



中华人民共和国国家标准

GB 3804—2004

代替GB 3804-1990

3.6 kV~40.5 kV 高压交流负荷开关

High-voltage alternating-current switches for rated voltage above
3.6 kV and up to and including 40.5 kV

(IEC 60265-1:1998 High-voltage switches-part 1:switches for rated
voltage above 1 kV and less than 52 kV, MOD)

2004-05-14 发布

2005-02-01 实施

中华人民共和国国家质量技术监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前 言	V
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 正常和特殊使用条件	1
3.1 正常使用条件	1
3.2 特殊使用条件	1
4 定义	1
5 额定值	4
5.1 额定电压 (U_r)	4
5.2 额定绝缘水平	4
5.3 额定频率 (f_r)	5
5.4 额定电流 (I_r) 和温升	5
5.5 额定短时耐受电流 (I_K)	5
5.6 额定峰值耐受电流 (I_p)	5
5.7 额定短路持续时间 (t_K)	5
5.8 合闸和分闸操动机构以及辅助和控制回路的额定电源电压 (U_a)	5
5.9 合闸和分闸操动机构以及辅助回路的额定电源频率	5
5.10 操作和/或开断用的压缩气源的额定压力	5
5.101 额定有功负载开断电流 (I_1)	5
5.102 额定闭环开断电流 (I_{2a} 和 I_{2b})	5
5.103 额定空载变压器开断电流 (I_3)	5
5.104 额定电缆充电开断电流 (I_{4a})	5
5.105 额定线路充电开断电流 (I_{4b})	5
5.106 特殊用途负荷开关的额定单个电容器组开断电流 (I_{4c})	5
5.107 特殊用途负荷开关的额定背对背电容器组开断电流 (I_{4d})	5
5.108 特殊用途负荷开关的额定背对背电容器组关合涌流 (I_{in})	5
5.109 额定接地故障开断电流 (I_{6a})	6
5.110 接地故障条件下的额定电缆充电和线路充电开断电流 (I_{6b})	6
5.111 特殊用途负荷开关的额定电动机开断电流 (I_7)	6
5.112 额定短路关合电流 (I_{ma})	6
5.113 通用负荷开关的额定开断和关合电流	6
5.114 专用负荷开关的额定值	6
5.115 特殊用途负荷开关的额定值	6
5.116 熔断器保护用负荷开关的额定值	7
6 一般要求	7
7 设计与结构	7
7.1 负荷开关中液体的要求	7
7.2 负荷开关中气体的要求	7
7.3 负荷开关的接地	7

7.4 辅助和控制设备.....	7
7.5 动力操作.....	7
7.6 储能操作.....	8
7.7 不依赖人力的操作.....	8
7.8 脱扣器操作.....	8
7.9 低压和高压闭锁装置.....	8
7.10 铭牌.....	8
7.11 联锁装置.....	8
7.12 位置指示.....	8
7.13 外壳的防护等级.....	8
7.14 爬电距离.....	8
7.15 气体和真空的密封.....	8
7.16 液体的密封.....	8
7.17 易燃性.....	8
7.18 电磁兼容性 (EMC)	8
7.101 关合和开断操作.....	8
7.102 隔离负荷开关的要求.....	8
7.103 机械强度.....	8
7.104 安全位置.....	8
7.105 信号用的辅助触头.....	9
8 型式试验.....	9
8.1 概述.....	9
8.1.1 试验的分组	9
8.1.2 确认试品用的资料	9
8.1.3 型式试验报告包括的资料	9
8.2 绝缘试验.....	9
8.2.1 人工污秽试验.....	9
8.2.2 局部放电试验.....	10
8.3 无线电干扰电压 (RIV) 试验	10
8.4 主回路电阻测量.....	10
8.5 温升试验.....	10
8.6 短时耐受电流和峰值耐受电流试验.....	10
8.7 防护等级验证.....	10
8.8 密封试验.....	10
8.9 电磁兼容性 (EMC) 试验	10
8.101 关合和开断试验.....	10
8.101.1 受试负荷开关的布置	10
8.101.2 试验回路和负荷开关的接地	11
8.101.3 试验频率	11
8.101.4 开断试验的试验电压	11
8.101.5 开断电流	11
8.101.6 短路关合试验的试验电压	12
8.101.7 短路关合电流	12
8.101.8 试验回路	12

T8.101.8.1 有功负载回路（试验方式 1）	12
8.101.8.2 闭环回路（试验方式 2）	12
8.101.8.3 空载变压器回路（试验方式 3）	12
8.101.8.4 容性回路（试验方式 4a、4b、4c和 4d）	13
8.101.8.5 短路关合试验的试验回路（试验方式 5）	14
8.101.8.6 接地故障试验的试验回路（试验方式 6a和 6b）	14
8.101.8.7 电动机回路（试验方式 7）	14
T8.101.9 通用负荷开关的开断试验	14
8.101.10 通用负荷开关的短路关合试验	15
8.101.11 专用负荷开关的试验	15
8.101.12 特殊用途负荷开关的试验	15
8.101.13 开断试验中负荷开关的性能	16
8.101.14 开断试验和短路关合试验后负荷开关的状态	16
8.101.15 型式试验报告	16
8.102 机械操作试验	16
8.102.1 试验时负荷开关的布置	16
8.102.2 通用负荷开关的试验	17
8.102.3 专用负荷开关的试验	17
8.102.4 特殊使用要求的负荷开关延长的机械寿命试验	17
8.102.5 机械试验中和试验后负荷开关的状态	17
8.103 严重冰冻条件下的操作	18
9 出厂试验	18
10 负荷开关的选用导则	18
10.1 概述	18
10.2 影响使用的工况	18
10.3 绝缘配合	19
10.4 负荷开关等级的选择	19
10.4.1 通用负荷开关	19
10.4.2 专用负荷开关	19
10.4.3 特殊用途负荷开关	19
11 随询问单、标书和订单提供的资料	19
11.101 随询问单和订单提供资料	19
11.102 随标书提供的资料	19
12 运输、储存、安装、运行和维护规则	20
13 安全性	20
图 1 有功负载电流开合试验（试验方式 1）的单相试验回路	28
图 1a 总体回路	28
图 1b 三角形连接的负载	错误！未定义书签。
图 1c 星形连接的负载	错误！未定义书签。
图 2 有功负载电流开合试验（试验方式 1）的单相试验回路	错误！未定义书签。
图 3 配电线路闭环和并联变压器闭环电流开合试验（试验方式 2a和 2 b）的三相试验回路	错误！未定义书签。

图 4 配电线路闭环和并联变压器闭环电流开合试验（试验方式 2a 和 2 b）的单相试验回路**错误！未定义书签。**

图 5 短路关合电流试验（试验方式 5）的三相试验回路 **错误！未定义书签。**

图 6 短路关合电流试验（试验方式 5）的单相试验回路 **错误！未定义书签。**

图 7 单相电容器组电流开断试验的预期 TRV 参数限值 31

图 8 接地故障开断电流试验（试验方式 6a）的三相试验回路 **错误！未定义书签。**

图 9 接地故障条件下电缆充电开断电流试验（试验方式 6b）的三相试验回路 .. **错误！未定义书签。**

表 1 通用负荷开关的额定电缆和线路充电开断电流 21

表 2 铭牌（资料） 22

表 3 有功负载电流开断试验电源回路的 TRV 参数¹⁾ 23

表 4a 配电线路闭环开断试验的 TRV 参数 24

表 4b 并联电力变压器电流开断试验的 TRV 参数 24

表 5 通用负荷开关的试验方式——三极联动的、逐极 操作的和单极负荷开关三相试验的试验方式 25

表 6 通用负荷开关的试验方式——逐极操作的三极负荷开关和 用于三相系统中的单极负荷开关的单相试验 25

表 7 特殊用途负荷开关的试验方式——三极联动的 逐极操作的和单极负荷开关的三相试验 26

表 8 特殊用途负荷开关的试验方式——逐极操作的三极负荷开关 和用于三相系统中的单极负荷开关的单相试验⁶⁾ 27

表 9 单相电容器组电流开断试验的预期恢复电压参数值 27

前 言

本标准的全部技术内容为强制性。

本标准是根据 IEC 60265-1: 1998 (IEC 265 的第 3 版)《高压负荷开关第一部分额定电压 1 kV 以上 52 kV 以下的负荷开关》对 GB 3804—90《3~63 kV 交流高压负荷开关》进行全面修订的。本标准与 IEC 60265-1: 1998 的一致性程度为修改采用。本标准的结构和编排与 IEC 60265: 1998 基本一致, 技术内容与之等效。

本标准与 IEC 60265: 1998 的主要差别体现在:

- 适用范围, 删去了 IEC 60265-1: 1998 中额定频率 60 Hz 的有关内容; 根据我国行业分工情况, 适用的系统额定电压从 GB/T 11022 规定中选取了 3.6 kV—7.2 kV—12 kV—24 kV—40.5 kV 五个电压等级, 删去了与我国电网无关的额定电压值;
- 额定电压 40.5 kV 一级电压, 在 IEC 60265-1: 1998 中是介于 38 kV 与 48.3 kV 之间。对应 40.5 kV 级电压, 本标准在表 1 中的额定开断电流值是按插入法确定的; 而在表 3、表 4a、表 4b 中的 TRV 参数是按 IEC 60265-1: 1998 中相应表格提供的计算公式计算确定的;
- 为了避免重复, 本标准删去了 IEC 60265-1: 1998 中 3.8 “定义索引”;
- 本标准内容与 IEC 60265-1: 1998 不同之处均用“脚注”加以说明。

本标准与 GB 3804—90 的主要差别有:

- 适用范围, GB 3804—90 额定电压为 3 kV~63 kV, 本标准额定电压为 3.6 kV~40.5 kV。关于 63 kV 电压应靠标为 72.5 kV, 属于 IEC 60265-2 范围。待对应国标 GB/T 1480—93 修订时考虑。
- 应用和给出的术语大大增加。例如: 对通用负荷开关, 根据开断频繁程度的要求将电寿命分为 E1 级、E2 级、E3 级; 机械寿命分为 M1 级、M2 级等。
- 提供的额定值更加充实, 规定具体。例如: 额定电缆和线路充电开断电流, 按不同电压等级列入表 1;
- 提供的各种电流试验电源的 TRV 参数更加充实和具体, 例如: 新增加的表 3、表 4a、表 4b、表 9 等, 并增加计算公式;
- 详细规定了各种试验方法和程序、将 GB 3804—90 中表 7 细化为表 5、表 6、表 7 和表 8 等; 规定了各种试验回路图, 并给出了回路参数。例如: 图 1a、图 1b、图 1c、图 2、图 3、图 4、图 5、图 6 等。
- 本标准对 GB/T11022-1999 中已有规定的内容直接加以引用而不再重复。对新增加的条款从 101 开始编号。

本标准自实施之日起, 同时代替 GB3804—90。

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归口。

本标准起草单位及成员:

负责单位: 上海华通开关厂: 曲培斌、谢根福、王妙发、谭锦权

参加单位: 西安高压电器研究所: 刘莉

西安高压开关厂: 刘全都、敖列

天水长城开关厂: 刘成学、孙壮丽

北京北开电气股份有限公司：齐希泰
正泰集团成套设备制造有限公司：高诚
上海华银开关厂：彭跃明
华仪电器集团公司：金建华
宁波天安集团股份有限公司：冯保民
重庆高压开关厂：郑立
福州第一开关厂：黄炳文
陕西宝光真空电器股份有限公司：高翔
本标准主要起草人：曲培斌、谢根福
本标准代替标准的历次版本发布情况为：
——GB 3804—83；
——GB 3804—90。

3.6 kV~40.5 kV 高压交流负荷开关

1 范围

本标准适用于额定电压 3.6 kV~40.5 kV，频率为 50 Hz，安装于户内或户外且具有关合和开断电流额定值的三极交流负荷开关和隔离负荷开关。

本标准也适用于这些负荷开关的操动机构及其辅助设备。

隔离负荷开关也应满足 GB 1985 的相关规定。

本标准中的一般原则和规定也适用于单相系统中的单极负荷开关。绝缘试验以及关合和开断试验的要求应满足规定使用场合的要求。

注 1：除非有特别说明，术语“负荷开关”就代表了本标准范围内所有类型的负荷开关和隔离负荷开关。

注 2：接地开关并未包含在本标准范围内。对作为负荷开关组成部分的接地开关的要求包含在 GB 1985 中。

注 3：本标准不适用于通过分、合熔断器来操作、并作为高压熔断器附件的负荷开关。

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 311.1—1997 高压输变电设备的绝缘配合（neq IEC 60071-1:1993）

GB/T 762—1996 标准电流（eqv IEC 60059:1938）

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

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

GB/T 2900.20—1994 电工术语 高压开关设备（neq IEC 60050）

GB/T 11022—1999 高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求（eqv IEC 60694:1996）

GB 16926—1997 交流高压负荷开关—熔断器组合电器（eqv IEC 60420:1990）

IEC 61233: 1994 高压交流断路器—感性负载开合

3 正常和特殊使用条件

3.1 正常使用条件

按 GB/T 11022—1999 中 2.1 的规定。

3.2 特殊使用条件

按 GB/T 11022—1999 中 2.2 的规定。

4 定义

本标准采用了 GB/T 11022—1999 中第 3 章的一些定义，为了便于使用，把其中一部分摘录如下。

4.1

通用术语 general terms

无特别的定义。

4.2

成套设备 assemblies

无特别的定义。

4.3

成套设备的各个部分 parts of assemblies

无特别的定义。

4.4

开关装置 Switching devices

4.4.101

负荷开关 switch

能够在回路正常条件（也可包括规定的过载条件）下关合、承载和开断电流以及在规定的异常回路条件（如短路）下，在规定的时间内承载电流的开关装置。

4.4.102

隔离负荷开关 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。

4.4.103

通用负荷开关 general purpose switch

能够在配电系统中对正常出现的直到其额定开断电流进行关合和开断操作，并能承载和关合短路电流的负荷开关。

4.4.103.1

E1 级通用负荷开关 class E1 general purpose switch

适用于配电系统的正常连续馈电，且不需要进行频繁开合操作的通用负荷开关。

4.4.103.2

E2 级通用负荷开关 class E2 general purpose switch

不需要对主回路的开断部件检查或维护，且在预期的使用寿命期间，其它零件仅需要很少维护的通用负荷开关。

注：很少维护可能包括润滑、更换气体和清洁外表面（适用时）。

4.4.103.3

E3 级通用负荷开关 class E3 general purpose switch

具有频繁开合较大电流和较高频率关合短路能力的通用负荷开关。

4.4.103.4

M1 级通用负荷开关 class M1 general purpose switch

具有 1000 次（操作）机械寿命的通用负荷开关。

4.4.103.5

M2 级通用负荷开关 class M2 general purpose switch

具有 5000 次延长的机械寿命的特殊使用场合的通用负荷开关。

注：特殊用途负荷开关和专用负荷开关也可按 M2 级分类。

4.4.104

专用负荷开关 limited purpose switch

具有额定电流、额定短时耐受电流以及通用负荷开关的一种或几种开合能力的负荷开关。

4.4.105

特殊用途负荷开关 special purpose switch

具有额定电流、额定短时耐受电流、额定短路关合电流以及能够在特殊使用场合下能够特殊运行的负荷开关。

注 1：这种特殊要求的例子如开合电容器组、开合电动机及开合并联电力变压器。

注 2：在某些使用场合，当采用了其它装置关合短路，不使负荷开关关合短路时，不要求短路关合能力，用户应做出相应的规定。

4.4.105.1

单个电容器组负荷开关 single capacitor bank switch

用于开合充电电流的特殊负荷开关。其开合的充电电流值应小于或等于额定单个电容器组开断电流。

4.4.105.2

背对背电容器组负荷开关 back-to-back capacitor bank switch

用于开断负荷开关的电源侧接有一个或多个电容器组，且电容器组充电电流值小于或等于额定背对背电容器组开断电流的特殊用途负荷开关。这种负荷开关应能关合小于或等于其额定电容器组关合涌流的所有电流值。

4.4.105.3

电动机负荷开关 motor switch

用于在稳态和故障条件下开合电动机的特殊用途负荷开关。

4.4.105.4

并联电力变压器闭环负荷开关 parallel power transformer closed-loop switch

用于开合大容量电力变压器并联闭环回路的特殊用途负荷开关。这种负荷开关的典型是用作变压器二次侧电路的中压联络负荷开关，在这种情况下开断电流较大，且瞬态恢复电压（TRV）条件苛刻。

4.5

开关装置的部件 Parts of switching devices

无特殊定义。

4.6

操作 Operation

没有特别定义。

4.7

特性参数 Characteristic quantities

4.7.101

开断能力 breaking capacity

在规定的使用与性能条件下以及在指定电压下，开关装置或熔断器能够开断的预期电流值。

注：规定条件和指定电压均在有关出版物中指出。

4.7.102

有功负载开断能力 mainly active load-breaking capacity

开断有功负载回路，该回路功率因数至少为 0.75，其负载可用电阻和电抗并联表示。

4.7.103

空载变压器开断能力 no-load transformer breaking capacity

开断空载变压器回路的能力。

4.7.104

闭环开断能力 closed-loop breaking capacity

开断闭环配电线路，或开断两个并联电力变压器或多个并联电力变压器的能力。即负荷开关开断后，其两侧均带电，且其端子间的电压基本上小于系统电压。

4.7.105

电缆充电电流开断能力 cable-charging breaking capacity

开断电缆空载回路的能力。

4.7.106

线路充电电流开断能力 line-charging breaking capacity

开断空载架空线路的能力。

4.7.107

单个电容器组开断能力 single capacitor bank breaking capacity

开断接在电源上的单个电容器组回路（此时没有其它电容器组与被开合的电容器组邻近）的能力。

4.7.108

背对背电容器组开断能力 back-to-back capacitor bank breaking capacity

开断接在电源上的电容器组回路（此时有一个或多个电容器组与被开合的电容器组邻近时）的能力。

4.7.109

背对背电容器组关合涌流 back-to-back capacitor bank inrush making current

把一个电容器组投到电源上，这时由于有一个或多个电容器组与被投入的电容器组邻近，因而出现的高频和高幅值的电流。

注：涌流的频率和幅值取决于电容器组之间的电容和电感的数值。

4.7.110

电动机开断能力 motor breaking capacity

开断稳态和失速条件下电动机的能力。

4.7.111

接地故障开断能力 earth fault breaking capacity

在中性点绝缘或谐振接地系统中，负荷开关的负载侧的空载电缆或架空线存在接地故障时开断故障相的能力。

4.7.112

接地故障条件下的电缆充电电流和线路充电电流开断能力 cable-and line-charging breaking capacity under earth fault conditions

在中性点绝缘或谐振接地系统中，在负荷开关的电源侧发生接地故障时切除空载电缆或架空线路健全相的开断能力。

4.7.113

开断电流 breaking current

在开断过程中产生电弧瞬间流过开关装置的一极或流过熔断器的电流。

4.7.114

（峰值）关合电流（peak）making current

在关合操作过程中，电流出现后的瞬态阶段负荷开关一极中电流的第一个半波的峰值。

注1：一极与另一极以及一次操作与另一次操作的峰值不同，因为它取决于电流出现瞬间所对应的外施电压的波形。

注2：对于三相回路，除非另有规定，（峰值）关合电流的数值是指所有相中的最高值。

4.7.115

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。

5 额定值

按 GB/T 11022—1999 第4章的规定，并作如下补充：

5.1 额定电压（ U_r ）

额定电压标准值为：3.6kV—7.2kV—12kV—24kV—40.5kV

5.2 额定绝缘水平

按 GB/T 11022—1999 中 4.2 的规定。

5.3 额定频率 (f_r)

按 GB/T 11022—1999 中 4.3 的规定。

5.4 额定电流 (I_r) 和温升

按 GB/T 11022—1999 中 4.4 的规定。

5.5 额定短时耐受电流 (I_K)

按 GB/T 11022—1999 中 4.5 的规定并作如下补充:

除非用户和制造厂之间另有协议, 否则作为负荷开关不可分割部分的接地开关的额定短时耐受电流应该等于负荷开关的额定短时耐受电流。

5.6 额定峰值耐受电流 (I_p)

按 GB/T 11022—1999 中 4.6 的规定。

5.7 额定短路持续时间 (t_K)

按 GB/T 11022—1999 中 4.7 的规定。

5.8 合闸和分闸操动机构以及辅助和控制回路的额定电源电压 (U_a)

按 GB/T 11022—1999 中 4.8 的规定。

5.9 合闸和分闸操动机构以及辅助回路的额定电源频率

按 GB/T 11022—1999 中 4.9 的规定。

5.10 操作和/或开断用的压缩气源的额定压力

按 GB/T 11022—1999 中 4.10 的规定。

5.101 额定有功负载开断电流 (I_1)

额定有功负载开断电流是负荷开关在其额定电压下能够开断的最大有功负载电流。

5.102 额定闭环开断电流 (I_{2a} 和 I_{2b})

额定闭环开断电流是负荷开关能够开断的最大闭环电流, 可以分别规定配电线路闭环开断电流和并联电力变压器闭环开断电流额定值。

5.103 额定空载变压器开断电流 (I_3)

额定空载变压器开断电流是负荷开关在其额定电压下能够开断的最大空载变压器电流。

5.104 额定电缆充电开断电流 (I_{4a})

额定电缆充电开断电流是负荷开关在其额定电压下能够开断的最大电缆充电电流。

5.105 额定线路充电开断电流 (I_{4b})

额定线路充电开断电流是负荷开关在其额定电压下能够开断的最大线路充电电流。

5.106 特殊用途负荷开关的额定单个电容器组开断电流 (I_{4c})

额定单个电容器组开断电流, 是特殊用途负荷开关在其额定电压下, 且没有其它与被开合的电容器组邻近的电容器组接在负荷开关的电源侧时, 能够开断的最大电容器组电流。

5.107 特殊用途负荷开关的额定背对背电容器组开断电流 (I_{4d})

额定背对背电容器组开断电流, 是特殊用途负荷开关在其额定电压下且有一个或多个与被开合的电容器组邻近的电容器组接在负荷开关的电源侧时, 能够开断的最大电容器组电流。

5.108 特殊用途负荷开关的额定背对背电容器组关合涌流 (I_{in})

额定背对背电容器组关合涌流, 是特殊用途负荷开关在其额定电压下且涌流频率与使用条件一致时, 能够关合的电流峰值。

对于具有额定背对背电容器组开断电流的负荷开关, 额定背对背电容器组关合涌流的规定是强制性的。

注: 背对背电容器组关合涌流的频率在 2 kHz~30 kHz 的范围内, 规定值取决于被开合的电容器组、电源侧的电容器组以及限流阻抗 (如果有的话) 的数值和结构。

不必对负荷开关因背对背电容器组产生的关合涌流规定额定开断值。

5.109 额定接地故障开断电流 (I_{6a})

对于中性点绝缘或谐振接地系统, 额定接地故障开断电流是负荷开关在其额定电压下能够开断的故障相的最大接地故障电流。

注: 即使在去掉谐振的情况下, 中性点绝缘系统的TRV也要比谐振接地系统的TRV严酷, 因此, 为了进行试验, 假定为中性点绝缘系统。

5.110 接地故障条件下的额定电缆充电和线路充电开断电流 (I_{6b})

对于中性点绝缘或谐振接地系统, 接地故障条件下的额定电缆充电和线路充电开断电流是负荷开关在其额定电压下能够开断的健全相中的最大电流。

注: 接地故障条件下的额定电缆充电和线路充电电流是正常条件下的电缆充电和线路充电电流的 $\sqrt{3}$ 倍。这覆盖了单屏蔽电缆时出现的最严酷情况。

5.111 特殊用途负荷开关的额定电动机开断电流 (I_7)

额定电动机开断电流是负荷开关在其额定电压下能够开断电动机的最大稳态电流。参见 IEC 61233。

除非另有规定, 故障条件下的电动机开断电流是电动机额定电流的8倍。

5.112 额定短路关合电流 (I_{ma})

额定短路关合电流是负荷开关在其额定电压下能够关合的最大峰值预期电流。

5.113 通用负荷开关的额定开断和关合电流

通用负荷开关每一个开合方式规定的额定值如下:

- 额定有功负载开断电流等于额定电流;
- 额定空载变压器开断电流等于额定电流的1%;
- 额定配电线路闭环开断电流等于额定电流;
- 额定电缆充电开断电流如表1所示;
- 额定线路充电开断电流如表1所示;
- 额定短路关合电流等于额定峰值耐受电流。负荷开关在其额定电压下应具有成功关合两次或多次额定短路关合电流的能力。

指定用于中性点绝缘或通过高阻抗接地系统中的负荷开关应具有额定接地故障开断电流和接地故障条件下的额定电缆和线路充电开断电流的能力。

额定值的标准数值应该从 GB/T 762 规定的 R10 系列中选取。

如果作为负荷开关不可分割部分的接地开关具有额定短路关合能力, 除非用户和制造厂之间另有协议, 否则该额定短路关合电流应等于负荷开关的额定峰值耐受电流。

注: R10 系列由 1—1.25—1.6—2—2.5—3.15—4—5—6.3—8 及它们与 10ⁿ 的乘积组成。

5.114 专用负荷开关的额定值

专用负荷开关应具有额定电流、额定短时耐受电流的额定值, 并具有通用负荷开关的一种或几种但不是全部的开合能力。如果规定有其它额定值, 其数值应从 R10 系列中选取。

5.115 特殊用途负荷开关的额定值

特殊用途负荷开关应具有额定电流、额定短时耐受电流、额定短路关合电流的额定值, 并具有通用负荷开关的一种或几种开合能力。

根据特殊负荷开关的使用场合, 规定额定值和能力。其额定值应从 R10 系列中选取。可以选择一种或几种下述规定值:

- 并联电力变压器开断能力;
- 单个电容器组开断能力;
- 背对背电容器组开断能力和关合涌流;

——电动机开断能力。

特殊用途负荷开关应该具有5.112 中规定的额定短路关合电流,该短路关合电流可以小于额定峰值耐受电流。

5.116 熔断器保护用负荷开关的额定值

选择负荷开关的短时耐受电流和关合电流额定值时,可以考虑熔断器在短路电流的持续时间和数值方面的限流效应。可以使用限流熔断器或其它类别的熔断器。以最高额定电流的相应熔断器为基础确定额定值。参见 GB 16926。

6 一般要求

本标准的目的是制定对用于配电系统中的通用负荷开关的要求。

通用负荷开关应能满足下述使用要求:

- 连续承载额定电流;
- 开合有功负载;
- 开合配电闭环电路;
- 开合空载变压器;
- 开合空载电缆和架空线的充电电流;
- 在规定的时间内承载短路电流;
- 关合短路电流。

用于中性点绝缘系统或中性点通过高阻抗接地的系统中的通用负荷开关还应具有故障条件下的开合能力。

本标准下一步的目标是制定用于配电系统中的特殊用途和专用负荷开关的要求。

专用负荷开关应具有额定电流、额定短时耐受电流以及通用负荷开关的一种或几种开合能力,但不是全部。

特殊用途负荷开关应具有额定电流、额定短时耐受电流、额定短路关合电流,另外,还能使用于下述一种或几种情况:

- 开合单个电容器;
- 开合背对背电容器组;
- 开合并联大容量变压器构成的闭环电路;
- 开合稳定状态下和故障条件下的电动机。

假定按照制造厂的说明书进行负荷开关的分闸操作和合闸操作,关合操作可以紧接在开断操作之后,但开断操作不应紧接在关合操作之后,因为此时的开断电流可能超过负荷开关的额定开断电流。

7 设计与结构

按 GB/T 11022—1999 中第 5 章规定,并作如下所示的补充和修改:

7.1 负荷开关中液体的要求

按 GB/T 11022—1999 中 5.1 的规定。

7.2 负荷开关中气体的要求

按 GB/T 11022—1999 中 5.2 的规定。

7.3 负荷开关的接地

按 GB/T 11022—1999 中 5.3 的规定。

7.4 辅助和控制设备

按 GB/T 11022—1999 中 5.4 的规定。

7.5 动力操作

按 GB/T 11022—1999 中 5.5 规定,并增加下述限制。

仅允许对不具有短路关合能力的专用负荷开关进行人力操作。

7.6 储能操作

按 GB/T 11022—1999 中 5.6 的规定。

7.7 不依赖人力的操作

按 GB/T 11022—1999 中 5.7 的规定。

7.8 脱扣器操作

按 GB/T 11022—1999 中 5.8 的规定。

7.9 低压和高压闭锁装置

按 GB/T 11022—1999 中 5.9 的规定。

7.10 铭牌

按 GB/T 11022—1999 中 5.10 的规定。负荷开关及其操动机构的铭牌的内容按表 2 的规定。

7.11 联锁装置

按 GB/T 11022—1999 中 5.11 的规定。

7.12 位置指示

按 GB/T 11022—1999 中 5.12 的规定。

应能清楚地指示出负荷开关的分闸和合闸位置。如果满足下列条件之一就认为达到了要求:

- a) 间隙或隔离断口是可见的;
- b) 每一个动触头的位置通过可靠的指示装置指明。

注 1: 可见的动触头可以作为指示装置。

注 2: 对于联动的负荷开关(所有极作为一个单元操作),允许采用公用的指示装置。

注 3: 可靠的指示装置的规定见 GB/T 1985。

7.13 外壳的防护等级

按 GB/T 11022—1999 中 5.13 的规定。

7.14 爬电距离

按 GB/T 11022—1999 中 5.14 的规定。

7.15 气体和真空的密封

按 GB/T 11022—1999 中 5.15 的规定。

7.16 液体的密封

按 GB/T 11022—1999 中 5.16 的规定。

7.17 易燃性

按 GB/T 11022—1999 中 5.17 的规定。

7.18 电磁兼容性(EMC)

按 GB/T 11022—1999 中 5.18 的规定。

7.101 关合和开断操作

所有的负荷开关都应能够关合其额定关合电流。

所有的负荷开关都应能够在规定的恢复电压下开断小于或等于其额定开断电流的所有电流。

7.102 隔离负荷开关的要求

作为隔离负荷开关应满足 GB/T 1985 中对隔离开关规定的要求。

7.103 机械强度

如果按照制造厂的说明进行安装,负荷开关应能承受制造厂规定的端子机械负载以及电动力,而不降低它们的可靠性及载流能力。

7.104 安全位置

负荷开关包括其操动机构的结构，应在由于重力、振动、合理的撞击或操动机构连接件的突然接触而产生的力以及电动力的作用下，仍保持其分闸或合闸位置。

负荷开关或其操动机构应具有防止误操作的功能。

7.105 信号用的辅助触头

在动触头确实达到能够安全承载额定电流、峰值耐受电流和短时耐受电流之前，合闸位置的信号不应出现。

在动触头到达相应的间隙或间隙至少为 80% 隔离距离，或者确实已达到完全分闸位置之前，分闸位置的信号不应出现。

8 型式试验

按 GB/T 11022—1999 中第 6 章规定，并作如下补充和修改。

8.1 概述

型式试验的目的是为了验证高压负荷开关及其操动机构和辅助设备的性能。

型式试验包括：

a) 正常的型式试验

- 绝缘试验，包括雷电冲击电压耐受试验、工频电压耐受试验及辅助和控制回路的工频电压耐受试验；
- 温升试验；
- 主回路电阻测量；
- 短时耐受电流和峰值耐受电流试验；
- 关合和开断能力试验；
- 机械操作和机械寿命试验；
- 防护等级验证；
- 密封试验；
- 电磁兼容性试验；

除主回路电阻测量外，所有上述试验都应在完整的负荷开关（充有规定类型和数量、规定密度的气体或如有要求时降低密度的气体）及其操动机构和辅助设备上进行。

b) 根据用户特殊要求进行的特殊型式试验

- 验证负荷开关按用户要求并超出正常型式试验范围的开断和关合电流能力试验
- 验证在严重冰冻条件下可靠操作性能的试验；
- 验证在污秽大气条件下外绝缘性能的试验；
- 验证在电缆与负荷开关连接的系统中，负荷开关能够耐受为电缆绝缘试验施加的直流试验电压的试验。确定试验电压时，应考虑到负荷开关电源侧的交流电压。

8.1.1 试验的分组

对于正常的型式试验，按 GB/T 11022—1999 中 6.1.1 的规定。对于附加的型式试验，可以使用附加的试品。

8.1.2 确认试品用的资料

按 GB/T 11022—1999 中 6.1.2 的规定。

8.1.3 型式试验报告包括的资料

按 GB/T 11022—1999 中 6.1.3 的规定。

8.2 绝缘试验

按 GB/T 11022—1999 中 6.2 规定，并按下述修改。

8.2.1 人工污秽试验

GB/T 11022—1999 中 6.2.8 规定用于户外设备。对于户内设备不需要进行此试验。

8.2.2 局部放电试验

GB/T 11022—1999 中 6.2.9 有关规定由下述内容替代：

不需要对完整的高压负荷开关进行局部放电试验。然而负荷开关的部件应满足相关标准规定的局部放电值。

8.3 无线电干扰电压（RIV）试验

不要求进行无线电干扰电压试验。

8.4 主回路电阻测量

按 GB/T 11022—1999 中 6.4 的规定。

8.5 温升试验

按 GB/T 11022—1999 中 6.5 的规定。

8.6 短时耐受电流和峰值耐受电流试验

按 GB/T 11022—1999 中 6.6 的规定。

8.7 防护等级验证

按 GB/T 11022—1999 中 6.7 的规定。

8.8 密封试验

按 GB/T 11022—1999 中 6.8 的规定。

8.9 电磁兼容性（EMC）试验

按 GB/T 11022—1999 中 6.9 的规定。

8.101 关合和开断试验

8.101.1 受试负荷开关的布置

受试负荷开关应完整地安装在它自己的支架或等效的支架上。它的操动机构应按规定的方式进行操作，特别是如果操动机构是电动的或气动的，则应分别在最低电源电压或最低空气压力下操作。

在进行关合和开断试验之前，应进行空载操作，并且应记录负荷开关动作特性的详细资料，如运动速度、合闸时间和分闸时间。

如果适用，试验应在开断用气体的最低功能压力下进行。

对于人力操作的负荷开关，可以通过遥控和动力操作方式进行操作，只要此时触头的运动与人力操作时的等效。制造厂应指明触头分离后要求触头运动的最低速度。关合和开断试验代表性的次数（为每一个试验方式总次数的 50%）应在最低操作力下进行。

对于不依赖于人力操作的负荷开关，可以通过可能实现遥控关合的方式进行操作。

应该对负荷开关某个端子的带电效应给予考虑。运行中的负荷开关可以从两侧供电时，若负荷开关一侧的实际布置不同于另一侧时，则试验回路的电源侧应接到能代表最繁重工作条件的那一侧。如有怀疑，每一试验方式总次数 50% 的合—分操作应在试验回路的电源接到负荷开关的一侧进行，剩余 50% 的合—分操作应在电源接到负荷开关的另一侧上进行。

除了在容性电流开合试验中所指明的情况外，三极操作的负荷开关的关合和开断试验应进行三相试验。对于逐极操作的三极负荷开关或用于三相系统中的单极负荷开关的关合和开断试验可以进行单相试验。

对于正常安装在金属外壳内且在开断和关合过程中具有火焰或金属粒子喷射特性的负荷开关，要求按照下述程序进行试验，试验时负荷开关应安装在金属外壳内或用金属屏，置于带电部件的附近，带电部件和金属屏间的距离应由制造厂规定。金属屏、框架和其它正常接地部件应当与地绝缘，并通过由一段直径为 0.1mm、长度为 5cm 的铜丝构成的熔丝接地。该熔丝也可以连接到变比为 1：1 的电流互感器的二次侧。电流互感器的端子应该通过火花间隙或避雷器来保护。试验后，如果该熔丝无损伤则可以认为没有出现明显的泄漏电流。也可以采用其它能探测过大的泄漏电流的方法。

8.101.2 试验回路和负荷开关的接地

除容性电流开合试验外，三极操作的负荷开关的关合和开断试验应在电源中性点或负载中性点接地的三相试验回路中进行。在任一种情况下，试验回路和负荷开关的框架应接地，使得熄弧后的带电部件和地之间及负荷开关断口间的电压条件重现运行中的电压条件。

对于逐极操作的三极负荷开关或用于三相系统中的单极负荷开关的单相开断试验，应该在负荷开关一个端子接到电源且另一个端子接到负载的情况下进行。电源和负载的共用连接点应接地。如图 2 和图 4 所示的例子。容性试验回路参见 8.101.8.4。

对于要求电源及负载中性点都接地的试验电流，电源的零序阻抗应小于电源侧正序阻抗的 3 倍。

试验报告中应注明所有试验所采用的接线方式。

注：通用负荷开关推荐的接地连接方式是基于额定电压 40.5 kV 及以下，在大多数系统不接地（电源或负载或两者）的条件下确定的。对于容性电流开合试验，应在能够重现规定使用的额定值和接地条件的情况下进行。

8.101.3 试验频率

负荷开关应在额定频率（偏差为 $\pm 10\%$ ）下进行试验。但是为了试验方便，允许与上述允差有一些偏离。例如，额定频率为 50 Hz 的负荷开关可在 60 Hz 下进行试验，反之亦然。

但在解释试验结果时应慎重，要考虑到所有显而易见的事实。如负荷开关的类型和所进行试验的类型。

注：在某些情况下，负荷开关用在 60 Hz 和用在 50 Hz 时额定特性可能会有差异。

8.101.4 开断试验的试验电压

除了表 5 所列出的规定试验方式外，三相试验的工频试验电压应等于负荷开关的额定电压。容性电流开合试验时，三极操作负荷开关的单相试验，其试验电压在 8.101.8.4 b) 中给出。

如果对逐极操作的三极负荷开关或用于三相系统中的单极负荷开关进行单相试验，试验电压应按表 6 的规定选取。

容性负载试验电压应在触头刚分前测得，其它试验电压应在开断后立刻测量，并且应尽可能地在靠近负荷开关的端子处测量电压，也就是说，在负荷开关的端子和测量点之间无明显的阻抗。对于三相试验，试验电压应该用相—相试验电压的平均值表示。任何两相间的试验电压与平均试验电压的偏差不应超过 10%。

电弧熄灭后工频试验电压应至少持续 0.3 s。

8.101.5 开断电流

开断电流应是衰减可忽略不计的对称电流。负荷开关的触头在接通电路时所产生的瞬态电流消失之前不应分离。

注：如果直流分量等于或小于 20%，则认为开断电流的直流分量值可以忽略不计。

三相试验的开断电流应为表 5 中指出的数值，且为所有极中测得的开断电流的平均值。

平均电流值和任一极中的电流值的差不应超过平均电流值的 10%。

单相试验的开断电流应为表 6 中所示的数值。

容性电流开合试验的试验电流波形应是正弦波。如果电流的有效值与基波分量有效值之比不超过 1.2，则认为就达到了这一要求。试验电流在每一工频半波内过零不应多于一次。

应按下列项目表征开断能力：

- a) 试验电压；
- b) 开断电流；
- c) 回路的功率因数；
- d) 试验回路；
- e) 瞬态恢复电压参数；
- f) 合—分操作循环的次数。

8.101.6 短路关合试验的试验电压

应在负荷开关的额定电压下对三极联动的负荷开关进行三相试验。用于三相系统中的单极负荷开关或逐极操作的三极负荷开关的试验电压见表 6。

8.101.7 短路关合电流

短路关合电流应该用关合电流峰值和关合电流的对称有效值表示。对于通用负荷开关，每一极中电流的对称有效值在 0.2s 时至少应为额定短时耐受电流的 80%，短路电流的持续时间至少应为 0.2s。负荷开关应能关合电压波形上任一点出现预击穿时的电流。两种极端的情况规定如下：

- a) 在电压峰值处关合，将产生对称的短路电流和最长的预击穿电弧；
- b) 在电压零点关合，将产生完全非对称的短路电流而没有预击穿。

8.101.10 中提出的试验程序的目的是为了证明负荷开关满足这些要求的能力。

通用负荷开关应能在低于其额定电压且可能关合完全非对称电流的电压下运行，电压的下限，如果有的话，应由制造厂规定。

应用下述项目来表征短路关合电流的性能：

- a) 试验电压；
- b) 用非对称关合的峰值和对称关合的有效值表示的关合电流；
- c) 短路电流的持续时间；
- d) 试验回路；
- e) 关合操作的次数。

8.101.8 试验回路

开断和关合试验应采用 8.101 中指出的三相试验回路或单相试验回路。

8.101.8.1 有功负载回路（试验方式 1）

图 1 和图 2 的试验回路由电源回路和负载回路组成。电源回路总的串联阻抗应为电抗和电阻串联，且功率因数不超过 0.2。试验方式 1（在 100% 额定电流时）时电源回路的阻抗应为试验回路总阻抗的 $(15 \pm 3)\%$ 。同样的电源回路阻抗也可用于较低电流值的所有试验。

代表电源侧回路的阻抗可以接在负荷开关的电源侧或分开在两侧。在出线端故障的条件下，电源回路的预期瞬态恢复电压，不应比表 3 中规定的偏轻。负载回路应由电抗器和电阻并联组成且功率因数为 0.7 ± 0.05 。根据制造厂的意愿也可以采用较低的功率因数。

注：目前中压系统的 TRV 值由 CIGRE 正在研究之中。因此，本试验方式规定的数值可能要修订。

8.101.8.2 闭环回路（试验方式 2）

- a) 配电线路的回路（试验方式 2a）

图 3 和图 4 的试验回路中的电抗和电阻串联且功率因数不超过 0.3。负载阻抗 (Z_L) 可以在负荷开关的电源侧、负载侧或者分开。如果负载阻抗接在负载侧，则电源侧的阻抗 (Z_S) 应尽可能的小，但其短路电流不应超过负荷开关的关合电流。预期瞬态恢复电压不应比表 4a 中的规定值偏轻。

注：目前中压系统的 TRV 值由 CIGRE 正在研究之中。因此，本试验方式规定的数值可能要修订。

在开路状态时，三相试验的相—相试验电压应为表 5 中指出的额定电压的 20%。逐极操作的三极负荷开关或用于三相系统中的单极负荷开关单相试验时的试验电压见表 6。

- b) 特殊用途负荷开关的并联电力变压器回路（试验方式 2b）

图 3 和图 4 的试验回路中的电抗和电阻串联且功率因数不超过 0.2。预期瞬态恢复电压不应比表 4b 中的规定值偏轻。

在开路状态时，三极负荷开关三相试验时的相—相试验电压应如表 7 中指出的额定电压的 15%。逐极操作的三极负荷开关或用于三相系统中的单极负荷开关的单相试验的试验电压见表 8。

8.101.8.3 空载变压器回路（试验方式 3）

正常情况下不要求进行本方式的试验。如果要求进行试验，推荐开合典型的变压器。

8.101.8.4 容性回路（试验方式 4a、4b、4c 和 4d）

a) 概述

试验通常在试验室进行。但是，也可以进行现场试验。对于现场试验，应采用实际的线路、电缆和电容器组。

对于试验室试验，可以用由电容器、电抗器和电阻等集中元件组成的人工回路部分或全部代线路或电缆。

应进行三相试验。但是，对于容性电流开合试验也可允许进行三极负荷开关的单相试验室试验。单相电容器组电流开合试验回路的规定值可以用负荷开关预期恢复电压规定值代替，如表 9 所给出的和图 7 的说明。

b) 试验电压

三相试验的工频试验电压列于表 5 中，三极联动负荷开关单相试验的试验电压应等于 $U_r/\sqrt{3}$ 与下列系数之一的乘积。这些试验电压适用于极间不同期性等于或小于 $1/6$ 周期的负荷开关：

- 1.0，适用于电源系统的中性点接地时开合中性点接地的电容器组和屏蔽电缆；
- 1.1，适用于电源系统的中性点接地时开合铠装电缆；
- 1.2，适用于电源系统的中性点接地时开合架空配电线路；
- 1.3，适用于电源系统的中性点接地时开合中性点不接地的电容器组；
- 1.4，适用于电源的中性点接地以外的系统时，开合电容器组、线路和电缆。
- 对于不同期性大于 $1/6$ 周期的三极负荷开关，既可以进行三相试验，也可以进行单相试验，采用表 6 或表 8 中的试验电压。

注 1：如果没有出现重击穿，在 60 Hz 时进行的试验可以用来证明 50 Hz 时的开断性能。

注 2：只要负荷开关断口间的电压在第一个 8.3 ms 以内不小于按 60 Hz 试验时的规定电压，则在 50 Hz 下进行的试验，可以用来证明负荷开关在 60 Hz 时的性能。如果因为瞬时电压高于在 60 Hz 试验时的规定电压，而在 8.3 ms 以后出现重击穿，且负荷开关具有非常低的重击穿概率，则该试验方式应按对于 60 Hz 试验所规定的试验电压，在 60 Hz 下重复进行。如果没有出现重击穿，则认为负荷开关通过了该试验。

注 3：出现重击穿时，表示线路、电缆和电容器组的试验室试验回路不适合于确定可能产生的过电压幅值，它们仅可用来验证开合性能。

c) 电源回路的特性

对于线路充电电流和电缆充电电流开断试验，电源侧电路应为有功负载开合试验所规定的回路（包括 TRV 控制用的电容和电阻）。

对于单个电容器组开合试验，电源回路的特性是其电压变化不应超过 3%，预期短路电流不应超过负荷开关的额定短时电流。在端子故障条件下的预期 TRV 参数不应比表 3 中规定的 TRV 参数偏轻。

对于背对背电容器组开断电流试验，电源回路的电容以及电源侧电容和负载侧电容间的阻抗应能在 100% 额定背对背电容器组开断电流的试验时，产生额定电容器组关合涌流。电源回路的预期瞬态恢复电压，在端子故障下，取决于电源回路的电容。

注 1：如果负荷开关用在电源回路有一定长度的电缆网络中，则电源回路可以采用适当的附加电容。

注 2：对于重击穿概率很低的负荷开关进行背对背电容器组电流开合试验，且单独进行关合试验时，则开断试验可以选用较低的电源回路电容。

d) 电源回路的接地

对于三相试验，应按下述规定接地：

- 如果用在中性点绝缘和谐振接地系统中的负荷开关试验时，电源侧的中性点应绝缘以获得 1.5 的首开极系数；

注：尤其是对线路充电电流开断试验，为了获取 1.5 的首开极系数，可能有必要将 TRV 控制元件对地隔离，作为替代的方法，负载回路的中性点也可以对地隔离。

——如果用于中性点接地系统中的负荷开关，电源回路的中点性应接地，电源侧的零序阻抗应小于 3 倍的正序阻抗。

对于单相试验室试验，可以把单相电源回路的任一端子接地。

e) 开合容性回路的一般特性

对于三相试验，开合容性回路的接地应和负荷开关的使用场合一致。

容性回路特性包括所有必要的测量装置，如分压器等，应该使被开合的电容上的电压衰减，在电弧熄灭后 300 ms 的间隔处不超过 10%。这一要求对于现场试验不适用。

注：因为该电压衰减受到容性回路中的电器如电压互感器的影响很大，所以，应采用适当的分压器进行测量。

f) 电缆充电回路（试验方式 4a）

可以使用电容器来模拟屏蔽电缆和铠装电缆。铠装电缆通常用在 15kV 及以下的系统中。用电源中性点接地电源对三芯铠装电缆进行三相试验，容性回路的正序电容应近似等于两倍的零序电容。对于电源中性点不接地的三相试验，该要求是不必要的。

如果采用电容器模拟电缆，不超过容抗值 5% 的无感电阻应和电容器串联，更高的值可能会对恢复电压产生不良影响。如果涌流的峰值仍然高得不可接受，只要开断瞬间的电流和电压条件以及恢复电压不会显著地偏离规定值，则可以采用替代的阻抗。

注 1：短的架空线可以和进行试验的电缆串联，只要其线路充电电流不超过 1% 的电缆充电电流。

注 2：使用电容器模拟电缆可能不会准确地反映现场条件，这取决于开关装置的特性。

g) 线路充电回路（试验方式 4b）

可以使用电容器来模拟线路，对于电源中性点接地的三相试验，容性回路的正序电容大约应为 3 倍的零序电容。对于电源中性点不接地的三相试验，该要求是不必要的。

如果采用电容器模拟架空线，不超过容抗值 5% 的无感电阻应和电容器串联，更高的值可能会对恢复电压产生不良影响。如果涌流的峰值仍然高得不可接受，只要开断瞬时的电流和电压条件以及恢复电压不会显著地偏离规定值，则可以采用替代的阻抗。

注 1：短的电缆可以和进行试验的架空线串联，只要其电缆充电电流小于 20% 架空线充电电流。

注 2：使用电容器模拟架空线路可能不会准确地反映现场条件，这取决于开关装置的特性。

h) 特殊用途负荷开关的电容器组回路（试验方式 4c 和 4d）

对于三相试验，应根据负荷开关的额定值或使用情况以及电源回路中性点的接地情况，来决定电容器组的中性点绝缘还是接地。

8.101.8.5 短路关合试验的试验回路（试验方式 5）

三相试验的试验回路应如图 5 所示。逐极操作的三极负荷开关或用在三相系统中的单极负荷开关的单相试验采用的试验回路应如图 6 所示。

8.101.8.6 接地故障试验的试验回路（试验方式 6a 和 6b）

应采用图 8 和图 9 的试验回路，且其电源阻抗（ Z_s ）应等于通用负荷开关试验方式 1 的试验回路的电源侧阻抗。

应采用其阻值不超过容抗值 5% 的无感电阻与电容器串联。

8.101.8.7 电动机回路（试验方式 7）

IEC 61233 适用。

8.101.9 通用负荷开关的开断试验

E1、E2 和 E3 级负荷开关要求的操作次数、试验电压和试验电流，三相试验的见表 5，单相试验的见表 6。试验方式 1 到 4 以及如果适用时的试验方式 6 应在同一台负荷开关上进行，可以采用任何方便的顺序进行试验。在该试验程序过程中负荷开关不应修整。

对于试验方式 1 到 4 和 6 应按关合—开断操作循环进行。分闸操作应紧跟合闸操作，两次操作间的时延应足够瞬态电流的衰减。如果受负荷开关的设计性能或试验站的限制，分闸和合闸操作可以分

开进行。合闸和分闸操作的时间间隔通常应不超过 3 min。为了方便,也可以进行分—合操作,但开断电流应符合 8.101.5。

注 1: 如果试验方式 1 中的 TRV 参数等于或者严酷于试验方式 2a 要求的 TRV 参数,且只要在 100% I 的试验方式 1 时对 E1 级负荷开关进行 10 次附加试验或 E2 和 E3 级负荷开关进行 20 次附加试验,则试验方式 2a 不需进行。

注 2: 通常不需做空载变压器开合试验,因为与该试验方式相关的负荷可以忽略且具有开合有功负载能力的负荷开关是很容易达到的。如果要求该项试验,进行试验的次数应由用户和制造厂间的协议确定。

注 3: 对于用在中性点不接地系统中的负荷开关,具有额定电缆充电电流的,在中性点接地系统中的电缆充电电流不需要进行试验。

注 4: 对于用在中性点接地系统中且具有铠装电缆的额定电缆充电电流的负荷开关,如果屏蔽电缆该方式的电流额定值等于或小于铠装电缆的值,则不需对屏蔽电缆进行电缆充电电流试验。如果额定电缆充电电流开断试验采用的试验回路具有的首开极系数等于或大于线路充电电流开断试验回路所产生的首开极系数,且如果表 1 中列出的那样线路充电电流额定值小于或等于电缆充电电流额定值,则不需要进行线路充电电流试验。

8.101.10 通用负荷开关的短路关合试验

短路关合试验应在已经受过至少 10 次试验方式 1 所要求的 100% 有功负载关合—开断操作循环的负荷开关上进行。但是,如果能证明短路关合特性不受规定的开断试验的影响,则为了试验方便,试验方式 5 可以在一台新的负荷开关上进行。

由于预击穿的影响,不可能每次都获得额定的短路关合电流。在这种情况下,应给出证据证明此时的关合电流是负荷开关在额定电压下,同时最大预期峰值电流等于额定短路关合电流的回路中所能获得的电流值。

注: 这个证据可以按下面的方法来验证。从试验方式 1 和 2 中可以收集足够的统计数据来确定试验方式 5 中所期望的最大峰值关合电流时的预击穿条件,如果从试验方式 1 和 2 中不能确定出足够的数,则应在 5% 到 10% 的额定短路关合电流的交流分量下,进行适当次数的合闸操作。

a) 关合时间分散性等于或小于 3 ms

应在具有 100% 预期峰值关合电流的回路中实施相应于上述条件的相位控制来进行合闸操作以产生最大可能的峰值关合电流。

b) 关合时间分散性大于 3 ms

在这种情况下,相位控制可能不适用。应在具有 100% 预期峰值关合电流的回路中,以及具有或没有相位控制的回路中进行合闸操作。如果能产生最大峰值关合电流的试验条件没有再现,则应该进行附加的短路关合试验: E1 级负荷开关 1 次, E2 级 2 次, E3 级 3 次。进行附加的关合试验前允许对负荷开关修整。

1) 三相试验

对于三相操作的负荷开关的三相试验,假定 8.101.7 a) 和 b) 提出的要求在正常的试验方式 5 时已得到充分的证明。

2) 单相试验

对于单相试验,关合试验应按 8.101.7 b) 中提出的要求进行,对于 E1 级负荷开关,应在 1 次试验中满足;对于 E2 级负荷开关,应在 2 次试验中满足;对于 E3 级负荷开关,应在 3 次试验中满足。项 a) 的要求应在其它关合操作中满足。对这些操作的顺序不做规定。

8.101.11 专用负荷开关的试验

应采用通用负荷开关所规定的试验,根据专用负荷开关的额定值,去掉那些专用负荷开关未做规定的额定值或降低试验值的试验方式。

8.101.12 特殊用途负荷开关的试验

特殊用途负荷开关的试验，表 7 中给出了三相试验，表 8 中给出了单相试验。特殊用途负荷开关也应按照对通用负荷开关规定的试验，去掉特殊用途负荷开关未做规定的试验方式进行试验。

背对背电容器组电流开合试验的关合电流应等于额定电容器组关合涌流。对于背对背电容器组开合试验，由于受试验站的限制，不能在开断试验过程中满足涌流的要求时，对于具有非常低的重击穿概率的负荷开关，允许按替代的开断试验程序进行，此时，8.101.8.4 的开断试验要求应最大可能程度的得到满足。在开断试验前进行单独的系列关合试验。该系列试验应以适当的电压并应包括 10 次关合操作，且预期关合电流等于额定电容器组关合涌流时进行。关合操作应在电压峰值的 15 电度内出现。

注：如果试验方式 1 是在电流至少为并联电力变压器的额定闭环开断电流，且获得的 TRV 参数等于或严于试验方式 2b 所要求的 TRV 参数的回路中进行的，只要在试验方式 1 中进行 10 次附加的操作，而不需要进行试验方式 2b。

8.101.13 开断试验中负荷开关的性能

负荷开关应该成功地通过试验而不出现机械的或电气的损伤。

对于容性电流开合试验，如果负荷开关没有被定义为具有非常低的重击穿概率，则在开合过程中允许出现重击穿。但不应从负荷开关中喷出火焰或物质、产生可能会对操作人员有害的噪音。

在操作过程中，负荷开关不应外喷火焰或金属粒子，这可能会损伤负荷开关的绝缘水平。不应有危及操作者或损坏绝缘材料的、明显的对接地框架或金属屏的泄漏电流。这一情况可以按照 8.101 规定的程序来证明。

对于真空负荷开关，在整个试验过程中最多允许出现 3 次非保持破坏性放电（NSDD）。NSDD 定义为负荷开关在工频恢复电压阶段触头间出现的导致高频电流流过的击穿放电。再出现工频电流是不允许的。

8.101.14 开断试验和短路关合试验后负荷开关的状态

完成规定的试验方式 1 到 4、6 以及试验方式 5 后，负荷开关的机械功能和绝缘子应和试验前处于相同的状态。负荷开关应能够承载其额定电流且温升不超过规定值。如果短路关合试验是在同一台试品上进行的，则开断试验后不需要进行状态检查。

试验后，对负荷开关进行目测检查和空载操作，通常就足以判定这些要求。如有怀疑，应在额定电流下进行两次附加的合一分操作。如果对负荷开关处于分闸位置的触头间的绝缘性能或隔离负荷开关的隔离性能有怀疑时，则要按照 GB/T 11022—1999 中 6.2.11 的状态检查试验验证这些性能。对在整个使用寿命期间具有密封灭弧室的负荷开关，除非密封的灭弧室可以拆开或打开来检查，否则该状态检查试验是强制性的。

8.101.15 型式试验报告

所有型式试验的结果都应记录在型式试验报告中，而这些记录要有充分的数据证明其满足本标准的要求。应包含足够的资料，以便能确认受试负荷开关的基本零部件。参见 GB/T 11022—1999 中 6.1.3。

试验报告应包含 8.101.2、8.101.4、8.101.5、8.101.6 和 8.101.7 规定的内容。应提供典型的示波图或类似的记录以便能够确定下述参数：

- 1) 试验电流；
- 2) 试验电压；
- 3) 每极端子间的电压，以便能够确定工频恢复电压和瞬态恢复电压；
- 4) 如果适用，脱扣线圈和合闸线圈的带电时刻。

注：如果用户要求，试验报告中应包括整套示波图，这可能对用户有用。

关于高压负荷开关支架的一般资料也应包括在试验报告中。试验过程中所采用操动机构的相关资料，适用时，也应记录。

8.102 机械操作试验

8.102.1 试验时负荷开关的布置

负荷开关及其操动机构应安装在其自己的支架上，以规定的方式进行操作。

除非另有规定，试验可以在任何方便的周围空气温度下进行。

操动机构的电源电压应在负荷开关操作过程中在合闸线圈和脱扣线圈的端子上测量。应包括构成操动机构一部分的辅助设备。为了调节外施电压，不应在电源和机构端子间增加阻抗。

对于人力操作的负荷开关，为了试验方便，手柄可以用外部动力装置替代，其操作力应与人力手柄操作时的等效。

8.102.2 通用负荷开关的试验

按照本条款试验的负荷开关标定为 M1 级机械寿命。

机械操作试验应在主回路中无电压和电流的情况下由 1000 次操作循环组成。如果对负荷开关的所有等级要求超出 1000 次操作循环的能力，则应按照 8.102.4 进行延长的机械寿命试验。

动力操动的负荷开关应按下述试验进行：

- 在额定电源电压和/或压缩气源的额定压力下 900 次操作循环；
- 在规定的最低电源电压和/或压缩气源的最低压力下 50 次操作循环；
- 在规定的最高电源电压和/或压缩气源的最高压力下 50 次操作循环。

手力操作的负荷开关应按下述试验进行，应采用运行中所期望的典型操作力的范围进行 1000 次操作循环。

在操作循环之间或合闸和分闸操作之间，不要求规定时间间隔。这些试验应该按电气控制元件带电时的温升不超过规定值的速度进行。

8.102.3 专用负荷开关的试验

除非另有规定，试验应按照通用负荷开关的要求来进行。另外，试验也可以按照用户和制造厂的协议进行。

8.102.4 特殊使用要求的负荷开关延长的机械寿命试验

按照本条款试验的负荷开关标定为 M2 级机械寿命。

对于特殊使用要求，按用户规定，延长的机械寿命试验可按下述程序进行：

- a) 应按 8.102.2 进行试验并作如下补充，应进行由 5 倍的 8.102.2 规定的试验程序构成的 5000 次操作循环。

规定的试验项目之间，允许进行一些维护。如润滑和机械调整，但应符合制造厂的说明书。不允许更换触头。在试验之前，制造厂应确定试验过程中的维护程序并应记录在试验报告中。

- b) 在整个试验程序之前和之后，应进行下列操作：

- 在额定电源电压和/或压力下的 5 次合—分操作循环；
- 在最低电源电压和/或压力下的 5 次合—分操作循环；
- 在最高电源电压和/或压力下的 5 次合—分操作循环；
- 如果除正常的电动或气动操动机构外，还能进行手力操作的负荷开关，应进行 5 次合—分手力操作。

在这些操作循环期间，应记录或计算负荷开关的动作特性，如果适用，如动作时间，控制回路的功耗，手力操作的最大力。并应验证控制和辅助触头的可靠动作以及位置指示装置（如果有）。型式试验报告中不必包含所有记录的示波图。

- c) 每一个 1000 次操作循环系列后或在维护期间，应该记录或计算一些重要的动作特性。

注：延长的机械寿命试验不适用于手力操作的负荷开关。

8.102.5 机械试验中和试验后负荷开关的状态

对于每一个操作循环，负荷开关都应完全达到合闸和分闸位置。

负荷开关应该处于能够正常操作、关合、承载和开断其额定电流的状态。

操动机构、控制和辅助触头以及位置指示装置（如果有）的可靠动作应在试验过程中进行验证。

对于以气体作为开断和绝缘介质的负荷开关，应在机械操作试验前和试验后进行密封试验。见 GB/T 11022—1999 中 6.8。

按照制造厂的说明书在试验期间进行润滑是允许的，但是，不允许进行机械调整。

试验后，所有零部件应处于良好的状态，而不应有过度的磨损。

8.103 严重冰冻条件下的操作

如果有要求，试验应按 GB/T 1985 进行，并把下述情况除外：

具有储能或动力操动机构的负荷开关，应在第 1 次试操作时能够成功地操作。

具有人力操动机构的负荷开关必须成功地分闸或合闸，也就是说，可靠地、安全地断开或接通电路。然而，如果负荷开关受到覆冰的约束而在第 1 次试操作时没有动，则允许进行附加的试操作。

9 出厂试验

按 GB/T 11022—1999 中第 7 章的规定，并对机械操作试验作如下补充：

进行操作试验是为了保证负荷开关在其操动机构规定的电源电压和压力值内，满足规定的性能。

在这些试验中，主回路中应无电压和电流，尤其应该验证的是负荷开关在其操动机构带电或加压的情况下正确地分闸和合闸。而且还应证明这些操作不会造成负荷开关损坏。

负荷开关的布置应满足机械操作型式试验时的规定，参见 8.102.1。

具有动力操动机构的负荷开关应按下述规定进行试验：

——在规定的最高电源电压和/或最高压缩气源压力下，5 次操作循环；

——在规定的最低电源电压和/或最低压缩气源压力下，5 次操作循环；

——如果除正常的电动或气动操动机构外，还能用手力操作的负荷开关，应进行 5 次手力操作循环。

手力操作的负荷开关应该承受 10 次操作循环。

在这些试验期间，不应进行调整且动作无误。每一次操作循环，负荷开关都应达到分闸和合闸位置。

10 负荷开关的选用导则

10.1 概述

本导则提出了关于使用方面的建议，以帮助获得 40.5 kV 及以下负荷开关满意的性能。

考虑到对一般准则之外的附加要求，本导则可以用来补充但不能替代制造厂的说明书。

正常使用条件下的要求参见 GB/T 11022—1999 中 2.1 的规定。

10.2 影响使用的工况

制造厂在其推荐书中应注意到存在的异常工况。这些工况的例子是：

a) 污染。例如破坏性的烟雾或蒸汽，过量的或腐蚀性的灰尘，灰尘或气体的易爆混合物、盐雾、过度的潮湿或滴水等；

b) 异常的振动、冲击、摆动或地震活动；

c) 过低或过高的周围温度；

d) 异常的运输和储存条件；

e) 异常的空间限制；

f) 不同于制造厂推荐的安装位置；

g) 高海拔；

h) 超过正常使用条件下的风速；

i) 不正常的操作方式及操作频率、维护的难度、不平衡电压、特殊绝缘要求等；

j) 用在不同于额定频率的场合，例如与电容器组和整流电路有关的谐波。负荷开关的额定电流应

该足够承载工频电流和谐波电流。

对于特殊使用条件，按 GB/T 11022—1999 中 2.2 的规定。

10.3 绝缘配合

负荷开关的额定绝缘水平应按照 GB/T 11022—1999 中 4.2 的规定选择。

关于绝缘配合的一般讨论和推荐参见 GB 311.1。

10.4 负荷开关等级的选择

10.4.1 通用负荷开关

E1、E2、E3、M1 和 M2 级通用负荷开关的用途和使用场合见 4.4.103。

10.4.2 专用负荷开关

专用负荷开关的功能见 4.4.104。

10.4.3 特殊用途负荷开关

特殊用途负荷开关的功能和使用场合见 4.4.105。

11 随询问单、标书和订单提供的资料

11.101 随询问单和订单提供资料

如果要询问或订购负荷开关，询问者应提供下述详细的资料：

a) 系统的详细资料：即正常的和最高的电压、频率、相数以及中性点接地的资料。应该指出负荷开关所在的系统的不正常特性（谐波电流、谐振条件及要求的操作次数）；

b) 运行条件包括超出正常值的最低和最高周围空气温度；超过 1000 m 的海拔，以及可能存在或出现的任何特殊工况。例如异常地暴露于水蒸汽或蒸汽、潮湿、烟雾、易爆的气体、过量的灰尘或含盐的空气（见 GB/T 11022—1999 中 2.1、2.2 和 6.2.8 以及本标准的 8.2）。

c) 负荷开关的特性

应提供下列资料：

- 1) 极数；
 - 2) 本标准第 4 章中定义的负荷开关的类型和等级；
 - 3) 户内或户外安装；
 - 4) 额定电压（GB/T 11022—1999 中 4.1）；
 - 5) 对应于给定的额定电压，或不同于标准的不同绝缘水平之间存在选择时的额定绝缘水平，要求的绝缘水平（GB/T 11022—1999 中 4.2）；
 - 6) 额定频率（GB/T 11022—1999 中 4.3）；
 - 7) 额定电流（GB/T 11022—1999 中 4.4）；
 - 8) 额定开断电流；
 - 9) 额定短路关合电流；
 - 10) 不同于标准规定的短路持续时间（GB/T 11022—1999 中 4.7）；
 - 11) 特殊要求需要进行的型式试验。
- d) 负荷开关的操动机构和相关设备的特性，尤其是：
- 1) 操作的方法，手力或动力；
 - 2) 备用辅助开关的型式和数量；
 - 3) 额定电源电压和额定电源频率。
- e) 有关压缩气体使用的要求和压力阀门设计和试验的要求。

11.102 随标书提供的资料

如果询问者需要负荷开关的技术细节，适用时，制造厂应提供下列资料并附有解释性的文字或草图：

a) 额定值和额定特性;

- 1) 极数;
- 2) 本标准第4章中定义的负荷开关的型式和等级;
- 3) 户内或户外安装;
- 4) 额定电压 (GB/T 11022—1999 中 4.1);
- 5) 额定绝缘水平 (GB/T 11022—1999 中 4.2);
- 6) 额定频率 (GB/T 11022—1999 中 4.3);
- 7) 额定电流 (GB/T 11022—1999 中 4.4);
- 8) 适用时, 本标准第4章的定义和第5章的额定开断电流;
- 9) 适用时, 本标准4.7.114 和5.112 中定义的额定短路关合电流;
- 10) 额定短路持续时间 (GB/T 11022—1999 中 4.7)。

b) 型式试验

需要的证书或报告的清单, 包括询问者要求的特殊试验。

c) 结构特征

- 1) 完整的负荷开关的质量;
- 2) 对于压缩空气负荷开关和气体负荷开关能够正常工作的气体压力和压力限值 (GB/T 11022—1999 中 4.10);
- 3) 空气中的最小间隙
——极间;
——对地。

d) 负荷开关的操动机构和相关设备

- 1) 操动机构的型式;
- 2) 合闸和分闸装置的额定电源电压 (GB/T 11022—1999 中 4.8);
- 3) 额定电源频率 (GB/T 11022—1999 中 4.9);
- 4) 操作用压缩气源的额定压力 (GB/T 11022—1999 中 4.10);
- 5) 在额定电源电压下负荷开关分闸和合闸所要求的电流;
- 6) 在额定气压下负荷开关分闸和合闸需要消耗的空气量;
- 7) 并联分闸脱扣器的额定电源电压;
- 8) 在额定电源电压下并联分闸脱扣器要求的电流;
- 9) 备用辅助开关触头的型式和数量;
- 10) 在额定电源电压下其它辅助设备要求的电流。

e) 总体尺寸和其它资料

制造厂应给出与安装所必须的总体尺寸和相关资料。关于维护方面的一般资料也应给出。

12 运输、储存、安装、运行和维护规则

GB/T 11022—1999 中第 10 章适用。

13 安全性

GB/T 11022—1999 中第 11 章适用。

表1 通用负荷开关的额定电缆和线路充电开断电流

额定电压 U_e kV	额定电缆充电电流 I_{da} A	额定线路充电电流 I_{db} A
3.6	4	0.3
7.2	6	0.5
12	10	1
24	16	1.5
40.5	21	2.1
注 1: 从 R10 系列中选取更高的值由制造厂规定。		
注 2: 对于特殊用途负荷开关, 更高的额定线路充电开断电流和额定电缆充电开断电流参见GB/T 1984。		

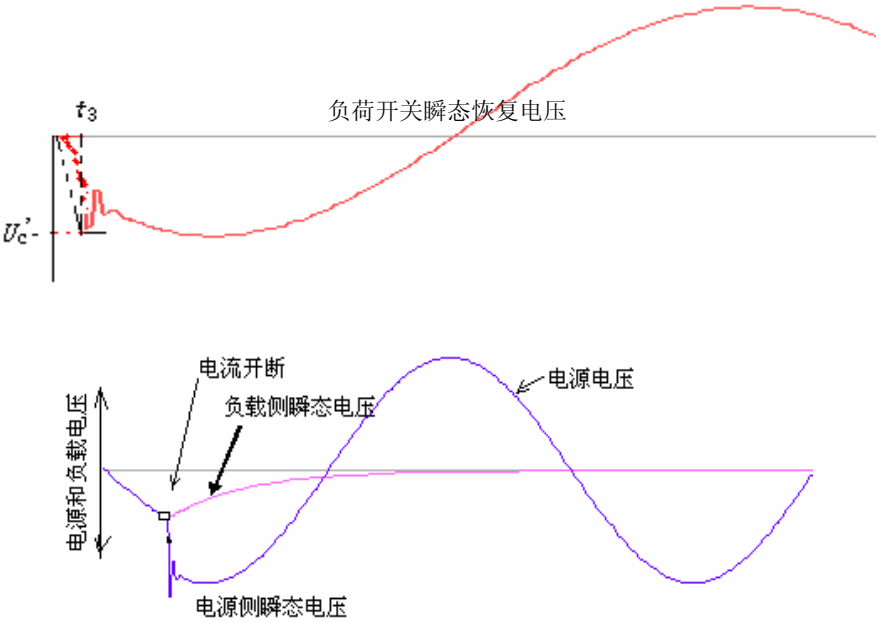
表2 铭牌内容

(1)	缩写 (2)	单位 (3)	负荷 开关 (4)	操动 机构 (5)	条件: 仅当符合本栏 时才标出 (6)
制造厂					
型号和等级标识					
系列编号			X	X	
额定电压	U_r	kV	X		
额定雷电冲击耐受电压	U_w	kV	X		
额定频率	f_r	Hz	X		
额定电流	I_r	A	X		
额定短时耐受电流	I_k	kA	X		
额定短路持续时间	t_k	s	Y		不同于 1s
额定短路关合电流	I_{ma}	kA	(X)		
有功负载开断操作的次数	N		Y		不同于 10 次
额定有功负载开断电流	I_l	A	(X)		
额定配电线路闭环开断电流	I_{2a}	A	(X)		
额定并联电力变压器闭环开断电流	I_{2b}	A	(X)		
额定空载变压器开断电流	I_3	A	(X)		
额定电缆充电开断电流	I_{4a}	A	(X)		
额定线路充电开断电流	I_{4b}	A	(X)		
额定单个电容器组开断电流	I_{4c}	A	(X)		
额定背对背电容器组开断电流	I_{4d}	A	(X)		
额定接地故障开断电流	I_{6a}	A	(X)		
接地故障条件下额定电缆和线路充电开断电流	I_{6b}	A	(X)		
额定电动机开断电流	I_7	A	(X)		
额定背对背电容器组关合涌流	I_{in}	A	(X)		
操动机构的额定压力	P_{op}	Pa		(X)	
负荷开关的额定气压	P_{sw}	Pa	(X)		
辅助回路的额定电源电压	U_a	V		X	
温度等级	TC		Y	Y	不同于: 户内-5℃或 户外-25℃
X——这些值是强制性的标记, 铭牌上这些值空白表示该值为零。 (X) ——这些值是可选的标记。 Y——这些值是根据第(6)栏的条件确定的标记。					
注 1: 第(2)栏中的缩写可以用来代替第(1)栏中的术语。如果使用第(1)栏中的术语, 可以不出现“额定的”几个字。 注 2: 如果数值相同时, 允许把缩写合并, 如 I_r、I_l、I_{2a}=400A。 注 3: 可以给出不同等级相关的不同的额定电流和额定短路关合电流。					

表 3 有功负载电流开断试验电源回路的TRV参数¹⁾

额定电压 U_r kV	电源回路 TRV 参数	
	峰值电压 ²⁾ U_c kV	时间 ²⁾ t_3 μs
3.6	6.2	40
7.2	12.3	52
12	20.6	60
24	41	88
40.5	69.5	114

注 1：负载电流开断试验时负荷开关断口间的瞬态恢复电压是 $(1-\cos)$ 的形式。负荷开关的电源和负载分量图示如下。电源分量的峰值 U_c' 如图所示，在时间 t_3 时近似等于 $15\%U_c$ 。实际的 U_c' 和到达峰值的时间取决于负载回路的功率因数和电源回路的串联阻抗。



U_c' = 负荷开关瞬态恢复电压电源回路分量的峰值。

注 2：电源回路的串联阻抗应为总阻抗的 $(15\pm 3)\%$ ，且功率因数为 0.2 或更小。负载由电抗和电阻并联组成。负载的 TRV 形式为指数衰减的电压，且其峰值决定于负载的功率因数。因此，负载侧的 TRV 完全取决于负载回路而无须规定。

注 3：电源回路的串联阻抗是配电变压器阻抗和电源阻抗的总合。首开极系数 K_ϕ 为 1.5。振幅系数设定为 1.4。

$$U_c = \frac{U_r \sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times 1.5 \times 1.4$$

¹⁾ 端子故障条件下的电源回路 TRV 参数。
²⁾ 中压系统的 TRV 值由 CIGRE 正在研究之中。用户应注意如果采用了限流电抗器，电源回路的 TRV 可能超出规定值，因此，这些方式的规定值还会被修订。

表4a 配电线路闭环开断试验的 TRV 参数

额定电压 U_r kV	峰值电压 ¹⁾ U_c KV	时间 ¹⁾ t_3 μ s
3.6	1.2	110
7.2	2.4	110
12	4.1	150
24	8.3	250
40.5	14	330

注 1：负荷开关断口间规定的瞬态恢复电压为（1-cos）形式。典型的瞬态过程图示如下。

注 2：稳态的相—相开路试验电压为额定电压的 20%。 U_c 是按照首开极系数 K_ϕ 为 1.5，且振幅系数等于 1.4 确定的。

$$U_c = U_r \times (0.20) \sqrt{\frac{2}{3}} \times 1.5 \times 1.4$$

¹⁾ 中压系统的TRV值由CIGRE正在研究之中，因此，本试验方法规定的值可能会被修订。

表4b 并联电力变压器电流开断试验的 TRV 参数

额定电压 U_r kV	峰值电压 ¹⁾ U_c kV	时间 t_3 ¹⁾ 系数 K
3.6	0.6	0.25
7.2	1.1	0.35
12	1.9	0.45
24	3.7	0.63
40.5	6.3	1.04

注 1：负荷开关断口间的瞬态恢复电压是（1-cos）的形式，且数值为首开极的。

注 2：按照GB/T1984短路试验方式1，首开极系数 K_ϕ 为1.5，振幅系数设定为1.7。假定两台电力变压器并联且开合其中一台变压器，TRV主要来自被开合的变压器，这就意味着瞬态恢复电压仅为一半的稳态恢复电压。

$$U_c = \frac{U_r \sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times 1.5 \times 1.7 \times \frac{0.15}{2}$$

¹⁾ 时间 t_3 计算按： $t_3 = K \sqrt{\frac{1480 + 600I}{6.7I}}$

这里 t_3 的单位是 μ s， I 是试验电流，单位为 kA。系数 K 和计算 t_3 的公式是根据变压器的低压电流注入法获取的，并以公开的瞬态恢复电压频率推导出来的。该频率是电流额定值接近试验电流，且在强制冷却时额定阻抗为 15% 的电力变压器的典型额定值。

表5 通用负荷开关的试验方式——三极联动的、逐极操作的和单极负荷开关三相试验的试验方式

试验方式		试验电压 ¹⁾ +10%	试验电流 +10%	操作循环的次数		
代号	型式			E1 级	E2 级	E3 级
1	有功负载电流	U_r	I_l	10	30	100
			$0.05 I_l$	20	20	20
2a	配电线路闭环电流	$0.20 U_r$	I_{2a}	10	20	20
4a	电缆充电电流 ²⁾	U_r	I_{4a}	$10^{(3)}$	$10^{(3)}$	$10^{(3)}$
			$(0.2 \sim 0.4) I_{4a}$	$10^{(3)}$	$10^{(3)}$	$10^{(3)}$
4b	线路充电电流 ²⁾	U_r	I_{4b}	$10^{(3)}$	$10^{(3)}$	$10^{(3)}$
5	短路关合电流	U_r	I_{ms}	2 次 关合操作	3 次 关合操作	5 次 关合操作
6a	接地故障电流	U_r	I_{6a}	10	10	10
6b	接地故障条件下的线路和电缆充电电流	U_r	I_{6b}	10	10	10

¹⁾ TRV参数为相应的表中所示的首开极的 TRV。

²⁾ 电源回路的接地应按照6.101.8.4d) 的规定。

³⁾ 可以采用选相脱扣使触头分离，但是，随机的操作也是允许的。

表6 通用负荷开关的试验方式——逐极操作的三极负荷开关和用于三相系统中的单极负荷开关的单相试验⁶⁾

试验方式		试验电压 ¹⁾ +10%	试验电流 +10%	操作循环的次数		
代号	型式			E1 级	E2 级	E3 级
1	有功负载电流	$1.5 U_r / \sqrt{3}$	I_l	5	15	50
		$U_r^{(3)}$	$0.87 I_l^{(2)}$	5	15	50
		$U_r^{(3)}$	$0.05 I_l$	20	20	20
2a	配电线路闭环电流	$0.20 U_r^{(3)}$	I_{2a}	10	20	20
4a	电缆充电电流	⁵⁾	I_{4a}	$12^{(4)}$	$12^{(4)}$	$12^{(1)}$
		⁵⁾	$(0.2 \sim 0.4) I_{4a}$	$12^{(4)}$	$12^{(4)}$	$12^{(1)}$
4b	线路充电电流	⁵⁾	I_{4b}	$12^{(4)}$	$12^{(4)}$	$12^{(1)}$
5	短路关合电流	U_r	I_{ms}	1 次 关合操作	2 次 关合操作	3 次 关合操作
		U_r	I_{ms}	1 次 关合操作	1 次 关合操作	2 次 关合操作
6a	接地故障电流	$U_r / \sqrt{3}$	I_{6a}	10	10	10
6b	接地故障条件下的电缆和线路充电电流	U_r	I_{6b}	10	10	10

¹⁾ TRV值在相应的表中规定。

²⁾ 可在额定电压 U 和额定电流 I 下进行一个试验系列，E1级进行10次操作；E2级进行30次操作；E3级进行100次操作。

³⁾ TRV的峰值应为表3和表4a中表示的值的 $\sqrt{3}/1.5$ 倍。

- ⁴⁾ 以30电度递增进行选相脱扣使触头分离。如果不可行时，也可以采用30次随机操作。
- ⁵⁾ 制造厂应该选择代表使用场合的试验回路。试验电压等于 $U_r/\sqrt{3}$ 和下列系数的乘积：
- a) 1.0，用于中性点接地系统中屏蔽电缆的开合；
 - b) 1.2，用于中性点接地系统中铠装电缆的开合；
 - c) 1.3，用于中性点接地系统中线路的开合；
 - d) 1.75，用于中性点接地以外的系统中线路和电缆的开合。
- ⁶⁾ 这些试验方式不适用于单相系统中的单极负荷开关。

表7 特殊用途负荷开关的试验方式—三极联动的
逐极操作的和单极负荷开关的三相试验

试验方式		试验电压 +10% 0	试验电流 +10% 0	操作循环的次数
代号	型式			
2b	闭环并联电力变压器回路电流	$0.15U_r^{1)}$	I_{2b}	10
4c	单个电容器组电流 ³⁾	U_r	I_{4c}	10
			(0.2~	10
4d	背对背电容器组电流 ³⁾	U_r	I_{4d}	10
			(0.2~	10
8	电动机电流	²⁾	²⁾	²⁾
¹⁾ TRV参数为表4b中所示的首开极的TRV。 ²⁾ 参见IEC 61233。 ³⁾ 回路的接地应按照8.101.8.4 c) 的规定，对于试验方式4c和4d，电容器组中性点应该绝缘还是接地取决于负荷开关的使用场合。				

表8 特殊用途负荷开关的试验方式——逐极操作的三极负荷开关
和用于三相系统中的单极负荷开关的单相试验⁶⁾

试验方式		试验电压	试验电流	操作循环的次 数
代号	型式	+10% 0	+10% 0	
2b	闭环并联电力变压器回路电流	$0.15U_r^{1)}$	I_{2b}	10
4c	单个电容器组电流	2)	I_{4c}	$12^{3)}$
			$(0.2 \sim 0.4) I_{4c}$	$12^{3)}$
4d	背对背电容器组电流	2)	I_{4d}	$12^{3)4)}$
			$(0.2 \sim 0.4) I_{4d}$	$12^{3)}$
8	电动机电流	5)	5)	5)
¹⁾ TRV的峰值应为表4b中的值的 $\sqrt{3}/1.5$ 倍。 ²⁾ 制造厂应该选择将要使用场合的试验回路。试验电压应为 $U_r/\sqrt{3}$ 和下列系数之一的乘积。 a) 1.0 用于中性点接地系统中开合中性点接地的电容器组； b) 1.75 用于中性点不接地的系统中电容器组的开合。 ³⁾ 用30电度递增的选相脱扣来控制触头分离。如果不可行，也可以采用30次随机操作。 ⁴⁾ 至少应有三次关合操作出现在电压峰值处的15电度范围内。 ⁵⁾ 参见IEC 61233。 ⁶⁾ 这些试验方式不适合于用在单相系统中的单极负荷开关。				

表9 单相电容器组电流开断试验的预期恢复电压参数值

恢复电压 ^{1) 2)}		时间 ¹⁾		
$U_c^{5)}$	$U_a^{4)}$	$t_a^{4)}$	$t_2^{5)}$ ms	
			50Hz	60Hz
1.97	0.042	$t_3^{3)}$	8.7	7.3
¹⁾ 参见图7。 ²⁾ 每个单位的值相应于试验电压的峰值。 ³⁾ 表3中的 t_3 。 ⁴⁾ 预期 TRV 初始部分的峰值 U_a' 应该小于 U_a 且到达峰值(U_a')的时间 t_a' 应该大于 t_a , 如图 7 所示。 ⁵⁾ 预期恢复电压的峰值 U_c' , 应大于 U_c , 且到达峰值的时间 t_2' 应小于 t_2 , 如图7所示。				

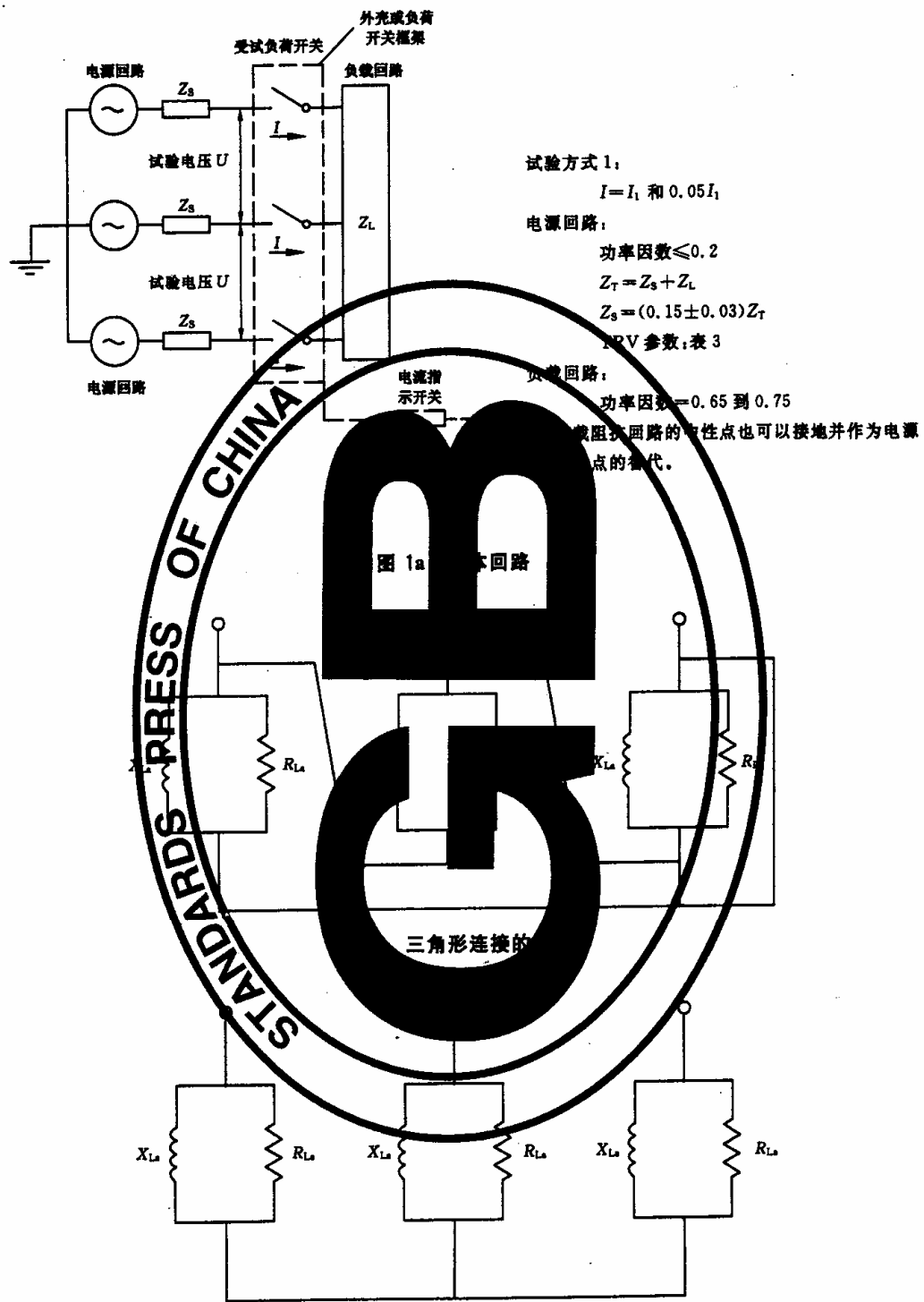


图 1c 星形连接的负载

图 1 有功负载电流开合试验(试验方式 1)的三相试验回路

图 1 有功负载电流开合试验(试验方式 1)的三相试验回路

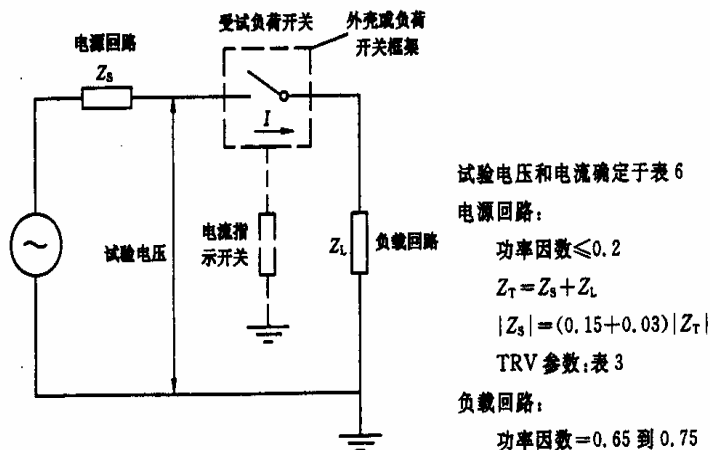


图 2 有功负载电流开合试验(试验方式 1)的单相试验回路

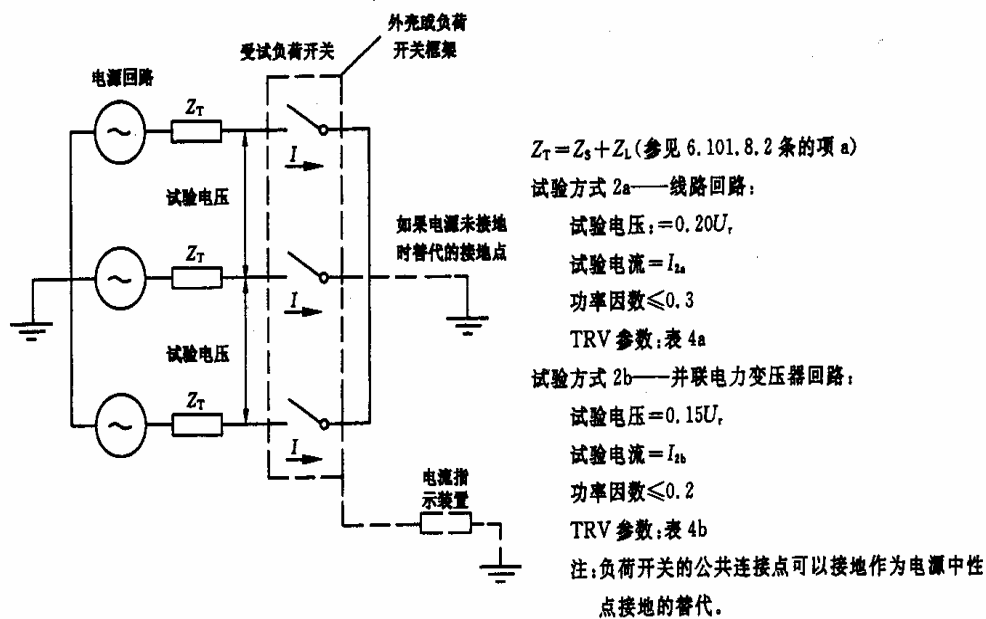


图 3 配电线路闭环和并联变压器电流开合试验(试验方式 2a 和 2b)的三相试验回路

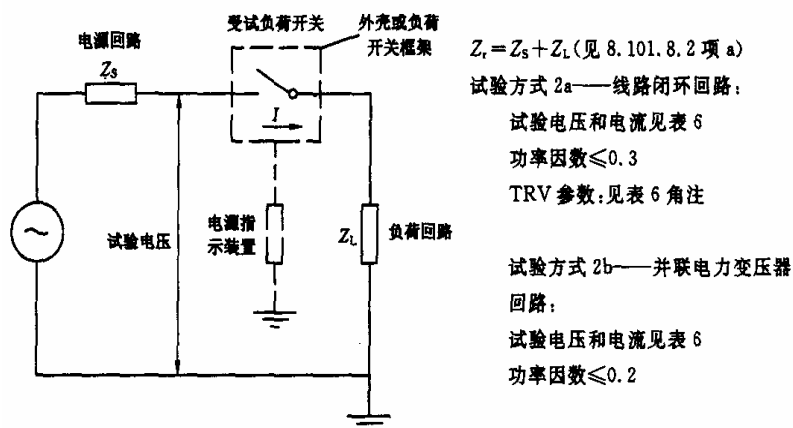


图 4 配电线路闭环和并联变压器闭环电流开合试验(试验方式 2a 和 2b)的单相试验回路

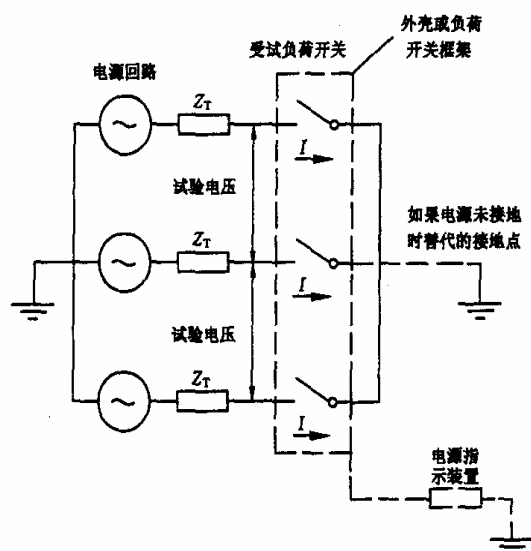


图 5 短路关合电流试验(试验方式 5)的三相试验回路

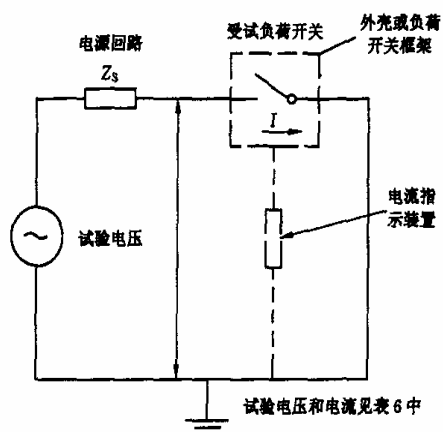
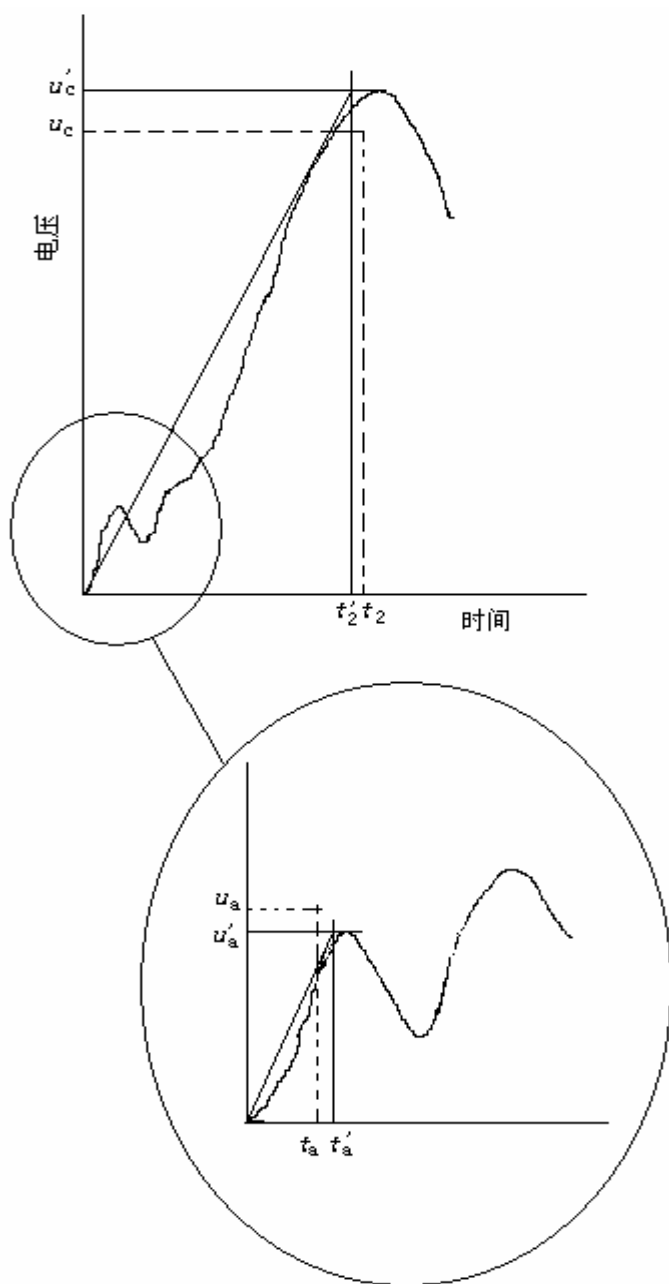


图 6 短路关合电流试验(试验方式 5)的单相试验回路



预期TRV 如下:

$u_a' < u_a$ $u_c' > u_c$ $t_a' > t_a$ $t_2' < t_2$ 符号定义于表9中

图7 单相电容器组电流开断试验的预期TRV参数限值

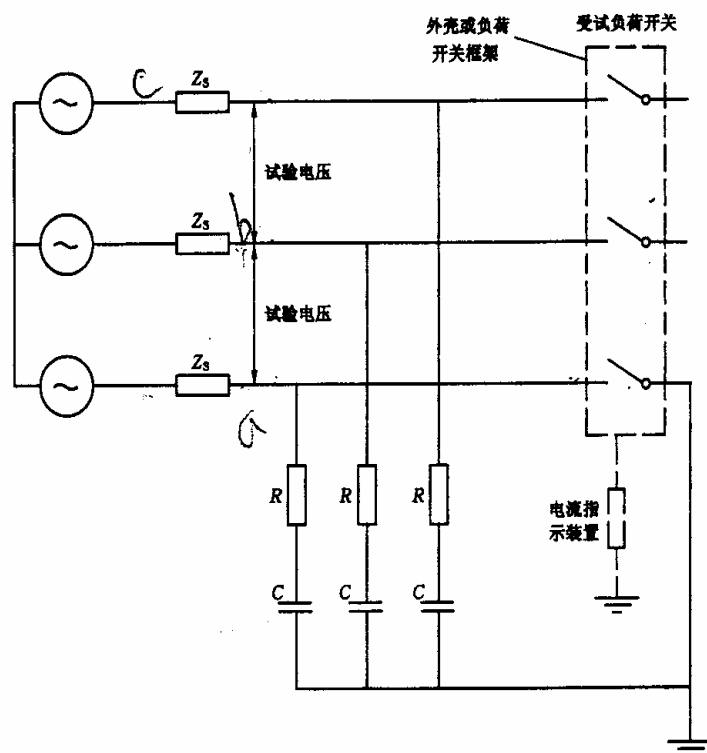


图 8 接地故障开断电流试验(试验方式 6a)的三相试验回路

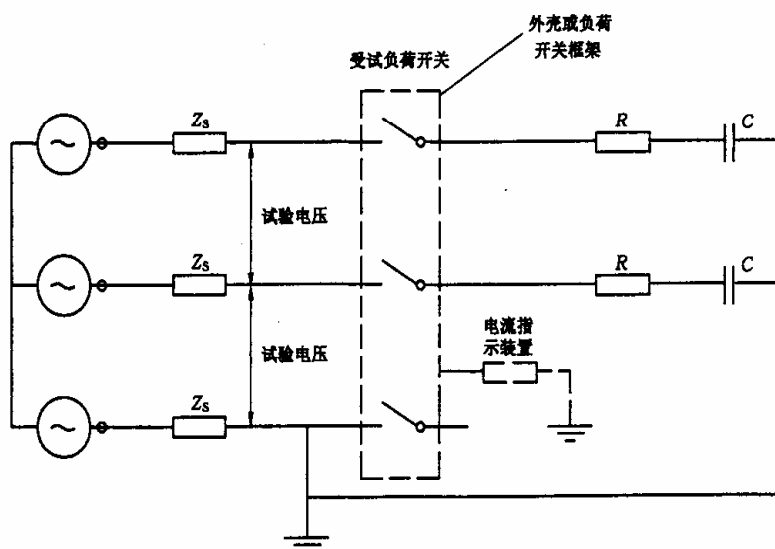


图 9 接地故障条件下电缆充电开断电流试验(试验方式 6b)的三相试验回路