 s 和 t'=1 min,也可用于快速自动重合闸的断路器。

b) CO—t"—CO;

其中:t"—15 s 对不用于快速自动重合闸的断路器。

这里:

“O”表示一次分闸操作;

“CO”表示一次合闸操作后立即(即无任何故意的时延)进行分闸操作。

### 8.3 验证测试样品一致性的空载操作试验

在进行电气耐久性试验前,应在操动机构的额定电源电压、操作用的额定功能压力以及在开断用的额定充入压力下按照单分(O)和单合(C)操作顺序进行空载操作试验,并记录试品的动作特性和行程曲线。

与制造厂提交的或进行标准型式试验时记录的空载试验(行程曲线和动作特性)进行比较,以保证试品的一致性。

机械特性的要求和解释见 GB/T 1984—2014 的附录 N。

### 8.4 电气耐久性试验前、后的空载操作试验

为了检查电气耐久性试验前后试品的机械特性以及作为磨损试验和验收试验时测量燃弧时间的基础,应按额定操作顺序(O,CO,O—0.3 s—CO)进行空载操作试验,记录试品的机械特性,例如合闸和分闸特性以及合闸时间和分闸时间。

开断用压力和/或操作压力以及合分闸操作电源电压为额定值。

## 9 磨损试验

### 9.1 总则

具有电气耐久性的断路器不适用于电磨损超出基于本文件计算的电磨损 90% 的场合。对于要求电磨损非常高的电网的情况,需要专门制定试验程序。

本文件是基于 25 年寿命期内电流开断引起的累积的电磨损,选择 25 年作为免维护周期的代表性数据。对于更长的免维护周期,磨损阶段的开断操作次数应为表 2 中的开断操作次数乘以新的免维护周期与假定 25 年周期的比值。

### 9.2 试验步骤和要求

#### 9.2.1 通用要求

磨损试验由具有中燃弧时间(中燃弧时间根据标准型式试验期间获得的燃弧时间确定)且不施加 TRV 的多次 T10 和 T60 开断操作组成。为了便于试验,可适当降低试验回路的电源电压。对于与标准型式试验合并的电气耐久性试验程序(见第 7 章),如果标准型式试验是磨损试验的一部分,GB/T 1984—2014 适用。

操作和开断用压力以及操动机构的操作电压应整定为额定值。如果标准型式试验是磨损试验的一部分,GB/T 1984—2014 的 6.102.6 适用。

#### 9.2.2 空载操作试验

在进行 T10 和 T60 试验之前应进行空载操作试验。

空载操作试验的试验条件和要求见 8.4。

#### 9.2.3 T10 试验

系统中最有可能发生的是断路器在较低短路电流条件下的开断操作。应考虑在 10% 额定短路开断电流下操作来模拟小电流时的电磨损情况。对于整个磨损试验,应在 10% 额定短路开断电流且不施

加 TRV 的条件下进行 9 次开断操作。

操作条件和燃弧时间的要求见 9.2.1。

#### 9.2.4 T60 试验

开断电流是从负荷电流到大约 60% 额定短路开断电流, 由于开断电流的分散性, 60% 额定短路开断电流下的开断操作是对免维护期间预期磨损的简化。

60% 额定短路开断电流时的开断操作次数见表 2。

操作条件和燃弧时间的要求见 9.2.1。

### 10 验收试验

#### 10.1 总则

验收试验包括:

- T10 试验;
- 60% 额定短路开断电流下的  $L_{75}$  试验;
- 线路充电电流开合试验;
- 状态检查。

验收试验允许在绝缘和/或开断用额定压力下进行。

#### 10.2 空载操作试验

在验收试验前、后应进行空载操作试验。

空载操作试验的试验条件和要求见 8.4。

#### 10.3 T10 试验

除按下列要求外, 应满足 GB/T 1984—2014 的 6.106.1 的规定。

- 进行 3 次单分操作;
- 操作电压以及操作、绝缘和/或开断用压力应整定为额定值, 以便在该试验方式期间断路器的特性保持稳定。

由于断路器的电磨损, 断路器最短燃弧时间可能会改变。然而, 试验应验证全部的燃弧窗口, 包括最短燃弧时间的验证。

注 1: 根据触头分离时刻和电流值, 断路器的燃弧时间会在最短燃弧时间和长燃弧时间之间变化。这个数值之差称为燃弧窗口。在三极断路器的故障开断情况下, 短燃弧时间是在试验方式的一次有效试验中的首开极上得到的, 且长燃弧时间是在另一次有效试验中的后开极上得到的 (参见 IEC/TR 62271-306:2018 的 13.2 及 13.3)。

注 2: 断路器在小电流下分闸是最常见的运行方式, T10 试验正是基于这样的实际情况。因此, 在经过磨损试验的合理预期寿命后, 检查断路器能否在整个燃弧窗口成功开断该方式是非常重要的。

#### 10.4 60% 额定短路开断电流下的 $L_{75}$ 试验

本试验由试验电流为 60% 额定短路开断电流的试验方式  $L_{75}$  组成, 电源回路的 TRV 参数和近区故障特性应分别满足 GB/T 1984—2014 的 4.102.1 和 4.105 规定, 同时还应满足以下要求:

- 在出线端短路情况下电源侧电流等于额定短路开断电流的 75% (增加的  $L_{75}$  线路侧回路阻抗将导致电流降低至 60%);
- 试验电压为额定相对地电压, TRV 的线路侧时延为 0.2  $\mu$ s 或 0.5  $\mu$ s;
- 进行 3 次单分操作;

——操作电压以及操作、绝缘和/或开断用压力应整定为额定值。

由于断路器的电磨损,断路器最短燃弧时间可能发生变化,然而,试验应验证全部的燃弧窗口,包括最短燃弧时间的验证。

注 1: 由于 90% 和 75% 额定短路开断电流的近区故障的概率非常低,因此采用该试验来代替标准的  $L_{75}$  和  $L_{90}$  试验。

注 2: 选择该试验方式的理由是验证实际工况下近区故障的开断能力,此时断路器出线端短路电流(75%)小于 100% 额定短路开断电流。

10.5 线路充电电流开合试验

根据规定的断路器容性电流开合试验重击穿性能等级(C1 级或 C2 级),按下述要求进行试验:

——对于 C1 级,试验方式由 24 个“分”操作组成;对于 C2 级,试验方式由 48 个“分”操作组成。

——容性电压系数为标准型式试验的容性电压系数(GB/T 1984—2014 的 6.111.7 中的  $k_c$ )的 80%,规定了容性电压系数为 1.2 的断路器除外(降低到 80% 会导致试验电压低于额定相对地电压)。表 7 给出了电气耐久性试验程序的容性电流开合试验用容性电压系数与标准型式试验的容性电压系数的关系。

——根据收集的数据,考虑到相对较短长度的架空线路,试验电流为试验方式 LC1 的电流(额定线路充电电流的 10%~40%)。

——按 15°(电度)步长,依次提前分闸脱扣脉冲整定值,进行分闸操作。

——对燃弧时间不作要求。

——操作电压以及操作、绝缘和/或开断用压力应整定为额定值。

表 7 用于验证电气耐久性的容性电流验收试验的容性电压系数  
与用于标准容性电流型式试验的容性电压系数之间的关系

用于标准容性电流型式试验的容性电压系数 $k_c$	用于电气耐久性容性电流验收试验的容性电压系数 $k_c$
1.20	1.12
1.40	1.12
1.70	1.36

通过试验的判据应与 GB/T 1984—2014 中的 6.111.11.1b)一致,对于 C1 级,在 24 个分闸操作过程中无重击穿;或者在发生 1 次重击穿后,重复整个试验方式(24 次)期间没有再发生重击穿。对于 C2 级,在 48 个分闸操作过程中无重击穿;或者在发生 1 次重击穿后,重复整个试验方式(48 次)期间没有再发生重击穿。

验收试验前和验收试验后应在额定条件(见表 3)下进行空载试验。

注 1: 一方面,进行容性电流开合操作是断路器最常见的操作方式,因此,需要考核断路器在接近预期免维护期终了时开合容性电流的能力。另一方面,即使断路器在运行了一段时间并累积了一定数量的短路之后,用户需要并且也要求能够提供在重击穿方面的性能。

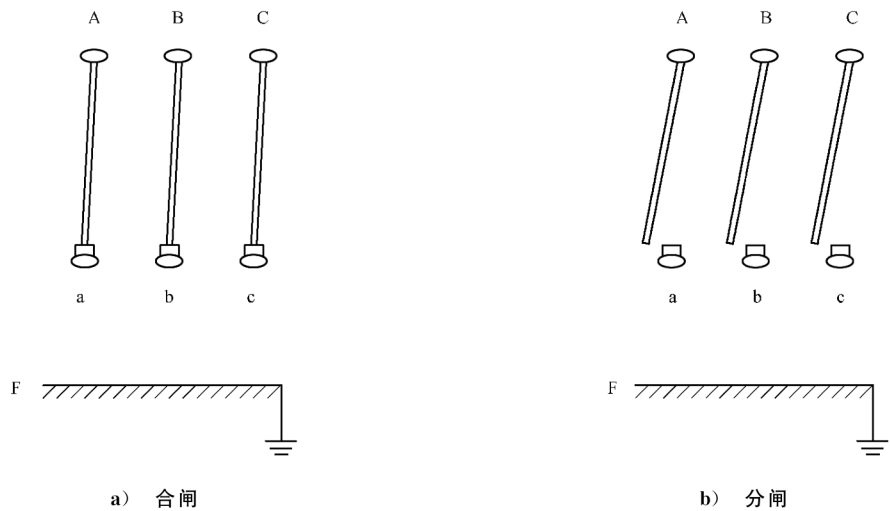
注 2: 验收试验中的容性电流开合试验,是用于验证断路器在接近基于短路磨损的免维护周期终了时仍能保持其合理的重击穿性能。

10.6 状态检查

应在绝缘和/或开断用额定充入压力下进行检查,并作为最终的验收试验。

试验联结图见图 1。

注 1: 此试验的目的是为了确认断路器在完成电气耐久性试验后触头间仍然具有足够的电压耐受能力,而不需要进行人为检查。状态检查之后不要求进行外观检查。



说明：  
A、B、C —— 开关三极的一端；  
a、b、c —— 开关三极的另一端；  
F —— 底座。

图 1 三极开关装置的联结图

对于电流路径不对称的断路器，连接线应倒换。应对每一种连接线布置进行一次完整的试验。  
试验应按下列条件：

- 额定电压低于或等于 72.5 kV 的断路器：应进行 1 min 工频电压试验，试验电压应为 GB/T 11022—2011 表 1 栏(2)中数值的 80%。
- 额定电压高于 72.5 kV 但低于或等于 252 kV 的断路器：应进行冲击电压试验。冲击电压峰值应为 GB/T 11022—2011 表 1 栏(4)中的最高相关值的 60%。对于 GIS 用断路器，冲击电压峰值应为 GB/T 7674—2008 的表 103 中给出的额定操作冲击耐受电压的 60%。
- 额定电压等于 363 kV 的断路器：应进行冲击电压试验。冲击电压峰值应为 GB/T 11022—2011 表 2 中给出的额定操作冲击耐受电压的 80%。对于 GIS 用断路器，冲击电压峰值应为 GB/T 7674—2008 的表 103 中给出的额定操作冲击耐受电压的 80%。
- 额定电压等于或高于 550 kV 但低于或等于 1 100 kV 的断路器：应进行冲击电压试验。冲击电压峰值应为 GB/T 11022—2011 表 2 中给出的额定操作冲击耐受电压的 90%。对于 GIS 用断路器，冲击电压峰值应为 GB/T 7674—2008 的表 103 中给出的额定操作冲击耐受电压的 90%。

进行冲击电压试验时，冲击电压的波形应为标准的操作冲击或者按照出线端故障试验方式 T10 规定的 TRV 波形。每一极性应施加 5 次冲击。如果未出现破坏性放电，则认为断路器通过了试验。在使用大容量试验室的合成试验设备的情况下，TRV 波形的时间  $t_3$  允许的偏差为 -10% 和 +200%。

注 2：采用出线端故障 T10 规定的 TRV 的波形进行试验时，如果符合下述规则，则保证了与标准操作冲击的等效性：

- TRV 的阻尼应使得 TRV 振荡的第二个峰值不高于第一个峰值的 80%；
- 峰值后大约 2.5 ms 处，恢复电压的实际值应在峰值的 50% 以上。

## 附录 A

(资料性)

## 与电气耐久性试验相关联的断路器的关合和开断试验方式

## A.1 基本短路试验方式

## A.1.1 概述

断路器应能关合和开断直到并包括额定短路开断电流的所有对称和非对称短路电流,如果断路器在额定电压和规定的 TRV 下能够关合和开断 10%和 100%额定短路开断电流之间所规定的所有三相对称和非对称电流,则可以认为断路器的基本短路性能已被验证。

断路器的基本短路试验由试验方式 T10、T30、T60、T100s 和 T100a 组成。

对于试验方式 T10 和 T30,开断电流与规定值的偏差不应超出规定值的 20%,对于试验方式 T60 不应超出 10%。

在试验方式 T100s 和 T100a 的开断电流试验中,短路电流的峰值不应超出断路器额定短路关合电流的 110%。

试验回路及试验的细节见 GB/T 1984—2014 的 6.102~6.106。

## A.1.2 试验方式 T10

试验方式 T10 由 GB/T 1984—2014 的 6.104.5.5 和 6.104.7 规定的瞬态和工频恢复电压下的额定操作顺序组成,开断电流为 10%额定短路开断电流,且触头分离时刻的直流分量百分数不超过 20%。

## A.1.3 试验方式 T30

试验方式 T30 由 GB/T 1984—2014 的 6.104.5.4 和 6.104.7 规定的瞬态和工频恢复电压下的额定操作顺序组成,开断电流为 30%额定短路开断电流,且触头分离时刻的直流分量百分数不超过 20%。

## A.1.4 试验方式 T60

试验方式 T60 由 GB/T 1984—2014 的 6.104.5.3 和 6.104.7 规定的瞬态和工频恢复电压下的额定操作顺序组成,开断电流为 60%额定短路开断电流,且触头分离时刻的直流分量百分数不超过 20%。

## A.1.5 试验方式 T100s

试验方式 T100s 由 GB/T 1984—2014 的 6.104.5.2 和 6.104.7 规定的瞬态和工频恢复电压下的额定操作顺序组成,开断电流为 100%额定短路开断电流,且触头分离时刻的直流分量百分数不超过 20%,还应在 GB/T 1984—2014 的 6.104.1 规定的外施电压下满足 6.104.2 规定的 100%额定短路关合电流。

## A.1.6 试验方式 T100a

试验方式 T100a 由 GB/T 1984—2014 的 6.104.5.2 和 6.104.7 规定的瞬态和工频恢复电压下的三个分闸操作(O)组成,开断电流为 100%额定短路开断电流,同时应满足 GB/T 1984—2014 的 6.106.6 给出的非对称判据。

## A.2 近区故障试验

### A.2.1 概述

近区故障是指在架空线路上距离断路器端子不超过几千米处的短路故障。近区故障试验是对断路器的基本短路试验方式的补充,其目的是验证断路器在近区故障条件下,瞬态恢复电压由电源侧和线路侧组合时断路器开断短路电流的能力。

近区故障特性见 GB/T 1984—2014 的 4.105。

### A.2.2 试验电流

试验电流应考虑电源侧和线路侧的阻抗。

电源侧的阻抗应近似等于额定电压  $U_r$  的相对地值除以 100% 额定短路开断电流  $I_{sc}$ ;

线路侧阻抗应为额定短路开断电流交流分量减少到 90%( $L_{90}$ )和 75%( $L_{75}$ )时对应的阻抗值。

### A.2.3 试验方式( $L_{90}$ 和 $L_{75}$ )

近区故障试验应为单相试验,且试验回路由电源回路和线路回路组成。

每一试验方式由额定操作顺序组成。为了便于试验,合闸操作可以是空载操作。

对于这种试验方式,触头分离时刻的直流分量百分数应小于交流分量的 20%。

试验回路和试验细节见 GB/T 1984—2014 的 6.109。

## A.3 失步关合和开断试验(OP1 和 OP2)

试验的目的是验证当断路器两端的系统处于失步条件下,断路器关合和开断失步故障的能力。

试验通常在单相试验回路中进行。

失步关合和开断电流为额定短路开断电流的 25%,试验时触头分离时刻的直流分量百分数应小于 20%。

试验要求和试验方式见 GB/T 1984—2014 的 6.110。

注:所谓失步开断是指断路器在断开时,断口两端成为两个独立的系统,往往一端联接着一个小发电机或者小系统,断开后两侧的相位自由漂移,断口间的恢复电压最大可能达到 2~3 倍。假如开关断开后极间的绝缘恢复速度跟不上恢复电压的上升速度,断口间就可能造成重击穿,这对断路器来说可能是致命的。

## A.4 线路充电电流开合试验

### A.4.1 概述

线路充电电流开合试验时允许出现复燃。根据断路器的重击穿性能可以将其分成两级:

——C1 级:特定的型式试验验证的容性电流开合试验中具有低的重击穿概率。

——C2 级:特定的型式试验验证的容性电流开合试验中具有非常低的重击穿概率。

注:重击穿或复燃后出现的现象不能代表运行条件,因为试验回路并不能完全再现运行工况的电压条件。

### A.4.2 试验方式(LC1、LC2)

线路充电电流开合试验的试验方式包括:

——试验方式 1(LC1):试验电流为额定线路充电电流的 10%~40%。

——试验方式 2(LC2):试验电流为额定线路充电电流的 100%。

额定线路充电电流的优选值在 GB/T 1984—2014 的表 9 中给出。

具体的试验要求见 GB/T 1984—2014 的 6.111。



附 录 B

(资料性)

与标准型式试验分开的断路器电气耐久性试验示例

B.1 试验样品

试验采用安装在 GIS 中的一台 SF<sub>6</sub> 断路器,完整地安装在一个底架上,采用三极结构,三极共用一台弹簧操动机构。进出线采用复合绝缘套管,仅对 A 极进行单相试验,试验样品示意图见图 B.1。

试验样品额定参数如下:

- 额定电压: 145 kV;
- 额定电流: 3 150 A;
- 额定频率: 50 Hz;
- 额定短时工频耐受电压(1 min)  
(极间/对地/断口): 275 kV/275 kV/315 kV;
- 额定雷电冲击耐受电压(峰值)  
(极间/对地/断口): 650 kV/650 kV/750 kV;
- 额定短路开断电流: 40 kA;
- 额定短时耐受电流和  
额定峰值耐受电流: 40 kA/100 kA;
- 额定短路持续时间: 3 s;
- 首开极系数: 1.5;
- 额定操作顺序: O—0.3 s—CO—180 s—CO;
- SF<sub>6</sub> 气体额定充入压力: 0.6 MPa(20 °C时表压);
- SF<sub>6</sub> 气体额定最低功能压力: 0.5 MPa(20 °C时表压);
- 额定操作电源电压: DC 110 V。

注: 该产品已通过了相关的型式试验。

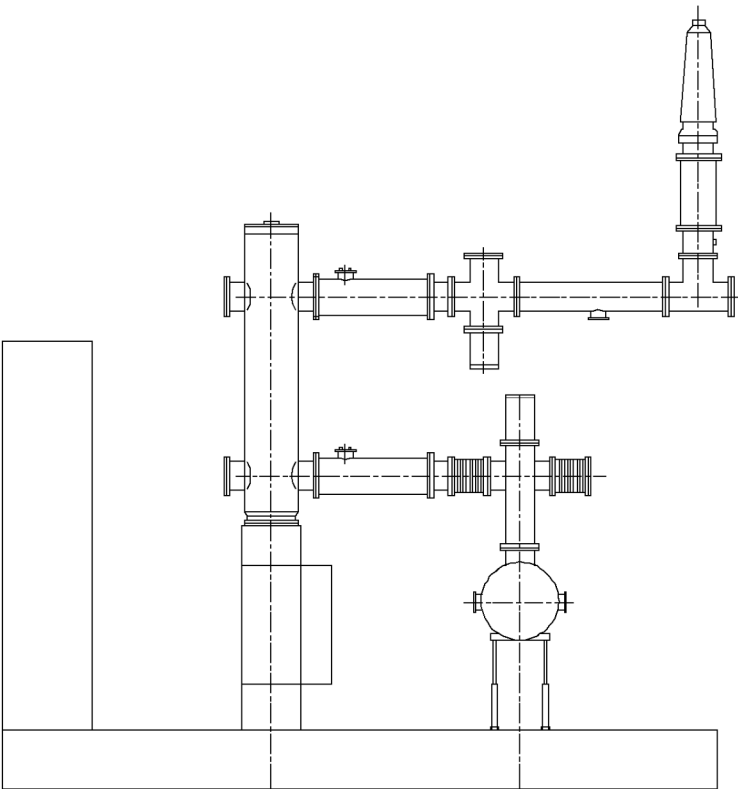


图 B.1 试验样品示意图

B.2 试验流程

B.2.1 验证试品一致性的空载操作试验

试品充入额定压力(0.6 MPa)的 SF<sub>6</sub> 气体。

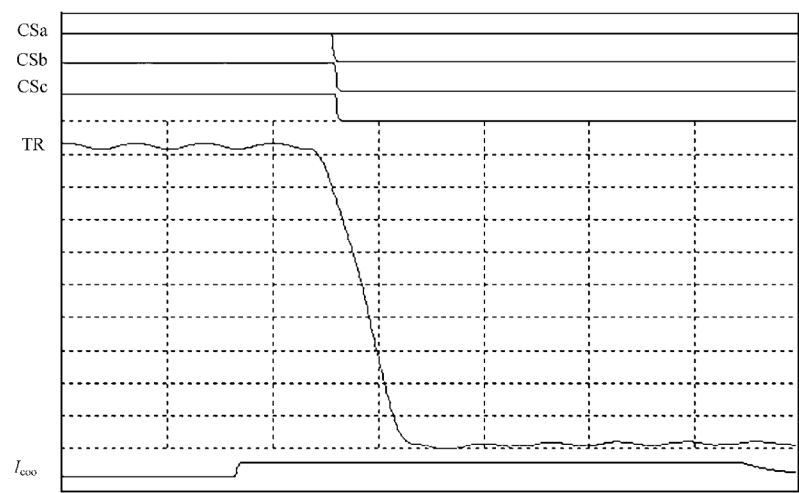
安装测量机械特性的位移传感器。

在额定操作电源电压下单分(O)和单合(C)进行空载操作。

记录空载操作的机械特性和行程曲线。需要记录的数据的示例见表 B.1,示波图见图 B.2 和图 B.3。

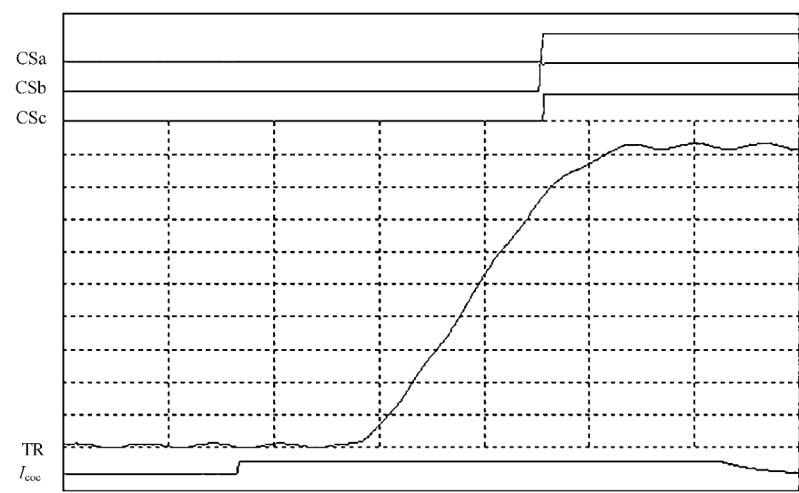
注：表 B.1 仅是一个示例,试验室可以根据产品特性和需要增加适用的参数,如三相不同期、合闸弹跳时间、分闸反弹幅值等。

应保证试品与制造厂提交的或进行过标准型式试验试品的机械特性保持一致。



说明：  
CSa、CSb、CSa —— a、b、c 三相触头通断信号；  
TR —— 行程曲线；  
 $I_{\text{coo}}$  —— 分闸线圈电流。

图 B.2 单分空载特性曲线示波图



说明：  
CSa、CSb、CSa —— a、b、c 三相触头通断信号；  
TR —— 行程曲线；  
 $I_{\text{coc}}$  —— 合闸线圈电流。

图 B.3 单合空载特性曲线示波图

表 B.1 空载特性试验参数记录表

操作顺序	操作电压	测量参量	测量值			技术要求
			A	B	C	
		分闸时间 ms				
		分闸速度 m/s				
		合闸时间 ms				
		合闸速度 m/s				

B.2.2 磨损试验

B.2.2.1 空载操作

SF<sub>6</sub> 气体的压力调整为额定充入压力(0.6 MPa),在额定操作电压下按操作顺序(O,CO,O—0.3 s—CO)进行空载操作,并记录空载特性。

B.2.2.2 T10 试验

试验方式 T10 采用单相直接试验。

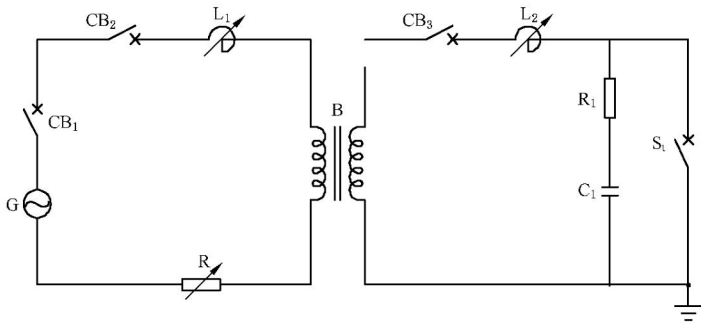
试验回路见图 B.4,试验电压为 11.5 kV,不考虑 TRV,开断电流为 10%的额定短路开断电流 4 kA (±20%)。

SF<sub>6</sub> 气体的压力为额定充入压力(0.6 MPa)。

分闸操作电压为 100%额定操作电源电压。

进行 9 次分闸操作,燃弧时间按型式试验 T10 的中燃弧时间进行调整。

需要记录的参数示例见表 B.2,示波图见图 B.5。



- 说明:
- G

——短路发电机;

CB<sub>2</sub>/CB<sub>3</sub>

——操作断路器;

L<sub>1</sub>/L<sub>2</sub>

——可调节电抗器;

R<sub>1</sub>

——电阻;

S<sub>1</sub>

——试品。

CB<sub>1</sub>

——保护断路器;

R

——可调节电阻;

B

——变压器;

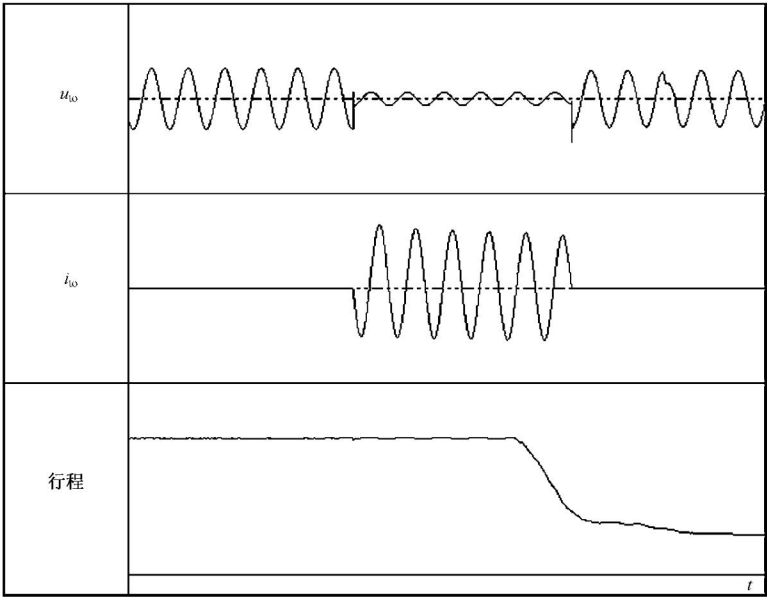
C<sub>1</sub>

——电容;

图 B.4 T10(T60)磨损试验回路

表 B.2 T10(T60)磨损试验参数记录表

试验序号					
操作顺序					
试验电压 kV					
开断电流	交流分量有效值 kA				
	直流分量 %				
燃弧时间 ms					
分闸时间 ms					



说明：  
 $u_{to}$ ——工频恢复电压；  
 $i_{to}$ ——流过试品电流。

图 B.5 T10 磨损试验示波图

B.2.2.3 T60 试验

试验方式 T60 采用单相直接试验。  
试验回路见图 B.4,试验电压为 11.5 kV,不考虑 TRV,开断电流为 60%的额定短路开断电流 24 kA(±10%)。

SF<sub>6</sub> 气体的压力为额定充入压力(0.6 MPa)。  
分闸操作电压为 100%额定操作电源电压。  
进行 10 次分闸操作,燃弧时间按型式试验 T60 的中燃弧时间进行调整。  
需要记录的参数示例见表 B.2。

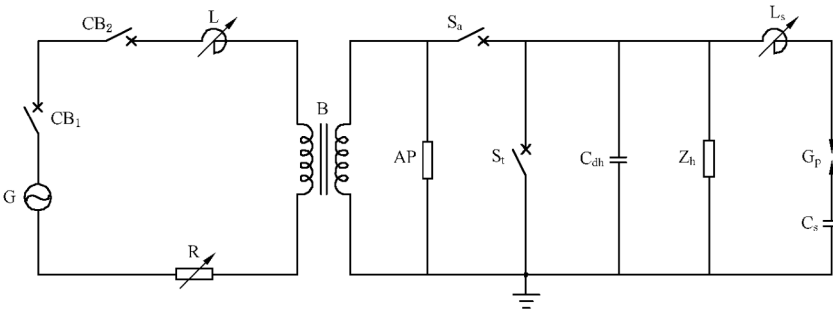
B.2.3 验收试验

B.2.3.1 验收试验前的空载操作试验

SF<sub>6</sub> 气体的压力为额定充入压力(0.6 MPa),在额定操作电压下按操作顺序(O,CO,O—0.3 s—CO)进行空载操作,并记录空载特性。

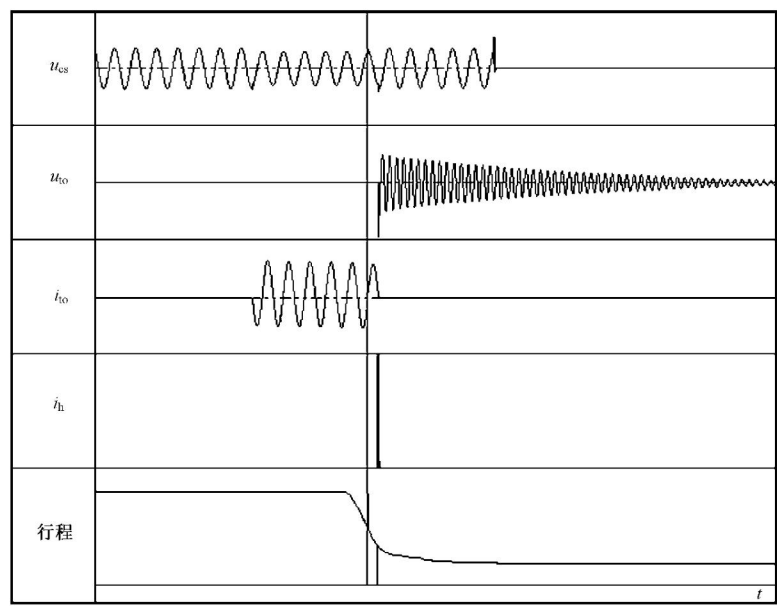
B.2.3.2 T10 试验

试验方式 T10 采用单相合成试验。  
试验按照 GB/T 1984—2014 的 6.106.1 和 GB/T 7674—2008 的规定进行。  
试验回路见图 B.6,工频恢复电压为 126 kV,开断电流为 10%额定短路开断电流 4 kA(±20%)。  
TRV 按 IEC 62271-100:2008 表 27 调整。  
SF<sub>6</sub> 气体的压力为额定充入压力(0.6 MPa)。  
分闸操作电压为 100%额定操作电源电压。  
进行 3 次分闸操作,燃弧时间应按照 GB/T 1984—2014 的 6.102.10.2.1.1 进行调整。  
注:为了确定最短燃弧时间并获得全部的燃弧窗口,至少需要进行 4 次分闸操作。  
需要记录的参数示例见表 B.3,示波图见图 B.7。



- 说明:
- |                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|
| G —— 冲击发电机;                 | CB <sub>1</sub> —— 保护断路器;   |
| CB <sub>2</sub> —— 操作断路器;   | L —— 可调节电抗器;                |
| R —— 可调节电阻;                 | B —— 变压器;                   |
| AP —— 延弧回路装置;               | S <sub>0</sub> —— 辅助开关;     |
| S <sub>t</sub> —— 试品;       | C <sub>dh</sub> —— 时延电容;    |
| Z <sub>h</sub> —— TRV 调节电路; | L <sub>s</sub> —— 可调节电抗器;   |
| G <sub>p</sub> —— 火化间隙;     | C <sub>s</sub> —— 电压回路充电电容。 |

图 B.6 T10 验收试验回路



说明：  
 $u_{cs}$ ——电流回路电压；  
 $u_{to}$ ——工频恢复电压；  
 $i_{to}$ ——流过试品电流；  
 $i_h$ ——电压回路电流。

图 B.7 T10 验收试验示波图

表 B.3 T10 验收试验参数记录表

操作顺序				
电流源电压 kV				
开断电流	交流分量有效值 kA			
	直流分量 %			
熄弧半波电流幅值 kA				
熄弧半波电流持续时间 ms				
引入电流幅值 $I_{syn}$ kA				
引入电流频率 Hz				
电压回路单独作用时间 $t_h$ $\mu s$				

表 B.3 T10 验收试验参数记录表（续）

TRV 峰值 $u_c$ kV				
工频恢复电压 kV				
0.1 s 时工频恢复电压 kV				
燃弧时间 ms				
分闸时间 ms				

B.2.3.3 60%额定短路开断电流的  $L_{75}$  试验

试验方式采用单相合成试验。

试验按照 GB/T 1984—2014 的 6.109 和 GB/T 7674—2008 的规定进行。

试验回路见图 B.8,工频恢复电压为 84 kV,开断电流为 60%额定短路开断电流 24 kA( $\pm 3\%$ )。

电源侧和线路侧的瞬态恢复电压按照 IEC 62271-100:2008 的表 27 和表 8 进行调整。

SF<sub>6</sub> 气体的压力为额定充入压力(0.6 MPa)。

分闸操作电压为 100%额定操作电源电压。

进行 3 次分闸操作,燃弧时间应按照 GB/T 1984—2014 的 6.102.10.2.2.1 进行调整。示波图见图 B.9。

需要记录的参数示例见表 B.4 和表 B.5。

注 1: 为了确定最短燃弧时间并获得全部的燃弧窗口,至少需要进行 4 次分闸操作。

注 2: 表 B.4 中的符号见 GB/T 1984—2014 附录 K。

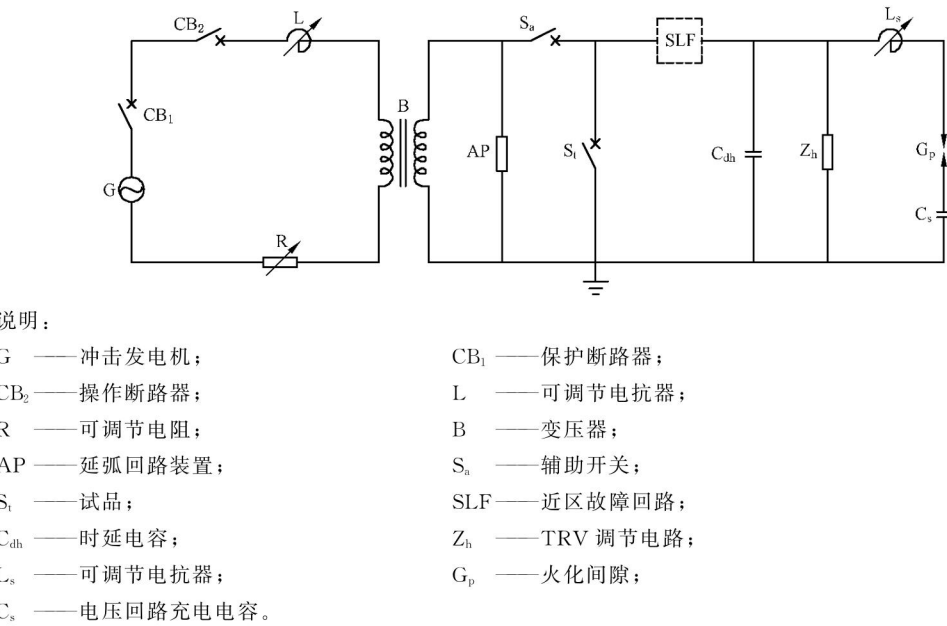


图 B.8 60%额定短路开断电流的  $L_{75}$  验收试验回路

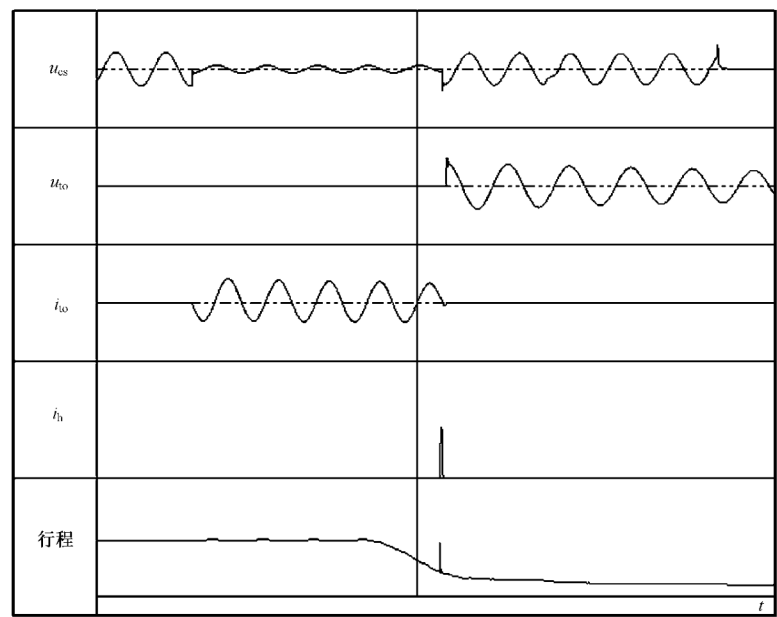


表 B.4 60%额定短路开断电流的  $L_{75}$  验收试验的 TRV 参数记录表

电源回路预期 TRV			人工线路预期 TRV		
$u_c/\text{kV}$			$u_{L^*}/\text{kV}$		
$u_1/\text{kV}$			$t_1/\mu\text{s}$		
$t_1/\mu\text{s}$			$t_{dl}/\mu\text{s}$		
$t_2/\mu\text{s}$					
$(u_1/t_1)/(\text{kV}/\mu\text{s})$					

表 B.5 60%额定开断电流的  $L_{75}$  验收试验参数记录表

操作顺序					
电流源电压 kV					
开断电流	交流分量有效值 kA				
	直流分量 %				
熄弧半波电流幅值 kA					
熄弧半波电流持续时间 ms					
引入电流幅值 $I_{syn}$ kA					
引入电流频率 Hz					
电压回路单独作用时间 $t_h$ $\mu\text{s}$					
断口 TRV 第一峰值 $u_T$ kV					
断口 TRV 第一峰值时间 $t_T$ $\mu\text{s}$					
TRV 峰值 $u_m$ kV					
工频恢复电压 kV					
0.1 s 时工频恢复电压 kV					
燃弧时间 ms					
分闸时间 ms					



说明：  
 $u_{cs}$ ——电流回路电压；  
 $u_{io}$ ——工频恢复电压；  
 $i_{io}$ ——流过试品电流；  
 $i_h$ ——电压回路电流。

图 B.9 60%额定短路开断电流的  $L_{75}$  验收试验示波图

B.2.3.4 LC1 试验

试验方式 LC1 采用单相直接试验。

试验回路应按照 GB/T 1984—2014 的 6.111 的规定，试验回路如图 B.10。

容性电压系数 1.12，试验电压为 94 kV，试验电流为 5 A~20 A。

电源侧 TRV 按 IEC 62271-100:2008 表 27 调整。

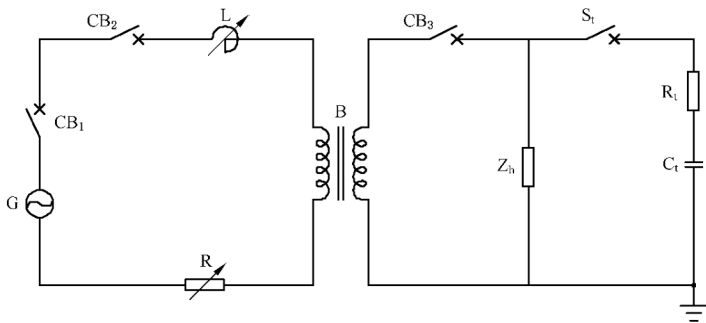
SF<sub>6</sub> 气体的压力为额定充入压力(0.6 MPa)。

分闸操作电压为 100%额定操作电源电压。

试验由 48 次单分(C2 级)操作组成。按 15°(电度)步长，依次提前分闸脱扣脉冲整定值，进行分闸操作，对燃弧时间不作要求。

通过试验的判据见 10.5。

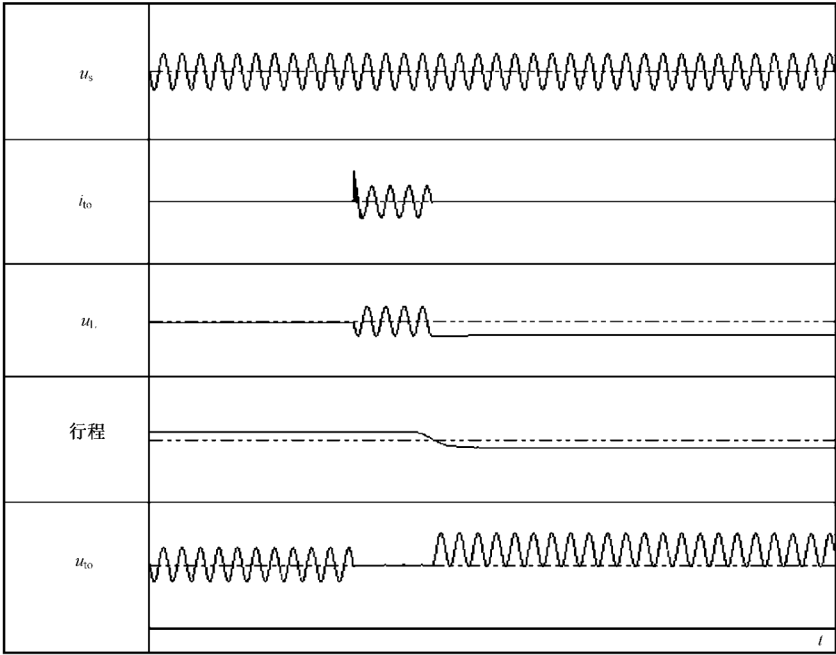
需要记录的参数示例见表 B.6，示波图见图 B.11。



说明：

G —— 冲击发电机；	CB <sub>1</sub> —— 保护断路器；
CB <sub>2</sub> —— 操作断路器；	L —— 可调节电抗器；
R —— 可调节电阻；	B —— 变压器；
CB <sub>3</sub> —— 操作断路器；	S <sub>t</sub> —— 试品；
C <sub>t</sub> —— 负载电容；	R <sub>t</sub> —— 负载电阻；
Z <sub>th</sub> —— TRV 调节电路。	

图 B.10 LC1 验收试验回路



说明：

$u_s$  —— 电源侧电压；

$i_{t0}$  —— 流过试品电流

$u_l$  —— 负载侧电压；

$u_{t0}$  —— 断路器断口电压。

图 B.11 LC1 验收试验示波图

表 B.6 LC1 验收试验参数记录表

试验序号				
示 波 图				
操作顺序				
电源电压,有效值 kV				
试验电压,有效值 kV				
开断电流,有效值 kA				
断口恢复电压峰值 kV				
燃弧时间 ms				
分闸时间 ms				
开断时间 ms				
重击穿次数				

## B.2.3.5 验收试验后的空载操作试验

SF<sub>6</sub> 气体的压力为额定充入压力(0.6 MPa),在额定操作电压下按操作顺序(O,CO,O—0.3 s—CO)进行空载操作,并记录空载特性。

## B.2.3.6 验收试验后的状态检查试验

验收试验后,在试品未进行任何修整的条件下,按 10.6 的规定对断口进行状态检查的冲击电压试验。

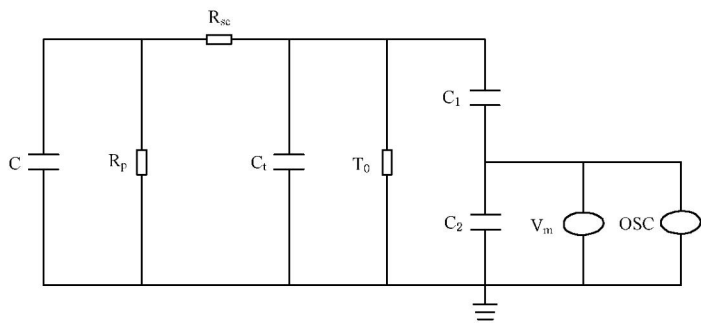
试验回路见图 B.12。

雷电冲击试验电压的峰值为: $60\% \times 650 \text{ kV} = 390 \text{ kV}$ 。

试品 SF<sub>6</sub> 气体压力为额定充入压力(0.6 MPa)。

在断路器分闸状态下,对静触头侧和动触头侧分别施加正极性 5 次和负极性 5 次冲击电压。

需要记录的参数示例见表 B.7。



说明：

C ——冲击发生器主电容；

R<sub>p</sub> ——发生器并联电阻(波尾电阻)；

R<sub>sc</sub> ——发生器串联电阻(波头电阻)；

C<sub>t</sub> ——发生器负荷电容；

T<sub>0</sub> ——试品；

C<sub>1</sub> ——分压器高压臂电容；

C<sub>2</sub> ——分压器低压臂电容；

V<sub>m</sub> ——峰值电压表；

OSC ——示波器。

图 B.12 状态检查的冲击电压试验回路

表 B.7 采用冲击电压或采用 T10 的 TRV 法的状态检查试验参数记录表

施压部位	试验参数				
	极性	试验电压峰值 kV	到达峰值时间 μs	2.5 ms 时的 电压瞬时值 kV	试验结果

#### 参 考 文 献

- [1] GB/T 4473—2018 高压交流断路器的合成试验
  - [2] IEC 62271-100:2008 High-voltage switchgear and controlgear—Part 100: Alternating current circuit-breakers
  - [3] IEC/TR 62271-306:2018 High-voltage switchgear and controlgear—Part 306: Guide to IEC 62271-100, IEC 62271-1 and other IEC standards related to alternating current circuit-breakers
  - [4] IEC/TR 62271-310:2008 High-voltage switchgear and controlgear—Part 310: Electrical endurance testing for circuit-breakers of rated voltage 52 kV and above
-



中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
52 kV 及以上断路器电气耐久性试验方法  
GB/T 39891—2021

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: [www.spc.org.cn](http://www.spc.org.cn)

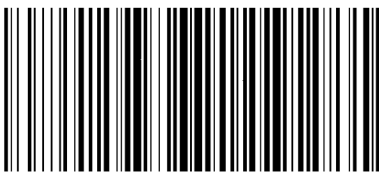
服务热线: 400-168-0010

2021年3月第一版

\*

书号: 155066 • 1-66946

版权专有 侵权必究



GB/T 39891—2021



码上扫一扫 正版服务到