



# 中华人民共和国国家标准

GB 16926—2009  
代替 GB 16926—1997

---

## 高压交流负荷开关-熔断器组合电器

High-voltage alternating current switch-fuse combinations

(IEC 62271-105:2002, High-voltage switchgear and controlgear—Part 105: Alternating current switch-fuse combinations, MOD)

2009-03-19 发布

2010-02-01 实施

---

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国国家标准化管理委员会 发布

## 目 次

前言 .....	Ⅲ
1 概述 .....	1
2 正常和特殊使用条件 .....	2
3 术语和定义 .....	2
4 额定值 .....	6
5 设计与结构 .....	7
6 型式试验 .....	9
7 出厂试验 .....	17
8 负荷开关-熔断器组合电器的选用导则 .....	17
9 随询问书,标书和订单一起提供的资料 .....	18
10 运输、储存、安装、运行和维护规则 .....	19
11 安全性 .....	19
附录 A (资料性附录) 熔断器、负荷开关和变压器配合的例子 .....	26
附录 B (规范性附录) 确定转移电流的程序 .....	27

## 前 言

本标准的全部技术内容为强制性。

本标准修改采用 IEC 62271-105:2002《高压开关设备和控制设备 第 105 部分:交流负荷开关-熔断器组合电器》。

本标准与 IEC 62271-105:2002 的主要差异在:

- 适用范围。根据我国电网的实际情况,去掉了 IEC 62271-105 中的额定频率 60 Hz 的有关内容;根据我国的行业分工情况,适用的系统的最低电压由 IEC 62271-105 的 1 000 V 改为 3 000 V;
- 额定电压。去掉了与我国电网无关的额定电压数值,按照 GB/T 11022(或 GB 156)中所列出的电压给出;
- 按照 GB 3804 对负荷开关进行试验,且这些试验可以在另一个不同于按照本标准对组合电器进行试验的组合电器上进行;
- 按照 GB 15166.2 对熔断器进行试验;
- 按照本标准对组合电器进行试验;
- 附录 A(资料性)。为了便于本标准的使用,将计算事例中的相关参数进行了修改(如变压器的额定电压由 11 kV 改为 10 kV 等);
- 删除了熔断器-负荷开关组合电器的相关条款;
- 铭牌中增加本产品特征的参数,如额定转移电流等。

本标准代替 GB 16926—1997《交流高压负荷开关-熔断器组合电器》。

本标准与 GB 16926—1997 的主要差别有:

- 标准编排上的差异。在符合 GB/T 1.1 的前提下,尽量保持与 IEC 62271-105 一致;
- 将 GB 16926—1997 中 6.101 的试验方式 3 的要求作为设计与结构的要求(5.102);
- 附录 B(规范性)。为了使转移电流的确定更加准确,按实际时间-电流特性的斜率为电流的函数,给出了采用迭代法计算转移电流的方法。

本标准应与 GB/T 11022 一起使用,除非标准中另有规定,本标准参照 GB/T 11022。为了简化相同要求的表述,本标准的章条号与 GB/T 11022 相同。对于补充在同一引用标题下的新增的条款从 101 开始编号。

本标准的附录 B 是规范性附录,附录 A 是资料性附录。

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:西安高压电器研究所、中国电力科学研究院高压开关研究所、重庆博森电气有限公司、上海天灵开关厂有限公司、机械工业高压电器产品质检中心(沈阳)、宁波天安集团股份有限公司、温州新机电器有限公司、广东番禺电气设备制造有限公司、金华电力开关有限公司、华仪电器集团有限公司、施耐德(北京)中压电器有限公司、广州白云电器设备股份有限公司、厦门 ABB 开关有限公司、浙江开关厂有限公司、天津市三源电力设备制造有限公司。

本标准主要起草人:田恩文、邢娜

本标准起草人:田恩文、邢娜、王平、冯武俊、李向阳、王农、马力、周巧平、杨英杰、朱佩龙、张伟明、吴继松、陆以安、叶树新、祝存春、雷小强、杨成懋、杨新洁、俞慧忠、顾德明。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB 16926—1997。

# 高压交流负荷开关-熔断器组合电器

## 1 概述

### 1.1 范围

本标准适用于公用和工业配电系统中所用的负荷开关包括负荷隔离开关与限流熔断器功能组合的三极单元,设计能够具备:

- 开断能力:在额定恢复电压下,开断直到并包括额定短路开断电流的任何电流;
- 关合能力:在额定电压下关合额定短路开断电流适用的回路。

本标准不适用于电动机回路中的熔断器-断路器、熔断器-接触器组合电器,或者包含单个电容器组负荷开关的组合电器。

本标准中,采用“组合”意味着组合电器中的各元件构成一个功能组件。某一给定型式的负荷开关和某一给定型式的熔断器的联合确定了一种型式的组合电器。

实际上,不同型式的熔断器可以和一种负荷开关组合,得到一系列具有不同特性的组合电器,特别与额定电流有关。进而,出于维修的目的,用户应该懂得可以和一台负荷开关组合的熔断器的类型而不影响对本标准的符合性,而且还应清楚这样的组合电器的相应特性。

负荷开关-熔断器组合电器是通过其型号以及由制造厂确定的一系列备选熔断器(即所谓的“参考的熔断器清单”)来确定。符合本标准的某一给定的组合电器意味着采用任一备选熔断器的每种组合电器都可以证明是符合本标准的。

装入熔断器是为了扩大组合电器的短路额定值,并使其超过单独用负荷开关时的短路额定值。安装撞击器,既为了依靠熔断器的动作使三相负荷开关自动分开,又可在故障电流大于最小熔化电流、小于熔断器最小开断电流时正确操作。除熔断器的撞击器外,组合电器还可安装过流脱扣器或者并联脱扣器。

注1:本标准中,在不会引起文本的总的语意不清时,“熔断器”一词可以指熔断器或熔断件。

注2:本标准中,在不会引起文本的语意不清时,“负荷开关-熔断器组合电器”和“组合电器”均指“高压交流负荷开关-熔断器组合电器”。

本标准适用于频率为50 Hz、标称电压3 kV及以上、35 kV及以下的三相交流系统中、户内或户外安装的组合电器。

熔断器应符合GB 15166.2。

负荷开关,包括它们特定的操动机构,考虑到熔断器的限流作用,除短时电流和短路关合要求外,应符合GB 3804。

成为组合电器一个完整部分的接地开关应符合GB 1985。

### 1.2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB/T 11022 的 1.2 适用,并做如下补充:

GB 1984—2003 高压交流断路器(IEC 62271-100:2001,MOD)

GB 1985—2004 高压交流隔离开关和接地开关(IEC 62271-102:2002,MOD)

GB/T 2900.20 电工术语 高压开关设备

GB 3804—2004 3.6 kV~40.5 kV 高压交流负荷开关(IEC 60265-1:1998,MOD)

GB/T 15166.1 交流高压熔断器 术语

GB 15166.2—2008 高压交流熔断器 第2部分:限流熔断器

GB/T 15166.6—2008 高压交流熔断器 第6部分:用于变压器回路的高压熔断器的熔断件选用导则

## 2 正常和特殊使用条件

GB/T 11022 的第2章适用。

## 3 术语和定义

为了便于本标准的使用,GB/T 2900.20、GB/T 11022 和 GB/T 15166.1 中的以及下列术语和定义适用。

为了便于使用,其中一些术语和定义重述于此。

### 3.1

**通用术语**

没有专门的定义。

### 3.2

**总装**

没有专门的定义。

### 3.3

**总装的部件**

没有专门的定义。

### 3.4

**开关装置**

#### 3.4.101

**负荷开关-熔断器组合电器** **switch-fuse combinations**

一种组合电器,它包括一组三极负荷开关及配有撞击器的三只熔断器,任何一个撞击器的动作会引起负荷开关三极全部自动分闸。

#### 3.4.102

**负荷开关-熔断器组合电器的底座(组合电器的底座)** **switch-fuse combinations base (or combination base)**

没有安装熔断件的负荷开关-熔断器组合电器。

#### 3.4.103

**负荷开关-熔断器** **switch-fuse**

复合单元内,一极或多极串有熔断器的负荷开关。

#### 3.4.104

**熔断器-负荷开关** **fuse-switch**

由熔断件或带有熔断件的载熔件构成动触头的负荷开关。

#### 3.4.105

**隔离负荷开关(负荷隔离开关)** **disconnector-switch (switch-disconnector)**

在断开位置,能满足对隔离开关所规定的隔离要求的一种负荷开关。

[GB 3804—2004 的 4.4.102]

#### 3.4.106

**脱扣器操作的组合电器** **release operated combination**

一种组合电器,它的负荷开关的自动分闸由过流脱扣器或并联脱扣器触发。

## 3.5

## 开关装置的部件

## 3.5.101

脱扣器 **release**

[GB/T 2900.20 的 4.29]

## 3.5.102

过流脱扣器 **over-current release**

[GB/T 2900.20 的 4.30]

## 3.5.103

并联脱扣器 **shunt release**

[GB/T 2900.20 的 4.38]

## 3.6

## 操作

## 3.6.1

动力操作(负荷开关的) **independent manual operation (of the switch)**

[GB/T 11022 的 3.6.1]

## 3.6.2

储能操作(负荷开关的) **stored energy operation (of the switch)**

[GB/T 11022 的 3.6.2]

## 3.7

## 特性参量

## 3.7.101

预期电流(回路和相对于开关装置以及熔断器的) **prospective current (of a circuit and with respect to a switching device or a fuse)**

[GB/T 2900.20 的 6.6]

## 3.7.102

预期峰值电流 **prospective peak current**

[GB/T 2900.20 的 6.7]

## 3.7.103

最大预期峰值电流 **maximum prospective peak current**

[GB/T 2900.20 的 6.8]

## 3.7.104

开断电流 **breaking current**

[GB/T 2900.20 的 6.17]

## 3.7.105

预期开断电流 **prospective breaking current**

[GB/T 15166.1 的 3.4]

## 3.7.106

最小开断电流 **minimum breaking current**

[GB/T 15166.1 的 3.9]

## 3.7.107

短路关合能力 **short-circuit making capacity**

在规定条件下,包括开关装置的接线端子短路在内的接通能力。

[GB 3804—2004 的 4.7.115]

3.7.108

**截止电流** cut-off current

**允通电流(熔断器的)** let-through current (of a fuse)

[GB/T 15166.1 的 3.5]

3.7.109

**转移电流(撞击器操作)** transfer current (striker operation)

在熔断器与负荷开关转换开断职能时的三相对称电流值。

注：大于该值，三相电流仅由熔断器开断。稍小于该值，首先开断极中的电流由熔断器开断，而后两相电流由负荷开关或者熔断器开断，这取决于熔断器的时间-电流特性的偏差以及熔断器触发的负荷开关的分闸时间。

3.7.110

**交接电流(脱扣器操作)** take-over current (release operation)

两种过电流保护装置的时间-电流特性交点的电流值。

3.7.111

**最小交接电流(脱扣器操作的组合电器的)** minimum take-over current (of a release-operated combination)

该电流取决于熔断器和负荷开关的时间-电流特性的交点，对应于：

- a) 最大开断时间，如果适用，加上外部过流继电器或接地故障继电器的最大动作时间；
- b) 熔断器的最小弧前时间。

见图 12。

3.7.112

**最大交接电流(脱扣器操作的组合电器的)** maximum take-over current (of a release-operated combination)

该电流取决于熔断器及负荷开关时间-电流特性的交点，对应于：

- a) 负荷开关由脱扣器触发的最小分闸时间，如果适用，再加上 0.02 s 以表示外部过流继电器或接地故障继电器的最小动作时间；
- b) 具有最大额定电流熔断器的最大动作时间。

3.7.113

**熔化的短路电流** fused short-circuit current

当限流装置为熔断器时，受到限制的短路电流。

3.7.114

**外施电压** applied voltage

[GB/T 2900.20 的 6.13]

3.7.115

**恢复电压** recovery voltage

[GB/T 2900.20 的 6.30]

3.7.116

**瞬态恢复电压** transient recovery voltage

**TRV**

[GB/T 2900.20 的 6.31]

3.7.117

**工频恢复电压** power-frequency recovery voltage

[GB/T 2900.20 的 6.32]

## 3.7.118

**预期瞬态恢复电压 prospective transient recovery voltage**

[GB/T 2900.20 的 6.33]

## 3.7.119

**熔断器触发的分闸时间(负荷开关的) fuse-initiated opening time (of the switch)**

熔断器起弧时刻到所有极弧触头分开为止的时间。

## 3.7.120

**脱扣器触发的分闸时间(负荷开关的) release-initiated opening time (of the switch)**

脱扣器触发的分闸时间定义为按照下述脱扣方法来确定,且与负荷开关成为一体的任何延时装置都调整到整定值:

- a) 对于由任何形式辅助能源脱扣的负荷开关,处于合闸位置的负荷开关的分闸脱扣器带电时刻到所有极弧触头分离时刻之间的时间间隔。
- b) 对于通过主回路中的电流(不同于撞击器)而不借助任何辅助能源脱扣的负荷开关,处于合闸位置的负荷开关主回路中的电流达到过电流脱扣器的动作值的时刻到所有极弧触头分离时刻之间的时间间隔。

## 3.7.121

**脱扣器触发的最小分闸时间(负荷开关的) minimum release-initiated opening time (of the switch)**

成为负荷开关一部分的任何延时装置规定的整定值是其最小整定值时脱扣器触发的分闸时间。

## 3.7.122

**脱扣器触发的最大分闸时间(负荷开关的) maximum release-initiated opening time (of the switch)**

成为负荷开关一部分的任何延时装置规定的整定值是其最大整定值时脱扣器触发的分闸时间。

## 3.7.123

**开断时间 break-time**

[GB/T 2900.20 的 6.54]

## 3.8

**熔断器**

## 3.8.1

**参考的熔断器清单 reference list of fuses**

对给定的负荷开关-熔断器组合电器底座,制造厂确定的熔断器清单,并且所有与其相应的负荷开关-熔断器组合电器符合现行标准。

注:该清单可以更新。型式试验有效性扩展的条件在 8.102 中给出。

## 3.8.2

**熔断器底座 fuse-base**

[GB/T 15166.1 的 2.20]

## 3.8.3

**撞击器 striker**

[GB/T 15166.1 的 2.24]

## 3.8.4

**弧前时间 pre-arcing time**

**熔化时间 melting time**

[GB/T 15166.1 的 3.11]



3.8.5

动作时间 **operating time**

开断时间 **breaking time**

[GB/T 15166.1 的 3.13]

3.8.6

燃弧时间(一极的或熔断器的) **arcing time (of a pole or a fuse)**

[GB/T 15166.1 的 3.12]

3.8.7

焦尔积分 **Joule integral**

$I^2t$

[GB/T 15166.1 的 3.14]

3.8.8

功率耗散 **power dissipation**

[GB 15166.2 的 3.1.21]

4 额定值

GB/T 11022 的第 4 章适用,并作如下补充:

k) 额定短路开断电流;

l) 额定瞬态恢复电压;

m) 额定短路关合电流;

n) 撞击器操作的组合电器的额定转移电流;

o) 脱扣器操作的组合电器的额定交接电流。

4.1 额定电压( $U_r$ )

GB/T 11022 的 4.1 适用。

4.2 额定绝缘水平

GB/T 11022 的 4.2 适用。

4.3 额定频率( $f_r$ )

GB/T 11022 的 4.3 适用。

4.4 额定电流和温升

4.4.1 额定电流( $I_r$ )

GB/T 11022 的 4.4.1 适用,并作如下补充:

额定电流适用于由组合电器底座和所选的熔断器组成的完整的组合电器。

不要求额定电流从 R10 系列中选取。

4.4.2 温升

GB/T 11022 的 4.4.2 适用,如果涉及到熔断器,见 GB 15166.2。

4.5 额定短时耐受电流( $I_k$ )

GB/T 11022 的 4.5 不适用。

4.6 额定峰值耐受电流( $I_p$ )

GB/T 11022 的 4.6 不适用。

4.7 额定短路持续时间( $t_k$ )

GB/T 11022 的 4.7 不适用。

4.8 合闸及分闸装置和辅助回路的额定电源电压( $U_n$ )

GB/T 11022 的 4.8 适用。

#### 4.9 合闸及分闸装置和辅助回路的额定电源频率

GB/T 11022 的 4.9 适用。

#### 4.10 操作用压缩气源的额定压力

GB/T 11022 的 4.10 适用。

#### 4.101 额定短路开断电流

额定短路开断电流是指在本标准规定的使用条件及性能下,回路的工频恢复电压相应于组合电器的额定电压,预期瞬态恢复电压等于 4.102 规定的额定值,组合电器所能开断的最大预期短路电流。

额定短路开断电流用其交流分量的有效值表示。

额定短路开断电流应从下述 R10 系列中选取:

8 kA;10 kA;12.5 kA;16 kA;20 kA;25 kA;31.5 kA;40 kA;50 kA;63 kA;80 kA;100 kA。

注:应该认识到组合电器的串联阻抗、熔断器或负荷开关的快速动作可能引起一种或两种下述影响:

- a) 短路电流降低到某一值,该值显著低于没有上述作用时所能达到的值;
- b) 此类快速动作使得短路电流波形偏离其原来的波形。

这就是在评价开断和关合性能时采用术语“预期电流”的原因。

#### 4.102 额定瞬态恢复电压

与额定短路开断电流(符合 4.101)相关的额定瞬态恢复电压是一种参考电压,它是组合电器能够开断回路短路故障时回路预期瞬态恢复电压的上限。

预期瞬态恢复电压的参数,GB 15166.2 适用。

#### 4.103 额定短路关合电流

额定短路关合电流是在本标准规定的使用条件和性能下,回路的工频电压对应于组合电器的额定电压,组合电器能够关合的最大预期峰值电流。它应是额定短路开断电流值的 2.5 倍。

注:也可见 4.101 的注。

#### 4.104 撞击器操作的组合电器的额定转移电流 ( $I_{transfer}$ )

额定转移电流是组合电器中的负荷开关能够开断的转移电流的最大有效值。

#### 4.105 脱扣器操作的组合电器的额定交接电流 ( $I_{co}$ )

额定交接电流是组合电器中的负荷开关能够开断的交接电流的最大有效值。

### 5 设计与结构

#### 5.1 对负荷开关-熔断器组合电器中液体的要求

GB/T 11022 的 5.1 适用。

#### 5.2 对负荷开关-熔断器组合电器中气体的要求

GB/T 11022 的 5.2 适用。

#### 5.3 负荷开关-熔断器组合电器的接地

GB/T 11022 的 5.3 适用。

#### 5.4 辅助设备

GB/T 11022 的 5.4 适用。

#### 5.5 动力操作

GB/T 11022 的 5.5 适用。

#### 5.6 储能操作

GB/T 11022 的 5.6 适用。

#### 5.7 不依赖人力的操作

GB/T 11022 的 5.7 不适用。

#### 5.8 脱扣器的操作

GB/T 11022 的 5.8 适用。

5.9 低压力和高压力闭锁装置

GB/T 11022 的 5.9 适用。

5.10 铭牌

GB/T 11022 的 5.10 适用,并作如下补充:

负荷开关-熔断器组合电器的铭牌应包含表 1 的内容。

表 1 铭牌内容

(1)	缩写 (2)	单位 (3)	负荷开关- 熔断器组合 电器 (4)	操动机构 (5)	要求标注的 条件 (6)
制造厂			X	Y	仅当与组合电器不 成为一体和/或制造 厂不同
型号			X	(Y)	
出厂编号			X	(Y)	
标准编号			X		
额定电压	$U_r$	kV	X		
额定工频耐受电压		kV	X		
额定雷电冲击耐受电压	$U_p$	kV	X		
额定频率	$f_r$	Hz	X		
额定电流(带熔断器)	见参考清单	A	X		
额定短路开断电流		kA	X		
额定短路关合电流		kA	X		
额定转移电流	$I_{transfer}$	A	X		
额定交接电流	$I_o$	A	Y		脱扣器操作的组合 电器
合闸和分闸装置以及辅助和 控制回路的额定电源电压	$U_c$	V		Y	适用时
制造年份			X		
温度级别			Y		不同: -5 °C 户内 -25 °C 户外
<p>X 表示的值的标识是强制性的。                      Y 表示的值的标识是强制性的,但取决于栏(6)中的条件。                      (Y)表示的值的标识是可选的。                      注 1: 栏(2)中的缩写可以代替栏(1)中的术语。如果采用栏(1)中的术语,“额定”一词在铭牌上可不出现。                      注 2: 如果组合电器的额定交接电流大于其额定转移电流,则可以不标注其额定转移电流。</p>					

5.11 联锁装置

GB/T 11022 的 5.11 适用。

5.12 位置指示

GB/T 11022 的 5.12 适用。

### 5.13 外壳的防护等级

GB/T 11022 的 5.13 适用。

### 5.14 爬电距离

GB/T 11022 的 5.14 适用。

### 5.15 气体和真空的密封

GB/T 11022 的 5.15 适用。

### 5.16 液体的密封

GB/T 11022 的 5.16 适用。

### 5.17 易燃性

GB/T 11022 的 5.17 适用。

### 5.18 电磁兼容性(EMC)

GB/T 11022 的 5.18 适用。

### 5.101 撞击器与负荷开关脱扣器之间的联动装置

与给定的撞击器型式(中型或重型)的最大、最小能量和撞击器的动作方式(弹簧或爆炸)无关,熔断器撞击器与负荷开关脱扣器之间的联动装置在三相和单相条件下应使负荷开关可靠地操作。撞击器的要求在 GB 15166.2 中给出。

### 5.102 低过电流条件(长的熔断器弧前时间条件)

负荷开关-熔断器组合电器应设计成使组合电器在低过电流条件下能够可靠地工作。这可以通过满足下述条件来实现:

#### a) 负荷开关和熔断器应满足下述 1)、2)或 3)中之一:

#### 1) 熔断器触发的负荷开关分闸时间短于 GB 15166.2 中规定的熔断器能够耐受的最长燃弧时间;

注: GB 15166.2 中引入了新的试验来评估在长的弧前时间条件下(熔断器)最长的电弧耐受时间至少为 100 ms。

#### 2) 如果熔断器制造厂能够证明熔断器在从额定短路开断电流值到组合电器中的熔断器的等效最小熔化电流值的所有电流值都能可靠地动作(即,全范围熔断器),则认为与负荷开关-熔断器组合电器中的熔断器触发的负荷开关分闸时间不相关;

#### 3) 如果能够证明熔断器撞击器的热脱扣器在熔断器起弧前使负荷开关开断了所有小于 $I_3$ (符合 GB 15166.2 的熔断器的最小开断电流)的电流;

#### b) 按照 6.104 规定的试验证明在这些条件下的温升不会损坏组合电器的性能。

## 6 型式试验

GB/T 11022 的第 6 章适用,并做如下补充。

### 6.1 概述

型式试验的目的是为了证明负荷开关-熔断器组合电器、操动机构以及联动装置的性能。

应该明确,对于组合电器中的负荷开关,除了短时耐受电流和短路关合要求外,应按照 GB 3804 作为一个独立元件进行试验;另外,熔断器应按 GB 15166.2 的要求进行试验。

型式试验包括:

- 绝缘试验;
- 温升试验;
- 主回路电阻测量;
- 防护等级的验证;
- 密封性试验;
- 电磁兼容性试验;

- 关合和开断试验；
- 脱扣联动试验；
- 熔断器的机械震动试验；
- 具有长弧前时间的熔断器的热试验。

组合电器中的元件应是按相应的标准通过型式试验的产品。

交付试验的组合电器应是安装有合适的熔断器、干净的、新的组合电器。

型式试验的试品应与正式生产产品的图样和技术条件相符合，下列情况下，负荷开关-熔断器组合电器应进行型式试验：

- a) 新试制的产品，应进行全部型式试验；
- b) 转厂及异地生产的产品，应进行全部型式试验；
- c) 当产品的设计、工艺或生产条件及使用的材料发生重大改变而影响到产品性能时，应做相应的型式试验；
- d) 正常生产的产品每隔八年应进行一次温升试验、脱扣联动试验以及关合和开断试验；
- e) 不经常生产的产品(停产三年以上)，再次生产时应进行 d) 规定的试验；
- f) 对系列产品或派生产品，应进行相关的型式试验，部分试验项目可引用相应的有效试验报告。

#### 6.1.1 试验的分组

GB/T 11022 的 6.1.1 适用。

#### 6.1.2 确认试品的资料

GB/T 11022 的 6.1.2 适用。

#### 6.1.3 型式试验报告中应包含的资料

GB/T 11022 的 6.1.3 适用。

#### 6.2 绝缘试验

GB/T 11022 的 6.2 适用，并做如下补充：

GB/T 11022 的 6.2.9(局部放电试验)被下述内容取代：

完整的组合电器不要求局部放电试验。但是，元件在此方面应满足各自相关的标准。

#### 6.3 无线电干扰电压(RIV)试验

GB/T 11022 的 6.3 不适用。

#### 6.4 主回路电阻测量

GB/T 11022 的 6.4 适用，并做如下补充：

用阻抗可以忽略不计的导电棒代替熔断器且应记录该导电棒的电阻。

#### 6.5 温升试验

GB/T 11022 的 6.5 适用，并做如下补充：

组合电器的温升试验应在组合电器底座装有参考清单中的所有额定电流下进行试验。但是，按照下述规定，可以减少试验次数。

只要满足下述四个判据，由组合电器底座和给定的熔断器(假定为 X)组成的组合电器的温升试验可以证明由同样的组合电器底座和其他规格的熔断器组成的组合电器的温升试验合格：

- 具有和熔断器 X 相同长度的熔断器；
- 额定电流小于或等于熔断器 X 的额定电流的熔断器；
- 额定功率耗散(按照 GB 15166.2)小于或等于熔断器 X 的额定功率耗散；
- 组合电器中熔断器额定电流的降低水平( $I_{\text{组合电器}}/I_{\text{熔断器}}$ )小于或等于熔断器 X 的降低水平。

因为满足上述判据已经包含了安全裕度，所以，熔断器的直径可以不考虑。

#### 6.6 短时耐受电流和峰值耐受电流试验

GB/T 11022 的 6.6 不适用。

## 6.7 防护等级的验证

GB/T 11022 的 6.7 适用。

## 6.8 密封性试验

GB/T 11022 的 6.8 适用。

## 6.9 电磁兼容性试验(EMC)

GB/T 11022 的 6.9 适用。

## 6.101 关合和开断试验

本条款包括四个试验方式：

- $TD_{isc}$  (试验方式 1)：额定短路电流的关合和开断试验；
- $TD_{I^2t_{max}}$  (试验方式 2)：最大  $I^2t$  时的关合和开断试验；
- $TD_{I_{transfer}}$  (试验方式 3)：额定转移电流的开断试验；
- $TD_{I_{to}}$  (试验方式 4)：额定交接电流的开断试验。

### 6.101.1 进行试验的条件

原则上，本标准 6.101(关合和开断试验)详述的试验只对实际试验的负荷开关与熔断器特定的组合电器的性能进行了验证。然而，应认识到这对以下情况是不实际的：

- a) 对给定的负荷开关-熔断器组合电器配用每种型号熔断器时都进行试验；
- b) 初始试验所用的熔断器在设计上有所改动时，重复组合电器的试验。

因此，如果符合本标准的组合电器满足下列条件，对经过改动的、未经试验或经过局部试验的组合电器底座和熔断器组成的组合电器仍可认为满足本标准。这些条件是：

- 1) 所考虑的熔断器应满足它的标准(GB 15166.2)；
- 2) 必须安装同一类型的撞击器，即符合 GB 15166.2 的中型或重型；
- 3) 替代型的熔断器应满足 6.101.2.1、6.101.2.2 和 6.101.2.3 的要求。

#### 6.101.1.1 试验前组合电器的状态

受试组合电器须完整地安装在自身的支架或一等效支架上。其操动机构应按有关规定进行操作，特别是操动机构如果是电动或气动操作时，须分别按 GB/T 11022 的 4.8 和 4.10 规定的最低电压或气压下操作，除非截流影响了试验结果。当截流影响试验结果时，组合电器应在 GB/T 11022 的 4.8 和 4.10 规定的允差范围内选取的电压或气压下操作，以便触头分离时刻获得最大刚分速度和最大灭弧性能。

应表明，在上述条件下，组合电器应可靠地进行空载操作。

人力操作的组合电器，可以用能实现远方操作的一种装置来操作。

应考虑组合电器哪一侧与电源连接。当组合电器用于两侧供电时，若断口一侧的物理布置与另一侧的不同，则试验回路的带电侧应接到使组合电器试验条件最严酷的一侧。如有怀疑，应倒换电源接线，重复进行该试验方式，但对包括若干次同一试验的试验方式，应将电源先接到一侧，进行一次试验，然后将电源接到另一侧进行其余试验。

选用的熔断器应使得该试验方式的结果对相同的组合电器底座和熔断器清单中的任一熔断器构成的所有组合电器有效。对于脱扣器操作的组合电器，过流继电器或脱扣器(如果装有的话)应与这些熔断器相关的最小额定电流值相匹配。除非另有规定，试验应在无预加载的环境温度下进行。

#### 6.101.1.2 试验频率

组合电器应在额定频率下进行试验，频率偏差为 $\pm 8\%$ 。然而，为了试验方便，偏离上述允差范围也是允许的。例如，额定频率为 50 Hz 的组合电器在 60 Hz 下进行试验，反之亦然。但应注意对试验结果的解释，并考虑到所有重要因素，如组合电器的类型或所进行试验的类型。

注：在某些情况下，组合电器用于 60 Hz 系统的额定性能与用在 50 Hz 系统中的额定性能有所不同。

### 6.101.1.3 功率因数

试验回路的功率因数应通过测量来确定,并取每相功率因数的平均值。

试验时,功率因数平均值须符合 6.101.2.1、6.101.2.2、6.101.2.3 及 6.101.2.4 中给出的数值。

### 6.101.1.4 试验回路的布置

对于试验方式  $TD_{isc}$  (试验方式 1) 和试验方式  $TD_{TW_{max}}$  (试验方式 2), 组合电器最好接在电源中性点绝缘的、三相短路的中性点接地的回路中, 如图 3a) 所示。当试验回路中电源的中性点不能绝缘时, 则其应予以接地, 而三相短路的中性点应予以绝缘, 如图 3 b) 所示。

对于试验方式  $TD_{Itransfer}$  (试验方式 3) 和  $TD_{Ito}$  (试验方式 4), 组合电器应分别接到图 4 和图 5 所示的回路中。

对于产生火焰或金属粒子喷射的组合电器, 试验时应在带电部件附近放置金属屏, 金属屏与带电体之间间隙的大小应由制造厂规定。

金属屏、底架及其正常接地部件应对地绝缘, 但通过直径 0.1 mm、长度为 50 mm 的铜丝构成的熔断器接地。该熔断器也可以接到变比为 1:1 的电流互感器的二次侧。电流互感器的端子应通过火花间隙或避雷器保护。如果试验后熔断器完好, 则认为没有出现明显的泄漏电流。

### 6.101.1.5 开断试验的试验电压

试验电压应在组合电器开断后, 立即于其所在位置测量的相间电压的平均值。

该电压的测量点应尽可能靠近组合电器的端子, 即测量点与组合电器端子间无明显的阻抗。

三相试验时, 试验电压应尽可能接近或等于组合电器的额定电压。

试验电压基于平均值的允差是规定值的  $\pm 5\%$ , 任一相与平均值的偏差为  $\pm 20\%$ 。

### 6.101.1.6 工频恢复电压

电弧熄灭后, 工频恢复电压应至少保持 0.3 s。

三相试验回路的工频恢复电压是负荷开关分闸后所有相测到的工频恢复电压的平均值。

试验回路的工频恢复电压应在试验回路每一相中组合电器的每极端子间测量。

按照图 6, 工频恢复电压应在负荷开关分闸后一个周波处测量。

### 6.101.1.7 短路关合试验前的外施电压

在试验方式  $TD_{isc}$  (试验方式 1) 和试验方式  $TD_{TW_{max}}$  (试验方式 2) 中, 短路关合试验前的外施电压 (见 3.7.14) 是试验前瞬间, 一极端子间电压的有效值。

对于三相试验, 外施电压的平均值不应小于组合电器额定电压除以  $\sqrt{3}$ , 且未经制造厂的同意不应超过该值的 10%。

外施电压的平均值与每相外施电压之差不应超过平均值的 5%。

### 6.101.1.8 开断电流

对于试验方式  $TD_{isc}$  (试验方式 1) 和试验方式  $TD_{TW_{max}}$  (试验方式 2), 预期短路开断电流的交流分量有效值应在预期电流试验中短路起始后一个半波内测量。

对于试验方式  $TD_{Itransfer}$  (试验方式 3) 和试验方式  $TD_{Ito}$  (试验方式 4), 开断电流应是在起弧瞬间测取电流的交流分量有效值。

对于试验方式  $TD_{isc}$  (试验方式 1)、试验方式  $TD_{TW_{max}}$  (试验方式 2) 和试验方式  $TD_{Ito}$  (试验方式 4), 任一极中的开断电流交流分量有效值不能超出平均值的 10%。对于试验方式  $TD_{Itransfer}$  (试验方式 3), 装有导电棒的两极中的开断电流交流分量有效值不应小于首开极 (即装有熔断器的极) 开断电流的  $\sqrt{3}/2$ , 即 87%。

### 6.101.1.9 瞬态恢复电压

试验回路的预期 TRV, 应该用这样一种方法来确定, 它可以产生和测量 TRV 波形, 而不会对它有明显的影响, 且应在组合电器与试验回路相连的端子上测量, 且像分压器等试验测量装置应包括在内。GB 1984—2003 的附录 F 中叙述了适当的方法。

三相试验回路,瞬态恢复电压是对符合 6.101.1.4 布置的适合的试验回路中的首开极而言,即开断极与其他两闭合极之间的电压。

试验回路的预期瞬态恢复电压波形用图 1 所示的方法画出的包络线和它的起始部分表示。

试验回路的预期瞬态恢复电压波形应满足下列要求:

a) 其包络线在任何时刻都不能低于规定的参考线;

注:必须强调,包络线超出规定参考线的程度需征得制造厂的同意。

b) 如规定有延时线时,其起始部分不能与延时线相交。

## 6.101.2 试验程序

### 6.101.2.1 试验方式 $TD_{isc}$ (试验方式 1)——额定短路电流时的关合和开断试验

这一试验方式是为了验证负荷开关能够承受和关合熔断器的截止电流而无损伤,且在该电流下撞击器将使负荷开关分闸。该试验是在装有所有三相熔断器的组合电器上进行的。

只要替代熔断器根据 GB 15166.2 确定的截止电流和动作  $I^2t$  不大于型式试验的特定熔断器的截止电流和动作  $I^2t$ ,则认为对装有特定型式熔断器的组合电器的试验对于相同的组合电器底座和熔断器清单中的替代熔断器构成的所有组合电器有效。

必须在试验回路中进行一个单分和一个合分试验,回路的预期电流等于组合电器的额定短路开断电流,偏差为 $^{+5}_{0}\%$ 。

试验回路的功率因数为 0.07~0.15(滞后)。

外施电压应符合 6.101.1.7。

工频恢复电压(见 6.101.1.6)应等于组合电器的额定电压除以 $\sqrt{3}$ ,平均值的偏差为规定值的 $\pm 5\%$ ,每相与平均值的偏差为 $\pm 20\%$ 。

预期瞬态恢复电压应符合 4.102 及 6.101.1.9。

该试验方式的开断试验应按 GB 15166.2 中试验方式 1 的规定,保证任一边极中熔断器的起弧相角,即在该极中的电压过零后  $65^\circ\sim 90^\circ$  范围之内。

### 6.101.2.2 试验方式 $TD_{iw,max}$ (试验方式 2)——最大开断 $I^2t$ 时的关合和开断试验

进行该方式试验的目的在于用近似于对负荷开关产生最大  $I^2t$  的预期电流来验证组合电器的性能。试验是在装有三相熔断器的组合电器上进行的。

组合电器中的负荷开关应在撞击器驱动分闸之前合闸到位,如果在 GB 3804 中规定的条件下,两次关合试验的峰值不小于  $2.5I_2$ ,短路电流的持续时间不小于 0.1 s,试验电流为  $I_2$ (GB 15166.2 的试验方式 2 的预期短路电流),则本标准的该试验方式可以免去。

如果组合电器中的熔断器在 GB 15166.2 的试验方式 1 中具有比本标准的试验方式  $TD_{isc}$ (试验方式 1)更高的  $I^2t$ ,则本试验方式可以免去。

只要替代熔断器根据 GB 15166.2 试验方式 2 确定的最大动作  $I^2t$  不大于型式试验的特定熔断器的动作  $I^2t$ ,则认为对装有特定型式熔断器的组合电器的试验对于相同的组合电器底座和参考的熔断器清单中的替代熔断器构成的所有组合电器有效。

在三相回路中,进行一个单分和一个合分试验,其预期电流为按照 GB 15166.2 验证组合电器中熔断器设计的  $I^2t$  值所要求的预期电流,偏差 $\pm 10\%$ 。

试验回路的功率因数为 0.07~0.15(滞后)。

注:如果制造厂同意,下限不适用。

外施电压应符合 6.101.1.7。

对于本试验方式中的开断试验,应通过回路选相合闸,保证其中任意一相电流在电压过零后  $0^\circ\sim 20^\circ$  间出现。



工频恢复电压(见 6.101.1.6)应等于组合电器的额定电压除以 $\sqrt{3}$ ,平均值的偏差为规定值的 $\pm 5\%$ ,每相与平均值的偏差为 $\pm 20\%$ 。

预期瞬态恢复电压应符合 6.101.1.9 以及 GB 15166.2 的试验方式 2 中的规定值。

6.101.2.3 试验方式 TD<sub>transfer</sub>(试验方式 3)——额定转移电流时的开断试验

进行该试验方式的目的在于验证开断职能由熔断器转移到负荷开关时负荷开关与熔断器的正确配合(见 3.7.109)。

注 1: 对于脱扣器操作的组合电器,如果交接电流等于或大于转移电流,则本试验方式可以免去。

应在三相回路(如图 4 所示)中进行三次开断试验,三次试验中安装熔断器的极应不同,其余两极用两根阻抗可忽略不计的导电棒替代两极中的熔断器。

如果一极中的一只熔断器和其他两极中的两根导电棒的这种布置对试验室不可行的话,则可以省去熔断器,负荷开关通过别的途径分闸。

试验回路应包括三相电源和负载回路(见图 4)。

负载回路应是一个 R-L 的串联回路。

电源回路,其功率因数不超过 0.2(滞后),并应满足下列要求:

- a) 电源回路短路开断电流的对称分量不应超过组合电器的额定短路开断电流,也不应小于该电流的 5%;
- b) 电源回路的阻抗应在试验方式 TD<sub>transfer</sub>(试验方式 3)试验回路总阻抗的 12%~18%之间。如果受到试验站的限制,不能满足这一条件,则这个百分比还可降低,但应保证最后所得预期 TRV 不低于规定值;
- c) 电源回路在短路条件下的预期 TRV 应符合 GB 3804 负载电流开断试验时电源侧的要求。

负载回路的功率因数应该是:

- 开断电流 > 400 A, 0.2~0.3(滞后);
- 开断电流 ≤ 400 A, 0.3~0.4(滞后)。

试验电压应符合 6.101.1.5 的规定。

表 2 试验方式 TD<sub>transfer</sub>(试验方式 3)预期 TRV 的标准值

额定电压 $U_r$ kV	TRV 电压峰值 $u_c$ kV	时间 $t_3$ $\mu s$	上升率 $u_c/t_3$ kV/ $\mu s$
3.6	6.2	80	0.077
7.2	12.3	104	0.115
12	20.6	120	0.167
(24)	41	176	0.236
40.5	69.4	229	0.30
$u_c = 1.4 \times 1.5 \times U_r \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$			

工频恢复电压应等于组合电器的额定电压除以 $\sqrt{3}$ 。平均值的偏差为 $\pm 5\%$ ,每相与平均值的偏差为 $\pm 20\%$ 。

如果适用,负载回路的预期瞬态恢复电压,为了标定,应符合 6.101.1.9 和表 2。延时线不做规定。

注 2: 表 2 给出的数值仅指首先开断极,也就是说,装有熔断器(或模拟熔断器/绝缘棒)的一极。

注 3: 表 2 适用于典型布置,这些布置涉及到的转移电流比那些因变压器二次端子金属短路产生的电流小,后者通常由熔断器开断。但是,这些参数不适用于要求负荷开关开断这种端子附近故障的使用情况,这种使用条件应由用户和制造厂协商。

#### 6.101.2.4 试验方式 $TD_{inc}$ (试验方式 4)——额定交接电流时的开断试验(仅对脱扣器操作的组合电器)

这一试验方式仅对脱扣器操作的组合电器是强制性的。进行该试验旨在验证开断负荷由熔断器交接给脱扣器操作的负荷开关时,在交接电流范围内,熔断器与脱扣器操作的负荷开关之间的正确配合。

应在如图 5 所示的三相回路上进行三次开断试验,三极熔断器全部用阻抗可忽略不计的导电棒替代。

试验回路 with 试验方式  $TD_{transfer}$  (试验方式 3) 相同。

试验电流值相应于:

- 脱扣器触发的负荷开关分闸时间加上适用时的表示外部过流继电器或接地故障继电器的半个周波的最小动作时间。
- 最大额定电流的熔断器的最长动作时间。

见图 12。

#### 6.101.2.5 试验参数摘要

表 3 给出了试验方式所用的试验参数。

表 3 试验方式的试验参数摘要

试验方式		试验电压	试验电流/ 合闸相角	试验系列	功率因数	TRV
序号	回路					
$TD_{inc}$	三相 图 3	$U_r$	见 GB 15166.2 的 试验方式 1	O CO	0.07~0.15(滞后)	见 GB 15166.2 的试验 方式 1
$TD_{rw\ max}$	三相 图 3	$U_r$	见 GB 15166.2 的 试验方式 2	O CO	0.07~0.15(滞后)	见 GB 15166.2 的试验 方式 2
$TD_{transfer}$	三相/二相 图 4	$U_r$	$I_{transfer}$ 或者 ( $0.87 I_{transfer}$ ) 见本标准 6.101.2.3	O O O	$I_{transfer} > 400\text{ A}$ : 0.2~0.3(滞后) $I_{transfer} \leq 400\text{ A}$ : 0.3~0.4(滞后)	负载侧: 本标准的表 2; 电源侧: 见 GB 3804 的负载电流 开断的试验条件
$TD_{no}$	三相 图 5	$U_r$	$I_{no}$ 见本标准的 6.101.2.4	O O O	$I_{no} > 400\text{ A}$ : 0.2~0.3(滞后) $I_{no} \leq 400\text{ A}$ : 0.3~0.4(滞后)	负载侧: 本标准的表 2; 电源侧: 见 GB 3804 的负载电流 开断的试验条件

注:与试验方式 3 和方式 4 相关的功率因数是指负载回路的。

#### 6.101.3 试验中组合电器的状况

应在同一台组合电器上进行全部试验方式的试验,在各试验方式之间,可对组合电器进行检查,但不能检修(更换熔断器除外)。

操作过程中,组合电器不应出现任何损坏或者危及操作者的迹象。

充液式组合电器,不允许喷出火焰,允许喷气或者含油的气体,但不应引起电气击穿。

其他类型的组合电器,可能损坏绝缘水平的火焰或金属粒子不应喷射到制造厂规定的边界之外。

试验后,如果 6.101.1.4 中规定的熔断器完好无损,则认为没有流过明显的泄漏电流。

试验方式  $TD_{inc}$  (试验方式 1) 和  $TD_{rw\ max}$  (试验方式 2) 中,负荷开关应在熔断器撞击器动作后分闸。

注 1:试验中,不论熔断器动作与否,应更换所有的熔断器。

注 2:三相试验中,一只熔断器和/或其撞击器可能没有动作,这是正常的,而不是异常的情况,只要该熔断器无任何外部损伤,它不应使试验无效。

#### 6.101.4 试验后组合电器的状况

试验后,熔断器应满足 GB 15166.2—2008 中 5.1.3 的要求。

每一试验方式之后:

- a) 组合电器的机械功能和绝缘子实际上应和试验前的状况相同。绝缘子上可能沉积有灭弧介质的分解物。
- b) 毋需修整,组合电器应能承受其额定工频耐受电压而不击穿。
- c) 对那些负荷隔离开关组成的组合电器,负荷隔离开关在分闸位置时,其绝缘性能不能因与隔离断口相邻的或并行的绝缘子绝缘性能降低而降低到规定值(见 4.2)以下。并且应满足 GB 1985 中对隔离开关的要求。
- d) 更换熔断器后,组合电器应能连续承载其额定电流。

试验后,组合电器的外观检查和空载操作就足以验证以上要求。

如对组合电器是否满足 6.101.4 的 b)项有怀疑,则按照 GB/T 11022 的 6.2.11 进行相应的工频电压耐受试验。对于灭弧室终身密封的负荷开关-熔断器组合电器,除非密封的灭弧室可以拆开或打开检查,否则,状态检查试验是强制性的。

适用时,如对组合电器是否满足 6.101.4 的 c)项有怀疑,则应按照 GB/T 11022 的 6.2.11 进行相应的工频电压耐受试验。对于灭弧室终身密封的负荷开关-熔断器组合电器,除非密封的灭弧室可以拆开或打开检查,否则,状态检查试验是强制性的。

适用时,如对组合电器是否满足 6.101.4 的 d)项有怀疑,则应在额定电流下增加两次合分操作。

#### 6.102 脱扣联动试验

脱扣联动试验应按如下程序进行:

- a) 对熔断器撞击器和负荷开关脱扣器之间联动的机械可靠性进行试验,共需 100 次操作,其中 90 次(每相 30 次)用一只能量最小的撞击器,其余 10 次用三只能量最大的撞击器同时进行操作。

这一试验方式完成之后,脱扣联动的机械功能应与试验前相同。

- b) 用一只带有已伸出的撞击器的模拟熔断器,按照 GB 15166.2 中规定的范围调整到最小运动行程,依次对每相进行试验,应该证明组合电器中的负荷开关按照其设计要求既不能合闸也不能保持在合闸位置。

注:为了便于这些试验,可采用一只模拟熔断器撞击器操作的装置。

#### 6.103 熔断器的机械震动试验

在 6.102 的脱扣联动试验中,组合电器不装有熔断器撞击器模拟装置的两极中应安装两只熔断器,进行所述的三组 30 次操作试验。所用的两只熔断器中的每一只均应是参考的熔断器清单中的最小额定电流。如果该额定值列有几种型式的熔断器,则试验所用的两只熔断器应是不同类型的。

这个(这些)试验方式之后,熔断器既不能出现任何机械损伤,也不能在阻抗上有所变化。熔断件触头不应出现偏移。

上述试验方式的满意结果,认为是确定使用未经过试验的熔断器时而不需要进一步的机械震动试验的充分证据。

#### 6.104 具有长弧前时间的熔断器的热试验

试验条件与温升试验(6.5)所采用的条件相似。但是,电源的空载电压应足以操作撞击器。

试验应在参考的熔断器清单中的额定电流在同族系列中最大的熔断器上进行。试验电流应使得熔断器的温度达到熔断器制造厂规定的最高温度。

如上所述,试验应施加要求的试验电流直到撞击器动作。

如果替代的熔断器具有比受试熔断器更低的熔断器温度,则上述试验不需要重复。

如果满足下列条件,试验有效:

- a) 撞击器和负荷开关能够正确动作;

b) 熔断器没有出现 GB 15166.2 的 5.1.3 规定的情况。

注：GB 15166.2 中引入了新的试验项目来确定熔断件和相应电流值的最高温度(7.1.5)。

## 7 出厂试验

按 GB/T 11022 的第 7 章的试验内容列出相关的试验项目。

### 7.101 脱扣联动试验

应进行脱扣联动试验来保证组合电器在其操动机构规定的电压和压力限值内满足规定的操作条件。

在这些试验中,主要应该验证:这些操作不会引起组合电器的任何损伤。应安装最大质量和尺寸的熔断器进行试验。对于负荷开关-熔断器组合电器,试验可以在没有熔断器的情况下进行。

对所有的负荷开关-熔断器组合电器,在 6.102 的条件下,模拟最小能量的一只熔断器撞击器动作:每极一次分闸操作。

试验后,应对组合电器进行检查,以证实没有零部件受损和所有零部件处于良好状态。

## 8 负荷开关-熔断器组合电器的选用导则

### 8.101 目的

本选用导则,与负荷开关的选用导则(见 GB 3804—2004 的第 10 章)和熔断器的选用导则(见关于保护变压器选用熔断器的 GB/T 15166.6)一起,是为了利用按 GB 3804、GB 15166.2 和本标准所进行试验而取得的参数值,制定确保负荷开关和熔断器所组成的组合电器安全运行的选用准则。

当用于变压器保护时,有关高压熔断器与其他电路元件配合的准则和如何具体按照它们的时间-电流特性曲线及额定值选取这些熔断器的导则均在 GB/T 15166.6 中给出。

负荷开关的选用导则在 GB 3804—2004 的第 10 章中给出。

本标准中规定的试验方式连同把这些试验用于其他组合电器的相关选用导则已能满足绝大多数用户的要求。然而,在某些情况下,例如,如果型式试验是在另外一个制造厂提供的全范围熔断器的组合电器上完成的,则采用后备保护熔断器时,可能需要进行附加的组合电器试验。

#### 8.101.1 额定短路开断电流

组合电器的额定短路开断电流,在很大程度上,取决于所用的熔断器,而且应大于或等于配电系统中组合电器安装地点的最大预期故障电流水平的有效值。

#### 8.101.2 因变压器二次端子直接短路引起的一次侧故障条件

变压器二次端子直接短路使得一次侧的故障条件具有高的 TRV 值,组合电器中的负荷开关不能开断这种故障。因此,应选择合适的熔断器使其单独将此故障消除,而不把任何开断职能转移给负荷开关。实际上,这就要求确保组合电器的转移电流小于前述的、由下式表示的一次故障电流:

$$I_{sc} = \frac{100I_T}{Z}$$

式中:

$I_T$ ——变压器的一次侧额定电流;

$Z$ ——变压器的短路阻抗百分比。

满足该条件后,相应于故障的转移电流,由于电弧阻抗或故障线路的阻抗降低了电流和 TRV 的幅值并提高了功率因数。

附录 A 中给出了一个例子。

### 8.102 负荷开关和熔断器的配合

#### 8.102.1 额定电流

应该参考 GB 15166.2 的 8.3.2 对熔断器额定电流的注释,熔断器额定电流的选取和熔断器安装在外壳中时对其产生的影响。

负荷开关-熔断器组合电器的额定电流是由负荷开关-熔断器制造厂根据温升试验取得的数据选定

的,并且取决于负荷开关和熔断器的型式及额定值。如果使用地点的环境温度超过规定的环境温度,则组合电器的额定电流必须有所降低。

注:组合电器的额定电流一般是小于熔断器制造厂提供的熔断器的额定电流,但不应小得过多。

#### 8.102.2 低过电流特性

当故障电流低于安装在组合电器中熔断器的最小开断电流时,在熔断器因长时间的内部电弧(见 5.102)损坏之前,组合电器的正确动作是靠一只或几只熔断器的撞击器的弹射操作负荷开关的脱扣机构(因此才使负荷开关分闸)来保证的。

#### 8.102.3 转移电流

组合电器的转移电流取决于熔断器触发的负荷开关分闸时间和熔断器的时间-电流特性。

在转移点附近,三相故障条件下,最快的熔体熔化成为首开极,其撞击器开始使负荷开关分闸。其余两极将承受减小的电流(87%),它或者被负荷开关或者被剩下的熔断器开断。转移点是指负荷开关分闸和熔体熔化同时出现的时刻。

对于给定组合电器的转移电流,按照附录 B 中的规定确定,应小于额定转移电流。

#### 8.102.4 交接电流

组合电器的交接电流值取决于脱扣器触发的负荷开关分闸时间和熔断器的时间-电流特性。顾名思义,它是两条曲线的交点的电流值,超过这一电流,熔断器把开断电流的职能由脱扣器和负荷开关承担过来。

继电器的性能和熔断器的特性应使得交接电流小于组合电器的最大交接电流(见 3.7.112 的定义以及 6.101.2.4 的试验条件)。

#### 8.102.5 型式试验有效性的扩展

现已认识到,对所有的组合电器底座和熔断器组成的组合电器进行试验以及当熔断器更换时,对组合电器进行重复试验是不现实的,本标准规定了温升、关合和开断型式试验的有效性扩展到那些未经过试验的组合电器的条件。

#### 8.103 操作

- a) 在一特定的组合电器中安装的三只熔断器都应是同一型号和同一电流额定值,否则,对组合电器的开断性能将产生不利影响。
- b) 安装的熔断器的撞击器方向正确,对组合电器的正确动作是很重要的。
- c) 当负荷开关-熔断器因三相故障动作时,则有可能出现下列情况:
  - 1) 三只熔断器中两只动作;
  - 2) 三只熔断器均已动作,但其中只有两只撞击器弹出。

三相使用条件下,一组熔断器的这种局部动作,不应该认为是不正常的。

- d) 当系统中无任何明显的故障迹象,而负荷开关-熔断器已动作,则检查动作过的熔断器可为故障的类型和故障电流的近似值提供线索。这样的研究工作最好由熔断器制造厂来进行。
- e) 组合电器中一极或两极的熔断器动作后,建议最好废弃并更换所有的三极熔断器。
- f) 更换熔断器之前,操作者应该证实:熔断器底座与组合电器中所有可能仍带电的零部件在电气上隔离。这一点,当熔断器底座没有可见隔离时尤为重要。

### 9 随询问书,标书和订单一起提供的资料

#### 9.1 随询问书和订单提供的资料

除了 GB 3804 中负荷开关需要提供的资料外,询问者还应规定供应的界限,也就是说,要求的组合电器是(定义为负荷开关-熔断器组合电器)否(定义为负荷开关-熔断器组合电器底座)包括熔断件。

#### 9.2 随标书提供的资料

除了提供 GB 3804 中负荷开关的资料外,组合电器制造厂除了提供额定参数外,还应提供下列资料:

a) 熔断器的备选清单,包括组合电器底座的型号,验证过的最大截止电流,以及对每一个备选的熔断器的下述资料:

- 熔断器型号(品牌、型式、额定值);
- 额定电流;
- 额定短路电流;
- 额定截止电流。

b) 适用时,充入介质(类型和总量)。

有要求时,关于型式试验有效性扩展的相关资料,即:

- 长度(6.5);
- 最大额定电流(6.5);
- 额定功率耗散(6.5);
- 降容(6.5);
- 焦耳积分(6.101.2.1中所用熔断器的数值)。

## 10 运输、储存、安装、运行和维护规则

GB/T 11022 的第 10 章适用,并作如下补充:

高压熔断器,虽然外表结实,但是可能装有相对脆弱的熔体。因此,在准备安装之前熔断器应保存在其具有防护的包装之内,应和继电器、仪表或其他类似元件一样小心处理。如果熔断器已经安装在负荷开关-熔断器单元中,那么在人工将其安装到位时,应暂时拆下熔断器。

## 11 安全性

GB/T 11022 的第 11 章适用。

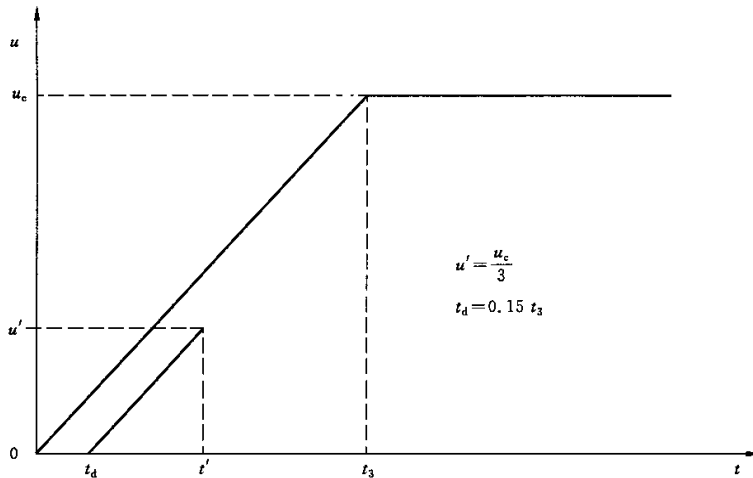


图 1 用两参数参考线和延时线表示规定的 TRV

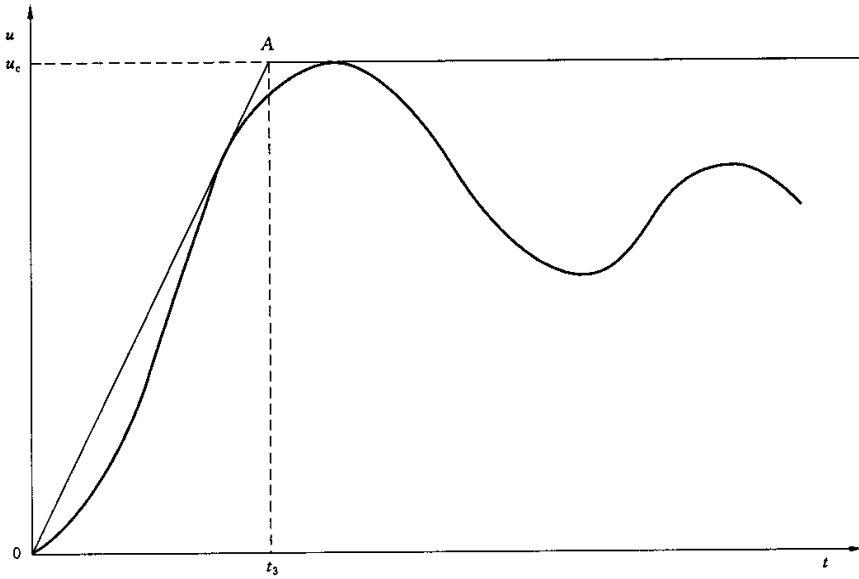


图 2 TRV 的两参数参考线的例子

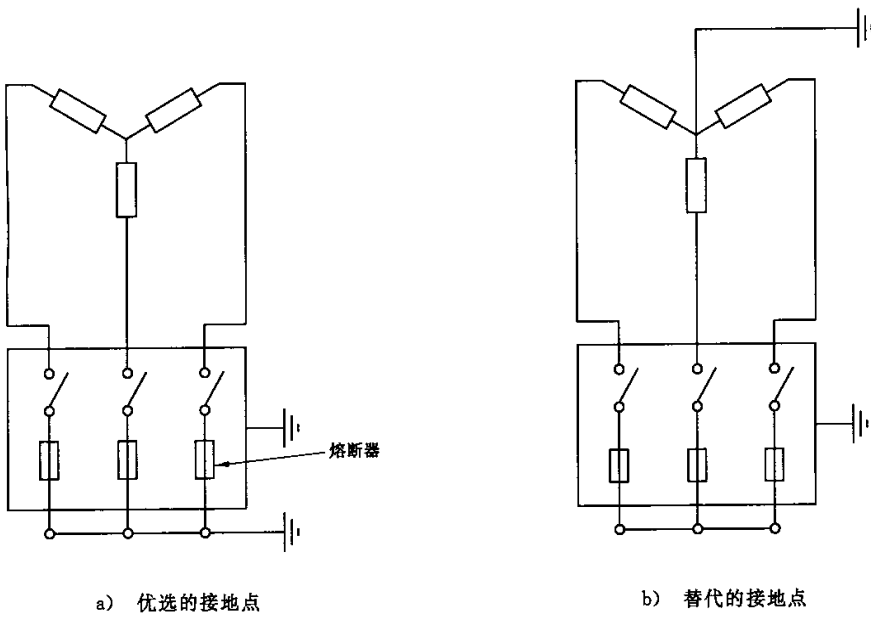


图 3 试验方式  $TD_{1w}$  (试验方式 1) 和  $TD_{1wmax}$  (试验方式 2) 试验回路的布置

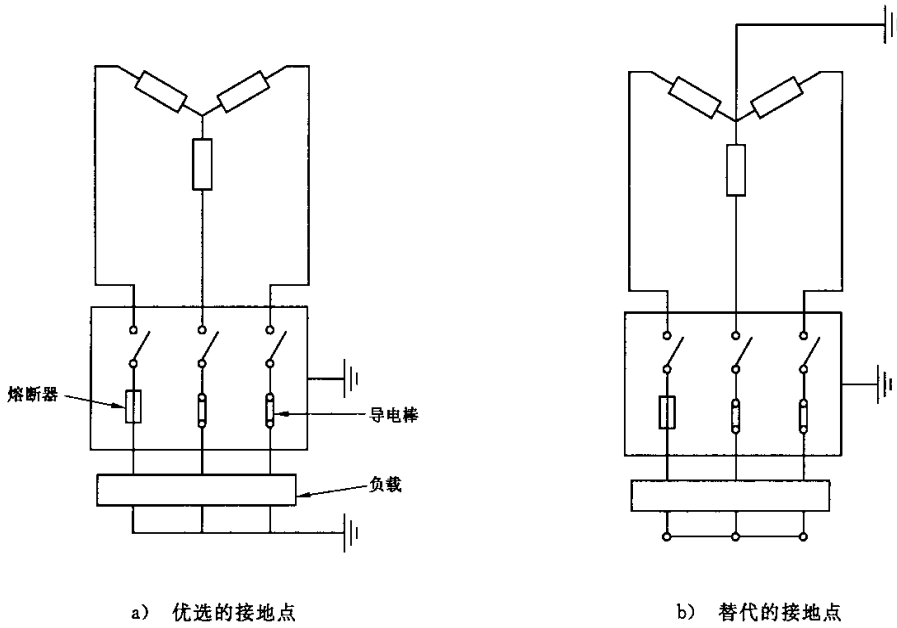


图 4 试验方式  $TD_{transfer}$  (试验方式 3) 试验回路的布置

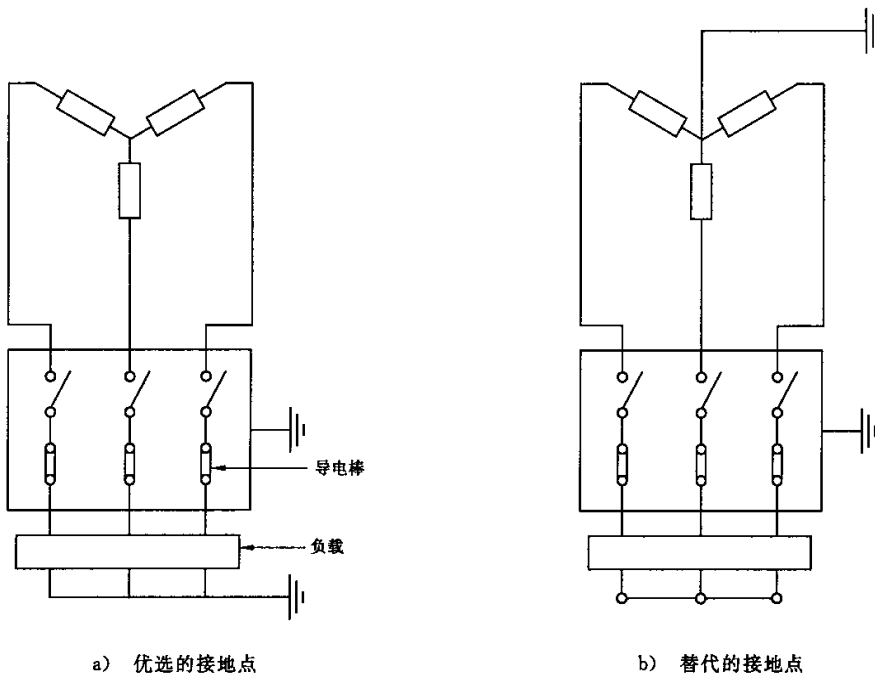
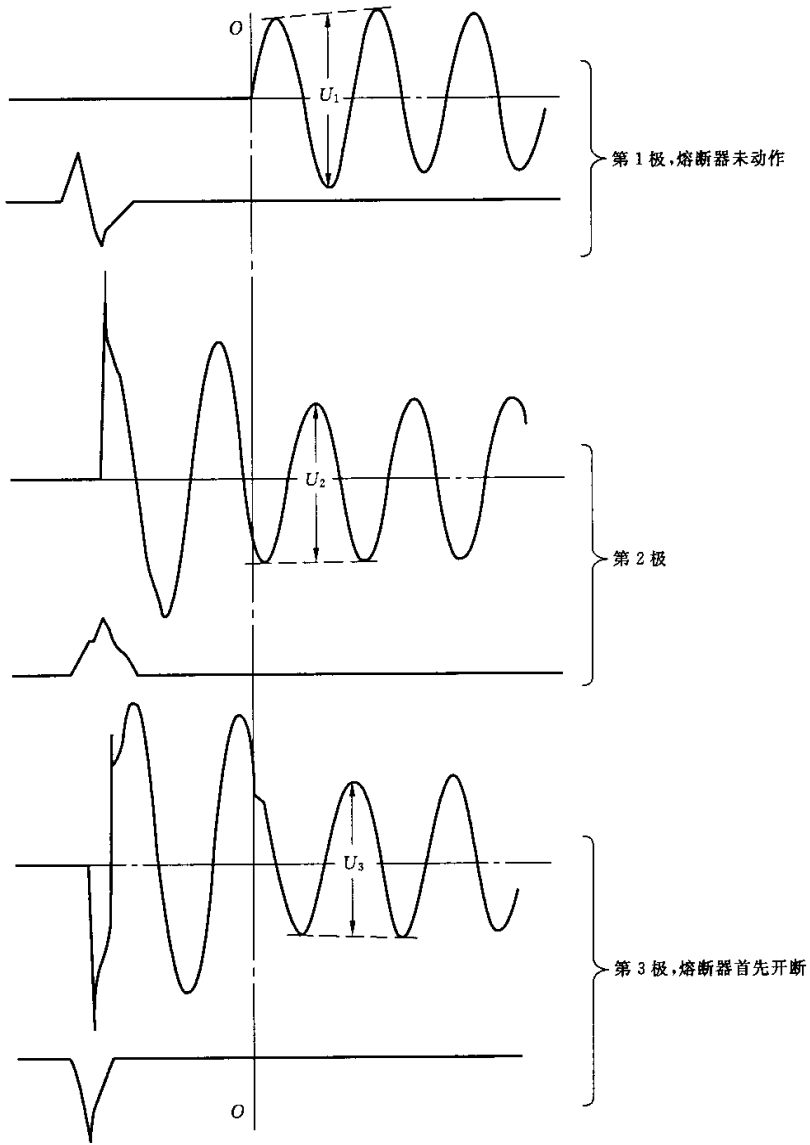


图 5 试验方式  $TD_{fm}$  (试验方式 4) 试验回路的布置





图例

$U_1/2\sqrt{2}$ : 1 极的电压;  $U_2/2\sqrt{2}$ : 2 极的电压;  $U_3/2\sqrt{2}$ : 3 极的电压

1 极、2 极和 3 极的平均电压 =  $\frac{U_1/2\sqrt{2} + U_2/2\sqrt{2} + U_3/2\sqrt{2}}{3}$

OO: 负荷开关的分闸时刻

图 6 工频恢复电压的确定

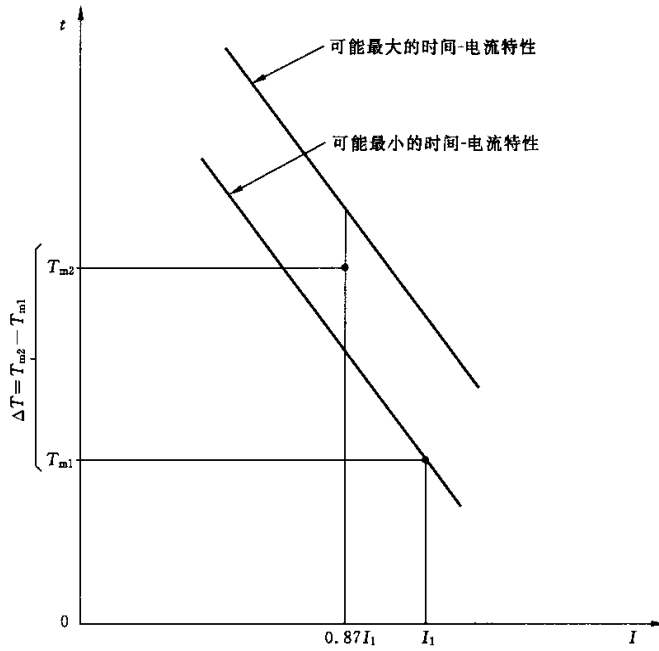


图 7 转移电流的实际确定

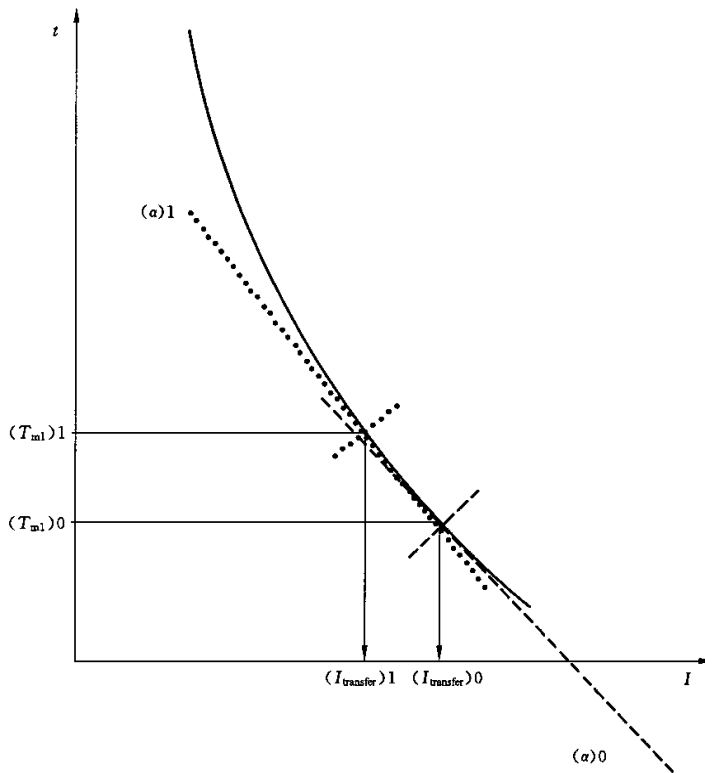


图 8 采用迭代法确定转移电流

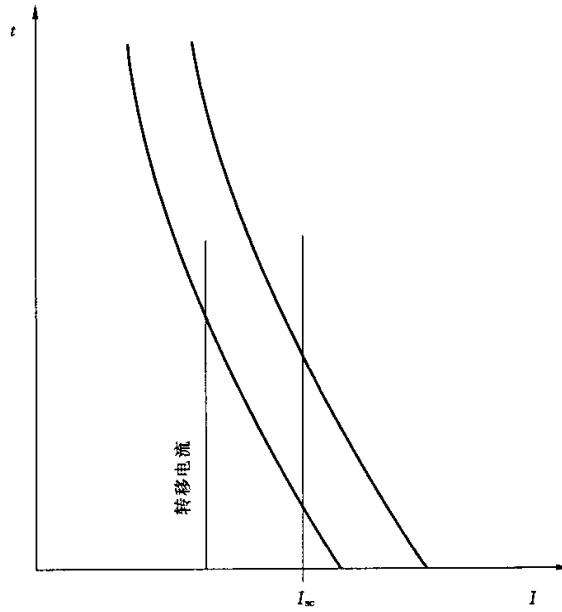


图 9 转移电流与因变压器二次端子短路引起的一次侧故障电流  $I_{sc}$  之间的关系

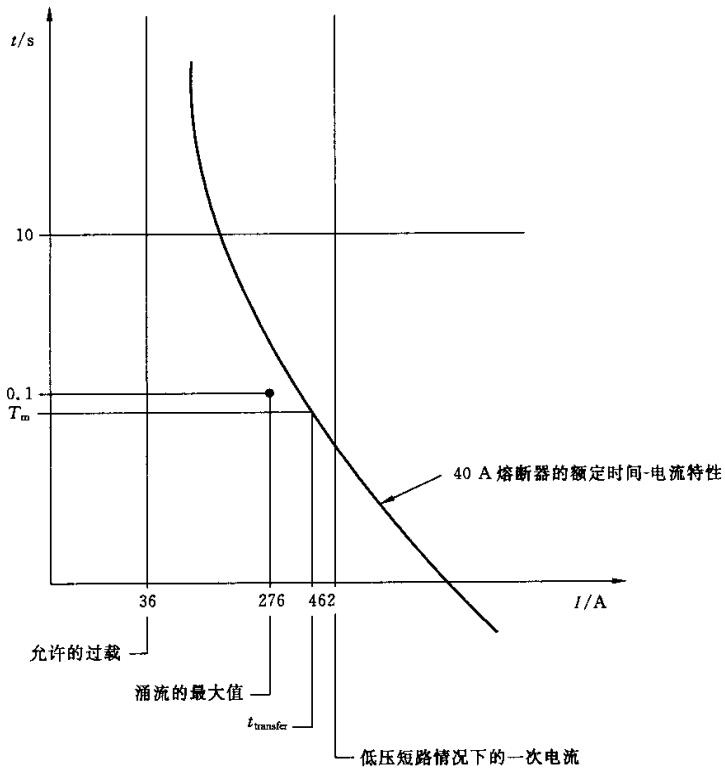


图 10 与保护一台 10 kV~400 kVA 变压器有关的特性

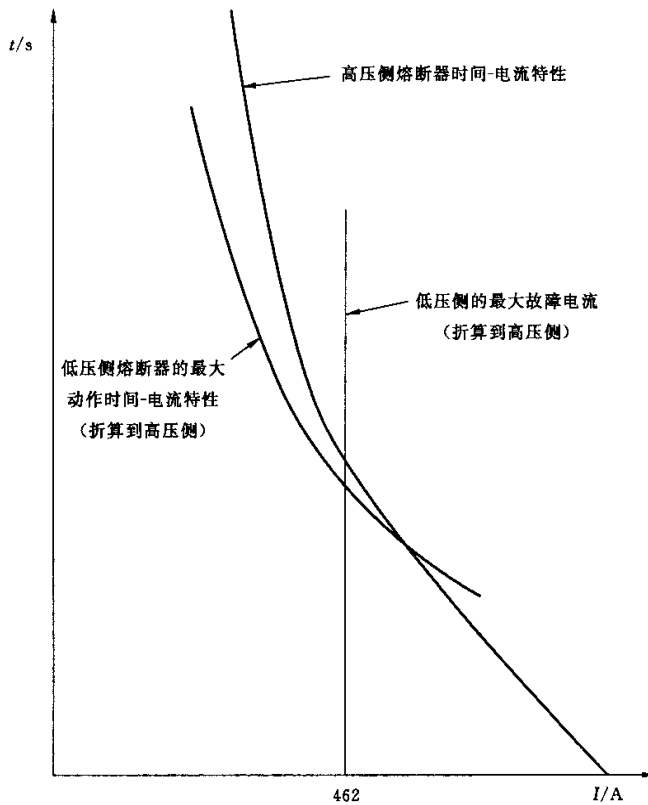


图 11 高压和低压熔断器之间的配合

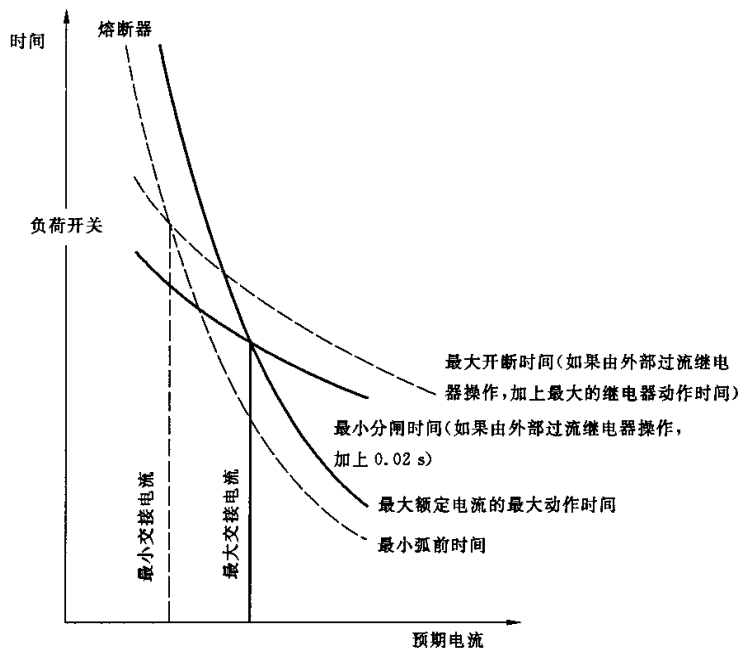


图 12 确定交接电流的特性

## 附录 A

(资料性附录)

## 熔断器、负荷开关和变压器配合的例子

用户根据其具体的运行要求选定变压器,从而确定了满负荷电流和允许过负荷电流。

高压系统的最大故障电流值是已知的。

本示例选取 10 kV、400 kVA 变压器,其所在高压系统最大故障电流为 16 kA:

a) 满负荷电流近似为 23 A;

b) 允许的短时过载假定为 150%,在变压器的“-5%”分接处,即近似为:

$$23 \text{ A} \times 1.05 \times 1.5 \approx 36 \text{ A}$$

c) 最大励磁涌流假定为 12 倍的额定电流,等于:

$$23 \text{ A} \times 12 = 276 \text{ A}$$

持续时间为 0.1 s [GB/T 15166.6 的 4a)]。

现场周围空气温度是 45 °C,也就是说高出标准 5 °C。

假定用户已决定选用某制造厂的一台 12 kV 负荷开关-熔断器组合电器控制和保护变压器。

制造厂应能够提供可以用在组合电器中的熔断器备选清单,并建议选用这些熔断器中哪些比较合适。

负荷开关-熔断器制造厂基于按本标准在负荷开关-熔断器组合电器上所进行的相应试验并利用其有效性的扩展(见 8.102),列出这些熔断器的清单。

假定组合电器制造厂建议选用某个熔断器制造厂某一特定型号的一组 12 kV,40 A,16 kA(至少)的后备保护熔断器。为了核实这一建议,负荷开关-熔断器制造厂将落实:

1) 熔断器可以承受 276 A 变压器励磁电流 0.1 s [GB/T 15166.6 的 4a)]。为此通常是检查熔断器的时间-电流特性并在该点上选择性地留有 20%的距离和/或向熔断器制造厂咨询。

2) 装入熔断器后,负荷开关-熔断器组合电器的电流额定值足以允许在周围空气温度为 45 °C 时变压器周期性过载到 36 A [见 GB/T 15166.6 中的 4b)1)]。

注 1: 装入熔断器后组合电器的电流额定值可能达不到 40 A,尤其在高于标准的环境条件下。负荷开关-熔断器制造厂进行的温升试验或在这些试验基础上进行计算就可以说明组合电器的额定电流值,如在 45 °C 的环境下为 38 A。则将足以满足使用要求。

3) 在熔断器时间-电流特性 10 s 范围内,熔断器的弧前电流足够小以保证可靠地保护变压器 [见 GB/T 15166.6 的 4c)]。为此,制造厂通常通过检查熔断器的时间-电流特性和/或向熔断器制造厂咨询来实现。

4) 熔断器将单独承担变压器二次侧直接短路的故障条件,也就是说,最大一次短路电流

$$\frac{400 \times 100}{10 \times \sqrt{3} \times 5} \approx 462 \text{ A}$$

(在此情况下:变压器的阻抗按 5%考虑)大于装有 40 A 熔断器时组合电器的转移电流(见 3.7.9)。利用 8.102.3 中所述的方法确定转移电流。参考图 10,表明由此确定的转移电流仅为 280 A,本例假定熔断器触发的负荷开关分闸时间为 0.05 s。

5) 假定选用的组合电器的额定转移电流为 1 000 A,则装入 40 A 熔断器后组合电器的转移电流小于其额定转移电流(见 4.104)。

在低压系统中发生相间故障条件下,供电方必须检查这些熔断器与高额定值的低压熔断器的配合问题。

注 2: 这通常是配合的最恶劣条件。

如 GB/T 15166.6 中的 4d)所述的那样,高压熔断器与低压熔断器的时间-电流特性交点处的电流值应大于低压熔断器负载侧的最大故障电流(见图 11)。

**附录 B**  
(规范性附录)  
**确定转移电流的程序**

**B.1 背景资料**

转移电流  $I_{transfer}$  的定义为,在撞击器操作下,开断职能由熔断器转移到负荷开关时的电流。

转移电流发生在第一只熔断器熔断后,负荷开关在撞击器操作下,在第二只熔断器熔断之前或与之同时分断,这是因为熔断器的熔化时间存在着不可避免的差别。

知道了差别,熔断器熔化时间之间的差  $\Delta T$ ,就允许在其与撞击器触发的负荷开关分闸时间之间进行比较。

**B.2  $\Delta T$  的数学确定**

图 8 表示在转移电流范围内可能的最小和最大的熔断器时间-电流特性的小线段。

时间  $T_{m1}$ ,在最小特性上,是在三相故障电流  $I_1$  下首先动作的熔断器的熔化时间。

时间  $T_{m2}$ ,第二动作的熔断器的熔化时间。应该注意到时间  $T_{m2}$ (见图 7)要短于最大时间-电流特性上的两相电流  $0.87 I_1$  对应的时间,这是由于第二个动作的熔断器已经过了  $T_{m1}$  的三相故障电流  $I_1$ 。

时间-电流特性的小线段在双对数坐标下可以被认为近似是直线,它们的关系式为:

$$\lg T_m = -\alpha \lg I + \lg C$$

确定的  $I$  和  $T_m$  之间的关系为:

$$I^\alpha \times T_m = C \quad \dots\dots\dots(B.1)$$

这里  $\alpha$  为斜率; $\lg C$  定义为直线在纵坐标上的截距。

把等式(B.1)用于最小时间-电流特性,则最大时间-电流特性的等式可表示为:

$$I^\alpha \times T_m = C(1+x)^\alpha \quad \dots\dots\dots(B.2)$$

这里  $x$  为两个时间-电流特性之间电流的偏差,而且定义为 100%。

在三相故障电流  $I_1$  经过了时间  $T_{m1}$  后,第一只熔断器熔断, $T_{m1}$  按照最小时间-电流特性等式(B.1)为:

$$I_1^\alpha \times T_{m1} = C \quad \dots\dots\dots(B.3)$$

电流  $I_1$  经过了时间  $T_{m1}$ ,第二只熔断器在两相电流  $0.87 I_1$ ,时间  $T_{m2}$  后熔断。按照最大时间电流特性式(B.2)为:

$$I_1^\alpha \times T_{m1} + (0.87 I_1)^\alpha \times (T_{m2} - T_{m1}) = C(1+x)^\alpha \quad \dots\dots\dots(B.4)$$

合并(B.3)和(B.4)会得到:

$$\Delta T = T_{m2} - T_{m1} = T_{m1} \left[ \frac{(1+x)^\alpha - 1}{0.87^\alpha} \right] \quad \dots\dots\dots(B.5)$$

转移点出现在  $\Delta T$  等于熔断器触发的负荷开关分闸时间  $T_0$ 。

取一个统计的熔断器的时间-电流特性的相对偏差为  $\pm 6.5\%$  ( $\pm 10\%$  的  $\pm 2\sigma$ ),则  $x=0.13$ 。将该值代入式(B.5)中可得出:

$$T_{m1} = T_0 \left[ \frac{0.87^\alpha}{(1+0.13)^\alpha - 1} \right] \quad \dots\dots\dots(B.6)$$

然后,转移电流  $I_{transfer}$  可以从熔断器的最小时间-电流特性导出。

因为斜率  $\alpha$  取决于  $T_{m1}$  的值(图 8),应进行一个重复的计算:首先选取第一个值  $T_{m1}$ ,例如( $T_{m1}$ )<sub>0</sub> 等于  $1.2 T_0$ ,因为它通常接近实际值。然后从最小的时间-电流特性中导出第一个 ( $I_{transfer}$ )<sub>0</sub> 和  $\alpha_0$ 。

利用  $\alpha_0$  和式(B.6)可以利用上述方法计算出新的 ( $T_{m1}$ )<sub>1</sub> 和 ( $I_{transfer}$ )<sub>1</sub> 和  $\alpha_1$ 。假如这个数值和前面

的数值相差不超过 5%，那么就可以把它作为  $I_{transfer}$ 。如果没有，这样的计算应该重新进行，直到两次连续的转移电流的差小于 5%。

**B.3 确定转移电流的简化方法**

取  $\alpha=4$ ，这是熔断器触发的负荷开关分闸时间处在 0.05 s~0.3 s 之间时实践中通常选用的值，则等式(B.5)为：

$$\Delta T = T_{m1} \left[ \frac{(1+0.13)^4 - 1}{(0.87)^4} \right] \dots\dots\dots (B.7)$$

转移点发生在熔断器触发的负荷开关分闸时间  $T_0$  等于  $\Delta T$ ：

$$T_0 = \Delta T = 1.1 \times T_{m1}$$

或者

$$T_{m1} = 0.9 T_0$$

因此，转移电流可以确定为：熔断器的最小时间-电流特性上弧前时间等于  $0.9T_0$  时的电流值。

