



中华人民共和国电力行业标准

DL/T 615 — 2013
代替 DL/T 615 — 1997

高压交流断路器参数选用导则

Guide to the selections of characteristic quantities
of HV AC circuit-breakers

2013-11-28 发布

2014-04-01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 使用条件	1
4 额定参数	1
5 断路器主要参数的选定	2
6 断路器的时间参量	8
7 断路器的绝缘特性	12
8 断路器的电寿命	12
9 断路器的机械寿命	13
10 机械行程特性曲线	13
11 合闸电阻的选择	13
12 与断路器的开断和关合特性有关的工况	13
13 断路器的型式试验项目	14
14 与额定短路开断电流相关的瞬态恢复电压	15
15 近区故障	17
16 失步条件下的操作特性	17
17 单相和异相接地故障	17
18 容性开合电流	17
19 SF ₆ 压力容器中的湿度、泄漏率与凝露	19
20 用于低温地区的 SF ₆ 电器设备	20
附录 A (资料性附录) 分闸时间的下限	21
附录 B (资料性附录) 合闸时间的变动范围	22
附录 C (资料性附录) 潜供电弧的自灭特性的推荐值	23
附录 D (资料性附录) 首开极系数	24
附录 E (资料性附录) 低温下 SF ₆ 介质的绝缘强度	25

前 言

本标准是对 DL/T 615—1997《交流高压断路器参数选用导则》的全面修订。

本标准与 DL/T 615—1997 的主要差异如下：

- 增加了断路器的电寿命、断路器的机械寿命、机械行程特性曲线、合闸电阻、单相和异相接地故障等内容；
- 增加了“额定单个电容器组开断电流的选择”；
- 对型式试验项目列出了适用条件；
- 增加了对合一分时间选择的说明和推荐值；
- 按 DL/T 402 修改了合成试验的燃弧时差值；
- 取消了 DL/T 615—1997 正文中的“如何选用 12kV 真空断路器”一章，将“断路器开断电容性电流的推荐值”一章并入“容性开合电流”，将“开断空载变压器”、“关于二次侧短路开断”和“并联开断与发展性故障”三章的有关内容作为加“注”并进入到“断路器的型式试验项目”中。

本标准实施后代替 DL/T 615—1997。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业高压开关设备及直流电源标准化技术委员会归口。

本标准主要起草单位：中国电力科学研究院、国家电网公司华北分部。

本标准参加起草单位：清华大学、中国电力工程顾问集团公司、北京电研华源电力技术有限公司、北京北开电气股份有限公司、新东北电气（沈阳）高压开关有限公司。

本标准主要起草人：王学军、张振乾、孙云生、顾霓鸿。

本标准参加起草人：崔景春、袁大陆、王承玉、徐国政、李淑芳、张重乐、杨钦、杨大锬。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- DL/T 615—1997。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

高压交流断路器参数选用导则

1 范围

本标准规定了额定电压 7.2kV~1100kV、额定频率 50Hz 高压交流断路器参数选用导则，对它的使用环境条件、额定值的选择，试验要点等作出了规定，并给予简要的说明。

本标准适用于对额定电压 7.2kV~1100kV、频率 50Hz 的高压交流断路器的参数选用。

注：本标准不包括发电机断路器的参数选用。

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 311.1—2012 绝缘配合 第 1 部分：定义、原则和规则

GB/T 762—2002 标准电流等级

GB/T 772 高压绝缘子瓷件 技术条件

GB/T 8287 标称电压高于 1000V 系统用户内和户外支柱绝缘子

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

DL/T 402—2007 高压交流断路器订货技术条件

DL/T 593—2006 高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求

3 使用条件

DL/T 593—2006 的第 2 章适用。

对于安装在户内的设备，在正常使用条件下可能出现凝露，在设备选用时应提出凝露条件。由于对户内安装的断路器没有规定污秽等级，但根据近年来的运行经验和预防事故措施要求，DL/T 593 对户内安装的断路器的外绝缘提出了最小爬电比距的要求（见 7.3.2）。

由于目前断路器中电子装置的广泛应用，辅助和控制回路应满足相关标准的抗电磁干扰的要求。

对于户内断路器，正常使用条件下的周围空气温度最高不超过 40℃，最低温度为-5℃、-15℃、-25℃。

对于户外断路器，正常使用条件下的周围空气温度最高不超过 40℃，最低温度为-10℃、-25℃、-30℃、-40℃。

对于使用在周围空气温度超出正常使用条件下的温度范围内的设备，DL/T 593 规定的应优先选用的最低和最高温度的范围为：严寒气候-50℃~+40℃，酷热气候-25℃~+55℃。如果超出此范围的使用条件，如周围空气温度既有严寒气候的低温特征，又有酷热气候的高温特征，应提出特殊要求。

4 额定参数

对于所有断路器都应给出的额定特性：

- a) 额定电压 (U_r)。
- b) 额定绝缘水平。
- c) 额定频率 (f_r)。
- d) 额定电流 (I_r)。
- e) 额定短时耐受电流 (I_k)。

- f) 额定峰值耐受电流 (I_p)。
- g) 额定短路持续时间 (t_k)。
- 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) 额定短路开断电流 (I_{sc})。
- l) 与额定短路开断电流相关的瞬态恢复电压。
- m) 额定短路关合电流。
- n) 额定操作顺序。
- o) 额定时间参量。可以对下列时间参量规定额定值:
 - 1) 分闸时间 (空载);
 - 2) 开断时间;
 - 3) 合闸时间 (空载);
 - 4) 分—合时间 (空载);
 - 5) 重合闸时间 (空载);
 - 6) 合—分时间 (空载);
 - 7) 预插入时间 (空载)。

额定时间参量基于:

- 1) 合闸和分闸机构以及辅助和控制回路的额定电源电压;
- 2) 合闸和分闸机构以及辅助和控制回路的额定电源频率;
- 3) 操作、绝缘和/或开断用压缩气源的额定压力 (适用时);
- 4) 操作用液压源的额定压力;
- 5) 周围空气温度为 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

注 1: 由于燃弧和预击穿时间的分散性, 提出关合时间或关合—开断时间的额定值通常是不现实的。

适用时, 应给出的额定特性:

- a) 与额定短路开断电流相关的近区故障特性, 适用于额定电压 72.5kV 及以上, 额定短路开断电流 12.5kA 及以上, 设计成直接与架空线连接的三极断路器。
- b) 额定线路充电开断电流, 适用于开合架空输电线路的三极断路器 (对于额定电压 72.5kV 及以上的断路器是强制性的)。
- c) 额定电缆充电开断电流, 适用于开合电缆的三极断路器 (对于额定电压 40.5kV 及以下的断路器是强制性的)。

要求时应给出的额定特性:

- a) 额定失步关合和开断电流;
- b) 额定单个电容器组开断电流;
- c) 额定背对背电容器组开断电流;
- d) 额定电容器组关合涌流;
- e) 额定背对背电容器组关合涌流;
- f) 额定小感性电流开断特性, 包括电动机、并联电抗器。

注 2: 断路器的额定特性与额定操作顺序有关。

5 断路器主要参数的选定

5.1 额定电压

额定电压是断路器所在系统的最高电压。断路器在运行中长期承受的电压不得超过其额定值。额定

电压的标准值如下：

- a) 范围 I。额定电压 252kV 及以下：7.2, 12, 24, 40.5, 72.5, 126, 252kV。
- b) 范围 II。额定电压 252kV 以上：363, 550, 800, 1100kV。

5.2 额定电流

额定电流是断路器在规定的使用 and 性能条件下能持续通过的电流的有效值。

额定电流应从 GB/T 762—2002 中规定的 R10 系列中选取。

注 1：R10 系列包括数字 1、1.25、1.6、2、2.5、3.15、4、5、6.3、8 及其与 10^n 的乘积。

注 2：短时工作制和间断工作制的额定电流由制造厂和用户商定。

应注意，断路器没有规定的过载能力，运行中可能出现的任何负荷电流不应超过额定电流。额定电流的选定还应考虑到电网发展的需要。

在 DL/T 593—2006 中虽然规定了温升试验电流提高到 1.1 倍的额定电流，不得将 1.1 倍的额定电流误解为可以持续运行的电流。

5.3 额定短路开断电流

额定短路开断电流是指在标准规定的使用 and 性能条件下，断路器所能开断的最大短路电流。出现这样电流的回路工频恢复电压对应于断路器的额定电压，其瞬态恢复电压等于表 7～表 9 中的标准值。

额定短路开断电流由交流分量有效值和直流分量百分数两个值表征。

如果直流分量不超过 20%，额定短路开断电流仅由交流分量的有效值表征。

直流分量百分数是额定短路开断电流的直流时间常数和短路电流起始瞬间的函数。

触头刚分瞬间的直流分量百分数由下面公式计算：

$$I_{dc}(\%) = 100 \times e^{\frac{-(T_{op} + T_r)}{\tau}} \quad (1)$$

式中：

$I_{dc}(\%)$ ——触头刚分瞬间的直流分量百分数；

T_{op} ——制造厂规定的断路器的最短分闸时间（不能大于产品实测的最短分闸时间）；

T_r ——继电保护时间 0.5 周波，如 50Hz 为 10ms（对于自脱扣断路器， T_r 应设定为 0ms）；

τ ——额定短路电流的直流时间常数（45ms、60ms、75ms 或 120ms）。

注：最短分闸时间是制造厂规定的、能够覆盖所涉及的断路器在任何条件下开断符合本标准的非对称电流（出线端故障试验方式 T100a）时出现的最短分闸时间。

图 1 中给出了在标准时间常数 45ms 和特殊工况下的时间常数 60ms、75ms 和 120ms 时的直流分量和时间的关系曲线。

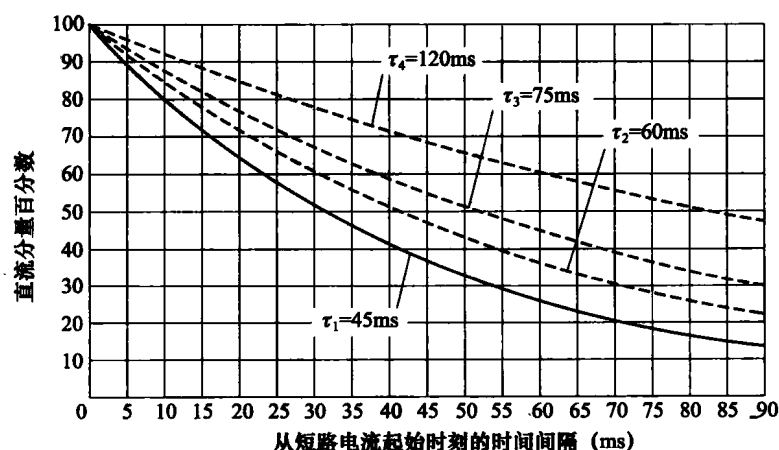


图 1 对于标准时间常数 τ_1 和特殊工况的时间常数 τ_2 、 τ_3 以及 τ_4 ，直流分量的百分数与时间间隔 $(T_{op} + T_r)$ 的关系曲线

特殊工况下的时间常数值是考虑到不同额定电压的特性,例如特定的系统结构、线路设计等,作为特殊系统需要的值。

注 1: 某些特殊用途中可能要求更高的值,如靠近发电机的断路器。在这些情况下,要求的直流分量和附加的试验要求应与制造厂协商。

断路器应能开断直到额定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交流分量相关的直到规定值的任一直流分量百分数。

对于标准断路器,当使用地点电压低于断路器额定电压时,断路器能够开断其额定短路开断电流。额定短路开断电流的交流分量标准值应在 GB/T 762—2002 规定的 R10 系列中选取。

注 2: DL/T 402 中,在铭牌参数中的“额定短路开断电流”是指额定短路开断电流交流分量有效值。

在选择断路器的额定短路开断电流时,既要考虑电网发展的需要,又要考虑短路电流过大对系统稳定和相关设备影响较大,断路器的额定短路开断电流选择不宜过大或过小。

5.4 额定短路关合电流

额定短路关合电流是在额定电压及规定使用性能条件下,断路器能保证正常关合的最大短路(峰值)电流。

具有极间同期性的断路器的额定短路关合电流是与额定电压和额定频率相对应的额定参数。下述值适用:

- a) 对于额定频率为 50Hz 且时间常数标准值为 45ms,额定短路关合电流等于额定短路开断电流交流分量有效值的 2.5 倍;
- b) 对于所有特殊工况的时间常数(60ms、75ms 或 120ms),额定短路关合电流等于额定短路开断电流交流分量有效值的 2.7 倍,与断路器的额定频率无关。

5.5 额定短时耐受电流及额定短路持续时间

额定短时耐受电流等于额定短路开断电流。

额定短路持续时间是断路器在合闸状态下能够承载额定短时耐受电流的时间间隔:

550kV~1100kV 的开关设备和控制设备的额定短路持续时间为 2s;

126kV~363kV 的开关设备和控制设备的额定短路持续时间为 3s;

72.5kV 及以下的开关设备和控制设备的额定短路持续时间为 4s。

如果断路器接在预期开断电流等于额定短路开断电流的回路中,过电流脱扣器整定到最大延时并按照其额定操作顺序进行操作时,断路器能够在相应的开断时间内承载产生的电流,则对于自脱扣断路器不需要规定额定短路持续时间。

注:直接过电流脱扣器包括集成的脱扣装置。

5.6 额定峰值耐受电流

额定峰值耐受电流是断路器在合闸状态下能承载的额定短时耐受电流的第一个大半波的电流峰值。额定峰值耐受电流等于额定短路关合电流。

5.7 额定频率

额定频率的标准值为 50Hz。

5.8 额定绝缘水平

断路器的绝缘包括相对地绝缘、相间绝缘、断路器断口间绝缘、起联络作用的断路器断口间绝缘(即起隔离作用的隔离断口)。

断路器的额定绝缘水平应从表 1 和表 2 给定的数值中选取。

表 1 和表 2 中的耐受电压适用于 GB 311.1 中规定的标准参考大气条件(温度、压力、湿度)。

雷电冲击电压(U_p)、操作冲击电压(U_s)(适用时)和工频电压(U_d)的额定耐受电压值应该在同一个水平标志线的行中选取。额定绝缘水平用相对地额定雷电冲击耐受电压来表示。

大多数的额定电压都有几个额定绝缘水平,以便用于性能指标或过电压特性不同的系统。选取额定

绝缘水平时,应考虑设备受快波前和缓波前过电压作用的程度、系统中性点的接地方式和过电压限制装置的类型。

表 1 中的通用值适用于相对地、相间和断路器断口。隔离断口的耐受电压值只对某些断路器有效,这些断路器的触头开距按对隔离开关规定的安全要求设计。

表 1 额定电压范围 I 的额定绝缘水平

额定电压 U_r kV (有效值)	额定工频短时耐受电压 U_d kV (有效值)		额定雷电冲击耐受电压 U_p kV (峰值)	
	通用值	隔离断口	通用值	隔离断口
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
7.2	30/23	34/27	60/40	70/46
12	42/30	48/36	75/60	85/70
24	65/50	79/64	125/95	145/115
40.5	95/80	118/103	185/170	215/200
72.5	140	180	325	385
	160	200	350	410
126	185	$185 \left(+ \frac{50}{70} \right)$	450	$450 \left(+ \frac{70}{100} \right)$
	230	$230 \left(+ \frac{50}{70} \right)$	550	$550 \left(+ \frac{70}{100} \right)$
252	395	$395 \left(+ \frac{100}{145} \right)$	950	$950 \left(+ \frac{140}{200} \right)$
	460	$460 \left(+ \frac{100}{145} \right)$	1050	$1050 \left(+ \frac{140}{200} \right)$

注 1: 根据我国电力系统的实际,本表中的额定绝缘水平与 IEC 62271-1 表 1a 的额定绝缘水平不完全相同。

注 2: 本表中栏 (2) 和栏 (4) 的数值取自 GB 311.1—2012, 斜线下的数值为中性点接地系统使用的数值, 栏 (2) 和栏 (3) 斜线下的数值亦为湿试时的数值。

注 3: 126kV 和 252kV 栏 (3) 中括号内的数值分别为 $0.7U_r/\sqrt{3}$ 和 $1.0U_r/\sqrt{3}$, 是加在对侧端子上的工频电压有效值; 栏 (5) 中括号内的数值分别为 $0.7U_r\sqrt{2}$ 和 $1.0U_r\sqrt{2}$, 是加在对侧端子上的工频电压峰值。括号内的数值用户可根据需要选用。

注 4: 隔离断口是指起联络作用或作为热备用的断路器的断口。

表 2 额定电压范围 II 的额定绝缘水平

额定电压 U_r kV (有效值)	额定短时工频耐受电压 U_d kV (有效值)		额定操作冲击耐受电压 U_s kV (峰值)			额定雷电冲击耐受电压 U_p kV (峰值)	
	相对地 及相间	断路器断口 及隔离断口	相对地	相间	断路器断口 及隔离断口	相对地 及相间	断路器断口 及隔离断口
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
363	460	$460 \left(+ \frac{150}{210} \right)$	850	1275	800 (+295)	1050	$1050 \left(+ \frac{205}{295} \right)$
	510	$510 \left(+ \frac{150}{210} \right)$	950	1425	850 (+295)	1175	$1175 \left(+ \frac{205}{295} \right)$

表 2 (续)

额定电压 U_r kV (有效值)	额定短时工频耐受电压 U_d kV (有效值)		额定操作冲击耐受电压 U_o kV (峰值)			额定雷电冲击耐受电压 U_p kV (峰值)	
	相对地 及相间	断路器断口 及隔离断口	相对地	相间	断路器断口 及隔离断口	相对地 及相间	断路器断口 及隔离断口
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
550	680	$680 \left(+ \begin{smallmatrix} 220 \\ 315 \end{smallmatrix} \right)$	1175	1760	1050(+450)	1550	$1550 \left(+ \begin{smallmatrix} 315 \\ 450 \end{smallmatrix} \right)$
	740	$740 \left(+ \begin{smallmatrix} 220 \\ 315 \end{smallmatrix} \right)$	1300	1950	1175(+450)	1675	$1675 \left(+ \begin{smallmatrix} 315 \\ 450 \end{smallmatrix} \right)$
800	900	$900 \left(+ \begin{smallmatrix} 320 \\ 460 \end{smallmatrix} \right)$	1425	2420	1175(+650)	1950	$1950 \left(+ \begin{smallmatrix} 455 \\ 650 \end{smallmatrix} \right)$
	960	$960 \left(+ \begin{smallmatrix} 320 \\ 460 \end{smallmatrix} \right)$	1550	2480	1300(+650)	2100	$2100 \left(+ \begin{smallmatrix} 455 \\ 650 \end{smallmatrix} \right)$
1100	1100	$1100 \left(+ \begin{smallmatrix} 445 \\ 635 \end{smallmatrix} \right)$	1800	2700	1675(+900)	2400	$2400 \left(+ \begin{smallmatrix} 630 \\ 900 \end{smallmatrix} \right)$
注 1: 根据我国电力系统的实际, 本表中的额定绝缘水平与 IEC 62271-1 表 2a 的额定绝缘水平不完全相同。 注 2: 本表中栏 (2)、栏 (4)、栏 (5)、栏 (6) 和栏 (7) 根据 GB 311.1—2012 的数值提出。 注 3: 本表中栏 (3) 括号内的数值分别为 $0.7U_r/\sqrt{3}$ 和 $1.0U_r/\sqrt{3}$, 是加在对侧端子上的工频电压有效值; 栏 (6) 括号内的数值为 $1.0U_r\sqrt{\frac{2}{3}}$, 是加在对侧端子上的工频电压峰值; 栏 (8) 括号内的数值分别为 $0.7U_r\sqrt{\frac{2}{3}}$ 和 $1.0U_r\sqrt{\frac{2}{3}}$, 是加在对侧端子上的工频电压峰值。 注 4: 本表中 1100kV 的数值是根据我国电力系统的需要而选定的数值。							

对于用在两个系统联络的断路器, 断口间施加表 1 中栏 (3) 和栏 (5) 规定的隔离断口的额定工频耐受电压和额定雷电冲击耐受电压。对于额定电压等于或大于 363kV 的断路器, 开关装置断口间的额定工频耐受电压和额定操作冲击耐受电压在表 2 的栏 (3) 和栏 (6) 中分别给出。

注: 如果所要求的绝缘水平超过其额定值, 则应采取限制过电压的措施, 或使用额定电压更高的断路器。

如果对单相容性电流开合试验规定的试验电压系数为 1.4, 则断路器断口间的绝缘可能不够。在这种情况下, 开关装置断口间的额定短时工频耐受电压应提高到 $2.8 U_r/\sqrt{3}$ 。

5.9 额定操作顺序

断路器两种可供选择的额定操作顺序:

a) O—t—CO—t'—CO。除非另有规定, 否则 $t=3\text{min}$ (不用于快速自动重合闸的断路器) 或 $t=0.3\text{s}$ [用于快速自动重合闸的断路器 (无电流时间)]; $t'=3\text{min}$ 。

注: 除了 $t'=3\text{min}$ 外, $t'=15\text{s}$ 和 $t'=1\text{min}$ 也可用于快速自动重合闸的断路器。

b) CO—t''—CO。其中, $t''=15\text{s}$ (不用于快速自动重合闸的断路器)。

说明:

O 表示一次分闸操作;

CO 表示一次合闸操作后立即 (即无任何故意的时延) 进行分闸操作;

t、t' 和 t'' 是连续操作之间的时间间隔;

t、t' 应以分钟或秒表示;

t'' 应以秒表示。

如果无电流时间是可调的，应规定调整的极限。

5.10 合闸和分闸装置以及辅助回路的额定电源电压

额定电源电压应从表 3 和表 4 给出的标准值中选取。

表 3 直 流 电 压

直流电压 V	
110	220

表 4 交 流 电 压

三相三线或四线制系统 V	单相三线制系统 V	单相二线制系统 V
— 220/380 230/400	110/220 — —	110 220 230
注 1：第一栏中的较低值是对中性点的电压，较高值是相间电压。第二栏中的较低值是对中性点的电压，较高值是线间电压。 注 2：230/400V 将是唯一的标准值，并推荐在新的系统中采用，现有的 220/380V 系统的电压变化应当限制在 230/400V ±10% 的范围内，在下阶段的标准化工作中将考虑缩小这一范围。 注 3：保护和测量用互感器的二次电压不受本标准的约束。		

5.11 合闸和分闸装置以及辅助回路的额定电源频率

额定电源频率的标准值为直流或交流 50Hz。

5.12 额定电压、额定短路开断电流及额定电流的配合

断路器优先采用的额定电压、额定短路开断电流及额定电流配合的优选值列于表 5 中。

表 5 额定电压、额定短路开断电流及额定电流配合的优选值

额定电压 kV	额定短路开断 电流 kA	额定电流 A											
7.2	16		630		1250	1600							
	20		630		1250	1600							
	25		630		1250	1600		2500					
	31.5		630		1250	1600		2500	3150				
	40		630		1250	1600		2500	3150	4000			
12	16		630		1250	1600							
	20		630		1250	1600							
	25		630		1250	1600		2500					
	31.5				1250	1600		2500	3150				
	40				1250	1600		2500	3150	4000			
	50				1250	1600		2500	3150	4000			
24	16		630		1250								
	25				1250	1600		2500					
	31.5					1600		2500					
	40					1600		2500		4000			
40.5	16		630		1250	1600							
	25				1250	1600		2500					
	31.5					1600		2500	3150				
	40					1600		2500		4000			

表 5 (续)

额定电压 kV	额定短路开断 电流 kA	额定电流 A											
72.5	25				1250	1600	2000						
	31.5 40				1250	1600 1600	2000 2000	2500 2500	3150 3150	4000			
126	31.5					1600	2000	2500	3150				
	40					1600	2000	2500	3150	4000			
252	40						2000	2500	3150	4000			
	50 63						2000	2500	3150	4000	5000		
363	50								3150	4000			
	63										5000		
550	50								3150	4000	5000		
	63								3150	4000	5000		
800	50									4000	5000	6300	
	63									4000	5000	6300	
1100	50									4000	5000	6300	8000
	63									4000	5000	6300	8000

6 断路器的时间参量

6.1 分闸时间

断路器的分闸时间是按下述脱扣方法并把构成断路器一部分的任何时延装置调整到它的最小整定值来定义的：

- a) 对于用任何形式辅助动力脱扣的断路器，分闸时间是指处于合闸位置的断路器，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。
- b) 对于自脱扣断路器，分闸时间是指处于合闸位置的断路器，从主回路电流达到过电流脱扣器的动作值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：对于每极装有多多个开断单元的断路器，所有各极弧触头分离时刻是指最后一极的首开单元弧触头分离的时刻。

注 3：分闸时间包括断路器分闸必需的并与断路器构成一个整体的任何辅助设备的动作时间。

制造厂应给出分闸时间的上、下限值，在运行中的分闸时间不得超过其规定值的上、下限值（参见附录 A）。

6.2 开断时间

断路器的开断时间是指机械开关装置分闸时间起始时刻到燃弧时间终止时刻的时间间隔。

额定开断时间是指在额定操作电压下施加分闸命令，直到最后灭弧为止之间的时间间隔，它一般等于分闸时间与燃弧时间之和。

在出线端故障试验方式 T30、T60 和 T100s 中，断路器在其额定辅助电源电压和频率以及气源或液源的额定压力、周围空气温度为 20℃±5℃ 下操作时，测定的最长开断时间不应超过额定开断时间。

注 1：按照 DL/T 402—2007 的 6.102.3.1 的规定，除了 T100a 以外，基本短路试验方式应在操作作用和/或开断用的最低电压和/或压力下进行。为了验证这些方式时的额定开断时间，考虑到最低辅助电源电压和压力，记录到的最长开断时间应按下述方法进行修正：

$$t_b \geq t_1 - (t_2 - t_3)$$

式中:

t_b ——额定开断时间;

t_1 ——试验方式 T30、T60 和 T100s 时记录到的最长开断时间;

t_2 ——按照试验方式 T30、T60 和 T100s 所采用的辅助电源电压和/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。

如果按该方法确定的开断时间超过额定开断时间,则具有最长开断时间的试验方式应在辅助电源电压和频率以及开断和/或操作压力的额定值下重复进行。

注 2: 单相试验模拟三相操作时,记录到的开断时间,按照注 1 进行修正后可能会超出额定开断时间 0.1 个周波 (2ms)。这是因为,在这种情况下,电流零点出现的频次比三相试验时的低。

注 3: 试验方式 T100s 中的关合—开断操作时的开断时间超出额定开断时间的部分不应大于工频半个周波 (10ms)。

6.3 合闸时间

处于分闸位置的断路器,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: 合闸时间包括断路器合闸必需的并与断路器构成一个整体的任何辅助设备的动作时间。

制造厂应给出合闸时间的上、下限值。合闸时间的时限应能满足重合闸无电流间隙期的时间配合关系 (参见附录 B)。

6.4 分—合时间

分—合时间是指所有极弧触头分离时刻到重合闸过程中的第一极触头接触时刻的时间间隔。

12kV 及以上断路器的无电流时间为 0.3s 及以上,并可调。

如果是单相重合闸,分—合时间应与潜供电弧的自灭特性相配合 (参见附录 C)。

6.5 合—分时间

合—分时间是指合分操作中,从合闸操作的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。这个时间过去曾称之为金属短接时间,它是断路器动、静触头在重合闸过程中的第一个“合”开始机械性接触起,直到重合闸第二个“分”又机械性地脱离接触止之间的时间间隔,它代表重合又再分时动、静触处于接通的时间区段。

注 1: 除非另有说明,即认为关合过程中断路器的分闸脱扣器在第一极中的触头接触时刻就带电。这表示最短合—分时间。

由于断路器合—分时间加长时,对系统稳定性起着不利影响,而合—分时间过短又不利于断路器重合闸时第二个“分”的可靠开断能力,因此合—分时间应该有个范围,制造厂应给出断路器合—分时间的上下限,用户应对断路器在规定的最小合—分时间下的额定短路开断能力给予关注。

注 2: 验证断路器在最小合—分时间下的额定短路开断能力的试验方法,DL/T 402 正在考虑中。

6.6 预插入时间

合闸操作过程中,任一极合闸电阻单元中的触头接触时刻到该极主开断单元的触头接触时刻的时间间隔。

注: 对具有串联开断单元的断路器,预插入时间定义为合闸电阻单元中的最后触头接触时刻到主开断单元中触头最后接触时刻的时间间隔。

6.7 燃弧时间与燃弧时差

50Hz 交流电弧每 10ms 有一个过零点,交流电弧在电流过零瞬间灭弧,实现开断。在开断过程中每相出现电弧的时间区段叫燃弧时间,但是燃弧时间的长短却是变动的,它受下列诸因素的影响:

- 灭弧时刻是在电流过零时刻,但起弧时间可以是在半波中的任一瞬间;
- 三相电路中,三相的起弧瞬间与三相电流过零瞬间的相互关系;
- 三相电路中,断路器是首开极灭弧,还是第二、第三开断极灭弧,这又与系统的中性点接地方式有关 (中性点接地系统还是中性点不接地系统);
- 每相中在指定开断电流下 (何种方式) 的最短燃弧时间;

——断路器的三极分闸不同期，及其不同期的可能组合方式；

——开断电流中的直流分量，它影响到电流过零点，从而影响到各极中的燃弧时间。

为保证系统安全运行，系统要求断路器在上述燃弧时间中的最长燃弧时间下应能可靠灭弧。另外，从结构上说，断路器在开断某一短路故障时，有一个固有的能可靠灭弧的最短燃弧时间，二者之差即为燃弧时差。

在各种试验方式的试验中获得的断路器成功开断的最长燃弧时间与最短燃弧时间之差应等于或大于要求的燃弧时差。

在采用单相试验代替三相试验时，各种试验方式和系统条件下的燃弧时间的要求和试验步骤，按下述规定进行：

a) 接地系统以外的系统。

1) 试验方式 T10、T30、T60、T100s、T100s (b)、OP1 和 OP2。

第一次有效开断操作，应验证在尽可能短的燃弧时间时的开断，所产生的燃弧时间被称为最短燃弧时间 $t_{\text{arc min}}$ 。它可以通过这样的方法获得：触头分离相对于电流零点增加任一额外时延后，可导致在下一个零点开断。这个最短燃弧时间可以通过改变脱扣脉冲的整定[步长大约 18° ($d\alpha$)]来获得。

第二次有效开断操作，应验证在最长燃弧时间 $t_{\text{arc max}}$ 下的开断性能。要求的最长燃弧时间为：

$$t_{\text{arc max}} \geq t_{\text{arc min}} + 7.33\text{ms}$$

这一燃弧时间通常可以通过比第一次有效开断操作的脱扣脉冲的整定提前至少 $(150^\circ - d\alpha)$ 来获得。

第三次有效开断操作，应验证在燃弧时间近似等于第一次和第二次有效开断操作燃弧时间的平均值时的开断。该燃弧时间称为中燃弧时间 $t_{\text{arc med}}$ 并由下式确定：

$$t_{\text{arc med}} = (t_{\text{arc max}} + t_{\text{arc min}}) / 2$$

第三次有效开断操作的脱扣脉冲应比第二次开断操作延迟大约 75° ($\pm 18^\circ$)。

2) 试验方式 T100a。

第一次有效开断操作，应验证在尽可能短的燃弧时间且在小半波末的开断，所产生的燃弧时间被称为最短燃弧时间 $t_{\text{arc min}}$ 。它可以通过这样的方法获得：触头分离相对于电流零点增加任一额外时延后，可导致在下一个电流零点（大半波末的）开断。该最短燃弧时间可以通过步长为 18° ($d\alpha$) 来改变脱扣脉冲的整定获得。

第二次有效开断操作，应验证在最长燃弧时间 $t_{\text{arc max}}$ 下的开断性能。要求的最长燃弧时间为：

$$t_{\text{arc max}} \geq t_{\text{arc min}} + \Delta t_1 - 2.67\text{ms}$$

式中的时间间隔 Δt_1 是表 6 中给出的大半波的持续时间。

表 6 与短路试验方式 T100a 相关的频率为 50Hz 时燃弧期间的电流峰值和电流半波持续时间

	分闸时间 ms	$\tau=45\text{ms}$		$\tau=60\text{ms}$		$\tau=75\text{ms}$		$\tau=120\text{ms}$	
		$\hat{i}$ (p.u.)	Δt_1 (ms)	$\hat{i}$ (p.u.)	Δt_1 (ms)	$\hat{i}$ (p.u.)	Δt_1 (ms)	$\hat{i}$ (p.u.)	Δt_1 (ms)
大半波	$t \leq 12.5$	1.51	13.5	1.61	14.0	1.67	15.0	1.78	15.5
	$12.5 < t \leq 33.0$	1.33	12.5	1.44	13.0	1.51	13.5	1.66	14.5
	$33.0 < t \leq 53.5$	1.21	11.5	1.31	12.0	1.39	12.5	1.56	14.0

表 6 (续)

	分闸时间 ms	$\tau=45\text{ms}$		$\tau=60\text{ms}$		$\tau=75\text{ms}$		$\tau=120\text{ms}$	
		$\hat{i}$ (p.u.)	Δt_2 (ms)	$\hat{i}$ (p.u.)	Δt_2 (ms)	$\hat{i}$ (p.u.)	Δt_2 (ms)	$\hat{i}$ (p.u.)	Δt_2 (ms)
小半波	$t \leq 12.5$	0.36	5.5	0.28	5.0	0.23	4.5	0.16	3.5
	$12.5 < t \leq 33.0$	0.59	7.0	0.49	7.0	0.41	6.0	0.28	5.0
	$33.0 < t \leq 53.5$	0.74	8.5	0.63	8.0	0.55	6.5	0.40	6.0

$\hat{i}$: 与短路电流峰值相关的峰值电流的标么值。
 Δt_1 : 大半波的持续时间 (圆整到 0.5ms)。
 Δt_2 : 小半波的持续时间 (圆整到 0.5ms)。
 τ : 系统回路的时间常数。
 表中的所有数值都是根据继电保护时间为 10ms 计算的。
 注: 按照 DL/T 402—2007 中 4.101.2 的规定, 系统回路的时间常数 $\tau=45\text{ms}$ 是标准的时间常数, $\tau=60\text{ms}$ 、 75ms 和 120ms 是特殊工况的时间常数。

开断应发生在大半波末或要求的大半波末未能开断而在随后的小半波末。如果断路器在要求的大半波末未开断而在随后的小半波末开断, 则要求的最长燃弧时间应该延长表 6 给出的适当的小半波的持续时间 Δt_2 。

第三次开断操作应在燃弧时间近似等于第一次和第二次有效开断操作燃弧时间的平均值时进行。该燃弧时间被称为中燃弧时间 $t_{\text{arc med}}$, 并由下式确定:

$$t_{\text{arc med}} = (t_{\text{arc max}} + t_{\text{arc min}}) / 2$$

本次开断应出现在大半波末或断路器在要求的大半波末未开断时而在随后的小半波末。

第三次有效开断操作的脱扣脉冲应比第二次开断操作延迟, 以便获得该燃弧时间。

b) 中性点接地系统 (包括近区故障试验)。

1) 试验方式 T10、T30、T60、T100s、T100s (b)、OP1、OP2、L90、L75 和 L60。

获得三次有效开断操作的程序和中性点不接地系统所述的一样, 并做如下修正。

要求的最长燃弧时间应为:

$$t_{\text{arc max}} \geq t_{\text{arc min}} + 9\text{ms}$$

该燃弧时间通常可以通过比第一次有效开断操作的脱扣脉冲至少提前 $(180^\circ - d\alpha)$ 来获得。

第三次有效开断操作, 应验证燃弧时间近似等于第一次和第二次有效开断操作的燃弧时间的平均值时的开断。该燃弧时间由下式确定:

$$t_{\text{arc med}} = (t_{\text{arc max}} + t_{\text{arc min}}) / 2$$

第三次有效开断操作可由比第二次有效开断操作的脱扣脉冲滞后 $90^\circ (\pm 18^\circ)$ 来获得。

2) 试验方式 T100a。

获得三次有效开断操作的试验程序和中性点不接地系统所述的一样, 并做如下修正。

要求的最长燃弧时间应为:

$$t_{\text{arc max}} \geq t_{\text{arc min}} + \Delta t_1 - 1\text{ms}$$

其中 Δt_1 在表 6 中给出。

6.8 分、合闸操作时的极间同期性要求

如果对极间同期操作没有规定特别的要求, 合闸时触头接触时刻的最大差异不应超过 5ms。

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 3ms。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 2ms。

断路器在其所规定的操作电（液、气）压变化范围内应保证所规定的同期性。

注：对于分极式断路器，如各极的动作条件相同，则本要求适用；单极重合闸操作后，三个机构的动作条件可能会不同。

7 断路器的绝缘特性

7.1 断路器的绝缘配合

断路器的绝缘配合如表 1、表 2 所示。

7.2 外绝缘耐受电压试验方法

冲击试验应按照 GB/T 16927.1—2011 中适合开关设备和控制设备的自恢复和非自恢复绝缘的试验程序 B 进行。

如果满足下述条件，则开关设备和控制设备通过了试验：

- 每个试验系列不少于 15 次；
- 非自恢复绝缘没有发生破坏性放电；
- 对自恢复绝缘在每个完整的试验系列中发生破坏性放电的次数不超过 2 次，而且要验证最后一次破坏性放电之后连续 5 次冲击耐受不发生破坏性放电。因此，这个程序可能会导致最多为 25 次的冲击试验。

7.3 爬电距离

DL/T 593—2006 的 5.14 适用。

8 断路器的电寿命

8.1 E1 级断路器（具有基本的电寿命的断路器）

一种不属于 E2 级断路器范畴内的具有基本的电寿命的断路器。

8.2 E2 级断路器（具有延长的电寿命的断路器）

在其预期的使用寿命期间，主回路中开断用的零件不要维修，其他零件只需很少的维修。

注：很少的维修是指润滑，如果适用时，补充气体以及清洁外表面。

8.2.1 E2 级断路器电寿命试验方法

E2 级断路器电寿命试验方法如下：

- a) 额定电压 $\leq 40.5\text{kV}$ ，用于无自动重合闸方式的 E2 级断路器，进行从试验方式 T10 到 T100a 全部系列的试验，且不做中间维修；
- b) 额定电压 $\leq 40.5\text{kV}$ ，用于自动重合闸方式的 E2 级断路器，按 DL/T 402—2007 表 21a 或表 21b 规定的操作顺序和次数做电寿命试验，且不做中间维修；
- c) 额定电压 $\geq 72.5\text{kV}$ ，用于自动重合闸方式的 E2 级断路器按 DL/T 402—2007 表 21b 或 21c 规定的操作顺序和次数做电寿命试验，且不做中间维修。

8.2.2 按额定短路开断电流开断次数考核的电寿命

按 DL/T 402—2007 表 21b 规定进行额定短路开断电流电寿命试验的次数：

- a) 额定短路开断电流为 20kA 及以下时，其开断次数由下列数值中选取：(16)、(20)、30、50、75、100 次；
- b) 额定短路开断电流为 25kA～31.5kA 时，其开断次数由下列数值中选取：(12)、(16)、20、30、50、75、100 次；
- c) 额定短路开断电流为 40kA～63kA 时，其开断次数由下列数值中选取：8、12、16、20 次。

注：括号内数值仅适用于 SF₆ 断路器。

8.2.3 电寿命的选择

按 8.2.1 中试验方法 a) 考核的电寿命的断路器，通常用于电缆连接、不需要重合闸方式的网络中。

按 8.2.1 中试验方法 b) 和 c) 考核电寿命的断路器, 用于严酷的使用条件, 如与架空线连接的有重合闸方式的网络中。

9 断路器的机械寿命

M1 级标准断路器 (基本的机械寿命): 2000 次、5000 次操作;

M2 级特殊使用要求的断路器 (延长的机械寿命): 10 000 次、20 000 次、30 000 次操作。

10 机械行程特性曲线

断路器的机械行程特性曲线表征了断路器的机械性能。型式试验前, 应建立参考的机械行程特性曲线, 产品在出厂试验时和现场交接试验时应记录机械行程特性曲线, 并与参考的机械行程特性曲线对比。

11 合闸电阻的选择

11.1 合闸电阻阻值一般每相 $400\Omega \sim 600\Omega$, 偏差范围为标称值的 $\pm 5\%$ 。

11.2 合闸电阻的提前接入时间一般为 $8\text{ms} \sim 11\text{ms}$ 。

11.3 合闸电阻的热容量: 在 1.3 倍额定相电压下合闸 4 次, 前两次之间的时间间隔为 3min, 后两次之间的时间间隔为 3min; 前后两组试验之间的时间间隔不超过 30min。或在 2~2.5 倍额定相电压下合闸两次, 其间的的时间间隔为 30min。

对于 363kV 及以上的线路断路器, 是否需要带有合闸电阻, 应该根据详细的系统过电压的计算校核的结果来确定。

12 与断路器的开断和关合特性有关的工况

12.1 故障电流

有关工况如下:

- a) 出线端短路故障;
- b) 异相接地故障;
- c) 近区故障;
- d) 失步状态;
- e) 并联开断;
- f) 发展性故障;
- g) 开断变压器二次侧短路电流 (由一次侧开断)。

12.2 电容性电流

有关工况如下:

- a) 空载架空线路;
- b) 空载电缆;
- c) 电容器组 (单个电容器组、背对背电容器组)。

12.3 小电感电流

有关工况如下:

- a) 感应电动机;
- b) 并联电抗器;
- c) 空载变压器。

要按照断路器的预期工况来选定断路器。一种型号的断路器无法同时满足上述所有要求。

13 断路器的型式试验项目

断路器的型式试验项目如下：

- a) 绝缘试验。
 - 1) 1min 工频耐压试验；
 - 2) 雷电冲击耐压试验；
 - 3) 操作冲击耐压试验；
 - 4) 人工污秽试验；
 - 5) 凝露试验 ($U_r \leq 40.5\text{kV}$ 的户内断路器)；
 - 6) 局部放电试验；
 - 7) 辅助和控制回路的 1min 工频耐压试验。
- b) 机械试验。
 - 1) 常温下的机械操作试验；
 - 2) 端子静负载试验 ($U_r \geq 40.5\text{kV}$ 的户外断路器)。
- c) 主回路电阻测量。
- d) 温升试验。
- e) 短时耐受电流试验和峰值耐受电流试验。
- f) 短路电流开断与关合试验。
- g) 其他条件下的开断与关合试验。
 - 1) 近区故障条件下的开合试验 ($U_r \geq 72.5\text{kV}$ 和 $I_{sc} > 12.5\text{kA}$)；
 - 2) 失步条件下的开合试验 (规定失步额定值)；
 - 3) 单相接地条件下的开合试验 (接地系统)；
 - 4) 异相接地条件下的开合试验 (不接地系统)；
 - 5) 电寿命试验 (规定 E2 级额定值)；
 - 6) 临界电流的开合试验 (具有临界电流值)。
- h) 容性电流开合试验 [规定相关额定值和等级 (C1 或 C2)]。
 - 1) 线路充电电流开合试验 ($U_r \geq 72.5\text{kV}$)；
 - 2) 电缆充电电流开合试验 ($U_r \leq 40.5\text{kV}$)；
 - 3) 单个电容器开合试验；
 - 4) 背对背电容器组开合试验。
- i) 小电感电流的开合试验。
 - 1) 开合并联电抗器的试验；
 - 2) 空载、起动、制动时电动机的开合试验。
- j) 无线电干扰电压测试 ($U_r \geq 126\text{kV}$)。
- k) 防护等级的检验防护等级验证 (规定 IP 等级)。
- l) 电磁兼容 (EMC) 试验。
- m) 辅助回路和控制回路的附加试验。
- n) 环境试验。
 - 1) 高、低温试验 (规定温度等级)；
 - 2) 湿度试验 (承受电压作用和凝露的绝缘)；
 - 3) 淋雨试验 (户外断路器)；
 - 4) 验证严重覆冰条件下的操作试验 (覆冰厚度 10mm/20mm 的户外断路器)；
 - 5) 密封试验 (存在封闭的绝缘系统)；

- 6) 耐地震试验 ($U_r \geq 252\text{kV}$);
 7) 噪声水平测试 ($U_r \geq 126\text{kV}$)。

上述试验项目后带括号的内容为该项目的适用条件, 具体试验方法见 DL/T 402—2007 第 6 章的相关规定。

注 1: 除油断路器外, 对其他类型的断路器取消并联开断、发展性故障以及开断空载变压器的试验。

注 2: 各电压等级免去在试验室条件下进行开、合空载变压器的试验。如有要求, 可结合现场投产时进行开、合空载变压器的试验。

注 3: 某些断路器在一定条件下应具有“二次侧短路开断”能力。

14 与额定短路开断电流相关的瞬态恢复电压

与额定短路开断电流相关的瞬态恢复电压 (TRV) 是一种参考电压, 它构成了断路器在故障条件下应能承受的回路预期瞬态恢复电压的极限值。

额定电压 72.5kV 及以下的三极断路器, TRV 标准值用两参数表示, 其值在表 7 中给出。

额定电压 126kV 及以上的断路器, TRV 标准值用四参数表示。表 8 中给出额定电压 126kV 接地系统和不接地系统断路器的标准值。表 9 中给出额定电压 252kV 及以上接地系统断路器的标准值。

这些表中还给出了上升率的值, 用 u_c/t_3 和 u_1/t_1 表示, 分别对应于两参数和四参数, 与 TRV 的峰值 u_c 一起就可确定 TRV。

首开极系数是指断路器在开断三相对称电流时, 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。

首开极系数与系统中性点接地方式密切相关。对中性点接地系统, 首开极系数为 1.3; 对中性不接地系统, 首开极系数为 1.5 (参见附录 D)。

表 7 额定电压 72.5kV 及以下用两参数表示的瞬态恢复电压标准值^a

额定电压 U_r kV	试验的类型	首开极系数 k_{pp} p.u.	振幅系数 k_{ar} p.u.	TRV 峰值 u_c kV	时间 t_3 μs	时延 t_d μs	电压 u' kV	时间 t' μs	RRRV ^b u_c/t_3 kV/ μs
7.2	出线端故障	1.5	1.4	12.3	51	8	4.1	25	0.24
	失步	2.5	1.25	18.4	102	15	6.1	49	0.18
12	出线端故障	1.5	1.4	20.6	61	9	6.9	29	0.34
	失步	2.5	1.25	30.6	118	18	10	56	0.26
24	出线端故障	1.5	1.4	41	87	13	14	43	0.47
	失步	2.5	1.25	61	174	26	20	83	0.35
40.5	出线端故障	1.5	1.4	69.5	114	17	23.2	55	0.61
	失步	2.5	1.25	103	225	34	34.5	111	0.46
72.5	出线端故障	1.5	1.4	124	165	8	41	63	0.75
	近区故障	1	1.4	83	166	8	28	64	0.50
	失步	2.5	1.25	185	336	50	62	163	0.55

^a 近区故障时为电源侧的瞬态恢复电压和时间参数。

^b RRRV 为恢复电压的上升率。

表 8 额定电压 126kV 接地系统和不接地系统用四参数表示的瞬态恢复电压标准值^a

额定电压 U_r kV	试验的类型	首开极系数 k_{pp} p.u.	振幅系数 k_{af} p.u.	第一参考电压 u_1 kV	时间 t_1 μs	TRV 峰值 u_c kV	时间 t_2 μs	时延 t_d μs	电压 u' kV	时间 t' μs	RRRV ^b u_1/t_1 kV/ μs
126	出线端故障	1.3	1.4	100	50	187	200	2	50	27	2.0
		1.5	1.4	116	58	216	231	2	58	31	2.0
	近区故障	1	1.4	77	38	144	152	2	38	21	2.0
	失步	2	1.25	154	100	258	400	10	77	60	1.54
		• 2.5	1.25	193	115	321	460	11	96	70	1.67

^a 近区故障时为电源侧的瞬态恢复电压和时间参数。

^b RRRV 为恢复电压的上升率。

表 9 额定电压 252kV 及以上接地系统用四参数表示的瞬态恢复电压标准值^a

额定电压 U_r kV	试验的类型	首开极系数 k_{pp} p.u.	振幅系数 k_{af} p.u.	第一参考电压 u_1 kV	时间 t_1 μs	TRV 峰值 u_c kV	时间 t_2 μs	时延 t_d μs	电压 u' kV	时间 t' μs	RRRV ^b u_1/t_1 kV/ μs
252	出线端故障	1.3	1.4	201	100	375	400	2	100	52	2.0
	近区故障	1	1.4	154	77	288	308	2	77	40	2.0
	失步	2	1.25	309	201	515	802	20	154	120	1.54
363	出线端故障	1.3	1.4	289	144	539	576	2	144	74	2.0
	近区故障	1	1.4	222	111	414	444	2	111	57	2.0
	失步	2	1.25	445	288	741	1152	29	222	173	1.54
550	出线端故障	1.3	1.4	438	219	817	876	2	219	111	2.0
	近区故障	1	1.4	337	168	629	672	2	168	86	2.0
	失步	2	1.25	674	438	1123	1752	44	337	263	1.54
800	出线端故障	1.3	1.4	637	318	1189	1272	2	318	161	2.0
	近区故障	1	1.4	490	245	914	980	2	245	124	2.0
	失步	2	1.25	980	636	1633	2544	64	490	382	1.54
1100	出线端故障	1.3	1.4	876	438	1635	1752	2	438	221	2.0
	近区故障	1	1.4	674	337	1257	1348	2	337	170	2.0
	失步	2	1.25	1347	875	2245	3500	87	674	525	1.54
^a 近区故障时为电源侧的瞬态恢复电压和时间参数。 ^b RRRV 为恢复电压的上升率。											

15 近区故障

近区故障性能是选用断路器的必备条件之一。电压 72.5kV 及以上, 额定短路开断电流 12.5kA 以上, 并与架空线路直接相连的断路器都应具有近区故障开断能力。开断电流值分为额定短路开断电流的 90%、75%、60% 三级, 对应的试验方式分别为 L90、L75、L60。每一试验方式由额定操作顺序组成。为了便于试验, 合闸操作可以是空载操作。

注: 仅当试验方式 L75 中的最短燃弧时间长于试验方式 L90 中的最短燃弧时间四分之一周波或更多时, 试验方式 L60 才是强制性的。

16 失步条件下的操作特性

失步条件下的试验要求:

- a) 额定失步开断电流为额定短路开断电流值的 25%。
- b) 外施电压和工频恢复电压:
 - 1) 用于中性点接地系统中的断路器, 单相试验时为 $2U_f/\sqrt{3}$;
 - 2) 用于中性点不接地系统中的断路器, 单相试验时为 $2.5U_f/\sqrt{3}$ 。

17 单相和异相接地故障

断路器应能开断出现在下述两种情况下的单相短路电流:

- 中性点接地系统中的单相故障;
- 中性点不接地系统中的异相接地故障, 即接地故障出现在不同的相, 一个点在断路器的一侧, 另一个点在断路器的另一侧。

根据使用断路器的系统的中性点接地条件、断路器操动机构的设计 (单极或三极操作), 以及试验方式 T100s 进行的是单相试验还是三相试验来确定是否有必要进行附加的单相试验。

- a) 用于中性点接地系统中的三极共操动机构的断路器, 如果试验方式 T100s 进行的是三相试验, 则需要在 100% 额定开断电流和 $U_f/\sqrt{3}$ 下进行附加的单相试验。如果试验方式 T100s 进行的是单相试验, 在三极共操动机构的情况下被试极为边极, 则不需要进行附加的单相试验, 否则需要在 100% 额定开断电流和 $U_f/\sqrt{3}$ 下进行单相试验。
- b) 用于中性点不接地系统中的断路器, 需要在 87% 额定开断电流和 U_f 下进行附加的单相试验。

18 容性开合电流

18.1 用于容性电流开合的断路器的额定值

用于容性电流开合的断路器的额定值如下:

- 额定线路充电开断电流;
- 额定电缆充电开断电流;
- 额定单个电容器组开断电流;
- 额定背对背电容器组开断电流;
- 额定单个电容器组关合涌流;
- 额定背对背电容器组关合涌流。

表 10 中给出了额定容性开合电流的优选值。

根据断路器的重击穿性能, 可以把其分成两级:

- C1 级: 容性电流开断过程中低的重击穿概率;
- C2 级: 容性电流开断过程中非常低的重击穿概率。

表 10 额定容性开合电流的优选值

额定电压 U_r (kV, 有效值)	线路	电缆	单个电容器组	背对背电容器组		
	额定线路充 电开断电流 I_l (A, 有效值)	额定电缆充 电开断电流 I_c (A, 有效值)	额定单个电容器 组开断电流 I_{sb} (A, 有效值)	额定背对背电容器 组开断电流 I_{bb} (A, 有效值)	额定背对背电容 器组关合涌流 I_{bi} (kA, 峰值)	涌流的 频率 f_{bi} (Hz)
7.2	10	10	400	400	20	4250
12	10	25	见表 11	400	20	4250
24	10	31.5	400	400	20	4250
40.5	10	50	400	400	20	4250
72.5	10	125	400	400	20	4250
126	31.5	140	400	400	20	4250
252	125	250	400	400	20	4250
363	315	355	400	400	20	4250
550	500	500	400	400	20	4250
800	900	900				
1100	1200	1200				

注 1: 选择本表中给出的数值是出于标准化的目的。
注 2: 对于实际工况, 涌流可以按照 DL/T 402—2007 的附录 H 计算。
注 3: 如果做了背对背电容器组开合试验, 就不要要求做单个电容器组开合试验。
注 4: 根据系统条件 (如是否使用了限流电抗器), 涌流的频率和涌流的峰值可能会高于或低于表 10 中的优选值。

18.2 额定单个电容器组开断电流的选择

额定电容器组电流和额定电容器开断电流是不同的。额定电容器组电流是指电容器组在额定运行电压下的电流值。额定单个电容器组开断电流指断路器所能开断各种工况下的电容器电流, 选择时应考虑到以下几个因素:

- a) 电容器组电容量偏差 (可达 10%);
- b) 运行电压高于电容器的额定电压 (1.1 倍额定电压);
- c) 谐波的影响 (引起电容电流的增加约大于 30%电容器组额定电流)。

同时考虑以上三个因素, 运行电流可达电容器组额定电流 I_c 的 1.57 倍, 取中间值, 则断路器的额定单个电容器组开断电流应取电容器组额定电流的 1.5 倍。

同时断路器应能开断电容器的单相故障, 单相击穿会使完好相电容器电压升到线电压, 完好相电容器电流增大为 1.73 倍, 故障相可达 3 倍电容器组的额定电流。

额定单个电容器组的开断电流、电容器组的额定电流 I_c 和开断电容器组单相故障时的容性故障电流的配合见表 11。

表 11 额定单个电容器组开断电流的配合

序号	试验项目	电流 A					
		200	400	630	800	1000	1250
1	额定单个电容器组的开断电流	200	400	630	800	1000	1250
2	电容器组的额定电流 I_c	133	267	425 (460)	530 (590)	636 (740)	818 (925)

表 11 (续)

序号	试验项目	电流 A					
		400	800	1280 (1380)	1600 (1770)	1900 (2200)	2450 (2780)
3	开断一相电容器组击穿时的容性故障电流						
注：括号内数值为配合值上限，序号 1 为序号 2 的 1.5 倍。							

19 SF₆ 压力容器中的湿度、泄漏率与凝露

为提供完整的资料，本章包括了全部 SF₆ 开关设备的要求。

19.1 容器的条件

SF₆ 压力容器中的湿度、泄漏率与凝露与下列条件有关：

- a) 气室有无产生电弧的可能。
- b) 与产生电弧的气室在气路上相连的气室按哪一种气室对待与联通的方式有关。按照国内现有结构而论，与 FA 型断路器相似的以导气管、小自封接头、逆止阀等直接联通的装置可视为“不相连”，除此之外，视为“连通”的。
- c) 设备是运行中，还是交接时。
- d) 测量湿度的周围空气温度。应以 20℃ 下的数值作为标准规定值，在其他的周围空气温度下测得的数据在对比时应折算到 20℃。
- e) 确定湿度标准时考虑的因素是：对有电弧作用的气室是毒性物质的生成量和按 -10℃ 时水蒸气含量不致饱和进行计算；对没有电弧作用的气室是适应在气温为 0℃ 时容器内不致产生凝露。为了适应运行中的变化量（水汽在大气条件作用下将通过缝隙逐渐渗入 SF₆ 容器内），还要考虑数年、十余年的运行期，视设备类型而异。
- f) 在计算湿度变化过程时，可将容器内外的 SF₆ 与水蒸气按理想气体对待，它们的运动规律互不相干（这样计算的结果比较安全）。
- g) 有没有足够的吸附剂。
- h) 地域区分。在中国地理条件下将全国大致分为两类区域：
区域 1 包括华东、华南、华中和西南；
区域 2 包括华北、东北和西北。
- i) SF₆ 容器中的湿度标准值（20℃ 时）见表 12。

表 12 SF₆ 容器中的湿度标准值（20℃ 时）

作用	允许值 $\frac{\mu L}{L}$	是否有电弧作用	
		产生电弧的气室	不产生电弧的气室
交接验收值		150	500
运行中允许值		300	1000

19.2 充 SF₆、N₂ 等充气设备年泄漏率允许值

充 SF₆、N₂ 等充气设备年泄漏率允许值如下：

- a) 在额定工作气压下的 SF₆ GIS、断路器，SF₆ 气体年泄漏率不得大于 0.5%。

b) 充 SF₆ 开关柜年泄漏率不得大于 2%，充 SF₆ 环网柜的年泄漏率不得大于 1%。

c) 充 N₂ 柜的年气体泄漏率（新品和运行中）不得大于 2%。

对上述设备应按其技术条件要求测定其泄漏率。

充 SF₆ 的设备在现场测试年泄漏率时，可采用局部包扎法，即将法兰接口等外侧用塑料膜包扎后历时 5h 以上，根据膜内 SF₆ 含量核算，也可采用其他方法。

20 用于低温地区的 SF₆ 电器设备

在低温地区，SF₆ 可能液化，从而降低了其余仍处在气态下的 SF₆ 分压力，也就影响到它的绝缘和开断与关合性能。

在低温地区使用的 SF₆ 电器设备可选用以下方案：

a) 将装置装在室内，采暖或对装置本体加热。

b) 降低 SF₆ 的工作压力。

c) 混合气体（目前主要是混入 N₂ 或空气）。

低温对 SF₆ 电器设备绝缘能力的影响参见附录 E。

附 录 A
(资料性附录)
分 闸 时 间 的 下 限

如不规定分闸时间下限值,难于确定它所应开断的直流分量值(试验方式 T100a)。例如,只规定分闸时间不大于 0.05s,在型式试验中的调整分闸时间正好是 0.05s,开断时的直流分量调整为 25%左右(按 DL/T 402—2007 图 9, $\tau = 45\text{ms}$),这种试验是合格的。但是,在运行中,断路器的分闸时间有时甚至短于 0.05s,例如 0.03s,此时的直流分量可达 40%,而这在型式试验中并未考核到。因此,在型式试验的开断试验中应按分闸时间允许值下限的直流分量做试验方式 T100a 试验,而在运行中的分闸时间不得超过其规定值的上、下限。

附 录 B
(资料性附录)
合闸时间的变动范围

如果不规定合闸时间的变动范围,难于确定关合试验条件的有效性。例如,只规定合闸时间不大于 0.12s,在型式试验中的合闸时间却被尽量缩短了,此时合闸能力加强,合闸缓冲力加大(断路器的寿命可能会受到影响)。但在运行中的合闸时间可以调整到“不大于 0.12s”,它的合闸能力没有在合闸力较小的情况下受到考验。因此,在型式试验中应将合闸时间调至规定的最大值附近。

附录 C (资料性附录)

潜供电弧的自灭特性的推荐值

下列推荐值适用于 220kV~500kV 各电压等级线路:

- a) 确定潜供电弧的风速范围为 1.5m/s~2.5m/s。
- b) 确定潜供电弧自灭时限的恢复电压梯度 (工频有效值):
 - 1) 无补偿电抗时, 约 10kV/m (一般情况) 或 16.8kV/m (特殊情况)。
 - 2) 有补偿电抗时, 约 8kV/m (一般情况) 或 13.5kV/m (特殊情况)。
- c) 潜供电弧能快速自灭的电流限值:
 - 1) 无补偿时为 12A;
 - 2) 有补偿时为 10, 20, 30A;
 - 3) 快速自灭时限分级为 0.15s 以内和 0.25s 以内。
- d) 系统短路电流持续时间为 0.1s 以下。
- e) 潜供电弧熄灭后的弧道介质恢复时间 (指其弧道绝缘能力恢复到能承受系统重合后的正常系统电压) 为 0.04s 以上, 一般可选为 0.1s。
- f) 为潜供电弧灭弧后的无电流间隙期所留的裕度为 0.1s。
- g) 各电流下的潜供电弧自灭时限推荐值 (概率保证值 90%)。
 - 1) 无补偿时:

恢复电压梯度为 10kV/m 时	12A, 0.1s~0.5s;
	24A, 0.35s~0.56s;
	40A, 0.4s~0.65s;
	50A, 0.53s~0.79s;
	60A, 0.62s~0.97s;
	80A, 0.96s~1.40s。
恢复电压梯度为 16.8kV/m 时	12A, 0.3s~0.5s;
	24A, 0.55s~0.8s;
	40A, 0.7s~1.0s;
	50A, 0.85s~1.23s;
	60A, 1.05s~1.5s;
	80A, 1.2s~2s 以上。
 - 2) 有补偿时:

恢复电压梯度为 8kV/m~16kV/m 时	10A, 0.1 以下;
	20A, 0.1s 以下;
	30A, 0.18s~0.22s。

在决定三相自动重合闸过程中的分合时间时, 尚应考虑超高压线路上并联电抗器 (如果有的话) 的磁能经单相接地点放电电流 (数百安级) 的影响。它的存在也会引起潜供电弧现象。

附 录 D
(资料性附录)
首 开 极 系 数

在某些超高压系统中，并不是所有的变压器中性点都直接接地，例如，有一部分变压器中性点直接接地，另一部分绝缘。当出现短路事故或检修时，会跳掉一些变压器。如果中性点直接接地的变压器脱离运行，将使直接接地系统成为中性点绝缘系统，但同时一部分变压器脱离运行后，短路电流将随之下降低（因为电源容量变小了），因此中性点接地状况与系统容量关系密切。IEC 62271-100 正是考虑了这一情况。因此引用修改采用该标准的 DL/T 402—2007 的表 1a、表 1b、表 1c、表 13 和表 14 中的首开极系数是适宜的。

我国近年来在一些地区试用接地（经过小电阻）的 12kV 系统，对此而言，其首开极系数为 1.3。

附录 E (资料性附录)

低温下 SF₆ 介质的绝缘强度

对低温(液化) SF₆ 介质绝缘强度的研究方法及结论有下列各点可供参考。

E.1 试验电压为工频电压及冲击电压。

E.2 SF₆ 状态包括完全气态、间隙有雾状凝结点(温度降至液化点时)以及液滴状态(温度继续下降, SF₆ 液化滴落在电极表面)。

E.3 冷却方式有以 N₂ 降温、试验装置(缸及电极)全部降温或仅缸内电极处局部降温, 最低温度 -40℃。

E.4 电极形状: 直径为 85mm 的罗戈斯基电极(表面粗糙度 Ra15μm), 间隙长 5mm~10mm, SF₆ 压力 0.4MPa~0.5MPa (20℃时, 表压), 极间是 SF₆ 气体或有绝缘体(环氧树脂或瓷套表面)。

E.5 试验方法为电压上升法, 进行 10 次破坏性试验(击穿)。

E.6 试验结果描述。

将各种情况下的击穿电压值与理想气体空间绝缘的击穿电压值相比较(以后者为基准求标幺值)。

在常温条件下, 由于表面粗糙度与表面(沿面)放电的影响, 击穿电压值下降了 20%~50%。

在局部冷却(仅电极间冷却), SF₆ 低温但无液滴条件下, 由于 SF₆ 在极间呈游动状态, 与常温相比, 击穿电压值没有降低。

在电极间存在 SF₆ 液滴条件下, 这又分为下述两种状态:

- a) 只是极间局部冷却, 击穿电压与常温时相比不但没有降低, 反而有些升高;
- b) 罐体及电极全部冷却, 再进行极间降温, 仅击穿电压最低值稍有下降。

E.7 分析意见。

试验表明, 即使 SF₆ 液滴存在, 其绝缘性能几乎不下降, 反而有升高的情况。分析是: 当发生局部液化时, 气态部分的密度下降。因此, 这一部分绝缘的击穿电压较低, 但已液化处的周围, SF₆ 密度不但不下降, 反而上升。此外, SF₆ 液滴处电场集中(达 1.4~1.8 倍), 但在其他处成为纯粹的气体间隙。液化后的 SF₆ 液体在电极上形成覆盖层, 这使击穿电压稍有上升。

E.8 结论。

- a) 在实用电极上, 存在 SF₆ 液滴时, 绝缘性能较之常温下并不下降。
- b) 如果只是温度下降, 在液化之前, SF₆ 密度不下降, 绝缘能力不变(SF₆ 气态—液态图谱如图 E.1 所示。当起始压力确定后, 气温下降时, SF₆ 气体参数沿虚线下降, 与实线相交时液化, 液化致使 SF₆ 分压力下降, 因而一部分 SF₆ 仍保持为气态)。
- c) 上述试验结果引用于数十厘米长间隙时、液滴的影响更小一些。
- d) 一般来说, 在没有采暖的情况下, 户内、户外的温度差可按 10K 考虑。
- e) 大型设备在极端周围空气温度低限时, 其内部温度是否能达到最低值应考虑大型设备热时间常数的影响(滞后性质)。

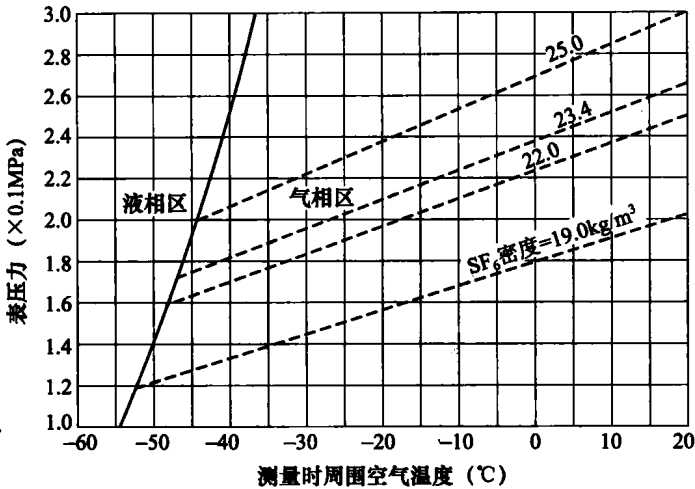


图 E.1 SF₆ 气态—液态图谱

中 华 人 民 共 和 国
电 力 行 业 标 准
高压交流断路器参数选用导则
DL/T 615—2013
代替 DL/T 615—1997

*

中国电力出版社出版、发行
(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)
北京九天众诚印刷有限公司印刷

*

2014年4月第一版 2014年4月北京第一次印刷
880毫米×1230毫米 16开本 1.75印张 53千字
印数 0001—3000册

*

统一书号 155123·1724 定价 15.00元

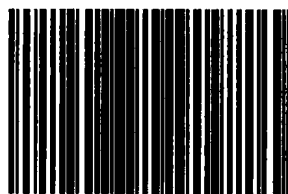
敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



关注我,关注更多好书



155123.1724