



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 38658—2020

## 3.6 kV~40.5 kV 交流金属封闭开关设备和 控制设备型式试验有效性的延伸导则

Guidance for the extension of validity of type tests of AC metal enclosed switchgear  
and controlgear for rated voltages above 3.6 kV and up to and including 40.5 kV

(IEC/TR 62271-307:2015 , High-voltage switchgear and controlgear—  
Part 307: Guidance for the extension of validity of type tests of AC metal  
enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and  
up to and including 52 kV, MOD)

2020-03-31 发布

2020-10-01 实施

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会

## 目 次

前言 .....	I
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 延伸判据的说明 .....	3
4.1 概述 .....	3
4.2 延伸判据的参数 .....	3
4.3 计算的运用 .....	4
4.4 型式试验有效性延伸所需信息 .....	5
5 延伸判据的应用 .....	5
5.1 绝缘试验 .....	5
5.2 温升试验 .....	6
5.3 机械试验 .....	7
5.4 短时和峰值耐受电流试验 .....	8
5.5 关合和开断试验 .....	9
5.6 内部故障试验 .....	10
6 型式试验的有效性延伸 .....	11
6.1 概述 .....	11
6.2 试验报告有效性延伸到其他功能单元(情况 a) .....	12
6.3 通过选择试品确认一族(情况 b) .....	12
6.4 通过现有试验报告确认总装(情况 c) .....	14
6.5 设计修改的确认(情况 d) .....	14
附录 A (资料性附录) 延伸判据的基本原理 .....	15
附录 B (资料性附录) 型式试验延伸有效性的示例 .....	25
参考文献 .....	31

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准使用重新起草法修改采用 IEC/TR 62271-307:2015《高压开关设备和控制设备 第 307 部分:额定电压 1 kV 以上 52 kV 及以下的交流金属封闭和固体绝缘封闭开关设备和控制设备型式试验有效性延伸导则》。

本标准与 IEC/TR 62271-307:2015 相比存在结构的调整。将 IEC/TR 62271-307:2015 的 1.1 改为“1 范围”,1.2 改为“2 规范性引用文件”,致使其后条款号顺延。

本标准与 IEC/TR 62271-307:2015 的技术性差异及其原因如下:

——关于规范性引用文件,本标准做了具有技术性差异的调整,以适应我国的技术条件,调整的情况集中反映在第 2 章“规范性引用文件”中,具体调整如下:

- 用修改采用国际标准的 GB/T 2900.20—2016 代替了 IEC 60050-441:1984 及 IEC 60050-441:1984/AMD1:2000;
- 用修改采用国际标准的 GB/T 3906—2020 代替了 IEC 62271—200:2011;
- 用修改采用国际标准的 GB/T 11022—2011 代替了 IEC 62271-1:2007 及 IEC 62271-1:2007/AMD1:2011;
- 删除了 IEC 62271—201:2014。

——删除了 IEC/TR 62271-307:2015 第 5 章中我国不存在的固体绝缘封闭开关设备和控制设备的相关延伸内容。

——删除了 IEC/TR 62271-307:2015 表 7 第 5 条关于导体的横截面积的延伸判据。

本标准做了下列编辑性修改:

——为与我国技术标准体系一致,将标准名称改为《3.6 kV~40.5 kV 交流金属封闭开关设备和控制设备型式试验有效性延伸导则》;

——对参考文献进行调整。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国高压开关设备标准化技术委员会(SAC/TC 65)归口。

本标准起草单位:西安高压电器研究院有限责任公司、中国电力科学研究院有限公司、上海平高天灵开关有限公司、ABB(中国)有限公司、库柏(宁波)电气有限公司、上海电气输配电试验中心有限公司、施耐德电气(厦门)开关设备有限公司、施耐德电气(中国)有限公司、川开电气有限公司、广东电网有限责任公司电力科学研究院、辽宁高压电器产品质量检测有限公司、江苏华冠电器集团有限公司、中国南方电网有限责任公司超高压输电公司检修试验中心、广东正超电气有限公司、国网安徽省电力公司电力科学研究院、国网陕西省电力公司电力科学研究院、杭州电力设备制造有限公司临安恒信成套电气制造分公司、平高集团有限公司、青岛特锐德电气股份有限公司、日升集团有限公司、山东泰开成套电器有限公司、山东泰开真空开关有限公司、伊顿电力设备有限公司、伊顿电气有限公司、河南省高压电器研究所有限公司、华仪电气股份有限公司、江苏省如高高压电器有限公司、北京北开电气股份有限公司、北京双杰电气股份有限公司、宁波天仑电气有限公司、上海安奕极企业发展有限公司、上海西门子开关有限公司、陕西正泰智能电气有限公司、深圳市光辉电器实业有限公司、深圳市金博联电力技术有限公司、四川电器集团股份有限公司、天水长城开关厂有限公司、厦门市恒源新电力设备有限公司、西安交通大学、西安西电电气研究院有限责任公司、西电宝鸡电气有限公司、西门子中压开关技术(无锡)有限公司、河南华盛隆源电气有限公司、浙江开关厂有限公司、浙江省开化七一电力器材有限责任公司、广东金晖隆

开关有限公司、云南电网有限责任公司电力科学研究院。

本标准主要起草人：张晋波、田恩文、元复兴、冯英、张子骁、冯武俊、孙梅、张艳、贾一凡、胡晶、谭燕、范广伟、陈国春、刘浩军、沈忠威、谢瑞涛、刘成学、王培人、李玲、杨涛、冯秀鸽、宋葆春、胡晓斌、雷小强、姬广辉、陈义龙、王增彬、赵靖波、张献高、张长虹、陈炎亮、杨为、杨鼎革、牛博、王万亭、王向克、骆祥华、曹为正、邓爱月、刘慧科、郑维霞、秦成伟、王腊洪、陈洪飞、邢文奇、侯银顺、王成全、乔众、孔国威、欧建军、吴春晖、朱壬辰、王俊庄、汪令生、赵富国、王建文、池海燕、刘伟、吴崇文、刘志远、付鲁军、寇政理、薛忠、张伟强、周庆清、薛娜娜、陈弼栋、彭晶。

## 3.6 kV~40.5 kV 交流金属封闭开关设备和 控制设备型式试验有效性的延伸导则

### 1 范围

本标准规定了 3.6 kV~40.5 kV 交流金属封闭开关设备和控制设备型式试验有效性延伸的应用和判据,以及型式试验有效性延伸的一般方法。

本标准适用于 GB/T 3906—2020 规定的额定电压 3.6 kV~40.5 kV 的交流金属封闭开关设备和控制设备,以及其他处于同一外壳中有可能互相影响的设备。

本标准适用于将在具有一组确定额定值中的一个样品上进行的型式试验的有效性,延伸至同族中具有不同额定值或不同元件布置的其他成套开关设备。

注:为了进行一致的符合性评估,实现型式试验的最优化,本标准支持对同族开关设备和控制设备的功能单元组成的典型试品的选择。本标准将成熟的技术性和物理原理、制造商和用户经验与计算相结合,建立了型式试验有效性的延伸导则,以涵盖多种设计和额定值。

### 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 2900.20—2016 电工术语 高压开关设备和控制设备(IEC 60050-441:1984,MOD)

GB/T 3906—2020 3.6 kV~40.5 kV 交流金属封闭开关设备和控制设备(IEC 62271—200:2011,MOD)

GB/T 11022—2011 高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求(IEC 62271-1:2007,MOD)

### 3 术语和定义

GB/T 2900.20—2016、GB/T 3906—2020 和 GB/T 11022—2011 界定的以及下述术语和定义适用于本文件。为了便于使用,以下重复列出了 GB/T 2900.20—2016 和 GB/T 3906—2020 的某些术语和定义。

#### 3.101

**开关设备和控制设备** **switchgear and controlgear**

开关装置及与其相关的控制、测量、保护和调节设备的组合,以及这些装置和设备同相关的电气连接、辅件、外壳和支撑件的总装的总称。

[GB/T 2900.20—2016,定义 3.1]

#### 3.102

**(开关设备和控制设备的)总装** **assembly (of switchgear and controlgear)**

开关设备和/或控制设备及其所有内部的电气和机械连接的组合。

注 1:总装由一个或多个功能单元组成。

注 2:改写 GB/T 2900.20—2016,定义 4.1。

3.103

(总装的)功能单元 **functional unit (of an assembly)**

总装的一个部分,由满足单一功能的主回路和辅助回路的所有元件组成。

注:可能根据预定的功能来区分功能单元,例如进线单元,出线单元。

[GB/T 2900.20—2016,定义 5.5]

3.104

同族开关设备和控制设备 **family of switchgear and controlgear**

物理组合在总装内的功能单元,并能提供一系列额定值及特性。

注:例如电流、电压、防护等级。

3.105

同类组 **homogeneous group**

同族开关设备和控制设备内的一组具有设计参数的功能单元,允许根据具体特性,将施加在组内一个功能单元上的某个特性的型式试验结果的有效性延伸至组内其他功能单元。

3.106

(有效性的)延伸判据 **extension(of validity)criterion**

基于设计参数的判据,对于具体特性,可根据在另一总装上施加的试验的实际结果验证未试总装的性能。

3.107

试品 **test object**

需要在特定型式试验中代表开关设备和控制设备的设备及其所有附件(除非另有规定)。

3.108

元件 **component**

金属封闭开关设备和控制设备的高压回路或者接地回路中,具有特定功能的基本部件。

注 1:元件包含但不限于:断路器、隔离开关、负荷开关、熔断器、互感器、套管、母线等。

注 2:改写 GB/T 3906—2020,定义 3.113。

3.109

主回路 **main circuit**

包括金属封闭开关设备和控制设备中所有高压导电部件,用于承载额定电流的回路。

注:改写 GB/T 3906—2020,定义 3.115。

3.110

电气间隙 **clearance**

具有电位差的两个导电部件之间的最短距离。

[GB/T 2900.20—2016,定义 9.28]

3.111

极间电气间隙 **clearance between poles**

相邻两极的导电部件间的电气间隙。

[GB/T 2900.20—2016,定义 9.29]

3.112

对地电气间隙 **clearance to earth**

任何导电部件和任意接地部件或用作接地部件之间的电气间隙。

[GB/T 2900.20—2016,定义 9.30]

3.113

相间中心距离 **centre distance between phases**

相邻相导体中心之间的距离。

## 4 延伸判据的说明

### 4.1 概述

由于功能单元类型、额定值以及元件组合的多样性,对金属封闭开关设备和控制设备所有可能的总装进行型式试验是不切实际的。因此,可能需要参考同族金属封闭开关设备和控制设备中其他总装的型式试验报告,来评估特定总装的性能。对于每种型式(或性能)试验,5.1~5.6 提供了设计参数的非穷举清单,以便于有效性延伸的分析。

该分析应基于成熟的技术性和物理原理,适用时,可由计算支撑。

5.1~5.6 的表格相关栏中列出了总装需要评估的每个设计参数,应将其与已经过型式试验的总装的设计参数按照同一表格中的验收准则进行比较。每个延伸判据确认后,可以允许将在具有特定性能的总装上进行的试验,应用于同族的具有不同特性的其他总装(例如某些额定值或尺寸)。例如表 2 中项(1):被评估总装的极间电气间隙大于或等于试验过的总装的极间电气间隙。

如果任一延伸判据无法确定,则需要进一步的证明,例如通过技术论证、计算/仿真或特殊试验。计算的结果仅能用于 4.3 所示的比较情况中。

附录 A 中给出了延伸判据的基本原理。附录 B 中给出了型式试验延伸有效性的示例。

### 4.2 延伸判据的参数

同族开关设备和控制设备型式试验有效性的延伸判据取决于一定数量的设计参数,如表 1 所示。每个总装具有的特性由其设计参数决定。

元件参数是指设计和运行参数,会影响与其自身额定值相关的元件性能。这些参数由元件制造商控制和规定。同族开关设备和控制设备内元件的所有应用应满足制造商对于元件参数公差的规定。与元件标准相符的型式试验有效性延伸不在本标准范围内。

某些开关装置,例如接地开关,根据相关元件标准,可能需要在总装内进行试验而对独立元件不适用。

表 1 设计参数示例

设计参数	关联性
开关装置中的触头原材料	元件
开关装置中触头的几何形状	元件
开关装置的分、合闸速度	元件
开关装置的允许弹跳时间	元件
极间电气间隙	元件/总装
对地电气间隙	元件/总装
隔室中绝缘气体压力	元件/总装
所有与导体相连的绝缘部件的绝缘等级	元件/总装
无支撑母线段的长度	总装
元件的布置	总装
注:本表仅包含示例,并不意求完整。	

总装参数受同族开关设备和控制设备内总装设计的直接影响,然而,也可能取决于元件参数。总装

的参数在本标准考虑范围之内。

### 4.3 计算的运用

#### 4.3.1 概述

在本标准中,计算和仿真仅用于经过型式试验的总装获得的有效计算结果,与研究其他总装所得的结果之间的比较。比较结果通常取决于表 2~表 7 中的设计参数和有效性判据。

在很多情况下,由于设计的复杂性,不能用单一的设计参数值来评估与某一特殊型式试验相关的总装的性能。例如电流路径上的导体极间电气间隙可能发生显著变化。计算可采用多维度的方案比较各个设计参数,为比对技术论证和专家意见提供支撑。

根据型式试验和特定的设计参数,有时用一个解析公式或经验公式就可以表示一个与开关设备相关的简单模型,而有时需要用一个可重复仿真结果的数值工具来建立一个完整的三维仿真模型。

软件工具和计算方法自身的有效性不在本标准的范围内。下面简要论述了与特性相关的一些计算方法。

#### 4.3.2 温升计算

GB/T 24276 提供了低压总装的温升计算流程,在考虑了这些计算方法的特殊限制后,也可以将其用于高压开关设备总装温升计算中。计算是依据内部产生的总功率、外壳面积以及装配情况、水平隔板的数量和通风口的面积完成的。受试隔室内部的气体温度也是用作比较的参数。

对于复杂的几何形状,可以用热能网络进行比较,即按照发热电阻、热传导、热对流和热辐射元件将包括所有元件的整个开关设备分成独立单元。另外,需要开关设备完整的三维模型时,可使用更加复杂的 CFD(计算流体力学)工具。

#### 4.3.3 电场计算

对两个总装的绝缘耐受性能,可通过电场仿真比较两种设计产生的电场强度来进行评估。有限元(FE)或有限体(FV)仿真工具,能模拟复杂的三维几何模型。

注: CIGRE 出版物给出了有关电场计算的结论:“仿真是一个卓越和有指导性的工具……来预期性能,该性能通过在相似设计上的试验来证明(插入法)”。

应注意本标准没有提供外推法信息,仅提供了特性的内插法信息,例如无法覆盖更高电场强度的延伸有效性。

#### 4.3.4 机械应力计算

操动机构仿真软件可给出操动机构各部件的机械应力信息。但是用这些程序评估机械寿命是不可行的。因此,按照目前可用的仿真软件的情况,不应使用仿真进行机械型式试验的有效性延伸。然而,可以用这种计算方法评估单一部件或机械支撑件的强度。

#### 4.3.5 短时耐受电流计算

关于短时电流耐受性能,母线设计的导则和计算公式可参考低压总装的短路耐受导则<sup>[5,6,7]</sup>。其中包括确定各极导体间的相互电磁力,以及导致母线导体弯曲并且破坏绝缘子的机械应力。当使用计算出的电磁力时,母线上的机械应力以及支撑件上的力可通过应力分析程序进行评估。此外,当评估比已通过试验的产品具有更低的  $I_k$ (额定短时耐受电流)和更高的  $t_k$ (额定短路持续时间)时,可以使用  $I_k^2 t_k$  计算热效应。

#### 4.3.6 内部故障压力上升计算

通过研究计算隔室的压力上升,来获得比较两个总装设备压力耐受性能的依据<sup>[3]</sup>。该计算能在考虑压力释放装置打开的情况下提供隔室中的压力升高情况。对于简单的几何体可用计算公式对外壳壁在压力下的强度进行评估,否则,采用有限元进行机械应力分析。

隔室排出的热气流可通过 CFD 程序仿真,指示器是否被点燃是型式试验的重要判据,但是到目前为止,还是无法对此进行仿真。因此,该程序在型式试验有效性延伸方面的应用是有局限性的。

#### 4.4 型式试验有效性延伸所需信息

应按照 GB/T 11022—2011 中 6.1.3 对型式试验试品的要求,收集所要评估的总装的信息,以进行型式试验有效性的延伸。此外,应采用第 5 章的表格提供经过试验的产品和被评估功能单元的、与型式试验相关的设计参数信息。仅需使用那些与所要评估特性有关的表格。

应用试验过的总装的型式试验报告进行两个总装的比较。

制造商宜提供第 4 章列表中被试产品设计参数的相关信息,除了产品标准要求的信息之外,这些信息也应包括在所有型式试验报告中。

通常用单一的设计参数值进行评估是不充分的。这种情况下,需要两者的相关图纸。

如果通过计算、数据资料或公式进行比较,那么应给出所用软件的类型,计算报告的参考数值以及结果的概要。

应建立能够提供可溯源的分析文件。此文件应是将已进行型式试验有效性延伸到开关设备和控制设备整个族或部分族的有效性延伸报告的一部分。

### 5 延伸判据的应用

#### 5.1 绝缘试验

对于开关设备和控制设备总装的所有部分应考虑表 2 中列出的判据。评估适用于绝缘试验的有效性从一个功能单元或总装,向属于同族的具有相同或较低的额定绝缘水平的其他开关设备和控制设备延伸。

如果必要,依据 GB/T 3906—2020 中 7.2.4,已通过绝缘型式试验的试品中可能包括绝缘挡板和辅助绝缘,因此型式试验有效性的延伸仅可以用在具有相同布置和设计的功能单元或总装上。试品应包含适当的元件或模拟品,用来在最不利的试验情况下,再现如互感器或熔断器的高压连接的电场结构(见 GB/T 3906—2020 中 7.2.7.2 和 7.2.7.3)。这允许将型式试验的有效性延伸至使用不同技术规格、但具有相同外部电场结构的元件。对于其他的高压和低压附件(像避雷器和加热器)要进行同样的考虑。

表 2 绝缘性能的延伸判据

项目	设计参数	接受准则	条件
(1)	(2)	(3)	(4)
1	极间电气间隙	$\geq$	
2	对地电气间隙	$\geq$	
3	爬电距离	$\geq$	注 1

表 2 (续)

项目	设计参数	接受准则	条件
4	绝缘材料的电气性能	$\geq$	可能要求两种材料之间的比较结果(例如根据 GB/T 4207, 比较漏电起痕指数)
5	带电部件的表面粗糙度	$\leq$	
6	导电部件的半径	$\geq$	不仅是带电部件的半径,也要考虑面对带电部件的所有导电部件(接地装置、外壳、低压线、支持部件)的半径 注 2
7	触头开距	$\geq$	如果受开关设备总装的影响
8	隔离距离	$\geq$	如果受开关设备总装的影响
9	绝缘用最低功能压力	$\geq$	相同的流体,对于流体绝缘开关设备
注 1: 沿着绝缘表面的电场分布也有很大影响。 注 2: 绝缘材料的几何形状同样可改变电场。			

## 5.2 温升试验

额定电流等于或小于经过型式试验的功能单元时,其温升性能延伸判据在表 3 中进行了概述。该表中未考虑强制通风。

功能单元的载流能力取决于母线连接的设计以及相邻功能单元的电流分布。由于标准(例如 GB/T 11022—2011 中 6.5)要求温升试验应在最严酷的条件下进行,所以应假设周围功能单元对温升性能的影响等于或小于型式试验中的影响。

如果功能单元包括一族元件的不同成员,例如互感器或熔断器,为了将型式试验的有效性延伸至整族元件,这些元件应逐一比较功耗。

额定频率由 50 Hz 延伸至 60 Hz 时,见 GB/T 11022—2011 中 6.5.2。

应根据其自身的元件标准对电流互感器进行试验及验证。如果安装在一个功能单元上的电流互感器的一次和二次绕组在额定电流下的功耗等于或小于安装在经过型式试验的功能单元上的功耗,则认为可接受的。具有较低额定电流、较高一次电阻的电流互感器仅可用于具有相同或较低的一次和二次功耗条件下的、低额定电流的开关设备和控制设备。对于其他元件,如为辅助控制回路供电的变压器,应考虑相同的情况。

表 3 温升性能的延伸判据

项目	设计参数	接受准则	条件
(1)	(2)	(3)	(4)
1	相间中心距离	$\geq$	
2	相对地距离	$\geq$	仅当周围元件由于电流产生的影响(如涡流和励磁电流)不能排除时需要确认 注 1
3	外壳/隔室尺寸(L、H、W)和体积	$\geq$	外壳和隔室具有相同的结构 注 1

表 3 (续)

项目	设计参数	接受准则	条件
4	绝缘气体的最低功能压力	$\geq$	相同的气体,对于气体绝缘开关设备
5	导体的电流密度	$\leq$	导体具有相同的物理布置
6	导体单位长度的电阻	$\leq$	比较导体材料和截面积 注 2
7	连接/接头处的接触面积	$\geq$	相同或更好的接触材料
8	连接/接头处的接触压力	$\geq$	相同或更好的接触材料
9	连接/接头处接触材料的许可温度	$\geq$	包括具有相同或较低电阻率的金属涂层
10	隔板和外壳的有效通风面积	$\geq$	注 3
11	元件的功耗	$\leq$	考虑到主开关设备、熔断器和电流互感器 注 4
12	绝缘挡板的面积	$\leq$	隔板具有相同的物理布置
13	导体绝缘涂层的厚度	$\leq$	涂层的热导率和发散系数应相同 注 5
14	外壳材质的涡流发热效应	$\leq$	注 6
15	外壳上用于热传递的涂层表面积	$\geq$	涂层的发散系数应相同
16	与导体接触的绝缘材料的温度等级	$\geq$	
注 1: 当导体穿过时,相比于低碳钢等材料,外壳和隔板使用非铁磁性材料会降低由交变磁场产生的热量。 注 2: 假设电导率和热导率是成比例的。 注 3: 考虑防护等级(IP 代码)。 注 4: 需考虑电流互感器一次和二次绕组的功耗。 注 5: 母线涂层(如油漆)可以改善与周围介质的热交换。油漆的颜色对于热辐射没有重要影响。 注 6: 外壳材质主要考虑材质本身的涡流发热效应对于产品温升造成的影响。 注 7: 有必要考虑散热器的散热效果。			

### 5.3 机械试验

同族开关设备和控制设备中使用的开关装置应根据其相关的元件标准进行有关功能和机械寿命的型式试验。元件标准适用于开关装置的操动机构,以及人力或动力操作的轴或接口,也适用于开关装置的机械位置指示器。

开关设备总装中接受评估的机械部件,未包含在专用元件标准中的有:

- 活门系统;
- 可移开部分的触头;
- 联锁和操作连杆的传动链。

功能单元设计的任何改变都影响开关设备的安装/固定,应仔细检查上述部分对机械特性的影响。当元件布置在同样或者更苛刻的情况下经过型式试验时,才能进行有效性延伸。表 4 提供了不包括在元件标准中的部分的延伸判据,认为相关部件规定的操作次数等于或小于型式试验过的总装的次数。

表 4 机械性能的延伸判据

项目	部件	设计参数	接受准则	条件
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	活门系统	1) 联锁的机械联动装置的强度, 包括活门	$\geq$	活门系统的设计原理相同, 但尺寸可能不同
		2) 活门的重量	$\leq$	见注
2	可移开部件的触头	1) 触点数量	$\leq$	接触件的设计, 包括底座和涂层材料, 以及动触头和静触头的支撑件是相同的
		2) 各触头的接触力	$\leq$	
		3) 接触面的粗糙度	$\leq$	
3	在机械链上直接操作的联锁系统	1) 联锁的机械联动装置的强度	$\geq$	联锁系统的设计原理相同, 但尺寸可能不同
		2) 试操作中施加的扭矩	$\leq$	见注
4	防止触及操作装置的联锁系统	1) 联锁的机械联动装置的强度	$\geq$	联锁系统的设计原理相同, 但尺寸可能不同
		2) 正常操作力	$\leq$	见注

注: 如果涉及联锁和操作轴的固定和安装, 有必要对隔室/外壳的强度进行评估。

#### 5.4 短时和峰值耐受电流试验

根据 GB/T 3906—2020 在功能单元的总装上进行主回路和接地回路的短时和峰值耐受电流的型式试验, 当将其试验的有效性延伸到同族内其他具有相同或较小短路电流额定值( $I_k$  和  $I_p$ )的总装时, 可用表 5 给出的判据, 而不用考虑频率值(50 Hz/60 Hz)。短路持续时间  $t_k$  可能会增加直到满足 GB/T 11022—2011 中 6.6.3 中  $I_k^2 t_k$  的条件。表 5 考虑了经过型式试验的开关装置的交换。本标准涉及范围不包括这些开关装置的内部调整。

为了将在母线室进行的型式试验进行有效性延伸, 假设型式试验在至少有两段截面相同的母线串联的情况下进行。允许按照表 5 中的项目对不同的母线连接进行评估。

表 5 短时和峰值耐受电流性能的延伸判据

项目	设计参数	接受准则	条件
(1)	(2)	(3)	(4)
1	相间中心距离	$\geq$	
2	电流路径引起的电动力	$\leq$	导体具有相同的物理布置 注 1
3	导体绝缘支撑件的机械强度	$\geq$	注 2 和注 3
4	无支撑导体的长度	$\leq$	
5	导体的横截面	$\geq$	导体的连接, 具有相同或更大的夹紧力和接触面积 注 4 和注 5
6	导体的原材料	相同	注 4 和注 5
7	与导体接触的绝缘材料的温度等级	$\geq$	
8	外壳/隔板/套管的机械强度	$\geq$	注 2 和注 3

表 5 (续)

项目	设计参数	接受准则	条件
9	可移开部件的触头	相同	考虑触头配件的完整设计以及可移开部件的固定/安装
注 1: 不同路径的影响可通过电动力计算进行评估。 注 2: 强度包括机械抗压力、牵引力和弯曲负荷。 注 3: 外壳可作为机械支撑的基础。 注 4: 接地回路: 在某些设计中, 导体可能包含部分金属外壳作为接地回路。 注 5: 导体包括主回路的连接以及接地回路直到接地端子的连接。			

### 5.5 关合和开断试验

根据 GB/T 3906—2020 在功能单元的总装上进行关合和开断试验, 当将其试验的有效性延伸到同族内其他具有相同或较小额定参数(如额定短路开断电流)的总装时, 可用表 6 给出的判据。

组成金属封闭开关设备和控制设备的主回路和接地回路一部分的开关装置, 应根据相关元件标准验证其具有的额定的关合和开断能力。GB/T 3906—2020 中 7.101 中对开断和关合试验的有效性延伸规则进行了描述, 并在 7.101.1 中提出“如果开关装置安装在条件相同或更加严酷金属封闭开关设备和控制设备中进行了关合和开断试验, 则不需要进行这些试验”, 并给出了可能影响开关装置性能的因素的注解, 例如短路引起的电动力、燃弧产物的排放、可能的破坏性放电等, 同时认为在某些情况下这些影响可以忽略。

表 6 列出了相关设计参数并以此明确相同或欠严酷条件。表 6 中的所有参数为总装的参数。

表 6 关合和开断性能的延伸判据

项目	设计参数	接受准则	条件
(1)	(2)	(3)	(4)
1	极间电气间隙	$\geq$	见注 1
2	对地电气间隙	$\geq$	
3	外壳/隔室容积	$\geq$	仅当容积中的流体(气体或液体)涉及开断和关合过程时有效
4	绝缘气体最低功能压力	$\geq$	机械特性曲线在允许公差内
5	导体的横截面积	$\geq$	见注 2
6	开关装置中连接路径的电流引起的电动力	$\leq$	仅当电流路径对关合、开断性能有影响时有效
7	导体绝缘支撑件的机械强度	$\geq$	这里应考虑相导体的支撑件 见注 3
8	外壳/隔板/套管的机械强度	$\geq$	见注 3
9	无支撑导体的长度	$\leq$	见注 3
注 1: 至于开关装置内部的相间中心距离, 型式试验有效性的延伸可能按照相关元件标准进行处理。 注 2: 可移开部件的触头不影响相关开关装置的关合和开断能力, 因此不必考虑。 注 3: 假设机械强度已经通过短时和峰值耐受电流试验得到了验证。对于容性或其他任何负荷电流开合不适用。			

## 5.6 内部故障试验

## 5.6.1 概述

规定内部电弧等级(IAC)的开关设备和控制设备应依据 GB/T 3906—2020 验证内部故障试验。试验可延伸的判据应考虑开关设备和控制设备的设计参数或额定值和安装条件,或两者兼有。

## 5.6.2 有关设计的延伸判据

由于内部故障试验是在独立的隔室上进行的,因此表 7 提供的延伸判据应用于每个高压隔室。一个功能单元或总装的完整评估可在所有相关的高压隔室评估后得到。经过调查研究,可以合并不同功能单元中隔室的不同内部故障试验,将型式试验有效性延伸到总装。表 7 给出了对于内部故障电流和持续时间等于或小于型式试验过的隔室的设计参数和有效性判据的细节。

表 7 关于设计的内部故障等级的延伸判据

项目	设计参数	接受准则	条件
(1)	(2)	(3)	(4)
1	极间电气间隙	$\leq$	
2	对地电气间隙	相同	这里关注的是起弧的部位
3	隔室净容积	$\geq$	
4	绝缘气体的额定压力,如果适用,见注 1	$\leq$	
5	导体的原材料(Al 或 Cu 或其合金)	相同	这里关注的是起弧的部位
6	起弧点的位置	相同	GB/T 3906—2020 适用
7	暴露于电弧中的绝缘材料	相同	见注 2
8	泄压口面积	$\geq$	隔室中泄压口的位置和气体流过的路径相同 如果使用泄压通道,仅接受更大的横截面积
9	泄压口打开压力	$\leq$	适用于流体密封隔室
10	打开释放装置(闸门)的元件的机械强度	$\leq$	适用于未密封的隔室 释放装置和保持元件具有相同的设计
11	外壳和隔室的机械强度	$\geq$	也包括隔板、套管和观察窗的强度 见注 2 和注 3
12	外壳的壁厚	$\geq$	相同的材料 见注 3
13	门和盖板的机械强度	$\geq$	见注 3
14	外壳防护等级(IP 代码)	$\geq$	与指示器点燃判据有关
注 1: 对于 SF <sub>6</sub> 绝缘的开关设备,充入与 SF <sub>6</sub> 额定充入压力相同的空气进行试验(见 GB/T 3906—2020 的 7.106.3)。 注 2: 细节参考 GB/T 3906—2020 的 7.106.2 的第一段。 注 3: 强度的评估可能要求计算或有限元应力分析。评估要考虑到位置、强度和所有固定点(螺栓、铰链和插销)的数量。			

### 5.6.3 有关额定值和安装条件的延伸判据

如 GB/T 3906—2020 附录 B 中定义的,制造商给出的安装说明书是实验室试验条件的选择基础。这些试验条件包含开关设备和控制设备在模拟空间中的布置,天花板高度的确定以及可触及侧或不可触及侧的位置。可以对一个此前经过型式试验的安装情况的近似评估,来考虑是否接受安装说明中的变化。为此,可能考虑附加规定,以便于将规定安装条件下的开关设备总装进行的内部故障试验的有效性延伸到相同总装在相同或欠严酷条件等不同安装条件下的性能。表 8 给出了试验额定值、安装条件和延伸判据的细节。表 8 中给出的大部分信息包含在 GB/T 3906—2020 中。为方便使用,该表罗列了所有相关信息。

表 8 关于额定值和安装条件的内部故障等级的延伸判据

项目	IAC 试验的额定值及安装条件	接受准则	条件(见 GB/T 3906—2020)
(1)	(2)	(3)	(4)
1	额定电弧故障电流	$\leq$	B.4.1
2	额定电弧故障持续时间	$\leq$	B.4.1
3	额定电压	$\leq$	B.4.2 见注 1
4	频率	在 50 Hz 或 60 Hz 下 进行的型式试验 可以检验两个频率	B.4.4 和 B.4.3.2 考虑到电流峰值
5	总装到天花板的距离	$\geq$	B.1,如果试验在至少 200 mm 的间距下进行 见注 2
6	总装到侧壁的距离	$\geq$	B.1,如果热气体不指向墙
7	总装到后壁的距离	根据可触及性	B.1 中规定的有效性判据
8	户内/户外条件	具有相同可触 及性的户内的型式 试验涵盖了户外应用	B.1.2
9	可触及的类型(A、B 或 C)	可触及类型 B 的型式 试验涵盖了可触及类型 A	
10	可触及的侧面(F、L、R)	FLR 类涵盖了 F、FR、FL (和理论上的 LR、L、R)	适用于可触及的类型 A 和 B,如果到所有墙壁的距离分别大于 300 mm 和 100 mm
注 1: 根据 GB/T 3906—2020 中 B.4.2,试验电压可以是等于或低于额定电压的任意电压。为了接受在低于额定电压时进行的试验,B.4.3 规定了实际试验电流需要满足的条件。 注 2: 在排气管道将热气体排出房间的情况下判据不适用。在这种情况下试品和天花板之间的距离无关,仅与排气管道和天花板之间的距离有关。			

## 6 型式试验的有效性延伸

### 6.1 概述

型式试验有效性延伸的导则可以应用于但不限于下述情况:

- a) 一个试品针对功能单元(FU)的一项特性进行的有效型式试验,延伸到开关设备和控制设备一族内的其他功能单元时(图 1);
- b) 为每一个特性选择试品,用最少的试品和型式试验使其试验结果对整个该族的开关设备和控制设备有效时(图 2);
- c) 对同一族开关设备和控制设备有效的型式试验报告进行分析,确定试验结果对于未进行试验的总装具体特性是否有效时(图 3);
- d) 通过型式试验的总装,其型式试验有效性延伸至设计变更时。

## 6.2 试验报告有效性延伸到其他功能单元(情况 a)

图 1 给出了如何按照下述步骤对给定的型式试验报告进行有效性延伸:

- 第 1 步:检查报告中关于试品的描述(功能单元或几个功能单元的组合),并收集附加信息(例如参考图纸);
- 第 2 步:通过技术论证、计算或模拟,将试品的相关设计参数与第 4 章中提及的适用于所考虑的型式试验的延伸判据进行比较(例如工频电压耐受试验的极间电气间隙);
- 第 3 步:检查一族开关设备的各种功能单元或多个功能单元的组合,确定它们共享相同的设计参数,或认为具有试验过的试品能够覆盖的设计参数(例如极间电气间隙等于或大于试验过的试品)。应检查相矛盾的设计参数,考虑到其他特性时可能会限制试验结果的有效性延伸。

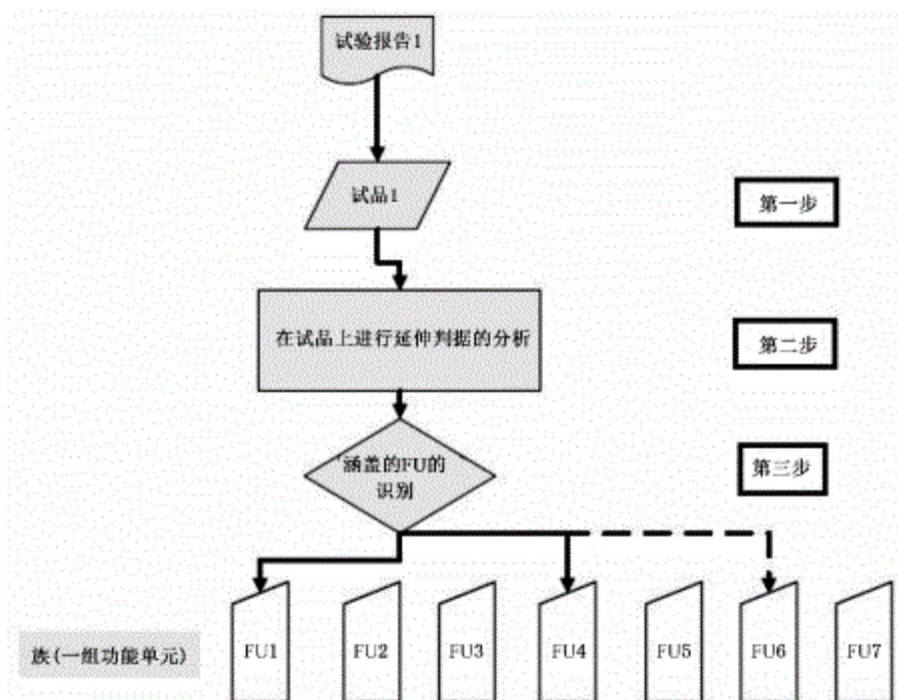


图 1 一份试验报告的有效性延伸(情况 a)

如果可以明确地检查族中一个功能单元或者多个功能单元组合的相关判据,那么不要求进一步的试验,且对此功能单元获得的试验报告是可以接受的。

## 6.3 通过选择试品确认一族(情况 b)

### 6.3.1 概述

图 2 给出了如何选择一个试品使验证整族的试验数量减到最少。对于一族开关设备和控制设备的

每个特性都应按以下步骤进行：

- 第1步：对给定的特性（例如绝缘耐受），按照表2～表7分析关联的设计参数（例如极间电气间隙）并且通过技术论证、计算或模拟确定族中哪些成员组成同类组；
- 第2步：在每个同类组中，选择具有关联特性可以覆盖整组的试品（即从该试品得到的试验结果允许将有效性延伸到整组）；
- 第3步：进行型式试验。

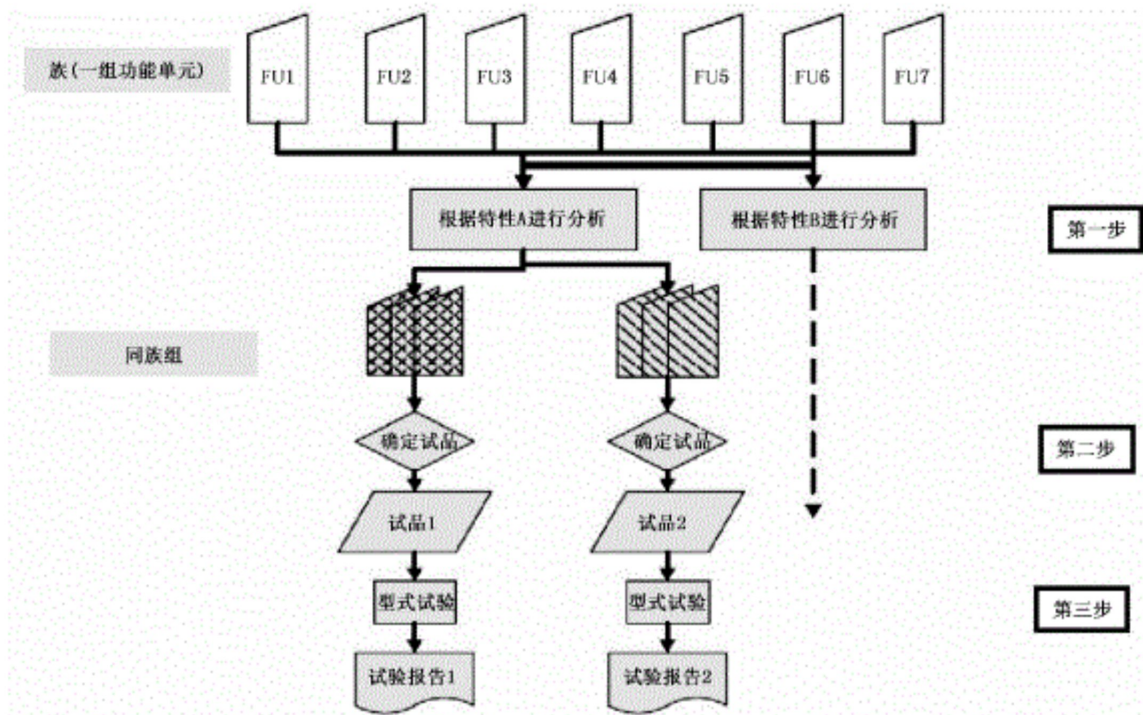


图2 通过选择适当的试品确认一族(情况 b)

### 6.3.2 族的映射

考虑到要进行的型式试验和有关条款提及的相关设计参数的有效性判据，应通过开关设备和控制设备的族的映射来准备情况 b 中第1步。这个分析包括：

- 对于各个特征，在同族开关设备和控制设备内确定设计参数的变化；
- 对于一种或多种型式试验，确定满足设计参数有效性判据的同类组。

这种映射不同于所考虑的型式试验，因为试验结果可能的有效性延伸判据和参数的相关设置是不同的，因此需要对每种试验都进行分析。

由于一族开关设备和控制设备有很多尺寸与所考虑的型式试验对应的设计参数相关，因此，分析结果的表述将很复杂。本标准给出了一些表格，或着罗列了对于不同型式试验项目的数据表。宜包含对可追溯性原因和未来适用的说明。

### 6.3.3 试品的规格

在映射的基础上，可以通过将型式试验结果的有效性延伸到族内其他功能单元的方法选择试品。大多数情况下，仅确定一个综合所有严酷条件使整族有效的试品（族内的一个功能单元）是不可能的。通常可能需要一个以上的试品。

可提供一些提示：

- 共享技术特性的同类组通常被设计参数的最低或最高值,或额定参数的最高值所覆盖;
- 当考虑数值数据,如设计参数(额定值、截面积、电气间隙……),更易于建立有效性延伸;
- 同类组的识别可能需要熟练的工程师进行分析;
- 应对所有在型式试验表格中列出的延伸判据进行评估。

#### 6.4 通过现有试验报告确认总装(情况 c)

图 3 给出了基于一族开关设备和控制设备如何检查所给总装型式试验报告的有效性。

- 第 1 步:确定总装中使用的不同功能单元(FU);
- 第 2 步:对于各功能单元和各个特性,通过表 2~表 7 给出的设计参数以及技术论证、计算或模拟来确定其隶属的同类组(同族中的这些功能单元的试验结果的有效性可以延伸);
- 第 3 步:检查获得的试验报告,如果适当,在评估的支撑文件中合并试验报告。

如果适当的试验报告无法获得,那么不能进行有效性延伸。

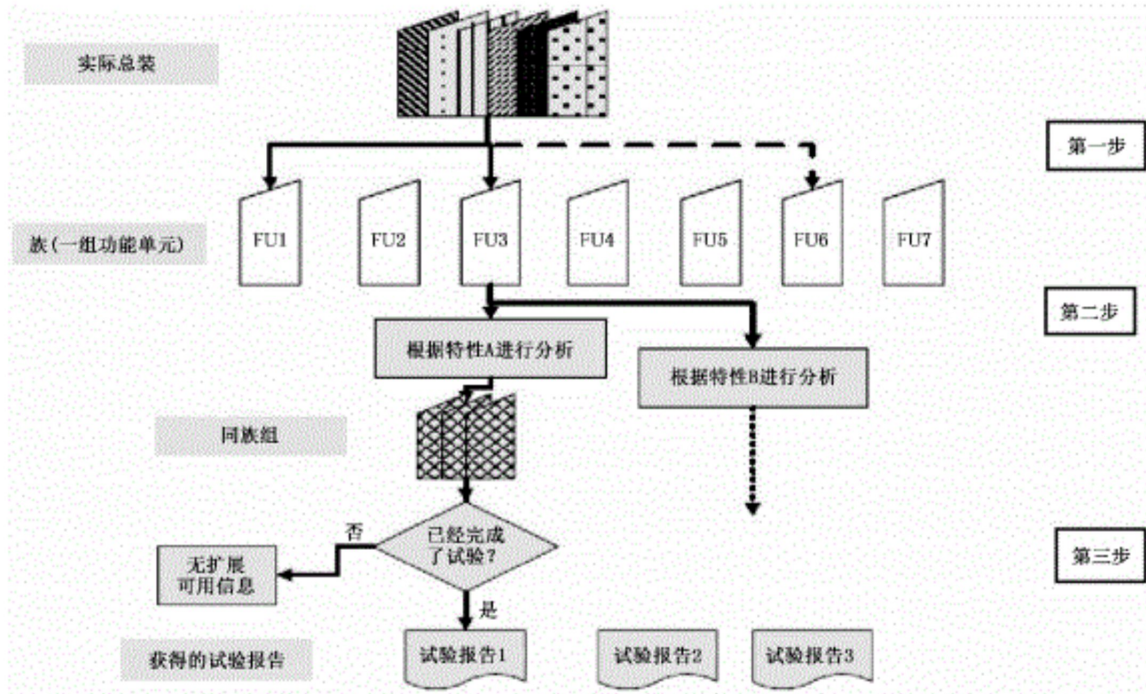


图 3 用现有试验报告确认实际总装(情况 c)

#### 6.5 设计修改的确认(情况 d)

情况 d 可用情况 c 描述的相同方法进行评估,从修改的功能单元开始,例如图 3 第 2 步中的 FU3。

## 附录 A

### (资料性附录)

### 延伸判据的基本原理

#### A.1 概述

表 2~表 7 列出的各设计参数有效性判据的定义,是基于成熟的技术和物理原理以及制造商和用户的经验给出的。普遍意见是根据判据进行评价时,宜假设制造商根据作为判据基础的相同技术和物理原理来设计开关设备和控制设备。如果对有效性判据有怀疑,则需要进一步的证据支撑有效性的延伸,如计算。下面将根据这些技术和物理原理,并依此选择延伸判据,如表 2~表 7 中的设计参数和相应有效性判据。

#### A.2 绝缘试验

##### A.2.1 概述

在评估绝缘耐受试验的有效性延伸时,设计参数如相间电气间隙、对地电气间隙和相关有效性判据等宜予以考虑。下面给出了表 2 所示的各延伸判据(项目)的原理。

##### A.2.2 电气间隙(项目 1 和项目 2)

极间和对地的电气间隙与绝缘耐受直接相关。如果表 2 中列出的所有其他设计参数没有改变或在绝缘性能方面有所增强,那么与经过型式试验的开关设备和控制设备相比,较大的电气间隙增加了绝缘耐受能力。

对于每相具有更多并联导体来满足较大额定电流的开关设备和控制设备,极间和对地的电气间隙会变小,即使导体以相同方式布置(例如垂直、水平或三角形对齐),相比经过型式试验的开关设备和控制设备,其绝缘耐受能力将会降低。对于有更少的并联导体,则情况正好相反,可以进行绝缘型式试验的有效性延伸。如果导体的布置明显不同,即使有相同或更大的电气间隙,相较于经过型式试验的开关设备和控制设备,绝缘耐受不得不通过进一步的技术分析来证明。

安装附加的接地装置或试验点可能减小相对地的电气间隙,因此与型式试验过的开关设备和控制设备相比绝缘耐受能力有所降低。

##### A.2.3 绝缘支撑件和材料(项目 3 和项目 4)

对于使用相同介电性能材料的绝缘支撑件,与型式试验过的开关设备和控制设备相比,爬电距离的增加提高了绝缘耐受能力。然而,绝缘耐受能力可能受到沿绝缘表面的电场分布的影响。因此分布不宜明显改变,例如处于悬浮电位的部件或引入的附加元件(如分压器)。

绝缘材料宜具有与型式试验过的开关设备和控制设备相同或改进的电气性能。如果从可获得的规范中不能确定这些性能,那么项目 4 条件下的性能试验可能是必要的。

绝缘挡板以及附加绝缘对电压耐受的影响难以评估,这种绝缘部分的设计变更通常将使绝缘型式试验无效,除非能说明此设计变更不重要。

##### A.2.4 带电部件(项目 5 和项目 6)

具有较低表面粗糙度的带电部件具有较均匀的电场分布,避免了较高的局部电场强度,因此绝缘耐

受能力有所增加。

具有较大半径的导体,包括路径的弯曲和拐角,具有较低的局部电场强度,因此也增加了绝缘耐受能力。该延伸判据也适用于其他处于高电势的导体部件甚至接地部件。当其与带电部件位置相对时,有必要评估接地部件的影响,它可能影响绝缘耐受能力。

#### A.2.5 触头开距和隔离距离(项目 7 和项目 8)

如果开关装置的触头开距或隔离距离由总装设计决定,那么与通过型式试验的开关设备和控制设备相比,较大的间距将增加绝缘耐受能力。例如具有动、静触头独立支撑的接地开关或隔离负荷开关。

如果触头间隙包含在开关装置中,虽然来自总装的绝缘耐受影响较小,然而也宜予以考虑。例如影响可能来自邻近的接地外壳或隔板。

#### A.2.6 绝缘用最低功能压力(项目 9)

绝缘用的气体压力或相应的密度对绝缘耐受具有直接的影响,在制造商规定的绝缘用最低功能压力下已经进行了试验。与型式试验过的开关设备和控制设备相比,更高的压力或密度增加了绝缘耐受性能。由于不同气体具有不同的绝缘性能,该延伸判据仅适用于相同气体。

### A.3 温升试验

#### A.3.1 概述

开关设备和控制设备的额定电流值取决于那些当电流流经主回路时具有最大温升的部件。这些部件可能包含开关装置的触头、导体的螺栓连接(或等效的连接)、端子以及开关设备和控制设备的可触及部件,例如外壳。

这些部件的温升可能受到很多设计参数的影响,例如导体间的中心距、导体的材料类型、触头压力、外壳尺寸和体积、通风口面积以及元件和/或装置的功耗。

下面详细列出了表 3 所列的影响开关设备和控制设备温升的延伸判据(项目)以及相应有效性判据的基本原理。

#### A.3.2 各相导体的中心距(项目 1)

在三相回路中,导体中电流产生的交变磁场将会在相同和相邻导体中感应涡流,这将改变所有导体中的总体电流分布,例如当电流为同方向时,导体中的电流密度在远离相邻导体的地方较高。这就是已知的邻近效应,它会增加功耗,并在开关设备和控制设备内部产生更高的温度,因此当确认温升判据时,从导体几何中心测量的导体间的中心距很重要。这些距离可能受到隔室内导体布置的影响。

以相同的方式布置导体(例如横向、纵向或三角形对齐),每相导体的数量相同且有较大相间中心距离的开关设备和控制设备认为功耗较低,且有助于降低开关设备和控制设备的温升。如果导体的布置与已经试验过的总装相比有明显的不同时,较大的中心距不能保证较低的功耗和温升。在这种情况下就要求进一步的技术分析。

#### A.3.3 相对地距离(项目 2)

开关设备和控制设备的非载流金属部件也可感应涡流。由于钢的导电率较低且外壳厚度小,通常忽略外壳的这种效应。然而,由于材料中磁域的反转,交变磁场在垂直于电流通路的铁磁钢外壳中产生了热损耗。这可能引起附加的热功率损耗从而导致较高温升。与此有关的相对地距离不是电气间隙或中心距离,它是由上述作用决定的距离。

如果不能排除这些电流热效应,宜评估相对地距离。认为具有较大或相同相对地距离的开关设备

和控制设备产生较低或相同的热损耗。如果开关设备和控制设备接地部件附近的导体布置显著不同,那么不能保证较低的温升。

#### A.3.4 外壳和隔室的体积(项目 3)

开关设备隔室中的温升直接受外壳通过传导和/或对流和热辐射散热到周围环境中的能力的影响。该效应取决于开关设备和控制设备外壳的表面积(体积)以及使用材料的类型。对于相同功耗,外壳的表面积较大的开关设备和控制设备将扩散较多的热量并且因此使得内部部件的温升较低。相似的,具有较低热阻的材料将扩散较多的热。使用非铁磁性材料的外壳可通过消除磁化电流效应避免热量的产生。

开关设备隔室中气体的对流特性原则上受到隔室体积和表面积的影响。该效应难以评估且在有些情况下可能影响散热。GB/T 24276 给出了进一步的参考以得到外壳/隔室尺寸对温升影响的理解。

#### A.3.5 绝缘气体(项目 4)

高压隔室内绝缘用的气体压力或相应的密度对载导体到外壳再到周围环境的散热能力有直接的影响。最低功能压力或密度的增加加强了气体的热传导能力,导致开关设备和控制设备内部部件温升的降低。由于不同气体具有不同的热性能,该延伸判据仅适用于相同气体。

#### A.3.6 导体(项目 5 和项目 6)

流经主回路导体的电流产生的功率损耗  $I^2R$  取决于电流强度  $I$  和导体电阻  $R$ 。主回路的功率损耗  $I^2R$  占开关设备和控制设备中的总功率损耗的绝大部分。假设导体具有相同类型的材料,增加导体横截面积,同时保持恒定的电流强度,将会降低电流密度且因此降低导体的功率损耗。该效应降低了内部部件的温升。

对于开关设备和控制设备中给定的导体布置,单位长度具有较低电阻率和热阻系数的导体系统,会改善热点的散热且降低这些热点的温度。

#### A.3.7 导体接头和连接(项目 7、项目 8 和项目 9)

接头和连接提高了功率损耗,因为电流流过接头或连接电阻造成损耗,而温升取决于  $I^2R$ 。接头和连接处的电阻,也叫作接触电阻,取决于原材料和金属涂层类型,接触压力(或力)和接触表面积。假设接触材料类型相同(无涂层表面的导体材料或涂层表面的涂层材料),接触压力(或力)和/或接触表面积的增加会降低通过接头或连接的电阻,这导致较低的功率损耗并且降低了此处的温升。

由于厚度小,涂层材料的电阻率对整个电阻的影响有限,但是对 GB/T 11022—2011 中定义的涂层的最大允许温度有影响。延伸只能从较低的最大允许温度材料到具有较高最大允许温度规定值的材料。

GB/T 25840 中有更进一步的参考以增加触头电阻对温升影响的理解,并且能够找到有关连接和接头处使用相同或不同材料和金属涂层后的接触电阻的信息。当暴露在氧气中时,铜相对于铝被认为是“更好”的接触材料,例如若不采取其他措施,形成的铝氧化物具有低的电导率。

#### A.3.8 隔室和外壳的通风面积(项目 10)

为了能够通过空气对流有效散热,有些开关设备和控制设备在隔室和/或外壳上设计了通风口。对于具有较大通风口的开关设备和控制设备,对于流入和流出的气流、净散热会更大且因此降低了内部元件的温升。

排风口的位置也很重要。隔室或外壳内这种开口位置的明显改变,可能妨碍了开关设备和控制设备的空气流通,并降低了散热性能。

覆盖通风口的网眼或网格防护等级(IP 代码)的修改也可对散热造成影响。较高的防护等级可导致通风口的有效面积减少,从而减少了开关设备和控制设备中的空气流通。

GB/T 24276 给出了进一步的参考以增强通风对温升影响的理解。

#### A.3.9 元件的功耗(项目 11)

采用的元件(例如开关装置、熔断器和电流互感器)可能对开关设备和控制设备内的温升有显著的影响。这些元件具有有限电阻且会耐受流经他们的电流引起的  $I^2R$  的热损耗。具有较低  $I^2R$  功耗的开关设备元件会降低总体温升,特别是在这些元件的关键部件上。

电流互感器一次和二次绕组的功耗取决于一次和二次侧电流,因此二者都宜予以考虑。电流互感器参数表可以提供在高温时的二次绕组电阻。

#### A.3.10 绝缘挡板(项目 12)

导体相间或导体与外壳壁之间增加绝缘挡板可能增加开关设备和控制设备的绝缘耐受能力,但也可妨碍开关设备和控制设备中的空气流动以及降低对外壳的热传递。这对散热具有负面影响且因此增加了开关设备和控制设备内的温度。因为这种挡板的增加,通常需要重复温升型式试验。

绝缘挡板的表面积很重要,表面积的增加将导致对气流的限制,反之,表面积的减小将产生相反的作用。对于垂直挡板该作用不重要,但是水平挡板可能有巨大的影响。

#### A.3.11 导体和外壳的绝缘涂层(项目 13、项目 14 和项目 15)

由于热阻的存在,导体和/或外壳使用的固体绝缘将会限制其向周围介质散热的能力。在另一方面,它可能会有助于辐射散热,这取决于绝缘材料的热传递性能和外表面的发射系数。

导体和外壳上的油漆或特殊涂层通过热辐射增加向周围的热传递并能够降低温升。涂层的热阻系数和发射系数宜相同。油漆的颜色对热辐射没有大的影响,因为发射系数主要由油漆的聚合性能决定。相反的,有些用于增加绝缘耐受性能的涂层或覆盖物可能会减少热传递。

对于特殊材料,减少这种材料的厚度通常会改善热传递能力并有助于降低开关设备和控制设备内部元件(如导体连接)的温升。但宜注意到,固体绝缘材料厚度的降低也将导致涂层绝缘耐受能力的降低。

#### A.3.12 与导体接触的绝缘材料(项目 16)

当改变绝缘支撑件的绝缘材料时,例如材料的温度等级宜达到相同或更大值,以避免材料在额定电流情况下降级的风险。

### A.4 机械试验

#### A.4.1 概述

对于机械试验来说延伸判据着眼于机械部件强度、结构以及产生的或施加的力的比较。宜特别关注安全方面尤其是连锁系统。

因为安全的原因(涉及接近操作界面以及插入或抽出可移开部件)可能要求设备不同元件之间的连锁。

相比较的机械部件有:

- 活门系统;
- 可移开部件的触头;
- 连锁和传动链。

根据 GB/T 3906—2020 的 7.102.2,认为连锁是满意的,如果:

- 开关装置不能操作；
- 防止进入联锁隔室；
- 防止插入和抽出可移开部件；
- 开关装置、可移开部件和联锁仍然有效，且试验前和试验后试操作他们的力与最大手动操作力（人力操作）没有不同，或不超过峰值能量消耗（电动操作）的 50%。

除了在型式试验中检查正确的联锁功能外，标准要求寿命试验后证明其功能性和实用性。

下面给出了更加详细的包含在表 4 中各延伸判据（项目）的基本原理。

#### A.4.2 活门系统（项目 1）

考虑到活门的总质量以及机械联动装置的强度，具有相同技术原理（例如活门驱动或与开关装置的相互作用）的两个不同的活门系统可以进行比较：

- a) 对于机械联动装置，可以从较弱的系统向较强的系统延伸。设计的强度可以通过考虑使用的材料、部件的尺寸、连接轴的强度等来确定，例如机械联动装置中轴的长度和直径。由于活门系统的复杂性，有效性只能延伸至使用相同设计原理的活门系统。
- b) 通常，较轻的质量易于挪动且在机械元件上作用的应力较低。较轻的质量可以通过减小与机械联动无关的可移动部件的尺寸来获得，例如改变材料。

#### A.4.3 可移开部件的触头（项目 2）

就开关设备和控制设备中可移开部件的触头而言，重点关注连接和断开操作过程中的机械行为。比较包括触点数量、动、静触头之间的接触力以及接触面粗糙度。也宜考虑触头涂层可能的磨损，因为标准要求机械寿命后仍然为连续的涂层。

在触头系统的设计相同或直接可比条件下，宜对下述几点进行评估，例如触指的形状以及材料的种类和硬度。

- a) 每个触头在插入时引起摩擦；每个触头上具有相同作用力时，更多数量的触头导致可移动装置操作力的增加。因此对于延伸判据，触点的数量宜小于或等于试验过的系统。宜注意到，如果触头力随触点的数量而变化（例如常见的弹簧触头系统），此时宜给出进一步的延伸证据。
- b) 可移开部件插入时的摩擦随着每个触点接触力的降低而减小。除了这种作用，降低的接触力也导致了接触面的磨损减少，因此允许有效性延伸。注意，接触力降低可能阻碍关于短时和峰值耐受电流性能的有效性延伸。
- c) 动、静触头之间的摩擦也取决于参与表面的粗糙度；越粗糙，操作可移开部件的力越大，并且增加了触头磨损。

#### A.4.4 联锁系统（项目 3 和项目 4）

联锁系统与操作者安全相关。要求对机械联锁装置的功能性和强度进行评估。考虑两类联锁系统：

- 联锁系统直接在开关装置的传动链上操作，它会和人力操作力或任何电动驱动力产生相互作用。在这种情况下，有必要在人力操作推和/或旋转接入点或轴时，或者在非电动联锁操作装置驱动时，在标准规定的限值下，对锁定的联锁系统进行试验。
- 联锁系统防止接近开关装置的操作链，通常其设计成可用手指驱动。这些接近系统避免了可能破坏装置元件的作用力。

仅在对比系统基于相同技术原理时可尝试联锁系统的有效性延伸。锁定的机械联动装置的强度（也就是违反联锁条件的情况下）宜相同或更高。与项目 1 所述相同的情况下可以进行评估。

如果施加的力矩或力被限制在一个较小的值（例如通过限制拉紧装置或不同的手柄和通过较小的防止接近装置的操作力），也允许延伸。

## A.5 短时和峰值耐受电流试验

### A.5.1 概述

短路电流在各相导体之间产生电动力,该电磁力取决于电流路径,包括弯曲和转角。对于几何结构简单的导体,这些相互作用力可以通过解析公式进行计算,然而对于复杂的几何结构则需要有限元仿真工具。导体间的中心距越小,相互作用力越大。考虑到电流的稳态和暂态分量,开关设备和控制设备应对这些力的设计能力是由所有支撑件的强度决定的。此外,对于所有动触头和固定连接也是重要的。设计参数评估时宜考虑所有这些影响。

另外,当依据 GB/T 11022—2011 中 6.6.2,评估比试验过的产品具有更低的  $I_k$  和更高的  $t_k$  时,可以用  $I_k^2 t_k$  计算热应力。

表 5 对主回路和接地回路都适用。接地回路宜考虑的主要是项目 5 和项目 6。由于接地回路通常设计成仅耐受单次短路故障后就需要维护,其他项目中的要求可以去掉。

下面给出了更加详细的包含在表 5 中各延伸判据(项目)的基本原理。

### A.5.2 各相导体的中心距(项目 1)

如果导体间的中心距大于型式试验过的开关设备和控制设备中导体间的中心距,那么相间的相互作用力较小。因此,进行评估的设计宜耐受与型式试验中相同的短路电流,假设电流路径中的所有连接和触头具有相同的设计(见项目 5 的条件),且导体路径不产生高于经过型式试验验证的电动力的设计值(见项目 2)。

### A.5.3 导体(项目 2、项目 5 和项目 6)

由于导体路径的弯曲和转角而产生的电磁力可能超过相间的相互作用力。当导体的所有弯曲角度具有与初始形状相同或更大的值,那么延伸有效性是有可能的。如果电流路径与型式试验过的设计相差太多,那么通过对导体布置完整的三维建模,且后续用适当的程序对电磁力进行计算才可能延伸。

两个导体之间的相互电磁力不是由导体的横截面而是由它们的中心距决定。然而,由于电流的热效应以及可能的电流密度效应,宜确保导体的横截面与原开关设备和控制设备相同或更大。类似的连接,例如母线之间,宜就局部热效应进行评估。

导体的材料首先由于材料的电阻率确定了热损耗,其次确定了导体的机械稳定性,再次确定了连接承载电流的能力。因为这些连接可能包含复杂的特性,所以未通过型式试验无法允许与原材料偏差。

对于接地回路,对地故障电流可能不仅流过特别为此设计的导体,还有可能流过金属外壳。主要依靠这种作用的总装很难比较。导体包括接地回路到接地终端的连接。

### A.5.4 导体绝缘支撑件(项目 3 和项目 4)

施加短路电流时,支撑导体的所有绝缘部件的机械反作用力可能导致支撑件的损毁,这会导致型式试验无效。因此,假设根据相同的原理设计支撑件且其与型式试验过的设计相比具有相同或更高的强度。对于复杂的支撑结构,以上假设的结果可能不明显,此时可能要求计算机械应力。

对于由一排绝缘子支撑的导体,设计的强度不仅取决于支撑件本身,也取决于支撑件的布置。作为最低要求,两个支撑件之间的距离宜相同或更小以保证相同的机械强度。对于所有导体的所有支撑件,都宜依据本判据进行评估。

### A.5.5 与导体接触的绝缘材料(项目 7)

在短时电流期间短路电流会加热导体。所有与导体接触的支撑件或元件在它们相接触的地方将承

受与导体相同的温度。对于不同的材料,只有它们具有与型式试验过的总装所用绝缘材料相同或更高的温度耐受等级,并且提供相同或更高机械强度(见项目 3)时才可能使用它们。

#### A.5.6 外壳、隔板或套管(项目 8)

任意导体的支撑件的机械耐受程度也由其安装基座的强度确定的。因此外壳可能对短路电流耐受能力造成影响。例如外壳的壁厚宜相同或更厚,且使用相似的外壳加筋元件。该项目还考虑了隔板和套管的强度,这两者都难以通过外形进行简单评估。如果使用不同的隔板和套管,那么宜通过对新设计的开关设备和控制设备元件的布置进行仿真,或通在对其他功能单元上已实施的型式试验来验证。

#### A.5.7 可移开部件的触头(项目 9)

在电流路径上的可移开触头的任何设计修改都可能削减短路电流耐受能力,即使很小的修改造成的影响也难以评估,不同的触头形状宜在新开关设备和控制设备中进行型式试验,或在相似的触头布局中进行验证。

### A.6 关合和开断试验

#### A.6.1 概述

元件的关合和开断性能是根据相关标准进行型式试验的。本标准的范围限制在总装参数对关合和开断试验的影响上。

总装开关设备中装置的关合和开断性能可能取决于关合和开断触头附近的电磁力,取决于附近影响绝缘性能的电位以及关合和开断期间产生的热气体流。下面对表 6 中给出的各设计参数造成的影响进行了检查。操作机构的机械链也可能对开关装置(如接地开关)的性能造成影响,宜根据相关元件标准考虑这种影响。

下面给出了表 6 中各延伸判据(项目)更加详细的基本原理。

#### A.6.2 极间电气间隙和对地电气间隙(项目 1 和项目 2)

如果导体的极间电气间隙大于型式试验过的开关设备和控制设备的极间电气间隙,那么新设计的绝缘耐受水平更高,开断部件(例如喷嘴)排出的热气体桥接各相并引发短路的机会更小。

作用在导体间且可能影响开断性能的电动力会随着相间中心距离的增大而减小。如果改变中心距离,那么开关装置宜根据其自身的元件标准验证关合和开断性能。

如果由于更大的相间距离增加了操作轴的长度,导致操作点和最远极之间传动链的强度降低,极间距离可能会影响关合和开断性能。

如果导体和地之间的电气间隙变大,那么绝缘耐受能力会增加。结果是排放的电弧产物或气体对关合和开断性能可能的影响减少了。

#### A.6.3 外壳和隔室体积(项目 3)

如果总装的外壳或隔室中包含的空气、气体或液体涉及关合和开断的过程中,那么电弧产物和气体的排出将对开关设备的性能有负面影响。对于更大的体积,可以假设这种影响更小。

#### A.6.4 绝缘气体(项目 4)

如果绝缘气体有更高的压力或密度,那么在开关装置能正确机械操作的压力限值内,关合和开断能力会有所改善。

然而,气体密度可能影响开关设备的行程特性。例如对于真空灭弧室置于气体绝缘的开关设备中,

通过波纹管上绝缘气体的不同压力影响驱动机械装置的分合速度。这与开关设备的关合和开断能力以及寿命有关。如果驱动机械装置的分合速度在厂家规定的公差内,那么气体压力的影响可以忽略。

#### A.6.5 导体(项目 5 和项目 6)

连接导体中电流的热效应通常不会对关合和开断过程造成影响。然而,如果不能排除这种影响,那么宜保证导体的横截面积等于或大于型式试验过的开关设备和控制设备。

开关装置的连接路径中的电流引起的电动力可能会削弱关合和开断性能。例如在开断操作时有些开关装置使用局部磁场来控制燃弧。在这种情况下,宜仔细考虑新的电流路径布局的影响,可进行计算仿真或不同功能单元相似的布局下进行验证。

#### A.6.6 绝缘支撑件(项目 7、项目 8 和项目 9)

如果关合和开断性能受到动触头或静触头机械稳定性的影响,那么这些触头支撑件的机械稳定性可能影响装置的性能。典型的例子是空气绝缘高压隔室中的接地开关。虽然这种绝缘支撑件的机械强度已经通过短时和峰值耐受电流试验进行了验证,但在关合和开断过程中会造成影响。

### A.7 内部故障试验

#### A.7.1 概述

通过满足 GB/T 3906—2020 中 7.106.5 所规定的有效性判据,验证了金属外壳的开关设备和控制设备的 IAC 等级。这些判据考虑了若干问题,例如门和盖板的打开、外壳破裂和烧穿、点燃模拟人员衣服的指示器以及接地连接的完整性等。满足所有有效性判据为发生内部故障时保证人员安全。宜注意这些有效性判据不能和表 7 中的有效性判据混合使用。

压力升高、热气和材料的加热是内部电弧效应,且对隔室施加机械和热应力。影响的严重程度与电弧产生的总能量,储存电弧能量的容积以及排出热气用的压力释放装置的功效有关。另一方面,隔室以及它的门和盖板的结构越强,越能提高耐受这种应力的能力。最后,排出热气体的总量和方向结合安装条件决定了指示器点燃的可能性。

基于上述考虑,确定了表 7 中给出的延伸判据。其评估宜产生更有利的情况来满足 GB/T 3906—2020 的有效性判据。表 7 中所列所有延伸判据(项目)的基本原理在下述给出,这些原理用于一族开关设备和控制设备中单个高压隔室的设计修改。

#### A.7.2 极间和极对地电气间隙(项目 1 和项目 2)

内部电弧产生的能量随弧压增加,弧压与电弧的长度成正比。当电弧在相间燃烧时,导体间较小的电气间隙导致更短的电弧,且因此减少电弧能量并降低试验的严酷程度。

同样的原理可以用在极对地之间的电气间隙。然而,当电弧对着外壳壁燃烧时(这是最通常的情况),宜考虑整个电弧持续期间的起弧点和电弧停留处。原则上,不允许较短的距离,因为距离较短时烧穿隔室壁的可能性较高。当烧穿的区域不对 GB/T 3906—2020 中 7.106.5 的第 3 和第 4 有效性判据造成影响时,该影响可以忽略。例如外壳的不可触及面可能烧穿。

#### A.7.3 隔室净容积(项目 3)

高压隔室的净容积越大,单位体积上承受的电弧能量越小,隔室承受的热应力和机械应力越小。压力上升的速率降低,减小了压力释放装置打开后的过冲压力。然而,宜考虑隔室包括门和盖板的机械耐受(见项目 12 和项目 14)。某些特殊情况下,在最小和最大隔室下进行的试验可以覆盖中间尺寸的隔室。

#### A.7.4 绝缘气体的额定压力(项目 4)

由额定压力决定的初始压力或密度越小,隔室中的气体数量越小,尽管气压上升率相同,但释放装置打开后的过冲压力将变小。因此隔室上的应力也不十分严重。尽管这种情况下气体温度更高,通过压力释放装置释放出来的热量相同。热量由密度和温度的乘积决定,同时也决定了压力。因此不希望有来自隔室外部的影响。

#### A.7.5 起弧部位的材料(项目 5、项目 6 和项目 7)

通常型式试验时的起弧部位和方式按照 GB/T 3906—2020 中 B.5.2 规定进行。内部电弧性能基本上以不可预知的方式受到电弧起始条件的影响。因此当元件布置要求不同的起弧点时,不可能延伸在特定隔室上实施的型式试验结果。部位意味着空间和起弧点周围的金属或绝缘件,这些决定了弧压和电弧等离子体的构成。

内部电弧的根部熔化导体表面并且消耗材料直到最坏的情况即整个导体熔化。当导体的截面积较大时,这种效应基本上不可能。从这个角度来看导体材料也是具有决定性的。众所周知,因为气体和材料反应时释放热量,空气和 SF<sub>6</sub> 在不同的材料上燃烧时的性能不同。因此导体的材料宜和型式试验过的开关设备和控制设备相同。

材料类型也可能影响排出热气体的构成,即点燃指示器的可能性。暴露于电弧中的绝缘件的外部材料也可能在燃弧试验时蒸发或燃烧。对气体压力上升以及排出热气体的影响很难预知。因此仅当材料相同时才可考虑有效性的延伸。也要注意材料可能影响起弧点的绝缘支撑件的机械强度。

#### A.7.6 压力释放开启装置(项目 8、项目 9 和项目 10)

压力释放(排出)的打开压力越小且打开的面积越大,热气体排出隔室的效率越高,这减小了过冲压力且因此降低了开关设备外壳、门和盖板上的机械应力。因此通过 GB/T 3906—2020 的有效性判据 1、有效性判据 2 和有效性判据 3 的可能性越大。然而,较大的打开面积可能显著改变热气的流出且可能影响开关设备和控制设备周围指示器的点燃(有效性判据 4)。因此表 7 中项目 8 宜限于判断安装了泄压通道的开关设备和控制设备,指示器对通过泄压通道的气体无效。

气体绝缘开关装置通常使用气体密封爆破隔膜,开启压力可以静态试验且可靠性高,因此可以使用项目 9 的有效性判据。对于空气绝缘开关设备,通常使用翻板,当电弧故障产生过压力时,它的开启压力通过所有打开泄压翻板的元件(例如螺丝钉)的强度来确定。在这种情况下,使用项目 10 进行评估,例如根据这种螺丝的材料到尺寸。当然,保持元件不飞出它宜具有相同或更高的强度。

#### A.7.7 外壳和隔室(项目 11、项目 12、项目 13 和项目 14)

提高隔室、外壳门和盖板的强度会使其满足 GB/T 3906—2020 有效性判据的可能性更大。可通过对简单形状进行验证或复杂形状进行数值计算评估其机械强度。表 7 的注 2 将目标放在所有固定点(螺栓、铰链和门闩)之间的距离上。外壳壳壁的材料厚度影响隔室的强度,也可能导致烧穿。较厚的壳壁与薄壁相比减少了烧穿的可能。考虑到如果外壳的刚度显著增加,宜注意确保外壳的整个影响与试品中的相似。

外壳防护等级(IP 代码)是外壳上可能的小孔的尺寸。热气可从孔和缝隙中逸出且可能点燃放置在开关设备和控制设备外的指示器。从那个观点来看外壳宜“更紧”,即把洞、间隙、开口的面积控制得更小,也就是相等或更高的 IP 代码。假设隔室内的压力峰值由释放装置的区域决定。如果外壳内与 IP 代码有关的任何小孔对内部故障有影响,两个隔室的有效性延伸是不可比。

很明显更高的 IP 代码有必要考虑排气口的截面积,即项目 8。

## A.8 与内部故障额定值和安装条件有关的延伸判据的基本原理

### A.8.1 概述

下面给出了表 8 中列出的每个延伸判据(项目)的解释,它们适用于开关设备和控制设备总装的额定值和安装条件。

### A.8.2 内部故障额定电流和持续时间(项目 1 和项目 2)

试验电流的幅值越低和/或电弧持续时间越短,内部电弧产生的能量越低。较低的能量降低了隔室中的热应力且减少了压力升高和过冲,因此降低了隔室上的机械应力。

### A.8.3 额定电压(项目 3)

通常额定电压不是内部电弧试验的基本试验参数,但是开关设备和控制设备的额定电压与相对地最小电气间隙有关联,这反过来决定了电弧长度、弧压和电弧能量。对于给定几何形状的隔室,假如电流峰值不能小于预期值的 90%,电弧能量不依赖于额定电压。通过 GB/T 3906—2020 中 B.4.2 中的对实际试验电流的规定(也可见表 8 的注 1),以确保满足该条件。

原则上,遵循以下原理时可以延伸到更高的额定电压。然而,GB/T 3906—2020 中 B.4.2 中规定 100 %预期电流峰值和电弧过早熄灭的要求宜确保得到满足。

### A.8.4 额定频率(项目 4)

当频率在 48 Hz 到 62 Hz 的范围内时,内部故障试验结果的影响可以忽略不计。

### A.8.5 总装的布置(项目 5、项目 6 和项目 7)

GB/T 3906—2020 中 B.1 规定了到天花板的最小距离,总装开关设备和天花板(等效与侧墙和后墙)的距离越大,天花板向指示器反射的热气体的温度和密度越低,点燃指示器的可能性就越低。如果排气管道安装在总装开关设备的顶部,天花板高度不考虑。然而,实验室在试验中需要保证到天花板最小 100 mm 的间距,以便证明泄压通道的永久形变。

### A.8.6 户内或户外安装(项目 8)

为了模拟户外条件所有面的可触及性,不要求安装房间的天花板和墙。开关设备和控制设备中喷出的热气自由流入环境中而不会被周围的墙壁反射,这使得户内安装的试验更加严酷。

### A.8.7 可触及类型(项目 9)

对于要求可触及类型 B 时的试验布置,较轻的指示器(需要较少的能量就可点燃)放置在比要求可触及类型 A 的试验更靠近开关设备和控制设备的地方。就关心的 GB/T 3906—2020 的第 4 个有效性判据(指示器的点燃)而言,可触及类型 B 的试验装备覆盖可触及类型 A。

### A.8.8 可触及的面(项目 10)

对于可触及类型 A 和 B,根据等级 FLR 进行的试验包含等级 F、FR 和 FL,因此也包含它们只要开关设备和控制设备与后面墙壁的距离符合 GB/T 3906—2020 中 B.1:“后侧的可触及性”的要求。理论上,FLR 也覆盖等级 LR、L 和 R,因为该等级的主要目标是保护开关设备前面(F)的人。

## 附录 B

(资料性附录)

## 型式试验延伸有效性的示例

## B.1 概述

下述的前三个示例证明了当一个功能单元的设计进行修改后,使用本标准给出的表格作为清单来支持一个型式试验过的功能单元的有效性延伸。首先,简要描述设计修改。其次,如果可能,用列出的设计参数和有效性判据制作典型表格评估总装的一个特征。当没有明显的比较时,给出解释。设计修改可能分别影响其他开关设备和控制设备的型式试验,此时需要进一步分析。其他两个示例考虑到在同族开关设备和控制设备内其他成员进行过的型式试验的有效性延伸。

## B.2 空气绝缘开关设备(AIS)中电缆终端的设计修改

对于用户的特殊要求,空气绝缘开关设备的连接隔室中的电缆终端的铜排被延长,用其他具有两个孔的电缆接头替代一个孔的标准接头(图 B.1)。

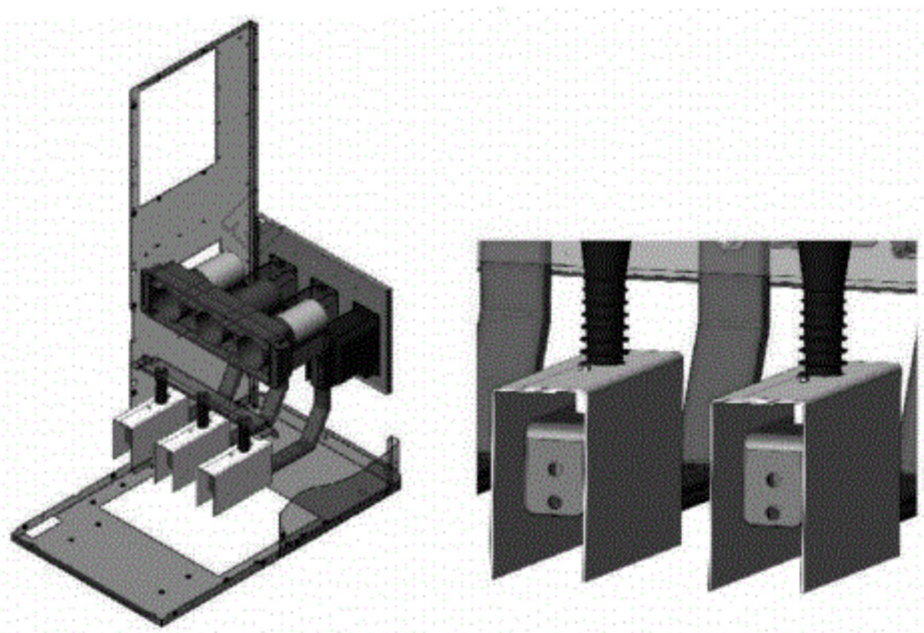


图 B.1 空气绝缘开关设备的连接隔室中的电缆接头

相间中心距离和极间电气间隙以及相间爬电距离保持不变,因为电缆终端间绝缘隔板的长度也增加了(见表 B.1 中的项目 1 和项目 3)。靠外的电缆终端和隔室壁之间的电气间隙不变。电缆终端和功能单元底板之间的距离减小了,但仍然满足 GB/T 311.1—2012 中表 A.1 要求的最小绝缘距离(见表 B.1 的项目 2)。考虑到这些改变,取决于绝缘耐受性能的所有延伸判据都可以确认。

最初布置的温升试验可用于新的设计,因为增加的电缆终端比同条件的电缆电阻更低。

假如连接的电缆和以前一样物理固定在连接隔室的同一个位置,那么电流路径引起的电动力和之前相同。如果之前已经对用两个螺栓安装的终端电缆接头进行了试验,那么短时和峰值电流耐受试验不需要重复。如果未在相似的元件布置下对电缆连接进行试验,那么宜重新进行试验。

表 B.1 关于功能单元绝缘耐受性能的延伸判据确认

项目	电缆隔室的设计参数	接收准则	确认	
(1)	(2)	(3)	(5)	
1	极间电气间隙	$\geq$	相同	Y
2	对地电气间隙	$\geq$	不适用*	
3	爬电距离	$\geq$	更大	Y
4	绝缘材料电气特性	$\geq$	相同	Y
5	带电部件的表面粗糙度	$\leq$	相同	Y
6	导电部件的半径	$\geq$	相同	Y
7	触头分闸间隙	$\geq$	不适用	
8	隔离距离	$\geq$	不适用	
9	绝缘用最低功能压力	$\geq$	不适用	
* 此项不适用延伸判据,但仍比对地电气间隙的最低要求要高。				

### B.3 增加电流互感器的 AIS 立柱母线功能单元的设计修改

在开发了一族空气绝缘开关设备后,要求在立柱母线功能单元(FU)中嵌入电流互感器。通常,这些电流互感器安装在输入馈线 FU 中。为了实施,立柱母线 FU 的垂直铜排被切掉且嵌入电流互感器(图 B.2)。原先的立柱母线 FU 进行了完整的型式试验。新设计的型式试验有效性延伸用短时电流试验证明。

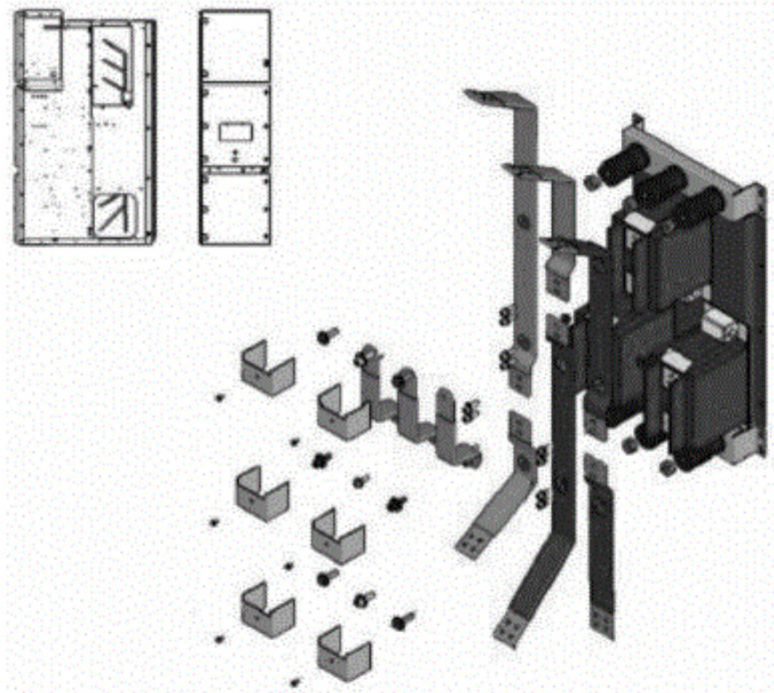


图 B.2 空气绝缘开关设备的立柱母线功能单元中增加的块式电流互感器

表 B.2 功能单元的短时电流耐受性能的延伸判据的确认

项目	立柱母线功能单元的设计参数	接收准则	确认	
(1)	(2)	(3)	(5)	
1	极间中心距	$\geq$	相同	Y
2	电流通过产生的电动力	$\leq$	相同	Y
3	绝缘支持件的强度	$\geq$	CT 作为附加的支撑件	Y
4	无支撑导体的长度	$\leq$	更小	Y
5	导体截面积	$\geq$	相同	Y
6	导体材料	相同	相同	Y
7	与导体相接触的绝缘材料的温度等级	$\geq$	CT 材料的温度等级	Y
8	外壳/隔板/套管的强度	$\geq$	相同	Y
9	可移动部件的触头	相同	不适用	

如果能证明电流互感器悬臂强度超过替代的绝缘支撑,或者如果之前在开关设备总装内,用相同的与母线连接的方式,电流互感器进行了短时电流耐受试验(见表 B.2 的项目 2 和项目 7),那么立柱母线 FU 原先的型式试验不需要重复且可被延伸至新的设计。所有的设计修改标示了适当的短时电流性能。

宜分别对绝缘试验、温升试验和内部故障试验的有效性延伸进行检查。

#### B.4 AIS 的功能单元门上钥匙锁的设计修改

在开发了一族空气绝缘开关设备和控制设备的所有功能单元后,用户通常要求附加的特殊联锁或钥匙锁。图 B.3 的示例中,用户要求用特殊类型的钥匙锁替换装配于断路器隔室门上的标准钥匙锁系统。

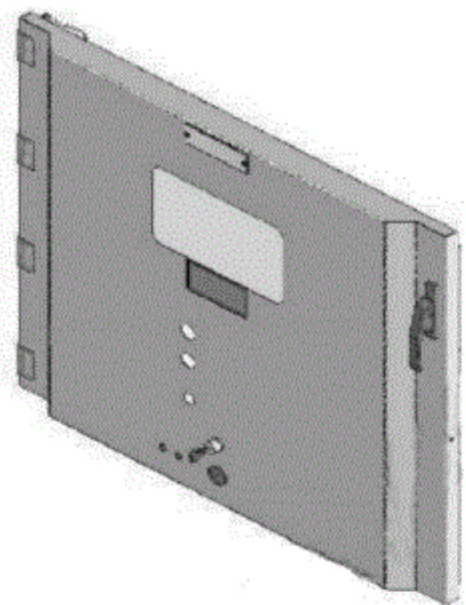


图 B.3 用特殊类型钥匙锁代替空气绝缘开关设备门上的标准钥匙锁

钥匙锁是作为防止接近运行界面的联锁系统来操作的,在这种情况下可以接近可移开式断路器。根据表 4 的项目 4,锁定的机械联动装置的强度宜等于或高于经过型式试验的试品中的强度。因为强度未知,所以该延伸判据不能确认且宜依据 GB/T 3906—2020 进行 25 次重复操作的试验。因为新的钥匙锁是以类似的方式固定在门上的,门的强度不低于之前的,例如内部故障试验不必要重复。

## B.5 环网单元(RMU)向较大宽度功能单元的延伸

对于已有的完整地型式试验过的,具有两个电缆连接功能单元和一个变压器保护功能单元的环网单元(SF<sub>6</sub> 绝缘),在两个电缆连接隔室中的电缆终端间的距离变化了 45 mm。这两个功能单元的宽度从 315 mm 增加到 500 mm(见图 B.4)。新开关设备和控制设备的所有其他设计参数等于已有的 RMU(例如额定值、负荷开关、接地开关、材料、充入气体压力、母线横截面及连接)。变压器保护功能单元无变化。主要不同是功能单元之间的母线长度增加了。

对于型式试验的有效性延伸,宜考虑本标准中包含的所有表格,但是,在下面只对涉及温升试验的表 3 进行了评估。

单位为毫米

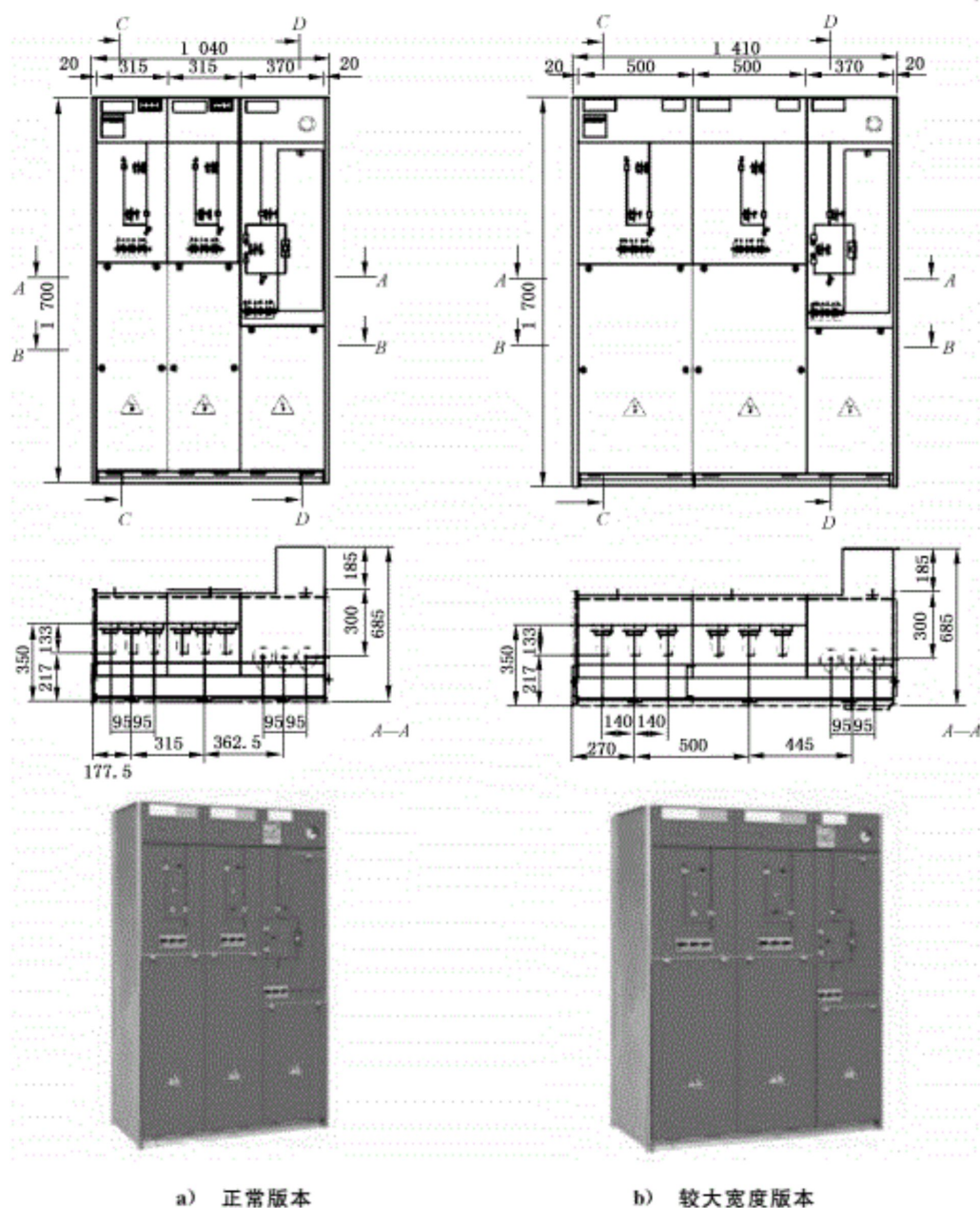


图 B.4 组成环网单元的功能单元的组的前视图和俯视图

由于母线单位长度电阻与之前相同,因此可确认此判据。然而,由于长度增加母线系统的总电阻增加了,这会使得开关设备内部的功耗变大。由于同时外壳体积相应的增加,可以断定温度将等于或小于之前在较小开关装置中测量的。从表 B.3 容易看出只要它们适用就可以确认延伸判据,因此温升试验的有效性可以延伸。

表 B.3 环网单元温升性能的延伸判据确认

项目	RMU 的设计参数	接收准则	确认	
(1)	(2)	(3)	(5)	
1	极间中心距	$\geq$	更大	Y
2	相对地距离	$\geq$	相等或更大	Y
3	外壳/隔室的尺寸(长、宽、高)和体积	$\geq$	更大	Y
4	绝缘气体的最小压力	$\geq$	相等	Y
5	导体的载流密度	$\leq$	相等	Y
6	导体每单位长度上的电阻	$\leq$	相等	Y
7	连接/接头的接触面积	$\geq$	相等	Y
8	连接/接头的接触压力	$\geq$	相等	Y
9	连接/接头的触头材料的允许温度	$\geq$	相等	Y
10	隔板和外壳的有效通风面积	$\geq$	不适用	
11	元件的功耗	$\leq$	所用的同样元件	Y
12	绝缘挡板的面积	$\leq$	不适用	
13	导体绝缘涂层的厚度	$\leq$	相等	Y
14	外壳用于热传递的涂层总面积	$\geq$	不适用	
15	与导体接触的绝缘材料的温度等级	$\geq$	相等	Y

## B.6 功能单元对气体绝缘开关设备(GIS)族的延伸

本标准的一个实际应用就是将装配有最大数量可能装置的特定功能单元进行的型式试验有效性延伸至同族开关设备和控制设备中装配有另外或较少装置的其他功能单元。图 B.5a)和 B.5b)显示了这两个功能单元的横截面,它们使用相同的断路器,具有相同的外壳宽度和相间中心距离。根据图 B.5a)的功能单元的型式试验未带散热器板,因此这两个单元在额定电流方面是可以比较的。试品包含一个断路器隔室和两个组成双母线馈线单元的隔室。根据图 B.5b)的功能单元是使用母线隔室之一的母联部分,断路器隔室包含相同的母线套管且作为联接元件与相邻隔室连接。

由于两个功能单元的决定电动力的电流路径形状和支撑件不同,表 5 中项目 2 不能简单确认。这需要电动力计算和随后评估或重新进行短时耐受能力试验。

关于关合和开断试验,除项目 6 的所有项目在表 6 中可以确认。考虑到相互的电动力的影响,如果可以说明图 B.5 中的一个几何形状在真空灭弧室上造成更严酷的情况,只有这种几何形状需要进行型式试验。

单位为毫米

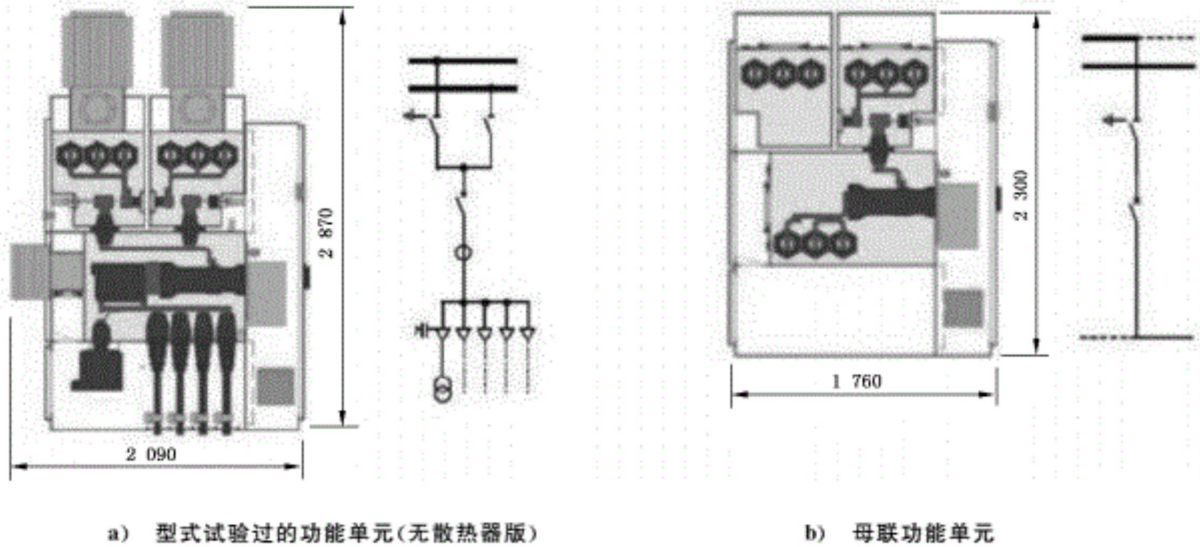


图 B.5 GIS 两种不同功能单元的横截面

对于内部故障等级,原型式试验的有效性不能延伸至新的功能单元。主要原因是起弧点的不同(见表 B.4),该点位于型式试验过的断路器隔室电缆插头附近。引弧丝现在位于断路器隔室的套管处或在断路器上部接线端,这取决于试验中的进线方向。两个位置都和原先的型式试验过的试品不同。此外,在有些位置的相对地的电气间隙增大,这可能增加了电弧电压和电弧能量。

表 B.4 关于 GIS 断路器隔室内部故障等级的延伸判据的确认

项目	断路器隔室的设计参数	接收准则	确认	
(1)	(2)	(3)	(5)	
1	极间电气间隙	$\leq$	相同	Y
2	对地电气间隙	相同	更大	N
3	隔室净体积	$\geq$	相同	Y
4	绝缘气体的额定压力,如果适用	$\leq$	相同	Y
5	导体横截面	$\geq$	相同	Y
6	导体原材料(Al 或 Cu 或其他合金)	相同	相同	Y
7	起弧点位置	相同	不同	N
8	暴露在电弧中的绝缘材料	相同	不同	N
9	排气口横截面积	$\geq$	相同	Y
10	排气口打开压力	$\leq$	相同	Y
11	打开泄压装置的固定元件(翻板)的机械强度	$\leq$	不适用	
12	外壳和隔室的机械强度	$\geq$	相同	Y
13	外壳壁厚	$\geq$	相同	Y
14	门和盖板的机械强度	$\geq$	不适用	
15	外壳防护等级	相同	不适用	

## 参 考 文 献

- [1] GB/T 311.1—2012 绝缘配合 第1部分:定义、原则和规则(IEC 60071-1:2006,MOD)
- [2] GB/T 4207 固体绝缘材料耐电痕化指数和相比电痕化指数的测定方法(GB/T 4207—2012,IEC 60112:2009,IDT)
- [3] GB/T 24276 通过计算进行低压成套开关设备和控制设备温升验证的一种方法(GB/T 24276—2017,IEC/TR 60890:2014,IDT)
- [4] GB/T 25840—2010 规定电气设备部件(特别是接线端子)允许温升的导则(IEC/TR 60943:2009,IDT)
- [5] GB/T 35698.1—2017 短路电流效应计算 第1部分:定义和计算方法(IEC 60865-1:2011,IDT)
- [6] IEC 60865-2 Short-circuit currents—Calculation of effects—Part 2: Examples of calculation
- [7] IEC 61117 Method for assessing the short-circuit withstand strength of partially type-tested assemblies(PTTA)<sup>2</sup>
- [8] CIGRE WG A3.24, Brochure 602, 2014: Tools for the simulation of the effects of the internal arc in transmission and distribution switchgear
-