

中华人民共和国国家标准

GB/T 14824—XXXX
代替 GB/T 14824—2008

高压交流发电机断路器

High-voltage alternating-current generator circuit-breaker

(IEC/IEEE 62271-37-013:2015, MOD)

(征求意见稿)

(本稿完成日期：2018-05)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 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	IV
1 概述	1
1.1 范围	1
1.2 规范性引用文件	1
2 正常和特殊使用条件	1
3 术语和定义	1
3.1 通用术语	2
3.2 装置	3
3.3 装置的零件	3
3.4 开关装置	3
3.5 发电机断路器的部件	4
3.6 操作	5
3.7 特性参量	6
4 额定值	15
4.1 概述	15
4.2 额定电压 (U_r)	15
4.3 额定绝缘水平	15
4.4 额定频率 (f_r)	16
4.5 额定电流和温升	16
4.6 额定短时耐受电流 (I_k)	17
4.7 额定峰值耐受电流 (I_p)	17
4.8 额定短路持续时间 (t_k)	17
4.9 合、分闸装置和辅助、控制回路的额定电源电压 (U_a)	17
4.10 合、分闸装置和辅助回路的额定电源频率	18
4.11 可控压力系统用压缩气源的额定压力	18
4.12 绝缘、开断和/或操作作用的额定充入水平	18
4.101 额定短路电流	18
4.102 额定短路关合电流	21
4.103 额定负荷开合电流	21
4.104 额定失步关合和开断电流	21
4.105 与开断电流相关的额定瞬态恢复电压	21
4.106 额定操作顺序	23
4.107 额定时间参量	24
4.108 机械操作的次数	25
5 设计与结构	25

5.1	发电机断路器中液体的要求	25
5.2	发电机断路器中气体的要求	25
5.3	发电机断路器的接地	25
5.4	辅助和控制设备	25
5.5	动力操作	26
5.6	储能操作	26
5.7	不依赖人力或动力的操作（非锁扣的操作）	26
5.8	脱扣器的操作	26
5.9	低压力和高压力闭锁装置	27
5.10	铭牌	27
5.11	联锁装置	28
5.12	位置指示	28
5.13	外壳的防护等级	28
5.14	爬电距离	28
5.15	气体和真空的密封	29
5.16	液体的密封	29
5.17	火灾危险（易燃性）	29
5.18	电磁兼容性（EMC）	29
5.19	X射线发射	29
5.20	腐蚀	29
5.101	单合和单分操作时的极间同期性的要求	29
5.102	操作的一般要求	29
5.103	操作用流体的压力极限	29
5.104	排逸孔	30
5.105	警告标志	30
5.106	说明书	30
6	型式试验	30
6.1	总则	30
6.2	绝缘试验	31
6.3	无线电干扰电压(r. i. v)试验	33
6.4	主回路电阻的测量	33
6.5	温升试验	33
6.6	短时耐受电流和峰值耐受电流试验	35
6.7	防护等级验证	35
6.8	密封试验	36
6.9	电磁兼容性（EMC）试验	36
6.10	辅助和控制回路的附加试验	36
6.11	真空灭弧室的X射线试验程序	36
6.101	机械和环境试验	36
6.102	关合和开断试验的各项规定	44
6.103	系统源短路关合和开断试验	65
6.104	负荷电流开合试验	69

6.105	发电机源短路电流关合和开断试验	69
6.106	失步关合和开断试验	75
7	出厂试验	78
7.1	概述	79
7.2	主回路的绝缘试验	79
7.3	辅助和控制回路的试验	79
7.4	主回路电阻的测量	79
7.5	密封试验	79
7.6	设计和外观检查	80
7.101	机械操作试验	80
8	发电机断路器的选用导则	81
8.101	概述	81
8.102	一般选用条件	81
8.103	选用时需要考虑的事项	83
9	与询问单、标书和订单一起提供的资料	102
10	运输, 储存, 安装, 运行和维护规则	103
10.1	概述	103
10.2	运输, 储存和安装时的条件	103
10.3	安装	103
10.4	运行	107
10.5	维护	107
11	安全性	107
12	产品对环境的影响	107
附录 A (规范性附录)	型式试验中试验参量的公差	108
附录 B (规范性附录)	型式试验的记录及报告	1
附录 C (规范性附录)	机械特性的应用和相关要求	5
附录 D (资料性附录)	发电机断路器的应用示例	6
附录 E (资料性附录)	发电机断路器通过屏蔽电缆连接升压变压器—对于系统源故障增加电容对 TRV 要求的影响示例	18
附录 F (资料性附录)	发电机源短路开断电流非对称度的确定	21
附录 G (资料性附录)	三绕组升压变压器条件下的故障	22
附录 H (资料性附录)	本标准与 IEC/IEEE 62271-37-013:2015 的章条编号对照	24
附录 I (资料性附录)	本标准与 IEC/IEEE 62271-37-013:2015 的技术性差异及其原因	27
附录 J (规范性附录)	湿度试验程序	28
	参考文献	30

前 言

本标准是根据IEC/IEEE 62271-37-013:2015《高压开关设备和控制设备 第37-013部分：交流发电机断路器》对GB/T 14824—2008《高压交流发电机断路器》进行全面修订的。本标准与IEC/IEEE 62271-37-013:2015的一致性程度为修改采用。

本标准与IEC/IEEE 62271-37-013:2015的主要差别体现在：

- 适用范围：根据我国电网情况，将适用系统电压范围改为3 kV~38 kV；
- 额定频率：根据我国电网情况，删除了额定频率60Hz的有关内容（附录中涉及到的60 Hz内容除外）；
- 删除了GB/T 2900.20—2016和GB/T 11022—2011中已包含且未作任何修改的电气术语和一些常见电气定义，如“中性点有效接地、触头开距”等；
- 删除了3.8“定义索引”；
- 增加了4.1“概述”；
- 时延 t_d 由“等于”改为“不大于”；
- 合、分闸装置和辅助、控制回路的额定电源电压：按GB/T 11022—2011的规定；
- 辅助和控制回路的绝缘试验按GB/T 11022—2011的规定；
- 并联脱扣器动作的最低电源电压，根据GB/T 11022—2011的5.8的要求，将5.8.102中的“20%”改为“30%”；
- 噪声水平采用GB/T 14824—2008中规定；
- 删除关于模拟失压工况而进行的工频电压试验描述的部分；
- 参照GB/T 1984—2014增加了6.101.5“湿度试验”的相关规定，并将其试验程序以新增附录J的形式列出；
- 额定短路开断电流的直流分量的时间常数由133 ms改为150 ms，修改了图11的非对称度；
- 机械性能和机械试验：规定M1级发电机断路器和M2级发电机断路器的机械操作次数分别为2000次和5000次；
- 删除了与分合闸电阻相关的内容；
- 删除了选用导则中励磁开合电流和容性开合电流的内容；
- 删除了寿命能力中关于电气寿命的描述；
- 增加了附录H“本标准与IEC/IEEE 62271-37-013:2015的章条标号对照”；
- 增加了附录I“本标准与IEC/IEEE 62271-37-013:2015的技术性差异及其原因”。

与IEC/IEEE 62271-37-013:2015相比，除了删除GB/T 2900.20—2016和GB/T 11022—2011中已包含且未作任何修改的电气术语和一些常见电气定义外，标准对IEC/IEEE 62271-37-013:2015部分章条号做了编辑性修改，附录H中给出了本标准与IEC/IEEE 62271-37-013:2015章条编号对照情况以及删除具体术语。

本标准与IEC/IEEE 62271-37-013:2015技术性差异及原因见附录I。

本标准与GB/T 14824—2008《高压交流发电机断路器》的主要差别有：

- 编写原则：本标准参照GB/T 1984—2014的原则进行编写，为便于使用和保持标准的独立性，本标准列出了与GB/T 1984—2014相同或者相似的内容，GB/T 14824—2008采用参照GB/T 1984方式，仅列出不同差异性内容；

- 适用范围：将适用系统电压范围改为 3 kV~38 kV；
- 增加了术语和定义，如“发电机源短路电流、系统源短路电流、中等非对称度”等；
- 额定绝缘水平、TRV 参数按 IEC/IEEE 62271-37-013:2015 中规定；
- 增加了 4.101.3，明确了额定发电机源短路电流的概念和表示方法，增加了 G1 级、G2 级发电机断路器的相关规定；
- 额定短路持续时间增加了 1s 或大于 2s 的值的可选性；
- 修改了 TRV 参数相关表格中部分数值的表示方式；
- 对“短路关合与开断试验”的相关章节中关于试验方法、试验程序等按 IEC/IEEE 62271-37-013:2015 标准的内容进行了全面修订；
- 取消了励磁电流开合试验；
- 增加了多种情况下的选用导则；
- 修改了询问者应提供的信息；
- 交接试验程序按 GB/T 1984—2014 进行改写；
- 增加第 12 章“产品对环境的影响”；
- 增加了规范性和资料性的附录 A~附录 J。

本标准应与 GB/T 11022—2011 一起使用，除非本标准中另有规定，本标准参照 GB/T 11022—2011。

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。

本标准由全国高压开关设备标准化技术委员会负责解释。

本标准负责起草单位：西安西电电气研究院有限责任公司、西安高压电器研究院有限责任公司

本标准参加起草单位：

本标准主要起草人：

本标准参加起草人：

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

——GB/T 14824—1993；

——GB/T 14824—2008。

高压交流发电机断路器

1 概述

1.1 范围

本标准适用于设计安装在户内或户外且运行在额定频率50 Hz、额定电压为3kV~38 kV的系统中的三相高压交流发电机断路器，以下简称发电机断路器。

本标准适用于安装在发电机和升压变压器之间的发电机断路器。本标准的要求适用于额定容量等于或大于10 MVA的发电机和变压器配备的发电机断路器，而发电机回路额定容量小于10 MVA和安装于抽水蓄能电站被认为是特殊应用场合，其要求不完全包含在本标准中。

本标准也适用于发电机断路器的操动机构和其辅助设备。

注1：额定容量小于 10MVA 发电机出口可选用适用的普通配电型断路器或发电机断路器，适用的发电机断路器可参照本标准。

注2：安装于抽水蓄能电站的发电机断路器的一般性要求可参照本标准。

注3：厂用电馈线中可选用适用的普通配电型断路器或发电机断路器，适用的发电机断路器可参照本标准。

1.2 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（neq IEC 60050-441:1984）

GB/T 16927.1—2011 高电压试验技术 第1部分：一般定义及试验要求（IEC 60060-1:2010，MOD）

GB/T 2536—2011 电工流体 变压器和开关用的未使用过的矿物绝缘油（IEC 60296:2003，MOD）

GB/T 8905—2012 六氟化硫电气设备中气体管理和检测导则（IEC 60480:2004，MOD）

GB/T 4208—2008 外壳防护等级（IP代码）（IEC 60529:2001，IDT）

GB/T 17627.1—1998 低压电气设备的高电压试验技术 第1部分：定义和试验要求（IEC 61180-1，EQV）

GB/T 20138—2006 电器设备外壳对外界机械碰撞的防护等级（IK代码）（IEC 62262:2002，IDT）

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）

GB/T 33981—2017 高压交流断路器声压级测量的标准规程（IEC/IEEE 62271-37-082:2012，MOD）

GB/T 1984—2014 高压交流断路器（IEC 62271-100:2008，MOD）

GB/T 4473—201X 高压交流断路器的合成试验（IEC 62271-101:2012，MOD）

GB/T 22383—2017 额定电压72.5kV及以上刚性气体绝缘输电线路（IEC 62271-204:2011，MOD）

2 正常和特殊使用条件

GB/T 11022—2011的第2章适用。

3 术语和定义

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

3.1 通用术语

3.1.101

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。

注：改写GB/T 2900.20—2016，定义3.1。

3.1.102

转动惯量 moment of inertia

物体所有质量单元和它们与给定轴的距离（半径）平方的乘积之和（积分）。

3.1.103

失步条件 out-of-phase conditions

电力系统在发电机断路器两侧失去或缺乏同步的异常回路条件，发电机断路器操作瞬间，其两侧电压的矢量间的相角超过了正常值。

注：改写GB/T 1984—2014，定义3.1.115。

3.1.104

失步（作为特性参量的前缀） out-of-phase (as prefix to a characteristic quantity)

限定性术语，表示在失步条件下发电机断路器的操作适用的特性参量。

注：改写GB/T 1984—2014，定义3.1.116。

3.1.105

单元试验 unit test

在一个或一组关合或开断单元上进行的试验，其关合电流和开断电流为发电机断路器整极试验的规定值，其外施电压或恢复电压为发电机断路器整极试验规定的适当部分。

注：改写GB/T 1984—2014，定义3.1.117。

3.1.106

（交流波形的）半波 loop (of an a. c. current wave)

由两个连续的电流零点所包含的电流波部分。

注1：见图1中的n和图1中的p。

注2：注：当存在直流分量时（见图1中的d），大半波（见图1中的n）和小半波（见图1中的p）之间的差别取决于两个连续电流零点间的时间间隔比电流的交流分量的半周期长或短。

注3：改写GB/T 1984—2014，定义3.1.118。

3.1.107

离相母线 `isolated-phase bus`

每相具有单独的接地金属外壳且各相外壳间有空隙隔离的金属封闭母线。

注：母线可以是自冷却或通过循环气体或液体强制冷却。

3.2 装置

没有特别的定义。

3.3 装置的零件

没有特别的定义。

3.4 开关装置**3.4.101****断路器** `circuit-breaker`

能关合、承载和开断正常回路条件下的电流，也能在规定时间内关合、承载和开断规定的异常回路条件（如短路条件）下的电流，还能在分闸时承受施加在触头间间隙两端的规定电压的机械开关装置。

注：改写GB/T 2900.20—2016，定义6.20。

3.4.102**发电机断路器** `generator circuit-breaker`

安装在发电机和升压变压器之间的断路器。

3.4.103**M1 级发电机断路器** `generator circuit-breaker class M1`

具有基本的机械寿命（2000次机械操作的型式试验）的发电机断路器。

3.4.104**M2 级发电机断路器** `generator circuit-breaker class M2`

用于特殊使用要求，和设计成仅需有限的维护且通过特定型式试验验证的频繁操作（具有延长的机械寿命，5000次机械操作的型式试验）的发电机断路器。

3.4.105**G1 级发电机断路器** `generator circuit-breaker class G1`

发电机断路器的额定发电机源短路开断电流特性为，触头分离时非对称度为110%且具有要求的发电机源短路开断电流交流分量，或触头分离时非对称度为130%且电流交流分量等于要求的额定发电机源短路开断电流交流分量的74%。

3.4.106**G2 级发电机断路器** `generator circuit-breaker class G2`

发电机断路器的额定发电机源短路开断电流特性为，触头分离时非对称度为130%且具有要求的发电机源短路开断电流交流分量。

3.5 发电机断路器的部件

3.5.101

极 pole

仅与开关装置的主回路的一个单独导电路径相连的电器部件，它不包括用来将所有极固定在一起和使各级一起动作的部件。

注：如果开关装置只有一极，则称为单极开关装置。如果多于一极，只要这些极可以一起操作，则称为多极（两极、三极等等）开关装置。

[GB/T 2900.20—2016的7.1]

3.5.102

弧触头 arcing contact

旨在其上形成电弧的触头。

注：弧触头可以是主触头；也可以是单独的触头，比其他触头后分开断先关合，以保护其他触头免受电弧的伤害。

[GB/T 2900.20—2016的7.8]

3.5.103

关合（或开断）单元 making (or breaking) unit

发电机断路器的部件，它本身就可以作为断路器，它与一个或多个相同的且同时操作的关合或开断单元串联组成完整的发电机断路器。

注1：关合单元和开断单元可以是独立的或组合的。每一单元可以有数个触头。

注2：控制各单元间电压分布的方法可以各不相同。

注3：改写 GB/T 1984—2014，定义 3.5.121。

3.5.104

组件 module

通常由关合或开断单元、支柱绝缘子和机械部件组成的装配，与其他相同的装配通过机械和电气连接组成发电机断路器的一极。

注：改写 GB/T 1984—2014，定义 3.5.122。

3.5.105

外壳 enclosure

发电机断路器的部件，它提供了设备防止外部影响所规定的防护等级（见 GB 4208—2017）和防止靠近或接触带电部件以及防止触及运动部件所规定的防护等级（见 GB/T 20138—2006）。

注1：三相封闭式发电机断路器的三相共用一个外壳。

注2：单相封闭式发电机断路器的每相有各自独立的外壳。

注3：改写 GB/T 2900.20—2016，定义 5.1。

3.5.106

操动机构 operating mechanism

驱动主触头的发电机断路器的部件。

注：改写GB/T 1984—2014，定义3.5.124。

3.5.107

动力传动链 power kinematic chain

从（并包括）操动机构直到（并包括）动触头的机械连接系统。

[GB/T 1984—2014的3.5.125]

3.5.108

替代的操动机构 alternative operating mechanism

当完成试验的操动机构的动力传动链发生变化或使用完全不同的操动机构获得相同的机械特性时得到的操动机构。

注1：机械特性在6.101.1.1中定义，机械特性的使用和相关的要求在附录C中描述。

注2：替代的操动机构可以采用不同于经过试验的操动机构的动作原理（例如替代操动机构可以是弹簧操动的，而原有操动机构是液压的）。

注3：二次设备的变化不会导致产生替代的操动机构。但是，宜检查分闸时间的变化不会带来试验方式T100a的不同要求。

注4：改写GB/T 1984—2014，定义3.5.126。

3.6 操作

3.6.101

操作 operation

动触头从一个位置转换至另一个位置的动作过程。

注1：对发电机断路器而言，这可能就是一个合闸操作或分闸操作。

注2：如果有必要区别，电气意义上的操作，例如关合或开断，是指开关操作；而机械意义上的操作，例如合闸或分闸，是指机械操作。

注3：改写GB/T 2900.20—2016，定义8.1。

3.6.102

自由脱扣机械开关装置 trip-free mechanical switching device

当合闸操作起始后需要立即转为分闸操作时，即使合闸指令继续保持着，其动触头也能返回且保持在分闸位置的开关装置。

注1：为保证可靠地开断可能已经存在的电流，可能需要使触头瞬时到达合闸位置。

注2：如果脱扣回路通过辅助开关完成，则直到辅助开关合闸电气脱扣才会释放。

注3：改写GB/T 2900.20—2016，定义8.31。

3.6.103

关合操作 making operation

用于建立主回路通电状态的合闸操作。

注：见图1。

3.6.104

开断操作 breaking operation

主回路通电状态下的分闸操作。

注：见图1。

3.6.105

关合-开断操作 make-break operation

主回路通电状态下的合分操作。

注：见图1。

3.6.106

合分操作 close-open operation, CO

合闸操作后紧接着进行分闸操作。

3.7 特性参量

图1～图5图解了本条款中的某些定义。

时间参量，见3.7.108～3.7.117的定义，以毫秒或额定工频周波数表示。当用周波数表示时，应在括号内说明工频值。

除非另有规定，时间参量是指与触头分、合全电流相关的参量。

注：改写GB/T 1984—2014，定义3.7。

3.7.101

额定值 rated value

通常为制造厂对元件、装置或设备在规定的操作条件下所规定的参数值。

[GB/T 1984—2014的3.7.101]

3.7.102

预期峰值电流 prospective peak current

电流出现后的瞬态过程中预期电流的第一个大半波的峰值。

注1：本定义假定用理想发电机断路器关合电流，即断路器各极端子间的阻抗瞬时并同时从无穷大变到零。一极与另一极的电流峰值可以不同，它取决于电流出现时刻对应各极端子间的电压波形。

注2：改写GB 1984—2014，定义3.7.103。

3.7.103

峰值电流 peak current

电流出现后瞬态过程中第一个大半波的峰值。

注1：见图 1 中的 a。

注2：改写 GB 1984—2014，定义 3.7.104。

3.7.104

(峰值) 关合电流 (peak) making current

关合操作时，电流出现后的瞬态过程中，发电机断路器一极中电流的第一个大半波的峰值。

注1：一极与另一极，一次操作与另一次操作的峰值可以不同，因为该值取决于电流出现时刻对应的外施电压的波形。

注2：除非另有说明，在多相回路中，(峰值)关合电流的单个值是指任意相中的最大值。

注3：见图 1 中的 a。

注4：改写 GB 1984—2014，定义 3.7.108。

3.7.105

(开关装置的) 关合电流 making current (of a switching device)

在规定的使用和性能条件以及规定的电压下，开关装置能够关合的预期关合电流值。

注1：规定的电压和条件见相关标准。

注2：改写 GB/T 2900—2016，定义 9.9。

3.7.106

短路关合电流 short-circuit making current

包括在开关装置的端子处发生短路的规定条件下的关合电流。

注1：见图 1 中的 a。

注2：改写 GB/T 2900—2016，定义 9.10。

3.7.107

短路开断电流 short-circuit breaking current

包括在开关装置的端子处发生短路的规定条件下的开断电流。

注1：见图 1 中的 b。

注2：改写 GB/T 2900—2016，定义 9.11。

3.7.108

分闸时间 opening time

分闸时间是指处于合闸位置的发电机断路器，从分闸脱扣器带电时刻到所有各极弧触头分离时刻的时间间隔。

注1：分闸时间可能随开断电流的变化而变化。

注2：对于每极装有多于一个开断单元的发电机断路器，所有各极弧触头分离时刻是指最后一极的第一个单元触头分离的时刻。

注3：分闸时间包括发电机断路器分闸必需的、并与发电机断路器构成一个整体的任何辅助设备的动作时间。

注4：见图 1 中的 j。

注5: 改写 GB 1984—2014, 定义 3.7.133。

3.7.109

(一极的) 燃弧时间 *arcing time (of a pole)*

一极中起弧瞬间起到该极中电弧最终熄灭的瞬间为止的时间间隔。

注: 见图1中的k。

3.7.110

开断时间 *break-time*

操动机构在额定压力和额定控制压力下, 从脱扣回路带电时刻到燃弧时间终止时刻的最大时间间隔。

注1: 见图1中的l。

注2: 改写 GB/T 2900—2016, 定义 9.36。

3.7.111

合闸时间 *closing time*

处于分闸位置的发电机断路器, 从合闸回路带电时刻到所有极的触头都接触时刻的时间间隔。

注1: 合闸时间包括发电机断路器合闸必需的、并与发电机断路器构成一个整体的任何辅助设备的动作时间。

注2: 改写 GB/T 1984—2014, 定义 3.7.136。

3.7.112

关合时间 *make-time*

处于分闸位置的发电机断路器, 从合闸回路带电时刻到第一极中电流出现时刻的时间间隔。

注1: 关合时间包括发电机断路器合闸必需的、并与发电机断路器构成一个整体的任何辅助设备的动作时间。

注2: 关合时间可能随预击穿时间的变化而不同。

注3: 见图1中的m。

注4: 改写 GB/T 1984—2014, 定义 3.7.137。

3.7.113

预击穿时间 *pre-arcing time*

合闸操作期间, 第一极中电流出现时刻, 对于三相条件, 到所有极触头接触时刻的时间间隔; 对于单相条件, 到起弧极的触头接触时刻的时间间隔。

注1: 预击穿时间取决于规定的合闸操作过程中外施电压的瞬时值, 因此, 可能有显著的变化。

注2: 改写 GB/T 1984—2014, 定义 3.7.133。

3.7.114

合-分时间 *close-open time*

合闸操作中第一极触头接触时刻到随后的分闸操作中所有极弧触头都分离时刻的时间间隔。

注: 除非另有说明, 即认为合闸过程中发电机断路器的分闸脱扣器在第一极的触头接触时刻就开始带电。这即是最短合-分时间。

[GB/T 1984—2014的3.7.143]

3.7.115

关合-开断时间 make-break time

合闸操作时第一极的电流出现时刻到随后的分闸操作中燃弧时间终止时刻的时间间隔。

注1：除非另有说明，即认为关合过程中发电机断路器的分闸脱扣器在主回路开始通流半个周波后才带电。应注意
到使用具有较短动作时间的继电器可能会使断路器承受较高的非对称电流。

注2：关合-开断时间可能随着预击穿时间的变化而不同。

[GB/T 1984—2014的3.7.144]

3.7.116

脱扣指令最短持续时间 minimum trip duration

为保证完成发电机断路器的分闸，辅助电源施加到分闸脱扣器上的最短时间。

注：改写GB/T 1984—2014，定义3.7.146。

3.7.117

合闸指令最短持续时间 minimum close signal duration

为保证完成发电机断路器的合闸，辅助电源施加到合闸装置上的最短时间。

注：改写GB/T 1984—2014，定义3.7.147。

3.7.118

额定电流 normal current

在规定的使用和性能条件下，发电机断路器能够连续承载的工频电流有效值。

[GB/T 1984—2014的3.7.148，“断路器”改为“发电机断路器”]

3.7.119

首开极系数 first-pole-to-clear factor

（三相系统）开断三相对称电流时，首开极系数是指在其他极电流开断之前，首先开断极两端的工频电压与三极都开断后一极或所有极两端的工频电压之比。

[GB/T 1984—2014的3.7.150]

3.7.120

振幅系数 amplitude factor

瞬态恢复电压的最大幅值与工频恢复电压的峰值之比。

[GB/T 1984—2014的3.7.151]

3.7.121

绝缘水平 insulation level

由两个表示绝缘耐受电压的数值确定的发电机断路器的一种特性。

注：改写GB/T 1984—2014，定义3.7.152。

3.7.122

工频耐受电压 power frequency withstand voltage

在规定的条件和规定的时间下进行试验时，发电机断路器所能耐受的正弦工频电压有效值。

注：改写GB/T 1984—2014，定义3.7.153。

3.7.123

冲击耐受电压 impulse withstand voltage

在规定的试验条件下，发电机断路器的绝缘所能耐受的标准冲击电压波的峰值。

注：改写GB/T 1984—2014，定义3.7.154。

3.7.124

操作作用的最低功能压力 minimum functional pressure for operation

在+20℃和101.3kPa的标准大气条件下的压力，可以用相对的或绝对的术语来表示，在该压力或高于该压力时，发电机断路器的额定特性才能得到保证，在该压力时，操动机构应补充压力。

注1：该压力通常设计成闭锁压力(参见GB/T 11022—2011的3.6.5.6)。

注2：改写GB/T 1984—2014，定义3.7.155。

3.7.125

开断和绝缘用的最低功能压力 minimum functional pressure for interruption and insulation

在+20℃和101.3kPa的标准大气条件下，用于开断和绝缘的压力，可以用相对的或绝对的术语来表示，在该压力或高于该压力时，发电机断路器的额定特性才能得到保证，在该压力时，开断和/或绝缘用的流体应补充。

注1：对于密封压力系统的发电机断路器（也称终身密封的发电机断路器），开断用的最低功能压力是指：考虑到预期运行寿命末的压力降低，能够保证发电机断路器额定特性的压力。

注2：改写GB/T 1984—2014，定义3.7.156。

3.7.126

(任何时刻电流的)非对称度 degree of asymmetry (of a current at any time)

由电流波形包络线确定的直流分量与交流分量峰值的比值（用百分数表示）。

注：当直流分量等于交流分量峰值时该值为100 %。

3.7.127

发电机源短路电流 generator-source short-circuit current

当短路电流源完全来自发电机而不经变换时的短路电流。

3.7.128

系统源短路电流 system-source short-circuit current

当短路电流源来自电力系统且至少经过一次变换时的短路电流。

3.7.129

中等非对称度 intermediate level of asymmetry

在三相系统中，当三相短路电流同时开始流过被试断路器，并且其中一相获得最大非对称度时，那么另外两相中的一相获得一个中等非对称度。

注：见图4。

3.7.130

具有中等非对称度的大半波后最早可能的开断 earliest possible interruption in a phase with intermediate level of asymmetry after a major loop

从故障电流起始到第一个电流零点为最短时间间隔 (t_1) 的开断，且开断点在具有中等非对称度的大半波后，并考虑：

- 最短继电器时间 (0.5 个工频周期)；
- 最短分闸时间；
- 最短燃弧时间；
- 预期三相电流随后的电流过零出现在最大非对称度的大半波后。

注1：这个定义仅用于非对称短路开断试验中试验参数的确定。

注2：见图5。

3.7.131

具有中等非对称度的小半波后最早可能的开断 earliest possible interruption in a phase with intermediate level of asymmetry after a minor loop

从故障电流起始到第一个电流零点为最短时间间隔 (t_2) 的开断，且开断点在具有中等非对称度的小半波后，并考虑：

- 最短继电器时间 (0.5 个工频周期)；
- 最短分闸时间；
- 最短燃弧时间；
- 预期三相电流随后的电流过零出现在中等非对称度的另一相中的大半波后。

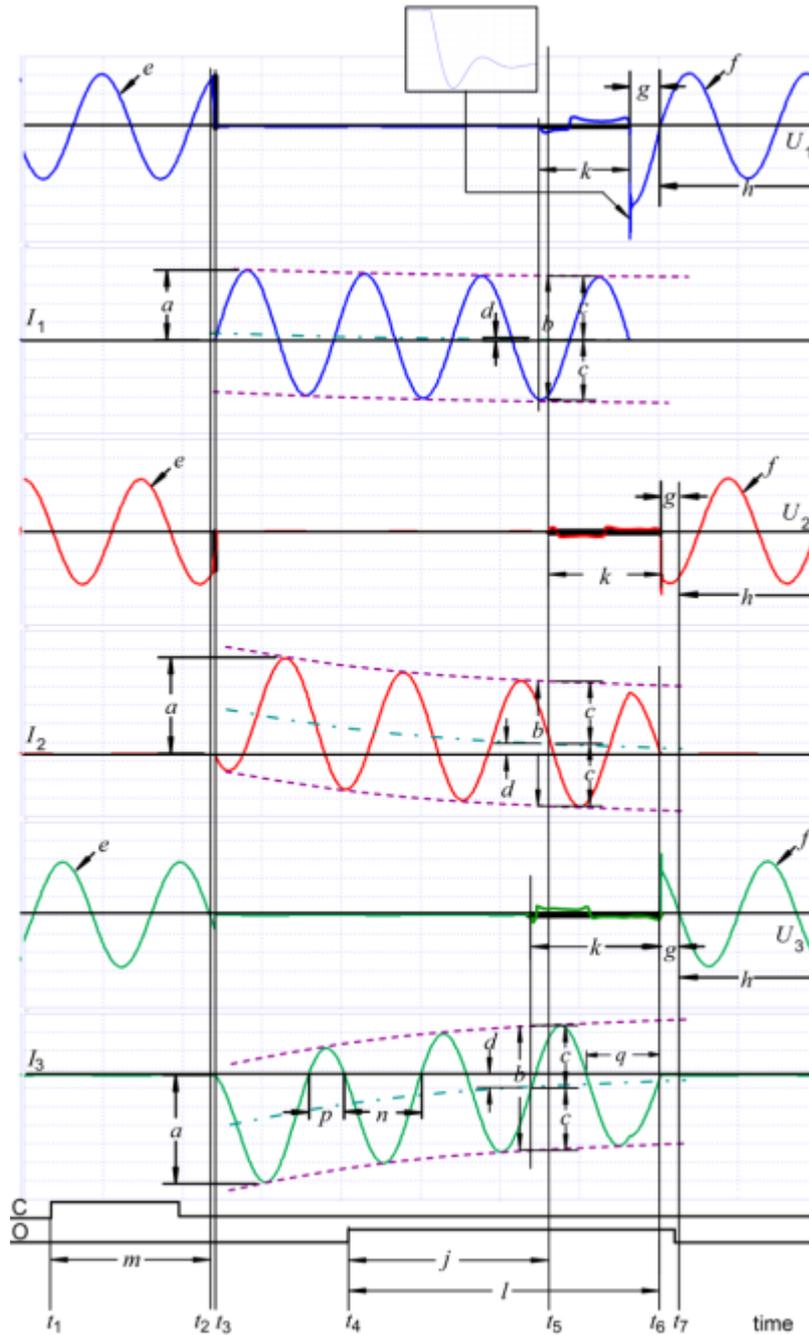
注1：这个定义仅用于非对称短路开断试验中试验参数的确定。

注2：见图6。

3.7.132

(开关装置的) 最短燃弧时间 minimum arcing time (of a switching device)

从电弧起始时刻到电弧熄灭时刻的最短时间间隔。



U_1	首开极端子间的电压	a	(峰值) 关合电流
I_1	首开极中的电流	b	交流分量的峰峰值
U_2, U_3	其它两极端子间的电压	c	交流分量的峰值
I_2, I_3	其他两极中的电流	d	直流分量
C	合闸指令, 例如合闸回路端子间的电压	e	外施电压
O	分闸指令, 例如分闸回路端子间的电压	f	恢复电压
t_1	合闸操作的起始时刻	g	瞬态恢复电压
t_2	主回路中开始流过电流的时刻	h	工频恢复电压
t_3	所有极中都通流的时刻	j	分闸时间
t_4	分闸脱扣器带电时刻	k	燃弧时间
t_5	所有极中的弧触头分离的时刻 (起弧时刻)	l	开断时间
t_6	所有极中的电弧最终熄灭时刻	m	关合时间
t_7	后开极中的瞬态电压现象消失的时刻	n	大半波
p	小半波	q	延长的大半波

注1: 标识字母 *i* 和 *o* 未用到。

注2: 开断电流交流分量的有效值为 $c/\sqrt{2}$ 。

图1 三相短路关合-开断循环的典型示波图

对后面的图2~图3的注:

注1: 实际上, 三极触头运动间存在时间的分散性。为了清楚起见, 对于所有的三极, 图中的触头运动用一根单线表示。

注2: 实际上, 三极中电流开始和终了均存在时间的分散性。为了清楚起见, 对于所有的三极, 图中的电流开始和终了均用一根单线表示。

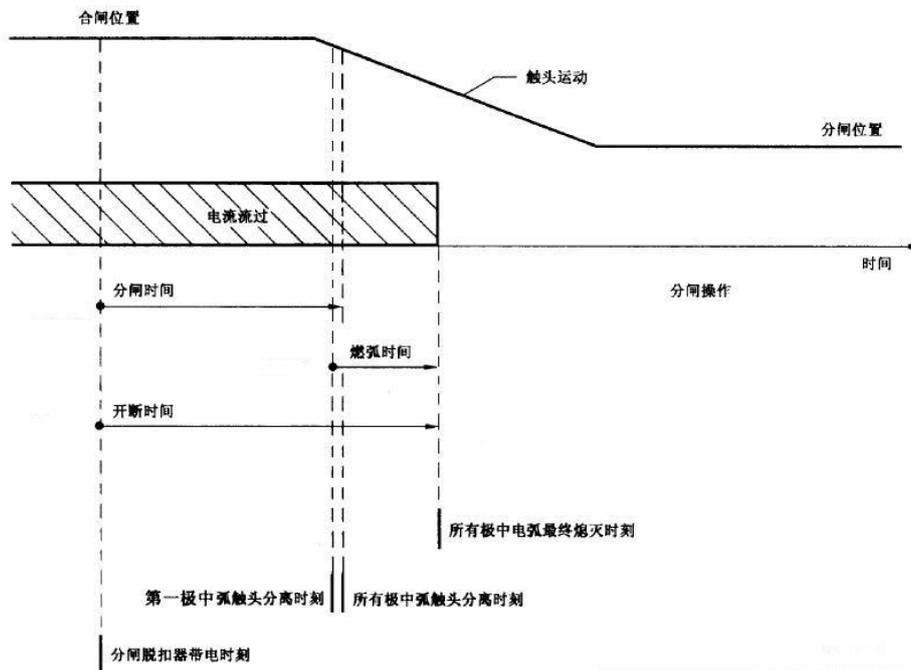


图2 发电机断路器的分闸操作

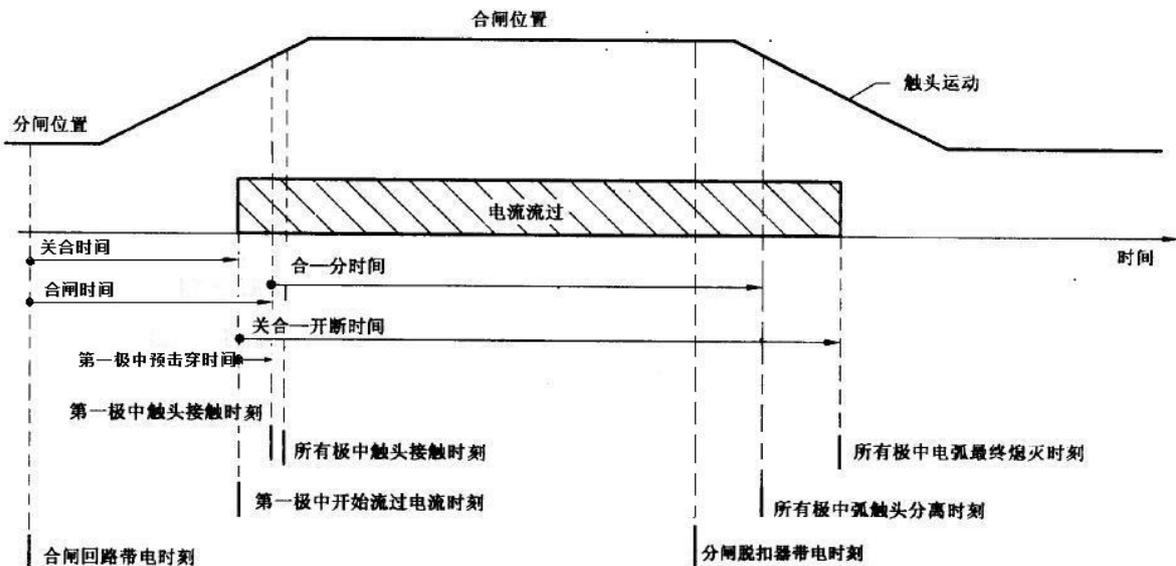


图3 发电机断路器的合-分循环

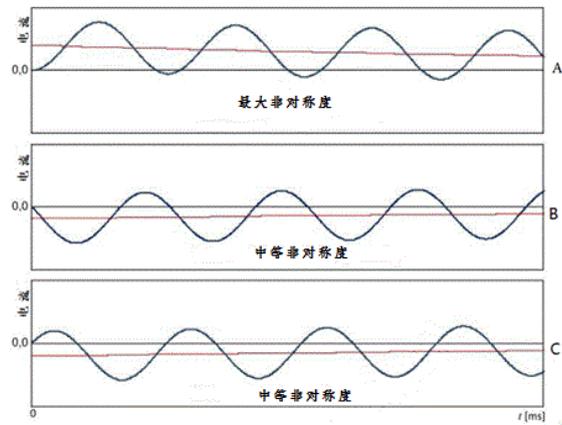


图4 三相不对称电流示意图

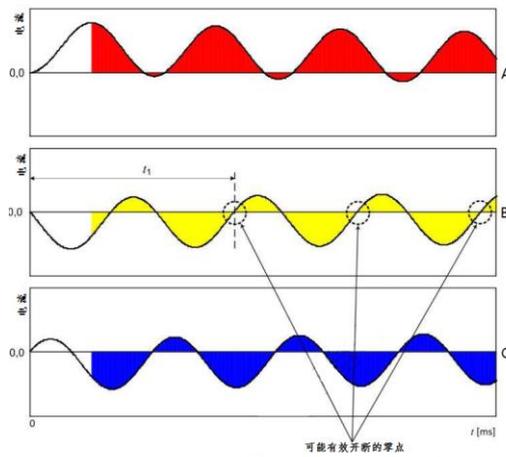


图5 在中等非对称度相中，大半波后可能的有效开断的例子和对应的时间 t_1

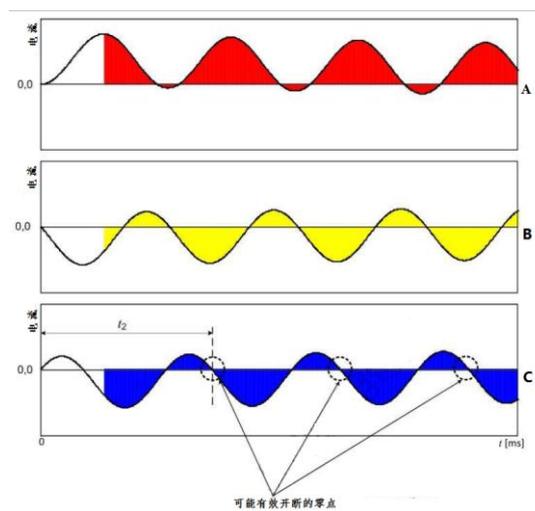


图6 在中等非对称度相中，小半波后可能的有效开断的例子和对应的时间 t_2

4 额定值

4.1 概述

发电机断路器及其操动机构和辅助设备的通用额定值应当从下列各项中选取（适用时）：

- a) 额定电压；
- b) 额定绝缘水平；
- c) 额定频率；
- d) 额定电流；
- e) 额定短时耐受电流；
- f) 额定峰值耐受电流；
- g) 额定短路持续时间；
- h) 合闸和分闸装置以及辅助回路的额定电源电压；
- i) 合闸和分闸装置以及辅助回路的额定电源频率；
- j) 适用时，操作、开断和绝缘用的压缩气源和/或液源的额定压力；
- k) 额定系统源短路开断电流；
- l) 额定短路关合电流；
- m) 额定负荷开合电流；
- n) 额定瞬态恢复电压（TRV）；
- o) 额定操作顺序；
- p) 额定时间参量。

下列特性不是强制性参数，但若有指定数值则应按要求给出：

- q) 额定失步关合、开断电流；
- r) 额定发电机源短路开断电流。

4.2 额定电压（ U_r ）

GB/T 11022—2011的4.2更改如下：

发电机断路器的额定电压等于发电机断路器所在回路的最高电压的有效值，它表示发电机断路器运行时的最大值。

注：额定电压等于发电机断路器所适用的发电机的最高运行电压（通常为发电机额定电压的1.05倍）。

4.3 额定绝缘水平

GB/T 11022—2011的4.3更改如下：

发电机断路器的额定绝缘水平是对规定幅值和波形的电压的耐受能力。发电机断路器额定绝缘水平的要求见表1。额定工频耐受电压（ U_d ）是一台新的发电机断路器能够耐受1分钟的电压（见表1第（2）列和6.2.6.1）。额定雷电冲击耐受电压（ U_p ）是一台新的发电机断路器能够耐受 $1.2 \times 50 \mu\text{s}$ 标准冲击电压波形的峰值（见表1第（3）列和6.2.6.2）。

表1 交流发电机断路器的额定绝缘水平

	绝缘耐受电压	
(1)	(2)	(3)
额定电压 U_r	额定工频耐受电压 U_d	额定雷电冲击耐受电压 U_p

kV (有效值)	kV (有效值)	kV (峰值)
$U_r \leq 7.2$	20	60
$7.2 < U_r \leq 12$	28	75
$12 < U_r \leq 15$	38	95
$15 < U_r \leq 17.5$	50	110
$17.5 < U_r \leq 27$	60	125
$27 < U_r \leq 38$	80	150
注：这些值适用于户内和户外发电机断路器。		

4.4 额定频率 (fr)

GB/T 11022—2011的4.4适用，并作如下补充：

发电机断路器额定频率的标准值是50 Hz。应用其它频率需要特别考虑。

4.5 额定电流和温升

4.5.1 额定电流 (Ir)

GB/T 11022—2011的4.5.1适用，并作如下补充：

R10序列的值仅是优选值。制造厂和用户可协商选择任何其它值。

注：R10系列包含数值1-1.25-1.6-2-2.5-3.15-4-5-6.3-8和这些数与 10^n 的乘积。

4.5.2 温升

GB/T 11022—2011的4.5.2适用，并作如下补充：

发电机断路器日常运行中可触及的操作部件的温度应不大于50℃。

4.5.3 GB/T 11022-2011 的表 3 的说明

GB/T 11022—2011的4.5.3适用。

4.5.101 冷却丧失期间事故电流的额定值

出于对发电机断路器运行的考虑，要求给定事故电流额定值，以便在正常要求的冷却系统丧失后发电机断路器能继续运行。应遵守下列规定：

- 在发电机断路器部件的温度高于对额定电流规定的最大值的情况下，允许发电机断路器在限定的时间内运行；
- 事故限定温度和正常运行温度之间的差值提供了一个确定的允许时间间隔，在此时间间隔内，在必须将负荷电流降低之前可以承载满负荷；
- 在降低负荷电流情况下，发电机断路器可以继续运行，降低的负荷电流值取决于主要的事故状态的类型；
- 发电机断路器的额定电流受几个独立系统（例如灭弧介质、冷却介质、离相母线的强迫空气冷却，等等）影响时，应确定丧失的每个系统各自的和综合的影响；
- 除 a) ~d) 以外，某些发电站的设计（例如单台发电机输出端经两台发电机断路器与两台升压变压器相连）也可要求特殊的事故运行条件和额定值。

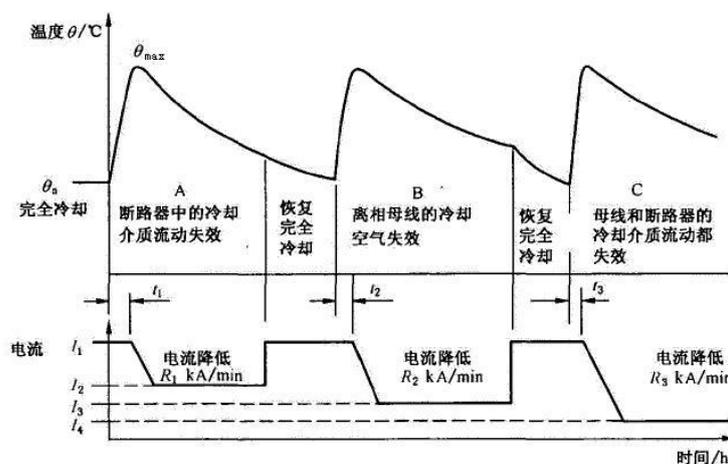
对应各事故状态，应给定下列参数：

t_e 在必须降低负荷前能够以额定电流运行的持续时间；

R_e 负荷电流降低的速率，单位kA/min；

I_e 未限定时间时，在各事故状态下发电机断路器运行时的事故电流。

图7说明了发电机断路器和母线两个冷却系统丧失时典型的事故状态，并就冷却系统分别丧失和同时丧失进行了分析。



- I_1 所有冷却系统运行时的额定电流；
- I_2 若断路器中的冷却介质失效(A)，允许的负荷电流；
- I_3 若离相母线冷却空气发生失效(B)，允许的负荷电流；
- I_4 若离相母线和断路器冷却介质均发生失效(C)，允许的负荷电流；
- θ_{max} 最热点允许的温度 (°C)；
- θ_n 额定电流下最热点的温度 (°C)；
- t_1, t_2, t_3 不降低额定电流和温度不超过 θ_{max} 的允许时间。

图7 各种冷却失效的影响和因发电机断路器的温度而导致的负荷降低

在每种类型的事事故状态下能正确地运行所要求的参数如下，这些参数须由制造厂确定：

- t_1, t_2, t_3 在必须降低负荷前能够以额定电流运行的持续时间；
- R_1, R_2, R_3 负荷电流降低的速率，单位kA/min；
- I_2, I_3, I_4 未限定时间时，在各事故状态下发电机断路器运行时的事故电流。

4.6 额定短时耐受电流 (I_k)

GB/T 11022—2011的4.6适用。

4.7 额定峰值耐受电流 (I_p)

GB/T 11022—2011的4.7适用，并作如下修改：

直流时间常数150 ms包括了大多数情况，且相应地，额定峰值耐受电流等于额定短时耐受电流的2.74倍。

4.8 额定短路持续时间 (t_k)

GB/T 11022—2011的4.8适用，并作如下补充：

如果需要， t_k 可以选取1s。

4.9 合、分闸装置和辅助、控制回路的额定电源电压 (U_a)

GB/T 11022—2011的4.9适用。

4.10 合、分闸装置和辅助回路的额定电源频率

GB/T 11022—2011的4.10适用。

4.11 可控压力系统用压缩气源的额定压力

GB/T 11022—2011的4.11适用。

4.12 绝缘、开断和/或操作作用的额定充入水平

GB/T 11022—2011的4.12适用。

4.101 额定短路电流

4.101.1 概述

发电机断路器的额定短路电流是三相对地短路电流的有效值，与规定的短路能力相关。对称短路电流试验方式及对应额定值和相关能力的确定过程见第8章。需要注意的是，如果发电机断路器的设计运行能力，对于规定的发电机短路电流额定值或变压器短路电流额定值，已经得到验证，那么对于短路电流额定值更低的发电机或变压器，该运行能力自动地得到验证。

4.101.2 额定系统源短路开断电流

4.101.2.1 概述

额定系统源短路开断电流是在本标准规定的使用和性能条件下，触头分离时，发电机断路器所能开断的最大系统源短路电流。出现这样电流的回路的工作恢复电压等于发电机断路器的额定电压且瞬态恢复电压等于4.105中的规定值。对于三极发电机断路器，交流分量与三相对地短路有关。短路电流来自电力系统且至少经过一次变换。

额定系统源短路开断电流由两个值表征：

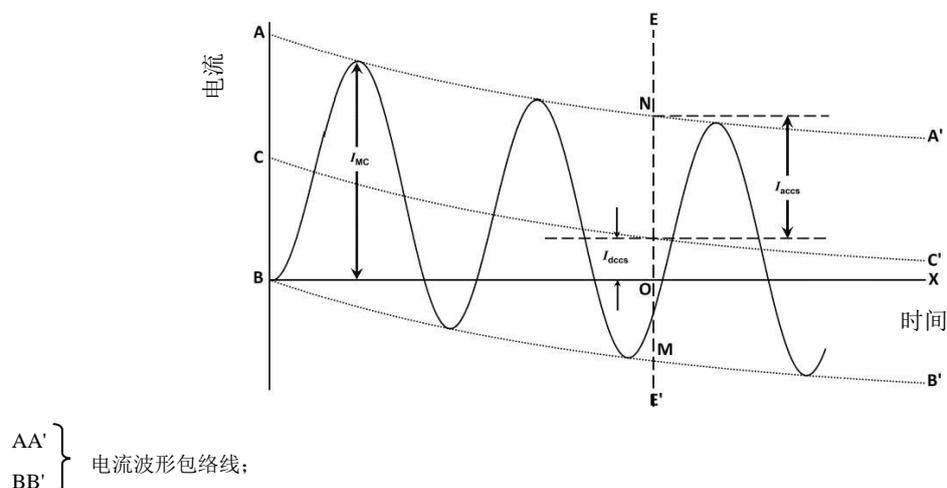
- 交流分量有效值 I_{sc} ；
- 导致电流在触头分离时刻具有一定的非对称度的额定系统源短路开断电流的直流时间常数。

注1：如果触头分离时刻的非对称度不超过 20%，额定系统源短路开断电流仅由交流分量的有效值表征。

注2：非对称度是额定系统源短路开断电流的直流时间常数（见 4.101.2.3）和系统源短路电流起始时刻的函数。

注3：额定系统源短路开断电流的非对称度不超过 100%。

电流起始后任何时刻交流分量、直流分量和非对称度的确定见图8和9。



- BX 电流零线；
 CC' 电流波形包络线的中线；
 EE' 触头分离时刻（起弧）；
 I_{MC} 关合电流峰值；
 I_{accs} 触头分离EE'时刻电流的交流分量峰值；
 I_{dcsc} 触头分离EE'时刻电流的直流分量。

图8 典型的非对称系统源短路电流

$\frac{I_{accs}}{\sqrt{2}}$ 是触头分离EE'时刻电流的交流分量有效值。 Asy_{cs} 是触头分离EE'时刻的非对称度。

$$Asy_{cs} = 100\% \times \frac{I_{dcsc}}{I_{accs}} = 100\% \times \frac{\overline{ON} - \overline{OM}}{\overline{MN}} = 100\% \times \left(\frac{2 \times \overline{ON}}{\overline{MN}} - 1 \right)$$

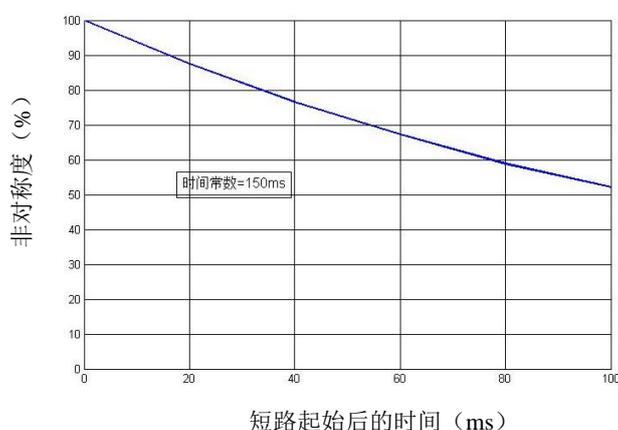


图9 非对称度与短路起始后的时间的关系曲线

发电机断路器应能开断直到额定系统源短路开断电流的任一短路电流，该电流包含直到额定值的任一交流分量及与其相关与规定的直流时间常数相应的任一非对称度。

下列规定适用：

- 电压低于或等于额定电压时，发电机断路器应能开断其额定短路开断电流；
- 电压高于额定电压时，短路开断电流不予保证。

4.101.2.2 额定系统源短路开断电流的交流分量有效值 (I_{sc})

额定系统源短路开断电流的交流分量标准有效值应从GB/T 762-2002规定的R10系列中选取。R10系列的值仅是优选值。制造厂和用户可协商选择任何其它值。

4.101.2.3 额定系统源短路开断电流的直流时间常数 (τ)

标准直流时间常数为150 ms。

4.101.3 额定发电机源短路开断电流

4.101.3.1 概述

额定发电机源短路开断电流是在本标准规定的使用和性能条件下，触头分离时，发电机断路器所能开断的最大发电机源短路电流。出现这样电流的回路工频恢复电压等于发电机断路器的额定电压，且瞬态恢复电压等于4.105中的规定值。对于三极发电机断路器，交流分量和三相对地短路有关。短路电流源完全来自发电机而不经变换。

额定发电机源短路开断电流由两个值表征：

- 触头分离时的交流分量有效值 I_{scg} ；
- 触头分离时的非对称度 A_{syncs} 。

如果非对称度超过100%，将导致电流延时过零。

注：如果触头分离时的非对称度不超过20%，额定发电机源短路电流仅由交流分量的有效值表征。

图10示出了典型的发电机源短路电流波形，包括短路起始后交流分量、直流分量和作为时间的函数的非对称度。

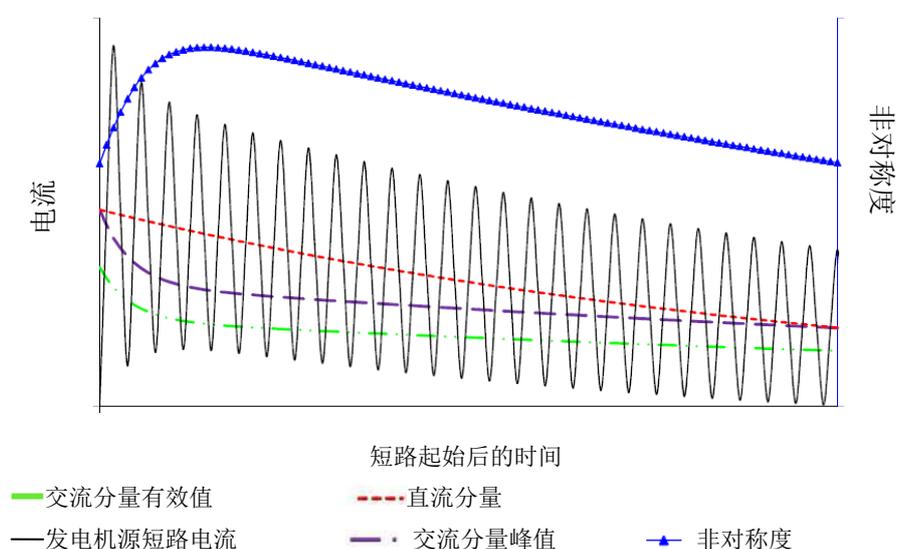


图10 典型的非对称发电机源短路电流

电流起始后任意时刻的交流分量和非对称度的确定见附录D。

下列规定适用：

- 电压低于或等于额定电压时，发电机断路器应能开断其额定发电机源短路开断电流；
- 电压高于额定电压时，短路开断电流不予保证。

需要注意的是，短路电流的交流分量按发电机的次瞬态和瞬态时间常数衰减，而直流分量按电枢时间常数衰减，若发电机空载或已在故障前释放能量，则发电机源短路电流的交流分量和非对称度依情况而变化。

验证实际运行条件下发电机断路器开断具有延迟电流零点的短路电流的能力可能很困难，并且受到大容量试验站的限制。因此，参考6.105.12中各试验方式的结果，发电机断路器开断具有延迟电流零点的短路电流的能力应通过计算来确定（见8.103.6.3.6.4）。

4.101.3.2 额定发电机源短路开断电流的交流分量有效值 (I_{scg})

本标准未给出发电机源短路开断电流交流分量的优选值，因为其最大值通常小于来自电力系统的短路开断电流的交流分量。如果制造厂规定了额定值，则发电机断路器要进行相关能力的试验（见6.105）。

4.101.3.3 额定发电机源短路开断电流的非对称度

就G1级发电机断路器而言，对于规定的额定发电机源短路开断电流的交流分量，非对称度为110%；若电流的交流分量等于规定的额定发电机源短路开断电流交流分量的74%，且与触头分离时刻无关，则非对称度为130%（见附录F）。

就G2级发电机断路器而言，对于与触头分离时刻无关的规定的额定发电机源短路开断电流的交流分量，非对称度为130%（见附录F）。

4. 101.4 额定单相对地故障开断电流

没有规定具体的额定值涵盖单相对地故障开断电流。因为设计用于高阻抗接地系统中的发电机断路器，单相对地故障电流不超过50A。单相对地故障要求的开断能力绝不会超过这个值。发电机断路器能轻易地开断这样大小的电流。

4. 102 额定短路关合电流

具有极间同期性的发电机断路器的额定短路关合电流（见图8）是以直流时间常数150 ms为基础的，并且是额定系统源短路开断电流的交流分量有效值的2.74倍。

如果规定了发电机源短路电流额定值，且关合电流高于上述值，那么额定关合电流应由制造厂确定。

注：短路关合电流也可看作合闸电流。

4. 103 额定负荷开合电流

额定负荷开合电流是在本标准规定的使用和性能条件下，发电机断路器所能关合、开断的最大负荷电流。出现这样电流的回路工频恢复电压等于断路器的额定电压，且瞬态恢复电压等于4.105中的规定值。

发电机断路器开断负荷电流的能力应按照6.104规定的试验来确定。

4. 104 额定失步关合和开断电流

额定失步关合和开断电流是在本标准规定的使用和性能条件下，发电机断路器所能关合、开断的最大失步电流。出现这样电流的回路工频恢复电压等于断路器的额定电压，且瞬态恢复电压等于4.105中的规定值。

规定的额定失步开断电流交流分量有效值 I_d 是额定系统源短路开断电流的交流分量有效值的50%。

4. 105 与开断电流相关的额定瞬态恢复电压

4. 105.1 TRV 波形的表示

瞬态恢复电压波形近似于一种阻尼的单频振荡。TRV波形上升部分的上下限边界可用两条直线段充分地表示。上限线段从原点出发上升并向右延伸，和TRV曲线相切，具有的斜率等于TRV上升率。下限线段有与上限线段相同的斜率，从时间轴的时延点 t_d 位置出发，终结于图11所示的坐标为 (t', u') 的点。上限线段末端和水平线相交，水平线又与TRV波形的最高点 u_c 相切。两条线交点所对应的时间 t_3 称为上升时间，交点坐标为 (t_3, u_c) 。从图11可以明显看出， t_3 时刻早于TRV波形到达峰值的时刻。绘制TRV包络线的方法见8.103.7.3。

由于局部电容的影响，在TRV的最初几个微秒内产生了一个较低的电压上升率，这可以通过引入时延来考虑。

表示TRV的两个参数是 u_c 和 t_3 。

u_c 是参考电压（TRV峰值），计算如下：

$$u_c = k_{pp} \times k_{af} \times \frac{\sqrt{2}U_r}{\sqrt{3}}$$

其中：

k_{pp} ——首开极系数1.5（见8.103.7.4）；

k_{af} ——振幅系数1.5（见8.103.7.5）；

t_3 ——上限线段与水平参考线相交的时间。对于给定的TRV波形，确定 t_3 的方法见8.103.7.3。

u' 的优选值为 $u_c/3$ ， t' 的优选值为 $t_d+t_3/3$ 。

u_c/t_3 的比值称为恢复电压上升率[RRRV]。

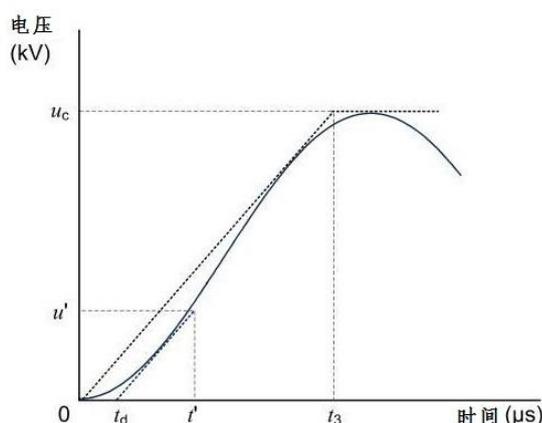


图11 开断三相对称故障的预期 TRV 波形的两参数表示

4.105.2 TRV 的额定值

TRV参数的标准值见表2、表3、表4和表5。确定 t_3 时刻的公式和方法见8.103.7.3和图11。表2、表3、表4和表5列出了预期的TRV参数值。 U_r 用kV（有效值）表示。

表2～表5给出的TRV参数 t_3 和 u_c 的值分别用 μs 和kV（峰值）表示，并且计算式为 U_r 的函数， U_r 单位是kV（有效值）。

表2和表3给出的额定值是为首开极确定的，并且是针对三相对地故障中对称电流开断的情况。如果发电机断路器通过附加电容来修改预期TRV，则所需等效电容值应在试验报告和铭牌上示出。

表2 系统源故障的 TRV 参数

变压器额定容量 MVA	预期TRV		
	时间 t_3 μs	TRV峰值 u_c kV	RRRV kV/ μs
10-50	$0.58U_r$	$1.84U_r$	3.2
51-100	$0.53U_r$	$1.84U_r$	3.5
101-200	$0.46U_r$	$1.84U_r$	4.0
201-400	$0.41U_r$	$1.84U_r$	4.5
401-600	$0.37U_r$	$1.84U_r$	5.0
601-1000	$0.34U_r$	$1.84U_r$	5.5
1001及以上	$0.31U_r$	$1.84U_r$	6.0

时延 t_d 应不大于 $1\mu\text{s}$ 。

表3 发电机源故障的 TRV 参数

发电机额定容量 MVA	预期TRV		
	时间 t_3 μs	TRV峰值 u_c kV	RRRV kV/ μs
10-50	$1.23U_r$	$1.84U_r$	1.5
51-100	$1.15U_r$	$1.84U_r$	1.6
101-400	$1.02U_r$	$1.84U_r$	1.8
401-800	$0.92U_r$	$1.84U_r$	2.0
801及以上	$0.84U_r$	$1.84U_r$	2.2

时延 t_d 应不大于 $0.5\mu\text{s}$ 。

表4 负荷电流开合的 TRV 参数

发电机额定容量 MVA	预期TRV		
	时间 t_3 μs	TRV峰值 u_c kV	RRRV kV/ μs
10-50	$1.03U_r$	$0.92U_r$	0.9
51-100	$0.92U_r$	$0.92U_r$	1.0
101-400	$0.77U_r$	$0.92U_r$	1.2
401-800	$0.66U_r$	$0.92U_r$	1.4
801及以上	$0.58U_r$	$0.92U_r$	1.6

时延 t_d 应不大于 $1\mu\text{s}$ 。

表5 失步电流开合的 TRV 参数

发电机额定容量 MVA	预期TRV		
	时间 t_3 μs	TRV峰值 u_c kV	RRRV kV/ μs
10-50	$0.87U_r$	$2.6U_r$	3.0
51-100	$0.79U_r$	$2.6U_r$	3.3
101-400	$0.64U_r$	$2.6U_r$	4.1
401-800	$0.56U_r$	$2.6U_r$	4.7
801及以上	$0.50U_r$	$2.6U_r$	5.2

时延 t_d 不应大于 $1\mu\text{s}$ 。

4.106 额定操作顺序

4.106.1 概述

发电机断路器的额定操作顺序为：

CO – 30 min – CO

其中：

CO —— 一次合闸操作后立即（即无任何认为的延时）进行分闸操作；

30min —— 连续操作之间的时间间隔。

4.106.2 额定短路电流操作顺序

发电机断路器的额定短路电流操作顺序就是额定操作顺序。

注：额定短路电流操作顺序也可看作额定短路工作循环。

4.106.3 额定负荷电流操作顺序

发电机断路器的额定负荷电流操作顺序就是额定操作顺序，除非制造厂在操作之间规定了更短的时间间隔。

4.106.4 额定失步电流操作顺序

发电机断路器的额定失步电流操作顺序就是额定操作顺序，除非制造厂在操作之间规定了更短的时间间隔。

4.107 额定时间参量

4.107.1 概述

参照图1、图2和图3。

可以对下列时间参量规定额定值：

——分闸时间（空载）；

——开断时间；

——合闸时间（空载）；

——合—分时间（空载）。

额定时间参量基于：

——合闸和分闸装置以及辅助和控制回路的额定电源电压（见 4.9）；

——合闸和分闸装置以及辅助回路的额定电源频率（见 4.10）；

——操作、绝缘和/或开断用压缩气源的额定压力，适用时（见 4.11 和 4.12）；

——操作用液压源的额定压力；

——周围空气温度为 $(20 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ 。

注：通常不需要规定关合时间的额定值，因为它与合闸时间近似相等。

另外，最短分闸时间应由制造厂提出。

4.107.2 额定开断时间

发电机断路器的额定开断时间是按照下列条件，在表13或14的试验方式1中（见6.103.12），脱扣回路的带电时刻与主回路所有极的电弧熄灭时刻之间的最长时间间隔：

——额定辅助电源电压和频率；

——操作、绝缘和开断的额定压力；

——周围空气温度 $(20 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ 。

注1：按照 6.102.3.1，开断试验应在最低辅助电源电压、最低操作压力和最低开断压力下进行。为了验证这些试验方式下的额定开断时间，考虑到较低的辅助电源电压和压力，最长开断时间应按下述方法进行修正：

$$t_{b \max} = t_1 + T \times 132 \% / 360 \text{ }^\circ\text{C} (t_2 - t_3)$$

式中：

$t_{b \max}$ ——确定的最长开断时间；

t_1 ——对称系统源短路开断试验所记录的最短开断时间；

T ——一个工频周期；

t_2 ——按照 6.103 中的试验方式采用的辅助电源电压以及操作和/或开断用的压力时测取的最长空载分闸时间；

t_3 ——额定分闸时间。

注2：典型值约为 60ms~90ms，实际时间取决于额定系统源短路开断电流。

注3：额定开断时间会与确定的最长开断时间有微小差异，因为最短开断时间也会受到操作压力和开断压力的轻微影响。为了体现这种影响，获取最短开断时间的试验可在额定辅助电源电压、额定操作压力和额定开断压力下重做。

注4：单相试验模拟三相操作时，记录到的开断时间可能会超过额定开断时间 30 个电角度。因为在这种情况下，电流零点的出现频率小于三相试验时的出现频率。

注5：对于带电阻的发电机断路器，电阻电流最终开断的时间会比较长。

4.107.3 最短分闸时间

发电机断路器的最短分闸时间是从分闸脱扣器带电时刻到所有各极的弧触头分离时刻的最短时间间隔。

注：当分闸脱扣器在电源电压上限和操作用的最高功能压力下（如果适用）带电时，会出现最短分闸时间。

4.108 机械操作的次数

考虑到制造厂规定的维护程序，发电机断路器应能完成下述次数的操作：

标准发电机断路器（基本的机械寿命） M1 级	2000次操作次数
特殊使用要求的发电机断路器（延长的机械寿命） M2 级	5000次操作次数

5 设计与结构

5.1 发电机断路器中液体的要求

GB/T 11022—2011的5.1适用。

5.2 发电机断路器中气体的要求

GB/T 11022—2011的5.2适用。

5.3 发电机断路器的接地

GB/T 11022—2011的5.3适用，并作如下修改：

对于非封闭式或三相封闭式发电机断路器，GB/T 11022—2011的5.3适用。

对于单相封闭式发电机断路器，通过把发电机断路器外壳和母线接地外壳相连来实现接地。

5.4 辅助和控制设备

GB/T 11022—2011的5.4适用，并作如下补充：

a) 使用并联分闸和合闸脱扣器的场合，当施加连续或持久的合闸或分闸指令时，应采取适当的措施避免脱扣器损坏。例如，那些措施可以是使用串联控制触头的布置使得：

——当发电机断路器处于合闸位置时，合闸脱扣器的控制触头（“b”触头或开断触头）是分开的，分闸脱扣器的控制触头（“a”触头或关合触头）是闭合的；

——当发电机断路器处于分闸位置时，分闸脱扣器的控制触头（“a”触头）是分开的，合闸脱扣器的控制触头（“b”触头）是闭合的；

注：也可能采用不同于触头的其他装置。

- b) 对于并联合闸脱扣器，上面 a) 所述的并联合闸脱扣器的保护措施的动作不应早于断路器的合闸指令最短持续时间（3.7.117），也不应迟于断路器的额定合闸时间；
- c) 对于并联分闸脱扣器，上面 a) 所述的并联分闸脱扣器的保护措施的动作不应早于断路器要求的脱扣器指令最短持续时间（3.7.116），也不应迟于断路器主触头分闸后 20ms；
- d) 对于具有短的合—分闸时间要求的场合，上面 a) 所述的并联分闸脱扣器的保护措施的动作不应早于断路器主触头的合闸时刻，也不应迟于断路器主触头合闸后一个半波；
- e) 辅助开关用作位置指示器时，应指示断路器处于休止、分闸或合闸的终了位置，信号还应保持；
- f) 连接件应能承受由发电机断路器产生的应力，尤其是那些由于操作时的机械力而产生的应力；
- g) 户外发电机断路器的所有辅助设备包括接线，应进行充分的防雨和防潮保护；
- h) 使用控制设备的特殊元件时，应在辅助和控制回路的电源电压、开断和/或绝缘以及操作作用的介质的规定限值范围内工作，并能开合发电机断路器制造厂规定的负载；
- i) 辅助设备的特殊元件，诸如液体指示器、压力指示器、释放阀、充排设备、加热器和联锁的触点，应在辅助和控制回路电源电压的规定限值范围内，和/或在开断和/或绝缘以及操作作用的介质的规定限值范围内工作；
- j) 加热器在额定电压下的能量消耗应在制造厂规定值的 $\pm 10\%$ 公差范围内；
- k) 防跳跃装置作为发电机断路器控制回路的一部分时，如果安装了不止一个，他们应在每一个控制回路中动作；

5.5 动力操作

GB/T 11022—2011的5.5适用。

5.6 储能操作

GB/T 11022—2011的5.6适用。

5.7 不依赖人力或动力的操作（非锁扣的操作）

GB/T 11022—2011的5.7对发电机断路器不适用。

5.8 脱扣器的操作

5.8.1 并联合闸脱扣器

GB/T 11022—2011的5.8.1适用。

5.8.2 并联分闸脱扣器

GB/T 11022—2011的5.8.2适用，并作如下补充：

按照3.6.102的定义，操动机构应自由脱扣。这意味着，分闸指令无论何时给出，都比合闸指令优先。

5.8.3 并联脱扣器的电容储能操作

GB/T 11022—2011的5.8.3适用。

5.8.4 欠电压脱扣器

GB/T 11022—2011的5.8.4不适用。

5.8.101 多个脱扣器

若发电机断路器安装有同样功能的多个脱扣器时，则一个脱扣器的缺陷不应干扰其他脱扣器的功能。相同功能使用的脱扣器应在物理上独立，即磁场隔离。

5.8.102 脱扣器的动作限值

在额定电源电压下，并联分闸脱扣器的脱扣指令最短持续时间和并联合闸脱扣器的指令最短持续时间不应小于2ms。

并联脱扣器动作的最低电源电压不应小于额定电源电压的30 %。

5.8.103 脱扣器的功耗

三极发电机断路器的并联分闸或合闸脱扣器的功耗不应超过1200 V A。对于某些发电机断路器的设计，可能需要更高的值。

5.9 低压力和高压力闭锁装置

下述内容取代GB/T 11022—2011的5.9：

所有具有储气筒或液体蓄压筒储能的发电机断路器（见GB/T 11022—2011的5.6.2）和所有除密封压力装置外采用开断用压缩气体的发电机断路器（见5.103），均应装设低压力或低密度闭锁装置，也应装设高压力或高密度闭锁装置。这些闭锁装置应设定在制造厂规定的压力或密度或者适当的压力或密度极限范围内动作。

5.10 铭牌

5.10.1 概述

GB/T 11022—2011的5.10适用，并做如下补充：

断路器和其操动机构的铭牌应按表6的内容标注。

在发电机断路器正常工作和安装位置铭牌均应明显可见。

操动机构和脱扣器的线圈应标注制造厂名称和零件数量。

表6 铭牌参数

项目	缩写	单位	发电机断路器	操动机构	条件：仅当需要时才标注
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
制造厂			X	X	
型号和系列号			X	X	
额定电压	U_r	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	I_r	A	Y		不需要外部强迫冷却
具有外部强迫冷却的的额定电流	$I_{r,efc}$	A	Y		需要外部强迫冷却
额定短时耐受电流	I_k	kA	X		
额定短路持续时间	t_k	s	X		
额定短路峰值关合电流	I_{MC}	kA	X		
额定系统源短路开断电流的交流分量有效值	I_{sc}	kA	X		
额定系统源短路开断电流在触头分离时刻的非对称度		%	X		

额定失步开断电流的交流分量有效值	I_d	kA	(X)		
20℃时操作用的额定充入压力	p_{rm}	MPa		(X)	
绝缘和/或开断用流体的种类和质量		kg	Y		含有流体的密封容器
20℃时绝缘和/或开断用的额定充入压力	p_{re}	MPa	(X)		
合闸装置的额定电压		V		(X)	
分闸装置的额定电压		V		(X)	
合闸装置的额定频率		Hz		(X)	
分闸装置的额定频率		Hz		(X)	
合闸装置的额定电流		A		(X)	
分闸装置的额定电流		A		(X)	
辅助回路的额定电压	U_a	V		(X)	
辅助回路的额定频率		Hz		(X)	
辅助回路的额定电流		A		(X)	
质量 ³ (包括流体)	M	kg	X	X	
标准操作顺序			X		
额定开断时间		ms	X		
发电机侧每一相的电容值		nF	Y		发电机侧装有电容器
变压器侧每一相的电容值		nF	Y		变压器侧装有电容器
制造年份			X	X	
说明书编号			X	X	
标有发布日期的相关标准			X	X	
<p>X=这些值的标注是强制性的；空格表示此值为零。 (X) =如果指定了额定值，则这些值的标注是强制性的。 Y=如果满足栏(6)中的条件，则这些值的标注是强制性的。 注：栏(2)中的缩写可以代替栏(1)中的术语。采用栏(1)中的术语时可不出现“额定”。</p>					

5.10.101 附件

所有附件的铭牌都应包括以下内容：

- a) 识别号；
- b) 相关的操作特性。

5.10.102 发电机断路器的改动

当含有改动时，应提供修改后的铭牌。

5.11 联锁装置

GB/T 11022—2011的5.11适用。

5.12 位置指示

GB/T 11022—2011的5.12适用。

5.13 外壳的防护等级

GB/T11022—2011的5.13适用。

5.14 爬电距离

GB/T 11022—2011的5.14适用。

5.15 气体和真空的密封

GB/T 11022—2011的5.15适用。

5.16 液体的密封

GB/T 11022—2011的5.16适用。

5.17 火灾危险（易燃性）

GB/T 11022—2011的5.17适用。

5.18 电磁兼容性（EMC）

GB/T 11022—2011的5.18适用。

5.19 X射线发射

GB/T 11022—2011的5.19适用。

5.20 腐蚀

GB/T 11022—2011的5.20适用。

5.101 单合和单分操作时的极间同期性的要求

如果对极间同期操作没有规定特别的要求，各极合闸时触头接触时刻的最大差异不应超过额定频率的1/4周波。如果一极由多个串联的开断单元组成，则这些串联的开断单元之间触头接触时刻的最大差异不应超过额定频率的1/6周波。

如果对极间同期操作没有规定特别的要求，分闸时触头分离时刻的最大差异不应超过额定频率的1/6周波。如果一极由多个串联的开断单元组成，则这些串联的开断单元之间触头分离时刻的最大差异不应超过额定频率的1/8周波。

5.102 操作的一般要求

发电机断路器及其操动机构应能在GB/T 11022—2011的第2章确定的温度级别的整个环境温度适用范围内，按5.6~5.9和5.103的相关规定完成其额定短路操作顺序（见4.106.2）。

此要求不适用于辅助的手动操动装置；若装有这种装置，则仅供不带电回路的维护和紧急操作之用。

装有加热器的发电机断路器应设计成，加热器在最短2h内不工作时，断路器在温度级别确定的最低环境温度下能够进行分闸操作。

5.103 操作用流体的压力极限

制造厂应规定操作用流体的最高和最低压力，发电机断路器在此极限压力下应能按其额定值使用，并按此极限压力整定合适的低压力和高压力闭锁装置（见5.9）。制造厂应规定操作和开断用的最低功能压力（见3.7.124和3.7.125）。

制造厂可规定发电机断路器能够进行下述每一种操作的压力极限：

- a) 开断其额定短路开断电流，即一个“分(O)”操作；
- b) 关合其额定短路关合电流后，立即开断其额定短路开断电流，即一个“合分(CO)”操作循环；

发电机断路器应具有足够容量的能量储存，以便在规定的相应最低压力下进行适当的操作时获得满意的性能。

5.104 排逸孔

排逸孔是发电机断路器在操作过程中专门用来释放其内部压力的装置。

注：本定义适用于空气、气吹和油发电机断路器。

发电机断路器排逸孔的设置应使排油或排气或者排逸两者时，不致引起电击穿，且不朝向任何可能出现人员的地方。制造厂应规定必要的安全距离。

发电机断路器或其辅助设备正常操作时，排逸孔的结构应使气体不会聚集在由于操作中或操作后产生的火花所能点燃的任何位置。

5.105 警告标志

应设置标识和警告标志以识别与发电机断路器及其操动机构有关的可能的危险因素，并引起特别注意和采取适当的预防措施。

5.106 说明书

应提供发电机断路器基本维护和安全操作的说明书。

6 型式试验

6.1 总则

6.1.1 总述

GB/T 11022—2011的第6章适用，并作如下补充：

型式试验是为了确定一种特定类型、样式或模型的发电机断路器的设计裕度，以满足其指定的额定值和在规定的使用条件下获得满意的操作。型式试验应在具有基本的相同设计（如：断路器操作方式相同及触头速度相同，并至少具有相同的绝缘强度）的典型的发电机断路器上进行。这些试验不用作为正常生产的一部分。这些型式试验可用于评估修改了的以往的设计，并确保其性能没有受到影响。在适当情况下，以往类似设计的试验数据可使用在目前的设计中。

发电机断路器的型式试验项目列于表7中。试品的数量在6.1.1和6.102.2中给出。对于型式试验，试验参量的公差在附录A中给出。原则上，各项型式试验应在新的、干净的发电机断路器上进行。对于采用SF₆作为绝缘、开断和/或操作的发电机断路器，气体的质量至少应达到GB/T 8905—2012的接受水平。

制造厂的责任仅限于所声明的额定值，而不是型式试验中获得的值。

通过示波器或等效设备（例如瞬态记录仪）包括相关设备来确定额定参数（例如短路电流、外施电压和恢复电压）量值的每项测量的不确定度应在±5%范围内。

表7 型式试验

强制的型式试验项目	条款号
绝缘试验	6.2
主回路电阻测量	6.4
温升试验	6.5
短时耐受电流和峰值耐受电流试验	6.6
辅助和控制回路的附加试验	6.10
常温下的机械操作试验	6.101.2.1~6.101.2.3

噪音水平试验		6.101.4
系统源短路电流关合和开断试验		6.103
负荷电流开合试验		6.104
取决于应用、额定值或设计的型式试验项目	要求型式试验的条件	条款号
防护等级验证	规定的 IP 等级	6.7.1
	规定的 IK 等级	6.7.2
密封试验	可控的、密封或封闭的压力系统	6.8
EMC 试验	二次系统中包含电子设备或元件	6.9
特殊使用条件下发电机断路器延长的机械寿命试验	规定有 M2 级额定值	6.101.2.4
低温和高温试验	按照 6.101.3.1	6.101.3
发电机源短路电流关合和开断试验	规定的发电机源短路电流	6.105
失步关合和开断试验		6.106
本表上半部分所列出的强制性型式试验项目是对所有发电机断路器适用的。		
本表下半部分所列出的其它型式试验适用于规定有相关的额定值的所有发电机断路器。		

6.1.2 概述

6.1.3 试验的分组

GB/T 11022—2011的6.1.2适用。

6.1.4 确认试品用的资料

GB/T 11022—2011的6.1.3适用。

6.1.5 型式试验报告用的资料

GB/T 11022—2011的6.1.4适用，并作如下补充：

附录B中给出了关于关合、开断和短时电流性能的型式试验记录和报告的更详细的说明。

6.2 绝缘试验

6.2.1 试验时的周围大气条件

GB/T 11022—2011的6.2.2适用。

6.2.2 湿试程序

GB/T 11022—2011的6.2.3适用。

6.2.3 绝缘试验时发电机断路器的状态

GB/T 11022—2011的6.2.4适用，并作如下补充：

在装有电阻或电容的发电机断路器上实施绝缘试验可能有难度。这种情况下，可将电阻或电容断开连接或移除。

如果绝缘试验时电阻或电容已断开连接或移除，则这些元件应按表1的值分别进行试验。

6.2.4 通过试验的判据

GB/T 11022—2011的6.2.5适用，并作如下补充：

如果试验过程中出现破坏性放电，且不能给出任何证据来证明该破坏性放电出现在自恢复绝缘上，则在完成绝缘试验系列后应对发电机断路器进行解体检查。如果发现非自恢复绝缘损坏（例如痕迹、击穿等），则发电机断路器就没有通过该试验。

注：如果大气修正系数 K_1 小于1.00且大于0.95，可以不施加修正系数进行试验。在外绝缘上的15次冲击中出现1次或2次破坏性放电，出现闪络的特定试验系列应在施加适当的校正因数后重复进行使得不再出现破坏性放电。

6.2.5 试验电压的施加和试验条件

GB/T 11022—2011的6.2.6适用。

6.2.6 $U_r \leq 252 \text{ kV}$ 的发电机断路器的试验

试验应按表1给出的试验电压进行。

6.2.6.1 工频电压试验

GB/T 11022—2011的6.2.7.2适用，并作如下补充：

湿试试验只需在绝缘暴露于户外条件下的户外发电机断路器上进行。

6.2.6.2 雷电冲击电压试验

GB/T 11022—2011的6.2.7.3适用。

6.2.7 $U_r > 252 \text{ kV}$ 的发电机断路器的试验

本标准不适用。

6.2.8 户外绝缘件的人工污秽试验

GB/T 11022—2011的6.2.9适用。

6.2.9 局部放电试验

GB/T 11022—2011的6.2.10适用，并作如下补充：

完整的发电机断路器一般不需要进行局部放电试验。然而，如果发电机断路器采用的某些元件有相关标准，且包括有局部放电测量（例如套管，见GB/T 4109）时，制造厂应提供证据，说明这些元件已按相关标准通过了规定的局部放电试验。

6.2.10 辅助和控制回路的绝缘试验

GB/T 11022—2011的6.2.11适用。

6.2.11 作为状态检查的电压试验

GB/T 11022—2011的6.2.12不适用；其规定的试验替换为以下内容：

机械或环境试验（见6.101.1.4）后，如果发电机断路器打开的触头间、对地或相邻极间的绝缘性能不能通过外观检查充分可靠地验证，应按GB/T 11022—2011的6.2.12的规定在干试条件下进行工频耐受电压试验作为状态检查。试验电压应是表1第(2)列数值的80%。

关合、开断或开合试验后，应在打开的触头间进行1min工频耐受电压试验作为状态检查。如果存在任何受灭弧介质影响的介电间隙（比如操作杆），也应通过工频耐受电压试验对其进行评估，或者如果实施困难，可由一个单独的试验进行评估。试验电压应是表1第(2)列数值的80%。

6.3 无线电干扰电压(r. i. v) 试验

GB/T 11022—2011的6.3不适用。

6.4 主回路电阻的测量

6.4.1 主回路

GB/T 11022—2011的6.4.1适用，并作如下修改：
试验电流应由制造厂规定，但应不小于直流100 A。

6.4.2 辅助回路

GB/T 11022—2011的6.4.2适用。

6.5 温升试验

6.5.1 受试发电机断路器的状态

GB/T 11022—2011的6.5.1适用。

6.5.2 设备的布置

GB/T 11022—2011的6.5.2适用，并作如下补充：

a) 对敞开式或三相封闭的发电机断路器，按下述规定。

因为发电机断路器相邻极的磁场影响会产生热效应，应实施三相试验。

与发电机断路器串联和紧密相连的其它设备，如电流互感器、电压互感器、隔离开关等，应装设在它们的固定位置上。

应考虑到相邻支撑结构（比如一极的框架）存在感应发热，并应对其进行测量。

b) 对单相封闭的发电机断路器，按下述规定。

单相封闭的发电机断路器可以进行单相试验：

——如果单相封闭的发电机断路器与单相封闭的离相母线（IPB）系统相连，且母线的外壳通过额定电流；

——如果试验在处于最不利位置的相上进行，大多数情况下是中间相；

——如果没有磁场影响的可能；

——如果相邻相的影响能通过加热器、热绝缘或等效方法来模拟。

单相封闭的发电机断路器没有与单相封闭的离相母线系统相连或者单相封闭的离相母线系统的外壳不通过额定电流，需进行三相试验。

当单相封闭的发电机断路器进行单相试验时，发电机断路器的外壳应通过额定电流。

与发电机断路器串联和紧密相连的其他设备，如电流互感器、电压互感器、隔离开关等，应装设在它们的固定位置上。

由于发电机断路器持续电流承载能力受所连接的离相母线温度的影响，故进行试验时发电机断路器必须连接离相母线。离相母线的最短长度应在其外壳外径的1.5倍或2m中选择较大的那个。

在距离发电机断路器端子1m处测量的离相母线的温升应不超过表8所示的温升限值。对于4个位置（参见图12中的位置6和7）中的每一个，应至少测量2个点的温升。测量点应均匀分布在离相母线导体和离相母线外壳的周围。如果发电机断路器通过多种连接方式与离相母线相连，这些连接不被视为发电机断路器的一部分。

表8 温升试验限值

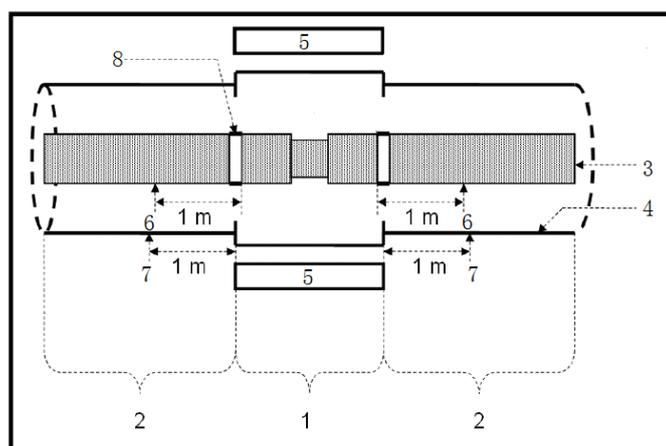
部件	在环境温度不超过 40℃时离相母线的温升限值	
	K	
	选项 1	选项 2
每侧位置 6 的离相母线导体	50	65
每侧位置 7 的离相母线外壳	30	40

注：位置4和位置5如图12所示。

根据用户和制造厂之间的协议，应选择表8中的2个选项之一，并记录在温升试验报告中。

注：可以为选项1和选项2指定不同的额定电流值。

单相封闭的发电机断路器的典型温升试验布置如图12所示。



- | | |
|---------------|----------------------------|
| 1 单相封闭的发电机断路器 | 5 模拟发电机断路器相邻相的装置 |
| 2 单相封闭的离相母线 | 6 离相母线导体处的温升（应不超过表8所示温升限值） |
| 3 离相母线导体 | 7 离相母线外壳处的温升（应不超过表8所示温升限值） |
| 4 离相母线外壳 | 8 发电机断路器端子与离相母线导体端子之间的连接 |

图12 单相封闭的电机断路器的典型温升试验布置（俯视图）

c) 对于带强制冷却的发电机断路器，按下述规定。

当带有强制冷却的发电机断路器进行试验时，其持续通流能力应在强制冷却系统运行的情况下确定。在这些试验期间，应测量载流通道中的温度。

入口温度和冷却介质的流量 (m^3/s)（例如空气、水等）应调整到正常的额定使用条件并做记录。

如果离相母线使用强制冷却，则表8中规定的离相母线的温度不适用，因为离相母线的温度取决于冷却介质的流量和温度。

6.5.3 温度和温升的测量

GB/T 11022—2011的6.5.3适用。

6.5.4 周围空气温度

GB/T 11022—2011的6.5.4适用。

6.5.5 辅助和控制设备的温升试验

GB/T 11022—2011的6.5.5适用。

6.5.6 温升试验的解释

发电机断路器各部分的温升不应超过GB/T 11022—2011表3中规定的值。

6.5.101 事故状态的验证

事故状态应通过试验验证。如果适用,这些试验应包括以下条件:

- a) 冷却失效(冷却流体丧失,离相母线的冷却失效,风扇、泵、空气循环器等的故障);
- b) 绝缘介质丧失;

条件a)和b)应单独试验。如果冷却系统由不同的独立子系统组成,则每个冷却子系统的单独故障和所有子系统的同时故障都应进行试验。

对于每种类型的试验,应根据制造厂设定的温度限值确定以下数据(参见图7):

- a) 事故状态可持续的最长时间(t_1 , t_2 等);
- b) 持续电流降低的速率(R_1 , R_2 等);
- c) 使发电机断路器的温升不会超过6.5.6中的值更低的持续电流稳定值(I_1 , I_2 等),。

注:如果离相母线和发电机断路器的强制冷却系统使用相同的空气,则当冷却空气丧失时,这种现象会变得复杂。

离相母线的温度不保持恒定,反而将上升,建议在试验期间考虑该上升。离相母线的总温度限值由用户和制造厂协商,并且还要考虑电力系统中的实际应用。

6.6 短时耐受电流和峰值耐受电流试验

6.6.1 概述

GB/T 11022—2011的6.6.1适用。

6.6.2 发电机断路器及试验回路的布置

GB/T 11022—2011的6.6.2适用,并作如下补充:

单相封闭的发电机断路器可以进行单相或三相试验。在单相试验的情况下,外壳应承载全部回流。在三相试验的情况下,可通过短接三相中两相的外壳末端来模拟三相外壳的回流。

6.6.3 试验电流和持续时间

GB/T 11022—2011的6.6.3适用。

6.6.4 发电机断路器在试验中的性能

GB/T 11022—2011的6.6.4适用。

6.6.5 试验后发电机断路器的状态

GB/T 11022—2011的6.6.5适用。

6.7 防护等级验证

6.7.1 IP代码的验证

GB/T 11022—2011的6.7.1适用

6.7.2 IK 代码的验证

GB/T 11022—2011的6.7.2适用。

6.8 密封试验

GB/T 11022—2011的6.8适用，并作如下补充：

在真空发电机断路器的情况下，应根据6.2.11用工频耐压试验的方式或等效的试验进行真空绝缘的密封验证。

6.9 电磁兼容性（EMC）试验

GB/T 11022—2011的6.9适用。

6.10 辅助和控制回路的附加试验

6.10.1 概述

GB/T 11022—2011的6.10.1适用。

6.10.2 功能试验

GB/T 11022—2011的6.10.2适用，并作如下补充：

如果按照6.10.1.2对装有其整个控制单元的整台断路器进行了常温下的机械操作试验，则认为按照GB/T 11022—2011的6.10.2的功能试验已经涵盖且免去附加的试验。如果整台断路器的试验不实际，可以接受符合6.10.1.1.2的单元试验。

6.10.3 接地金属部件的电气连续性试验

GB/T 11022—2011的6.10.3适用。

6.10.4 辅助触头的动作特性验证

GB/T 11022—2011的6.10.4适用。

6.10.5 环境试验

GB/T 11022—2011的6.10.5适用，并作如下补充：

如果对装有其整个控制单元的整台断路器进行了符合6.10.1.2的常温下的机械操作试验、符合6.10.1.3的高低温试验，则认为按照GB/T 11022—2011的6.10.5的环境试验已经涵盖且免去附加的试验。如果整台断路器的试验不实际，可以接受符合6.10.1.1.2的单元试验。

注：不包含抗震试验。如果要求抗震试验，则应根据制造厂和用户之间的协议进行。

6.10.6 绝缘试验

GB/T 11022—2011的6.10.6适用。

6.11 真空灭弧室的X射线试验程序

GB/T 11022—2011的6.11适用。

6.101 机械和环境试验

6.101.1 机械和环境试验的各项规定

6.101.1.1 机械特性

型式试验前，应建立发电机断路器的机械特性，例如，记录空载行程曲线。这也可以通过采用特性参数来完成，例如，在某一行程处的瞬时速度等。机械特性将作为表征发电机断路器机械性能的参考。此外，机械特性还用来确认用于机械、关合、开断和开合型式试验的不同试品的机械性能类似。获得该参考的试验称为参考的空载试验，并且根据该试验得到的曲线或其它参数作为参考的机械特性。参考的空载试验可以取自作为独立型式试验一部分的任何适当的空载试验。

应记录下述动作特性：

- 合闸和分闸操作的机械特性；
- 合闸时间；
- 分闸时间。

机械特性应在操动机构及辅助和控制回路的额定电源电压、操作作用的额定功能压力以及为了试验方便，在开断用的最低功能压力下进行单分操作（O）和单合操作（C）的空载试验来获得。

参考的空载试验中记录的分闸时间和合闸时间应用作参考的分闸和参考的合闸时间。在和建立参考的机械特性程序采用相同的条件下，这些参考时间的偏差应与制造厂给出的偏差相对应。

附录C给出了使用机械特性的要求和解释。

6.101.1.2 单元试验

当对整台发电机断路器进行试验不可行时，单元试验也可以作为型式试验。制造厂应确定适合进行试验的单元。

单元是具有独立功能的分装，可以独立于整台发电机断路器而操作（例如极、开断单元、操动机构）。

进行单元试验时，制造厂应证明试验时单元上承受的机械和环境应力不小于整台发电机断路器试验时施加在同一单元上的机械和环境应力。如果个别试验适于在单元上进行，单元试验应包含整台发电机断路器所有不同类型的单元。单元型式试验的条件应和其在整台发电机断路器中所起作用时的试验条件相同。

按照有关标准制造的辅助和控制设备的部件应符合这些标准。应对与发电机断路器其他部件的功能有关的这些部件的固有功能进行验证。

6.101.1.3 试验前后应记录的发电机断路器的特性和整定值

在试验前后，根据6.101.2.5的规定，下列动作特性或整定值应予以记录和计算：

- a) 合闸时间；
- b) 分闸时间；
- c) 一极中各单元之间的最大合闸时间差和最大分闸时间差；
- d) 三极发电机断路器的各极间最大合闸时间差和最大分闸时间差；
- e) 操动机构的恢复时间；
- f) 控制回路的损耗；
- g) 脱扣装置的损耗，可能时还应记录脱扣器的电流；
- h) 分闸和合闸指令的持续时间；
- i) 适用时，密封性；
- j) 适用时，气体密度或压力；
- k) 主回路电阻；
- l) 时间-行程特性曲线；
- m) 制造厂规定的其它重要特性或整定值。

6.101.1.4 发电机断路器在试验中和试验后的状态

发电机断路器在试验中及试验后应处于这样的状态：能够正常操作，能够承载额定电流，能够关合、开断其额定短路电流及按表1第（2）列中数值的80%耐受电压1min。

通常，如果符合下列条件，则认为上述要求已被满足：

- 试验中，发电机断路器按指令动作，无指令不动作；
 - 试验后，在额定电源电压和额定充气压力下的空载合闸操作和空载分闸操作应与试验前相应的操作进行比较，应满足 6.101.1.1 和附件 C 的要求；
 - 试验后，所有部件无过度磨损；
 - 主触头应处于这样一种状态，特别是在磨损，接触面积，压力和运动自由度方面，它们能够承载额定电流，而其温升与 GB/T 11022—2011 表 3 中的规定值相比不超出 10K。
 - 试验后，在接触区有镀层的触头，表面的镀层仍应保持，否则，触头被认为是裸露的，而且仅当温升试验中（按照 6.5）的触头温升不超过裸露触头的允许值时才满足试验要求；
- 对于灭弧单元非终身密封的发电机断路器，外观检查通常足以判断发电机断路器承载额定电流的能力。

注：经验表明，发电机断路器两端的电压降的升高不能单独作为温升升高的可靠证据。

对于灭弧室终身密封的发电机断路器，6.102.9.1中b)的程序A或B适用。

- 试验中及试验后，机械部件的任何变形对发电机断路器的操作不得有不利影响，或者不得妨碍任何可更换部件的正常装配；
- 试验后，发电机断路器在分闸位置的绝缘性能应和试验前的状况基本相同。试验后发电机断路器的外观检查通常足以验证绝缘性能。对于灭弧室终身密封的发电机断路器，按照 6.2.11，作为状态检查的电压试验可能是必须的。

如果开断单元置于不同特性的绝缘流体中，当原有的灭弧介质被替换后（例如真空开断单元处于充满SF₆的外壳内）也可能承受试验电压。6.2.11要求的状态检查试验可能不足以验证设备的完整性。在这种情况下，设备的完整性应按照6.102.9.1中c)的第四段的方法来验证。

6.101.1.5 辅助和控制设备在试验中和试验后的状态

试验中及试验后，辅助和控制设备应满足下列条件：

- 试验中，应注意防止过热；
- 试验中，应安排一组触头（包括关合和开断辅助触头），用以开合所控制的回路的电流（见 5.4）；
- 试验中及试验后，辅助和控制设备应满足其功能，包括自由脱扣和防跳跃功能；
- 试验中及试验后，辅助开关和控制设备的辅助回路的功能不应受到损坏。如有怀疑，应按照 GB/T 11022—2011 的 6.2.11 进行试验；
- 试验中及试验后，辅助开关的接触电阻不应受到不利的影晌。承载额定电流时，其温升不应超过规定值（见 GB/T 11022—2011 的表 3）。

6.101.2 常温下的机械操作试验

6.101.2.1 概述

机械操作试验应在试验地点的周围空气温度下进行。周围空气温度应记录在试验报告中。应包括作为操动机构组成部件的辅助设备。

此试验不需要在主回路中施加电压或电流。

注：发电机断路器的设计中可能配装有几种变量的辅助设备（并联脱扣器和电动机），以兼容4.9和4.10中规定的

各种额定控制电压和频率。如果它们的设计相近且最终的空载机械特性在附录C给出的公差范围内，则没有必要对这些变量进行试验。

6.101.2.2 试验前发电机断路器的状态

被试发电机断路器应安装在其自身的支架上，且其操动机构应按规定的方式进行操作。根据发电机断路器的类型，按照下列规定进行试验：

由一个操动机构操作和/或所有极装在一个共用框架上的多极发电机断路器，都应当作为一个整体进行试验。

试验应按6.101.1.3的项j)，在开断和绝缘用的额定充入压力下进行。

每极或者甚至每个柱分别由单独的操动机构操作的多极发电机断路器最好作为一台完整的多极发电机断路器进行试验。但是，为了方便，或者由于试验间尺寸的限制，只要在整个试验范围内它与用完整的多极发电机断路器的试验等价或者不会更有利时，可以用发电机断路器的一个极单元进行试验，例如在下列几个方面：

- 参考的机械行程特性；
- 合闸和分闸机构的功率和强度；
- 结构的刚度。

6.101.2.3 M1级发电机断路器试验的说明

机械操作试验应包含2000次操作次数。

发电机断路器应按表9进行试验。

6.101.2.4 M2级发电机断路器试验的说明

机械操作试验应包含5000次操作次数。

发电机断路器应按表9进行试验。

表9 操作顺序的次数

操作顺序	电源电压	额定操作压力下操作顺序的次数	
		M1级发电机断路器 ^{1, 2}	M2级发电机断路器 ^{1, 3}
C - ta - O - ta	最低	500	1250
	额定	500	1250
	最高	500	1250
CO - ta	额定	500	1250

O 表示分闸；
C 表示合闸；
CO 表示合闸操作后紧接着（没有任何人为延时）进行一个分闸操作；
 t_a 表示两次操作之间的时间间隔，对发电机断路器恢复到起始状态和/或防止发电机断路器的某些部件过热（这个时间按照不同的操作类型而不同）是有必要的；

1. 完成规定操作次数前，不能更换功能部件；
2. 500次操作次数后，根据制造厂建议允许进行清洁、紧固、调整和润滑；
3. 1000次操作次数后，根据制造厂建议允许进行清洁、紧固、调整和润滑。

6.101.2.5 机械操作试验的接受判据

下面给出的判据适用于M1级和M2级发电机断路器的机械操作试验。
全部试验程序完成前、后，应按表11进行操作：

表10 试验程序前和后进行的操作

		操作压力		
		最低，如果适用	额定	最高，如果适用
电源电压	最低	1×C	1×C	1×C
		1×O	1×O	1×O
		1×CO	1×CO	1×CO
	额定	1×C	1×C	1×C
		1×O	1×O	1×O
		1×CO	1×CO	1×CO
	最高	1×C	1×C	1×C
		1×O	1×O	1×O
		1×CO	1×CO	1×CO
O 表示分闸； C 表示合闸； CO 表示合闸操作后紧接着（没有任何人为延时）进行一个分闸操作。				

在这些操作期间，应记录和评估操作特性（见6.101.1.3）。完成所有试验程序后，发电机断路器的状态应符合6.101.1.4的规定。

6.101.3 低温和高温试验

6.101.3.1 概述

两类试验不需要连续进行，并且试验的顺序是任意的。对于最低环境温度为-5℃的户内发电机断路器和最低环境温度为-10℃的户外发电机断路器，不要求低温试验。对于最高环境温度为+40℃的发电机断路器，不要求高温试验。

对于共用一个操动机构的发电机断路器，应进行三极试验。对于每极为一个独立单元的发电机断路器，允许用一个完整的极进行试验。

由于受试验设备的限制，如果在试验的布置上，发电机断路器处于不比正常的机械操作条件更有利的条件（见6.101.2.2）下，多箱壳型发电机断路器可以采用下列一个或几个替代方案进行试验：

- a) 降低相对地绝缘的高度；
- b) 缩小极间距离；
- c) 减少单元数。

如果需要热源，可将其投入使用，但6.101.3.3的项f)中规定的条件除外。

除非发电机断路器的设计要求为供给发电机断路器操作作用的液体或气体源提供热源，否则，发电机断路器应处于试验时的空气温度。

试验过程中，不允许对发电机断路器进行检修、更换零部件、润滑或调整。

注1：为了确定材料温度特性，老化等，可以采用比下述条款规定的更长持续时间的试验。

如果满足6.101.1.4和6.101.1.5中规定的条件，发电机断路器就通过了试验。此外，应满足6.101.3.3和6.101.3.4中的条件，且记录的泄漏率不应超过GB/T 11022-2011的表13中给出的限值。在试验报告中，试验条件和发电机断路器在试验前、试验中和试验后的状态应予以报告。记录到的参量应

以适当的方式表示且应给出采集到的示波图。为了减少试验报告中示波图的数量，允许给出每种规定的试验条件下每一相关操作类型的一张典型示波图。

高温和低温试验期间，不包括真空发电机断路器的密封性验证试验。真空的完整性应在高温和低温试验后通过工频电压（或等效的）试验来验证。但是，如果真空发电机断路器用于充有绝缘气体（例如 SF₆）的外壳中，应在高温和低温试验期间对该外壳进行密封性验证试验。

注2：发电机断路器的设计中可能安装有几种变量的辅助设备（并联脱扣器和电动机），以兼容 4.8 和 4.9 中规定的各种额定控制电压和频率。如果它们的设计相近且最终的空载机械特性在 6.101.1.1 给出的公差范围内，则不需要对这些变量进行试验。

6.101.3.2 周围空气温度测量

应测量和记录距离发电机断路器1m处的三个位置的周围空气温度：

- 在发电机断路器顶部高度的位置；
 - 在发电机断路器一半高度的位置。；
 - 在发电机断路器的底部，但距地面高度不小于 0.25 m。
- 发电机断路器高度上的最大温度偏差应不超过5 K。

6.101.3.3 低温试验

试验顺序的图示和规定的试验点的确定见图13a。

如果低温试验是紧接着高温试验后进行的，则低温试验可以在高温试验完成项u)后继续进行，这时，下面的项a)和项b)可以省略。

- a) 受试发电机断路器应按照制造厂的说明书进行调整。
- b) 在周围空气温度 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ (TA) 下，按照 6.101.1.3 的规定记录发电机断路器的特性和整定值。如果适用，应按照 6.8 进行密封试验。
- c) 发电机断路器处于合闸位置，按照 GB/T 11022-2011 中 2.2.1、2.2.2 或 2.3.4 给出的值，将周围空气温度降低到适当的最低周围空气温度 (TL)。在周围空气温度稳定在 TL 之后，发电机断路器应保持在合闸位置 24h。
- d) 在温度 TL 下，发电机断路器保持合闸位置的 24h 期间，如果使用气体用于操作、开断和/或绝缘，则应进行密封性试验。如果发电机断路器恢复到周围空气温度 TA，并处于热稳定状态时，其泄漏率能恢复到原始值，增大的泄漏率是允许的。这种暂时增大的泄漏率不应超过 GB/T 11022-2011 表 13 中的允许暂时泄漏率。在真空发电机断路器的情况下，不要求进行密封性试验。然而，如果真空发电机断路器用在充满绝缘气体（例如 SF₆）的外壳中，则应对外壳进行密封性验证试验。
- e) 保持在温度 TL 24h 后，应进行额定电源电压和操作压力的额定值下的分闸和合闸操作，并将这些操作的结果与低温试验前相应操作的结果进行比较。应满足 6.101.1.1 和附件 C 的要求。
- f) 切断所有加热设备，包括防止凝露的加热元件的电源，持续时间 t_x ，以检验发电机断路器的低温性能及其报警和闭锁系统。在此期间，允许报警，但不允许闭锁。在时间间隔 t_x 末，在额定电源电压和操作压力的额定值下给出分闸指令，发电机断路器分闸。分闸时间应予以记录（如果可行，还应测量机械行程特性），以便估算开断能力。制造厂应规定在没有辅助电源对加热设备供电的条件下，发电机断路器依旧能够操作的最长 t_x 值（不小于 2h）。
- g) 发电机断路器应保持在分闸位置 24h。
- h) 在温度 TL 下，发电机断路器处于分闸位置的 24h 期间，应进行密封性试验（如果适用）。如果发电机断路器恢复到周围空气温度 TA，并处于热稳定状态时，其泄漏率能恢复到原始值，

增大的泄漏率是允许的。但这种暂时增大的泄漏率不得超过 GB/T 11022-2011 表 13 中的允许暂时泄漏率。

- i) 24h 终了时, 在温度为 T_L 下, 发电机断路器应在额定电源电压和操作压力下进行 50 次合闸和 50 次分闸操作。每个循环或序列允许至少 3min 的时间间隔。应记录第一次合闸和分闸操作的结果, 并与低温试验前的相应操作结果进行比较。应满足 6.101.1.1 和附件 C 的要求。
在第一次合闸操作 (C) 和第一次分闸操作 (O) 之后, 应进行三个合分 (CO) 操作循环 (在 C 和 O 之间没有人为延时)。其余的操作应按“C— t_a —O— t_a ”的操作顺序进行 (t_a 的定义见表 9)。
- j) 在完成 50 次分闸和 50 次合闸操作后, 空气温度应以每小时大约 10K 的变化率升高到周围空气温度 T_A 。在温度变化的过渡期间, 发电机断路器应在电源电压和操作压力的额定值下交替地进行“C— t_a —O— t_a —C”和“O— t_a —C— t_a —O”操作顺序。交替的操作顺序间的时间间隔为 30min, 以使发电机断路器在操作顺序之间的 30min 期间处于分闸位置和合闸位置。
- k) 发电机断路器在周围空气温度 T_A 下达到热稳定状态后, 应按照项 a) 和项 b) 重新检查发电机断路器的整定值、动作特性和密封性, 以便同起始特性进行比较。

在进行从项 b)~项 j) 的完整的低温试验顺序过程中, 其积累的泄漏应不致达到闭锁压力 (但是, 达到报警压力是允许的)。

6.101.3.4 高温试验

试验顺序的图示和规定的试验点的确定见图 13b。

如果高温试验是紧接着低温试验后进行的, 则高温试验可以在低温试验项 j) 完成后继续进行, 这时, 下面的项 l) 和项 m) 可以省略。

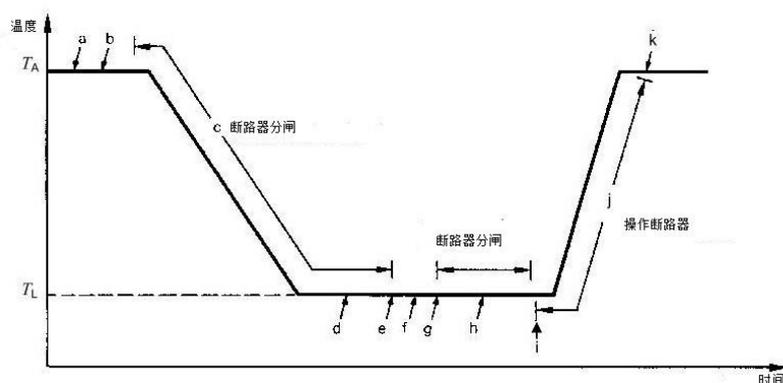
- l) 受试发电机断路器应按照制造厂的说明书进行调整。
- m) 在周围空气温度 (20 ± 5) °C (T_A) 下, 按照 6.101.1.3 的规定记录发电机断路器的特性和整定值。如果适用, 应按照 6.8 进行密封试验。
- n) 发电机断路器处于合闸位置, 按照 GB/T 11022-2011 中 2.2.1、2.2.2 或 2.3.4 给出的周围空气温度上限, 将周围空气温度以每小时大约 10K 的变化率升高到适当的最高周围空气温度 (T_H)。在周围空气温度稳定在 T_H 之后, 发电机断路器应保持在合闸位置 24h。

注 1: 对于在户外安装的发电机断路器, 应考虑太阳的辐射影响。

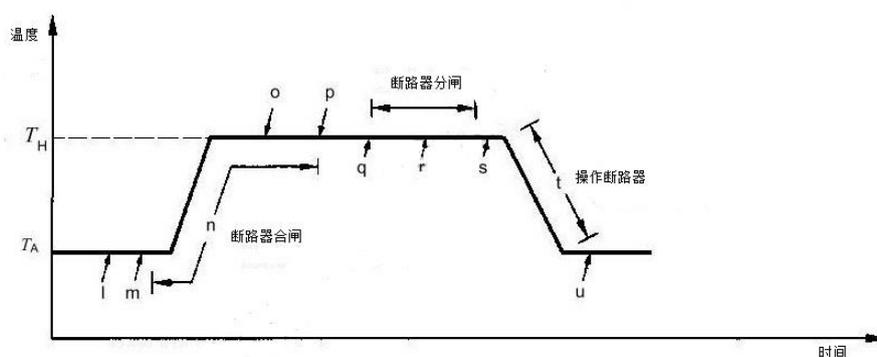
- o) 在温度 T_H 下, 发电机断路器保持合闸位置的 24h 期间, 如果气体用于操作、开断和/或绝缘, 应进行密封性试验。如果发电机断路器恢复到周围空气温度 T_A , 并处于热稳定状态时, 泄漏率能恢复到原始值, 则增大的泄漏率是允许的。但这种暂时增大的泄漏率应不超过 GB/T 11022-2011 表 13 中的允许暂时泄漏率。真空发电机断路器不要求进行密封性试验。但是, 如果真空发电机断路器用于充有绝缘气体 (例如 SF₆) 的外壳中, 应对该外壳进行密封性验证试验。
- p) 保持温度 T_H 24h 后, 发电机断路器应在额定电源电压和操作压力下进行分闸和合闸操作, 并将这些操作的结果与高温试验前相应操作的结果进行比较。应满足 6.101.1.1 和附录 C 的要求。
- q) 在温度 T_H 下发电机断路器分闸, 并处于分闸位置 24h。
- r) 在温度 T_H 下, 发电机断路器处于分闸位置的 24h 期间, 应进行密封性试验 (如果适用)。如果发电机断路器恢复到周围空气温度 T_A , 并处于热稳定状态时, 其泄漏率能恢复到原始值, 则增大的泄漏率是允许的。但这种暂时增大的泄漏率应不超过 GB/T 11022-2011 表 13 中的允许暂时泄漏率。
- s) 24h 终了时, 在温度 T_H 下, 发电机断路器应在额定电源电压和操作压力下进行 50 次合闸和 50 次分闸操作。每个循环或顺序允许至少有 3min 的间隔。应记录第一次合闸和分闸操作的结果, 并与高温试验前的相应操作结果进行比较。应满足 6.101.1.1 和附录 C 的要求。

- t) 在第一次合闸操作 (C) 和第一次分闸操作 (O) 之后, 应进行三个合分 (CO) 操作循环 (在 C 和 O 之间没有人为延时)。其余的操作应按“C-t_a-O-t_a”的操作顺序进行 (t_a 的定义见表 10)。
- u) 完成 50 次分闸和 50 次合闸操作后, 空气温度应以每小时大约 10K 的变化率升高到周围空气温度 T_A。在温度变化的过渡期间, 发电机断路器应在电源电压和操作压力的额定值下交替地进行“C-t_a-O-t_a-C”和“O-t_a-C-t_a-O”操作顺序。交替的操作顺序间的时间间隔为 30min, 以使发电机断路器在操作顺序之间的 30min 期间处于分闸位置和合闸位置。
- v) 发电机断路器在周围空气温度 T_A 下达到热稳定状态后, 应按照项 1) 和项 m) 重新检查发电机断路器的整定值、动作特性和密封性, 以便同起始特性进行比较。

在进行从项 1)~项 t) 的完整的高温试验过程中, 其积累的泄漏应不致达到闭锁压力 (但是, 达到报警压力是允许的)。



a) 低温试验



b) 高温试验

注: 字母 a~u 表示 6.101.3.3 和 6.101.3.4 中规定的试验应用点。

图 13 低温和高温试验的试验顺序

6.101.4 噪音水平试验

噪音水平试验可以在三相或单相空载条件下进行。发电机断路器操作时, 在离地高 1 m~1.5 m、距断路器外延垂直面的水平距离 2 m 处测得的噪音水平, 户外发电机断路器不得超过 110 dB (A); 户内发电机断路器不得超过 90 dB (A)。

6.101.5 湿度试验

6.101.5.1 概述

湿度试验不应设计用在直接暴露于降雨环境中的设备（如户外断路器的一次元件）实施。如果因为温度的骤变，在长期承受电压作用的绝缘表面可能出现凝露，则应对发电机断路器或发电机断路器的部件进行湿度试验。该试验主要针对户内安装的发电机断路器的二次接线的绝缘。也没有必要对已采取了有效的防凝露措施的设备（如带有防凝露加热器的控制柜）实施。

通过6.101.5.2中叙述的试验程序，以加速的方式来确定试品、发电断路器的一次元件耐受湿度效应。该效应可以在试品的表面产生凝露。

6.101.5.2 试验程序

具体试验程序见附录J。

6.102 关合和开断试验的各项规定

6.102.1 概述

除非在相关条款中另有规定，下列条款适用于所有的关合和开断试验。

如果适用，在进行试验之前，制造厂应声明下列值：

- 保证额定操作顺序的操动机构的最低条件（例如液压操动机构操作的最低功能压力）；
- 保证额定操作顺序的开断装置的最低条件（例如 SF₆ 发电机断路器的开断用最低功能压力）。

发电机断路器应能关合和开断系统源短路电流。这由6.103中所述的试验来验证。

此外，发电机断路器应能关合和开断负荷电流。这由6.104中所述的试验来验证。

具有指定的发电机源短路电流开合额定值的发电机断路器应能关合和开断发电机源短路电流。这由6.105中所述的试验来验证。

具有指定的失步电流开合额定值的发电机断路器应能关合和开断失步电流。这由6.106中所述的试验来验证。

三相关合和开断要求应优先在三相回路中验证。

如果试验在试验室进行，外施电压、电流、瞬态和工频恢复电压可以从一个单独的电源获得（直接试验），或者从几个电源获得，其中电流的全部或大部分从一个电源获得，而瞬态恢复电压可以全部或部分地从一个或多个独立的电源获得（合成试验）。

如果受试验设备的限制，发电机断路器的短路性能不能按上述方法验证时，根据发电机断路器的类型可采用下列一种或几种组合的试验方法，这些验证方法应用直接试验法或合成试验法：

- a) 单极试验（见 6.102.4.1）；
- b) 单元试验（见 6.102.4.2）。

6.102.2 试品的数量

GB/T 11022—2011的6.1.2适用，并作如下补充：

对于关合和开断试验，试品的数量没有限制。

任何试验方式之间，可以对易损耗的零部件进行更换和检修，但每个方式期间不允许对零部件进行更换和检修。

6.102.3 受试发电机断路器的布置

6.102.3.1 概述

受试发电机断路器应安装在自己的支架或与之等效的支架上。作为封闭单元的一个组成部分的发电机断路器，应完整装配在自己的支持结构件和外壳内，即装有隔离装置和构成单元部件的排逸孔，如果可行的话，还要有主连接和母线。

电容器可以安装在升压变压器与发电机断路器之间或发电机与发电机断路器之间，或者在两侧都安装，也可将电容器作为发电机断路器成套装置的部件。在这些情况下，试验实施时应连接电容器，或者如果试验实施时未安装电容器，则应当考虑电容器对预期TRV的影响，施加修改后的TRV。可能需要计算机仿真来建立受这些电容器影响的TRV。

由这些试验验证的开断能力仅在电容器依据试验布置安装运行时才有效，并且电容器的电容值与试验时采用的相同。

操动机构应按规定的方式进行操作，特别电动或弹簧操作的，合闸线圈或并联合闸脱扣器和并联分闸脱扣器分别应在最低电源电压下保证成功地操作。为了便于稳定地控制分闸和合闸操作，在试验方式2、5、6A、6B和0P2试验时，应供给脱扣器最高操作电压。除非相关条款中另有规定，对于具有最低操作条件（即压力、能量等）的操动机构，应按额定操作顺序的最低操作条件下操作。

如果与试验目的相矛盾，与压力闭锁相关的闭锁装置，在试验过程中应不起作用。

应表明发电机断路器在上述条件和6.102.6规定的空载条件下能够满意地操作。按照3.7.125，开断用的压缩气体的压力（如果有）应整定到其最低功能值。

发电机断路器应根据6.102.3.2和6.102.3.3规定的类型进行试验。

6.102.3.2 共箱型

全部弧触头均装在一个共用的箱壳内的三极发电机断路器，应在三相回路中对完整的三极发电机断路器进行试验，且应参照GB 1984-2014的附录0。

理由如下：

- 由于排出气体的影响，存在极间或极对地间破坏性放电的可能性；
- 灭弧介质的状态（压力、温度、污秽水平等）可能不同；
- 三相故障时，相间的电动力产生的巨大影响；
- 操动机构所受的应力可能不同。

6.102.3.3 多箱型

由三个独立的单极开合装置组成的三极发电机断路器，可按照6.102.4.1进行单相试验。制造厂应提供试验证据表明符合5.101。

不具有完全独立的开合装置的三极发电机断路器，应用整台三极发电机断路器进行试验。但是，如果受可供使用的试验设备的限制，可以用发电机断路器的一个单极进行试验，只要在试验过程中在下列各方面同整台三极发电机断路器等价或不处于较之更有利的条件下：

- 关合操作时的机械行程特性（计算方法见6.102.4.1）；
- 开断操作时的机械行程特性（计算方法见6.102.4.1）；
- 灭弧介质的利用率；
- 合闸和分闸装置的功率与强度；
- 结构的刚度。

6.102.4 关于试验方法的一般考虑

6.102.4.1 共用一个操动机构的发电机断路器单极的单相试验

按照本方法，共用一个操动机构的发电机断路器进行单相试验时，施加与共用一个操作机构的完整的发电机断路器在相应条件下进行三相关合和开断中最高应力的极上承受的相同的电流和几乎相同的工频电压。

当发电机断路器的设计允许用单相试验去模拟三相条件且发电机断路器的三极共用一个操动机构时，应提供一台装配完整的三极发电机断路器进行试验。

对于短路试验，为了确定发电机断路器能否允许用单相试验模拟三相试验条件，应进行的验证性试验包括三相关合操作和三相对称开断操作。此外，应检查单相试验时发电机断路器的动作特性和 6.101.1.1 的规定一致。

在关合和开断的验证试验过程中，应记录触头运动的轨迹。用于记录触头运动轨迹的传感器应安装在适当的位置，以便能够直接或间接地提供最佳的触头运动轨迹。

关合和开断试验的验证应按下述内容进行：

- a) 关合的验证试验应在三相试验回路中进行，该试验回路能够提供的预期峰值关合电流应至少等于 I_{MC} 。

由于受试验设备的限制，不一定能在额定电压和额定短路电流条件下进行关合的验证试验。如果任意一相在额定电压下关合的预击穿时间不大于工频周期的 1/10（允许偏差为 20%），则允许在最低不低于额定电压 50% 的电压下进行关合试验。

额定电压下的预击穿时间通过实施小电流的关合试验来确定，该电流应足够小以避免触头烧蚀。

关合的验证试验包含一个额定短路电流的三相关合试验。只要两种情况下试验回路能够提供的关合电流峰值的预期值至少等于 I_{MC} 。50Hz 时进行的试验对于 60Hz 有效，60Hz 时进行的试验对于 50Hz 也有效。

关合的三相验证试验有效性与实际的关合相角无关。因此，三相中至少有一相峰值电流为 I_{MC} 的 93%。

电流的持续时间应足够长，以确保发电机断路器到达完全合闸的位置。

- b) 开断的验证试验包含三相额定短路电流开断试验，且在后开极中达到最长的预期燃弧时间。开断操作可以在任何方便的试验电压下进行。50Hz 时进行的试验对于 60Hz 有效，60Hz 时进行的试验对于 50Hz 也有效，只要两种情况下各自后开极中最长的预期燃弧时间都被覆盖。三相开断过程中的触头运动轨迹可以作为下述程序的参考：

——从触头分离时刻到触头运动终止画出两条包络线。两条包络线与原始轨迹的距离应为三相验证试验估算的触头总行程的 $\pm 5\%$ 或 $\pm 2\text{mm}$ （取两者中较大的值）（见图 15）。

——应记录相同条件（具有最长燃弧时间的额定短路电流开断试验）下单相试验过程中的触头运动轨迹。如果单相试验的触头运动轨迹从触头分离时刻到触头运动终止在机械行程特性的包络线内，则允许用单相试验代替三相试验。

——包络线可以在垂直方向移动，直到一条曲线覆盖了参考线。这就给出和参考触头行程曲线的最大偏差分别为 -0% ， $+10\%$ 或 $+4\text{mm}$ 和 $+0\%$ ， -10% 或 -4mm （见图 16 和 17）。为了得到和参考线 10% 或 4mm 的最大的总偏差，包络线的移动在整个试验过程中只允许一次。

为了获得正确的单极触头运动特性，根据其设计（单极或三极操作），有必要进行调整，如采用转换功能。

应特别注意电弧分解物的喷射。例如，如果认为这种喷射可能损害相邻极间的绝缘距离，则应采用接地金属屏进行检查（见 6.102.8）。

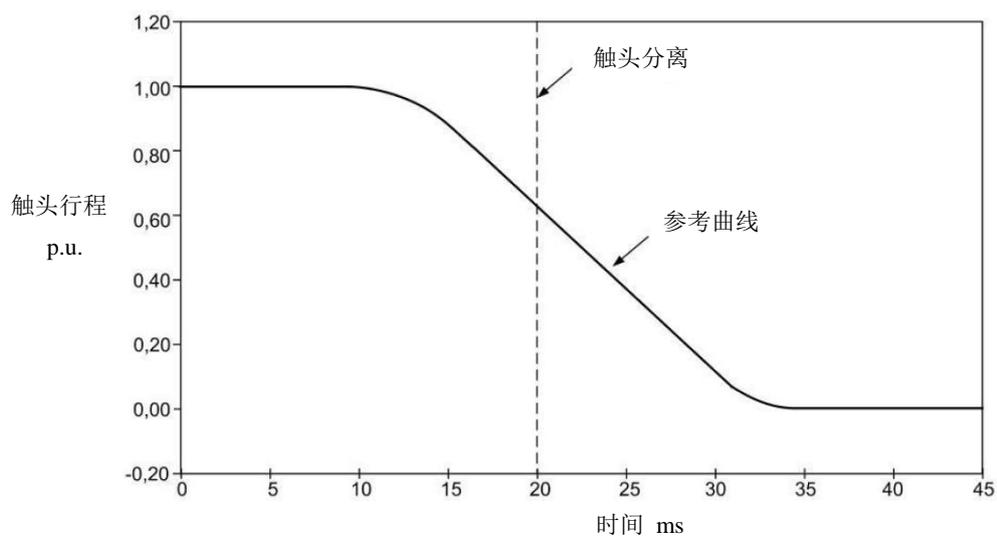


图14 参考的机械行程特性（理想曲线）

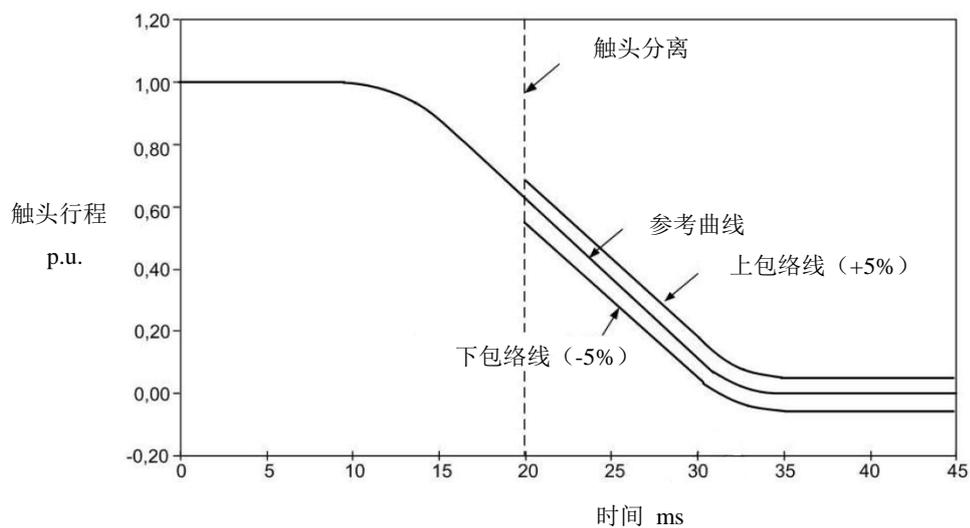


图15 具有以参考曲线为中心的规定的包络线（+5%，-5%）的参考机械行程特性（理想曲线），
本例中触头分离时刻为 $t=20\text{ms}$

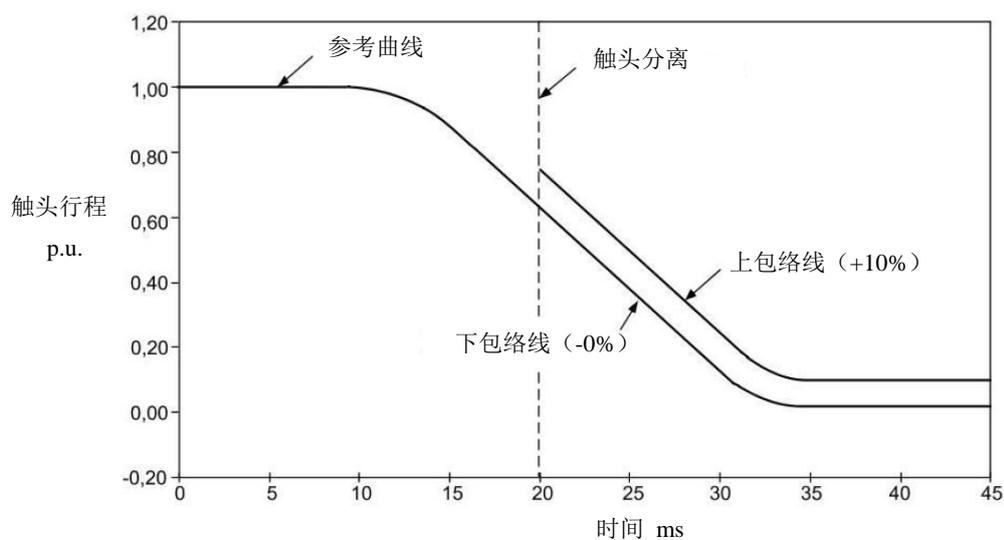


图16 具有以参考曲线为基准完全上移的规定的包络线(+10%, -0%)的参考机械行程特性(理想曲线), 本例中触头分离时刻为 $t=20\text{ms}$

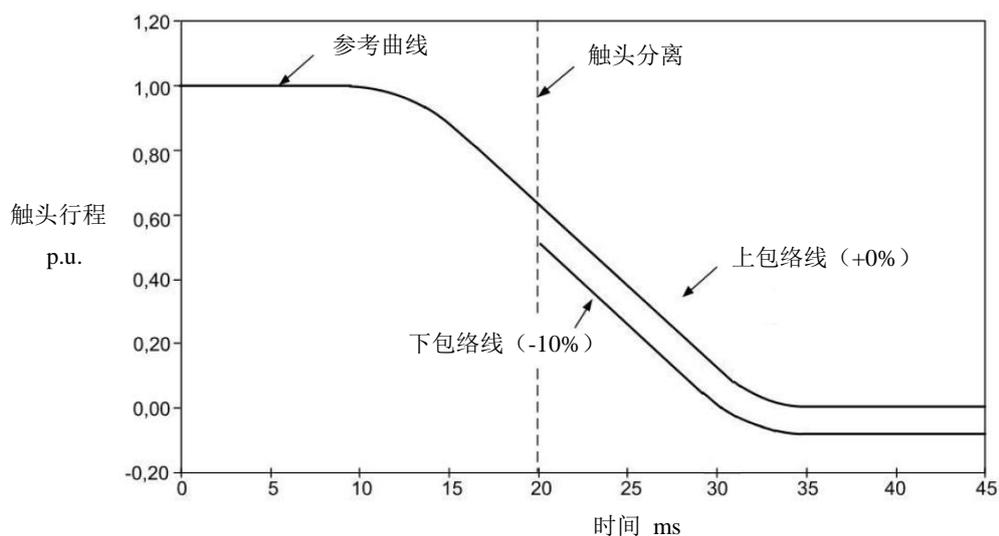


图17 具有以参考曲线为基准完全下移的规定的包络线(+0%, -10%)的参考机械行程特性(理想曲线), 本例中触头分离时刻为 $t=20\text{ms}$

6.102.4.2 单元试验

6.102.4.2.1 概述

某些发电机断路器是由装配完全相同的开断和关合单元串联组成,使用并联阻抗通常可以改善每一极的各单元之间的电压分布。

这种型式的设计,可以使发电机断路器的开断和关合性能通过一个或多个单元上进行的试验来验证。

6.101.1.1、6.102.3和6.102.4.1的要求也适用于单元试验。因此,至少制造一个装配完整的极,适合于在一个或多个单元上进行验证试验,试验结果仅与特定设计的极有关。

应区分以下几种情况:

- a) 发电机断路器的极由独立操作的单元（或单元装配）组成，且灭弧介质没有相互连通。这种情况下，可以进行单元试验。但是，应考虑到单元中电流的电动力和单元中电弧的相互影响（见图18）。这可以用等效形状的导体代替第二开断单元来实现。
- b) 发电机断路器的极由独立操作的单元（或单元装配）组成，但其灭弧介质是相互连通的。这种情况下，如果未进行试验的单元在试验过程中处于燃弧状态（例如合成试验时用作辅助断路器），则可以进行单元试验。
- c) 发电机断路器的极由非独立操作的单元（或单元装配）组成。这种情况下，如果单个单元试验和整极试验时的机械行程特性相同，则可以进行单元试验。可以采用相应于6.102.4.1中对三极发电机断路器的单极试验所给出的方法。此外，还应考虑到电动力的影响（也可见上述项a)）。然而，如果未进行试验的单元在试验过程中处于燃弧状态（例如合成试验时用作辅助断路器），则认为和机械行程特性相关的要求已满足。在这种情况下，单元间灭弧介质相互连通（也可见上述项b)）的发电机断路器的要求也就同时满足。

单个单元试验时应和整极试验时的机械行程特性相同。应采用相应于6.102.4.1中对三极发电机断路器的单极试验所给出的方法。

进行单元试验的基础是所有单元完全相同，且不同试验类型的静态电压分布是已知的。

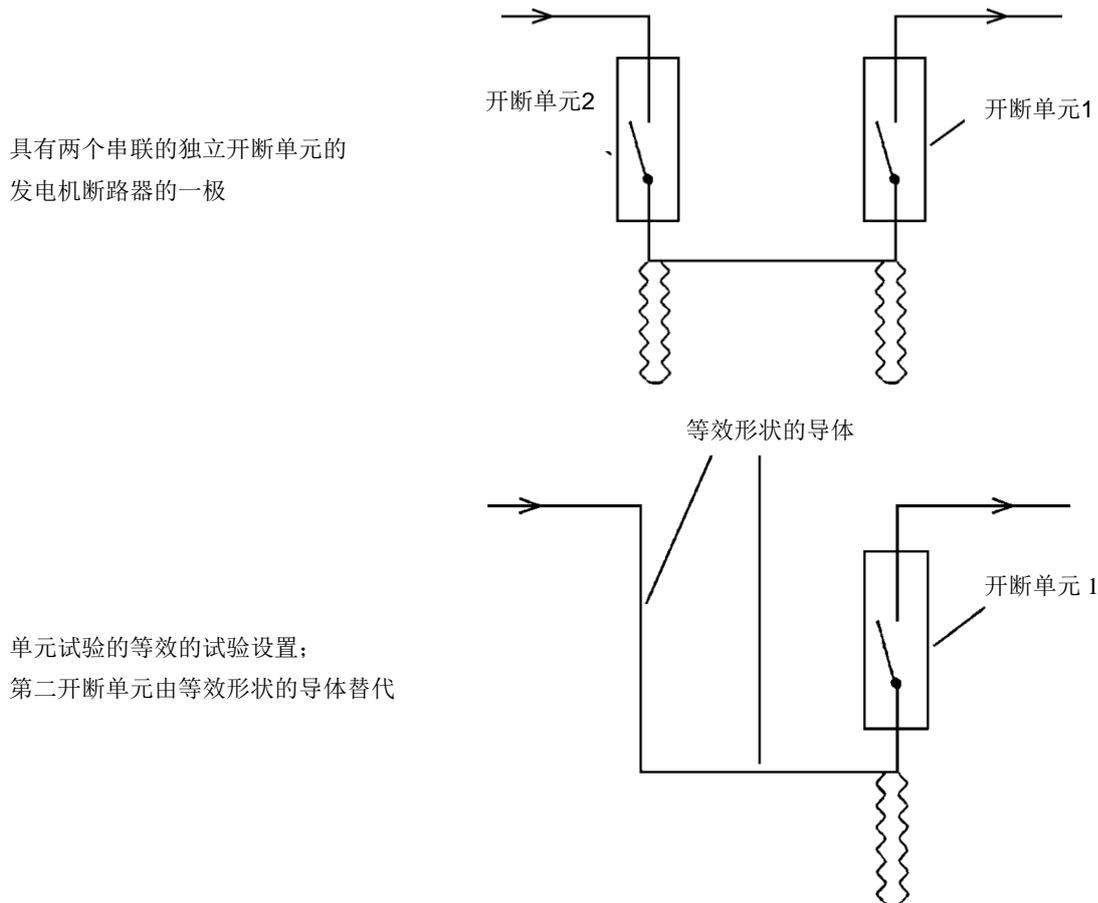


图18 多于一个独立开断单元的发电机断路器的单元试验的等效试验装置

6.102.4.2.2 单元的统一性

发电机断路器所有单元的形状、尺寸及操作条件应是相同的；仅允许控制各单元电压分布的装置可以不同。特别是，应满足下列条件：

a) 触头的操作

关合试验中一极的触头合闸应是这样：首先动作单元的触头合闸与最后动作单元的触头合闸之间的时间间隔不应超过额定频率的 $1/6$ 周波。

开断试验中一极的触头分闸应是这样：首先动作单元的触头分闸与最后动作单元的触头分闸之间的时间间隔不应超过额定频率的 $1/8$ 周波。

应采用额定操作压力和电压来确定这个时间间隔。

b) 灭弧介质的供应

对于从单元以外的来源向单元供应灭弧介质的发电机断路器，供应给每个单元的介质，实际上应与其它单元无关，且供应管道的布置，应保证同时且以相同的方式对所有单元供应介质。

6.102.4.2.3 电压分布

通过对一极中各单元间的电压分布的分析来确定试验电压。

受大地影响，一极中各单元间的电压分布，应按整极试验的相关试验条件来确定。

当各单元是非对称布置时，电压分布还应按方向相反的接线来确定。

电压分布既可以通过测量也可以通过计算来确定。计算时使用的数值，应有对发电机断路器杂散电容的测量的支持。验证计算中所用的假定条件的这种计算和测量支持是制造厂的责任。

如果发电机断路器装有并联电阻，电压分布应按TRV等效频率进行计算或静态测量。

如果仅用电容器均压，则电压分布可按工频进行计算或测量。

应考虑到电阻和电容器在制造中的偏差，制造厂应规定这些偏差值。

注1：应考虑到失步和负荷电流开断试验中的电压分布比短路故障试验中的情况更有利。

注2：确定电压分布时，没有考虑污秽的影响。在某些情况下，污秽可能影响该电压分布。

6.102.4.2.4 单元试验的要求

当进行单个单元试验时，试验电压按6.102.4.2.3确定，应为发电机断路器整极中作用电压最高的单元上的电压。

当试验一组单元时，该组中作用电压最高的单元的端子上出现的电压应等于整极中作用电压最高的单元上的电压，两者均应按6.102.4.2.3确定。

单元试验中，对地绝缘未承受完整的发电机断路器在开断操作时产生的全电压。因此，需要证明全部单元在最长燃弧时间条件下开断额定短路电流后，对地绝缘能够承受该全电压。还要考虑排出气体的影响。

补充的导则在GB/T 1984—2014的附录O和GB/T 4473—20XX中给出。

6.102.5 合成试验

合成试验方法可用于6.103~6.106中规定的关合、开断和开合试验。

注：对于合成试验的技术和方法，GB/T 4473—20XX可作为参考。

6.102.6 试验前的空载操作

在关合、开断和开合试验开始前，应进行合闸（C）和分闸（O）操作并记录机械特性的细节，例如合闸时间和分闸时间。对于这些空载操作，6.101.1.1中规定的条件适用。可能需要进行附加的空载操作。

另外，应证明被试断路器或试品的机械性能与6.101.1.1中要求的参考机械行程特性一致。更换触头或任何方式的维修后，应重新进行这些空载试验，并对机械行程特性重新确认。

开断用流体的压力应按照3.7.143整定到其最低功能值。这不适用于终身密封的发电机断路器。

对于电动或弹簧操作的发电机断路器，操作时应在合分闸线圈或并联脱扣器上施加额定、最高和最低的电源电压。

6.102.7 替代的操动机构

对于装有替代操动机构的发电机断路器，在短路、失步和负荷电流条件下的型式试验没有必要重复。

注1：在本条款中，认为采用某一操动机构的发电机断路器的按照本标准完成了全部型式试验；该发电机断路器称为完全试验过的发电机断路器。仅操动机构不同的其它发电机断路器，称为替代操动机构的发电机断路器。

需要进行的试验仅限于：

- a) 对每一台发电机断路器（完全试验过的发电机断路器和带替代操动机构的发电机断路器）都应按照 6.101.1.1 记录和比较机械特性。
- b) 对每一台发电机断路器（完全试验过的发电机断路器和带替代操动机构的发电机断路器）都应进行试验方式 1。此外，应按照 6.101.1.1 中规定的方法估算在最长燃弧时间下开断操作期间的机械特性。

注2：按照 b)，在一个频率（50Hz 或 60Hz）下进行的验证试验已经足够。

- c) 在特定情况下，如果替代操动机构分闸时间的变化导致发电机断路器落入另一个范围的最短开断时间（见表 11、12），应对替代操动机构的发电机断路器按表 13 或 14 进行试验方式 2。

如果 a)、b) 和 c) 的要求均满足，则完全试验过的发电机断路器的参考机械特性也适用于装有替代操动机构的发电机断路器。

注3：认为机械寿命试验是在替代操动机构上完全重复过的。

6.102.8 试验中发电机断路器的性能

关合和开断试验中，发电机断路器不应：

- 表现出损坏的迹象；
- 表现出极间或对地有害的相互作用；
- 表现出与相邻试验设备之间有害的相互作用；
- 表现出可能危及操作者的性能。

发电机断路器应可靠地合闸和闭锁。

对于设计在关合和开断试验过程中具有开断介质对大气排放的发电机断路器，如果符合下述条件，则认为发电机断路器已满足了上述要求：

- 对于油发电机断路器，不应有火焰的外喷，产生的气体以及带油的气体应得到控制和导向，以远离所有的带电导体以及可能有人员出现的地方；
- 对于其它类型的发电机断路器，如气吹或空气发电机断路器，可能会有外喷的火焰、气体和/或金属粒子。如果这种喷射比较显著，可能要求在带电体附近并与其相距一段制造厂规定的安全间距处放置金属屏后进行试验。该金属屏应对地绝缘且通过能够指示任何明显的对地泄漏电流的适当装置接地。试验过程中，对发电机断路器的接地构件或装设的金属屏，不应指示有明显的泄漏电流。

注1：如果无其它可用装置，接地件等应通过一个直径 0.1mm、长度为 5cm 的铜丝构成的熔断器接地。如果试验后该铜丝完好无损，则认为没有出现明显的泄漏电流。

如果出现的故障不是持续的或不是由于设计上的缺陷造成的，而是由于装配或维修失误造成的，则该故障可以纠正，发电机断路器可以重复进行相应的试验方式。在这些情况下，试验报告应包含无效试验的附注。

开断操作后的恢复电压阶段可能会出现NSDD（非保持破坏性放电）。但NSDD的出现不是受试开关装置损坏的标志。因此，它们的数量对于解释受试装置的性能没有影响。应在试验报告中予以报告，以便将它们与重击穿区分开来。

注2：不需要安装专门的测量回路来检测 NSDD。仅在示波图上看到时才应予以报告。

6.102.9 试验后发电机断路器的状态

6.102.9.1 概述

在任何一个试验方式后，可以对发电机断路器进行检查。其机械部件和绝缘件应基本上和试验前的状态相同。

发电机断路器在每个试验方式后应满足以下条件：

- a) 发电机断路器应能按照 6.2.11 承受一个电压试验作为状态检查。
- b) 主触头试验后的状态：特别是关于烧蚀、接触区、压力和运动自由度等方面，应能承载额定电流而其温升不超出 GB/T11022-2011 表 3 中规定值的 10K。

触头在经过任何一个短路试验方式后，只有在接触点上保留有镀银层时，才被认为是“镀银的”；否则，触头应按“未镀银的”来处理（见 GB/T11022-2011 中 4.5.3 的说明 6）。

对于不是终身密封的开断单元，外观检查通常足以验证发电机断路器承载额定电流的能力。

注：经验表明发电机断路器两端的电压降的升高不能单独作为温升升高的可靠证据。

对于灭弧室终身密封的发电机断路器，以下程序 A 或 B 适用：

程序 A

该程序在按照 6.5 进行温升试验后适用。并且制造厂已向实验室提供了试验结果。

- 1) 制造厂应确保获得带有受试断路器示意图的适当的温升试验结果。如果有的话，示意图应标明导体和灭弧室的结构和尺寸以及外壳的细节和尺寸。实验室应确保用于短路试验的断路器与进行过温升试验的断路器在所有可能影响断路器额定电流的重要细节上一致。
- 2) 关合和开断试验前应测量发电机断路器的回路电阻。每个开断单元应进行三次测量以得到一个平均值，且每次测量之间应进行空载操作。测量应在 100A 到额定电流之间的任何方便的直流电流值下进行。
- 3) 假如每个开断单元的电阻平均值不大于进行温升试验的开断单元所记录的最高电阻值的 120%，则可以继续进行关合和开断试验。在电阻测量值超过 120%的情况下，程序 B 适用。
- 4) 完成关合和开断试验后，需要再次测量每个开断单元的电阻。测量程序与关合和开断试验前的电阻测量程序相同。
- 5) 如果每个开断单元的电阻平均值不大于进行温升试验的开断单元所记录的最大电阻值的 200%，则认为完成关合和开断试验后触头的状态是满足要求的。
- 6) 在任何一个开断单元的电阻平均值超过初始温升试验所记录的最大电阻值的 200%的情况下，实验室应要求进行一个温升试验来保证其性能（见程序 B 中的评估）。

程序 B

当制造厂没有对用于关合和开断试验的发电机断路器类型进行温升试验时，或者当试验用的发电机断路器与进行了温升试验的发电机断路器之间的关系不能满足要求时，该程序适用。

- 1) 应在关合和开断试验完成后的空载操作之后和更换任何开断单元之前进行温升试验。
 - 7) 如果任何开断单元端子所记录的最大温升与 GB/T11022-2011 表 3 中的规定值相比不超出 10K，则认为完成关合和开断试验后触头的状态是可以接受的。
- c) 发电机断路器应能按照 6.104 关合和开断负荷电流，尽管其短路关合和开断能力可能降低。

对于不是终身密封的开断单元，外观检查通常足以验证发电机断路器按照6.104关合和开断负荷电流的能力。

对于终身密封的发电机断路器，依据a)和b)通常足以验证发电机断路器按照6.104关合和开断负荷电流的能力。

如果开断单元置于不同特性的绝缘流体中，当初始的灭弧介质被替换后（例如真空开断单元处于充满SF₆的外壳内）还可能承受试验电压。按照6.2.11要求的作为状态检查的电压试验可能不足以验证设备的完整性。这种情况下设备的完整性应通过下列试验之一来验证：

- 制造厂所述的适当方法（例如将灭弧室转移至工厂进行试验，试验程序与新灭弧室的相同）。
- 短路电流开断试验，回路中的电流至少是额定短路开断电流的10%，电压至少是额定电压的50%且与TRV无关。应进行下列三项试验中的一项：
 - 1) 在三相中性点接地试验回路中进行一次开断操作。
 - 2) 在三相中性点不接地试验回路中进行三次开断操作。每极都应做一次首开极。
 - 3) 在单相试验回路中每极进行一次开断操作。

上述要求同样适用于合成试验。

每一极上的成功开断是开断单元保持完整性的证明。

6.102.9.2 一个试验方式后的空载操作

一个试验方式后应重复空载操作，且应在与该试验方式前进行的相应操作相同的条件下进行。一个试验方式后的空载操作应与该试验方式前进行的相应操作进行比较，且应无明显的变化。如果试验继续在没有维护过的相同试品上进行，那么就不需要空载操作。

6.102.9.3 一个试验系列后的空载操作

完成短路或开合试验的整个试验系列后，应重新确认发电机断路器或试品的机械性能与6.102.6要求的参考机械特性相一致。

一个试验系列后的空载操作应与该试验系列前进行的相应操作进行比较，且应无明显的变化。

6.102.10 最苛刻开合条件的验证

6.102.10.1 概述

本条款所述的程序与系统源短路电流开断试验和失步电流开断试验有关。每个试验方式可通过在一台试品上至少进行两项试验来验证。

发电机断路器开断的电流应按照图8在触头分离时刻确定，且应按下面两个值进行表述：

- 所有相中交流分量有效值的平均值；
- 每相的非对称度。

任一相的交流分量有效值都不应偏离平均值超过10%。

虽然开断电流在触头分离时刻测量，但发电机断路器的开断性能，除了其它因素外，由燃弧最后半波时最终开断的电流确定。因此，电流交流分量的衰减非常重要，特别是在发电机断路器燃弧经过几个半波时更是如此。为避免试验条件的减轻，电流交流分量的衰减应是：在后开极中主电弧最终熄灭的时刻，预期电流的交流分量不小于该试验方式规定值的90%。这应通过在开始试验前记录预期电流来证明。

如果发电机断路器的特性使得电流值降低至预期开断电流以下，或者如果在示波图上无法成功画出电流波形的包络线，则所有相中的平均预期开断电流应作为开断电流，并且应在触头分离时刻从预期电流的示波图上测量。

触头分离时刻可根据试验站的经验和试品类型通过多种方法确定，例如，通过记录试验中的触头行程、通过记录电弧电压或者通过发电机断路器空载试验。

6.102.10.2 三相试验

6.102.10.2.1 概述

下面给出的程序适用于直接试验。进行合成试验时，在开始程序之前，应首先确定首开极的最短燃弧时间。确定该最短燃弧时间的方法在6.102.10.3中给出。

6.102.10.2.2 三相对称开断操作

如符合下列条件，就认为满足了最苛刻开合条件的要求：

- 在两次分闸操作中的一次，首开极电弧在最短燃弧时间熄灭；
- 在两次分闸操作中的一次，首开极电弧在最长燃弧时间熄灭；

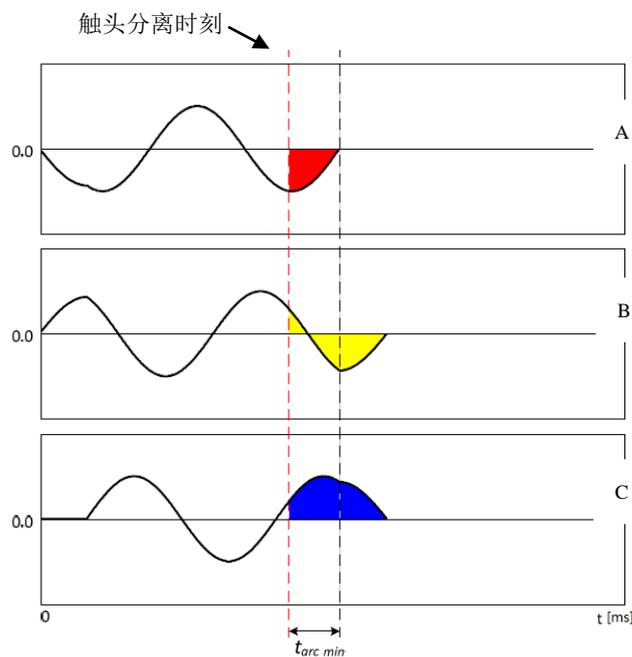
推荐下列程序来获得这样的两次有效操作。

首先需要确定最短燃弧时间 $t_{arc\ min}$ 。这个最短燃弧时间可由经验得出。但需要通过图19所示的试验来确认最短燃弧时间。最短燃弧时间 $t_{arc\ min}$ 可通过这样的方法获得：触头分离相对于电流波形增加任一延后，可导致电流波形在另一相的下一个电流零点开断，并达到最长燃弧时间。

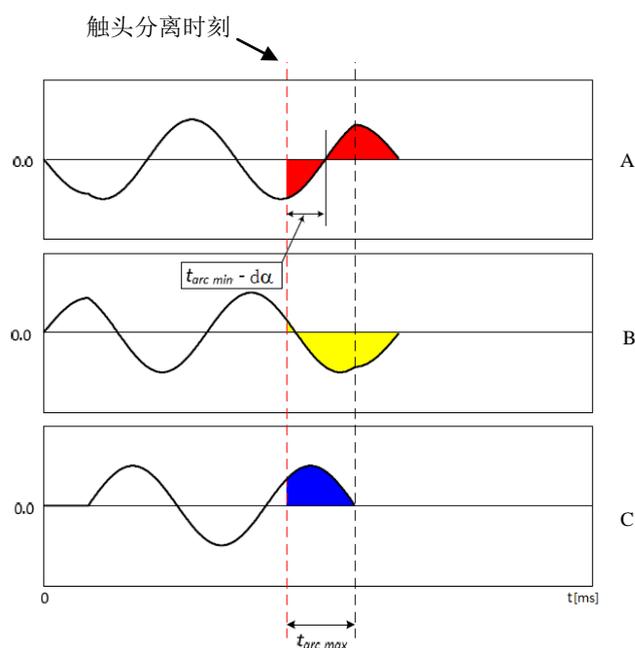
这个最短燃弧时间可通过按步长 $18^\circ(\text{da})$ 改变脱扣脉冲的整定值获得。

两次有效操作的波形图如图19所示。

也可实施三次C0操作替代上述方法，在三次分闸操作间将脱扣脉冲提前或延迟 40° 。



(a) 最短燃弧时间（在 A 相）



(b) 最长燃弧时间(在 C 相)

图19 两次有效的三相对称开断操作

6.102.10.2.3 三相非对称开断操作

因为非对称开断条件下试验的苛刻程度随着触头分离时刻不同会有很大的变化,所以开发了一个试验程序,用于验证最苛刻的开合条件。

进行试验方式2和OP2试验时,预期电流波形应满足下列非对称判据:

- 电流最后半波峰值;
- 电流最后半波持续时间;
- 电流零点的直流分量(控制 di/dt 和随后的 TRV 参数)。

目的是为了按下述内容验证最苛刻的开合条件:

- a) 一次操作的首开极灭弧时刻出现在大半波末且具有尽可能长的燃弧时间以及 6.106 中给出的为了满足 TRV 要求所要求的非对称判据。
- b) 一次操作的后开极灭弧时刻出现在延长的大半波末且具有尽可能长的燃弧时间以及 6.106 中给出的要求的非对称判据。

注1:某些发电机断路器不会在大半波末开断,电弧延续到随后的小半波末且变成后开极。然而,如果在随后的试验期间证明达到了尽可能最长的燃弧时间,认为该试验有效。

注2:断路器在满足非对称判据的相中的缩小的电流大半波末或小半波末开断试验无效,注1描述的情况除外。

两次开断操作不分先后,只要试验满足条件a)和b)即可。在满足条件a)和b)的试验之间,短路起始相角要改变 60° ,以便转移要求的非对称判据到另一相并且使各相中触头的烧蚀程度更均衡。

在一台发电机断路器不检修进行四次操作来验证条件a)和b)的推荐程序如下:

条件a)的验证:

要求两次开断操作,一次按图20实施,另一次按图21实施。

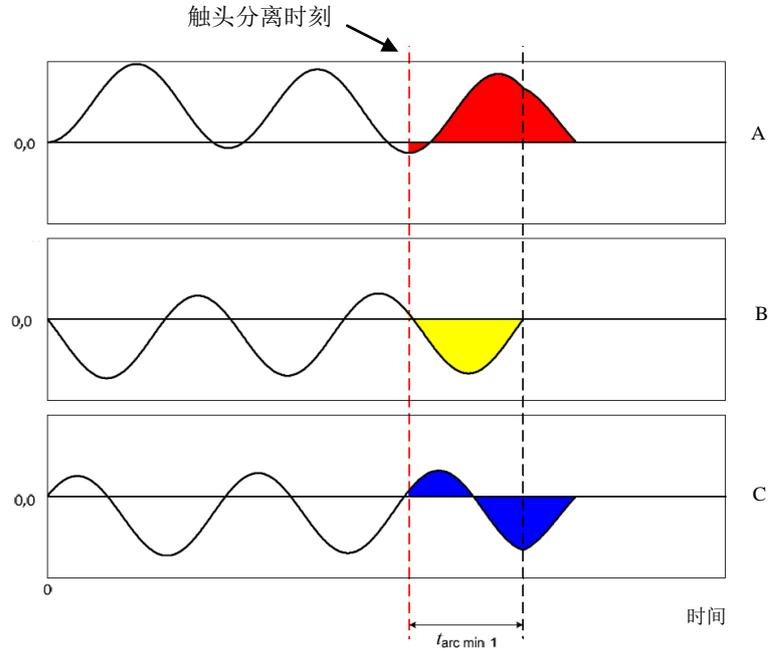
——图20中,触头分离使具有中等非对称度的B相在大半波后获得最短燃弧时间 $t_{arc\ min\ 1}$ 。该中等非对称大半波的参数在表11中给出。

——图21中,触头分离相对于图20的电流波形延迟了 $d\alpha$ (18°),使A相在大半波后作为首开极

开断，并满足要求的最大非对称判据和具有最长燃弧时间 $t_{arc\ max\ 1} = t_{arc\ min\ 1} - T \times d\alpha / 360 \text{ } ^{\circ} + \Delta t_1$ 。

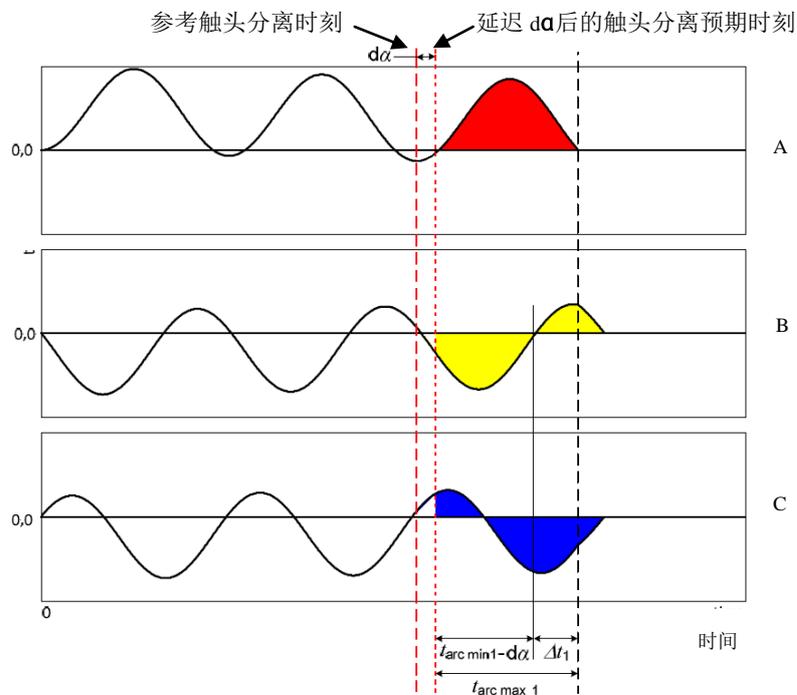
该最大非对称大半波的参数和时间间隔 Δt_1 的值在表 11 中给出。

最短燃弧时间可由经验得出。但需要通过图20和图21所示的试验来确认最短和最长燃弧时间。



设置触头分离使中等非对称度的B相在大半波后获得最短燃弧时间

图20 三相非对称开断操作—最短燃弧时间，中等非对称度，大半波 ($t_{arc\ min\ 1}$)



触头分离相对于图20延迟 $d\alpha$ ，使满足最大非对称判据的首开极 (A相) 在大半波后获得最长燃弧时间 $t_{arc\ min\ 1}$ 中等非对称度的相在大半波后获得的最短燃弧时间

$d\alpha$ 18°

T 一个工频周期

Δt_1 表 11 中的时间间隔

$t_{\text{arc max } 1}$ 最大非对称的首开极在大半波后获得的最长燃弧时间

图21 三相非对称开断操作—最长燃弧时间，首开极，大半波 ($t_{\text{arc max } 1}$)

条件b)的验证:

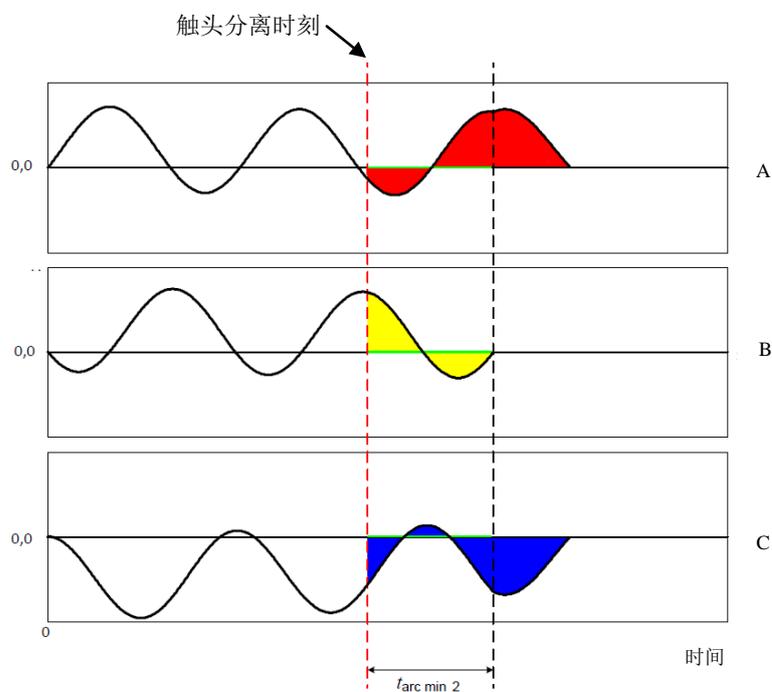
要求两次开断操作，一次按图22实施，另一次按图23实施。

——图 22 中，触头分离使具有中等非对称度的 B 相在小半波后获得最短燃弧时间 $t_{\text{arc min } 2}$ 。该中等非对称小半波的参数在表 12 中给出。

——图 23 中，触头分离相对于图 22 的电流波形延迟 α (18°)，使 C 相在大半波后作为后开极开断，并满足要求的最大非对称判据和具有最长燃弧时间 $t_{\text{arc max } 2} = t_{\text{arc min } 2} - T \times \alpha / 360^\circ + \Delta t_2$ 。

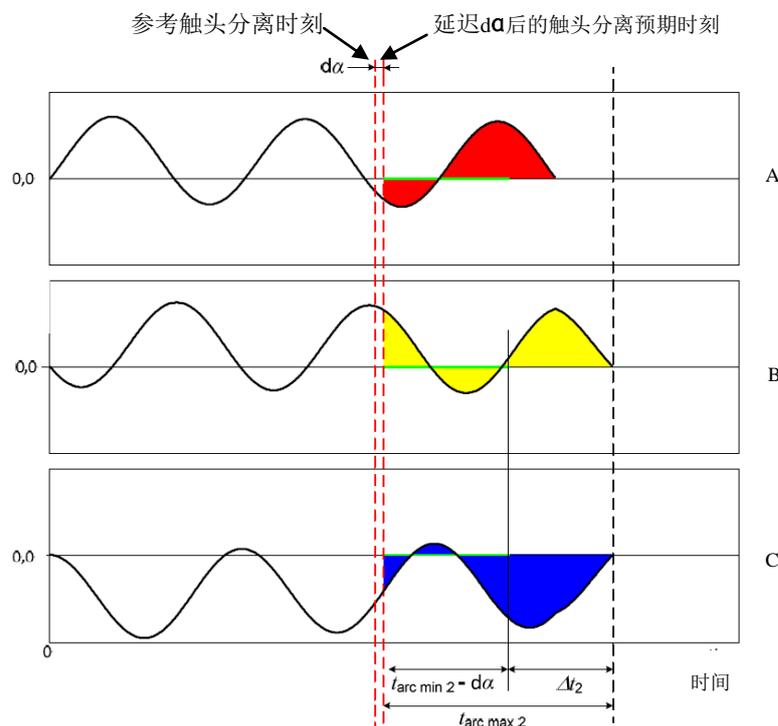
该最大非对称延长大半波的参数和时间间隔 Δt_2 的值在表 12 中给出。

最短燃弧时间可由经验得出。但需要通过图22和图23所示的试验来确认最短燃弧时间。



设置触头分离使中等非对称度的B相在小半波后获得最短燃弧时间

图22 三相非对称开断操作—最短燃弧时间，中等非对称度，小半波 ($t_{\text{arc min } 2}$)



触头分离相对于图22延迟 $d\alpha$ ，以使满足最大非对称判据的后开极（C相）在延长的大半波后获得最长燃弧时间
 $t_{\text{arc min } 2}$ 中等非对称度的相在小半波后获得的最短燃弧时间

$d\alpha$ 18°

T 一个工频周期

Δt_2 表 12 中的时间间隔

$t_{\text{arc max } 2}$ 最大非对称的后开极在延长的大半波后获得的最长燃弧时间

图23 三相非对称开断操作—最长燃弧时间，后开极，延长的大半波（ $t_{\text{arc max } 2}$ ）

如果发电机断路器的性能不能满足a)和b)的要求，应增加开断操作的次数，以证明在特定情况下达到了最苛刻的试验条件。经制造厂同意，建议按下述两个选项进行附加的开断操作。

选项1：在同一台发电机断路器上不经过修整就进行附加的开断操作：

——如果在前4次开断操作中，按照推荐程序条件a)和b)都没有达到，应至少再进行2次开断操作。可考虑将要求的燃弧时间的偏差扩大到 $\pm 2\text{ms}$ ，如果在全部6次开断操作中，条件a)和b)都至少有一次得到满足，则认为该试验方式完成。

——如果在前4次开断操作中，按照推荐程序只达到了条件a)和b)中的一项，应至少再进行1次开断操作。如果余下的要求在这一附加开断操作中得到满足，则认为该试验方式完成。如果还需要再进行1次附加开断操作来验证余下的要求，那么，考虑将要求的燃弧时间的偏差扩大到 $\pm 2\text{ms}$ ，如果在全部6次开断操作中，余下的要求至少有一次得到满足，则认为该试验方式完成。

选项2：以上推荐程序在经过检修或新的发电机断路器上重复进行：

在推荐程序重复的过程中，应满足条件a)和b)的要求，并可考虑将要求的燃弧时间偏差扩大到 $\pm 2\text{ms}$ 。

6.102.10.3 单相试验代替三相试验条件

6.102.10.3.1 概述

该程序可用于代替三相试验，除非按照6.102.3.2或6.102.3.3不允许进行单相试验。

下面给出的程序，部分是由合成试验方法导出的。进行直接试验时，确定最短燃弧时间的程序可能导致最长燃弧时间或超过最长燃弧时间的燃弧时间下的有效操作。

下述单相试验的目的是为了在同一试验回路中满足每个试验方式中首开极和后开极的条件。

如果额定操作顺序的所有操作满足5.101的要求，下述程序适用。否则，使用下述表11和表12时应谨慎。

6.102.10.3.2 单相对称开断操作

如满足下列条件，则认为达到了最苛刻开合条件的要求：

- a) 两次分闸操作中的一次，电弧应在最长燃弧时间熄灭且 TRV 满足首开极条件。首开极条件下的最长燃弧时间由下式确定：

$$t_{\text{arc max 1}} = t_{\text{arc min}} + T \times 42 \% 360^\circ$$

式中：

$t_{\text{arc min}}$ 从一次或多次附加试验中获得的最短燃弧时间；

T 一个工频周期；

42° 首开极燃弧窗口- $\text{da}=60^\circ-18^\circ$ 。

- b) 两次分闸操作中的一次，电弧应在最长燃弧时间熄弧且 TRV 满足后开极条件。后开极条件下的最长燃弧时间由下式确定：

$$t_{\text{arc max 2}} = t_{\text{arc min}} + T \times 132 \% 360^\circ$$

式中：

$t_{\text{arc min}}$ 从一次或多次附加试验中获得的最短燃弧时间；

T 一个工频周期；

132° 后开极燃弧窗口- $\text{da}=(60^\circ+90^\circ)-18^\circ$ 。

在上述操作开始前需要确定最短燃弧时间 $t_{\text{arc min}}$ 。这个最短燃弧时间可以通过利用同类型的附加试品从先前的试验中得到或作为试验的一部分来确定。确定最短燃弧时间的方法：触头分离相对于电流波形增加任一额外时延后，可导致在下一个电流零点开断。最短燃弧时间可通过按步长 18° 改变脱扣脉冲的整定值来获得。目视检查应确认重燃发生在燃弧触头之间。

6.102.10.3.3 单相非对称开断操作

下述单相试验的目的是按6.102.10.2.3中a)和b)的要求，既满足首开极条件又满足后开极条件。所推荐的单相试验程序源于三相试验程序。

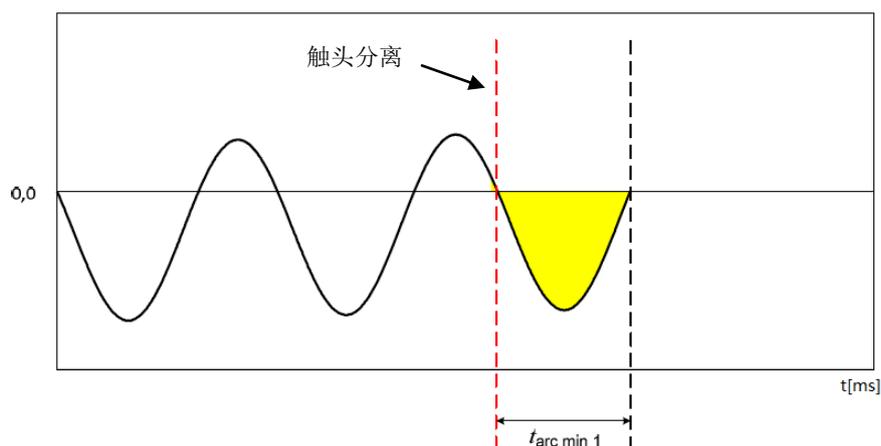
进行试验方式2和OP2试验时，预期电流波形应满足下列非对称判据：

——电流最后半波峰值；

——电流最后半波持续时间（仅对于首开极条件）；

——电流零点的直流分量（控制 di/dt 和随后的 TRV 参数）。

在第一次有效分闸操作前，需要从三相系统中具有中等非对称度的一相上在大半波后获得最短燃弧时间 $t_{\text{arc min 1}}$ （图20）。该中等大半波的参数在表11中给出。最短燃弧时间可以通过利用同类型的附加试品从先前的试验中得到或作为试验的一部分来确定。确定最短燃弧时间 $t_{\text{arc min 1}}$ 的方法：触头分离相对于电流波形增加任一额外时延后，可导致在下一个电流零点开断。最短燃弧时间可通过按步长 18° （ da ）改变脱扣脉冲的整定值来获得（图24）。目视检查应确认重燃发生在燃弧触头之间。



设置触头分离以便在中等非对称度的大半波后获得最短燃弧时间

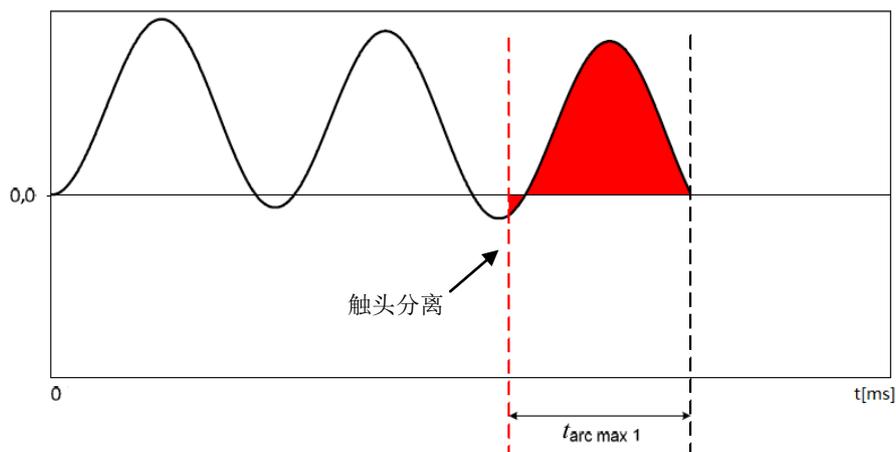
图24 单相非对称开断操作—最短燃弧时间，中等非对称度，大半波 ($t_{\text{arc min } 1}$)

对于第一次有效分闸操作，短路回路的起始和脱扣脉冲的控制设置应是这样：

- 对于合适的大半波，获得要求的非对称判据（图 25）；
- 大半波后电弧熄灭时满足要求的非对称判据，且具有最长燃弧时间

$t_{\text{arc max } 1} = t_{\text{arc min } 1} - T \times da/360^\circ + \Delta t_1$ ，其中时间间隔 Δt_1 在表 11 中给出，并满足要求的最大非对称判据以达到首开极条件下的 TRV 要求；

- 满足表 11 的第 6、7 和 9 列中给出的预期电流的半波参数；
- 如果发电机断路器在要求的大半波后未开断，可在下一个小半波后开断。



设置触头分离以便在满足最大非对称判据的首开极条件下在大半波后获得可能的最长燃弧时间

图25 单相非对称开断操作—最长燃弧时间，首开极，大半波 ($t_{\text{arc max } 1}$)

在第二次有效分闸操作前，需要从三相系统中具有中等非对称度的一相上在小半波后获得最短燃弧时间 $t_{\text{arc min } 2}$ （图26）。该中等小半波的参数在表12中给出。这个最短燃弧时间可以通过利用同类型的附加试品从先前的试验中得到或作为试验的一部分被发现。确定最短燃弧时间 $t_{\text{arc min } 2}$ 的方法：触头分离相对于电流波形增加任一额外时延后，可导致在下一个电流零点开断。这个最短燃弧时间可通过按步长 18° (da) 改变脱扣脉冲的整定值来获得（图26）。目视检查应确认重燃发生在燃弧触头之间。

对于第二次有效分闸操作，短路回路的起始和脱扣脉冲的控制设置应是这样：

- 对于合适的大半波，获得要求的非对称判据（图 27）；
- 大半波后电弧熄灭时满足要求的非对称判据，且具有最长燃弧时间。

$t_{\text{arc max } 2} = t_{\text{arc min } 2} - T \times da/360 \pm \Delta t_2$ ，其中时间间隔 Δt_2 在表 12 中给出，并满足要求的最大非对称判据以达到后开极条件下的 TRV 要求；

- 满足表 12 的第 6 列和第 9 列中给出的预期电流的半波参数；
- 如果发电机断路器在要求的大半波末未开断，可在下一个小半波后开断。

注：宜注意到，在直接试验回路中进行单相试验来验证后开极条件要比在三相试验回路中更苛刻，因为要同时满足后开极的燃弧时间和首开极的电流。

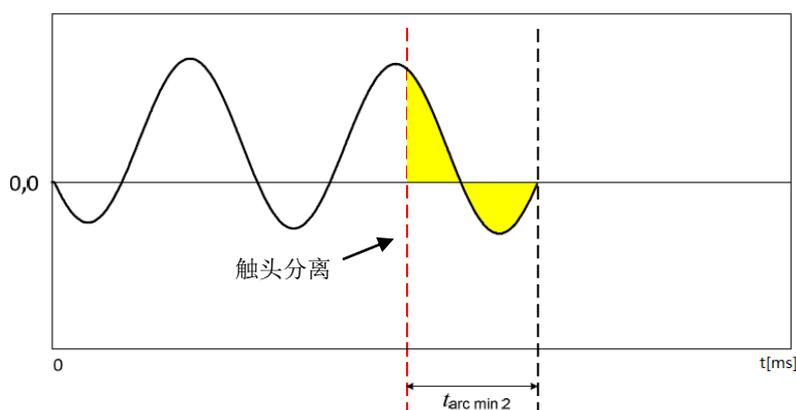
如果发电机断路器的性能不能满足 6.102.10.2.3 中 a) 和 b) 的要求，应增加开断操作的次数，以证明在特定情况下达到了最苛刻的试验条件。可按下述两个选项进行附加的开断操作。

选项1：经制造厂同意，在同一台发电机断路器上不经过检修就进行附加的开断操作：

- 如果在前 2 次开断操作中，按照推荐程序条件 a) 和 b) 都没有达到，应至少再进行 2 次开断操作。可考虑将要求的燃弧时间的偏差扩大到 $\pm 2\text{ms}$ ，如果在全部 4 次开断操作中，条件 a) 和 b) 都至少有一次得到满足，则认为该试验方式完成。
- 如果在前 2 次开断操作中，按照推荐程序只达到了条件 a) 和 b) 中的一项，应至少再进行 1 次开断操作。如果余下的要求在这一附加开断操作中得到满足，则认为该试验方式完成。如果还需要再进行 1 次附加开断操作来验证余下的要求，那么，考虑将要求的燃弧时间的偏差扩大到 $\pm 2\text{ms}$ ，如果在全部 4 次开断操作中，余下的要求至少有一次得到满足，则认为该试验方式完成。

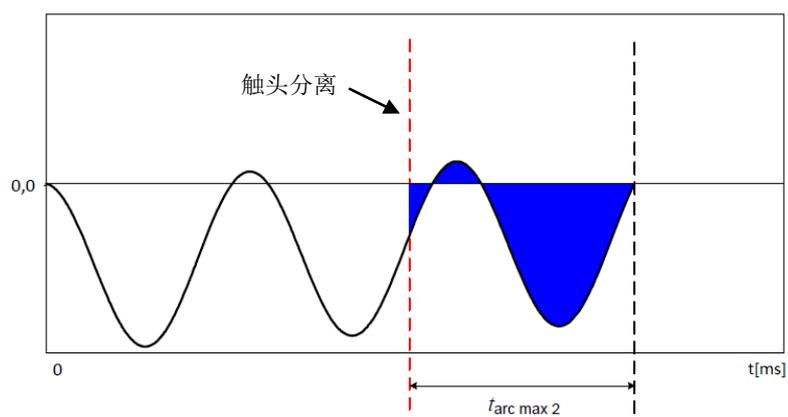
选项2：以上推荐程序在经过检修的或新的发电机断路器上重复进行：

在推荐程序重复的过程中，应满足条件 a) 和 b) 的要求，并可考虑将要求的燃弧时间偏差扩大到 $\pm 2\text{ms}$ 。



设置触头分离以便在中等非对称度的小半波后获得最短燃弧时间

图26 单相非对称开断操作—最短燃弧时间，中等非对称度，小半波($t_{\text{arc min } 2}$)



设置触头分离以便在满足最大非对称判据的后开极条件下在大半波后获得最长燃弧时间

图27 单相非对称开断操作—最长燃弧时间，后开极，延长的大半波 ($t_{\text{arc max } 2}$)

表11 首开极非对称系统源故障试验方式的试验参数（50Hz）

中等级大半波					首开极随后的大半波				时间间隔 Δt_1 ms
t_1 ms	I_{peak} p.u.	时间间隔 Δt ms	电流零点的 非对称度 %	电流零点的 di/dt %	I_{peak} p.u.	时间间隔 Δt ms	电流零点的 非对称度 %	电流零点的 di/dt %	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
33.0	1.41	12.8	40.1	90.8	1.82	16.2	77.7	64.6	4.9
52.8	1.36	12.4	35.2	92.9	1.71	15.1	68.2	74.6	4.6
72.7	1.32	12.1	30.8	94.5	1.63	14.3	59.8	81.4	4.4
92.5	1.28	11.8	27.0	95.7	1.55	13.7	52.5	86.2	4.2
112	1.24	11.6	23.6	96.7	1.48	13.2	46.0	89.8	4.1
132	1.21	11.4	20.7	97.4	1.42	12.8	40.3	92.4	4.0
152	1.19	11.2	18.1	98.0	1.37	12.4	35.3	94.3	3.9
172	1.16	11.1	15.9	98.4	1.32	12.1	30.9	95.8	3.8

t_1 具有中等非对称度的那一相在大半波后可能的最短开断时间（见 3.7.130）

I_{peak} 和对称短路电流峰值相关的峰值电流标么值p.u.

Δt 半波持续时间

Δt_1 具有中等非对称度的那一相在大半波后的电流零点，与导致首开极和大半波的具有适当非对称度的相中使电弧熄灭的下一个电流零点，两者之间的时间间隔
验证系统源短路电流关合和开断能力的试验方式在表13和表14中给出。

表12 后开极非对称系统源故障试验方式的试验参数（50Hz）

中等级小半波					后开极随后的延长大半波				时间间隔 Δt_2 ms
t_2 ms	I_{peak} p.u.	时间间隔 Δt ms	电流零点的 非对称度 %	电流零点的 di/dt %	I_{peak} p.u.	时间间隔 Δt ms	电流零点的 非对称度 %	电流零点的 di/dt %	

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
27.0	0.55	7.08	42.8	88.7	1.82	17.3	58.6	63.8	12.5
47.1	0.62	7.49	37.5	91.9	1.71	16.3	51.4	69.9	11.9
67.3	0.67	7.87	31.9	93.4	1.63	15.6	45.0	74.1	11.5
87.4	0.71	8.15	27.9	94.6	1.55	15.1	39.5	77.3	11.1
108	0.74	8.38	24.4	95.5	1.48	14.6	34.6	79.6	10.8
128	0.77	8.59	21.3	96.1	1.42	14.2	30.3	81.3	10.6
148	0.8	8.77	18.7	96.6	1.37	13.8	26.5	82.7	10.3
168	0.83	8.92	16.3	97.0	1.32	13.5	23.1	83.7	10.1

t_2 具有中等非对称度的那一相在小半波后可能的最短开断时间（见 3.7.131）
 I_{peak} 和对称短路电流峰值相关的峰值电流标么值p.u.
 Δt 半波持续时间
 Δt_2 具有中等非对称度的那一相在小半波后的电流零点，与导致后开极和延长大半波的具有适当非对称度的相中使电弧熄灭的下一个电流零点，两者之间的时间间隔
 验证系统源短路电流关合和开断能力的试验方式在表13和表14中给出。

6.102.11 确定预期瞬态恢复电压波形的方**法**

应按照GB/T 1984—2014的附录F来确定回路的预期瞬态恢复电压参数。

6.103 系统源短路关合和开断试验

6.103.1 试验回路的功率因数

对试验回路的功率因数不做要求。

6.103.2 试验回路频率

系统源短路开断试验应按额定频率实施。

6.103.3 试验回路的接地

系统源短路关合和开断试验时试验回路的对地连接应符合下述要求，并应在所有情况下，在试验报告的试验回路图中予以指明。

a) 三相试验：

发电机断路器（其构架按运行中的方式接地）应接到电源中性点绝缘且短路点接地的试验回路中，如图 28a 所示。如果试验只能按如图 28b 所示的接地方式进行时，也可按后一种方式实施。按图 28a，电源中性点可通过一个阻值尽可能大的电阻接地，其阻值用欧姆表示且不小于 $U/10$ ，其中 U 为试验回路线电压的数值（单位 V ）。

若采用图 28b 所示的试验回路，宜注意，当发电机断路器的一个端子发生接地故障时，可能产生危险的接地电流，因此允许电源中性点通过适当的阻抗接地。

b) 单相试验：

试验回路和发电机断路器构架按如图 29a 连接，以便使电弧熄灭后带电部件与构架间的电压条件和图 28a 所示的试验回路中的三极发电机断路器首开极中的电压条件相同。

优选的试验回路如图 29a 所示。如果受实验站设备限制，且相间和/或对地的绝缘宽裕，也可采用如图 29b 所示的回路；如果绝缘不宽裕，合适的试验方法见 GB/T 1984—2014 的附录 O 和 GB/T 4473—20XX。

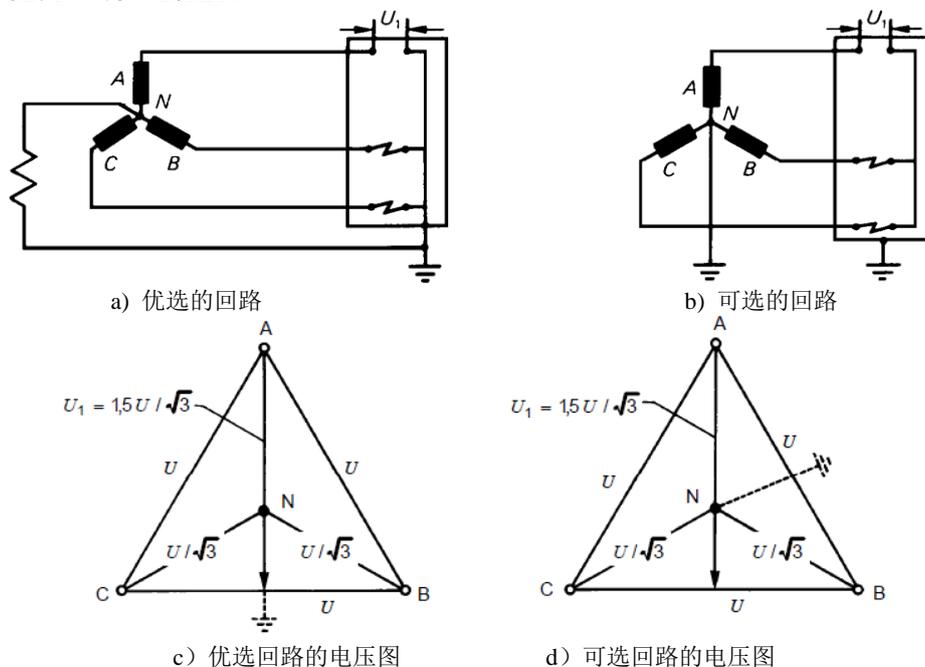


图28 三相短路试验回路的接地，首开极系数 1.5

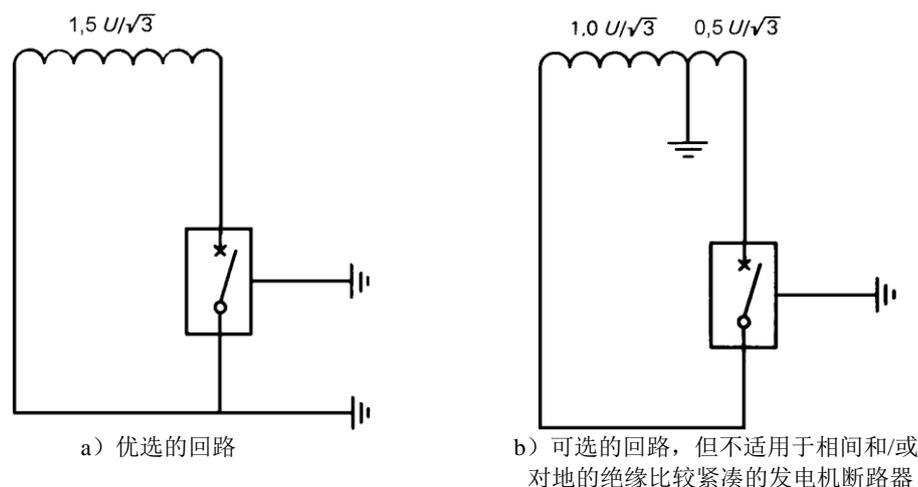


图29 单相短路试验回路的接地，首开极系数 1.5

6.103.4 试验回路和发电机断路器的连接

如果发电机断路器一侧的物理布置不同于另一侧，则试验回路的带电侧应接到发电机断路器对地电压条件更严酷的一侧，除非发电机断路器采用的是馈线布置只能来自一侧的特殊设计。

如果不能满意地验证哪种连接更严酷，可以采用下述两种方法：

- 按照 6.103.12，试验方式 1 和 2 按相反的接线方式来进行；
- 如果指定了发电机源短路电流额定值，按照 6.105.12 进行的试验方式 3、4、5、6A 和 6B 中的接线方式应和按照 6.103.12 进行的试验方式 1 和 2 中的接线方式相反。

6.103.5 系统源短路关合试验的外施电压

外施电压在表13和14中列出，并规定如下：

- 对于三极发电机断路器的三相试验，外施相间电压的平均值应不低于额定电压 U_r ，且未经制造厂同意不得超过 10%。平均值与每极外施电压的差值不应超过 5%；
- 对于三极发电机断路器的单相试验，外施电压应不低于相对地电压值 $U_r/\sqrt{3}$ ，且未经制造厂同意不得超过 10%。

注：为了试验的方便，在征得制造厂同意后，允许外施电压等于相对地电压与发电机断路器的首开极系数（1.5）的乘积。

由于受试验设备的限制，通常不太可能在额定电压和额定短路电流下进行短路关合试验。若任一相在额定电压下关合的预击穿时间不超过1/10周波且工频频率误差在20%以内，则允许在不低于额定电压50%的低电压下进行关合操作。

额定电压下的预击穿时间应通过两次关合试验确定，每个极性在小电流下做一次。小电流应足够小以避免触头烧蚀。

6.103.6 系统源短路关合电流

试验参数在表13和14中列出。

6.103.7 系统源短路开断电流

包括对称电流与非对称电流开断试验。

试验参数在表13和14中列出，并补充如下：

发电机断路器开断的短路电流值应在触头分离时刻测量，且由下述两个数值表述：

- 所有相交流分量有效值的平均值；
- 每相的非对称度。

任一相的交流分量有效值都不应偏离平均值超过10%。

- 对称开断电流

任何开断试验中，当触头分离时所有相中电流的非对称度均小于 20%时，则认为是对称开断试验。

b) 非对称开断电流

试验方式 2 中触头分离时的非对称度由下式决定：

$$A_{\text{asycs}} = 100\% \times e^{\frac{-(t_{\text{op min}} + t_r)}{\tau}}$$

式中：

A_{asycs} 触头分离时的非对称度；

$t_{\text{op min}}$ 制造厂声明的最短分闸时间；

t_r 继电器时间（0.5个周期；50 Hz为10ms）；

标准直流时间常数（150ms，见图9）。

如果满足以下条件，则燃弧期间的短路电流有效：

——预期开断点前预期短路电流的最后半波峰值达到规定值的 100%至 110%，且

——预期开断点前预期短路电流半波的持续时间达到规定值的 90%至 110%。

或者，如果不能满足上述公差：

——预期开断点前预期短路电流的最后半波峰值和持续时间的乘积达到规定值的 100%至 110%。

在合成试验中，应满足以下附加要求：

——开断点前短路电流的最后半波峰值达到规定值的 90%至 110%，并且

——开断点前短路电流半波的持续时间达到规定值的 90%至 110%。

——开断点前短路电流的最后半波峰值和持续时间的乘积达到规定值的 90%至 110%。

注1：这些条件仅适用于预期电流与开断试验中电流起始时刻偏差在 10° 以内的情况。

注2：对于具有相对较高电弧电压的发电机断路器，在合成试验中获得所需的电流半波幅值和持续时间的方法详见 GB/T 4473—20XX 的附录 A。

6. 103. 8 系统源短路开断试验的瞬态恢复电压（TRV）

预期回路TRV（未受发电机断路器影响）应满足表2所列值。

对于直接试验，非对称电流开断能力的验证，应通过对称电流开断时，能够产生不因发电机断路器而改变的额定TRV包络线的试验回路来进行。

对于合成试验，请参见GB/T 4473—20XX。

6. 103. 9 试验中瞬态恢复电压的测量

试验实际测量的TRV，可能与没有发电机断路器时试验回路所测的预期TRV不同。这是因为发电机断路器带有电阻和/或电容，或其他原因导致TRV受到影响。

应记录试验过程中的瞬态恢复电压。

6. 103. 10 工频恢复电压

表16和17中列出的试验参数是相对地的值。

试验回路的工频恢复电压不应小于规定值的95%，并应保持至少0.3 s。

对于合成试验回路，有关细节和公差的规定在GB/T 4473—20XX中给出。

在单相试验期间，规定值 $1.5U_r / \sqrt{3}$ 应保持1个工频周期，此后可以减少到 $U_r / \sqrt{3}$ 。

6. 103. 11 系统源短路试验操作顺序

试验序列的各个操作之间的时间间隔应为4. 106中给出的发电机断路器的标准操作序列的时间间隔。

由于试验设备的限制，可能无法达到额定操作顺序的30分钟时间间隔。在这种情况下，时间间隔可以延长，并且这种延迟的原因应记录在试验报告中。延长的时间间隔不应由发电机断路器的操作故障导致。

6. 103. 12 系统源短路试验方式

基本短路试验系列应包括试验方式1和2，如表13、14所示。

表13 验证系统源短路关合开断能力的试验方式—三相试验

试验方式 ^{a,b,c}	操作顺序	外施电压	关合电流	触头分离时的系统源短路开断电流		工频恢复电压 ⁱ
				幅值	非对称度	
1 ^{d,e,f,g}	C—t—O _{sym} 30min CO _{sym}	U_r	1 st C: $2.74I_{sc}$ 2 nd C: —	I_{sc}	<20%	$U_r/\sqrt{3}$
1-A ^g	C+t	U_r	$2.74I_{sc}$	—	—	—
1-B ^f	C _{no-load} O _{sym} 30min CO _{sym}	U_r	—	I_{sc}	<20%	$U_r/\sqrt{3}$
2 ^h	C _{no-load} O _{asym} 30min C _{no-load} O _{asym}	—	—	I_{sc}	Asy _{cs} ^j	$U_r\sqrt{3}$

t 发电机断路器合闸后的通流时间，不小于0.1s；
 U_r 发电机断路器的额定电压；
 I_{sc} 发电机断路器额定系统源短路电流交流分量的有效值；
Asy_{cs} 触头分离时短路电流的非对称度，见图9。
a 试验方式的顺序仅是建议，试验方式可按任何顺序进行。
b 每个试验方式期间，发电机断路器不允许检修或更换部件。
c 如果发电机断路器带有辅助电阻和辅助开关设备，试验时应在回路中带上这些设备；或者为了试验方便，可以使用相等的TRV参数分别对两个灭弧室进行试验。
d 操作顺序也可反转为CO_{sym}—30min—C—t—O_{sym}。
e 试验方式1可由试验方式1-A和1-B代替。
f 关合操作中，三相中的一相的关合相位应在外施电压峰值的±20°范围内。
g 如果制造厂同意，可以按更高的值试验。
h 为了控制分闸操作的稳定性，可以供给脱扣器最高操作电压。
i 后开极中电流开断后的电压值。
j 触头分离时的非对称度仅供参考。需要满足的参数是 I_{peak} 、 Δt 和 di/dt 。这些参数的规定值见表11和表12。

表14 验证系统源短路关合开断能力的试验方式—单相试验

试验方式 ^{a,b,c}	操作顺序	外施电压	关合电流	触头分离时的系统源短路开断电流		工频恢复电压 ⁱ
				幅值	非对称度	
1 ^{d,e,f,g}	C _{asym} —t—O _{sym} 30min C _{sym} O _{sym}	$U_r/\sqrt{3}$	1 st C: $2.74I_{sc}$ 2 nd C: —	I_{sc}	<20%	$(1.5)U_r/\sqrt{3}$
1-A ^g	C _{asym} +t	$U_r/\sqrt{3}$	$2.74I_{sc}$	—	—	—
1-B ^f	C _{no-load} O _{sym} 30min C _{sym} O _{sym}	$U_r/\sqrt{3}$	—	I_{sc}	<20%	$(1.5)U_r/\sqrt{3}$
2 ^h	C _{no-load} O _{asym} 30min C _{no-load} O _{asym}	—	—	I_{sc}	Asy _{cs} ^j	$(1.5)U_r/\sqrt{3}$

t 发电机断路器合闸后的通流时间，不小于0.1s；
 U_r 发电机断路器的额定电压；
 I_{sc} 发电机断路器额定系统源短路电流交流分量的有效值；
Asy_{cs} 触头分离时短路电流的非对称度，见图9。
a 试验方式的顺序仅是建议，试验方式可按任何顺序进行。
b 每个试验方式期间，发电机断路器不允许检修或更换部件。
c 如果发电机断路器带有辅助电阻和辅助开关设备，试验时应在回路中带上这些设备；或者为了试验方便，可以使用相等的TRV参数分别对两个灭弧室进行试验。
d 操作顺序也可反转为C_{sym}O_{sym}—30min—C_{asym}—t—O_{sym}。
e 试验方式1可由试验方式1-A和1-B代替。
f 关合操作应发生在外施电压峰值的±20°范围内。
g 如果制造厂同意，可以按更高的值试验。
h 为了控制分闸操作的稳定性，可以供给脱扣器最高操作电压。
i 对于首开极条件，恢复电压为 $1.5U_r/\sqrt{3}$ ，对于后开极条件，恢复电压为 $U_r/\sqrt{3}$ 。
j 触头分离时的非对称度仅供参考。需要满足的参数是 I_{peak} 、 Δt 和 di/dt 。这些参数的规定值见表11和表12。

j 触头分离时的非对称度仅供参考。需要满足的参数是 I_{peak} 、 Δt 和 di/dt 。这些参数的规定值见表11和表12。

6.104 负荷电流开合试验

6.104.1 概述

通过试验来确定发电机断路器开合从负荷电流直到发电机额定持续电流的能力,例如在正常工作中可能遇到的负荷电流。

当发电机从系统中开合时,发电机断路器的两端保持通电。在发电机断路器两端出现的工频恢复电压等于发电机和变压器的电抗以及高压系统相应的短路电抗两者的电压降之和。由于电压降落是由负荷电流引起的,因此恢复电压将总是与负荷电流具有90°的相位差,并且将独立于发电机的负荷相位角。当开合额定负荷电流时,发电机-变压器组的电压降通常不会达到额定电压的50%。因此,发电机断路器的负荷电流开合能力可以使用推荐的感性短路试验回路来验证。对于任何滞后或超前的功率因数,试验结果都是有效的。

6.104.2 试验条件

负荷电流开合试验应在下述条件下进行:

- a) 试验电流应为额定电流 I_r 。
- b) 试验回路应采用通常的短路试验布置。
- c) 电源频率和瞬态恢复电压基于额定电压 U_r 。

如果进行三相试验,应使相间电压等于 $0.5U_r$ 。

如果进行单相试验,试验电压应等于 $0.5 \times 1.5 \times U_r / \sqrt{3} = 0.44U_r$ 。

- d) 三相试验时首开极和单相试验的瞬态恢复电压上升率按表4规定。
- e) 发电机断路器的正常接地部分应接地。
- f) 三相或单相试验均可进行。

如果进行三相试验,电源的中性点或短路点应接地,但不能同时接地。如果进行单相试验,试验回路应接地。

- g) 触头分离时的非对称度应小于20%。
- h) 在60 Hz下进行的试验对50 Hz也有效,反之亦然。
- i) 试验应在制造厂规定的开断、操作用介质压力和控制电压的最低值条件下进行。

6.104.3 试验次数

如果进行三相试验,应包括控制时间随机的3次开断操作。

对于单相试验,包括6次开断操作,其中脱扣时间需控制并按照相应于电流波形约30°的步长分布。两次试验之间的时间间隔应考虑诸如电阻等部件的热限制。

6.105 发电机源短路电流关合和开断试验

6.105.1 试验回路功率因数

对试验回路的功率因数没有要求。

6.105.2 试验回路频率

发电机源短路开断试验应在额定频率下进行。然而,对于试验方式5、6A和6B,在50Hz下进行的试验对60Hz也有效,但反之不可行。

以60 Hz进行的发电机源短路关合试验对50 Hz有效,反之亦然。

6.105.3 试验回路的接地

发电机源短路关合和开断试验时试验回路的对地连接应符合下述要求,并应在所有情况下,在试验报告的试验回路图中予以指明。

- a) 三相试验

发电机断路器（其构架按运行中的方式接地）应接到电源中性点绝缘且短路点接地的试验回路中，如图 28a 所示。如果试验只能按如图 28b 所示的接地方式进行时，也可按后一种方式实施。按图 28a，电源中性点可通过一个阻值尽可能大的电阻接地，其阻值用欧姆表示且不小于 $U/10$ ，其中 U 为试验回路线电压的数值（单位 V ）。

若采用图 28b 所示的试验回路，宜注意，当发电机断路器的一个端子发生接地故障时，可能产生危险的接地电流，因此允许电源中性点通过适当的阻抗接地。

b) 单相试验

试验回路和发电机断路器构架按如图 29a 连接，以便使电弧熄灭后带电部件与构架间的电压条件和图 28a 所示的试验回路中的三极发电机断路器首开极中的电压条件相同。

优选的试验回路如图 29a 所示。如果受实验站设备限制，且相间和/或对地的绝缘宽裕，也可采用如图 29b 所示的回路；如果绝缘不宽裕，合适的试验方法见 GB/T 1984—2014 的附录 O 和 GB/T 4473—20XX。

6. 105. 4 试验回路和发电机断路器的连接

如果发电机断路器一侧的物理布置不同于另一侧，则试验回路的带电侧应接到发电机断路器对地电压条件更严酷的一侧，除非发电机断路器采用的是馈线布置只能来自一侧的特殊设计。

如果不能满意地验证哪种连接更严酷，可以采用下述两种方法：

- 在根据 6. 103. 12 的试验方式 1 和 2 已经做出具有相反连接的情况下，任何一侧可以连接以进行根据 6. 105. 12 的试验方式 3, 4, 5, 6A 和 6B；
- 在根据 6. 103. 12 的试验方式 1 和 2 已经以相同的连接进行的情况下，根据 6. 105. 12 的试验方式 3、4、5、6A 和 6B 应与根据 6. 103. 12 的试验方式 1 和 2 的接线方式相反。

6. 105. 5 发电机源短路关合试验的外施电压

外施电压在表15和表16中列出，并规定如下：

- 对于三极发电机断路器的三相试验，外施相间电压的平均值应不低于额定电压 U_r ，且未经制造厂同意不得超过 10%。平均值与每极外施电压的差值不应超过 5%；
- 对于三极发电机断路器的单相试验，外施电压应不低于相对地电压值 $U_r/\sqrt{3}$ ，且未经制造厂同意不得超过 10%。

注：为了试验的方便，在征得制造厂同意后，允许外施电压等于相对地电压与发电机断路器的首开极系数（1.5）的乘积。

由于受试验设备的限制，通常不太可能在额定电压和额定短路电流下进行短路关合试验。若任一相在额定电压下关合的预击穿时间不超过1/10周波且工频频率误差在20%以内，则允许在不低于额定电压50%的低电压下进行关合操作。

额定电压下的预击穿时间应通过两次关合试验确定，每个极性在小电流下做一次。小电流应足够小以避免触头烧蚀。

6. 105. 6 发电机源短路关合电流

试验参数在表15和16中列出。

一般认为，发电机源短路关合电流峰值远小于系统源短路关合电流峰值。

如果发电机源短路关合电流峰值大于系统源短路关合峰值电流峰值，则要求进行试验方式3。

6. 105. 7 发电机源短路开断电流

6. 105. 7. 1 概述

试验参数在表15和16中列出。

发电机断路器所开断的发电机源短路电流值应在触头分离时刻测量，且由下述两个数值表述：

- 所有相交流分量有效值的平均值；
- 每相的非对称度。

6. 105. 7. 2 发电机源短路开断电流的交流分量

任一相的交流分量有效值都不应偏离平均值超过10%。

6.105.7.3 发电机源短路开断电流的非对称度

开断试验包括对称电流和非对称电流。任何开断试验中，当触头分离时所有相中电流的非对称度均小于20%时，则认为是对称开断试验。

通常要求发电机断路器在其寿命期间开断来自发电机源且具有延迟零点的短路电流的能力。在考虑电弧电压对预期短路电流的影响后，发电机断路器开断延迟电流零点短路电流的能力可由计算确定。确定电弧电压模型的方法从类似电流数值的试验中得出（见8.103.6.3.6.3）。

6.105.8 发电机源短路开断电流试验的瞬态恢复电压（TRV）

预期回路TRV（未受发电机断路器影响）应满足表3所列值。

6.105.9 试验瞬态恢复电压的测量

试验实际测量的TRV，可能与没有发电机断路器时试验回路所测的预期TRV不同。这是因为发电机断路器带有电阻和/或电容，或其他原因导致TRV受到影响。

应记录试验过程中的瞬态恢复电压。

6.105.10 工频恢复电压

表15和16中列出的试验参数是相对地的值。

试验回路的工频恢复电压不应小于规定值的95%，并应保持至少0.3 s。

对于合成试验回路，有关细节和公差的规定在GB/T 4473—20XX中给出。

在单相试验期间，规定值 $1.5U_r/\sqrt{3}$ 应保持1个工频周期，此后可以减少到 $U_r/\sqrt{3}$ 。

6.105.11 发电机源短路试验操作顺序

试验序列的各个操作之间的时间间隔应为4.106中给出的发电机断路器的标准操作序列的时间间隔。

由于试验设备的限制，可能无法达到额定操作顺序的30min时间间隔。在这种情况下，时间间隔可以延长，并且这种延迟的原因应记录在试验报告中。延长的时间间隔不应由发电机断路器的操作故障导致。

6.105.12 发电机源短路开断试验方式

6.105.12.1 概述

试验序列包括表15和表16中规定的试验方式。

6.105.12.2 关合试验方式

关合试验按试验方式3进行。

6.105.12.3 对称电流开断试验方式

对称电流开断试验按试验方式4进行。

6.105.12.4 非对称电流开断试验方式

非对称电流开断试验按照试验方式5和G1级发电机断路器的试验方式6A或G2级发电机断路器的试验方式6B进行。

方式5中，试验程序应包括一个预期试验电流波形，该电流波形的交流分量有效值为 I_{scg} ，且应记录第一个电流零点前的电流峰值和相对极小值。预期试验电流波形在第一个电流零点前应至少包括三个周波，用以说明前两个电流相对极小值未到电流零点（见图30）。

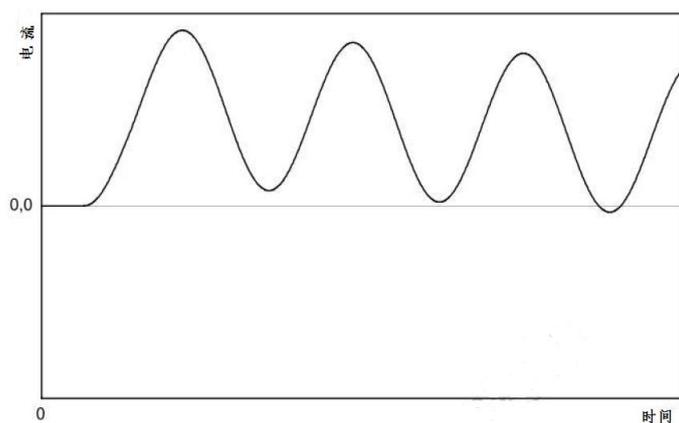


图30 试验方式5的有效预期试验电流示例

触头分离应不晚于预期电流第一个零点前1.5个周波。该控制应保证触头分离时要求的非对称度至少为一个完整周波的燃弧时间。图31为一次有效试验示例，图32为一次无效试验示例。

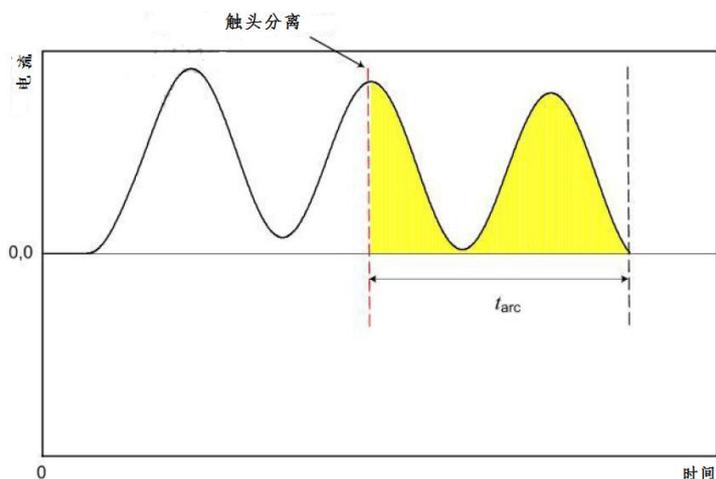


图31 试验方式5的有效试验示例

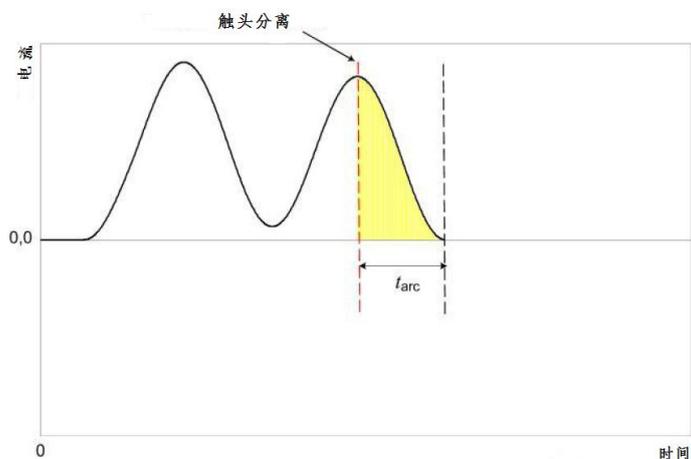


图32 试验方式5的无效试验示例

在图32无效的情况下，触头分离应再提前180电度。产生的燃弧时间应至少为一个完整周期。图33为这种情况下的有效试验示例。

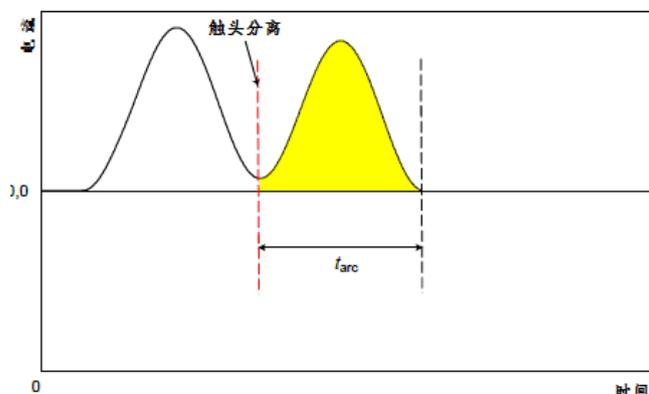


图33 试验方式 5 的有效试验的示例二

对于试验方式6A和6B，试验程序应包括一个预期试验电流波形，电流交流分量有效值分别为 $0.74I_{scg}$ （试验方式6A）和 I_{scg} （试验方式6B），且应记录第一个电流零点前的电流峰值和相对极小值。预期试验电流波形在第一个电流零点前应至少包括三个周波，用以说明前两个电流相对极小值未到电流零点（见图34）。

注：在制造厂同意的情况下，可以增加第一个电流零点前的整数周期。

触头分离应不晚于预期电流的第一个零点前2.6个周波。该控制应保证触头分离时要求的非对称度至少为1.5个周波的燃弧时间。图35和图36给出了有效试验示例。

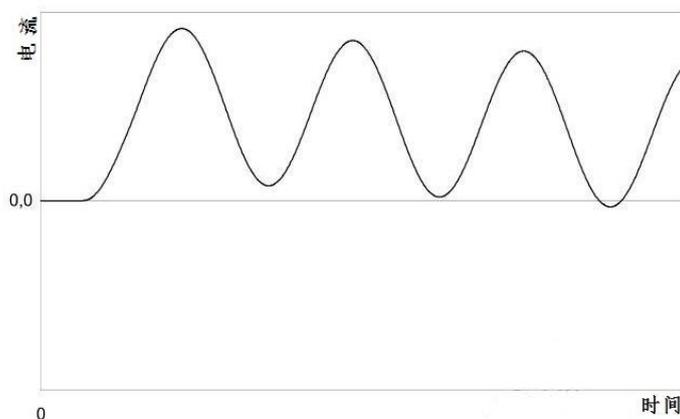


图34 试验方式 6A 和 6B 的有效预期试验电流示例

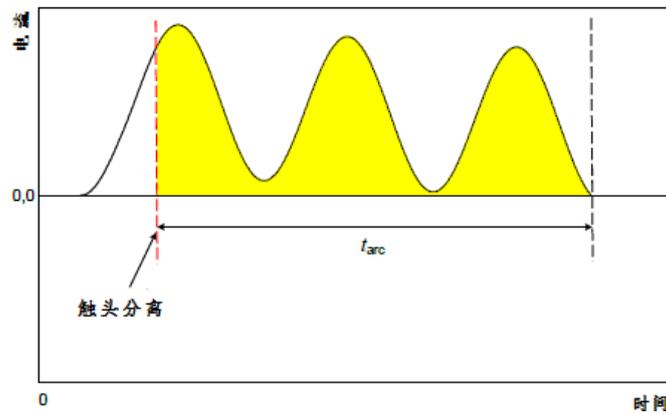


图35 试验方式 6A 和 6B 的有效试验示例

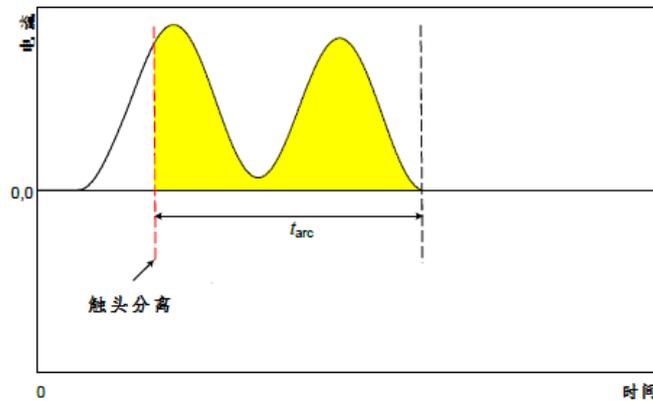


图36 试验方式 6A 和 6B 的有效试验示例

应记录触头分离时刻的非对称度。

表15 验证发电机电源短路关合、开断电流能力的试验方式—三相试验

试验方式 ^{a,b,c}	操作顺序	外施电压	关合电流	触头分离时刻的发电机电源短路开断电流		工频恢复电压 ⁿ
				有效值	非对称度	
3 ^d	C+t	U_r	I_{MC}	—	—	—
4	$C_{no-load}O_{sym}$ 和 $C_{no-load}O_{svm}$	—	—	I_{scg}	<20%	$U_r/\sqrt{3}$
5 ^{f,h,j,m}	$C_{no-load}O_{asym}$	—	—	I_{scg}	$\geq 110\%g$	$U_r/\sqrt{3}e$
6A ^{f,i,k,m}	$C_{no-load}O_{asym}$	—	—	$0.74 I_{scg}$	$\geq 130\%g$	$U_r/\sqrt{3}e$
6B ^{f,h,l,m}	$C_{no-load}O_{asym}$	—	—	I_{scg}	$\geq 130\%g$	$U_r/\sqrt{3}e$

t 发电机断路器合闸后的通流时间，不小于0.1s；
 U_r 发电机断路器的额定电压；
 I_{sc} 发电机断路器额定系统源短路电流交流分量的有效值。
 a 试验方式的顺序仅是建议，试验方式可按任何顺序进行。
 b 每个试验方式期间，发电机断路器不允许检修或更换部件。
 c 如果发电机断路器带有辅助电阻和辅助开关设备，试验时应在回路中带上这些设备；或者为了试验方便，可以使用相等的TRV参数分别对两个灭弧室进行试验。
 d 如果发电机源峰值关合电流已经在试验方式 1 或 1A 中得以验证，则无需实施试验方式 3。
 e 由于试验设备的限制，通常无法在额定电压和短路电流下实施开断操作。允许在降低的恢复电压条件下实施开断操作，但此电压最小值不得低于额定电压的 50%。
 f 基于实际原因，此试验方式通常进行单相试验。

g	此值可由预期电流确定。
h	要求预期试验为 100% I_{scg} 。
i	要求预期试验为 74% I_{scg} 。
j	试验方式 5 对 G1 级发电机断路器是强制要求的，但对 G2 级发电机断路器不作强制要求，因为已被试验方式 6B 覆盖。
k	试验方式 6A 对 G1 级发电机断路器是强制要求的。
l	试验方式 6B 对 G2 级发电机断路器是强制要求的。
m	为了控制分闸操作的稳定性，可以供给脱扣器最高操作电压。
n	后开极电流开断后提供的电压。

表16 验证发电机电源短路关合、开断电流能力的试验方式—单相试验

试验方式 ^{a,b,c}	操作顺序	外施电压	关合电流	触头分离时刻的 发电机电源短路开断电流		工频恢复电压
				大小	非对称度	
3 ^d	C+t	$U_r/\sqrt{3}$	I_{MC}	—	—	—
4	$C_{no-load}O_{sym}$ 和 $C_{no-load}O_{svm}$	$U_r/\sqrt{3}$	—	I_{scg}	<20%	$(1.5) U_r/\sqrt{3}^m$
5 ^{g,i,l}	$C_{no-load}O_{asym}$	—	—	I_{scg}	$\geq 110\%^f$	$U_r/\sqrt{3}^e$
6A ^{h,j,l}	$C_{no-load}O_{asym}$	—	—	$0.74 I_{scg}$	$\geq 130\%^f$	$U_r/\sqrt{3}^e$
6B ^{g,k,l}	$C_{no-load}O_{asym}$	—	—	I_{scg}	$\geq 130\%^f$	$U_r/\sqrt{3}^e$

t 发电机断路器合闸后的通流时间，不小于0.1s；
 U_r 发电机断路器的额定电压；
 I_{sc} 发电机断路器额定系统源短路电流交流分量的有效值。
a 试验方式的顺序仅是建议，试验方式可按任何顺序进行。
b 每个试验方式期间，发电机断路器不允许检修或更换部件。
c 如果发电机断路器带有辅助电阻和辅助开关设备，试验时应回路中带上这些设备；或者为了试验方便，可以使用相等的TRV参数分别对两个灭弧室进行试验。
d 如果发电机电源峰值关合电流已经在试验方式 1 或 1A 中得以验证，则无需实施试验方式 3。
e 由于试验设备的限制，通常无法在额定电压和短路电流下实施开断操作。允许在降低的恢复电压条件下实施开断操作，但此电压最小值不得低于额定电压的 50%。
f 此值可由预期电流确定。
g 要求预期试验为 100% I_{scg} 。
h 要求预期试验为 74% I_{scg} 。
i 试验方式 5 对 G1 级发电机断路器是强制要求的，但对 G2 级发电机断路器不作强制要求，因为已被试验方式 6B 覆盖。
j 试验方式 6A 对 G1 级发电机断路器是强制要求的。
k 试验方式 6B 对 G2 级发电机断路器是强制要求的。
l 为了控制分闸操作的稳定性，可以供给脱扣器最高操作电压。
m 首开极恢复电压为 $1.5U_r/\sqrt{3}$ 。后开极恢复电压为 $U_r/\sqrt{3}$ 。

6.106 失步关合和开断试验

6.106.1 概述

失步条件是指在发电机断路器操作时刻，发电机和电力系统之间失去或缺乏同步而导致的不正常运行条件，代表发电机断路器两侧所产生的电压矢量的相角差超过了正常值，并且可能高达180°。

由此引起的失步电流大小取决于此相角并且当相角为180°（反相）时达到最大值。如果变压器短路电抗和断路器的变压器侧的系统网络电抗之和小于发电机短路电抗，则全反相时的失步电流将超过发电机端子短路引起的超瞬态短路电流 I_d'' 。宜采取适当的措施预防过载对发电机绕组的损害，如预防同步错误。

在全反相条件下，大多数发电机断路器只要求关合能力但对其开断不做要求。仅对具有全开断能力（可切除断路器任一侧的短路电流）的发电机断路器规定其失步电流开合额定值。额定值的有关规定见表17和表格18，并在6.106.2和6.106.3中予以阐述。当失步电流开合能力具有重要意义且用户要求发电

机断路器具有全反相开合能力时，则要求发电机断路器具有超过额定短路电流开断能力的一个开断额定值，尤其是：

- 为首开极计算工频恢复电压和瞬态恢复电压；
- 反相电流大小介于系统源短路电流和发电机源短路电流之间。该值需对每种安装方式单独计算。

6.106.2 失步电流开合能力

规定的失步电流开合能力应满足以下条件：

- 首开极失步恢复电压的最大值。此值规定了在特定条件下发电机断路器具有的最大失步相角开合能力。如果发电机断路器具有规定的失步电流开合额定值，其额定电压基于 90°失步相角。
- 失步电流最大值为发电机断路器在规定的最大失步恢复电压条件下能够开合的电流值。指定失步电流额定值应为系统源对称短路开断电流的 50%。

6.106.3 试验严酷条件

失步电流开合试验应在下列严酷条件下进行：

- 分闸和合闸操作均应按照厂家提供的有关发电机断路器及其辅助设备的操作和正常使用的说明来实施；
- 发电机中性点的接地条件：非有效接地，因此首开极的恢复电压将为 $\sqrt{2} \times 1.5 \times U_r / \sqrt{3} = 1.22U_r$ ，对应 90°失步相角；
- 发电机断路器两侧均没有故障；
- 当 50Hz 下的燃弧区间可以被覆盖时，60Hz 下进行的试验对于 50Hz 有效；
- 在 50Hz 下进行的合成试验，但是其中合成回路的注入电流为 60Hz 时，其试验结果对 50Hz 和 60Hz 的应用均有效；
- 试验方式和严酷条件见表 17 和 18。

表17 验证失步电流开合能力的试验方式——三相试验

试验方式 ^{a,b,c}	操作方式	外施电压	触头分离时刻的失步开断电流		工频恢复电压 ^h
			有效值	非对称度	
OP1 ^{d,f}	CO _{sym} —30min—CO _{sym}	$\sqrt{2} U_r$	I_d	<20%	$\sqrt{2} U_r / \sqrt{3}$
OP2 ^{e,g}	C _{no-load} O _{asym} —30min— C _{no-load} O _{asym}	—	I_d	75% ⁱ	$\sqrt{2} U_r / \sqrt{3}$

U_r 发电机断路器的额定电压；
 I_d 发电机断路器的额定发电机源短路开断电流的交流分量有效值。
a 试验方式顺序只是建议的顺序，可按想要的任一顺序进行。
b 每个试验方式期间，发电机断路器不允许检修或更换部件；方式 1 和方式 2 之间允许发电机断路器检修或更换部件。
c 如果发电机断路器带有辅助电阻室和辅助开关，应将辅助电阻和辅助开关接入回路进行试验；或者为了方便进行试验，可以使用相等的 TRV 参数分别对两个灭弧室进行试验。
d 试验程序见 6.102.10.2.2。
e 试验程序见 6.102.10.2.3。
f 两次关合操作中，应有一次操作三相中的一相的关合相位处在外施电压峰值 $\pm 20\%$ 范围内。
g 为了便于控制分闸操作的一致性，可以供给脱扣器最高操作电压。
h 后开极中电流开断后的电压值。
i 75% 仅供参考。要满足的参数是 I_{peak} 、 Δt 和 di/dt 。这些参数的要求值见表 11 和表 12 的第 (2) 列。

表18 验证失步电流开合能力的试验方式——单相试验

试验方式 ^{a,b,c}	操作方式	外施电压	触头分离时刻的失步开断电流		工频恢复电压 ^d
			有效值	非对称度	
OP1 ^{e,g}	CO _{sym} —30min—CO _{sym}	$\sqrt{2} U_r / \sqrt{3}$	I_d	<20%	$(1.5)\sqrt{2} U_r / \sqrt{3}$
OP2 ^{f,h}	C _{no-load} O _{asym} —30min—	—	I_d	75% ⁱ	$(1.5)\sqrt{2} U_r / \sqrt{3}$

$C_{no-load} O_{asvm}$				
U_r	发电机断路器的额定电压；			
I_d	发电机断路器的额定发电源短路开断电流的交流分量有效值。			
a	试验方式顺序只是建议的顺序，可按想要的任一顺序进行。			
b	每个试验方式期间，发电机断路器不允许检修或更换部件；方式 1 和方式 2 之间允许发电机断路器检修或更换部件。			
c	如果发电机断路器带有辅助电阻室和辅助开关，应将辅助电阻和辅助开关接入回路进行试验；或者为了方便进行试验，可以使用相等的 TRV 参数分别对两个灭弧室进行试验。			
d	首开极恢复电压为 $(1.5)\sqrt{2} U_r \sqrt{3}$ ，后开极恢复电压为 $\sqrt{2} U_r \sqrt{3}$ 。			
e	试验程序见 6.102.10.3.2。			
f	试验程序见 6.102.10.3.3。			
g	两次合闸操作中，合闸相位应处在外施电压峰值 $\pm 20^\circ$ 范围内。			
h	为了便于控制分闸操作的一致性，可以供给脱扣器最高操作电压。			
i	75% 仅供参考。要满足的参数是 I_{peak} 、 Δt 和 di/dt 。这些参数的要求值见表 11 和表 12 的第 (2) 列。			

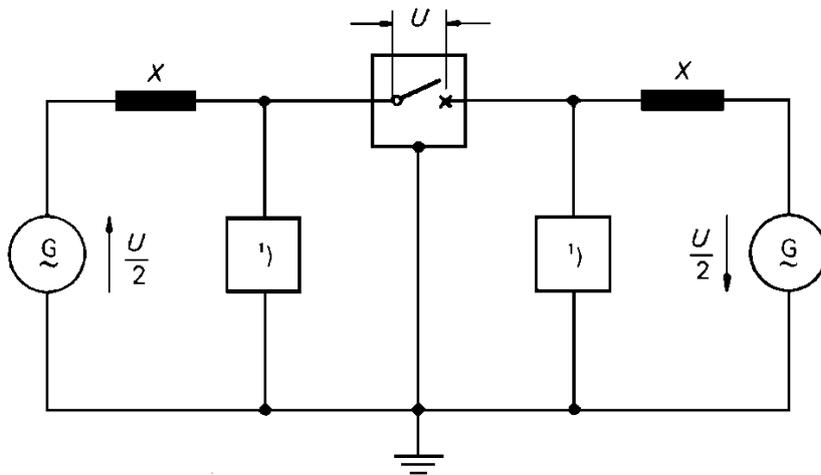
6.106.4 试验回路

应满足以下条件：

对于单相试验，试验回路应这样布置，约有一半的外施电压和恢复电压施加在发电机断路器的每一侧上（见图37）。

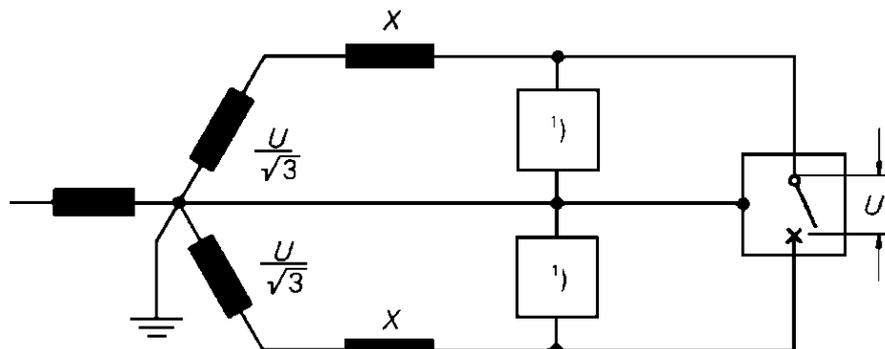
如果在试验站使用该回路不可行，则允许按制造厂的允许使用图38或图39所示回路的一种：

- a) 只要发电机断路器两端的电压满足表 18 规定，可以使用相差 120° 的两个相等的电压代替相差 180° 的试验回路（见图 38）；
- b) 可以使用发电机断路器一端接地的试验回路（见图 39）。



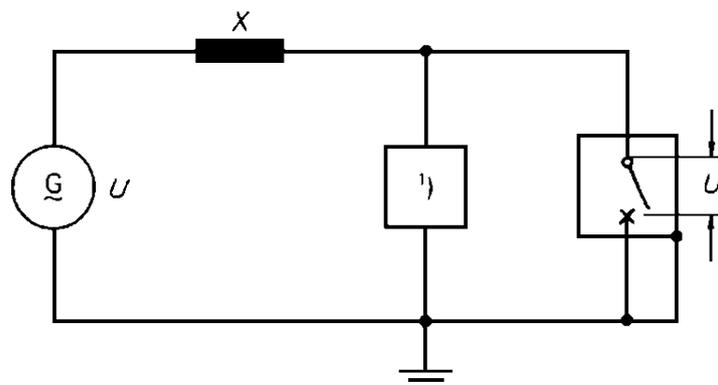
1) 正方形表示电容和电阻的组合

图37 单相失步试验回路



1) 正方形表示电容和电阻的组合。

图38 相角 120° 的双电压失步试验回路



1) 正方形表示电容和电阻的组合。

图39 发电机断路器一侧接地的失步试验回路（征得制造厂同意）

6.106.5 失步关合试验的外施电压

外施电压在表17和表18中列出，并规定如下：

- 对于三极发电机断路器的三相试验，施加的相间电压的平均值不应小于 $\sqrt{2}U_r$ ，且未经制造厂同意不得超过该值 10%。
- 对于三极发电机断路器的单相试验，施加的相对地电压不应小于 $\sqrt{2}U_r/\sqrt{3}$ ，且未经制造厂同意不得超过该值 10%。

注：为了便于试验，可以根据制造厂的协议将施加的电压增加到 $1.5\sqrt{2}U_r/\sqrt{3}$ 。

由于受试验设备的限制，通常不太可能在额定电压和额定短路电流下进行短路关合试验。若任一相在额定电压下关合的预击穿时间不超过1/10周波且工频频率误差在20%以内，则允许在不低于额定电压50%的低电压下进行关合操作。

额定电压下的预击穿时间可以通过在降低的电流条件下实施关合试验来确定，该电流应足够小以避免触头烧蚀。

6.106.6 失步开断试验的瞬态恢复电压（TRV）

预期回路TRV（未受发电机断路器影响）应满足表5所列的值。

6.106.7 方式 OP1 试验中最严酷开合条件的验证

6.102.10.2.2（三相试验）和6.102.10.3.2（单相试验）中给出的试验程序适用。

6.106.8 方式 OP2 试验中最严酷开合条件的验证

试验中，非对称电流开合能力试验方式OP2基于的时间常数是150ms。

6.102.10.2.3（三相试验）和6.102.10.3.3（单相试验）中给出的试验程序适用，并作如下补充：

- 可能的最短开断时间与继电保护时间和分闸时间无关；
- 触头分离时刻的非对称度与继电保护时间和分闸时间无关；
- 出于试验目的，在具有中等非对称度的一相中，大半波后可能的最短开断时间为 52.6ms，适用的半波参数列于表 11 的第（2）列；
- 出于试验目的，在具有中等非对称度的一相中，小半波后可能的最短开断时间为 47.1ms，适用的半波参数列于表 12 的第（2）列。

7 出厂试验

7.1 概述

GB/T 11022—2011的7.1适用，并作如下修改：

应对完整的发电机断路器进行出厂试验。然而，当发电机断路器分成单元装配和运输时，应在现场进行出厂试验。

7.2 主回路的绝缘试验

GB/T 11022—2011的7.2适用，并作如下修改：

试验电压应为本文件表1第（2）列中规定的电压。

若发电机断路器的灭弧室内有某一灭弧介质而灭弧室又被封闭在另一不同的绝缘流体之中，则当灭弧室外壳发生泄漏时，只进行工频耐受电压试验可能不足以说明灭弧介质或绝缘介质是否受到影响。

例如，假设发电机断路器具有封闭在充满SF₆的外壳中的真空灭弧室。如果发生泄漏使得SF₆气体进入真空灭弧室，灭弧室可能能够经受工频耐受电压试验，但仍不能开断额定短路电流。在这种情况下，制造厂应告知用户验证真空灭弧室完整性未受损伤的合适方法。

如果发电机断路器配备有附加元件（例如避雷器、冲击电容器、电压互感器等），那么在绝缘试验之前这些元件可以断开连接或移除。

7.3 辅助和控制回路的试验

7.3.1 辅助和控制回路的检查以及电路图和接线图一致性的验证

GB/T 11022—2011的7.3.1适用，并作如下补充：

所有的电阻器和加热器应通过操作或电阻测量进行检查。所有的合闸、脱扣器、控制阀和继电器线圈应通过电阻测量或转动计数器检查，并应在规定的制造限制范围内。

7.3.2 功能试验

GB/T 11022—2011的7.3.2适用，并作如下补充：

试验应在表2规定的电源电压的最大、最小和额定值下进行。

7.3.3 电击防护的验证

GB/T 11022—2011的7.3.3适用。

7.3.4 绝缘试验

GB/T 11022—2011的7.3.4适用。

7.4 主回路电阻的测量

GB/T 11022—2011的7.4不适用，并替换为以下内容：

在合闸位置测量每极单元的端子间载流回路的直流电阻时，回路中电流至少为100A，并且测量值不得超过制造厂设定的发电机断路器额定值的限值。

7.5 密封试验

7.5.1 概述

GB/T 11022—2011的7.5.1不适用，并替换为以下内容：

出厂试验应按照制造厂的试验习惯在正常的周围空气温度下，在充以制造厂规定压力（或密度）的装配上进行。

7.5.2 气体的可控压力系统

GB/T 11022—2011的7.5.2适用。

7.5.3 气体的封闭压力系统

GB/T 11022—2011的7.5.3不适用，并替换为以下内容：

密封试验的目的是证明绝对泄漏率F不超过允许泄漏率F_p的规定值。

密封试验应使用与运行状况一样的流体或者氦气，并在相同的条件下进行。如果可能，试验应在额定压力（或额定密度）下在整个系统上进行。如果这不可行，则可以对零件、部件或子装配进行试验。在这种情况下，整个系统的泄漏率应通过使用密封配合图TC（参考GB/T 11022—2011的附录E）计算各组件泄漏率的总和来确定。还应考虑到不同压力的子装配之间可能的泄漏。

只有累积泄漏测量法允许计算泄漏率。因此，嗅探是不可接受的，因为它不是累积的。

出厂试验报告应包括以下信息：

- 用于检测泄漏率的仪表刻度的表征量；
- 测量的结果；
- 试验用气体。

通常，对于适当试验方法的应用，可参考GB/T 2423.23-2013。

7.5.4 密封压力系统

GB/T 11022—2011的7.5.4适用。

7.5.5 液体密封试验

GB/T 11022—2011的7.5.5适用。

7.6 设计和外观检查

GB/T 11022—2011的7.6不适用，并替换为以下内容：

应检查发电机断路器以验证其与订货技术要求的符合性。

例如，如果适用，可对下列项目进行检查：

- 铭牌上的语言和数据；
- 连接到主回路的电阻和电容的值；
- 所有辅助设备的确认；
- 油漆的颜色和质量以及金属表面的防腐蚀保护。

7.101 机械操作试验

机械操作试验应在开断用和绝缘用的额定压力下进行，并应包括以下内容：

- a) 在操动机构以及辅助和控制回路的最高电源电压和操作用的最高功能压力下（如果适用）：
 - 5次合闸操作；
 - 5次分闸操作；
- b) 在操动机构以及辅助和控制回路的最低电源电压和操作用的最低功能压力下（如果适用）：
 - 5次合闸操作；
 - 5次分闸操作；
- c) 在操动机构以及辅助和控制回路的额定电源电压和操作用的额定功能压力下（如果适用）：
 - 对主触头闭合时脱扣器机构带电的断路器，进行5次合-分操作循环；在这些试验过程中，合闸控制开关应保持合闸信号，以证明发电机断路器控制回路的防跳装置和（电动）自由脱扣是正常工作的。

机械操作试验应在完整的发电机断路器上进行。但是，如果发电机断路器分成单元装配和运输，出厂试验可以按照6.101.1.2的规定对元件进行。在这种情况下，制造厂应给出在现场使用的交接试验的程序，以保证这样的单元试验和装配整台发电机断路器的一致性。

对于所有要求的操作顺序，应进行以下操作并记录：

- 分闸和合闸时间测量；
- 适用时，在分闸和合闸操作过程中流体消耗量的测量，例如压力差。

应有证据证明机械性能与型式试验使用的试品的机械性能一致。例如，在出厂试验结束后还应进行一次如6.101.1.1中规定的空载操作循环，以记录空载触头行程曲线。如果进行了该操作，从触头分离瞬时刻到触头运动终了时，该曲线应在6.101.1.1定义的参考机械行程特性规定的包络线内。

采用一个行程传感器或发电机断路器触头系统中的或与驱动触头系统直接连接的方便位置安装的类似装置，可以直接记录到机械行程特性，并且可以得到具有代表性的触头运动轨迹。优选的机械行程特性应是如图16所示的连续曲线。如果在现场进行测量，操作期间的行程记录点也可使用其它方法。

在这种情况下，记录点的数量应足够多以便能导出触头接触和触头分离的时间和触头速度以及整个行程时间。

在完成要求的操作顺序后，应进行下列试验和检查（如果适用）：

- 检查连接；
- 控制和/或辅助开关应正确指示发电机断路器的分合闸的位置；
- 所有辅助设备在操动机构以及辅助和控制回路的电源电压和/或操作压力的限值时应正确动作。

此外，还应进行下列试验和检查（如果适用）：

- 加热器（如有的话）电阻和控制线圈电阻的测量；
- 按订货技术要求，检查控制的连接线，加热器和辅助设备的回路，并检查辅助触头的数量；
- 控制柜（电气、机械、气动和液压系统）的检查；
- 储能时间（s）；
- 压力释放阀的功能操作；

注：阀门不是爆破型，是可复位的，因此这不是破坏性试验。

- 电气、机械、气动或液压的联锁和信号装置的操作；
- 适用时，绝缘和开断用的压力升高，低压或低密度警报解除；
- 适用时，绝缘和开断用的压力降低，低压或低密度警报启动；
- 防跳跃装置的操作；
- 在电源电压要求的允差范围内设备的一般性能；
- 发电机断路器接地端子的检查。

如果在机械操作试验过程中需要调整，则在调整后应重复进行完整的试验顺序。

8 发电机断路器的选用导则

GB/T 11022—2011的第8章不适用。

8.101 概述

本章一般用作高压交流发电机断路器在使用方面的导则。假定熟悉适用于发电机断路器的其他标准，并且仅在需要清楚地描述应用要求时，在本文中列出这些标准的条款。典型的应用实例见附录D。完整的额定特性的清单在第4章中给出。本章中仅涉及下列额定值：

——额定值和特性的类型	条款
——额定电压	8.103.2
——额定绝缘水平	8.103.3
——额定频率	8.103.4
——额定电流	8.103.5
——短路电流额定值	8.103.6
——系统源和发电机源短路电流的 TRV 额定值	8.103.7
——额定负荷关合和开断电流	8.103.8
——额定失步关合和开断电流	8.103.9

对于第8章未涉及的额定特性，如果适用，应参考第4章。

选择发电机断路器时，应充分考虑电力系统整体的未来发展，使发电机断路器不仅可以满足当前的需要，也可以满足未来的要求。

8.102 一般选用条件

8.102.1 正常使用条件

8.102.1.1 概述

发电机断路器的正常使用条件在第2章中规定。

8.102.1.2 系统发展的储备

为了适应负荷增大的需要，电力系统设施需要随着时间增加。尽管发电机未必用更大的发电机来代替，但是，系统发展的结果通常是短路电流的增大。因此，对于预计的将来系统源短路电流的增大，发电机断路器的额定值应有足够的裕度。

8.102.1.3 系统设计

对于限制短路电流大小或降低由系统设计产生的大电流短路概率的方法，超出了本标准范围。如果短路电流接近发电机断路器的最大容量时，应考虑这种方法。

8.102.2 特殊使用条件

8.102.2.1 概述

特殊使用条件列于第2章中。如果遇到这些条件，应考虑特殊的技术要求、安装、运行及维护措施，并且，如有必要，应提请制造厂注意。

8.102.2.2 异常温度下的使用

对第2章中规定的极限以外的环境温度下使用的设备应特殊考虑。在多数使用情况下，发电机断路器作为离相母线的整体部分来安装。在这些情况下，离相母线的冷却情况直接影响封闭式发电机断路器内部的温度。环境温度和断路器的热时间常数制约着4.4.1中叙述的持续电流的选用。

8.102.2.3 海拔超过1000m时的使用

GB/T 11022—2011的第2章规定的正常使用条件，适用于安装在海拔不超过1000m处的发电机断路器。

海拔超过1000m时，GB/T 11022—2011的2.3.2适用。

额定电压下的额定短路开断电流、相关的要求容量和额定开断时间不受海拔影响。额定电流可能需要修正，应向制造厂咨询。

8.102.2.4 暴露于有害的烟雾或水蒸汽、雾、盐雾、油雾、过分潮湿、滴水和其他类似的条件下

处于这些条件下的设备可能要求如下的特殊结构或防护性能：

- a) 避免在所有电气绝缘及载流部件上凝结的措施；
- b) 套管具有额外的爬电距离；
- c) 特殊的维护，包括在发觉有危害绝缘的完整性的微粒的情况下，绝缘子的清扫；
- d) 使用能抵御霉菌生长的材料。

8.102.2.5 暴露于过量的磨料、磁性或金属的粉尘中

处于这些条件下的设备可能要求如下的特殊结构或防护性能：

- a) 设备完全封闭或分隔，并采取措施使空气流动情况良好；
- b) 按风冷运行设计的设备被封闭在没有风冷的隔室内时，应降低载流额定值。

8.102.2.6 暴露于易爆性粉尘或气体混合物中

发电机断路器不能设计用于易爆环境中。对于这种运行类型，应给予特殊考虑，以便选择可接受的设备。

8.102.2.7 暴露于异常振动、冲击或摆动情况下

发电机断路器设计用于安装在大体水平的建筑物上，不受过度的振动、冲击或摆动的影响。如果存在这些异常条件的任一个时，对于特殊应用的建议应从制造厂获得。

8.102.2.8 季节性使用或极少使用

设备长期存放或长期不通电,比如发电机维修期间,应采取保护措施防止加速劣化。在带电运行前,应检查其操作性能和绝缘完好性。

8.102.2.9 异常力下的使用

正常运行期间,发电机断路器除承受正常短路电流和热作用力外,还可能承受异常的热和地震作用力。

异常的热作用力是由与发电机断路器连接的热循环引起的。发电机断路器作为长的硬母线系统的一部分使用,可能在发电机断路器套管上产生严重的压力和拉力。对于这种情况,应向制造厂咨询。在核电站使用时,如果地震力超过0.5g,则应与制造厂一起验算。

8.102.2.10 磁场对使用的影响

偶尔,电站中的母线不是封闭的,并且一般来说,对于持续电流低于6300A的发电机断路器,磁场的影响通常不用考虑。但是,如果母线电流超过6300A,发电机和变压器之间的母线附近的磁场可能对设备和建筑钢产生不利影响。对这种情况,因为感应的电压和电流会产生不希望有的热效应,所以,发电机断路器外壳外面的磁场的值应向制造厂咨询。由于这个原因,为了避免承载电流的母线间的电磁力,通常采用离相式母线管。

需注意下列情况,并采取预防措施:

- a) 通过发电机断路器外壳的返回电流和母线中流过的电流差大于6300A;
- b) 发电机断路器外壳外面的磁场加上由外壳内流过的电流与断路器带电部分流过的电流差所产生的磁场高于6300A电流产生的磁场。

这些预防措施包括避免金属连接件和/或金属支撑结构的布置靠近发电机断路器极与母线相或处在它们之间。

8.103 选用时需要考虑的事项

8.103.1 概述

在通常应用中,发电机断路器的主要功能是承载发电机额定负荷电流,并提供开断来自发电机源的短路电流和来自电力系统的短路电流的手段。然而,发电机断路器还可用于负荷电流或失步电流的开合。在某些情况下,选择发电机断路器的决定因素是这些开合要求而不是短路电流开断要求。

8.103.2 额定电压

发电机的最高运行电压不能超过发电机断路器的额定电压,因为这是发电机断路器的运行上限值。

注:额定值200MVA~1500MVA的发电机的运行电压变化范围很大,从大约10kV到27kV。因此,在确定短路方式时,额定电压是与发电机断路器相连的发电机的最高运行电压。

8.103.3 额定绝缘水平

表1中规定了发电机断路器优选的耐受电压水平。介质性能要求降至绝缘用最低功能压力。

在绝缘介质失压时,介质耐受能力的丧失是渐进的。如果绝缘介质是压缩空气之外的气体,由于其介质性能强于周围空气,发电机断路器内部部件依然能够在常压下被该气体充满。在这种情况下的一段时间内,即使相位相反,发电机断路器仍能够承受高于运行电压的值。应在这段时间内将发电机断路器进行电气隔离并退出运行,最好在湿气和/或灰尘进入前,采用自动化的方式实施。这样的电气隔离应在绝缘介质压力丧失的1小时之内完成。

操作条件的变化会导致异常情况发生,此时,需要超过1小时的时间才能使发电机断路器与电源隔离。如果出现这样的情况,则应将发电机断路器退出运行。下述资料应向制造厂索取,以应对此异常情况:

- a) 绝缘介质压力为大气压时,对地和断口间的耐受电压;
- b) 绝缘介质压力为大气压时,发电机断路器的电流承载能力。

8.103.4 额定频率

发电机断路器的额定频率为50 Hz。

8.103.5 额定电流

8.103.5.1 正常运行使用中需要考虑的事项

通常把发电机断路器作为发电机和变压器之间的母线管的主要部件来设计。发电机断路器应能承载发电机的额定电流。金属封闭的母线管通常是离相式的。在许多情况下，发电机断路器装有空气或水的冷却系统。

在各种环境温度和负荷条件下，发电机断路器的电流承载能力与其他高压断路器不同。发电机断路器有两个承载电流的部分——带开断装置的可动部分和金属外壳。

具有不同温度限值的发电机断路器和连接的母线管的各种部件的温度限值见4.5.2。

8.103.5.2 基于实际环境温度和连接的母线管温度的持续负荷电流承载能力

为了确定基于实际环境温度和连接的母线管的温度的持续电流承载能力值，应向制造厂咨询。

如果母线管与发电机断路器相连，其连接件上的温度限值按GB/T 8349-2000，在大多数情况下，它将向发电机断路器传热。因此，发电机断路器持续电流承载能力将要降低。宜寻找适合于母线管和发电机断路器电流承载能力的实用的折衷办法。

8.103.5.3 事故状态

通常，在要求的辅助强迫冷却系统丧失后，断路器部件的温度将会升高。对于发电机断路器，4.5.101中规定的参数已经包括了这种情况。在6.5.101中对这种事故状态的试验已作了说明。

8.103.6 短路电流额定值

8.103.6.1 短路电流额定值的背景资料

对于发电机断路器可能经受的短路电流，由图40电站的总线路图进行说明，并表明了下列不同位置的短路情况：

a) 系统源短路电流(图40的位置a)；

b) 发电机源短路电流(图40的位置b和c)；

(位置b的短路电流大于位置c的短路电流，因此，对于下列所考虑的事项，位置c可以不予考虑。)

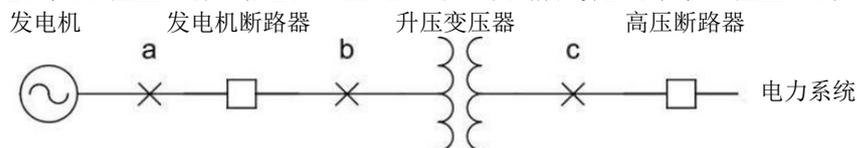


图40 电站的总线路图

在多数实际应用中，因为变压器和系统的短路电抗之和低于发电机的次瞬态和瞬态电抗，所以系统源短路电流的交流分量要高于发电机源短路电流的交流分量。

8.103.6.2 额定短路电流

4.101.1中给出的定义表明，额定短路电流是与所有要求的短路能力相关的三相短路电流交流分量的有效值。

需要注意的是，如果发电机断路器设计的短路性能已被验证能够应对确定的发电机源或系统源故障额定值，那么已被证实的短路能力也可用于验证不那么严苛的发电机源故障或系统源故障。然而，重要的是应记住，对于系统源和发电机源故障而言，发电机回路故障参数不仅包括对称电流，也包括短时耐受电流、瞬态恢复电压(TRV)、关合电流、非对称度和最严苛的开合情况。所有参数证实的能力表明发电机断路器满足或超过实际应用的各项预期要求。

8.103.6.3 相关要求的能力

8.103.6.3.1 概述

下面是与短路电流有关的相关要求的能力：

a) 系统源短路电流：

- 对称开断能力；
- 非对称开断能力；
- 短时电流承载能力。
- b) 发电机源短路电流：
 - 对称开断能力；
 - 非对称开断能力；
 - 相对于最大非对称度的非对称开断能力。
- c) 发电机源或系统源：关合能力。

8.103.6.3.2 对于三相系统源故障的对称开断能力

该能力以额定系统源短路开断电流的交流分量有效值为基础。

8.103.6.3.3 对于三相系统源故障的非对称开断能力

该能力以额定系统源短路开断电流为基础。它的直流分量以150ms的时间常数衰减，并且取决于主触头分离时间，主触头分离时间为1/2周波脱扣时延加上发电机断路器的最短分闸时间。直流分量用下面的公式计算和由图8进行说明。这个数值在图9中给出。在时间 t_{cs} 下的非对称度 Asy_{cs} 由如下公式确定：

$$Asy_{cs} = 100\% \times \frac{I_{dcs}}{I_{accs}} = \text{触头分离时的非对称度}$$

式中：

I_{accs} ——触头分离时额定系统源短路开断电流交流分量的峰值；

I_{dcs} ——触头分离时系统源短路开断电流的直流分量，计算如下：

$$I_{dcs} = I_{accs} e^{-t_{cs}/\tau}$$

式中：

τ ——150ms。

非对称开断能力计算如下：

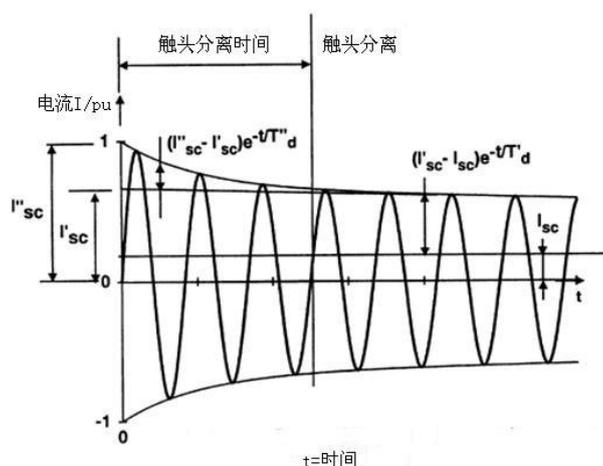
$$I_{asymcs} = \sqrt{I_{sc}^2 + I_{dcs}^2} = \sqrt{I_{sc}^2 + (I_{accs} \times e^{-t_{cs}/\tau})^2} = \sqrt{I_{sc}^2 + (I_{sc} \times Asy_{cs} \times \sqrt{2})^2} = I_{sc} \sqrt{1 + 2Asy_{cs}^2}$$

为了评估发电机断路器开断给定短路电流的能力，规定关合电流不超过额定关合电流，可将交流分量和直流分量任意合并，但须在触头分离时符合下述条件：

- a) 交流分量不超过额定系统源短路开断电流的交流分量；
- b) 非对称短路电流不超过非对称开断能力；
- c) 非对称度不超过 100 %。

8.103.6.3.4 对于三相发电机源故障的对称开断能力

发电机源短路开断电流的交流分量远小于系统源短路开断电流。当电流源完全来自发电机而不经变换时，其值可从主触头分离瞬间电流振幅的包络线上测量。这个包络线可由满负荷额定功率因数条件并考虑发电机的常数进行计算。必须认识到，这个短路电流的交流分量会随发电机的次瞬态和瞬态时间常数衰减，并且由图41说明。



图中：

- I''_{sc} ——发电机源短路电流的次瞬态分量；
- I'_{sc} ——发电机源短路电流的瞬态分量；
- I_{sc} ——发电机源短路电流的稳态分量；
- T''_d ——发电机的次瞬态时间常数；
- T'_d ——发电机的瞬态时间常数。

图41 发电机源短路电流

8.103.6.3.5 对于三相发电机源故障的非对称开断能力

当电流源是来自发电机而未经过变换时，短路电流的交流分量可能比直流分量衰减的快。交流分量的衰减受发电机的次瞬态和瞬态时间常数 $\tau'_d, \tau''_d, \tau'_q, \tau''_q$ 制约，而直流分量的衰减受短路时间常数 $\tau_a = X''_d / \omega R_a$ 制约，其中 X''_d 是直轴次瞬态电抗，而 R_a 代表电枢电阻。因此，在触头分离瞬间的直流分量可能高于交流分量的幅值。对许多额定值不同的发电机调查显示，在满负荷且发电机在过励磁状态下以滞后功率因数运行时，非对称度可达到110%。这个值在触头分离时间的实际变化范围内变化很小。

为了评估发电机断路器开断给定短路电流的能力，规定关合电流不超过额定关合电流能力，可将交流分量和直流分量任意合并，但须在触头分离时符合下述条件：

- a) 交流分量不超过额定发电机源短路开断电流的交流分量；
- b) 非对称短路电流不超过非对称开断能力；
- c) 只要计算表明发电机断路器的电弧电压能够在其最大允许的燃弧时间内强迫电流过零，则发电机源的非对称度可以超过100%。

发电机断路器强迫电流为零的能力应按照8.103.6.3.6.3通过计算来确定。

8.103.6.3.6 最大非对称度条件下的发电机源非对称开断能力

8.103.6.3.6.1 概述

故障前，发电机在欠励磁状态下以超前功率因数运行时，会出现非对称性最大值。在这种情况下，直流分量可能比短路电流交流分量的峰值大，并且可能导致电流延时过零。其原理由图42说明，并在8.103.6.3.6.2-8.103.6.3.6.4中解释。

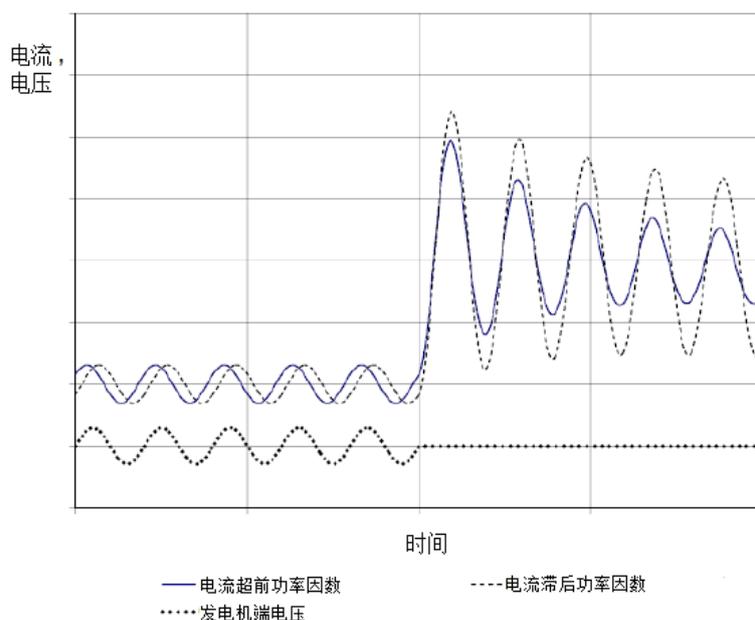


图42 短路前具有滞后或超前功率因数的发电机源短路电流

当短路电流出现，而在故障以前发电机承载具有滞后功率因数的负荷，则短路电流偏移类似于图中的虚线曲线，反之，对于超前功率因数，它的偏移如图42中的实线曲线。

对大量发电机分析的结果是最大非对称度为实际短路电流的130%。对于这种情况，短路电流的交流分量仅为要求的额定发电机源短路开断电流交流分量的74%。必须认识到，在某些情况下，非对称度能超过130%，达到非常高的值。

8.103.6.3.6.2 具有延迟电流零点的高非对称性的来源

如果发电机断路器合短路，或者由于至少两相对地或相间出现闪络，就会流过短路电流。如果短路在一相电压为零时开始，则对应相电流会出现最大非对称度。

根据特定情况，短路电流的交流分量将根据发电机的短路次瞬态和瞬态时间常数 τ'_d 、 τ''_d 、 τ'_q 、 τ''_q 随时间按指数减小(往往只知道开路时间常数 τ'_{d0} 、 τ''_{d0} 、 τ'_{q0} 、 τ''_{q0} 。对于短路电流的计算，短路时间常数 τ'_d 、 τ''_d 、 τ'_q 、 τ''_q 可用简单关系式计算)。短路电流的直流分量以短路时间常数 $\tau_a = X''_d / (2\pi f \times R_a)$ 随时间按指数衰减。对于不同的发电机尺寸和结构，这些时间常数的值可能在相当宽的范围内变化，短路电流的交流分量可能比直流分量衰减更快，并导致在某一时间间隔内出现延迟电流零点。

对于上段所提及的时间常数的典型值为 τ''_d 和 $\tau''_q = 25 \sim 45 \text{ ms}$ ， $\tau'_d = 0.8 \sim 1.5 \text{ s}$ ， $\tau'_q = 250 \sim 400 \text{ ms}$ ， $\tau_a = 150 \sim 400 \text{ ms}$ 。图43示出了发电机源馈电故障时短路电流计算的例子。

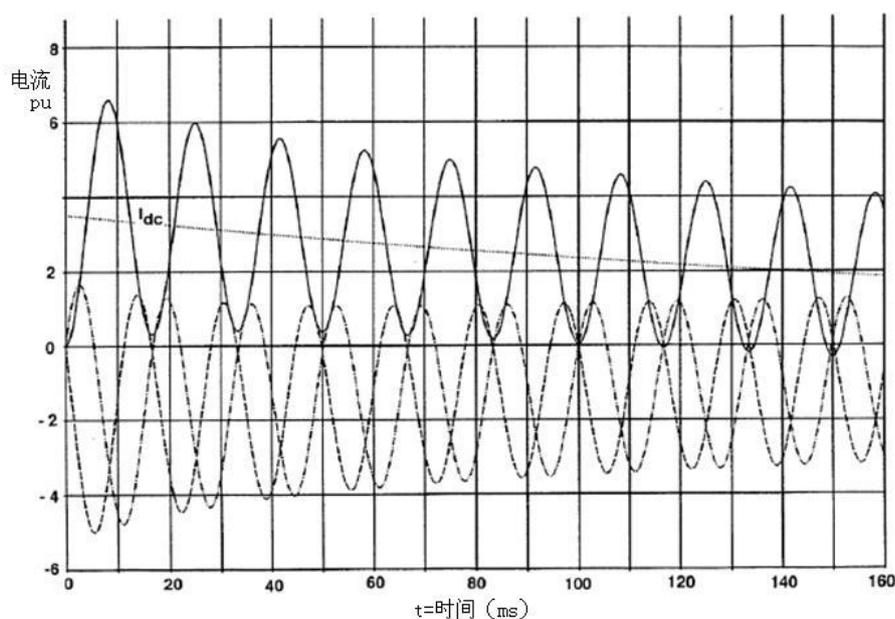


图43 发电机源馈电故障的短路电流

如8.103.6.3.6所述，故障前，发电机在欠励磁状态下以超前功率因数运行时，会出现非对称性最大值。在这种情况下，短路电流的交流分量要低于要求的额定发电机源短路开断电流的交流分量。在故障前，发电机承载具有滞后功率因数的负荷的情况下，非对称性较低，但交流分量较高。

8.103.6.3.6.3 具有延迟电流零点的短路电流的开断

与电枢电阻 $R_a = X_d'' / (2\pi f \times \tau_a)$ 串联的附加电阻迫使短路电流的直流分量较快衰减。如果 R_{add} 是附加电阻，则直流分量随时间常数 $\tau_a = X_d'' / [2\pi f \times (R_a + R_{add})]$ 更迅速地下降。这样的附加电阻可能由发电机与故障位置的连接产生，特别是故障电弧电阻和触头分离后断路器电弧电阻。如果在故障位置有电弧，从故障开始，这个电弧电阻和触头分离后断路器电弧电阻将进一步降低直流分量的时间常数。这些附加的串联电阻的值常常相当高，以至迫使短路电流的直流分量较快衰减，结果产生电流零点。

图44展示了电弧电压对电流的影响，其中电流是图38所示例子中具有最大非对称性的相中的电流。在触头分离瞬间，由于发电机断路器的电弧电压的影响，直流分量的衰减产生突变。由于电弧电压的缘故使电弧电阻不是恒定的，因此电流的直流分量不按指数下降。在该示例中没有考虑故障位置的电弧电阻。尽管如此，在触头分离后的一周波内，还是出现了电流零点。

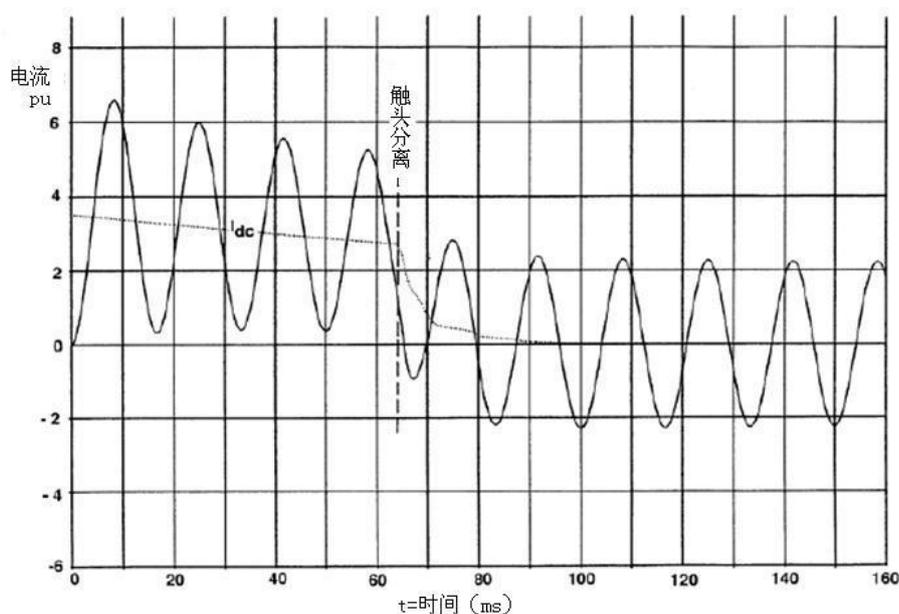


图44 在触头分离后具有断路器电弧电压的短路电流

8.103.6.3.6.4 发电机断路器能力的验证

在实际运行条件下，验证发电机断路器开断具有延迟电流零点的短路电流的能力可能很困难，并且受到大容量试验站的限制。

在某些情况下，如果可在容量试验站进行三相试验，则应遵守6.105叙述的条件。

考虑到发电机断路器电弧电压对预期短路电流的影响，当短路电流出现延迟电流零点时(例如，非对称度 $>100\%$)，发电机断路器强迫电流过零的能力应通过计算来验证。发电机断路器一次开断中的弧压-电流特性可从短路电流开断试验中得出。弧压-电流特性可用于给发电机断路器建模。为了研究断路器在具有延迟电流零点的短路电流开断中的表现，电弧电压特性须转换为数学模型。由电弧电压 $u_{arc}(i,t)$ 和电流 $i(t)$ 可得到电弧电阻 $R_{arc}(i,t)$ 。为了给发电机断路器的动作过程建模，在发电机断路器的触头分离时刻，应向仿真中加入一个阻值随时间作非线性变化的电阻 $R_{arc}(i,t)$ 。

对于三相故障中特定的发电机电源短路电流，应考虑以下两种典型情况：

- 1) 短路在一相电压为零时开始，则对应相中电流会出现最大非对称度；
- 2) 短路在一相电压最大时开始，则对应相中电流具有对称性。

对于1)和2)中每种情形，应研究以下两种情况：

- a) 发电机空载时由发电机断路器关合三相故障。在计算时，应考虑触头分离后发电机断路器的电弧电压。
- b) 发电机以超前功率因数运行。假设至少在两相上有燃弧故障。在计算时，应考虑故障开始时故障位置起始的电弧电压，和触头分离时发电机断路器起始的电弧电压。

实际发电机的技术数据应用于这些计算。

如果发电机断路器能够在一定时间间隔内强迫电流过零，且在此时间内能够开断电流(比如，在最大允许燃弧时间内)，则认为发电机断路器开断具有延迟电流零点的给定短路电流的能力得到验证。

8.103.6.3.7 发电机断路器等级选用导则

8.103.6.3.7.1 概述

为了选择特定应用所需的发电机断路器等级，应遵循以下步骤，且8.103.6.3.7.2、8.103.6.3.7.3和8.103.6.3.7.4中规定的要求应同时满足。

8.103.6.3.7.2 故障前发电机以滞后功率因数输出功率的情况

三相故障发生在发电机断路器和相关联的升压变压器之间,且故障前发电机以滞后功率因数输出功率的情况下,计算预期发电机源短路电流交流分量的有效值 I_{scg_lagg} 和非对称电流。假定故障在一相电压为零时开始,则对应相的电流会出现最大非对称度。这两个值应在出现最大非对称度这一相的预期触头分离时刻计算。

应满足以下条件之一:

- a) 如果在预期触头分离时刻计算的非对称短路电流不超过 G1 级发电机断路器的非对称开断能力,则选择 G1 级发电机断路器,其额定发电机源短路开断电流的交流分量有效值 I_{scg} 不小于 I_{scg_lagg} ;
- b) 如果在预期触头分离时刻计算的非对称短路电流不超过 G2 级发电机断路器的非对称开断能力,则选择 G2 级发电机断路器,其额定发电机源短路开断电流的交流分量有效值 I_{scg} 不小于 I_{scg_lagg} 。

G1级和G2级发电机断路器的非对称开断能力分别等于 $I_{scg}\sqrt{1+2\cdot(1.1)^2}$ 和 $I_{scg}\sqrt{1+2\cdot(1.3)^2}$ 。

8.103.6.3.7.3 故障前发电机空载的情况

三相故障发生在发电机断路器和相关联的升压变压器之间,且故障前发电机空载情况下,计算预期发电机源短路电流的交流分量有效值 I_{scg_unl} 和非对称度。计算时不应考虑故障的电弧电压。假定故障在一相电压为零时开始,则对应相的电流会出现最大非对称度。这两个值应在出现最大非对称度的这一相的预期触头分离时刻计算。

如果计算的非对称度不超过110%,且发电机断路器的 I_{scg} 值不小于 I_{scg_unl} ,那么只要计算表明发电机断路器在产生电弧电压后能在最大允许燃弧时间内强迫电流过零,则G1级或G2级均适用。

对于三相故障中特定的发电机源短路电流,应考虑以下两种情况:

- 短路在一相电压为零时开始,则对应相电流会出现最大非对称度;
- 短路在一相电压最大时开始,则对应相电流是对称的。

在计算时,应考虑触头分离后发电机断路器的电弧电压。不考虑故障的电弧电压。

实际发电机的技术数据应用于这些计算。

如果发电机断路器能够在一定时间间隔内强迫电流过零,且在此时间内能够开断电流(比如,在最大允许燃弧时间内),则认为发电机断路器开断具有延迟电流零点的给定短路电流的能力得到验证。

如果计算的非对称度在110%和130%之间,则应满足以下条件之一:

- a) 选择 G1 级发电机断路器,且额定发电机源短路开断电流的交流分量有效值 I_{scg} 不小于 I_{scg_unl} ,需满足以下条件:
 - 1) 预期触头分离时刻计算的非对称短路电流不会超过发电机断路器的非对称开断能力。
 - 2) 计算表明发电机断路器在产生电弧电压后能在最大允许燃弧时间内强迫电流过零。对于三相故障中特定的发电机源短路电流,应考虑以下两种典型情况:
 - 短路在一相电压为零时开始,则对应相电流会出现最大非对称度;
 - 短路在一相电压最大时开始,则对应相电流是对称的。

在计算时,应考虑触头分离后发电机断路器的电弧电压。不考虑故障的电弧电压。

实际发电机的技术数据应用于这些计算。

如果发电机断路器能够在一定时间间隔内强迫电流过零,且在此时间内能够开断电流(比如,在最大允许燃弧时间内),则认为发电机断路器开断具有延迟电流零点的给定短路电流的能力得到验证。

- b) 选择 G1 级发电机断路器,且 $0.74 I_{scg}$ 不小于 I_{scg_unl} ,只要计算表明发电机断路器在产生电弧电压后能在最大允许燃弧时间内强迫电流过零。对于三相故障中特定的发电机源短路电流,应考虑以下两种典型情况:
 - 短路在一相电压为零时开始,则对应相电流会出现最大非对称度;
 - 短路在一相电压最大时开始,则对应相电流是对称的。

在计算时,应考虑触头分离后发电机断路器的电弧电压。不考虑故障的电弧电压。

实际发电机的技术数据应用于这些计算。

如果发电机断路器能够在一定时间间隔内强迫电流过零，且在此时间内能够开断电流(比如，在最大允许燃弧时间内)，则认为发电机断路器开断具有延迟电流零点的给定短路电流的能力得到验证。

- c) 选择 G2 级发电机断路器，且 I_{scg} 不小于 I_{scg_un1} ，只要计算表明发电机断路器在产生电弧电压后能在最大允许燃弧时间内强迫电流过零。对于三相故障中特定的发电机源短路电流，应考虑以下两种典型情况：

——短路在一相电压为零时开始，则对应相电流会出现最大非对称度；

——短路在一相电压最大时开始，则对应相电流是对称。

在计算时，应考虑触头分离后发电机断路器的电弧电压。不考虑故障的电弧电压。

实际发电机的技术数据应用于这些计算。

如果发电机断路器能够在一定时间间隔内强迫电流过零，且在此时间内能够开断电流(比如，在最大允许燃弧时间内)，则认为发电机断路器开断具有延迟电流零点的给定短路电流的能力得到验证。

如果计算的非对称度超过130%，则应满足以下条件之一：

- a) 选择 G1 级发电机断路器，且额定发电机源短路开断电流的交流分量有效值 I_{scg} 大于 I_{scg_un1} ，需满足以下条件：

1) 预期触头分离时刻计算的非对称短路电流不会超过发电机断路器的非对称开断能力。

2) 计算表明，发电机断路器在产生电弧电压后能在最大允许燃弧时间内强迫电流过零。对于三相故障中特定的发电机源短路电流，应考虑以下两种典型情况：

——短路在一相电压为零时开始，则对应相电流会出现最大非对称度；

——短路在一相电压最大时开始，则对应相电流是对称的。

在计算时，应考虑触头分离后发电机断路器的电弧电压。不考虑故障的电弧电压。

实际发电机的技术数据应用于这些计算。

如果发电机断路器能够在一定时间间隔内强迫电流过零，且在此时间内能够开断电流(比如，在最大允许燃弧时间内)，则认为发电机断路器开断具有延迟电流零点的给定短路电流的能力得到验证。

- b) 选择 G1 级发电机断路器，且 $0.74 I_{scg}$ 大于 I_{scg_un1} ，需满足以下条件：

1) 预期触头分离时刻计算的非对称短路电流不会超过 $0.74 \times I_{scg} \sqrt{1 + 2(1.3)^2}$ ；

2) 计算表明，发电机断路器在产生电弧电压后能在最大允许燃弧时间内强迫电流过零，对于三相故障中特定的发电机源短路电流，应考虑以下两种典型情况：

——短路在一相电压为零时开始，则对应相电流会出现最大非对称度；

——短路在一相电压最大时开始，则对应相电流是对称的。

在计算时，应考虑触头分离后发电机断路器的电弧电压。不考虑故障的电弧电压。

实际发电机的技术数据应用于这些计算。

如果发电机断路器能够在一定时间间隔内强迫电流过零，且在此时间内能够开断电流(比如，在最大允许燃弧时间内)，则认为发电机断路器开断具有延迟电流零点的给定短路电流的能力得到验证。

- c) 选择 G2 级发电机断路器，且 I_{scg} 大于 I_{scg_un1} ，需满足以下条件：

1) 预期触头分离时刻计算的非对称短路电流不超过发电机断路器的非对称开断能力。

2) 计算表明，发电机断路器在产生电弧电压后能在最大允许燃弧时间内强迫电流过零，对于三相故障中特定的发电机源短路电流，应考虑以下两种典型情况：

——短路在一相电压为零时开始，则对应相电流会出现最大非对称度；

——短路在一相电压最大时开始，则对应相电流是对称的。

在计算时，应考虑触头分离后发电机断路器的电弧电压。不考虑故障的电弧电压。

实际发电机的技术数据应用于这些计算。

如果发电机断路器能够在一定时间间隔内强迫电流过零，且在此时间内能够开断电流(比如，在最大允许燃弧时间内)，则认为发电机断路器开断具有延迟电流零点的给定短路电流的能力得到验证。

8.103.6.3.7.4 故障前发电机以超前功率因数输出功率的情况

三相故障发生在发电机断路器和相关联的升压变压器之间,且故障前发电机以超前功率因数输出功率的情况下,计算预期发电机源短路电流的交流分量有效值 I_{scg_lead} 和非对称度。假定故障在一相电压为零时开始,则对应相的电流会出现最大非对称度。这两个值应在出现最大非对称度这一相的预期触头分离时刻计算。

如果计算出的非对称程度不超过110%,且发电机断路器的 I_{scg} 值不小于 I_{scg_lead} ,那么只要计算表明发电机断路器在产生电弧电压后能在最大允许燃弧时间内强迫电流过零,则G1级或G2级均适用。

对于三相故障中特定的发电机源短路电流,应考虑以下两种情况:

- 短路在一相电压为零时开始,则对应相电流会出现最大非对称度;
- 短路在一相电压最大时开始,则对应相电流是对称的。

计算中假定至少两相发生燃弧故障。在计算时,应考虑故障开始时故障位置起始的电弧电压,和触头分离时发电机断路器起始的电弧电压。

实际发电机的技术数据应用于这些计算。

如果发电机断路器能够在一定时间间隔内强迫电流过零,且在此时间内能够开断电流(比如,在最大允许燃弧时间内),则认为发电机断路器开断具有延迟电流零点的给定短路电流的能力得到验证。

如果计算的非对称度在110%和130%之间,则应满足以下条件之一:

- a) 选择 G1 级发电机断路器,且额定发电机源短路开断电流的交流分量有效值 I_{scg} 不小于 I_{scg_lead} ,需满足以下条件:

- 3) 预期触头分离时刻计算的非对称短路电流不超过发电机断路器的非对称开断能力。
- 4) 计算表明,发电机断路器在产生电弧电压后能在最大允许燃弧时间内强迫电流过零。对于三相故障中特定的发电机源短路电流,应考虑以下两种典型情况:
 - 短路在一相电压为零时开始,则对应相电流会出现最大非对称度;
 - 短路在一相电压最大时开始,则对应相电流是对称的。

计算中假定至少在两相发生燃弧故障。在计算时,应考虑故障开始时故障位置起始的电弧电压,和触头分离时发电机断路器起始的电弧电压。

实际发电机的技术数据应用于这些计算。

如果发电机断路器能够在一定时间间隔内强迫电流过零,且在此时间内能够开断电流(比如,在最大允许燃弧时间内),则认为发电机断路器开断具有延迟电流零点的给定短路电流的能力得到验证。

- b) 选择 G1 级发电机断路器,且 $0.74 I_{scg}$ 不小于 I_{scg_lead} ,只要计算表明发电机断路器在产生电弧电压后能在最大允许燃弧时间内强迫电流过零。对于三相故障中特定的发电机源短路电流,应考虑以下两种典型情况:

- 短路在一相电压为零时开始,则对应相电流会出现最大非对称度;
- 短路在一相电压最大时开始,则对应相电流是对称的。

计算中假定至少两相发生燃弧故障。在计算时,应考虑故障开始时故障位置起始的电弧电压,和触头分离时发电机断路器起始的电弧电压。

实际发电机的技术数据应用于这些计算。

如果发电机断路器能够在一定时间间隔内强迫电流过零,且在此时间内能够开断电流(比如,在最大允许燃弧时间内),则认为发电机断路器开断具有延迟电流零点的给定短路电流的能力得到验证。

- c) 选择 G2 级发电机断路器,且 I_{scg} 不小于 I_{scg_lead} ,只要计算表明发电机断路器在产生电弧电压后能在最大允许燃弧时间内强迫电流过零。对于三相故障中特定的发电机源短路电流,应考虑以下两种典型情况:

- 短路在一相电压为零时开始,则对应相电流会出现最大非对称度;
- 短路在一相电压最大时开始,则对应相电流是对称的。

计算中假定至少两相发生燃弧故障。在计算时,应考虑故障开始时故障位置起始的电弧电压,和触头分离时发电机断路器起始的电弧电压。

实际发电机的技术数据应用于这些计算。

如果发电机断路器能够在一定时间间隔内强迫电流过零，且在此时间内能够开断电流(比如，在最大允许燃弧时间内)，则认为发电机断路器开断具有延迟电流零点的给定短路电流的能力得到验证。

如果计算的非对称度超过130%，则应满足以下条件之一：

a) 选择 G1 级发电机断路器，且额定发电机源短路开断电流的交流分量有效值 I_{scg} 大于 I_{scg_lead} ，需满足以下条件：

- 1) 预期触头分离时刻计算的非对称短路电流不会超过发电机断路器的非对称开断能力。
- 2) 计算表明，发电机断路器在产生电弧电压后能在最大允许燃弧时间内强迫电流过零。对于三相故障中特定的发电机源短路电流，应考虑以下两种典型情况：
 - 短路在一相电压为零时开始，则对应相电流会出现最大非对称度；
 - 短路在一相电压最大时开始，则对应相电流是对称的。

计算中假定至少两相发生燃弧故障。在计算时，应考虑故障开始时故障位置起始的电弧电压，和触头分离时发电机断路器起始的电弧电压。

实际发电机的技术数据应用于这些计算。

如果发电机断路器能够在一定时间间隔内强迫电流过零，且在此时间内能够开断电流(比如，在最大允许燃弧时间内)，则认为发电机断路器开断具有延迟电流零点的给定短路电流的能力得到验证。

b) 选择 G1 级发电机断路器，且 $0.74 I_{scg}$ 大于 I_{scg_lead} ，则需满足以下条件：

- 1) 预期触头分离时刻计算的非对称短路电流不会超过 $0.74 \times I_{scg} \sqrt{1 + 2(1.3)^2}$ 。
- 2) 计算表明，发电机断路器在产生电弧电压后能在最大允许燃弧时间内强迫电流过零。对于三相故障中特定的发电机源短路电流，应考虑以下两种典型情况：
 - 短路在一相电压为零时开始，则对应相电流会出现最大非对称度；
 - 短路在一相电压最大时开始，则对应相电流是对称的。

计算中假定至少两相发生燃弧故障。在计算时，应考虑故障开始时故障位置起始的电弧电压，和触头分离时发电机断路器起始的电弧电压。

实际发电机的技术数据应用于这些计算。

如果发电机断路器能够在一定时间间隔内强迫电流过零，且在此时间内能够开断电流(比如，在最大允许燃弧时间内)，则认为发电机断路器开断具有延迟电流零点的给定短路电流的能力得到验证。

c) 选择 G2 级发电机断路器，且 I_{scg} 大于 I_{scg_lead} ，则需满足以下条件：

- 1) 预期触头分离时刻计算的非对称短路电流不超过发电机断路器的非对称开断能力。
- 2) 计算表明，发电机断路器在产生电弧电压后能在最大允许燃弧时间内强迫电流过零。对于三相故障中特定的发电机源短路电流，应考虑以下两种典型情况：
 - 短路在一相电压为零时开始，则对应相电流会出现最大非对称度；
 - 短路在一相电压最大时开始，则对应相电流是对称的。

计算中假定至少两相发生燃弧故障。在计算时，应考虑故障开始时故障位置起始的电弧电压，和触头分离时发电机断路器起始的电弧电压。

实际发电机的技术数据应用于这些计算。

如果发电机断路器能够在一定时间间隔内强迫电流过零，且在此时间内能够开断电流(比如，在最大允许燃弧时间内)，则认为发电机断路器开断具有延迟电流零点的给定短路电流的能力得到验证。

8.103.6.3.8 关合电流能力

发电机断路器应关合的短路电流由系统源短路电流或发电机源短路电流两者的较大值确定。但在大多数应用中，系统源短路电流要大于发电机源短路电流。

短路电流的峰值与发电机断路器的额定系统源短路开断电流的交流分量有效值的比由下式确定：

$$\frac{I_m}{I_{sc}} = \sqrt{2} \left(e^{\frac{t}{150}} + 1 \right) = 2.74$$

式中, t 大约为1/2周期(单位ms)。

对发电机源短路电流可能大于系统源短路电流的罕见情况应作特殊考虑。在触头分离时所要求的发电机源对称开断能力取决于交流分量随发电机时间常数 τ'_d 、 τ''_d 、 τ'_q 和 τ''_q 的衰减,并且一种使用与另一种使用也不相同。要求的关合电流可通过计算来确定。D.4.2中的公式可用于进行估算。

8.103.6.3.9 三绕组升压变压器条件下的故障

当两台发电机通过三绕组升压变压器连接到高压系统时,应特别注意系统源短路电流。如果在图47中的位置F处发生三相对地故障,由于发电机#2对电流的额外贡献,应由发电机断路器#1开断的系统源短路电流的交流分量和非对称度都会达到非常高的值。

因为由发电机#2馈送的故障电流的交流分量不是恒定的,发电机断路器#1处出现的短路电流的峰值与(发电机断路器#1的触头分离时)短路开断电流交流分量有效值的比值可能会超过2.74这一标准值(参见附录G)。

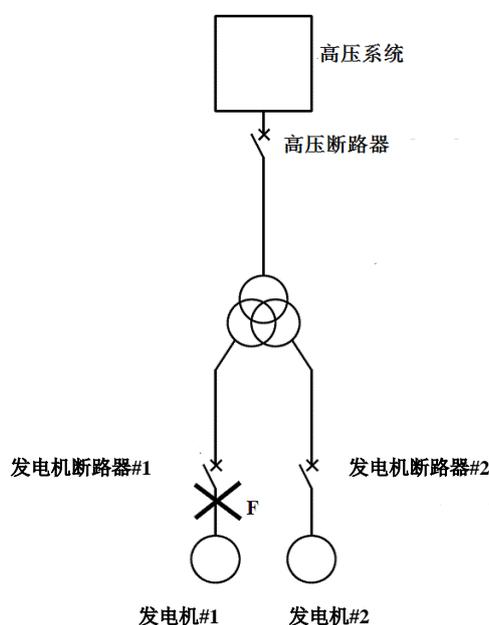


图45 两个发电机通过三绕组升压变压器连接到高压系统的发电站单线图

此外,如果在位置F处发生故障,发电机#2馈送的故障电流通常具有相对较小的幅值和很高的非对称度,且几个周期内没有自然过零点(参见附录G)。这些延迟电流零点有不同的成因,和发电机终端故障及失步故障的电流相比完全不同。该电流的波形由一个工频振荡和一个瞬态电流叠加而成,其中瞬态电流过程由回路时间常数决定。瞬态电流包含两个衰减的指数函数:该波形是过阻尼的,因为阻尼部分比振荡部分占优势。如果发电机断路器#2必须开断该电流,则强迫电流过零的能力应通过计算来验证,在计算时应考虑到发电机断路器的电弧电压对预期短路电流的影响。

如果发电机断路器能够在一定时间间隔内强迫电流过零,且在此时间内能够开断电流(比如,在最大允许燃弧时间内),则认为发电机断路器开断具有延迟电流零点的给定短路电流的能力得到验证。

8.103.7 系统源和发电机源短路的 TRV 额定值

8.103.7.1 背景资料

在考虑发电机断路器开断短路电流过程中的TRV问题时,GB 1984-2014中的原则适用,例外的是近区故障的额定值不适用。

由于发电机断路器安装在发电机和升压变压器之间,因此发电机断路器是特殊的应用,对于各种运行方式,其特性基本上决定了预期的TRV波形。因此,对于发电机源和系统源故障所确定的TRV额定值,取决于发电机或变压器的额定值(见表2和表3)。这些额定值是相对于首开极和三相接地故障时的对称

电流开断确定的。额定TRV是假设的理想发电机断路器的预期值。发电机断路器的特性或电流的非对称性可能使这些值发生改变。

对于TRV超过额定值的系统，必须采取措施降低TRV。这通过安装一个与发电机断路器主要开断装置并联的低欧姆电阻，或通过与发电机断路器的端子连接电容器来实现。电容器可以安装在升压变压器和发电机断路器之间，或者安装在发电机和发电机断路器之间，或者两侧都安装，或者电容器就是发电机断路器成套装置的一部分。通过相关型式试验验证的开断能力仅在按试验结构安装电容器且电容值与试验时相同的情况下有效。若发电机断路器采用与试验时不同电容值的电容器来降低TRV，其开断能力与被试发电机断路器不同而不能被认可。短路电流开断的标准化TRV参数的依据

8.103.7.1.1 概述

应根据以下条件来考虑几种情况：

- a) 短路位于发电机断路器的发电机侧的系统源故障；
- b) 短路位于发电机断路器的变压器侧的发电机源故障。

发电机中性点非有效接地，因此单相接地故障电流不大。三相故障是最严重的情况，会出现最大短路电流和最大TRV上升率。

8.103.7.1.2 电站布置的影响

8.103.7.1.2.1 概述

最普遍采用的电站单线布置如图46所示，其中发电机和升压变压器具有基本相同的额定值。与图46一样具有相同总的额定值的其他布置如图47和图48所示。在每种情况下，辅助变压器是一个较小的短路电流源，并且可以忽略。

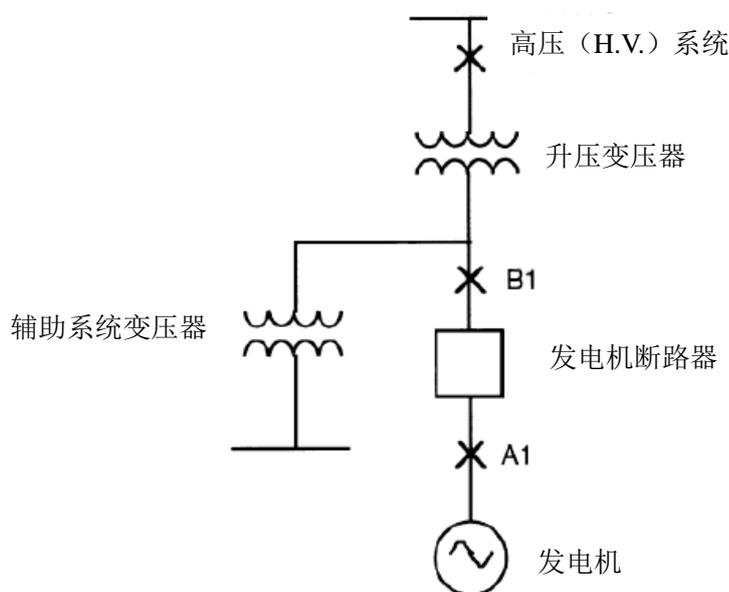


图46 单元发电机系统的单线布置图

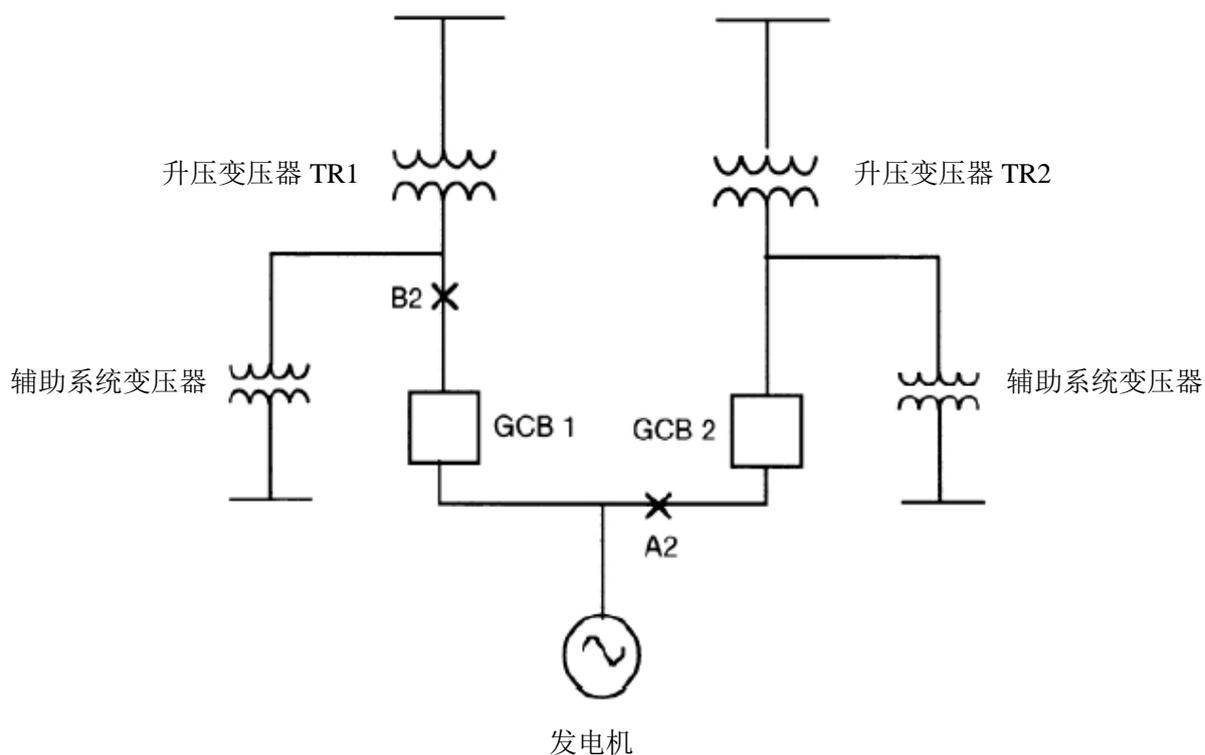


图47 一半容量的变压器单元系统的单线布置图

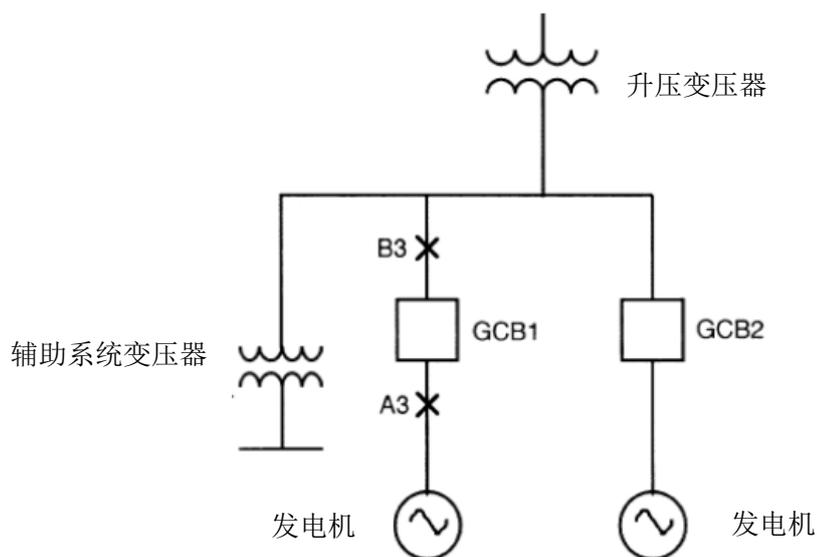


图48 一半容量的发电机系统的单线布置图

8.103.7.1.2.2 系统源故障

对于图46中A1处的系统源故障，短路电流由变压器短路电抗 X_T 和高压（HV）系统电抗 X_S 之和确定。对于给定的变压器，当 X_S 最小时或假定为零时获得短路电流的最大值。

变压器的固有频率比高压HV系统的固有频率高得多。因此，根据变压器中的电压降的值，TRV第一个振荡从 $I_{sc} \times X_T \sqrt{2}$ 到预期值 $1.5I_{sc} \times X_T \sqrt{2}$ ，其中 I_{sc} 是可达到的对称短路电流的有效值。

对于 $X_s=0$ 的情况，变压器中的电压降等于总的工频恢复电压。因此，在短路电流最大时TRV上升率最大。这与在高压（HV）系统中观测到的上升率相反，高压（HV）系统中，当短路电流降低时，TRV上升率提高。

事实上，考虑到低压侧的电容，包括辅助变压器的影响，所观测到的最大TRV上升率为由升压变压器固有频率确定的理论值的75~90%。

如果在升压变压器的低压侧安装了电容器，则观测到的TRV上升率下降较大。每相外加 $0.1\mu\text{F}\sim 0.2\mu\text{F}$ 电容，则TRV上升率从 $6\text{kV}/\mu\text{s}$ 下降到 $4\text{kV}/\mu\text{s}$ 。TRV上升率的标准化值没有计及这个电容的影响。

对于图47中A2位置上的系统源故障，情况与图46中A1位置上的故障情况相同，只是由单台发电机断路器承受的短路电流和TRV参数与较低额定值的升压变压器有关。

对于图48中A3位置上的系统源故障，因为故障电流也由发电机G2供给，所以短路电流较大。可是，由于G2发电机绕组电容的缘故，TRV上升率较低。如果发电机G2未运行，则情况与图46中A1位置上的故障情况相同，只是发电机G1占大约一半的额定功率。

在发电机断路器通过封闭电缆连接到升压变压器的特殊情况下，电缆的附加电容修改了预期TRV，如附录E所示。

8.103.7.1.2.3 发电机电源故障

对于图46中B1位置上的发电机电源故障，由于发电机绕组的电抗较高，因此短路电流比图46中A1位置上的系统侧故障要低。

尽管发电机电源故障的短路电流和TRV上升率比系统源故障的低，由于短路电流的非对称度高（见8.103.6.3.5），发电机电源故障不能被忽略，因此应规定相应的TRV参数。

对于图46中的C1位置上的发电机电源故障，故障位置在变压器的高压（HV）侧，与图40中的B1位置上的故障情况相比时，短路电流较小。因为这个位置上的故障在发电机断路器上产生的应力远远小于图40中A1和B1位置上的故障所产生的应力，因此，这个故障位置通常可以忽略。

TRV是由于变压器和发电机电压振荡产生的。每个振荡的幅值分别与变压器和发电机的电抗大致成正比。

对于图41中B2位置上的发电机电源故障，如果变压器TR2未运行，则振荡与故障发生在图40中B1位置上时相同，短路电流和TRV参数由发电机的额定值确定。如果变压器TR2在运行中，且发电机断路器GCB1首先分闸，则短路电流比故障发生在图40中B1位置时的短路电流要大，并且TRV参数介于满容量发电机的TRV参数与半容量变压器的TRV参数值之间。这种情况对确定要求的TRV参数宜特别考虑。

8.103.7.1.2.4 存在限流电抗器时的故障

由于大多数限流电抗器的固有电容都非常小，因此涉及这类电抗器的瞬态固有频率是非常高的。发电机断路器与这类电抗器串联安装后，在切除端子故障（电抗器位于发电机断路器电源侧）或切除电抗器后的故障（电抗器位于发电机断路器负载侧）时，都将面对频率非常高的TRV。由此产生的TRV频率高于标准规定的TRV值。

在这些情况下，有必要采取缓和措施，例如采用将电容器并联到电抗器或连接到地的方法。合适的缓和措施可以非常有效和节省成本。除非试验验证，发电机断路器可以成功切除具有要求的高频TRV的馈电故障，否则强烈推荐采用缓和措施。

缓和措施须保证受串联电抗器限制的故障电流的TRV上升率降低到发电机断路器额定值规定的标准值以下。

基于上述考虑，不需要对这种故障情况规定TRV额定值和专门的试验方式。

8.103.7.2 额定预期的瞬态恢复电压

发电机和相关升压变压器的额定电压尚没有标准化。因此，短路电流的变化范围很大。

经过考察现有的设备数据后，分别根据升压变压器和发电机的额定值，已将TRV参数标准化。

当故障位置位于发电机断路器的发电机侧，且短路电流源为通过升压变压器的电力系统时，适用的额定TRV参数列于表2中。这些值适用于按照4.101.2的对于额定系统源短路开断电流的交流分量的开断操作，也适用于按照8.103.6.3.2的对于三相系统故障要求的对称开断能力。对按照8.103.6.3.3的对于三相系统源故障要求的非对称开断能力，使用相同的预期TRV参数，但是由于非对称性的影响，实际TRV

的严酷度要小。在电流零点电流开断瞬间，由于非对称电流直流分量的影响，工频恢复电压随着改变，并且TRV围绕比对称情况下较低的瞬时工频恢复电压振荡。

当故障位于发电机断路器的变压器侧，并且短路电流源是发电机时，适用的额定TRV参数列于表2中。这些值适用于按照4.101.3的额定发电机源短路开断电流的交流分量的开断操作，也适用于按照8.103.6.3.4的对于三相发电机源故障要求的对称开断能力。对于按照8.103.6.3.5的对于三相发电机源故障要求的非对称开断能力和按照8.103.6.3.6的最大非对称度条件下的发电机源非对称开断能力，应用相同的预期TRV参数，但是，出于上述相同的理由，由于非对称性的缘故，实际TRV的严酷度要小。在具有最大非对称度的短路电流开断时，由于短路电流开断瞬间工频电压值可能很小或为零，所以恢复电压的瞬态振荡很小甚至不存在振荡。

表2和表3中列出的TRV参数适用于三相接地故障的首开极，且首开极系数等于1.5。TRV振荡如图11所示。

如果发电机断路器要求通过附加电容器来修改预期TRV，应在试验报告和铭牌上给出所需的等效电容值。一般认为，连接发电机和断路器的屏蔽电缆或电缆母线可提供这一电容。

该曲线按峰值 U_c 值等于 $1.84U_r$ 上升，其中 U_r 是额定电压的有效值(kV)，并且值1.84等于：

$$\sqrt{\frac{2}{3}} \times 1.5 \text{ (首开极系数)} \times 1.5 \text{ (=振幅系数)}$$

TRV曲线的上升部分受两条线约束。一条线通过原点且和TRV曲线相切，具有的斜率等于TRV的上升率(RRRV)。另一条线具有相同的斜率，并且通过时延点 t_d 。

在峰值附近，TRV曲线大致成1-cos波形，到达峰值的时间 T_2 等于：

$$T_2 = \frac{t_3}{0.85} = \frac{u_c}{0.85 \times RRRV}$$

试验回路的预期瞬态恢复电压参考线不能低于应用要求的规定参考线。

制造厂应同意试验回路的TRV包络线超过规定的参考线。

8.103.7.3 首开极系数

首开极系数为1.5并对应于非有效接地系统中三相接地故障的最不利条件。

8.103.7.4 振幅系数

经过对现有数据的分析给定为1.5，作为发电机断路器的端子不接电容器时的实际值。

8.103.8 额定负荷开合电流

8.103.8.1 概述

发电机正常运行期间，在发电机断路器开始分闸操作之前，负荷电流应降到零。但是，在事故情况下偶尔也可要求开断满负荷电流。这种情况下的预期瞬态恢复电压在表4中给出。

8.103.8.2 工频恢复电压

单线图49和等效回路图50，表示发电机通过具有电抗 X_L 的变压器T和具有电抗 X_L 的输电线向具有阻抗 Z_L 的负荷送电。使发电机与用符号表示的系统其它部分——单台发电机 E''_{Gn} 、单台变压器 X_{tn} 和单个负荷 Z_n 同步。

与从发电机 G_1 到负荷 Z_L 的电抗总和相比，高压(HV)电网的短路电抗很小，且可以忽略。因此，当开断 I_L 和电网中仅供给负荷 Z_L 时，高压电网中没有电压降。

负荷电流 I_L 的大小决定了发电机 G_1 和变压器T电抗上的电压降。

如向量图图51和图52所示，后者相应于几乎是纯电阻性负荷，这些电压降相对于电流 I_L 具有超前 90° 的相位移，这个相位移与负荷相角 φ 无关。

在 I_L 开断之后，这些电压降为零。发电机断路器变压器侧的电压随着变压器侧回路的固有频率从 V_p 下降到 V_{np} 。发电机断路器的发电机侧的电压随着发电机侧回路的固有频率从 V_p 增加到 E''_{G1} 。跨接在变压器上的电压幅值从 I_L 开断前的 $\sqrt{2}I_L X_L$ 下降到零。

对于发电机的负荷条件的快速变化，须考虑次瞬态电抗 X''_d ，并且电压降 V_s 等于 $\sqrt{2}I_L X''_d$ 。

负荷开断后，在发电机断路器端子间出现的工频恢复电压（见图53）由发电机断路器每侧的电压变量的和组成，即 $I_L(X''_d + X_t)$ ，以有效值（kV）表示，并且对于三相系统中的首开极来说，该电压等于 $1.5I_L(X''_d + X_t)$ 。发电机断路器端子间的工频恢复电压以额定电压的p.u.（标么值）表示，等于：

$$1.5 \frac{u_r}{\sqrt{3}} \times (x''_d + x_t)$$

式中：

u_r 额定电压，p.u.；

x''_d 发电机的电抗值，p.u.；

x_t 变压器的电抗值，p.u.。

实际上，即使对于较大的单元， $x''_d + x_t$ 的总和也不回超过0.5p.u.，因此，在满负荷开断过程中，发电机断路器两端的恢复电压不超过短路开断后出现的恢复电压值的50%，并且对于发电机额定电流的开断已被标准化为：

$$1.5 \frac{u_r}{\sqrt{3}} \times 0.5 = 0.43u_r$$

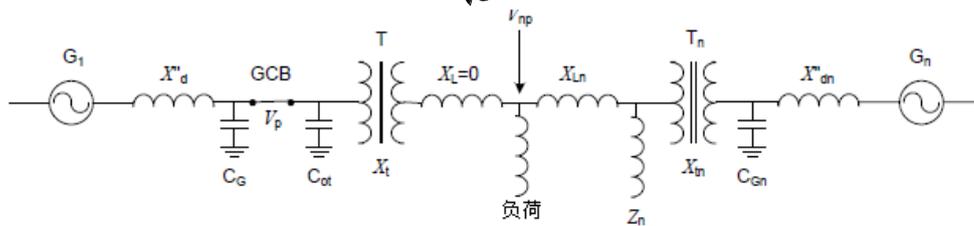


图49 电力系统的单线图

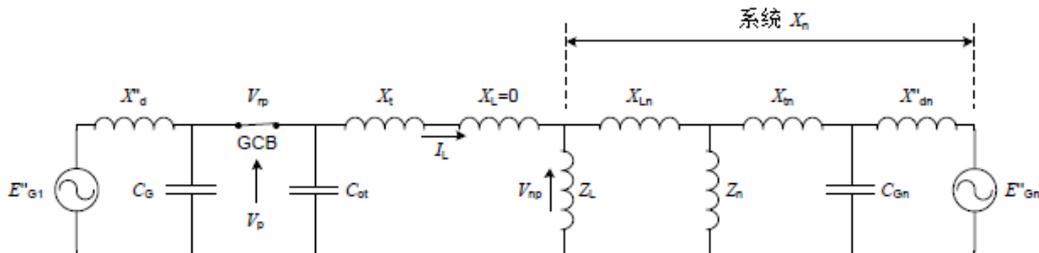


图50 电力系统的等效回路

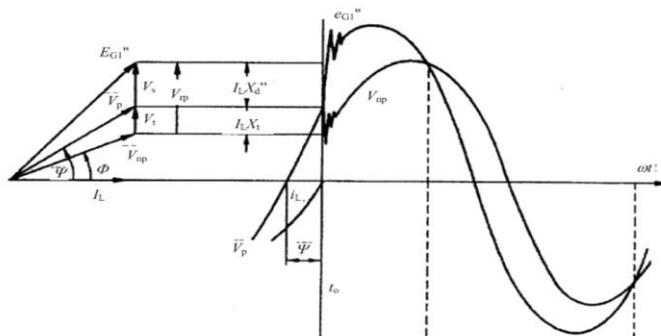


图51 具有滞后功率因数负荷的电压图

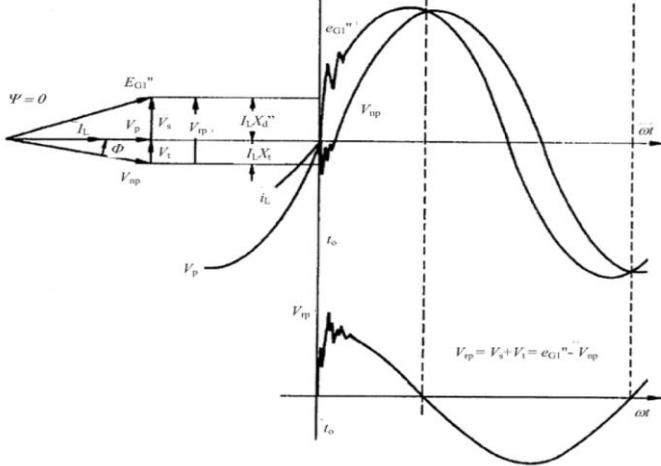


图52 具有整数功率因数负荷的电压图

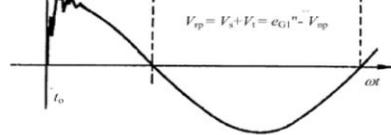


图53 跨接在发电机断路器上的恢复电压

图49、50、51、52和53的符号：

- C_G 发电机侧电容；
- C_{ot} 变压器侧电容；
- E''_{G1} (e''_{G1}) t_0 时间后发电机断路器端子的发电机电压；
- I_L (i_L) 负荷电流；
- V_{np} 系统电压（在负荷端）；
- V_p (v_p) t_0 时间前发电机断路器端子上的工作电压；
- V_{rp} (v_{rp}) 开关两端之间的恢复电压；
- X''_d 发电机次瞬态电抗；
- X_L 线路电抗（从变压器到负荷）；
- X_n 高压（HV）系统短路电抗= $X''_{dn}+X_{tn}+X_{Ln}$ ；
- X_t 变压器电抗；
- Z_L 负载阻抗；
- G_1 发电机（负荷电流 I_L ）；
- GCB 发电机断路器；
- T 变压器；
- ψ 发电机断路器处的相角；
- ϕ 负荷相角；
- ω 系统角频率。

8.103.8.3 预期瞬态恢复电压

负荷电流开合时，首开极上的TRV通常是如图54所示的双频振荡曲线，变压器的固有频率高于发电机的固有频率。并且，由于 X_L 始终小于 X''_d ，因此，变压器侧电压的第一个峰值小于发电机侧的第一个峰值。

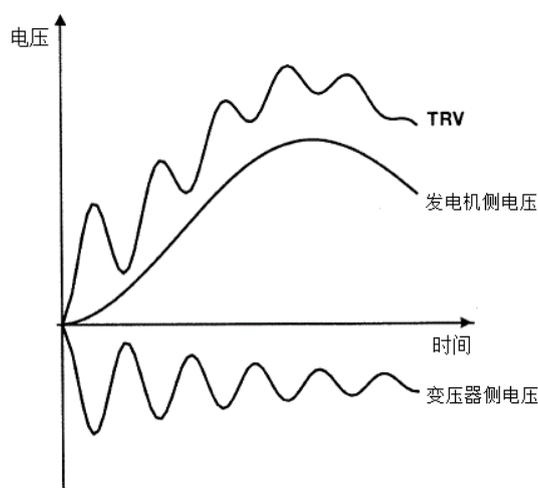


图56 首开极的TRV曲线

理论计算证明很困难并且会得出不利的结果。最好是在现场在变压器的高压侧短接（表示忽略高压（HV）系统电抗而在高压侧故障）的情况下注入低压电流来测量。

通过考察现有的测量结果，已经选择了标准化的TRV上升率值。这个标准化的值没有考虑使用电容器的情况，使用电容器可以降低TRV上升率。

发电机断路器通过相关型式试验验证的开断能力仅在按试验结构安装电容器且电容值与试验时相同的情况下有效。若发电机断路器采用与试验时不同电容值的电容器来降低TRV，其开断能力与被试发电机断路器不同而不能被认可。

8.103.8.4 寿命能力

寿命能力为用户提供了对发电机断路器的运行和维护方面的一些指导。在本标准中的若干条款提及了运行和寿命能力（见4.108、6.101.2.3和6.101.2.4）。

机械寿命，是无需维护和检修时能确保的最低操作循环次数。操作次数在4.108中规定。如果希望更多的操作循环次数，则应经用户和制造厂协商确定。

8.103.9 额定失步关合和开断电流

8.103.9.1 失步电流

在失步状态期间，如果发电机、变压器和系统电抗是以发电机额定MVA为基础的标么值表示，并且电站的单线图是如图46和图47所示，则在 $t=0$ 时，即在失步状态开始瞬间，通过发电机、发电机断路器、变压器和高压（HV）系统的电流可由下述公式计算：

$$I_{oph} = \frac{\delta I_n}{x_d'' + x_t + x_s}$$

式中：

I_{oph} 最大失步电流；

δ 失步电压/额定电压；

δ 对于90°失步角为 $\sqrt{2}$ ，对于180°失步角为2；

I_n 发电机额定电流；

x_d'' 发电机次瞬态电抗，p.u.；

x_t 基于发电机额定值为基础的变压器电抗，p.u.；

x_s 基于发电机额定值为基础的系统电抗=发电机额定功率/系统短路容量，p.u.。

最终的失步电流低于 $t=0$ 时的初始失步电流，这是因为失步电流基于发电机、变压器和系统的时间常数而衰减。电流变化的准确计算应借助于能够正确模拟发电机工况的计算机程序来实现。失步引起的电流也可能出现延迟电流零点的现象，但是与发电机端子故障相比成因完全不同。转子从初始失步角 φ_0 到 $\varphi=0$ 的快速运动导致故障电流的交流分量很小而直流分量很大，当达到 $\varphi=0$ 的条件时，直流分量处于

主导地位。失步引起的电流可以借助计算机仿真来进行估算，计算机仿真可对电站设备特别是同步电机进行高精度建模。

发电机的涡轮、转子和励磁设备的转动惯量特别重要，因为达到 $\varphi=0$ 条件的时刻由转子的角速度决定。

如果故障电流出现延迟电流零点，发电机断路器强迫电流过零的能力应考虑电弧电压的影响通过计算的方式来验证。8.103.6.3.6.3中描述的程序适用。

对于三相故障中特定的失步电流，应考虑以下两种典型情况：

- a) 失步状态从一相中发电机断路器的断口电压为零时开始，则对应相中电流会出现最大非对称度；
- b) 失步状态从一相中发电机断路器的断口电压最大时开始，则对应相中电流是对称的。

对于a)和b)的每种情形，应研究以下两种情况：

- 1) 发电机空载时发电机断路器合闸，此时发电机断路器两侧的电压相量之间存在相角差。应研究发电机电压超前升压变压器低压侧的系统电压的情况。在计算时，应考虑触头分离后发电机断路器的电弧电压。触头分离时间为失步状态起始之后发电机断路器的最短分闸时间加上保护系统的脱扣时延。脱扣时延一般等于0.5个工频周期。
- 2) 发电机空载时发电机断路器合闸，此时发电机断路器两侧的电压相量之间存在相角差。应研究发电机电压滞后升压变压器低压侧的系统电压的情况。在计算时，应考虑触头分离后发电机断路器的电弧电压。触头分离时间为失步状态起始之后发电机断路器的最短分闸时间加上保护系统的脱扣时延。脱扣时延一般等于0.5个工频周期。

实际发电机的技术数据应用于这些计算。

如果发电机断路器能够在一定时间间隔内强迫电流过零，且在此时间内能够开断电流(比如，在最大允许燃弧时间内)，则认为发电机断路器开断具有延迟电流零点的给定短路电流的能力得到验证)。

如果发电机在全反相状态下与系统联络，则 $\delta=2$ ， I_{oph} 一般要超过发电机端短路电流，这对于发电机的安全是不允许的。因此，应采取预防措施(自动同步避免这种情况发生)。

不要求发电机断路器开断恢复电压为两倍最高运行电压的全反相电流，因此，规定的失步电流开合额定值将不超过发电机断路器额定短路开断电流的50%，该值相应于90°的最大失步角。

8.103.9.2 TRV 参数

失步电流开合的回路 with 负荷电流开合的回路具有相同的结构。因此，考虑工频恢复电压等于 $\sqrt{2}$ 倍发电机最高运行电压，TRV以与8.103.7.1相同的方式进行了标准化，TRV参数由表5给出。

通过相关型式试验证明的开断能力仅在试验时配置安装具有相同电容值的电容器时有效。发电机断路器的开断能力与试验时不同，应确定不能是采用不同值的电容器来降低TRV所引起的。

9 与询问单、标书和订单一起提供的资料

GB/T 11022—2011的第9章不适用。

当询问或订购发电机断路器时，询问者应提供下列信息并由制造厂做出回应：

- a) 系统的信息：
 - 3) 电站的单线图；
 - 4) 额定、最小和最大工作电压；
 - 5) 额定频率；
 - 6) 发电机参数(额定值、衰减曲线、电抗、时间常数、电枢电阻、转动惯量和显示 MW 和 MVA_r 极限的运行能力曲线)；
 - 7) 发电机的接地方式；
 - 8) 主变压器参数(额定值、电抗、电阻或时间常数)；
 - 9) 主变压器分接开关的分接级，如有的话，和分接开关操作时阻抗的变化；
 - 10) 主变压器高压侧最大系统短路电流(包括未来的要求)；
 - 11) 高压系统时间常数；
 - 12) 浪涌电容器的值，如有的话。

- b) 应用:
- 1) 电站的类型(例如火电、水电、核电、基本负荷或峰值负荷电站);
 - 2) 运行条件,包括最低和最高周围空气温度,高于1000m时的海拔,以及可能存在或出现的任何特殊条件,例如过度地暴露在水蒸汽、湿气、烟雾、爆炸性气体、过量灰尘或含盐的空气中(见8.102.2);
 - 3) 发电机断路器安装位置:户内或户外;
 - 4) 发电机断路器安装位置的尺寸限制;
 - 5) 最小和最大相间距;
 - 6) 联锁和关键协调系统;
 - 7) 发电机和升压变压器之间母线的类型(例如隔离相母线、隔离相母线、电缆母线、电缆等)。注意,如果使用电缆,应给出电缆的结构类型;
 - 8) 发电机断路器端子处母线导体和外壳的温度;
 - 9) 母线的冷却(如果是强制空气冷却,空气流速和发电机断路器每极入口处的空气温度);
 - 10) 封闭母线内空气的过压力;
 - 11) 预期操作频率。
- c) 发电机断路器要求的特性:
- 1) 操作电压;
 - 2) 绝缘水平;
 - 3) 额定频率;
 - 4) 额定电流;
 - 5) 短时耐受电流;
 - 6) 峰值耐受电流;
 - 7) 短路持续时间;
 - 8) 短路关合电流;
 - 9) 系统源短路开断电流(交流分量的有效值和时间常数);
 - 10) 如果适用,发电机源短路开断电流(交流分量的有效值和非对称程度);
 - 11) 额定负荷开合电流;
 - 12) 如果适用,失步开合条件;
 - 13) 根据上述9)、10)、11)和12)开断条件下的瞬态恢复电压(TRV);
 - 14) 机械操作寿命。
- d) 发电机断路器的操动机构和辅助设备的特性,特别是:
- 1) 备用辅助开关的数量和类型;
 - 2) 额定电源电压和额定电源频率;
 - 3) 如果多于一个,分闸脱扣器的数量;
 - 4) 如果多于一个,合闸脱扣器的数量。
- e) 有关压缩气体的使用要求或限制,以及压力容器的设计和试验要求。
- f) 上文未包括的任何特殊条件的信息,可能影响投标或订货(也可见第8章)。

10 运输, 储存, 安装, 运行和维护规则

GB/T 11022—2011的第10章适用,并作如下补充:

10.1 概述

GB/T 11022—2011的10.1适用,并作如下补充:

按照10.2.101,交接试验应作为安装的一部分进行,并考虑在最终装配完成后进行出厂试验。

10.2 运输, 储存和安装时的条件

GB/T 11022—2011的10.2适用。

10.3 安装

GB/T 11022—2011的10.3适用，并作如下补充：

10.3.101 交接试验

在发电机断路器安装完毕并完成所有的连接后应进行交接试验。

交接试验的目的是为了确认：

- 没有因运输和储存而损坏；
- 各个单元的兼容性；
- 正确的装配；
- 装配完整的发电机断路器的正确性能。

制造厂应给出现场进行交接检查和试验的程序。

当发电机断路器作为整体运输时，交接试验应包括但不限于10.3.102中给出的程序。试验结果应记录在试验报告中。应避免完全重复进行工厂做过的出厂试验程序。

当发电机断路器分成单元装配和运输时，交接试验还应包括第7章中给出的全套出厂试验。

10.3.102 交接检查和试验程序

10.3.102.1 一般检查

应进行以下一般检查：

- 装配符合制造厂的图纸和说明书；
 - 断路器、紧固件、流体系统和控制装置的密封性；
 - 外绝缘以及（如适用）内绝缘未被损坏且干净；
 - 油漆和其他防腐保护完好；
 - 操动机构，尤其是动作脱扣器应没有污损；
 - 足够和完整的接地连接以及和变电站接地系统连接的接口；
- 以及，适用时：
- 记录发运时动作计数器的数字；
 - 记录所有现场试验完成后动作计数器的数字；
 - 记录第一次送电时动作计数器的数字。

10.3.102.2 电路检查

应进行以下电路检查：

- 与接线图的一致性；
- 信号装置（位置、报警、闭锁等）的正确工作；
- 加热和照明装置的正确工作。

10.3.102.3 绝缘和/或灭弧流体的检查

应进行以下检查：

- 油：类型、绝缘强度（GB 2536-2011）、油位；
- SF₆：充入压力/密度和质量检查，以确定分别和 GB/T 12022-2006、GB/T 8905-2012 和 IEC 61634 的接受水平一致。对于密封的发电机断路器和密封瓶中取出的新气体，这些质量检查不要求。应进行露点和杂质总含量的检查，以确定达到制造厂的接受水平；
混合气体：送电前应确认其质量
- 压缩空气：质量（适用时）和压力。

10.3.102.4 现场充入的或增补的操作流体的检查

应进行以下检查：

- 液压油：除非另有协议，油位和含水量应足够低以防止内部腐蚀或对液压系统的其他损坏；
氮气/压缩空气：充入压力和纯净度（例如不含氧气或1%的示踪气体）。

10.3.102.5 机械试验和测量

10.3.102.5.1 绝缘和/或开断用流体压力特性的测量（适用时）

10.3.102.5.1.1 概述

应进行下列测量，以把它们和出厂试验记录的值及由制造厂所保证的值进行比较。这些值可作为将来维护和其他检查的参考，还可以用来探测操作特性的任何变化。

适用时，这些测量包括报警和闭锁装置（压力开关、继电器、传感器等）的动作检查。

10.3.102.5.1.2 应进行的测量

- a) 适用时，在压力上升阶段：
 - 分闸/脱扣闭锁的复位值；
 - 合闸闭锁的复位值；
 - 低压力报警解除值。
- b) 适用时，在压力下降阶段：
 - 压力报警值；
 - 合闸闭锁的动作值；
 - 分闸闭锁的动作值。

10.3.102.5.2 操作流体压力特性的测量（适用时）

10.3.102.5.2.1 概述

应进行下列测量（必要时列出清单），以把它们和出厂试验记录的值及由制造厂所保证的值进行比较。这些值可作为将来维护和其他检查的参考，还可以用来探测操作特性的任何变化。

这些测量包括报警和闭锁装置（压力开关、继电器等）的动作检查。

10.3.102.5.2.2 应进行的测量

应进行以下验证，如适用：

- a) 泵装置（泵、压缩机、控制阀等）运行时的压力上升阶段：
 - 分闸闭锁的复位值；
 - 合闸闭锁的复位值；
 - 低压力报警解除值；
 - 泵装置的停止压力；
 - 安全阀的打开压力（适用时）。

注：这些测量可以和操动机构的恢复时间的测量合并进行（见10.2.102.5.4.2）。

- b) 泵装置停止时的压力下降阶段：
 - 安全阀的关闭压力（适用时）；
 - 泵装置的启动压力；
 - 低压力报警值；
 - 合闸闭锁的动作值；
 - 分闸闭锁的动作值。

10.3.102.5.3 额定操作顺序的验证

应验证发电机断路器完成其规定的额定操作顺序的能力。该试验应在储能装置工作的情况下进行，使用现场的电源电压。

现场电源电压是指来自正常现场电源的、适用于发电机断路器的负载电压，且应与辅助和控制电路的额定电源电压兼容。

10.3.102.5.4 时间参量的验证

10.3.102.5.4.1 发电机断路器的时间参量特性

应验证以下时间参量：

- a) 合闸和分闸时间，时间的分散性

在辅助和控制电路的电源电压和最大压力（切断泵装置时）下、在电源电压的典型负载条件下于设备的端子处测量：

——每一极的合闸时间，极间的时间分散性和可能时的开断单元或每一极各单元组之间的时间分散性；

——每一极的分闸时间，极间的时间分散性和可能时的开断单元或每一极各单元组之间的时间分散性。

这些测量应针对独立的分闸和合闸操作以及 CO 操作循环中的分闸和合闸操作进行。

注：CO 操作循环中的分闸操作期间的极间同期性可以不同于单独分闸操作期间的极间同期性。

在多个脱扣线圈的情况下，应对所有的脱扣线圈进行试验并记录每一个的时间。

应记录操作前和操作中的电源电压。

如有三极控制继电器的话，也应记录其带电时刻，以便能够计算出三极操作时总的时间（继电器时间加上合闸或分闸时间）。

如果断路器装有合闸或分闸电阻单元，应记录电阻的接入时间。

b) 控制和辅助触头的操作

发电机断路器分闸和合闸时，应确定与主触头操作相关的每一种控制和辅助触头的动作（关合和开断）时间。

10.3.102.5.4.2 操动机构的储能时间

应验证下列储能时间，如适用：

a) 液压操动机构

应测量泵装置（泵、压缩机、控制阀等）的动作时间：

——最低和最高压力之间（泵装置的接入和切断）；

——在下列操作或操作顺序过程中，每次从最低压力（接入泵装置时）开始：

——三极合闸；

——三级分闸；

——三级合分。

b) 弹簧操动机构

在现场电源电压下，应测量合闸操作后电动机的储能时间。

10.3.102.5.5 机械行程特性的记录

按照7.101的要求，发电机断路器第一次在现场装配完整时或在现场进行全部或部分出厂试验时，应记录机械行程特性。通过和6.101.1.1中的参考空载试验得到的参考机械行程特性进行比较，记录到的机械行程特性应与其达到一致。

按照7.101，如果发电机断路器在出厂时已装配完整并记录了机械行程特性，则不需要在现场记录。

10.3.102.5.6 故障关合操作的模拟和防跳跃装置的检查

在辅助触头闭合使脱扣回路带电的情况下进行CO操作。为了能检查防跳跃装置的有效操作，合闸命令应保持至少1s。

该试验还可在快速应用分闸命令时验证正确的功能。

注：采用现场的控制措施，也可以进行简化的防跳跃试验。在这种情况下，施加并保持合闸命令，继而再施加分闸命令。

10.3.102.6 电气试验和测量

10.3.102.6.1 绝缘试验

应对辅助回路进行绝缘试验，以确认发电机断路器的运输和储存没有损坏这些回路。然而，应认识到这些回路中包含脆弱的分装元件，施加全部的试验电压并保持全部的持续时间可能会导致损坏。为了避免出现这种情况和试验连接线的临时移开，供应商应详细规定说明不会出现损坏的试验程序以及根据该试验程序记录试验结果的方法。

按照7.1，仅当开断单元在现场装配时，才需要对主回路进行工频耐压试验。

如果发电机断路器配备有附加元件（例如避雷器、冲击电容器、电压互感器等），那么在现场进行绝缘试验之前这些元件可以断开连接或移除。

10.3.102.6.2 主回路电阻的测量

仅当开断单元在现场装配时，才需要测量主回路电阻。测量应按照7.3的规定在直流下进行。

10.4 运行

GB/T 11022-2011的10.4适用。

10.5 维护

GB/T 11022-2011的10.5适用。

11 安全性

GB/T 11022—2011的第11章适用,并作如下补充:

任何已知的化学危害和环境危害应在发电机断路器手册/使用说明中明确。

12 产品对环境的影响

GB/T 11022—2011的第12章适用。

附 录 A
(规范性附录)
型式试验中试验参量的公差

在型式试验中，通常应区分下述类型的公差：

- 直接决定试品承受应力的试验参量的公差；
- 与试品在试验前后的状态及性能相关的公差；
- 试验条件的公差；
- 与使用的测量设备参数相关的公差。

在后面的表A.1中，仅考虑试验参量的偏差。

偏差定义为在本标准规定的试验值的范围，测量到的试验值应在该范围内，本次试验方有效。

在此，不考虑因测量不确定度所引起的测量到的试验值与真实试验值的任何偏差。

型式试验中，应用试验参量公差的基本规则如下：

- a) 在任何情况下，试验站的目标是标准规定的试验值；
- b) 试验站应观测规定的试验参量的偏差。仅当制造厂同意时，才允许断路器承受的应力超过这些公差的较高值。试品承受较低的应力会导致试验无效；
- c) 当本标准或其它适用的标准没有给出试验参量的公差时，型式试验应在不比规定值欠严的数值下进行。其上限应力值应征得制造厂的同意；
- d) 若只给出某试验参量一侧的限值，则认为另一侧限值应为尽可能地接近标准的规定值。

表A.1 型式试验中试验参量的公差

条款号	试验名称	试验参量	规定的试验值	试验公差/试验值的限值	参考标准
6.2	绝缘试验				
6.2.6.1	工频耐受电压试验	试验电压（有效值）	额定短时工频耐受电压	±1 %	GB/T 11022-2011 GB/T 16927.1-2011
		频率		45Hz~65Hz	GB/T 16927.1-2011
		波形	峰值/有效值 = $\sqrt{2}$	±5 %	
6.2.6.2	雷电冲击电压试验	峰值	额定雷电冲击耐受电压	程序 B: +3%, 程序 C: -0%~+3%	GB/T 16927.1-2011
		波前时间	1.2 μs	±30 %	
		半峰值时间	50 μs	±20 %	
6.4	主回路电阻测量	直流试验电流 I_{DC}		$100A \leq I_{DC} \leq \text{额定电流}$	GB/T 11022-2011
6.5	温升试验 (仅应保存最后两小时的试验公差和限值)	周围空气速度		≤0.5m/s	GB/T 11022-2011
		试验电流频率	额定频率	±2 %	
		试验电流	额定电流	+2%/0%	
		IPB 导体和外壳的温升	见表 8	±5k	
		周围空气温度 T		+10°C < T < 40°C	
6.6	短时耐受电流和 峰值耐受电流试验	试验频率	额定频率	±10 %	GB/T 11022-2011
		峰值电流（在一个边相）	额定峰值耐受电流	+5%/0%	
		三相试验电流交流分量的平均值	额定短时耐受电流	见 6.6.2 中 I^2t 的公差	
		任一相试验电流交流分量/平均值	1	±10 %	
		短路电流持续时间	额定短路持续时间	见 I^2t 的公差	
		I^2t 的值	额定 I^2t 值	+10%/0%	
6.101.3	高低温试验	周围空气温度的偏差		≤5k	
		试验前记录的周围空气温度	20°C	±5k	

条款号	试验名称	试验参量	规定的试验值	试验公差/试验值的限值	参考标准
		试验过程中周围空气温度的最大值和最小值	根据发电机断路器级别（见 GB/T 11022-2011）	±3k	
6.102.10	最苛刻开合条件的验证	应控制的最长燃弧时间	规定的试验值	±1ms	
6.103	系统源短路关合和开断试验				
6.103.2	试验回路的频率	频率	额定频率	-2%~+5%	
6.103.5	系统源短路关合试验前的外施电压	外施电压	见 6.103.5	+10%/0%	
		施加的相电压/（三相）平均电压	1	±5%	
6.103.6 和 6.103.7	系统源短路关合电流和系统源短路开断电流	任一相的交流分量/平均交流分量	1	±10%	
		峰值关合电流	见表 13 和 14	-0%~+10%	
		最后开断极电弧熄灭时预期电流的交流分量	相关试验方式开断电流的规定值	≥90%	
		触头分离时刻预期电流的平均交流分量	相关试验方式开断电流的规定值	≥100%	
6.103.8	系统源短路开断试验的瞬态恢复电压（TRV）	TRV 峰值	见表 2	+10%/0%	
		TRV 上升率	见表 2	+15%/0%	
		时延	见表 2	±20%	
6.103.10	工频恢复电压	工频恢复电压	见表 13 和 14	±5%	
6.104	负荷电流开断试验	TRV 峰值	见表 4	+10%/0%	
		TRV 上升率	见表 4	+15%/0%	
		时延	见表 4	±20%	
6.105	发电机源短路电流关合和开断试验				
6.105.2	试验回路的频率	频率	额定频率	-2%~+5%	
6.105.6 和 6.105.7	发电机源短路关合电流和发电机源短路开断电流	任一相的交流分量/平均交流分量	1	±10%	
		峰值关合电流	见表 15 和 16	-0%~+10%	

条款号	试验名称	试验参量	规定的试验值	试验公差/试验值的限值	参考标准
		最后开断极电弧熄灭时预期电流的交流分量	相关试验方式开断电流的规定值	$\geq 90\%$	
		触头分离时刻预期电流的平均交流分量	相关试验方式开断电流的规定值	$\geq 100\%$	
6.105.8	发电机源短路开断试验的瞬态恢复电压 (TRV)	TRV 峰值	见表 3	+10%/0%	
		TRV 上升率	见表 3	+15%/0%	
		时延	见表 3	$\pm 20\%$	
6.105.10	工频恢复电压	工频恢复电压	见表 17 和 18	$\pm 5\%$	
6.105.12.4	开断电流的非对称度	试验方式 5 的燃弧时间	≥ 1 个周波	≥ 1 个周波-2ms	
6.105.12.4	开断电流的非对称度	试验方式 6A 或 6B 的燃弧时间	≥ 1.5 个周波	≥ 1.5 个周波-3ms	
6.106	失步关合和开断试验	频率	额定频率	-2%~+5%	
		开断电流的非对称度	75%	-0%~+5%	
		外施电压和工频恢复电压	见表 17 和 18	$\pm 5\%$	
		TRV 峰值	见表 5	+10%/0%	
		TRV 上升率	见表 5	+15%/0%	
		时延	见表 5	$\pm 20\%$	
		试验方式 OP1 的合闸时刻	在一极外施电压的峰值处	$\pm 20^\circ$	
试验方式 OP1 和 OP2 的开断电流	见表 17 和 18	B	+10%/0%		

附 录 B
(规范性附录)
型式试验的记录及报告

B.1 应记录的资料及结果

型式试验报告中应包括所有相关的型式试验资料及结果。

应记录所有符合B.2的所有操作的示波图。

型式试验报告应包括和试验用测量系统不确定度相关的叙述。该叙述应参考试验室内部程序，通过该程序可以建立测量不确定度的溯源性。

型式试验报告应包括每一试验方式中发电机断路器性能及每一试验方式后（在检查范围内）和一系列试验方式结束时发电机断路器状态的叙述。叙述应包括下列内容：

- a) 发电机断路器的状态，给出所做的所有替换或调整的细节以及触头、油（包括油量的减少）的状态和电弧屏蔽、外壳、绝缘子及套管损坏情况的描述；
- b) 试验方式中性能的描述，包括油、气体或火焰的喷出。

B.2 型式试验报告应包括的内容

B.2.1 概述

- a) 试验日期；
- b) 参考的报告编号；
- c) 试验个数；
- d) 示波图个数。

B.2.2 受试电器

GB/T 11022—2011的6.1.4和附录A.2及下列条件适用：

试验报告中给出的参考图号应指明制造厂的参考号、修订号和相关内容。

适用时，应包含参考的机械行程特性，或通过用参考图号或等效的方法记录在试验报告中。

B.2.3 发电机断路器，包括其操动机构和辅助设备的额定参数

制造厂应给出本标准第4章中规定的额定参数值及最短分闸时间。

B.2.4 试验条件（对试验的每个系列）

型式试验报告应包括以下内容：

- a) 极数；
- b) 频率，Hz；
- c) 发电机中性点（接地或绝缘）；
- d) 变压器中性点（接地或绝缘）；
- e) 短路点或负载侧中性点（接地或绝缘）；
- f) 包括接地的试验回路图；

- g) 发电机断路器接入试验回路的细节（例如，方向）；
- h) 绝缘和/或灭弧用流体的压力；
- i) 操作用流体的压力。

B.2.5 短路关合和开断试验

型式试验报告应包括以下内容：

- a) 操作顺序和时间间隔；
- b) 外施电压，kV；
- c) 关合电流（峰值），kA；
- d) 试验方式 2、5、6A 和 6B 的预期电流：
 - 1) 每相及平均的交流分量有效值，kA；
 - 2) 触头分离时刻的非对称度（适用于试验方式 5、6A 和 6B）；
 - 3) 预期的最后电流半波的电流峰值（仅适用于试验方式 2，且针对具有最大非对称度相）；
 - 4) 预期的最后电流半波的持续时间（仅适用于试验方式 2，且针对具有最大非对称度的相和首开极）；
 - 5) 电流第一次过零前电流峰值的个数及相对最小值（仅适用于试验方式 5、6A 和 6B）。
- e) 开断电流：
 - 1) 每相及平均的交流分量有效值，kA；
 - 2) 触头分离时刻的非对称度；
 - 3) 最后电流半波的电流峰值；
 - 4) 最后电流半波的持续时间；
- f) 工频恢复电压，kV；
- g) 瞬态恢复电压：
 - 1) 按照 6.103.8 和 6.105.8 要求的预期瞬态恢复电压；
 - 2) 实际试验中的瞬态恢复电压；
- h) 电弧参数：
 - 1) 燃弧时间，ms；
 - 2) 弧压（仅适用于试验方式 5、6A 和 6B）；
- i) 分闸时间，ms；
- j) 开断时间，ms；

如适用，应给出直到主电弧熄灭瞬间的开断时间和直到阻性电流开断瞬间的开断时间。
- k) 合闸时间，ms；
- l) 关合时间，ms；

试验中发电机断路器的性能，适用时，包括喷出的火焰、气体、油等；应记录发生的 NSDD；
- m) 试验后的状态；
- n) 试验期间零部件的更新和修复。

B.2.6 短时耐受电流试验

型式试验报告应包括以下内容：

- a) 电流
 - 1) 有效值，kA；
 - 2) 第一个峰值，kA；
- b) 持续时间，s；

- c) 基于规定的短时电流的等效持续时间, s;
- d) 试验期间发电机断路器的性能;
- e) 试验后的状态;
- f) 试验前后主回路的电阻, $\mu\Omega$ 。

B.2.7 空载操作

型式试验报告应包括以下内容:

- a) 关合和开断试验前 (见 6.102.6);
- b) 关合和开断试验后 (见 6.102.9.2 和 6.102.9.3)。

B.2.8 失步关合和开断试验

型式试验报告应包括以下内容:

- a) 试验方式 OP1 和 OP2 的预期电流:
 - 1) 每相及平均的交流分量有效值, kA;
 - 2) 预期的最后电流半波的电流峰值 (仅适用于试验方式 OP2, 且针对具有最大非对称度相);
 - 3) 预期的最后电流半波的持续时间 (仅适用于试验方式 OP2, 且针对具有最大非对称度的相和首开极)。
- b) 外施电压, kV;
- c) 关合电流 (峰值), kA;
- d) 开断电流:
 - 1) 每相及平均的交流分量有效值, kA;
 - 2) 触头分离时刻的非对称度;
 - 3) 最后电流半波的电流峰值;
 - 4) 最后电流半波的持续时间。
- e) 工频恢复电压, kV;
- f) 瞬态恢复电压:
 - 1) 按照 6.106.6 要求的预期瞬态恢复电压;
 - 2) 实际试验中的瞬态恢复电压;
- g) 燃弧时间, ms;
- h) 分闸时间, ms;
- i) 开断时间, ms;
- j) 合闸时间, ms;
- k) 关合时间, ms;
- l) 阻性电流持续时间 (如果适用的话), ms;
- m) 试验中发电机断路器的状态, 适用时, 包括喷出的火焰、气体、油等, 应记录发生的 NSDD;
- n) 试验后的状态;
- o) 试验期间零部件的更新和修复。

B.2.9 负荷电流开合试验

型式试验报告应包括以下内容:

- a) 每相及平均的交流分量有效值, kA;
- b) 工频恢复电压, kV;
- c) 瞬态恢复电压:

- 1) 按照 6.106.6 要求的预期瞬态恢复电压;
- 2) 实际试验中的瞬态恢复电压;
- d) 燃弧时间, ms;
- e) 分闸时间, ms;
- f) 开断时间, ms;
- g) 试验中发电机断路器的状态, 适用时, 包括喷出的火焰、气体、油等, 应记录发生的 NSDD;
- h) 试验后的状态;
- i) 试验期间零部件的更新和修复。

B.2.10 示波图和其它记录

应记录整个操作(包括预期试验)的示波图。应记录下述参量。其中某些量可能需要单独记录, 可能需要多个具有不同时间刻度的示波图。

- a) 外施电压;
- b) 每极中的电流;
- c) 恢复电压;
- d) 合闸线圈中的电流和/或电压;
- e) 分闸线圈中的电流和/或电压;
- f) 适用于要求准确度的恰当的幅值和时间刻度;
- g) 机械行程特性(适用时)。

不能严格满足本标准要求的全部情况及所有偏差应在试验报告的开始部分明确指出。

附 录 C
(规范性附录)
机械特性的应用和相关要求

型式试验前，应建立发电机断路器的机械特性，例如，记录空载行程曲线。也可利用特征参数来实现，例如，在某一行程的瞬时速度等。机械特性是为了表征发电机断路器的机械性能。

机械特性可以用来确认在机械、关合、开断和开合型式试验中使用的不同试品的机械动作方式相同。用于机械、关合、开断和开合型式试验的所有试品的机械特性应在下述包络线内。如果因为不同的试验室所用的测量方法不同，而不能对包络线进行直接比较时，制造厂应提供证据说明这些包络线一致。

在试验报告中，应注明用于记录机械特性的传感器的类型和位置。机械特性曲线可以在动力传动链的任一部分测量，并可以被连续地或离散地记录。若离散测量，对于完整的行程至少应给出20个离散数值。

参考的机械特性也可以用来确定：该参考曲线上允许偏差的限值。根据该参考曲线，对于分闸操作，应从触头分离时刻到触头行程终止时刻，以及对于合闸操作，应从触头运动开始到触头接触时刻，画出两条包络线。两条包络线距初始曲线的距离应在总行程的 $\pm 5\%$ 范围内，如图15所示。发电机断路器的总行程为40mm或更小时，两条包络线距初始点的距离应为 $\pm 2\text{mm}$ 。已经发现，对于某些发电机断路器的设计，这些方法不适用，例如真空发电机断路器。在这种情况下，制造厂应规定证明发电机断路器能正确操作的适当方法。

如果要使用不同于曲线的机械特性，制造厂应规定替代方法和使用的公差。

图14到图17是为了图解的目的，且仅说明了分闸操作。这些都是理想的，没有考虑到触头的摩擦效应或行程终止时阻尼引起的外形偏差。尤其重要的是，应注意到这些图中并没有表示出阻尼效应。行程终止时产生的振荡取决于驱动系统的阻尼效应。这些振荡的形状可以是设计的结果，也可能是试品的个体差异导致的。因此，行程终止时曲线上的任何超出包络线公差范围的偏差，为了表明与参考曲线的等效性，在放弃或接受该曲线之前，对其作出完整的解释和推断是很重要的。通常，应接受所有包络线范围内的曲线。

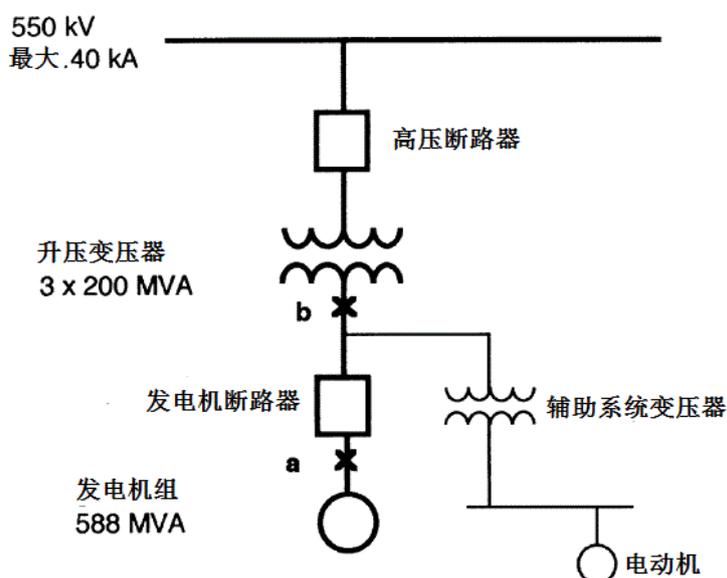
包络线可以在垂直方向移动，直到一条曲线覆盖了参考线。这就分别给出和参考触头行程曲线的最大允许偏差分别为 -0% 、 $+10\%$ 和 -10% 、 $+0\%$ ，分别见图16和图17。为了得到和参考线 10% 的最大的总偏差，包络线的移动在整个试验过程中只允许一次。

附 录 D
(资料性附录)
发电机断路器的应用示例

D.1 概述

第8章中的选用导则用来推导本例。

当提出需要交流发电机断路器时，购买方向制造厂提供包含第9章中概述的資料的技术条件是非常重要的。这个资料将提示制造厂注意8.102和8.103中的使用条件。



图D.1 电站单线图

D.2节给出的例子描述了588MVA、燃煤、持续负荷的电厂中的户内发电机断路器的实际应用。发电机断路器为强迫空气冷却。

D.2 系统特性

系统特性叙述如表D.1。

表 D.1 系统特性

项目	数值
a) 单线图	见图E.1
b) 发电机最高线电压 (kV)	22.05
c) 额定频率 (Hz)	60
d) 发电机参数 (额定值)	
1) 额定容量 (MVA)	588

2) 额定电压 (kV)	21
3) 电抗值p.u.	在额定电压下 (饱和值)
i) 同步直轴电抗 (X_d)	2.0
ii) 瞬态直轴电抗 (X'_d)	0.31
iii) 次瞬态直轴电抗 (X''_d)	0.24
iv) 同步交轴电抗 (X_q)	2.04
v) 瞬态交轴电抗 (X'_q)	0.5
vi) 次瞬态交轴电抗 (X''_q)	0.25
vii) 负序电抗 (X_2)	0.24
viii) 零序电抗 (X_0)	0.1
4) 时间常数 (s)	
i) 瞬态开路 (T'_{do})	5.63
ii) 瞬态短路 (T'_d)	0.84
iii) 次瞬态开路 (T''_{do})	0.034
iv) 次瞬态短路 (T''_d)	0.025
v) 瞬态开路交轴 (T'_{qo})	-
vi) 瞬态短路交轴 (T'_q)	0.255
vii) 次瞬态开路交轴 (T''_{qo})	-
viii) 次瞬态短路交轴 (T''_q)	0.025
ix) 电枢短路 (T_a)	0.31
5) 发电机接地方式	通过配电变压器高电阻接地
6) 转动惯量 (kgm^2)	28300
7) 电枢绕组对地电容 (所有相合在一起) (μF)	0.9
e) 发电机升压变压器参数 (额定值) :	
1) 额定电压 (kV)	550/21
2) 额定容量 (MVA)	3×200
3) 接法	Y形有效接地/ Δ 形
4) 额定电压下的短路电抗 (p.u.)	0.14
5) 高压侧分接开关的分接范围 (分接级1.25%)	-10%/+5%
短路电抗的总变化	-5%/+2.5%
6) 时间常数 $X/\omega R$ (ms)	160
f) 发电机升压变压器高压侧的系统源初始对称短路电流 (未来要求) (kA)	40
g) 高压系统时间常数 $X/\omega R$ (ms)	45
h) 高压系统的最高运行电压 (kV)	577.5
i) 机组辅助变压器参数 (额定值) :	
1) 额定电压 (kV)	21/6.3
2) 额定容量 (MVA)	35
3) 额定电压下的短路电抗 (p.u.)	0.08
4) 时间常数 $X/\omega R$ (ms)	100

D.3 系统源短路电流

D.3.1 系统源短路开断电流的交流分量

下述例子以在“a”位置（见图E.1）故障为基础。

系统源短路电流的交流分量是发电机断路器在额定电压和额定操作顺序下必须开断的多相短路电流对称分量的最大有效值。

对于550kV侧40kA系统源短路电流，从21kV侧看去要求的系统短路电抗如下：

$$X_{\text{sys}} \cong \frac{550}{40\sqrt{3}} \left(\frac{21}{550} \right)^2 = 11.57 \times 10^{-3} \Omega$$

具有600MVA的额定容量和0.14的短路电抗（p.u.）的主变压器的短路电抗产生的电抗如下：

$$X_t \cong 0.14 \times \frac{21^2}{600} = 102.9 \times 10^{-3} \Omega$$

系统源短路开断电流的计算应基于高压系统的最高运行电压。因此，来自系统侧的短路电流成分如下：

$$I_{\text{sc sys+t}} = \frac{22.05}{\sqrt{3}((11.57+102.9) \times 10^{-3})} = 111.21 \text{ kA}$$

来自于辅助系统电动机对短路电流的成分比来自高压系统的短路电流的成分的份额小。如果电动机是通过两台辅助变压器连接的，每台辅助变压器的额定容量为35 MVA，0.08 p.u.短路电抗，且时间常数为106 ms（X/R的比值为37.7），则短路电流可以按如下确定。假定同时全部投入运行，则按保守考虑，电动机组合容量的最大额定值为60 MVA。本例中电动机的额定电压 U_{rM} 假定等于机组辅助变压器高压绕组的额定电压。

电动机短路阻抗如下：

$$Z_M = \frac{I_{rM}}{I_{LR}} \times \frac{U_{rM}^2}{S_{rM}} \times \left(\frac{U_{r \text{ auxtransfHV}}}{U_{r \text{ auxtransfLV}}} \right)^2 = 0.2 \times \frac{6.3^2}{60} \left(\frac{21}{6.3} \right)^2 \cong X_M = 1.47 \Omega$$

其中 I_{rM} / I_{LR} 为电动机额定电流与电动机堵转电流的比，且在本例中大约等于0.2。

辅助变压器的电抗如下：

$$X_{\text{auxtransf}} \cong 0.08 \frac{21^2}{70} = 0.504 \Omega$$

来自辅助系统的初始对称短路电流的有效值如下：

$$I''_{k \text{ aux sys}} = \frac{22.05}{\sqrt{3}(1.47 + 0.504)} = 6.45 \text{ kA}$$

这个初始电流是衰减的，并且在40~80ms触头分离时间内被开断的电流可估计为等于初始电流 $I''_{k \text{ aux sys}}$ 的0.7~0.85倍。如果倍数为0.8，基于选择的发电机断路器的触头分离时间为58.3ms（分闸时间50ms加上一个0.5周波的脱扣时延），则来自辅助系统的系统源短路开断电流成分的交流分量的有效值为5.16kA。

发电机断路器经受的总系统源短路开断电流的交流分量有效值如下：

$$I_{sc\ tot\ cs} = 111.21 + 5.16 = 116.37\text{kA}$$

D.3.2 系统源非对称短路开断电流

下述例子以在“a”位置（见图E.1）故障和D3.1的计算结果为基础。系统源短路电流的直流分量如下：

$$I_{dc} = \left(\sqrt{2}I_k''\right)e^{-t/\tau}$$

式中：

I_k'' ——系统源初始对称短路电流。假定系统源交流分量的有效值是关于时间的常数， I_k'' 等于系统源短路开断电流交流分量的有效值 $I_{sc\ sys+t}$ 。相对于升压变压器高压侧上的40kA系统源短路电流成分，通过升压变压器确定为111.21kA；

I_{dc} ——系统源短路电流的直流分量；

$$\tau = \left(\frac{1}{\omega} \times \frac{X}{R}\right);$$

X ——系统元件的短路电抗值；

R ——系统元件的电阻；

ω ——额定频率对应的角频率。

与系统源短路电流的交流分量一样，直流分量也来自于升压变压器的高压系统的成份和辅助系统的直流分量组成，它由触头分离时间确定。

高压系统的时间常数为45 ms，其短路电抗按下式确定： $X_{sys} = 11.57 \times 10^{-3} \Omega$ （见D.3.1）。

因此：

$$R_{sys} = \frac{11.57 \times 10^{-3}}{377 \times 45 \times 10^{-3}} = 0.682 \times 10^{-3} \Omega$$

发电机升压变压器的时间常数为160 ms，且计算的变压器短路电抗是 $X_t = 102.9 \times 10^{-3} \Omega$ 。

由此导出下述升压变压器电阻：

$$R_t = \frac{102.9 \times 10^{-3}}{377 \times 160 \times 10^{-3}} = 1.706 \times 10^{-3} \Omega$$

高压系统通过升压变压器作用于系统源短路电流的总电抗和电阻为：

$$X_{sys+t} = X_{sys} + X_t = 11.57 \times 10^{-3} + 102.9 \times 10^{-3} = 114.47 \times 10^{-3} \Omega$$

$$R_{sys+t} = R_{sys} + R_t = 0.682 \times 10^{-3} + 1.706 \times 10^{-3} = 2.39 \times 10^{-3} \Omega$$

因此，来自通过升压变压器的高压系统的短路电流的直流分量衰减的时间常数 τ_{sys+t} 如下：

$$\tau_{sys+t} = \frac{114.47 \times 10^{-3}}{377 \times 2.39 \times 10^{-3}} = 127.04\text{ms}$$

辅助系统变压器的短路电抗估算为 0.504Ω ，并假定时间常数为 $100\text{ms}[(X/R)_{\text{auxtransf}}=37.7]$ 。所以电阻如下：

$$R_{\text{auxtransf}} = 0.0134 \Omega$$

电动机电抗的计算值 $X_M=1.47\Omega$ 。对于额定功率大于 1MW 的电动机，电阻值 R_M 约为 0.1 倍 X_M 。因此，

$$R_M = 0.147 \Omega$$

来自辅助系统的直流分量衰减的时间常数如下：

$$\tau_{\text{aux sys}} = \frac{X_{\text{auxtransf}} + X_M}{\omega \times (R_{\text{auxtransf}} + R_M)} = \frac{0.504 + 1.47}{377 \times (0.0134 + 0.147)} = 32.64\text{ms}$$

在 58.3ms 的发电机断路器触头分离时间（分闸时间 50ms 加上 0.5 周波的脱扣时延）时，总系统源短路电流的直流分量（包括辅助系统成分的直流分量），是来自通过升压变压器的高压系统的成分和辅助系统的成分之和。

$$I_{\text{dc sys+tc}} = 111.21 \times \sqrt{2} \times e^{-58.3/127.04} = 99.39\text{kA}$$

$$I_{\text{dc aux sys cs}} = 6.45 \times \sqrt{2} \times e^{-58.3/32.64} = 1.53\text{kA}$$

$$I_{\text{dc tot cs}} = 99.39 + 1.53 = 100.92\text{kA}$$

因此，触头分离时的非对称度为 61.3% 。

非对称短路开断电流可以用8.103.6.3.3的公式来计算，得到的结果为：

$$I_{\text{sc asym tot cs}} = \sqrt{I_{\text{sc tot cs}}^2 + I_{\text{dc tot cs}}^2} = 154.04\text{kA}$$

D.4 发电机源短路电流

D.4.1 发电机源短路开断电流的交流分量

当短路电流源完全来自发电机而未经变换时，该电流是在触头分离瞬间，从电流振幅的包络线上测量的。

如8.103.6.3.4所述，这个包络线须在考虑了发电机常数的满载额定功率因数条件下计算。计算通常比较复杂且需要进行计算机仿真。

因此，不应将下列公式视为是全面的，但它们可以用于估算发电机在空载时发生故障的故障电流的幅值。

发电机源短路开断电流交流分量的有效值可以使用下面的空载条件下的公式计算：

$$I_{\text{gen sym}} = \frac{U_{\text{mG}} S_{\text{rG}}}{\sqrt{3} U_{\text{rG}}^2} \left[\left(\frac{1}{x''_d} - \frac{1}{x'_d} \right) e^{-t/\tau''_d} + \left(\frac{1}{x'_d} - \frac{1}{x_d} \right) e^{-t/\tau'_d} + \frac{1}{X_d} \right]$$

式中：

U_{mG} ——发电机的最大线电压；

S_{rG} ——发电机的额定容量；

U_{rG} ——发电机的额定电压；

x''_d ——发电机次瞬态直轴电抗的饱和值（p.u.）；

x'_d ——发电机瞬态直轴电抗的饱和值 (p.u.) ;

τ''_d ——直轴次瞬态短路时间常数;

τ'_d ——直轴瞬态短路时间常数。

使用本例中给出的发电机数据,当发电机空载故障时,在触头分离时间等于58.3ms时,发电机电源的短路开断电流计算结果如下:

$$I_{scg\ cs}=53.2\text{ kA}$$

D.4.2 发电机源非对称短路开断电流

对于发电机在空载状态下具有对大非对称度的那相的发电机源非对称短路电流,可有下列公式计算:

$$I_{gen\ asym} = \frac{\sqrt{2}U_{mG}S_{rG}}{\sqrt{3}U_{rG}^2} \left\{ \left[\left(\frac{1}{x''_d} - \frac{1}{x'_d} \right) e^{-t/\tau''_d} + \left(\frac{1}{x'_d} - \frac{1}{x_d} \right) e^{-t/\tau'_d} + \frac{1}{x_d} \right] \cos(\omega t) \right\} \\ - \frac{\sqrt{2}U_{mG}S_{rG}}{\sqrt{3}U_{rG}^2} \left[\frac{1}{2} \left(\frac{1}{x''_d} + \frac{1}{x'_q} \right) e^{-t/\tau_a} + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{x''_d} - \frac{1}{x'_q} \right) e^{-t/\tau_a} \cos(2\omega t) \right]$$

式中:

U_{mG} ——发电机最大线电压;

S_{rG} ——发电机的额定容量;

U_{rG} ——发电机的额定电压;

x''_d ——发电机次瞬态直轴电抗的饱和值 (p.u.) ;

x'_d ——发电机瞬态直轴电抗的饱和值 (p.u.) ;

τ''_d ——直轴次瞬态短路时间常数;

τ'_d ——直轴瞬态短路时间常数;

τ_a ——电枢时间常数。

因为对于涡轮发电机, x''_d 大约等于 x''_q , 则公式可写成如下:

$$I_{gen\ asym} = \frac{\sqrt{2}U_{mG}S_{rG}}{\sqrt{3}U_{rG}^2} \left\{ \left[\left(\frac{1}{x''_d} - \frac{1}{x'_d} \right) e^{-t/\tau''_d} + \left(\frac{1}{x'_d} - \frac{1}{x_d} \right) e^{-t/\tau'_d} + \frac{1}{x_d} \right] \cos(\omega t) - \left(\frac{1}{x''_d} \right) e^{-t/\tau_a} \right\}$$

作为本附录的例子,图D.2表示假定发电机处于空载状态时发生故障,三相非对称电流电流的计算机计算结果。当发电机断路器像关合接地开关那样关合金属性短路故障时,这种未必发生的情况可能发生。因此,在故障位置不考虑燃弧。在发电机断路器触头分离时刻的非对称度为110.1%。

非对称短路开断电流可以使用8.103.6.3.3中描述的公式计算,得到计算结果为98.5 kA。

为了相互比较，图D.3显示了计算的三相非对称短路电流，但作了在故障位置存在影响短路电流非对称度的电弧的假设。由于电弧电压的影响，与图D.2中具有110.1%非对称度相比，非对称度下降到68%。

在空气中自由燃烧的电弧具有的电弧电压为10V/cm，这就意味着在母线管道中故障的电弧电压至少为300V。在变压器中发生故障的情况下，电弧会在油中燃烧，具有非常高的电弧电压。

发电机断路器电弧在具有最大非对称性的那相上的影响由图44计算机计算结果说明。

发电机电源非对称短路电流通常可以用适当的计算机程序进行计算。对于具有最大非对称度的发电机电源短路电流和发电机处于欠励磁状态来说，不能给出短路电流的近似计算公式，只能用适当的计算机程序计算。

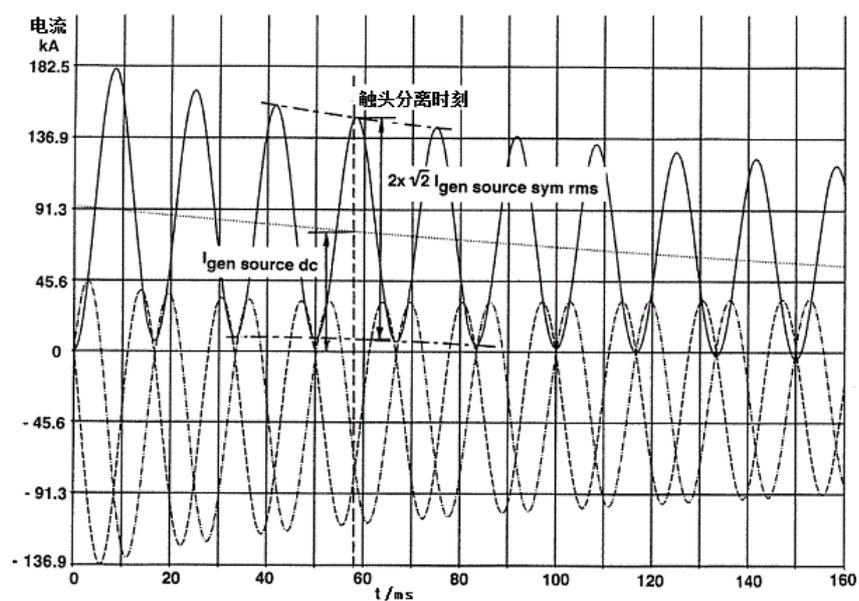


图 D.2 故障位置没有电弧的非对称发电机电源短路电流

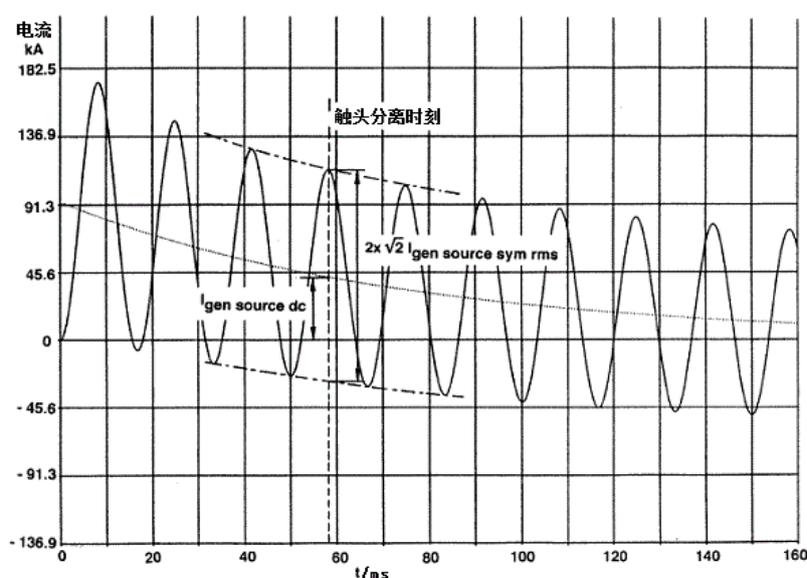


图 D.3 故障位置有电弧的非对称发电机电源短路电流

D.5 瞬态恢复电压

对于系统馈电故障的预期TRV可用与变压器馈电故障相同的方法确定。在短路状态下，变压器的固有频率应是已知的。这个频率可采用低压注入法进行测量。当使用电容器时，应考虑它们对实际的TRV的影响。

在本标准中给出的TRV参数是由大量变压器和发电机的数据，通常由测量结果得出的，并且他们能覆盖最苛刻的情况。

对于系统馈电故障和发电机馈电故障的TRV的计算可能是不准确的，因为建立合适的模型比较复杂，并且必须的部分基于频率的精确数据可能无法获得。

D.6 失步状态

在下述两个条件下可能产生失步状态：

- 如果在最大 180°反相之前，高压断路器通过相关的保护系统跳闸，那么将造成高压输电系统不稳定。对于发电机断路器，这种情况可不考虑。
- 如果用发电机断路器进行同步操作有误，而且发电机断路器必须跳闸，这就可能产生失步状态。对于后种情况，在电流发生瞬间（ $t=0$ ），失步电流交流分量的有效值（ I_{oph} ）可以用下述公式计算：

$$I_{oph} = \frac{U_{oph}}{X''_d + X_t + X_s}$$

式中：

U_{oph} ——失步电压；

X''_d ——发电机的次瞬态电抗， Ω ；

X_t ——变压器短路电抗， Ω ；

X_s ——系统短路电抗， Ω 。

注：同步操作一般在发电机额定电压下进行。

对于图46那样的系统图或者图D.4的示意图，发电机和发电机升压变压器串联情况下，此公式是有效的。

最终的失步电流低于 $t=0$ 时的初始失步电流，因为它基于发电机、变压器和系统的时间常数而降低。

对于图46所示的电站单线图，当发电机在失步状态之前处于空载时，失步电流可用下述公式近似计算（见图D.4）。

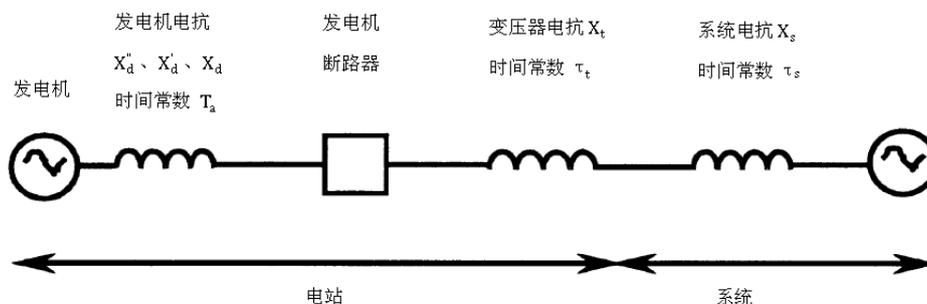


图 D.4 电站示意图（如图 46 所示单线图）

$$I_{oph} = \frac{\sqrt{2}U_{oph}S_{rG}}{\sqrt{3}U_{rG}^2} \left\{ \left[\left(\frac{1}{x''_d + x_s + x_t} - \frac{1}{x'_d + x_s + x_t} \right) e^{-t/\tau''} + \left(\frac{1}{x'_d + x_s + x_t} - \frac{1}{x_d + x_s + x_t} \right) e^{-t/\tau'} + \frac{1}{x_d + x_s + x_t} \right] \cos(\omega t) \right\} \\ - \frac{\sqrt{2}U_{oph}S_{rG}}{\sqrt{3}U_{rG}^2} \left(\frac{1}{x''_d + x_s + x_t} \right) e^{-t/\tau}$$

式中：

$$\tau'' = \tau''_{d0} \left(\frac{x''_d + x_s + x_t}{x'_d + x_s + x_t} \right) = \tau''_d \left(\frac{x'_d}{x''_d} \times \frac{x''_d + x_s + x_t}{x'_d + x_s + x_t} \right), \left[\tau''_{d0} \cong \tau''_d \left(\frac{x'_d}{x''_d} \right) \right]$$

$$\tau' = \tau'_{d0} \left(\frac{x'_d + x_s + x_t}{x_d + x_s + x_t} \right) = \tau'_d \left(\frac{x_d}{x'_d} \times \frac{x'_d + x_s + x_t}{x_d + x_s + x_t} \right), \left[\tau'_{d0} \cong \tau'_d \left(\frac{x_d}{x'_d} \right) \right]$$

$$\tau = \frac{x''_d + x_s + x_t}{\frac{x''_d}{\tau_a} + \frac{x_s}{\tau_s} + \frac{x_t}{\tau_t}} = \frac{x''_d + x_s + x_t}{\frac{x''_d}{\tau_a} + x_s \times \frac{\omega}{(X/R)_s} + x_t \times \frac{\omega}{(X/R)_t}}$$

U_{oph} ——失步电压，等于 $\delta \times$ 发电机同步前的运行电压；

δ ——失步系数，等于同步前发电机断路器断口间电压的有效值与相关发电机运行电压的比值；

电抗 x''_d 、 x'_d 、 x_d 、 x_t 和 x_s ——以发电机MVA为基础的p.u.值；

$\tau_s = (X/R)_s/\omega$ ——高压系统的时间常数；

$\tau_t = (X/R)_t/\omega$ ——升压变压器的时间常数。

对于180°的失步状态， $\delta=2$ 。在这种状态下，在电流产生后，对于具有完全非对称性的这相，加上来自辅助系统的若干百分比成分，一个半波时的电流峰值为234kA。这个电流峰值明显高于190kA的发电机端故障短路电流（根据D4.2的计算）。考虑到机械力以电流的平方增加，这么大的失步电流可能会损坏发电机。因此，宜采用适当的继电保护以避免180°的失步状态。

辅助系统对失步开合电流的成分应根据电站的运行情况加以考虑。

对于90°失步状态， $\delta=\sqrt{2}$ ，一个半波后的失步非对称电流峰值为166kA，它低于发电机端故障的短路电流峰值。

在本例中触头分离时计算的失步电流为51kA。

对于TRV的计算，D.4中的考虑同样适用，对TRV的要求在表5中给出。

失步电流波形的计算应通过正确模拟发电机性能的计算机程序来完成。同步操作有误产生的失步电流会导致电流延时过零，它与发电机端故障（见8.103.9.1）相比完全不同。转子从初始失步角 φ_0 到 $\varphi=0$ 快速运动，当达到 $\varphi=0$ 时，会产生一个非常小的故障电流交流分量和大部分的直流分量。同步操作有误产生的失步电流应包括对同步电机特性的精确描述。 $\varphi=0$ 条件达到的时刻取决于转子的运动。因此，发电机的涡轮机、转子和励磁设备的转动惯量就显得特别重要。图D.5所示为计算机模拟的失步条件下的同步引起的故障电流，本例中的同步发生在当发电机断路器A相（ U_A ）拉开的触头之间的电压为零时。由图D.5可以明显看出，当 $\varphi=0$ （大约为同步后的150ms）时，故障电流的大部分为一个直流分量。

在具有延迟电流过零的故障情况下，发电机断路器必须通过考虑了电弧电压影响的计算来证明其具有强制电流过零的能力。8.103.9.1中描述的程序适用。

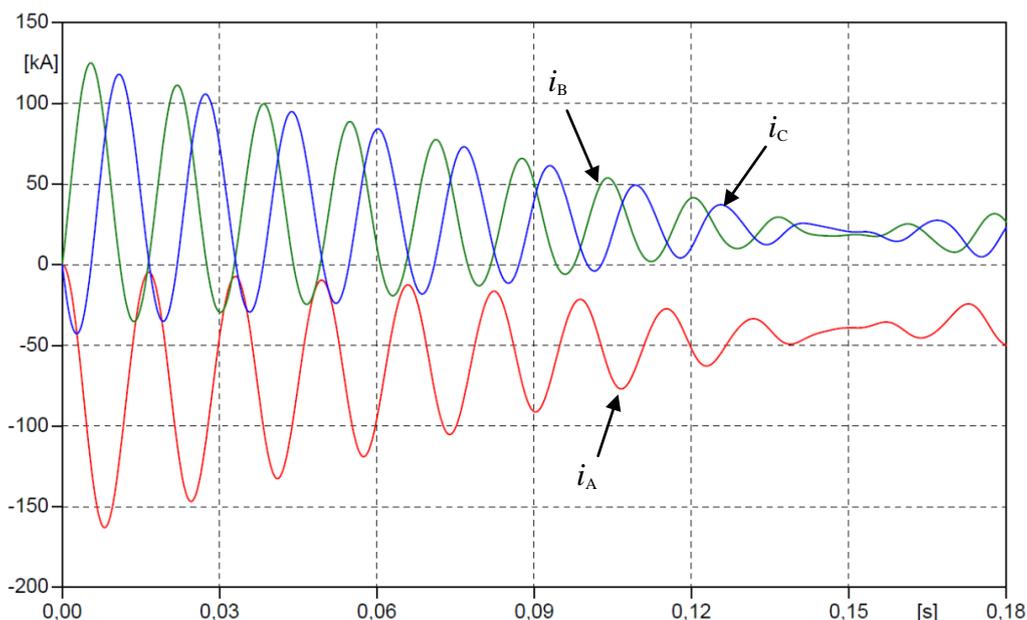


图 D.5 考虑了同步电机转动惯量和在失步条件下同步时的预期故障电流（失步角 $\phi_0=90^\circ$ ；故障起始时 $U_A=0$ ）

D.7 持续电流的应用

额定电压为21 kV的发电机的额定电流如下：

$$588\text{MVA} / (21\sqrt{3}\text{kV}) = 16200\text{A}$$

假定最小运行电压为19.95kV（即 $0.95 \times 21\text{kV}$ ），则发电机断路器能够承载的持续电流的最大有效值如下：

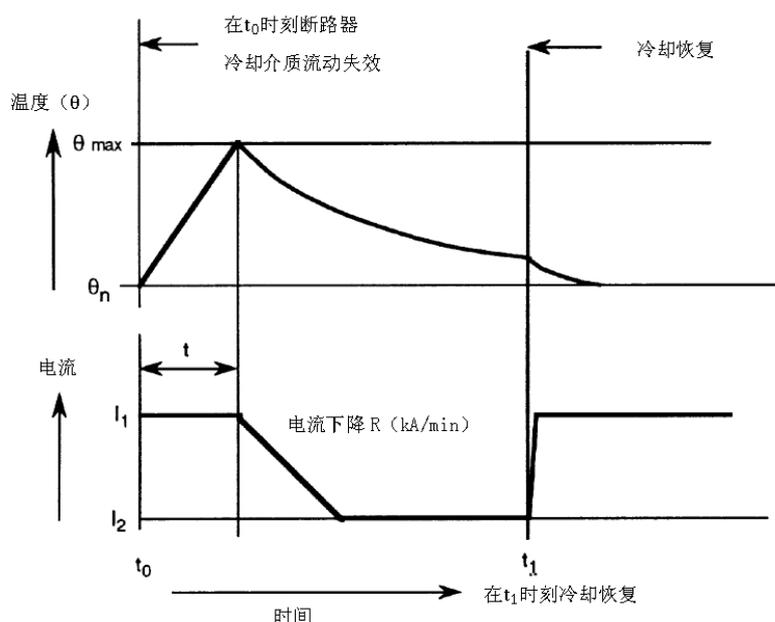
$$588\text{MVA} / (0.95 \times 21 \times \sqrt{3}\text{kV}) = 17020\text{A}$$

本例中的发电机断路器为强迫空气冷却。图E.6解释了当强迫空气冷却失效时，发电机断路器电流额定值的计算程序。

当强迫空气冷却运行时，发电机断路器能够承受发电机的额定电流。如果冷却系统发生失效，则从 t 时刻后开始，电流必须以 R (kA/min) 的下降速率降低，以使断路器的温度不超过最热点允许的总温度 θ_{\max} 。允许的温度受发电机断路器使用的材料的限制（见GB/T 11022—2011的表3），以使发电机断路器的任何部件都不被劣化。

由于电流较低导致的温度下降，并趋向于允许的最热点温度 θ_n 。在 t_1 时刻冷却恢复，并且电流增加到发电机的额定电流。因而温度下降到最热点允许的温度 θ_n 。这种事故程序应由制造厂规定。

当冷却系统较为复杂（如发电机断路器采用水冷，而母线管采用强迫空气冷却）时，应采用类似的程序。事故规范应包括在这种情况下对图7所示的每种冷却系统失效的处理程序。



图例：

θ_{\max} ——最热点允许的温度；

θ_n ——在额定电流下最热点允许的温度；

t ——额定电流未减少和温度未超过 θ_{\max} 的允许时间；

I_1 ——额定电流；

I_2 ——在冷却介质流动失效时允许的电流。

图 D.6 冷却介质丧失时发电机断路器的温度和负荷电流

D.8 发电机断路器的电气特性

下面是本例中选择的发电机断路器的电气特性：

额定电压	22.05 kV
额定绝缘水平：	额定工频耐受电压 60 kV（有效值）
	额定雷电冲击耐受电压 125 kV（峰值）
额定电流	17020 A
额定关合电流	321 kA
额定系统源短路开断电流	
	交流分量有效值 116.4kA
	非对称度 61.3%

以下电气参数是用D.4和D.6中的公式估算得出的。

发电机源短路开断电流	
	交流分量有效值 53.2 kA
	非对称度 110.1%
失步开断电流	
	交流分量有效值 51.0 kA
	非对称度 89.4%

为了选择合适的发电机断路器，最准确的计算需要通过运行计算机程序模拟发电机的特性。D.6(见图D.5)中最后模拟的结果考虑了同步机的惯性，结果如下：

失步开断电流

发电机侧电压即升压变的低压侧滞后系统电压

交流分量有效值 37.9 kA

非对称度 120.6%

发电机侧电压即升压变的低压侧超前系统电压

交流分量有效值 34.9kA

非对称度 128.3%

从上述结果可以看出，失步故障电流的交流分量的减少导致触头分离时的非对称度高于100%，并因此导致电流延迟过零。尤其与发电机侧电压超前系统电压的情况下相比，在发电机侧电压滞后系统电压的情况下，故障电流的交流分量更高。另一方面，与发电机侧电压滞后系统电压的情况下相比，在发电机侧电压超前系统电压的情况下，非对称度更高。

附录 E

(资料性附录)

发电机断路器通过屏蔽电缆连接升压变压器—对于系统源故障增加电容对 TRV 要求的影响示例

发电机断路器在系统源故障条件下对预期瞬态恢复电压 (TRV) 的要求见表 2。它们都是以升压变压器通过母线与发电机断路器连接的假设条件为基础。虽然这种假设在许多应用中是正确的,但在一些较小规模的安装条件下也存在通过屏蔽电缆连接的情况。Dufournet 和 Montillet^[5]描述了一种确定由屏蔽电缆增加的电容对 TRV 影响的方法,该 TRV 是发电机断路器试图切除从非有效接地源馈送的三相故障电流时所承受的,这种方法说明把变压器连接到发电机断路器的屏蔽电缆所增加的电容对 TRV 有两种显著影响,如下:

- a) 恢复电压上升率 (RRRV) 或“TRV 上升率”降低;
- b) TRV 峰值 (在图 E. 2 和图 E. 4 中称为 u_c) 增大。

这些影响的重要性可以通过以下四幅图来说明:

- 图 E.1 显示了对 TRV 上升率的影响,这与开合额定容量为 65.5 MVA~100 MVA 的故障变压器相关。
- 图 E.2 显示了对 TRV 峰值 (u_c) 的影响,这与开合额定容量为 65.5 MVA~100 MVA 的故障变压器相关。
- 图 E.3 显示了对 TRV 上升率的影响,这与开合额定容量为 10 MVA~50 MVA 的故障变压器相关。
- 图 E.4 显示了对 TRV 峰值 (u_c) 的影响,这与开合额定容量为 10 MVA~50 MVA 的故障变压器相关。

这些计算说明了一种评估与电缆连接相关的电容效应的方法。某些其他假设,如变压器短路阻抗为 14%,虽然与本文档中的其他说明性计算一致,但并不是要完全代表所有应用。用户应仔细考虑特定回路的所有参数,并在考虑回路实际参数的基础上确定合适的 TRV 值。

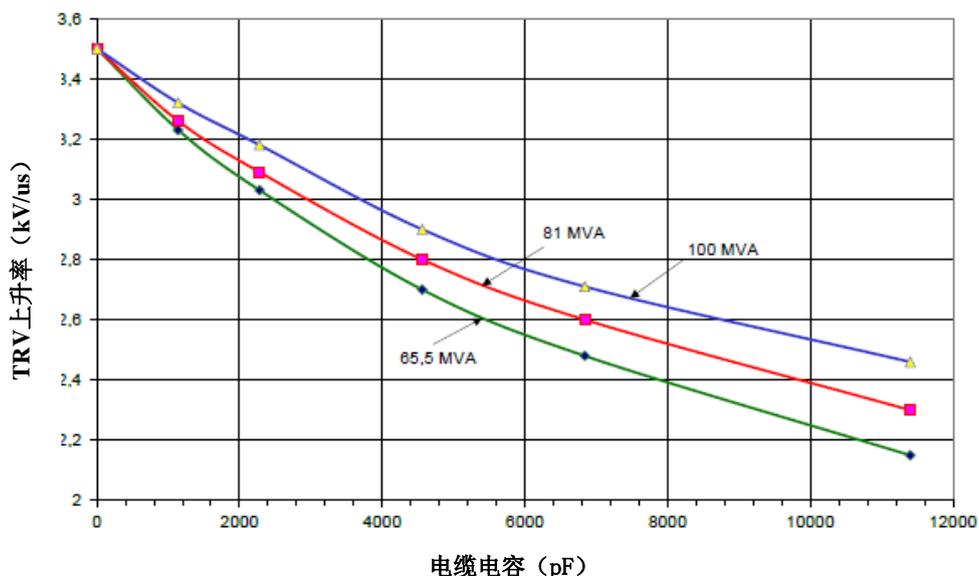


图 E.1 系统源故障的 TRV 上升率：额定容量为 65.5 MVA~100 MVA 的变压器

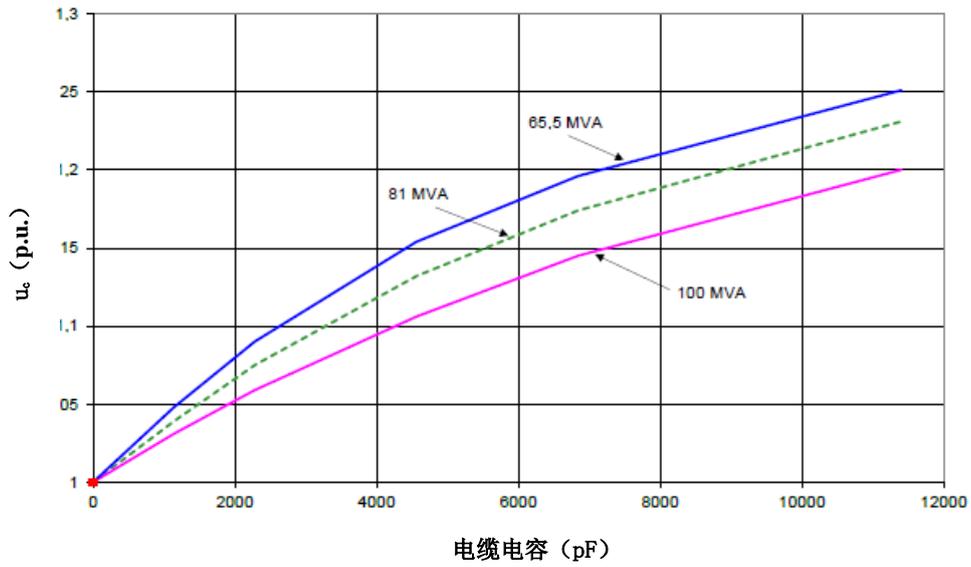


图 E.2 系统源故障的 TRV 峰值 (u_c) 倍数：额定容量为 65.5 MVA~100 MVA 的变压器

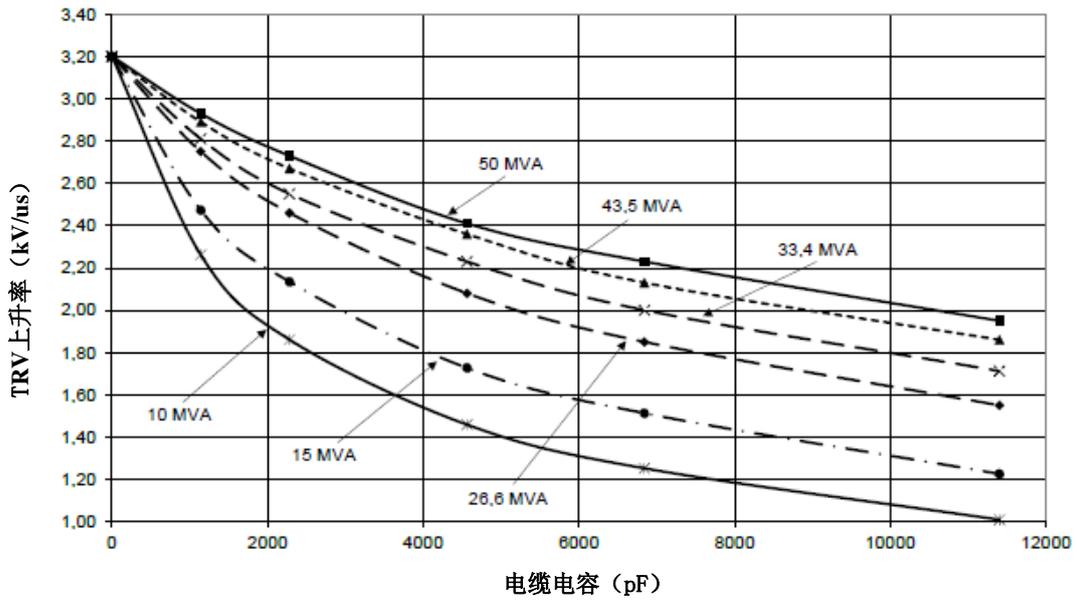


图 E.3 系统源故障的 TRV 上升率：额定容量为 10 MVA~50 MVA 的变压器

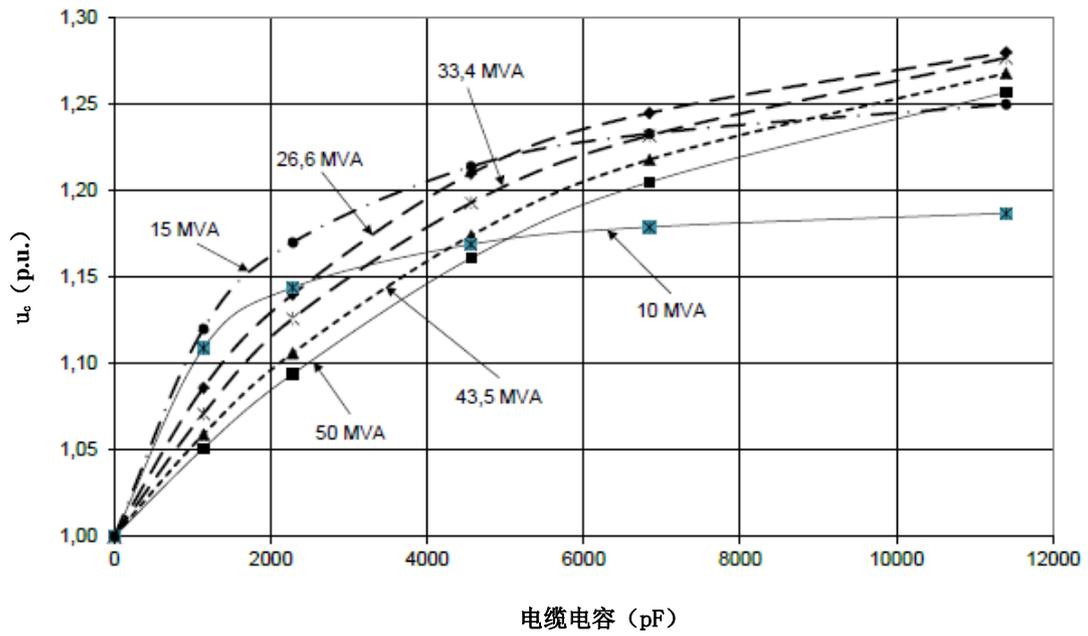


图 E.4 系统源故障的 TRV 峰值 (u_c) 倍数：额定容量为 10 MVA~50 MVA 的变压器

附录 F

(资料性附录)

发电机源短路开断电流非对称度的确定

电流非对称度定义为某一时刻由电流波形包络线确定的直流分量与交流分量峰值的比值（见 3.7.126）。发电机源短路电流的交流分量比直流分量衰减得快。交流分量的衰减是由发电机的次瞬态和瞬态时间常数决定的，而直流分量的衰减是由电枢时间常数决定的。因此，触头分离时直流分量要比交流分量的峰值高。在这种情况下，故障电流的非对称度高于100%，从而导致电流延迟过零。此外，故障发生前发电机是否空载以及输送功率时功率因数是超前还是滞后，都会使发电机源短路电流的交流分量的幅值和非对称度发生变化。如果故障发生时某一相的电压刚好过零，就会导致这一相的故障电流出现最大非对称度。对不同额定值的众多发电机的调查表明：非对称度可以很高，甚至超过130%。

图F.1所示为故障发生在电压零点时发电机源短路电流的典型波形图。起初非对称度随着交流分量的快速衰减而增大，直到达到最大值约为148%，之后当交流分量接近稳态时开始衰减。

在大容量试验站很难再现这样的电流波形图，尤其是交流分量的衰减。此外，电厂中由发电机预加荷载引起的非对称度远高于试验站所能调节的非对称度。因此，为了重现类似于电厂应用中所观察到的开断条件，试验要求将非对称度设置为与触头分离时刻无关的常量。图F.1中的水平点划线表示将非对称度设为130%作为试验方式6A和6B的要求（见表15和16）。

考虑到发电机的各型设计性能不同，试验站可能无法模拟所需电流的波形。因此发电机断路器开断具有延迟电流零点的短路电流的能力应通过计算确定（见8.103.6.3.6.3），并且把来源于有限数量的适当试验的结果考虑在内（见6.105）。

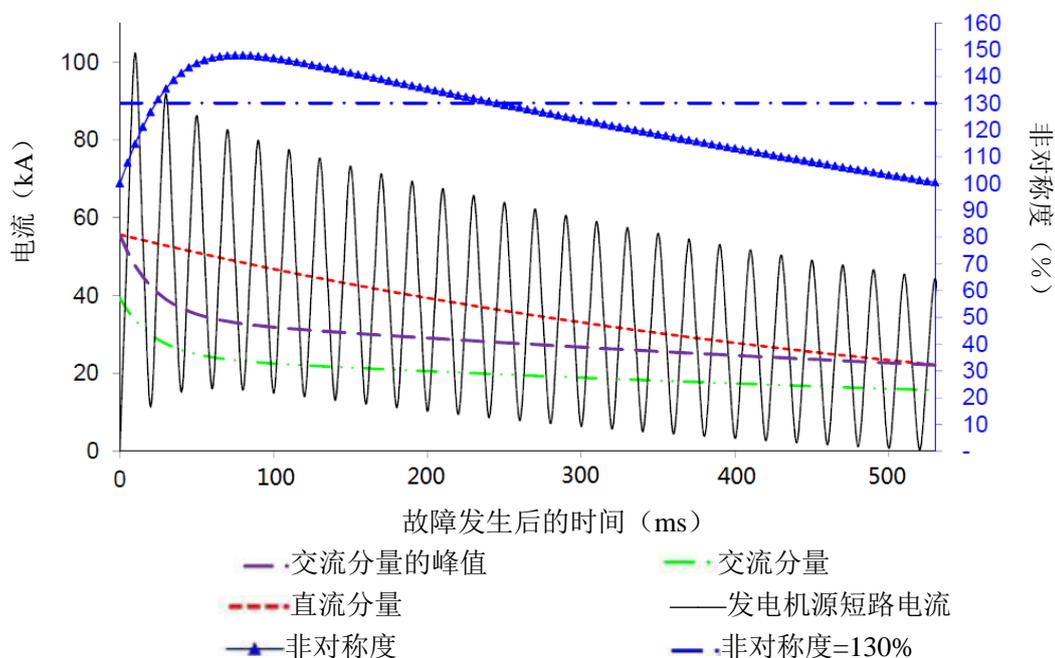


图 F.1 预期的发电机源短路电流（故障发生在电压过零点）

附 录 G
(资料性附录)
三绕组升压变压器条件下的故障

当两台发电机通过三绕组升压变压器连接到高压系统时，应特别注意系统源短路电流。如果在图G.1中的F位置发生三相对地故障，由于受到发电机#2的电流的影响，应由发电机断路器#1开断的系统源短路电流的交流分量和非对称度都会达到非常高的数值。

因为由发电机#2反馈的故障电流交流分量不是常数，所以从发电机断路器#1看到的短路电流的峰值与发电机断路器#1在触头分离时确定的短路开断电流交流分量有效值的比值可能会超过2.74这一标准值。

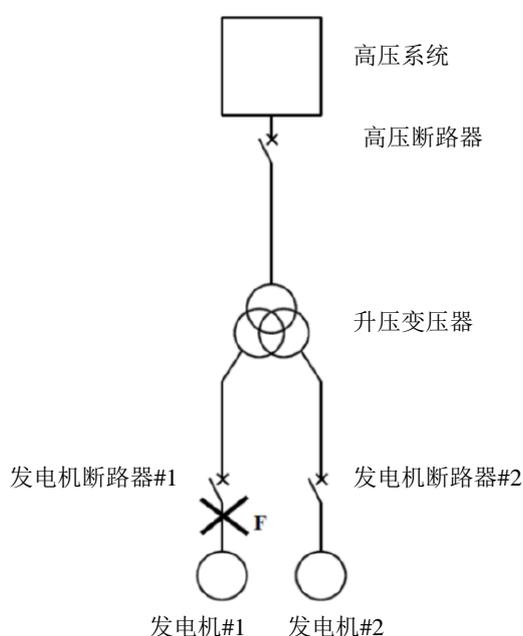


图 G.1 两台发电机通过三绕组升压变压器连接到高压系统的电站单线图

如果在图G.1中的F位置发生三相对地故障，系统源短路在计算时考虑到了发电机断路器#2分闸或合闸的情况，在发电机断路器#2合闸的情况下，应考虑到由发电机断路器#1开断的故障电流会受到发电机#2的影响。假定故障起始发生在某一相的电压零点，引起的短路电流波形如图G.2所示。图中仅绘出具有最大非对称度的那一相的电流，上限和下限波形分别对应于发电机断路器#2合闸和分闸的情况。结果总结在表G.1中。

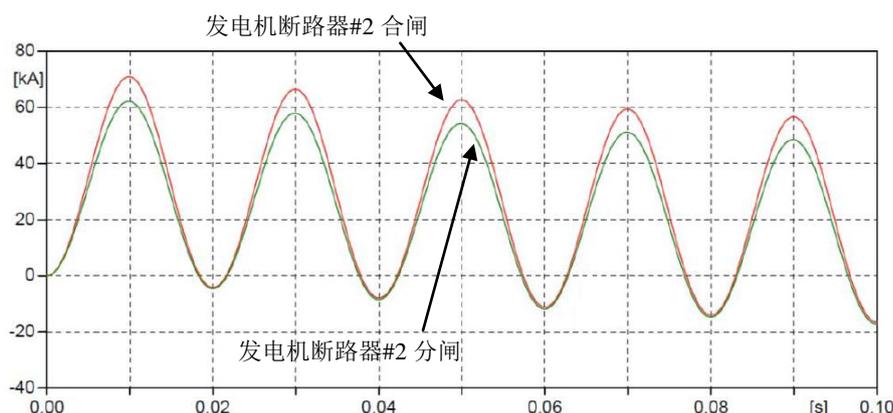


图 G.2 图 G.1 中 F 位置发生三相对地故障时由发电机断路器#1 开断的预期系统源短路电流（仅绘出具有最大非对称度的那一相的电流，故障起始时电压为零）

表 G.1 图 G.1 中 F 位置发生三相对地故障时由发电机断路器#1 开断的预期系统源短路电流比较

术语	发电机断路器#2 处于分闸状态	发电机断路器#2 处于合闸状态
关合电流 (kA)	62.1	70.8
触头预期分离时刻系统源短路电流的交流分量有效值 (kA)	22.7	25.5
触头预期分离时刻系统源短路电流的非对称度	68.5%	73.6%
关合电流与触头预期分离时刻系统源短路电流的交流分量有效值的比值	2.74	2.78

由于发电机#2的附加影响，发电机断路器#2处于合闸状态会使电流幅值升高。由发电机#2反馈的故障电流的特征是具有相对较小的幅值和非常高的非对称度，并且经过几个周波才会遇到自然过零点。这些延迟电流零点有不同的成因，并且与和发电机终端故障及失步故障相关的电流相比较有很大不同。这一电流的波形由一个工频振荡和一个瞬态电流叠加获得，其中瞬态电流过程由回路时间常数决定。瞬态分量包含两个衰减的指数函数：该波形是过阻尼的，因为阻尼部分比振荡部分占优势，如图G.3所示。如果发电机断路器#2必须开断该电流，则强迫电流过零的能力应通过计算的方式验证，在计算时应考虑到发电机断路器的电弧电压对预期短路电流的影响。

如果发电机断路器在能开断电流的时间间隔内（也就是在允许的最长燃弧时间内）能够强迫电流过零，则认为发电机断路器开断给定的具有延迟电流零点的电流的能力得到了验证。

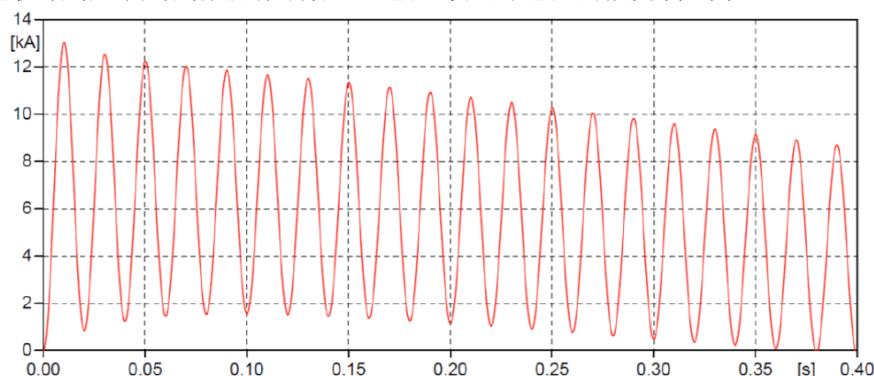


图 G.3 图 G.1 中 F 位置发生三相对地故障时由发电机断路器#2 开断的发电机#2 反馈的预期故障电流（仅绘出具有最大非对称度的那一相的电流，故障起始时电压为零）

附 录 H
(资料性附录)

本标准与 IEC/IEEE 62271-37-013:2015 的章条编号对照

与IEC/IEEE 62271-37-013:2015相比,除了删除GB/T 2900.20-2016和GB/T 11022-2011中已包含且未作任何修改的电气术语和一些常见电气定义外,本标准对IEC/IEEE 62271-37-013:2015部分章条号做了编辑性修改,具体章条编号对照情况见表H.1,删除的术语见表H.2。

表 H.1 本标准与 IEC/IEEE 62271-37-013:2015 的章条编号对照情况

本标准章条编号	对应的IEC/IEEE 62271-37-013:2015章条编号
—	2.1&2.2
—	3.8
4.1	—
4.2	4.1
4.3	4.2
4.4	4.3
4.5	4.4
4.6	4.5
4.7	4.6
4.8	4.7
4.9	4.8
4.10	4.9
4.11	4.10
4.12	4.11
6.101.5	—
—	8.103.10&8.103.11
—	10.4.1~10.4.4
—	11.1~11.6

表 H.2 本标准删除的 IEC/IEEE 62271-37-013:2015 术语对应的条目

GB/T2900.20-2016	IEC/IEEE 62271-37-013:2015
3.7 短路电流	3.1.102 short circuit current
9.42 (交流机械开关装置的) 复燃	3.1.116 re-ignition (of an a.c. mechanical switching device)
9.43 (交流机械开关装置的) 重击穿	3.1.117 restrike (of an a.c. mechanical switching device)
6.1 开关装置	3.4.101 switching device
6.2 机械开关装置	3.4.102 mechanical switching device
6.26 油断路器	3.4.106 oil circuit-breaker
6.27 真空断路器	3.4.107 vacuum circuit-breaker
6.28 气吹断路器	3.4.108 gas-blast circuit-breaker
6.30 压缩空气断路器	3.4.110 air-blast circuit-breaker

7.2 主回路	3.5.102 main circuit
7.3 控制回路	3.5.103 control circuit
7.4 辅助回路	3.5.104 auxiliary circuit
7.5 触头	3.5.105 contact
7.7 主触头	3.5.106 main contact
7.9 控制触头	3.5.108 control contact
7.10 辅助触头	3.5.109 auxiliary contact
7.11 辅助开关	3.5.110 auxiliary switch
7.12 “a”触头, 关合触头	3.5.111 “a” contact, make contact
7.13 “b”触头, 开断触头	3.5.112 “b” contact, break contact
7.17 脱扣器	3.5.113 release
7.32 灭弧装置	3.5.114 arc control device
7.39 位置指示装置	3.5.115 position indicating device
8.2 操作循环	3.6.103 operating cycle
8.3 操作顺序	3.6.103 operating sequence
8.8 合闸操作	3.6.104 closing operation, C
8.9 分闸操作	3.6.105 opening operation, O
8.15 储能操作	3.6.106 stored energy operation
8.22 合闸位置	3.6.107 closed position
8.23 分闸位置	3.6.108 open position
7.27 并联脱扣器	3.6.110 shunt release
7.30 防跳装置	3.6.111 anti-pumping device
7.31 联锁装置	3.6.112 interlocking device
9.1 (回路的并对开关装置或熔断器而言的) 预期电流	3.7.102 prospective current (of a circuit and with respect to a switching device or a fuse)
9.3 (交流回路的) 预期对称电流	3.7.105 prospective symmetrical current (of an a.c. circuit)
9.4 (交流回路的) 最大预期峰值电流	3.7.106 maximum prospective peak current (of an a.c. circuit)
9.5 (开关装置一极的) 预期关合电流	3.7.107 prospective making current (for a pole of a switching device)
9.6 (开关装置一极的) 预期开断电流	3.7.109 prospective breaking current (for a pole of a switching device)
9.7 (开关装置或熔断器的) 开断电流	3.7.110 breaking current (of a switching device or a fuse)
9.103 短时耐受电流	3.7.114 short-time withstand current
9.104 峰值耐受电流	3.7.115 peak withstand current
9.21 (开关装置的) 外施电压	3.7.116 applied voltage (for a switching device)
9.22 恢复电压	3.7.117 recovery voltage
9.23 瞬态恢复电压	3.7.118 transient recovery voltage (TRV)
9.26 (回路的) 预期瞬态恢复电压	3.7.119 prospective transient recovery voltage (of a circuit)
9.24 工频恢复电压	3.7.120 power frequency recovery voltage
9.27 (机械开关装置的) 电弧电压峰值	3.7.121 peak arc voltage (of a mechanical switching device)
9.28 间距	3.7.122 clearance
9.29 极间距离	3.7.123 clearance between poles
9.30 对地距离	3.7.124 clearance to earth

9.31 触头开距	3.7.125 clearance between open contacts
GB/T 11022-2011	IEC/IEEE 62271-37-013:2015
3.1.2 外绝缘	3.1.109 external insulaiton
3.7.4 非保持破坏性放电	3.1.113 non-sustained disruptive discharge (NSDD)
3.5.10 (螺栓的或等效的) 连接	3.5.116 connection (bolted or equivalent)
3.5.21 端子	3.5.117 terminal
电气常见术语	IEC/IEEE 62271-37-013:2015
功率因数	3.1.108 power factor (of a circuit)
自恢复绝缘	3.1.110 self-restoring insulation
非自恢复绝缘	3.1.111 non-self restoring insulation
破坏性放电	3.1.112disruptive discharge
中性点有效接地系统	3.1.114 effectively earthed neutral system
中性点非有效接地系统	3.1.115non- effectively earthed neutral system
空气断路器	3.4.105 air circuit-breaker

附 录 I
(资料性附录)

本标准与 IEC/IEEE 62271-37-013:2015 的技术性差异及其原因

表I.1给出了本标准与IEC/IEEE 62271-37-013:2015的技术性差异及其原因。

表 I.1 本标准与 IEC/IEEE 62271-37-013:2015 的技术性差异及其原因

本标准章条编号	技术性差异	原因
全文	时间常数由“133ms”改为“150ms”	根据我国电网实际情况
	M1级发电机断路器操作次数由“1000次”改为“2000次”， M2级发电机断路器操作次数由“3000次”改为“5000次”	根据我国制造和使用部门需求
	删除了与分合闸电阻相关的内容	根据我国实际发电机断路器情况
1.1	适用系统电压范围由“1kV~38kV”改为“3kV~38kV”	根据我国电网实际情况
	额定频率由“50Hz和60Hz”改为“50Hz”	按照我国电网运行频率
3	删除了 GB/T 2900.20-2016和GB/T 11022-2011中已包含且未作任何修改的电气术语和一些常见电气定义	减少重复说明电气术语及定义
3.8	删除了“定义索引”	本标准不需要定义索引
4.8.3	合、分闸装置和辅助、控制回路的额定电源电压：按GB/T 11022-2011的规定	根据我国制造和使用部门需求
4.105.2	时延 t_d 由“等于”改为“不大于”	根据我国实际试验能力
5.8.102	并联脱扣器动作的最低电源电压，根据GB/T11022-2011的5.8的要求，将5.8.102中的“20%”改为“30%”	与 GB/T11022-2011 保持一致
6.2.3	删除模拟失压工况而进行的工频电压试验描述	根据实际情况
6.101.4	噪声水平采用 GB/T 14824-2008 中规定	根据我国电网实际情况
6.101.5	增加了“湿度试验”	根据我国电网实际情况
—	删除了选用导则中励磁开合电流和容性开合电流的内容	第六章未作相应试验规定
8.103.8.4	删除了寿命能力中关于电气寿命的描述	次数未作明确规定

附录 J

(规范性附录)

湿度试验程序

试品应安装在空气流通的试验室中，试验室的温度及湿度应按下面给出的循环：

该循环的一半，试品表面应是湿的，该循环的另一半，试品表面应是干燥的。为此，在试验室内，试验循环由低空气温度 [$T_{min}=(25\pm 3)^{\circ}\text{C}$] 阶段 t_1 和高空气温度 [$T_{max}=(40\pm 2)^{\circ}\text{C}$] 阶段 t_2 组成。两个阶段的时间应相等。对于施加低空气温度的半个循环，雾的产生应予以保持（见图J.1）。

雾产生的开始，原理上与低空气温度阶段同时开始。然而为了加湿具有高的热时间常数的材料的垂直表面，有必要在低空气温度阶段内延迟开始雾的产生。

试验循环的持续时间取决于试品的热特性，并在高温和低温度阶段均应足够长，以使得所有的绝缘表面变湿和干燥。为了达到这些条件，可以向试验室内直接注入蒸汽或将热水以雾状喷入室内；蒸汽或雾状热水供给热量，或者必要时使用加热器，可以使温度从 25°C 上升到 40°C 。把试品放在试验室内进行的第一个循环是为了观察和检查这些条件。

注：高压断路器的低压元件的时间常数通常小于 10 min，图 J.1 中给出的时间间隔的持续时间为 $t_1=10\text{min}$ 、 $t_2=20\text{min}$ 、 $t_3=10\text{min}$ 和 $t_4=20\text{min}$ 。

通过连续的或间断的在试验室每立方米的空间内雾化 $0.2\text{ L/h}\sim 0.4\text{ L/h}$ 的水（电阻特性在下面给出）来获得雾。喷嘴的直径应小于 $10\mu\text{m}$ ；这样的雾可以通过机械喷雾器获得。喷洒的方向应使得试品的表面不被直接喷到。试品上面的顶板不应有水滴落。产生雾的期间，试验室应关闭，不允许有额外的强迫空气流通。

用于产生湿度的水，应是在试验室内收集到的，其电阻率应等于或大于 $100\ \Omega\cdot\text{m}$ ，且既不含盐 (NaCl) 也不含腐蚀性元素。

试验室内空气的温度和相对湿度应在试品附近测量，并应在整个试验期间进行记录。温度下降时，不规定相对湿度的数值，但是，温度保持在 25°C 期间，湿度应在 80% 以上。试验室内的空气应是流通的，以保证试验室内的湿度得以均匀分布。

循环次数应为 350 次。

试验中和试验后，试品的操作特性不应受到影响。辅助和控制回路应能耐受 1500 V 工频电压 1 min。腐蚀的程度（如果有的话），应在试验报告中说明。

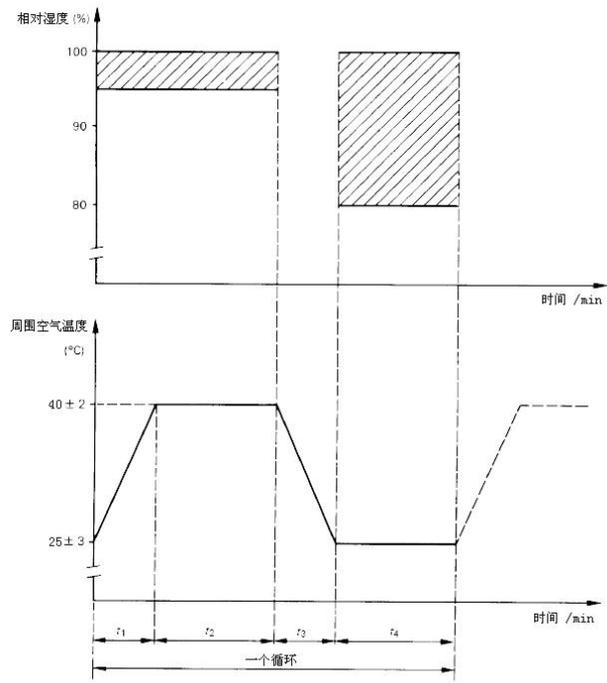


图 J.1 湿度试验

参 考 文 献

- [1] ASME, SEC VIII-1, 07/2011 Section VIII, Division 1, Rules for construction of Pressure Vessels
- [2] CIGRE Electra 113, 1987, pp.43-50: Generator circuit-breaker: Transient recovery voltages in most severe short-circuit conditions
- [3] CIGRE Electra 126, 1989, pp.55-63: Generator circuit-breaker: Transient recovery voltages under load current and out-of-phase conditions
- [4] CIGRE Technical Brochure 39: Guidelines for representation of network elements when calculating transients
- [5] Dufournet, D. and Montillet, G. F.; Transient Recovery Voltage Requirements for System-Source Fault Interrupting by Small Generator Circuit Breakers. IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 17, no. 2, pp. 474-478, April 2002
- [6] IEC 60050-151 :2001 , International Electrotechnical Vocabulary-Part 151:Electrical and magnetic devices
- [7] IEC 60050-601:1985, International Electrotechnical Vocabulary-Chapter 601 Generation, transmission and distribution of electricity - General
- [8] IEC 60050-604:1987, International Electrotechnical Vocabulary-Chapter 604:Generation, transmission and distribution of electricity - Operation
- [9] IEC 60060-2:201 0, High-voltage test techniques - Part 2: Measuring systems
- [10] IEC 60071 -2:1 996, Insulation co-ordination - Part 2: Application guide
- [11] IEC 60255-151:2009, Measuring relays and protection equipment-Part 15/Functional requirements for over/under current protection
- [12] IEC 60376:2005, Specification of technical grade sulphur hexafluoride (SF6) for use in electrical equipment
- [13] IEC 62271-200:201 1, High voltage switchgear and controlgear - Part 200: AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV
- [14] IEEE Std 1TM_2000 (Reaff 2005), IEEE Standard General Principles for Temperature Limits in the Rating of Electrical Equipment and for the Evaluation of Electrical Insulation
- [15] IEEE Std 4TM_2013, IEEE Standard for High Voltage Testing Techniques
- [16] IEEE Std C37.10TM_2011, IEEE Guide for Investigation, Analysis, and Reporting of Power Circuit Breaker Failures
- [17] IEEE Std 119TM_1974, IEEE Recommended Practice for General Principles of Temperature Measurement as Applied to Electrical Apparatus
- [18] IEEE Std C37.04TM-1 999/Cor 1-2009, IEEE Standard Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers
- [19] IEEE Std C37.04bTM_2008, IEEE Standard Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis Amendment 2: To Change the Description of Transient Recovery Voltage for Harmonization with IEC 62271-100
- [20] IEEE Std C37.06TM_2009, IEEE Standard for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis - Preferred Ratings and Related required Capabilities for Voltage above 1 000 V

- [21] IEEE Std C37.09TM_1999 (Reaff 2007), IEEE Standard Test Procedure for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis
- [22] IEEE Std C37.09bTM_2010 IEEE Standard Test Procedure for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis - Amendment 2 To Change the Description of Transient Recovery Voltage for Harmonization with IEC 62271-100
- [23] IEEE Std C37.081TM_1981 (Reaff 2007), IEEE Guide for Synthetic Fault Testing of AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis (ANSI)
- [24] IEEE Std C37.11TM_1997 (Reaff 2003), IEEE Standard Requirements for Electrical Control for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis(ANSI)
- [25] IEEE Std C37.20.2rM_1 999 (Reaff 2005), IEEE Standard for Metal-Clad Switchgear
- [26] I. M. Canay, D. Braun, G. S. Koppl; Delayed current zeros due to out-of-phase synchronizing. IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 13, no. 2, June 1998
- [27] Ruoss, E.M., Kolarik, P. L.; A New IEEE/ANSI Standard for Generator Circuit Breakers. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 10, No .2, April 1995, pp. 811-816
- [28] IEEE Std C37.12.1TM_2007, IEEE Guide for High-Voltage (>1 000 V) Circuit Breaker Instruction Manual Content (ANSI)
- [29] IEEE Std C37.24TM_2003 (Reaff 2008), IEEE Guide for Evaluating the Effect of Solar Radiation on Outdoor Metal-Enclosed Switchgear (ANSI)
- [30] IEC 60068-2-17:1994, Basic environmental testing procedures - Part 2-17: Tests -Test Q: Sealing
- [31] IEC 60137, Insulated bushings for alternating voltages above 1 000 V
- [32] IEC TR 62271-303, High-voltage switchgear and controlgear - Part 303: Use and handling of sulphur hexafluoride (SF6)
- [33] IEC 60059:1 999, IEC standard current ratings
IEC 60059:1999/AMD1:2009
- [34] IEC 62271-4:2013, High-voltage switchgear and controlgear - Part 4: Handling procedures for sulphur hexafluoride (SF6) and its mixtures
-