



中华人民共和国国家标准

GB/T 11022—1999
eqv IEC 60694:1996

高压开关设备和控制设备标准的 共用技术要求

Common specifications for high-voltage
switchgear and controlgear standards

1999-10-10 发布

2000-05-01 实施

国家质量技术监督局 发布

目 次

前言	V
IEC 前言	VE
1 概述	1
1.1 范围	1
1.2 引用标准	1
2 正常和特殊使用条件	2
2.1 正常使用条件	2
2.2 特殊使用条件	3
3 定义	4
3.1 通用术语	4
3.2 开关设备和控制设备的总装	5
3.3 总装的组成部分	6
3.4 开关装置	6
3.5 开关设备和控制设备的部件	6
3.6 操作	6
3.7 特性参量	8
4 额定值	8
4.1 额定电压(U_r)	9
4.2 额定绝缘水平	9
4.3 额定频率(f_r)	9
4.4 额定电流和温升	9
4.5 额定短时耐受电流(I_k)	13
4.6 额定峰值耐受电流(I_p)	13
4.7 额定短路持续时间(t_k)	13
4.8 合、分闸装置和辅助、控制回路的额定电源电压(U_c)	13
4.9 合、分闸装置和辅助回路的额定电源频率	14
4.10 绝缘和/或操作用压缩气源的额定压力	14
5 设计和结构	14
5.1 对开关设备和控制设备中液体的要求	14
5.2 对开关设备和控制设备中气体的要求	14
5.3 开关设备和控制设备的接地	15
5.4 辅助和控制设备	15
5.5 动力操作	15
5.6 储能操作	15
5.7 不依赖人力的操作	16

5.8	脱扣器的操作	16
5.9	低压力和高压力闭锁和监视装置	16
5.10	铭牌	17
5.11	联锁装置	17
5.12	位置指示	17
5.13	外壳的防护等级	18
5.14	爬电距离	18
5.15	气体和真空的密封	19
5.16	液体的密封	20
5.17	易燃性	20
5.18	电磁兼容性(EMC)	20
6	型式试验	20
6.1	概述	20
6.2	绝缘试验	22
6.3	无线电干扰电压(r.i.v.)试验	26
6.4	回路电阻的测量	27
6.5	温升试验	27
6.6	短时耐受电流和峰值耐受电流试验	29
6.7	防护等级检验	31
6.8	密封试验	31
6.9	电磁兼容性(EMC)试验	33
7	出厂试验	35
7.1	主回路的绝缘试验	35
7.2	辅助和控制回路的绝缘试验	36
7.3	主回路电阻的测量	36
7.4	密封试验	36
7.5	设计和外观检查	36
8	开关设备和控制设备的选用导则	36
9	查询、投标和订货时提供的资料	36
10	运输、储存、安装、运行和维修规则	37
10.1	运输、储存和安装时的条件	37
10.2	安装	37
10.3	运行	37
10.4	维修	38
11	安全	40
11.1	电气方面	40
11.2	机械方面	40
11.3	热的方面	40
11.4	操作方面	41
	附录 A(标准的附录) 试品的确认	43

附录 B(标准的附录)	在给定的短路持续时间内、短时电流等效有效值的确定	44
附录 C(标准的附录)	户外开关设备和控制设备防雨试验方法	45
附录 D(提示的附录)	关于绝缘水平和绝缘试验的资料	48
附录 E(提示的附录)	密封(资料、实例和建议)	50
附录 F(提示的附录)	自保护开关设备和控制设备的绝缘试验	52
附录 G(提示的附录)	参考资料	53
附录 H(提示的附录)	利用电阻变化测量线圈温升的方法	54

前 言

本标准是根据 IEC 60694:1996《高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求》对 GB/T 11022—1989“高压开关设备通用技术条件”进行全面修订的。本标准在编写规则、结构编排方面与 IEC 60694:1996 一致,技术内容与 IEC 60694:1996 等效。

本标准与 IEC 60694:1996 主要差别体现在:

——额定电压:(IEC 60694:1996 的 4.1.1 和 4.1.2 分别为:范围 I,额定电压 245 kV 及以下;

系列 I:3.6,7.2,12,17.5,24,36,52,72.5,100,123,145,170,245 kV。

系列 II:(基于北美的实际):4.76,8.25,15,25.8,38,48.3,72.5 kV。

范围 II,额定电压 245 kV 以上:300,362,420,550,800 kV);

——绝缘水平(IEC 60694:1996 表 1 中的数值主要适用于中性点接地的电力系统。由于在 3.6~72.5 kV 电压范围内,国内的电力网为中性点不接地(或不直接接地)系统,因此在这一电压范围,本标准规定的数值(源自 GB 311.1)普遍高于 IEC 60694:1996);

——额定频率(IEC 60694:1996 中的标准值为 $16\frac{2}{3}$ Hz,25 Hz,50 Hz 和 60 Hz)。

本标准中各章、条的编排顺序与 IEC 60694:1996 一致,大部分条文的内容与 IEC 60694:1996 相同,不同之处均用“采用说明”的注加以说明。

本标准增加的条文:附录 H。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C 是标准的附录;附录 D、附录 E、附录 F、附录 G、附录 H 是提示的附录。

本标准自实施之日起,同时代替

——GB/T 11022—1989

——GB/T 2706—1989

——GB/T 763—1990

本标准由原中华人民共和国机械工业部提出;

本标准由全国高压开关设备标准化技术委员会归口。

本标准起草单位及成员:

负责单位:西安高压电器研究所;李鹏、严玉林、田恩文、苏郁复、熊寿春、付朝娃、元复兴。

参加单位:电力科学研究院高压开关研究所;王学军

北京开关厂;卢国平

沈阳高压开关有限责任公司;杨大镞

平顶山天鹰集团有限责任公司;闫关星

西安高压开关厂;刘星、屈天玉

上海华通开关厂;叶建强

天水长城开关厂;马炳烈

陕西宝光电工总厂;李春法

四川电器股份有限公司;马立君

湖北开关厂;李家兴

浙江开关厂;胡敏

GB/T 11022—1999

福州第一开关厂：周鼎

广州南洋电器厂：蔡东升

宁波耐吉集团有限公司：马卫民

宁波兴亚电器集团有限公司：陆国香

长江水利委员会长江流域规划办：石凤翔

IEC 前言

1) IEC(国际电工委员会)是由各国家电工技术委员会(IEC 国家委员会)组成的世界性标准化组织。IEC 的目的是在电气和电子领域涉及标准化的所有问题上促进国际间的合作。为了这个目的,除了开展有关的活动外,IEC 出版国际标准。这些标准委托各技术委员会起草;任一对此感兴趣的国家委员会可以参加这项工作。与 IEC 协作的国际、政府和非政府组织也参加起草。IEC 和国际标准化组织(ISO)按它们间的协议确定的条件进行密切的合作。

2) IEC 关于有关技术问题的正式决议或协议,是由对这些问题特别关切的所有国家委员会有代表参加的各个技术委员会提出,它们尽可能表达出对所涉及问题的国际上的一致意见。

3) 这些决议或协议以标准、技术报告或导则形式出版,作为推荐标准供国际上使用,并在此意义上为各国家委员会所接受。

4) 为了促进国际上的统一,IEC 各国家委员会同意在它们的国家标准和区域性标准中清楚地、最大限度地采用 IEC 国际标准。IEC 标准和相应的国家或区域性标准间的任何歧异应在相应的标准文本中清楚地指出。

5) IEC 不开展合格标志的颁发工作,它不对声称符合某项 IEC 标准的设备承担责任。

6) 要注意到本国际标准的某些部分可以是申请专利的对象,IEC 将不对确认任一或所有这类专利负有责任。

国际标准 IEC 694 由 IEC 17 技术委员会(开关设备和控制设备)下属的 17A 分技术委员会(高压开关设备和控制设备)和 17C 分技术委员会(高压封闭开关设备和控制设备)起草。

本版(第 2 版)代替 1980 年出的第 1 版及其 3 号修正件(1995),它是一个技术修订本。本标准还取代了技术报告 IEC 1208(1992)。本标准的文本基于下述文件:

国际标准草案	表决报告
17A/458/FDIS	17A/479/RVD

批准本标准的全部投票资料可以在上表指出的表决报告中找到。

附录 A、附录 B 和附录 C 是本标准的组成部分。

附录 D 到附录 G 仅供参考。

在某些国家存在以下差别:

6.2.11 对所有额定电压的隔离开关和负荷开关,要求的试验电压为表 1a 或 1b 和表 2a 或 2b 第 3 栏列出的电压的 100%(加拿大、法国、意大利)。

中华人民共和国国家标准

高压开关设备和控制设备标准的 共用技术要求

Common specifications for high-voltage
switchgear and controlgear standards

GB/T 11022—1999
eqv IEC 60694:1996

代替 GB/T 11022—1989
GB/T 2706—1989
GB/T 763—1990

1 概述

1.1 范围

本标准适用于电压 3 kV 及以上,频率 50 Hz 及以下的电力系统中运行的户内和户外的交流高压开关设备和控制设备^{1]}。

除非在高压开关设备和控制设备产品标准中另有规定,本标准适用于所有的高压开关设备和控制设备。

1.2 引用标准^{2]}

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB 156—1993 标准电压(neq IEC 38:1983)

GB 311.1—1997 高压输变电设备的绝缘配合(neq IEC 71-1:1993)

GB/T 311.7—1988 高压输变电设备的绝缘配合使用导则

GB/T 762—1996 标准电流(eqv IEC 59:1938)

GB 1984—1989 交流高压断路器(neq IEC 56:1987)

GB 2536—1991 变压器油

GB/T 2423.23—1995 电工电子产品环境试验 试验 Q:密封(neq IEC 68-2-17:1978)

GB/T 2423.44—1995 电工电子产品环境试验 第 2 部分:试验方法 试验 Eg:撞击弹簧锤
(eqv IEC 68-2-63:1991)

GB/T 2900.1—1992 电工术语 基本术语(neq IEC 50)

GB/T 2900.18—1992 电工术语 低压电器(eqv IEC 50-441:1984)

GB/T 2900.19—1994 电工术语 高电压试验技术和绝缘配合(neq IEC 71,IEC 60,IEC 50)

GB/T 2900.20—1994 电工术语 高压开关设备(neq IEC 50)

GB 4208—1993 外壳防护等级(IP 代码)(eqv IEC 529:1989)

GB/T 4585.2—1991 交流系统用高压绝缘子人工污秽试验方法 固体层法(eqv IEC 507:1975)

GB/T 4728.1—1985 电气图用图形符号 总则(neq IEC 617-1:1985)

GB/T 4796—1984 电工电子产品环境参数分类及其严酷程度分级(idt IEC 721-1:1981)

采用说明:

1] 与 IEC 60694 不同。按我国的电网情况,改为电压 3 kV 及以上,频率 50 Hz 及以下。

2] 本标准列出的引用标准,均已采用 IEC 标准,但采用程度不同。

- GB/T 4797.4—1989 电工电子产品自然环境条件 太阳辐射与温度
- GB/T 4797.5—1992 电工电子产品自然环境条件 降水和风(neq IEC 721-2-2:1988)
- GB/T 4798.3—1990 电工电子产品应用环境条件 有气候防护场所固定使用
- GB/T 4798.4—1990 电工电子产品应用环境条件 无气候防护场所固定使用(neq IEC 721-3-4)
- GB 4824—1996 工业、科学和医疗(ISM)射频设备电磁骚扰特性的测量方法和限值
(neq IEC CISPR 11:1990(第二版))
- GB/T 5465.2—1996 电气设备用图形符号(idt IEC 417:1994)
- GB/T 5582—1993 高压电力设备外绝缘污秽等级(neq IEC 815:1986, IEC 507:1991)
- GB/T 7354—1987 局部放电测量(neq IEC 270:1981)
- GB 8287.1—1998 高压支柱瓷绝缘子 第1部分:技术条件(neq IEC 168:1994)
- GB/T 8905—1996 六氟化硫电气设备中气体管理和检验导则(neq IEC 480:1974)
- GB/T 11021—1989 电气绝缘的耐热性能评定和分级(eqv IEC 85:1984)
- GB/T 11604—1989 高压电器设备无线电干扰测试方法(eqv IEC 18:1983)
- GB 12022—1989 工业六氟化硫(neq IEC 376:1971, 376A:1973, 376B:1974)
- GB/T 13540—1992 高压开关设备抗地震性能试验
- GB/T 14598.3—1993 电气继电器 第五部分:电气继电器的绝缘试验(eqv IEC 255-5:1977)
- GB/T 16927.1—1997 高电压试验技术 第一部分:一般试验要求(eqv IEC 60-1:1989)
- GB/T 17626.4—1998 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验
(idt IEC 61000-4-4:1995)
- GB/T 17626.12—1998 电磁兼容 试验和测量技术 振荡波抗扰度试验
(idt IEC 61000-4-12:1996)
- GB/T 17627.1—1998 低压电气设备的高电压试验技术 第一部分:定义和试验要求
(eqv IEC 1180-1:1994)
- JB/T 5895—1991 污秽地区绝缘子使用导则(neq IEC 815)
- IEC 815:1984 低压电力线路和信号线路上短时瞬态过程的测量方法导则
- IEC 1634:1995 高压开关设备和控制设备——高压开关设备和控制设备中六氟化硫的使用和处理
- CISPR 16-1:1993 无线电干扰和测量抗扰性的仪器及方法的技术规范 第一部分:无线电干扰和测量抗扰性的仪器
- 本标准参考的其他国际标准列在附录 G 中。

2 正常和特殊使用条件

除非另有规定,高压开关设备和控制设备及其操动机构和辅助设备,应在其额定特性和 2.1 中列出的正常使用条件下使用。

如果实际使用条件和这些正常使用条件不同,高压开关设备和控制设备及其操动机构和辅助设备,应该尽可能地按用户提出的特殊要求来设计,或者应和用户达成适当的协议(见 2.2)。

注

1 此外还应采取适当措施以保证其他元件,如继电器在此条件下正常工作。

2 关于环境条件分级的详细资料在 GB/T 4798.3 和 GB/T 4798.4 中规定。

2.1 正常使用条件

2.1.1 户内开关设备和控制设备

a) 周围空气温度不超过 40℃,且在 24 h 内测得的平均值不超过 35℃。

最低周围空气温度对“-5 户内”级为-5℃,对“-15 户内”级为-15℃,对“-25 户内”级

为 -25°C 。

- b) 阳光辐射的影响可以忽略。
- c) 海拔不超过 1 000 m。
- d) 周围空气没有明显地受到尘埃、烟、腐蚀性和/或可燃性气体、蒸气或盐雾的污染。
- e) 湿度条件如下：
 - 在 24 h 内测得的相对湿度的平均值不超过 95%；
 - 在 24 h 内测得的水蒸气压力的平均值不超过 2.2 kPa；
 - 月相对湿度平均值不超过 90%；
 - 月水蒸气压力平均值不超过 1.8 kPa。

在这样的条件下偶而会出现凝露。

注

- 1 在高湿度期间温度急骤变化时可能出现凝露。
- 2 为耐受高湿度和凝露所产生的效应，例如绝缘击穿或金属件腐蚀，应使用为此条件设计和按此条件试验的开关设备。
- 3 可用特殊设计的建筑物或小室、变电站内采用适当的通风和加热或使用去湿装置，以防形成凝露。
- f) 来自开关设备和控制设备外部的振动或地动是可以忽略的。
- g) 在二次系统中感应的电磁干扰的幅值不超过 1.6 kV。

2.1.2 户外开关设备和控制设备

- a) 周围空气温度不超过 40°C ，且在 24 h 内测得的温度平均值不超过 35°C 。

最低周围空气温度对“ -10 户外”级为 -10°C ，对“ -25 户外”级为 -25°C ，对“ -40 户外”级为 -40°C 。

应当考虑温度的急骤变化。

- b) 应当考虑高达 $1\ 000\ \text{W}/\text{m}^2$ (晴天中午) 的阳光辐射。

注

- 1 在一定的阳光辐射条件下，为了使温升不超过规定值，必要时，可采取适当的措施，如加盖屋顶、强迫通风等，或者降容。
- 2 阳光辐射的详细资料见 GB/T 4797.4。
- c) 海拔不超过 1 000 m。
- d) 周围空气可以受到尘埃、烟、腐蚀性气体、蒸气或盐雾的污染。污秽等级不得超过 GB/T 5582 中的 I 级。

- e) 覆冰对 I 级不超过 1 mm，对 10 级不超过 10 mm，对 20 级不超过 20 mm。

- f) 风速不超过 34 m/s (相应于圆柱表面上的 700 Pa)。

注 3：风的特性见 GB/T 4797.5。

- g) 应当考虑凝露和降水。

注 4：降水的特性见 GB/T 4797.5。

- h) 来自开关设备和控制设备外部的振动或地动是可以忽略的。

- i) 在二次系统中感应的电磁干扰的幅值不超过 1.6 kV。

2.2 特殊使用条件

高压开关设备和控制设备可以在不同于 2.1 中规定的正常使用条件下使用，这时用户的要求应当参照以下的标准等级。

2.2.1 海拔

对于安装在海拔高于 1 000 m 处的设备，外绝缘在标准参考大气条件下的绝缘水平应该将使用场所要求的绝缘耐受电压乘以系数 K ，来决定。系数 K ，按图 1 选取。

注

- 1 在任一海拔处,内绝缘的绝缘特性是相同的,不需要采取特别的措施。关于外绝缘和内绝缘,见 GB/T 311-7。
- 2 对于低压辅助设备和控制设备,如果海拔低于 2 000 m,不需要采取特别的措施。对于更高的海拔,见 GB 16935.1。

2.2.2 污秽

对于安装在污秽空气中的设备,污秽等级应规定为 GB/T 5582 中的Ⅲ级——重污秽,或Ⅳ级——严重污秽。

2.2.3 温度和湿度

对于安装在周围空气温度明显地超出 2.1 中规定的正常使用条件处的设备,优先选用的最低和最高温度的范围规定为:

- 对严寒气候, -50℃和+40℃;
- 对酷热气候, -5℃和+50℃。

在暖湿风频繁出现的某些地区,温度的骤变会导致凝露,甚至在户内也会这样。

在湿热气候环境中的户内条件下,在 24 h 内测得的相对湿度的平均值能达到 98%。

2.2.4 振动

在可能发生地震的地区,用户应按 GB/T 13540 来规定设备的抗震等级。

2.2.5 其他参数

设备在特殊的环境条件下使用时,用户应参照 GB/T 4796、GB/T 4797、GB/T 4798 来规定这些环境参数。

3 定义^{3]}

本标准采用的术语定义,除应符合 GB/T 2900.1、GB/T 2900.18、GB/T 2900.19、GB/T 2900.20 外,尚应符合以下规定,为了便于使用,给出的一些定义可能与上述标准有所重复。

3.1 通用术语

3.1.1 开关设备和控制设备

开关及同其相关的控制、测量、保护和调节设备的组合,以及该组合同有关的电气联结、辅件、外壳和支持构件组成的总装的总称。

3.1.2 外绝缘

空气间隙及电气设备固体绝缘的外露表面。它们承受电压并受大气、污秽、湿度,小动物等外界条件的影响。

3.1.3 IP 代码

一种表示外壳防护等级并给出相关信息的编码系统;这种防护是指防止接近设备的危险部件,以及防止固体外物和水进入设备。

3.1.4 外壳提供的防止接近危险部件的防护

为人员提供保护,以防

- 触及危险的机械部件;
- 触及低压带电部件;
- 在外壳内部低于安全距离处接近危险的高压带电部件。

3.1.5 维修

所有技术活动和行政活动,包括监督活动的总和,使设备保持在或恢复到能够实现要求功能的状

采用说明:

3] 与 IEC 60694 不同,删除了术语索引。

态。

3.1.6 计划维修

按照既定的时间表进行的预防性维修。

3.1.7 检查

在不解体的情况下对运行中的开关设备和控制设备的主要特性进行周期性的检视。这类检视通常针对压力和/或液面、密封性、继电器的位置和绝缘件的脏污程度,也包括对运行中的开关设备和控制设备能够进行的润滑、清扫和清洗等。

注:检查的结果能够引导作出修配的决定。

3.1.8 诊断试验

开关设备和控制设备特性参数的比较试验,通过测量这些参数中的一项或多项,来确定它的功能是正常的。

注:诊断试验的结果能够引导作出修配的决定。

3.1.9 检验

需要时可进行局部解体的检查,为了可靠地评估开关设备和控制设备的状况,检查时可采用测量和无损试验等方法。

3.1.10 修配

为了把元件和/或开关设备和控制设备恢复到可接受的状态而进行的修理或更换超差零件的工作,超差零件可通过检查、试验、检验或按制造厂维修手册的要求来确定。

3.1.11 停工时间

装备处于停工状态的时间。

3.1.12 失效

装备丧失了实现所要求功能的能力。

注

1 装备失效后出现故障。

2 “失效”是一个事件,它不同于“故障”,后者是一个状态。

3 这样定义的概念不适用于仅由软件组成的装备。

3.1.13 重失效(开关设备和控制设备的)

开关设备和控制设备丧失其一项或多项基本功能的失效。

重失效将导致系统运行状态的立即改变,例如要求后备保护排除故障,或者在 30 min 之内强行使其退出运行,进行非计划维修。

3.1.14 轻失效(开关设备和控制设备的)

结构元件或部件的失效,它不导致开关设备和控制设备的重失效。

3.1.15 缺陷

装备在状态方面的不完善(或固有的弱点)。在规定的使用、环境或维修条件下,在预定的时间内这种不完善能够导致装备本身或另一装备的一项或多项失效。

3.1.16 周围空气温度

按规定条件测定的围绕整个开关设备的周围空气的平均温度。

注:对预装式变电站和其他装在外壳内的开关或其他开关元件,其周围空气温度指外壳外的周围空气温度。

3.2 开关设备和控制设备的总装

3.2.1 自保护开关设备:装有不可分开的电压限制装置的开关设备和控制设备。

3.2.2 试品:三极机械联动(即一台操动机构)或型式试验主要是三极型式试验时,试品是整台开关设备和控制设备。如果不是这样,试品是整台开关设备和控制设备的一个极。如果相关的产品标准允许的话,试品可以是一个有代表性的分装。

3.3 总装的组成部分

3.3.1 运输单元:不需拆开便可运输的开关设备和控制设备的一部分。

3.4 开关装置

正在考虑中。⁴⁾

3.5 开关设备和控制设备的部件

3.5.1 外壳:保护设备免受某些外部影响、并防止人员和外物从任何方向直接触及设备的部件。

注

此定义在本标准的范围内需作如下说明:

1 外壳用来防止人员和家畜接近危险部件。

2 挡板、各种孔盖或其他零件——不论是附装在外壳上的还是由被包容的设备构成的,凡适用于防止或限制规定的试具进入的,都作为外壳的一部分。但不用钥匙或工具便能移开的零件除外。

3.5.2 危险部件:接近或接触时有危险的部件。

3.5.3 触头

两个或两个以上导体,当其接通时可建立起电路的连续性,且其相对运动可分、合电路,在用铰链或滑动接触的情况下,仍能保持电路的连续性。

3.5.4 辅助回路

包含除开关主回路和控制回路以外的导电回路。

注:某些辅助回路用于完成附加功能,如信号、连锁等等。因此,这些回路也可以是其他开关的一部分。

3.5.5 控制回路

包含控制开关合、分操作回路中的所有导电部分。

3.5.6 辅助开关

包含由开关装置进行机械操作的一个或几个控制和/或辅助触头的开关。

3.5.7 控制开关

用于控制开关设备和控制设备操作(包括信号、电气连锁)的机械开关。

3.5.8 辅助触头

包含在开关的辅助回路中且由开关用机械方式操作的触头。

3.5.9 控制触头

包含在开关的控制回路中且由开关用机械方式操作的触头。

3.5.10 联结(用螺栓的或与其等效的):两个或多个导体用螺钉、螺栓或与其等效的方法连接在一起,用来保证回路持久的连续性。

3.5.11 位置指示器

指示开关处于合闸、分闸位置或接地位置的并安装于明显部位的一种部件。

3.5.12 监视装置

用来自动监视装备状态的装置。

3.5.13 指示开关

按执行量的规定条件操作的非人力控制开关。

注:执行量可以是压力、温度、速度、液面、经过时间等。

3.5.14 低能触头

设计在低能回路中使用的触头,例如用在监测或信息技术中。

注:典型的应用是接入端电压不超过 10 V,通过几毫安电流的负载回路。

3.6 操作

采用说明:

4) IEC 60694 中为“无特别的定义”。

3.6.1 动力操作

利用人(手)力以外的其他能源的一种操作,操作的完成取决于动力源(如:电磁铁、电动机或气动机等)的特性及其供应的连续性。

3.6.2 储能操作

利用储存在操动机构本身的能量的一种操作,这些能量应在操作前储存并完成预定条件下的操作。

注:操作类别可按储能方式划分为弹簧式、重锤式、液压式、气压式等。

3.6.3 正向驱动操作

按规定要求,用来保证开关装置辅助触头的位置与主触头分闸或合闸位置一致的操动。

3.6.4 关于压力(或密度)的定义

3.6.4.1 绝缘介质的额定充入压力 p_{re} (或密度 ρ_{re}):在投运或自动补压前充入总装的绝缘和/或灭弧介质的压力(Pa),把它折算到标准大气条件(+20℃,101.3 kPa)或密度下,可以用相对压力或绝对压力表示。

3.6.4.2 操作介质的额定充入压力 p_{rm} (或密度 ρ_{rm}):在投运前或自动补压前充入控制装置的操作介质的压力(Pa),把它折算到标准大气条件(+20℃,101.3 kPa)或密度下,可以用相对压力或绝对压力表示。

3.6.4.3 绝缘介质的报警压力 p_{re} (或密度 ρ_{re}):绝缘和/或灭弧介质的压力(Pa),把它折算到标准大气条件(+20℃,101.3 kPa)或密度下,可以用相对压力或绝对压力表示,在该压力下可以给出监视信号,表示需要在短时间内进行补压。

3.6.4.4 操作介质的报警压力 p_{rm} (或密度 ρ_{rm}):操作介质的压力(Pa),把它折算到标准大气条件(+20℃,101.3 kPa)或密度下,可以用相对压力或绝对压力表示。在该压力下可以给出监视信号,表示需要在短时间内对控制装置进行补压。

3.6.4.5 绝缘介质的最低功能压力 p_{me} (或密度 ρ_{me}):绝缘和/或灭弧介质的压力(Pa),把它折算到标准大气条件(+20℃,101.3 kPa)或密度下,可以用相对压力或绝对压力表示,大于或等于此压力时开关设备和控制设备保持其额定特性,且在此压力时需要及时补压。

3.6.4.6 操作介质的最低功能压力 p_{me} (或密度 ρ_{me}):操作介质的压力(Pa),把它折算到标准大气条件(+20℃,101.3 kPa)或密度下,可以用相对压力或绝对压力表示,大于或等于此压力时开关设备和控制设备保持其额定特性,且在此压力时,控制装置需要及时补压。此压力通常称作闭锁压力。

3.6.5 关于气体和真空密封的定义

这些定义适用于使用真空或使用除大气压力下的空气之外的气体作为绝缘、绝缘和灭弧、或操作介质的所有开关设备和控制设备。

3.6.5.1 充气隔室:开关设备和控制设备的隔室,隔室内部的气体压力由下列的一种系统保持:

- a) 可控压力系统;
- b) 封闭压力系统;
- c) 密封压力系统。

注:几个充气隔室相互间可以固定联接成一公共的气体系统(气密性装配)。

3.6.5.2 气体的可控压力系统:自动从外部或内部气源补气空间。

注

- 1 可控压力系统的实例是空气断路器或气动操动机构。
- 2 空间可以由几个相互固定连接到一起的充气隔室组成。

3.6.5.3 气体的封闭压力系统:只能人工连接到外部气源定期补气的空间。

注:封闭压力系统的实例是单压式六氟化硫断路器。

3.6.5.4 密封压力系统:在预定的使用寿命期内不需要对气体或真空作进一步地处理的空间。

注

- 1 密封压力系统的实例是真空断路器的灭弧室或某些六氟化硫断路器。
- 2 密封压力系统的组装和试验全部在工厂进行。

- 3.6.5.5 绝对漏气率, F : 单位时间内气体的漏失量, 以 $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 表示。
- 3.6.5.6 允许漏气率, F_p : 制造厂对部件、组件或分装规定的最大允许绝对漏气率, 或是使用密封配合图(TC)对连在一个压力系统上的部件、元件或分装规定的最大允许绝对漏气率。
- 3.6.5.7 相对漏气率, F_{rel} : 在额定充气压力(或密度)的系统中, 相对于气体总量的绝对漏气率。以每年或每天的百分率表示。
- 3.6.5.8 补气间隔时间, T : 为补偿漏气率 F , 当压力(或密度)降至报警值时, 用人工或自动进行的两次补气的间隔时间。
- 3.6.5.9 每天补气次数, N : 为补偿漏气率 F 的补气次数。该值适用于可控压力系统。
- 3.6.5.10 压力降, ΔP : 在不补气的条件下, 在给定的时间内由漏气率 F 引起的压力降落。
- 3.6.5.11 密封配合图, TC: 由制造厂提供的并在试验部件、元件或分装时使用的检测资料, 它说明整个系统的密封性和各个部件、元件和/或分装的密封性之间的关系。
- 3.6.5.12 累计漏气量的测量

为了确定漏气率而进行的计及给定总装所有漏气的测量。

- 3.6.5.13 探漏: 围绕总装缓慢移动检漏仪的探头来确定漏气点的位置。

3.6.6 关于液体密封的定义

这些定义适用于使用液体作为绝缘、绝缘和灭弧、或操作用介质的所有开关设备和控制设备, 这些介质具有或没有恒定的压力。

- 3.6.6.1 液体的可控压力系统: 自动补充液体的空间。
- 3.6.6.2 液体的封闭压力系统: 只能用人工定期补充液体的空间。
- 3.6.6.3 绝对泄漏率, F_{liq} : 单位时间内液体的泄漏量, 以 cm^3/s 。
- 3.6.6.4 允许泄漏率, $F_{p(liq)}$: 制造厂对液体压力系统规定的最大允许泄漏率。
- 3.6.6.5 每天补液次数, N_{liq} : 为补偿泄漏率 F_{liq} 的补液次数。该值适用于可控压力系统。
- 3.6.6.6 压力降, ΔP_{liq} : 在不补液的条件下, 在给定时间内由泄漏率 F_{liq} 引起的压力降低。

3.7 特性参量

- 3.7.1 隔离断口: 符合对隔离开关所规定的安全要求的断开触头间的电气间隙。
- 3.7.2 防护等级: 外壳提供的防止接近危险部件、防止固体外物的进入和/或防止水的浸入, 并用标准的试验方法验证的防护程度。
- 3.7.3 额定值: 一般由制造厂对元件、装置或设备规定的工作条件所指定的量值。

4 额定值

开关设备和控制设备及其操动机构和辅助设备通用的额定值应当从下列各项中选取:

- 额定电压(U_r)
- 额定绝缘水平
- 额定频率(f_r)
- 额定电流(I_r)
- 额定短时耐受电流(I_k)
- 额定峰值耐受电流(I_p)
- 额定短路持续时间(t_k)
- 分闸、合闸装置和辅助回路的额定电源电压(U_s)
- 分闸、合闸装置和辅助回路的额定电源频率
- 绝缘和/或操作用压缩气源的额定压力

注: 可能需要其他额定值, 可在相关的产品标准中规定。

4.1 额定电压(U_n)^{5]}

额定电压为开关设备和控制设备所在系统的最高电压上限。额定电压的标准值如下:

4.1.1 范围 I, 额定电压 252 kV 及以下:

3.6, 7.2, 12, 24, 40.5, 72.5, 126, 252 kV。

4.1.2 范围 II, 额定电压 252 kV 以上:

363, 550, 800 kV。

4.2 额定绝缘水平

开关设备和控制设备的额定绝缘水平应该从表 1 和表 2 给定的数值中选取。

在这些表中, 耐受电压适用于 GB 311.1 中规定的标准参考大气(温度、压力和湿度)条件。对于特殊使用条件, 见 2.2。

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不跨越有标志的水平线的行中选取。额定绝缘水平用相对地额定雷电冲击耐受电压来表示。

大多数额定电压都有几个额定绝缘水平, 以便应用于性能指标或过电压特性不同的系统。选取时应当考虑受快波前和缓波前过电压作用的程度、系统中性点接地的方式和过电压限制装置的型式(见 GB/T 311.7)。

若在本标准中无其他规定, 表 1 中的“通用值”适用于相对地、相间和开关断口。“隔离断口”的耐受电压值仅对某些开关装置有效, 这些开关装置的触头开距是按对隔离开关规定的安全要求设计的。

关于绝缘水平的进一步说明, 见附录 D。

4.3 额定频率(f_n)

额定频率的标准值为 $16\frac{2}{3}$ Hz, 25 Hz, 50 Hz。

4.4 额定电流和温升

4.4.1 额定电流(I_n)

开关设备和控制设备的额定电流是在规定的使用和性能条件下, 开关设备和控制设备应该能够持续通过的电流的有效值。

额定电流应当从 GB/T 762 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。

2 对短时工作制和间断工作制, 额定电流由制造厂和用户商定。

表 1 额定电压范围 I 的额定绝缘水平^{6]}

额定电压 U_n kV(有效值)	额定短时工频耐受电压 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)
3.6	10	12	20	23
	18	20	40	46

采用说明:

5] 根据国内系统的实际, 额定电压取值与 IEC 60694 不同。

6] 本表中的额定绝缘水平与 IEC 60694 表 1a 中的额定绝缘水平不完全一致。

表 1(完)

额定电压 U_n kV(有效值)	额定短时工频耐受电压 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	20	25	40	46
	23	28	60	70
12	28	32	60	70
	42*	48*	75	85
24	50	60	95	110
			125	145
40.5	85,95*	110	185	215
72.5	140	160	325	375
	160	176	350	385
126	185	210	450	520
	230	265	550	630
252	360	415	850	950
	395	460	950	1 050
	460	530	1 050	1 200

* 为设备外绝缘在干燥状态下之耐受电压。

表 2 额定电压范围 I 的额定绝缘水平⁷⁾

额定电压 U_n 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)	
	相对地和 和相间 (注 3)	开关断口和/ 或隔离断口 (注 3)	相对地和 开关断口	相间 (注 3 和 4)	隔离断口 (注 1, 2 和 3)	相对地和 和相间	开关断口和/ 或隔离断口 (注 2 和 3)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
363	460	520	850	1 300	850(+295)	1 050	1 050(+205)
	510	580	950	1 425		1 175	1 175(+205)
550	630	800	1 050	1 680	1 050(+450)	1 425	1 425(+315)
	680		1 175	1 760		1 550	1 550(+315)

采用说明:

7] 本表中的额定绝缘水平与 IEC 60694 表 2a 中的额定绝缘水平不完全一致。

表 2(完)

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_r kV(峰值)			额定雷电冲击耐受电压 U_r kV(峰值)	
	相对地和相间 (注 3)	开关断口和/或隔离断口 (注 3)	相对地和开关断口	相间 (注 3 和 4)	隔离断口 (注 1、2 和 3)	相对地和相间	开关断口和/或隔离断口 (注 2 和 3)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
800	830	1 150	1 300	2 210	1 100(+650)	1 800	1 800(+455)
			1 425	2 420		2 100	2 100(+455)
<p>注</p> <p>1 栏(6)也适用于某些断路器,见 GB 1984。</p> <p>2 栏(6)中,括号内的值是加在对侧端子上的工频电压峰值 $U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$ (联合电压试验)。 栏(8)中,括号内的值是加在对侧端子上的工频电压峰值 $0.7 U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$ (联合电压试验)。 见附录 D。</p> <p>3 栏(2)的值适用于: a) 型式试验,相对地; b) 出厂试验,相对地,相间和开关断口。 栏(3)、(5)、(6)和(8)的值只适用于型式试验。</p> <p>4 这些值是利用 GB 311.1 表 2 中的倍数算出的。</p>							

4.4.2 温升

在温升试验规定的条件下,当周围空气温度不超过 40℃时,开关设备和控制设备任何部分的温升不应该超过表 3 规定的温升极限。

表 3 高压开关设备和控制设备各种部件、材料和绝缘介质的温度和温升极限

部件、材料和绝缘介质的类别 (见说明 1、2 和 3)(见注)	最大 值	
	温 度 ℃	周围空气温度不超过 40℃时的温升 K
1 触头(见说明 4)		
裸铜或裸铜合金		
— 在空气中	75	35
— 在 SF ₆ (六氟化硫)中(见说明 5)	105	65
— 在油中	80	40
镀银或镀镍(见说明 6)		
— 在空气中	105	65
— 在 SF ₆ 中(见说明 5)	105	65
— 在油中	90	50
镀锌(见说明 6)		
— 在空气中	90	50
— 在 SF ₆ 中(见说明 5)	90	50
— 在油中	90	50

表 3(完)

部件、材料和绝缘介质的类别 (见说明 1.2 和 3)(见注)	最大 值	
	温 度 ℃	周围空气温度不超 过 40℃时的温升 K
2 用螺栓的或与其等效的联结(见说明 4) 裸铜、裸铜合金或裸铝合金 ——在空气中 ——在 SF ₆ 中(见说明 5) ——在油中 镀银或镀镍 ——在空气中 ——在 SF ₆ 中(见说明 5) ——在油中 镀锡 ——在空气中 ——在 SF ₆ 中(见说明 5) ——在油中	90 115 100 115 115 100 105 105 100	50 75 60 75 75 60 65 65 60
3 其他裸金属制成的或有其他镀层的触头或联结	(见说明 7)	(见说明 7)
4 用螺钉或螺栓与外部导体连接的端子(见说明 8) ——裸的 ——镀银、镀镍或镀锡 ——其他镀层	90 105 (见说明 7)	50 65 (见说明 7)
5 油开关装置用油(见说明 9 和 10)	90	50
6 用作弹簧的金属零件	(见说明 11)	(见说明 11)
7 绝缘材料以及与下列等级的绝缘材料接触的金属部件(见说明 12) ——Y ——A ——E ——B ——F ——瓷漆:油基 合成 ——H ——C 其他绝缘材料	90 105 120 130 155 100 120 180 (见说明 13)	60 65 80 90 115 60 80 140 (见说明 13)
8 除触头外,与油接触的任何金属或绝缘件	100	60
9 可触及的部件 ——在正常操作中可触及的 ——在正常操作中不需触及的	70 80	30 40

注:本表的说明见 4.4.3。

4.4.3 表 3 的说明

作为表 3 一部分的有关说明如下:

说明 1:按其功能,同一部件可以属于表 3 列出的几种类别。在这种情况下,允许的最高温度和温升值是相关类别中的最低值。

说明 2:对真空开关装置,温度和温升的极限值不适用于处在真空中的部件。其余部件不应该超过表 3 给出的温度和温升值。

说明 3: 应注意保证周围的绝缘材料不遭到损坏。

说明 4: 当接合的零件具有不同的镀层或一个零件是裸露的材料制成的, 允许的温度和温升应该是:

- a) 对触头, 表 3 项 1 中有最低允许值的表面材料的值;
- b) 对联结, 表 3 项 2 中有最高允许值的表面材料的值。

说明 5: 六氟化硫是指纯六氟化硫或六氟化硫与其他无氧气体的混合物。

注

1 由于不存在氧气, 把六氟化硫开关设备中各种触头和联接的温度极限加以协调看来是合适的。在六氟化硫环境下, 裸铜和裸铜合金零件的允许温度极限可以等于镀银或镀镍零件的值。在镀锡零件的特殊情况下, 由于摩擦腐蚀效应, 即使在六氟化硫无氧的条件下, 提高其允许温度也是不合适的。因此镀锡零件仍取原来的值。

2 裸铜和镀银触头在六氟化硫中的温升正在考虑中。

说明 6: 按照设备有关的技术条件:

- a) 在关合和开断试验(如果有的话)后;
- b) 在短时耐受电流试验后;
- c) 在机械耐受试验后;

有镀层的触头在接触区应该有连续的镀层, 不然触头应该被看作是“裸露”的。

说明 7: 当使用表 3 没有给出的材料时, 应该研究它们的性能, 以便确定最高的允许温升。

说明 8: 即使和端子连接的是裸导体, 这些温度和温升值仍是有效的。

说明 9: 在油的上层。

说明 10: 当采用低闪点的油时, 应当特别注意油的气化和氧化。

说明 11: 温度不应该达到使材料弹性受损的数值。

说明 12: 绝缘材料的分级在 GB/T 11021 中给出。

说明 13: 仅以不损害周围的零部件为限。

4.5 额定短时耐受电流(I_k)

在规定的使用和性能条件下, 在规定的短时间内, 开关设备和控制设备在合闸位置能够承载的电流的有效值。

额定短时耐受电流的标准值应当从 GB 762 中规定的 R10 系列中选取, 并应该等于开关设备和控制设备的短路额定值。

注: 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。

4.6 额定峰值耐受电流(I_p)

在规定的使用和性能条件下, 开关设备和控制设备在合闸位置能够承载的额定短时耐受电流第一个大半波的电流峰值。

额定峰值耐受电流应该等于 2.5 倍额定短时耐受电流。

注: 按照系统的特性, 可能需要高于 2.5 倍额定短时耐受电流的数值。

4.7 额定短路持续时间(t_k)^{8]}

开关设备和控制设备在合闸位置能够承载额定短时耐受电流的时间间隔。

额定短路持续时间的标准值为 2 s。

如果需要, 可以选取小于或大于 2 s 的值。推荐值为 0.5 s, 1 s, 3 s 和 4 s。

4.8 合、分闸装置和辅助、控制回路的额定电源电压(U_n)^{9]}

合、分闸装置和辅助、控制回路的额定电源电压应该理解为: 当设备操作时在其回路端子上测得的

采用说明:

8] IEC 60694 的标准值为 1 s; 推荐值为 0.5 s, 2 s 和 3 s。

9] 操作电压范围的取值及表中的数值与 IEC 60694 不同。

电压。如果需要,还包括制造厂提供或要求的与回路串联的辅助电阻或元件。但不包括连接到电源的导线。

额定电源电压应当从表 4 和表 5 给出的标准值中选取。

表 4 直流电压

直流电压, V	24	48	110	220
---------	----	----	-----	-----

在额定值的 85% 和 110% 间的任一电源电压下,操动机构应该能使开关合闸和分闸。脱扣器的操作见 5.8。

表 5 交流电压^{10]}

三相、三线或四线制系统 V	单相三线制系统 V	单相两线制系统 V
—	110/220	110
220/380	—	220
230/400	—	230

注

- 1 第一栏中较低值是对中性点的电压,较高值是相间电压。第二栏中较低值是对中性点的电压,较高值是相间电压。
- 2 230/400 V 在将来是唯一的标准值,并推荐在新的系统中采用。现有的 220/380 V 系统的电压变化应当限制在 230/400 V \pm 10% 的范围内。在下阶段的标准工作中将考虑缩小这一范围。
- 3 保护和测量互感器的二次电压不受本标准的约束。

4.9 合、分闸装置和辅助回路的额定电源频率

额定电源频率的标准值为 DC, 50 Hz。

4.10 绝缘和/或操作用压缩气源的额定压力

除非制造厂另有规定,额定压力的标准值为:
0.5, 1, 1.6, 2, 3, 4 MPa。

5 设计和结构

5.1 对开关设备和控制设备中液体的要求

制造厂应该规定开关设备和控制设备中使用液体的种类、要求的数量和质量,并为用户提供更新液体和保持要求的液体数量和质量的最佳说明[见 10.4.1 项 a)]。

5.1.1 液位

应该提供检查液位的装置,最好能在使用时指示出正确工作时允许的液位上、下限。

注:这条不适用于缓冲器。

5.1.2 液体的质量

开关设备和控制设备中使用的液体应该遵守制造厂说明书的规定。

对充油的开关设备和控制设备,新绝缘油应该遵守 GB 2536。

注:应考虑环境温度变化对缓冲器中液体的驱动特性的影响。^{11]}

5.2 对开关设备和控制设备中气体的要求

制造厂应该规定开关设备和控制设备中使用气体的种类、要求的数量、质量和密度,并为用户提供更新气体和保持要求气体的数量和质量的最佳说明[见 10.4.1 项 a)]。密封压力系统除外。

采用说明:

10] 表 5 中的数值和 IEC 60694 并不完全一致。

11] IEC 60694 无此注。

对充六氟化硫的开关设备和控制设备,新的六氟化硫应该遵守 GB 12022。

为了防止凝露,在充气开关设备和控制设备中,在额定充气密度(ρ_n)下充入的用作绝缘的气体,它在 20℃ 时测得的最大允许含水量应该使它的露点温度不高于 -5℃。在其他温度下测量时应该作适当的修正。露点的测量和确定参见 GB 12022。

高压开关设备和控制设备充有压缩气体的部件应该遵守有关标准的要求。

注: 注意要遵守有关压力容器的地方法规。

5.3 开关设备和控制设备的接地

每台开关装置的底架上应该设置可靠的适用于规定故障条件的接地端子,该端子有一紧固螺钉或螺栓用来连接接地导体。紧固螺钉或螺栓的直径应该不小于 12 mm。接地连接点应该标以 GB/T 5465.2 中规定的“保护接地”符号。和接地系统连接的金属外壳部分可以看作接地导体。

5.4 辅助和控制设备

a) 辅助回路的主要性能应该用下列额定值表示:

——额定电流: 10 A, 温升不超过表 3 规定的极限;

——额定短时耐受电流: 100 A, 持续时间为 30 ms;

——额定绝缘水平: 通过 6.2.10 规定的试验。

对特殊的使用场合,可以按第 9 章向制造厂提出不同的值。

b) 在环境条件(见第 2 章)、关合和开断能力以及辅助触头操作相对于主设备操作的时间方面,辅助触头应该适合于它们预定的功能。在直流 220 V、回路时间常数不小于 20 ms 时,辅助触头应该至少能关合和开断 2 A。

对特殊的使用场合,可以按第 9 章向制造厂提出不同的值。

c) 辅助开关应该适合于为开关装置规定的电气和机械操作循环的次数。

d) 应该按第 9 章向制造厂提出要求供给的空闲辅助触头数和指示开关触头数。

e) 和主触头一起操作的辅助开关应该在两个方向能正向驱动的。

f) 除了仅用互感器、分闸线圈和辅助触头等的端子上的短导线以外,应该用接地的金属隔板或绝缘隔板把辅助和控制设备以及它们所在的回路同主回路分隔开来。

g) 在使用中要求巡查的辅助设备,应该是可接近且没有直接接触高压部件的危险。

h) 辅助和控制回路的元件应该遵守适用的产品标准。

5.5 动力操作

用外部能源操作的开关装置,当操动机构(这里,术语“操动机构”包括中间继电器和接触器,如果有的话)的动力源的电压或压力处在 4.8 和 4.10 规定的下限时,应该能关合和/或开断它的额定短路电流(如果有的话)。如果制造厂规定了最大合闸和分闸时间,它们不应该被超过。

除了在维修时的慢操作外,主触头只应该在传动机构的作用下并以设计的方式运动。在合闸装置和/或分闸装置失去能源或在失去后重新施加能源时,不应该引起主触头合闸或分闸位置的变化。

5.6 储能操作

储能操作的开关装置,按 5.6.1 或 5.6.2 储足能量时,应该能关合和开断它的额定短路电流(如果有的话)。如果制造厂规定了最大合闸和分闸时间,它们不应该被超过。

除了在维修时的慢操作外,主触头只应该在传动机构的作用下并以设计的方式运动。在机构失去能源后重新施加能源时,主触头不应该运动。

5.6.1 储气罐或液压蓄能器中能量的储存

如果用储气罐或液压蓄能器储能,操作压力处在项 a) 和项 b) 规定的极限值之间时,5.6 的要求适用。

a) 外部气源或液压力源

除非制造厂另有规定,操作压力的上、下限分别为额定压力的 110% 和 85%。

如果储气罐内的压缩气体也用来灭弧,上述极限值不适用。

b) 与开关装置或操动机构一体的压缩机或泵操作压力的上、下限应由制造厂规定。

5.6.2 弹簧(或重锤)储能

如果用弹簧(或重锤)储能,弹簧储能(或重锤升起)后,5.6条的要求适用。如果储能不足以完成合闸操作,动触头就不应该从分闸位置开始运动。

5.6.3 人力储能

如果弹簧(或重锤)是用人力储能的,应该标出手柄运动的方向。在开关装置上应该装设弹簧(或重锤)已储能的指示器,不依赖人力合闸操作的情形除外。

用人力给弹簧(或重锤)储能所需的最大操作力不应该超过 250 N。

给弹簧(或重锤)储能的或驱动压缩机或泵的电动机及其电气辅助设备,在额定电源电压(见 4.8)的 85%到 110%之间、交流时在额定频率(见 4.9)下应该满意地工作。

注:上述的电压范围并不意味着采用非标准电动机,而是指选择的电动机在此范围内能提供所需的操作力矩。电动机的额定电压不一定和合闸装置的额定电源电压一致。

此外,制造厂应该提供用手力给弹簧或重锤储能的工具(如果列入供货清单的话),这类工具应符合 5.6.3。

5.7 不依赖人力的操作

如果是不依赖人力操作的负荷开关或接地开关(由制造厂标明),为了避免在合上短路后电器过早地再分开,应当利用合适的方法在合闸和分闸操作间引入一定的时延,该时延不应该小于额定短路持续时间(见 4.7)。

5.8 脱扣器的操作

脱扣器的操作极限值应如下所述:

5.8.1 并联合闸脱扣器

并联合闸脱扣器在合闸装置额定电源电压(见 4.8)的 85%到 110%(交流)或 80%到 110%(直流)范围内应该正确的动作。

5.8.2 并联分闸脱扣器

并联分闸脱扣器在分闸装置额定电源电压(见 4.8)的 65%(直流)或 85%(交流)到 120%之间、交流时在分闸装置的额定电源频率(见 4.9)下,在开关装置所有的直到它的额定短路开断电流的操作条件下都应该正确地运作。

当电源电压等于或小于额定值的 30%时,不应脱扣。

5.8.3 并联脱扣器的电容储能操作

当用与开关装置组成一体的整流器-电容器组对并联脱扣器进行储能操作时,电容器由主回路的电压充电。在电源从整流器-电容器组的输入端子上断开并用导线短接后的 5 s 内,电容器保留的电荷应该足以使脱扣器满意地动作。断开前主回路的电压应该取与开关装置额定电压相关的系统最低电压(“设备最高电压”和系统电压之间的关系见 GB 156)。

5.8.4 欠压脱扣器

当欠压脱扣器端子电压降到(即便是缓慢地和逐渐地降到)它的额定电压的 35%以下时,它应该动作使开关装置分闸。另一方面,当端子电压大于它的额定电压的 65%时,它不应使开关装置分闸。

当欠压脱扣器端子电压等于或大于它的额定电压的 85%时,开关装置应能合闸。当端子电压低于它的额定电压的 35%时,开关装置应不能合闸。

5.9 低压力和高压力闭锁和监视装置

如果在操作机构的系统中装有低压力或高压力闭锁装置,按 5.6.1 和有关的产品标准,它们应该能整定在制造厂指明的合适的压力极限上(或内)动作。

充有作为绝缘和/或操作介质的压缩气体且其最低功能压力高于 0.2 MPa(绝对压力)的封闭压力系统,应该装设压力(或密度)监视装置;并按有关的产品标准,作为维修计划的一部分,要连续地或至少是定期地对其进行校核。对于最低功能压力不高于 0.2 MPa(绝对压力)的封闭压力系统,是否装设应当由制造厂和用户协商。

5.10 铭牌

开关设备和控制设备及其操动机构应装设铭牌。铭牌上载有在有关的产品标准中规定的、必要的信息,如制造厂名或商标、制造年月、产品型号、出厂编号和额定参数等。

对于户外开关设备和控制设备,铭牌及其安装件应该是不受气候影响的和防腐蚀的。

如果开关设备和控制设备由带独立操动机构的几个单极组成,每个单极都应装设铭牌。

对与开关装置组成一体的操动机构,可以只用一个组合的铭牌。

在铭牌上和/或文件中的技术参数,有许多是各种高压开关设备和控制设备通用的。这些参数应该用相同的符号表示。这些参数和符号如:

- 额定电压 U ;
- 额定雷电冲击耐受电压¹⁾ U_p ;
- 额定操作冲击耐受电压¹⁾ U_s ;
- 额定工频耐受电压¹⁾ U_d ;
- 额定电流 I_r ;
- 额定短时耐受电流 I_k ;
- 额定峰值耐受电流 I_p ;
- 额定频率 f_r ;
- 额定短路持续时间 t_k ;
- 额定辅助电压 U_a ;
- 绝缘介质的额定充入压力(密度) $p_{re}(\rho_{re})$;
- 操作介质的额定充入压力(密度) $p_{rm}(\rho_{rm})$;
- 绝缘介质的报警压力(密度) $p_{re}(\rho_{re})$;
- 操作介质的报警压力(密度) $p_{am}(\rho_{am})$;
- 绝缘介质的最低功能压力(密度) $p_{me}(\rho_{me})$;
- 操作介质的最低功能压力(密度) $p_{mm}(\rho_{mm})$;

其他专用的参数(如气体的种类或温度等级)应该用相关标准中使用的符号来表示。

5.11 联锁装置

为了安全和便于操作,设备的不同元件之间可能需要联锁装置(例如开关和相关的接地开关之间)。应该按照制造厂和用户的协议提供这些联锁装置。

不正确的操作能造成损害的或确保形成隔离断口的开关装置,应该装设制造厂规定的锁定装置(例如加装挂锁)。

5.12 位置指示

对不可见触头,应该提供主回路触头位置的清晰而可靠的指示。在就地操作时,应该能容易地校核位置指示器的状态。

在分闸、合闸或接地(如果有的话)位置,位置指示器的颜色应按 IEC 73。

合闸位置应该有标志,最好用字符“1”或“合”(按 GB/T 5465.2)。

分闸位置应该有标志,最好用字符“0”或“分”(按 GB/T 5465.2)。

对多功能的开关装置,作为代替,位置可以用 GB/T 4728.1 中的图形符号来标志。

1) 铭牌上使用的值是相对地的值。

5.13 外壳的防护等级

装有主回路(它可以从外部进入外壳)部件的高压开关设备和控制设备的所有外壳,以及所有高压开关设备、控制设备和开关装置的低压控制和/或辅助回路和操动机构的外壳,都应该按 GB 4208 规定其防护等级。

防护等级适用于设备的使用条件。

注:对于其他条件,例如维修、试验等,防护等级可以是不同的。

5.13.1 防止人体接近危险部件的防护和防止固体外物进入设备的防护

外壳对人体提供的防止接近主回路、控制和/或辅助回路的危险部件和任何危险的运动部件(光滑的转轴和缓慢运动的连杆除外)的防护等级,应该用表 6 中规定的符号表示。

第一位特征数字表示外壳对人体提供的防护等级以及防止固体外物进入外壳内部设备的防护等级。

如果只要求防止接近危险部件的防护,或者如果这种防护比第一位特征数字表示的要高,那么,如在表 6 中所示,可以使用一个附加的字母。

表 6 给出每一防护等级的外壳会“排斥”的物体的细节。术语“排斥”意味着:固体外物不会完全进入外壳,人体的一部分或人持有的物体要么不会进入外壳,如果进入,则会保持足够的间隙和不会触及危险的运动部件。

5.13.2 防止水浸入的防护

IP 标志的第二位特征数字表示防止有害的水浸入,这一防护不规定等级(第二位特征数字×)。

对于有防雨和防其他气候条件的附加防护性能的户外设备,应该在第二位特征数字后或在附加的字母后(如果有的话)用补充字母 W 来说明。

5.13.3 在正常使用条件下防止设备受到机械撞击的保护

封闭开关设备和控制设备的外壳应该有足够的机械强度(相应的试验规定在 6.7.2 中)。

对户内设备,推荐的撞击能量为 2 J。

对没有附加机械防护的户外设备,经制造厂和用户协商可以规定较高的撞击能量。

5.14 爬电距离

用 GB/T 5582 给出的一般规则选择绝缘子,它们在污秽条件下应当具有良好的性能。

位于相和地间、相间、断路器或负荷开关一个极的两个端子间的户外瓷或玻璃绝缘子,其外部的最小标称爬电距离用以下关系式确定:

$$l_t = a \times l_i \times U_i \times k_D$$

式中: l_t ——最小标称爬电距离, (mm) (见注 1);

a ——按表 7 选择的与绝缘类型有关的应用系数;

l_i ——最小标称爬电比距,按 GB/T 5582 的表 1 (mm/kV) (见注 2);

U_i ——开关设备和控制设备的额定电压;

k_D ——直径的校正系数(见 JB/T 5895)。

注

1 对于实际的爬电距离,可以规定制造允差(见 GB 8287.1 和 GB 772)。

2 相和地间测得的爬电距离与 U_i 的比。

3 户内使用的绝缘子的爬电比距正在考虑中¹²⁾。

采用说明:

12) IEC 60694 无此注。

表 6 防护等级

防护等级	防止固体异物进入	防止接近危险部件
IP1×B	直径 50 mm 及以上的物体	防止手指接近(直径 12 mm 长 80 mm 的试指)
IP2×	直径 12.5 mm 及以上的物体	防止手指接近(直径 12 mm 长 80 mm 的试指)
IP2×C	直径 12.5 mm 及以上的物体	防止工具接近(直径 2.5 mm 长 100 mm 的试棒)
IP2×D	直径 12.5 mm 及以上的物体	防止导线接近(直径 1.0 mm 长 100 mm 的试验导线)
IP3×	直径 2.5 mm 及以上的物体	防止工具接近(直径 2.5 mm 长 100 mm 的试棒)
IP3×D	直径 2.5 mm 及以上的物体	防止导线接近(直径 1.0 mm 长 100 mm 的试验导线)
IP4×	直径 1.0 mm 及以上的物体	防止导线接近(直径 1.0 mm 长 100 mm 的试验导线)
IP5×	尘埃 不能完全防止尘埃进入,但尘埃的进入量和位置不得影响设备的正常运行或危及安全	防止导线接近(直径 1.0 mm 长 100 mm 的试验导线)

注

- 1 表示防护等级的符号符合 GB 4208。
- 2 对 IP5X, GB 4208 的 12.4 的类别 2 是适用的。
- 3 如果只关心防止接近危险部件的防护,则使用附加字母并把第一位特征数字用×代替。

表 7 爬电距离的应用系数

绝缘应用的部位	应用系数 a
相对地	1.0
相间	$\sqrt{3}$
断路器或开关的断口	1.0

注

- 1 可能处在反相条件下的开关装置,其断口需要更长的爬电距离。这时推荐的应用系数 $a=1.15$ 。
- 2 易被溶化的污雪覆盖的非直立安装的绝缘子可能需要更长的爬电距离。

5.15 气体和真空的密封

以下规定适用于使用真空或除大气压下的空气以外的气体作为绝缘、绝缘和灭弧、或操作介质的所有开关设备和控制设备。附录 E 给出关于密封的一些资料、实例和建议。

5.15.1 气体的可控压力系统

气体可控压力系统的密封性用每天的补气次数(N)或用每天的压力降(ΔP)来规定。其允许值由制造厂给出。

5.15.2 气体的封闭压力系统

制造厂规定的封闭压力系统的密封特性应与维修和检查最少的准则一致。

气体封闭压力系统的密封性用每个隔室的相对漏气率(F_{rel})来规定;标准值是每年 1% 和 3%。

注:除了在温度或操作频率的极端条件下,相对漏气率能够用来计算补气间隔时间(T)。

要考虑具有不同压力的分装间可能出现的漏气。特别是一个隔室在检修,相邻隔室又充有一定压力的气体时,制造厂还应当规定经过隔板的允许漏气率,而且补气间隔时间不应该少于一个月。

应该提供在设备运行时,能给气体系统安全补气的手段。

5.15.3 密封压力系统

密封压力系统的密封性以其预期工作寿命来规定。

标准值是 20 年和 30 年。

5.16 液体的密封

以下规定适用于使用液体作为绝缘、绝缘和灭弧,或有恒定压力或无恒定压力操作介质的所有开关设备和控制设备。

5.16.1 液体的可控压力系统

液体可控压力系统的密封性用每天补液次数(N_{liq})或用不补液时的压力降(ΔP_{liq})来规定,两者均由泄漏率(F_{liq})引起。

允许值由制造厂给出。

5.16.2 液体的封闭压力系统

加压的或不加压的液体封闭压力系统的密封性应该由制造厂规定。

5.16.3 液体的密封性

制造厂应该说明液体的密封性。应该清楚地指出内部密封和外部密封的区别。

a) 绝对密封;检测不到液体的损耗;

b) 相对密封;在下列条件下,液体少量的损耗是可接受的:

——泄漏率(F_{liq})应该低于允许泄漏率[$F_{p(0liq)}$];

——泄漏率(F_{liq})不应该随时间持续地增大,或就开关装置来说,不应随操作次数增加而增大;

——液体的泄漏不应该引起开关设备和控制设备的误动作,在正常工作过程中也不应对操作者造成任何伤害。

5.17 易燃性

应该在材料的选择和零部件的设计上,使得因开关设备和控制设备中的事故过热而引发的火焰在传播时受到阻止。

5.18 电磁兼容性(EMC)

二次系统应该能耐受 2.1 规定的电磁干扰,不会造成损坏或引起误动作。

这既适用于正常运行,也适用于开合操作,包括开断主回路中的故障电流。

二次系统包括:

——控制和辅助回路,包括装在开关设备和控制设备上的或在其邻近的中央控制柜中的回路;

——作为开关设备和控制设备组成部分的监视,诊断等设备;

——作为开关设备和控制设备组成部分的与仪用互感器二次端子相连的回路。

在许多情况下,二次系统可以分成几个主要的分系统,如断路器的中央控制柜或在 GIS 间隔中断路器的成套控制柜。

注

1 实际上,二次系统中设备复杂程度的差别很大。在某些情况下,二次系统只包括一些辅助的双位继电器、信号电缆和端子板。在另一些情况下,则包括整套的保护、控制和测量设备。

2 有关 EMC 的一般指导和改善 EMC 的种种考虑应在二次系统的装设指南中给出,该指南目前正在考虑中。二次系统中感应电压幅值既取决于二次系统本身,又取决于主回路的条件,如接地情况和额定电压。

6 型式试验

6.1 概述

型式试验是为了验证开关设备和控制设备及其操动机构和辅助设备的性能。

6.1.1 试验的分组

除非在有关的产品标准中另有规定,型式试验应该最多在四个试品上进行。

注:规定四个试品的合理性在于增强用户的信心,即受试的开关设备和控制设备是将要交付的设备的代表(在极限情况下,可要求所有的试验在一台试品上进行)。

开关设备和控制设备的每台试品应该确实和图样相符,应该充分代表该型产品,并应该经受一项或

多项型式试验。

为了便于试验,型式试验可以分成几组。一般的分组实例见表 8。

表 8 型式试验分组的实例

组 别	型 式 试 验	条 号
1	主、辅助和控制回路的绝缘试验	6.2
	无线电干扰电压(r. i. v.)试验	6.3
2	主回路电阻的测量	6.4
	温升试验	6.5
3	短时耐受电流和峰值耐受电流试验	6.6
	关合和开断试验	见有关的产品标准
4	外壳防护等级检验	6.7
	密封试验	6.8
	机械试验	见有关的产品标准
	环境试验	见有关的产品标准

如果需要附加的型式试验项目,则在有关的产品标准中规定。

每项试验原则上应该在完整的开关设备和控制设备上(如果不是,见 3.2.2),试品处在运行要求的条件下(在规定的压力和温度下充以规定种类和数量的液体或气体),并配上它的操动机构和辅助设备。在每项型式试验开始前试品原则上应该处在或恢复到新的和/或清洁的状态。

按照有关的产品标准,在各组型式试验过程中如果可以进行整修,制造厂应向试验室提供在试验中可以更新的零部件的说明。

6.1.2 确认试品用的资料

制造厂应向试验室送交图样和其他资料,它们包含足以由型号来肯定地确认送试开关设备和控制设备主要部件和零件的信息。每张图样和每份资料清单都应该有单一的编号以便查找,并应该包含一个声明,其大意为:制造厂保证送交的图样和资料确实代表了受试的开关设备和控制设备。

确认完毕后,零件图和其他资料应该归还制造厂保存。

制造厂应该保留受试开关设备和控制设备所有零部件的详细设计记录,并应该确保这些记录和送交的图样和资料中包含的信息是一致的。

注:生产体系已经符合 GB/T 19001 或 GB/T 19002 认证的制造厂,它们一定要满足上面提到的要求。

试验室应该通过查对,确认送交的图样和资料清单充分地代表了受试开关设备和控制设备的部件和零件,但不对这些资料的准确性负责。

在附录 A 中规定了为确认开关设备和控制设备的主要零部件,要求制造厂向试验室送交的图样和资料的清单。

注:如果制造厂能证明某一结构细节的改变不会影响某项型式试验的结果,在作出这一改变后,这项型式试验不必重复进行。

6.1.3 型式试验报告包括的资料

所有型式试验的结果应该记入型式试验报告。报告内的数据要足以证明试品符合技术条件。报告还应该包括足以确认开关设备和控制设备主要部件的资料,特别是以下的资料:

- 制造厂;
- 受试开关设备和控制设备的型号和出厂编号;
- 受试开关设备和控制设备的一般描述(制造厂给出的),包括极数;
- 如果适用,主要部件(如操动机构、灭弧室和并联阻抗)的制造厂、型号、出厂编号和额定值;
- 开关装置或者封闭开关设备(开关装置作为整体的一部分)的支持结构的一般说明;
- 如果适用,试验中使用的操动机构和其他装置的说明;
- 说明开关设备和控制设备在试验前后状态的照片;

- 足以代表受试开关设备和控制设备的外形图和资料清单；
- 为确认受试开关设备和控制设备主要部件而送交的全部图样的图号；
- 试验布置的说明(包括试验线路图)；
- 试验过程中开关设备和控制设备的表现、试验后的状态以及试验过程中更换和修整过的零部件的说明；
- 按有关标准的规定，记录下每项试验或每个试验循环的试验参数。

6.2 绝缘试验

除非本标准另有规定，开关设备和控制设备的绝缘试验应该按 GB/T 16927.1 进行。在附录 D 中给出有关绝缘试验的资料。

注：如果开关设备和控制设备装有与它不可分开的电压限制装置，整套设备应当按附录 F 进行试验。

6.2.1 试验时周围的大气条件

关于标准参考大气条件和大气条件修正因数应该按 GB/T 16927.1。

当开关设备和控制设备处于大气中的外绝缘至关重要时，应该使用修正因数 K_1 。

如果处于大气中的外绝缘是至关重要的，且仅在这种情况下干试时，才应该使用湿度修正因数。

对于额定电压 40.5 kV 及以下的开关设备和控制设备，假定 $m=1$ 和 $w=0$ 。

对于既有内绝缘又有外绝缘的开关设备和控制设备，如果修正因数 K_1 的值在 0.95 和 1.05 之间，应该使用修正因数。然而，为了避免内绝缘受到过高的电压，如果已确认外绝缘性能良好，则可略去修正因数 K_1 。当修正因数处在 0.95 到 1.05 的范围之外，绝缘试验的细节应该由制造厂和用户商定。

对于只有内绝缘的开关设备和控制设备，周围的大气条件不产生影响，不应该使用修正因数 K_1 。

对于联合试验，应该按总的试验电压值来计算参数 g 。

6.2.2 湿试程序

户外开关设备和控制设备的外绝缘应该在 GB/T 16927.1 规定的标准湿试程序下承受湿耐受试验。

6.2.3 绝缘试验时开关设备和控制设备的状态

绝缘试验应该在完全装配好的(和使用中一样的)开关设备和控制设备上；绝缘件的外表面应该处于清洁状态。

试验用的开关设备和控制设备应该按制造厂规定的最小电气间隙和高度安装。

如果受试设备离地面的高度比使用时离地面的安装高度低，认为这样试验过的设备可以满足要求。

如果在设计上开关设备和控制设备的极间距离不是固定不变的，试验用的极间距离应该是制造厂规定的最小值。然而，为了避免仅为试验而装设大型三板开关设备和控制设备，人工污秽试验和无线电干扰试验可以在单极上进行；如果极间最小电气间隙等于或大于 GB/T 311.7 给出的值，其余所有的绝缘试验都可以在单极上进行。

如果制造厂规定在使用中需要采用附加的绝缘(如绝缘包带和绝缘套)，在试验时也应该采用这些附加的绝缘。

如果装有保护系统用的弧角或弧环，为了进行试验，可以把它们拆下或增大它们的间距。如果是用来改善电场分布的，试验时它们应该保持在原来的位置。

对于采用压缩气体作为绝缘的开关设备和控制设备，绝缘试验应该在制造厂规定的最低功能压力(密度)下进行。在试验的过程中应该记录气体的温度和压力，并将其列入试验报告。

注：注意：在装有真空开关装置的开关设备和控制设备的绝缘试验中，应当采取预防措施以保证可能发射出的 X 射线的辐射水平低于安全限值。国家安全规程会影响制定的安全措施。

6.2.4 通过试验的判据

a) 短时工频耐受电压试验

如果没有发生破坏性放电，则应该认为开关设备和控制设备通过了试验。

湿试时如果在外部自恢复绝缘上发生破坏性放电,该试验应在同一试验状况下重复进行,如果有再发生破坏性放电,则应该认为开关设备和控制设备成功地通过了试验。

b) 冲击试验

应该采用 GB/T 16927.1 中的程序 B,对每种试验状况和每一极性应该连续施加 15 次额定雷电冲击耐受电压或额定操作冲击耐受电压。如果在每组 15 次冲击中自恢复绝缘上破坏性放电次数不超过两次,而非自恢复绝缘上不发生破坏性放电,则应该认为开关设备和控制设备通过了试验。

可以采用 GB/T 16927.1 中的程序 C 作为 15 次冲击耐受试验的替代方法。这时,对每一极性应该连续施加 3 次冲击电压。如果不发生破坏性放电,则应该认为开关设备和控制设备通过了试验。如果在自恢复绝缘上发生一次破坏性放电,应该追加 9 次冲击试验,如果不再发生破坏性放电,则应该认为开关设备和控制设备通过了试验。

如果已经证明某一极性的试验给出最不利的试验结果,则允许只进行这一极性的试验。

某些绝缘材料在一次冲击试验后仍有残留电荷,在倒换极性时应当小心。为使绝缘材料放电,推荐采用适当的方法,如在试验前施加三次约 80% 试验电压的反极性冲击。

c) 简要说明

当试验大型开关设备和控制设备时,为检查设备后面的其他元件(断路器、隔离开关、其他间隔)的绝缘性能,往往要通过该设备前面的部分来施加试验电压,这部分可能承受好多组试验。建议从首先连接的部分开始,对其后各部分依次进行试验。当这部分按上述判据通过了试验,在其后的其他元件的试验过程中,它们的合格性不应因这部分可能发生的破坏性放电而受到影响。

注:这种放电可能是电压施加次数增加引起的累积效应,或是由设备内部远端发生破坏性放电引起的反射电压造成。在充气设备中,为了减少这种放电发生的概率,可以提高已经通过试验部分的压力。

6.2.5 试验电压的施加和试验状况

必须把三个试验电压(相对地,相间和断口间)相同的一般情形同隔离断口和相间绝缘高于相对地的特殊情形区别开来。

6.2.5.1 一般情形

参考图 2 所示的三级开关装置的联结图。试验电压应该按表 9 的规定施加。

表 9 一般情形下的试验状况

试验状况	开关装置	加压部位	接地部位
1	合闸	A 和 a	BCbcF
2	合闸	B 和 b	ACacF
3	合闸	C 和 c	ABabF
4	分闸	A	BCabcF
5	分闸	B	ACabcF
6	分闸	C	ABabcF
7	分闸	a	ABCbcF
8	分闸	b	ABCacF
9	分闸	c	ABCabF

如果外侧两极的布置相对于中间级和底座是对称的,试验状况 3、6 和 9 可以省略。如果每极接线端子的布置相对于底座是对称的,试验状况 7、8 和 9 可以省略。

6.2.5.2 特殊情形

当开关装置断口间的试验电压高于相对地的耐受电压时,可以采用不同的试验方法。

a) 优选方法

除非本标准另有规定,优先使用联合电压试验的方法(见 GB/T 311.7)

—工频电压试验

为了获得规定的试验电压,应该利用处在反相条件下的两个不同的电压源来进行试验。电压的分配在 6.2.6.1 和 6.2.7.1 中规定。

这时,开关断口(或隔离断口)的试验电压应该按表 10 的规定施加。

表 10 纵绝缘工频试验状况

试验状况	加压部位	接地部位
1	A 和 a	BCbcF
2	B 和 b	ACacF
3	C 和 c	ABabF

如果外侧两极的布置对中间板和底架是对称的,试验状况 3 可以省略。

—冲击电压试验

额定冲击耐受电压(相对地)构成试验电压的主要部分,它施加到一个端子上;附加电压由另一个反极性的电压源提供,并施加到对侧的端子上。这一附加电压可以是另一个冲击电压,或者是一个工频电压的峰值。其他的极和底架接地。

由于两个电压回路间的电容耦合,冲击电压波会影响工频电压的波形。为了计及这一影响,应该满足以下的试验要求:在工频电压波上的电压降应该限制到这样的数值,使得在冲击电压峰值瞬间测得的对地的实际试验电压不低于附加电压规定值的 95%。为此,可以提高工频电压的幅值,但对雷电冲击试验不得高于 $U_i \sqrt{2}/\sqrt{3}$,而对操作冲击试验不得高于 $1.2 U_i \sqrt{2}/\sqrt{3}$ 。见 D2.3.1。

在工频侧的端子上并联一个容量适当的电容器,能够大大减小这一电压降。

试验电压应该按表 11 施加。

表 11 纵绝缘冲击试验状况

试验状况	加 压 部 位		接地部位
	主要电压	附加电压	
1	A	a	BbCcF
2	B	b	AaCcF
3	C	c	AaBbF
4	a	A	BbCcF
5	b	B	AaCcF
6	c	C	AaBbF

如果外侧两极的布置相对于中间板和底架是对称的,试验状况 3 和 6 可以省略。

如果每极接线端子的布置相对于底架是对称的,试验状况 4、5 和 6 可以省略。

b) 替代方法

如果只用一个电压源,对于工频电压试验和冲击电压试验,开关断口(或隔离断口)的绝缘都可以按下述方法进行试验:

—把总的试验电压 U_i 施加在一个端子和地之间,对侧的端子接地;

—如果在开关装置支持绝缘子上作用的电压超过额定相对地耐受电压,把底架调整在对地为 U_i 的部分电压上,使得 $U_i - U_i$ 处在额定相对地耐受电压的 90% 和 100% 之间。

6.2.6 $U_i \leq 252$ kV 的开关设备和控制设备的试验。

试验应该按表 1 给出的试验电压进行。

6.2.6.1 工频电压试验

开关设备和控制设备应该按 GB/T 16927.1 承受短时工频耐受电压试验。对每一试验状况，应该把试验电压升到试验值并维持 1 min。

应该进行干试，对户外开关设备和控制设备还应该进行湿试。

隔离断口可以按下述方法进行试验：

——优选方法：这时加在两侧端子上的两个电压都不应低于额定相对地耐受电压的三分之一；

——替代方法：对额定电压低于 72.5 kV 的金属封闭气体绝缘开关装置和任一额定电压的普通开关装置，底架的对地电压 U_t 不需准确地调整，甚至可以把底架绝缘。

注：对于额定电压 252 kV 的开关设备和控制设备，由于其工频电压湿试的结果有很大的分散性，这些试验可用 250/2 500 μ s 操作冲击电压湿试来代替，试验电压的峰值等于规定的工频试验电压有效值的 1.55 倍。

6.2.6.2 雷电冲击电压试验

开关设备和控制设备只应该在干燥状态下承受雷电冲击电压试验。试验应该按 GB/T 16927.1 用标准雷电冲击波 1.2/50 μ s 在两种极性的电压下进行。

如果用替代方法来试验隔离断口，对额定电压低于 72.5 kV 的金属封闭气体绝缘开关装置和任一额定电压的普通开关装置，底架的对地电压 U_t 不需准确地调整，甚至可以把底架绝缘。

6.2.7 $U_t > 252$ kV 的开关设备和控制设备的试验

在合闸位置，试验应该按表 9 的试验状况 1、2 和 3 进行。在分闸位置，试验应该按下述（如果不是，见 6.2.3）要求进行。此外，相间操作冲击电压试验应该按如下所述的进行。试验电压在表 2 中给出。

6.2.7.1 工频电压试验

开关设备和控制设备应该按 GB/T 16927.1 承受短时工频耐受电压试验。对每一试验状况，应该把试验电压升到试验值并维持 1 min。

只应该进行干试。

开关断口或隔离断口应该用 6.2.5.2 a) 的优选方法进行试验。经与制造厂协商，也可以用 6.2.5.2 b) 的替代方法。无论选用哪种方法，加在一个端子和底架间的电压都不应该高于额定电压 U_t 。

6.2.7.2 操作冲击电压试验

开关设备和控制设备应该承受操作冲击电压试验。试验应该按 GB/T 16927.1 用标准操作冲击波 250/2 500 μ s 在两种极性的电压下进行。只对户外开关设备和控制设备进行湿试。

隔离断口应该用 6.2.5.2 a) 的优选方法进行试验。

相间绝缘只应该在干状态下，以表 2 栏 5 的值作为总的试验电压，用 6.2.5.2 a) 的优选方法进行试验，试验时两个电压分量应当等于总的试验电压的一半。

实际的电压分配应该尽可能平衡。总的试验电压的任何不平衡分配都是更加严格的。如果电压分量的波形和/或幅值不同，试验应该在倒换连接后重复进行。

6.2.7.3 雷电冲击电压试验

开关设备和控制设备只应该在干状态下承受雷电冲击电压试验。试验应该按 GB/T 16927.1 用标准雷电冲击波 1.2/50 μ s 在两种极性的电压下进行。

6.2.8 人工污秽试验

如果绝缘子的爬电距离满足 5.14 的要求，则不需要进行人工污秽试验。

如果爬电距离不满足 5.14 的要求，应当按 GB/T 4585.2 用额定电压和 5.14 中给出的应用系数进行人工污秽试验。

6.2.9 局部放电试验

如果有关的产品标准有要求，应该进行局部放电试验，并按 GB/T 7354 进行测量。

6.2.10 辅助和控制回路的试验

开关设备和控制设备的辅助和控制回路应该承受短时工频耐受电压试验；

- a) 电压加在连接在一起的辅助和控制回路与开关装置的底架之间；
 b) 电压加在辅助和控制回路的每一部分(这部分在正常使用中与其他部分绝缘)与连接在一起并和底架相连的其他部分之间。

试验电压应该为 2 000 V。试验应该按 GB/T 17627.1—1998 进行,电压持续 1 min。如果在每次试验中都未发生破坏性放电,则应该认为开关设备和控制设备的辅助和控制回路通过了试验。

通常,电动机和在辅助和控制回路中使用的其他装置的试验电压应该与这些回路的试验电压相同。如果这些电器已按相应的标准做过试验,则在试验时可以隔开。

注:如果在辅助和控制回路中使用了电子元件,可以按制造厂和用户间的协议采用不同的试验程序和数值。

6.2.11 作为状态检查的电压试验

如果在关合、开断和/或机械/电气耐受试验后,开关装置断口间的绝缘性能不能充分可靠地用目测检查来核实,那么按 6.2.6.1 和 6.2.7.1,在下述工频电压下对开关断口做工频电压干试验可能是合适的。

对于额定电压 252 kV 及以下的设备:

——对隔离开关和负荷-隔离开关(有安全要求的设备)为表 1 栏 3 值的 80%,对其他设备为表 2 值的 80%。

对于额定电压 252 kV 以上的设备:

——对隔离开关和负荷-隔离开关(有安全要求的设备)为表 2 栏 3 值的 100%;

——对其他设备为表 2 栏 3 值的 80%。

注

1 降低试验电压出于两方面的原因,一是考虑到老化、耗损和其他的正常劣化,额定试验电压留有安全裕度;二是由于闪络电压的统计特性。

2 对某些类型的封闭开关装置,可能需要做对地绝缘的状态检查试验。这时,应当分别以表 1 和表 2 栏 2 值的 80%做工频电压试验。

3 相关的产品标准可能把这些类型设备的状态检查试验规定为强制性的。

6.3 无线电干扰电压(r. i. v.)试验

这项试验仅适用于额定电压 126 kV 及以上的开关设备和控制设备,且当相关的标准有此规定时才进行试验。开关设备和控制设备应该按 6.2.3 的规定装配。

试验电压应该施加如下:

a) 在合闸位置,端子与接地底架之间;

b) 在分闸位置,一个端子与和接地底架相连的其他端子之间,如果开关装置不是对称的,要把连接倒换后再试。

箱壳、罐体、底架和其他正常接地的零部件应该接地。应当注意避免开关设备和控制设备邻近的以及试验回路和测量回路邻近的接地或不接地物体对测量的影响。

开关设备和控制设备应该是干燥和清洁的,且其温度接近试验室的室温。在试验前的 2 h 内,不应当承受其他的绝缘试验。

试验连接线和它们的末端不应该是高于下述数值的无线电干扰电压源。

测量回路(见图 3)。测量回路的频率最好应该调谐到 0.5 MHz \pm 10% 的范围内,也可以用 0.5~2 MHz 范围内的其他频率,要记录测量的频率。测量结果应该以微伏表示。

使用的测量阻抗,不应该大于 600 Ω ,也不应小于 30 Ω ;不论何种情况,相角不应该超过 20°。除了电容大的试品外,可假定测量电压正比于电阻,相对于 300 Ω 的等值无线电干扰电压能够计算出来。对于电容大的试品,基于上述假定所作的修正可能不准确。因此,对装有接地法兰套管的开关设备和控制设备(如落地罐式开关设备和控制设备)推荐用 300 Ω 的电阻。

滤波器 F 在测量频率下应该有一高阻抗,使得从受试的开关设备和控制设备看过去高压导体和接

地点之间的阻抗不被明显的旁路。这个滤波器也减小试验回路中的由高压变压器产生的或从外部电源拾取的射频电流。滤波器在测量频率下的合适阻抗值为 $10\,000\sim 20\,000\ \Omega$ 。

应采取适当的措施保证无线电干扰的背景电平(由外电场和由高压变压器在全试验电压下励磁时引起的无线电干扰电平)比给受试开关设备和控制设备规定的无线电干扰电平至少低 6 dB, 最好低 10 dB。测量仪器的校正方法和测量回路的校正方法在 GB/T 11604 中给出。

由于无线电干扰电平可能受积存在绝缘子上的纤维和灰尘的影响, 允许在测量前用干净的布擦拭绝缘子。试验时的大气条件应该予以记录。目前尚不知道适用于无线电干扰试验的修正因数, 但知道试验对高的相对湿度可能是敏感的; 如果相对湿度超过 80%, 试验的结果可能值得怀疑。

应该按下述程序试验:

在开关设备和控制设备上施加 $1.1 U_r/\sqrt{3}$ 的电压, 至少维持 5 min, U_r 是开关设备的额定电压。随后应该把电压逐级下降至 $0.3 U_r/\sqrt{3}$, 再逐级上升至初始值, 最后逐级下降至 $0.3 U_r/\sqrt{3}$ 。在每级电压上, 应该进行无线电干扰的测量, 并应该画出最后一个电压下降系列中记录的无线电干扰电平对外施电压的曲线; 这样得出的曲线就是开关设备和控制设备的无线电干扰特性。电压级差约为 $0.1 U_r/\sqrt{3}$ 。

如果在 $1.1 U_r/\sqrt{3}$ 下无线电干扰电平不超过 $2\,500\ \mu\text{V}$, 应该认为开关设备和控制设备通过了试验。

6.4 回路电阻的测量

6.4.1 主回路

为了把做过温升试验(型式试验)的开关设备和控制设备与所有做过出厂试验的同一型号的开关设备和控制设备作一比较, 应该进行主回路电阻的测量。

应该用直流来测量每极端子间的电压降或电阻。对于封闭开关设备和控制设备应该作特殊的考虑(见相关的标准)。

试验电流应该取 50 A 到额定电流之间的任一方便的值(推荐值为 100 A)。^{13]}

注: 经验表明, 单凭主回路电阻增大不能看作是接触或联结不好的可靠证据。这时, 试验应当在更大的(尽可能接近额定电流的)电流下重复进行。

应该在温升试验前、开关设备和控制设备处在周围空气温度下测量直流电压降或电阻。还应该在温升试验后, 开关设备和控制设备冷却到周围空气温度时测量直流电压降或电阻。在两次试验中测得的电阻的差别不应该超过 20%。

在型式试验报告中, 应该给出直流电压降或电阻的测量值, 以及试验时的一般条件(电流、周围空气温度、测量部位等)。

6.4.2 低能回路

应该把每个低能辅助触头接入电阻性负载回路, 施加 $6\ \text{V}\sim 1\%$ 的直流电压时, 在回路中流过 10 mA 的电流。低能辅助触头接通时的电阻不应该超过 50 Ω 。

6.5 温升试验

6.5.1 受试开关设备和控制设备的状态

除非在相关标准中另有规定, 主回路的温升试验应该在装有清洁触头的新开关装置上进行; 如果适用的话, 在试验前充以用作绝缘的合适的液体或处于最低功能压力(密度)的气体。

6.5.2 设备的布置

试验应在户内、大体上无空气流动的环境下进行, 受试开关装置本身发热引起的气流除外。实际上, 当空气流速不超过 0.5 m/s 时, 就达到这一条件。

采用说明:

13] 根据我国的实际情况, 增加了括号中的内容。

对于除辅助设备以外的部分的温升试验,开关设备和控制设备及其附件在所有重要方面都应该安装得和使用中的一样,包括开关设备和控制设备各部分在正常工作时的所有外罩,并应防止来自外部的过度加热和冷却。

按照制造厂的说明书,如果开关设备和控制设备可以安装在不同的位置,温升试验应该在最不利的位上进行。

原则上,这些试验应该在三极开关设备和控制设备上进行;但若其他极或其他单元的影响可以忽略的话,试验也可以在单极或单元上进行。这是非封闭开关设备的一般情况。对于额定电流不超过 630 A 的三极开关设备和控制设备,可以把三极串联后进行试验。

对于开关设备和控制设备、特别是大型的开关设备和控制设备,它们的对地绝缘对温升没有明显的影响,对地绝缘可以明显地降低。

接到主回路的临时连接线应使得试验时没有明显的热量从开关设备和控制设备散出或向开关设备和控制设备传入。应该测量主回路端子和离端子 1 m 处临时连接线的温升,两者温升的差值不应超过 5 K。临时连接线的类型和尺寸应该记入,试验报告。

注 1: 为了使温升试验更具重现性,临时连接线的类型和尺寸可以在相关标准中予以规定。

对于三极开关设备和控制设备,除了上述的例外情况,试验应在三相回路上进行。

应该在开关设备和控制设备的额定电流(I_n)下进行试验,电源电流应该是近似正弦的。

除了直流辅助设备外,开关设备和控制设备应该在额定频率下试验,频率的偏差为 $\pm 3\%$ 。试验频率应该记入试验报告。

注 2: 对邻近载流部分没有铁质元件的敞开式开关装置在 50 Hz 下进行温升试验时,如果实测的温升值不超过最大允许值的 95%,则应当认为该开关装置在 60 Hz 下的性能得到了验证。

如果用 60 Hz 试验,其结果应当对额定电流相同的额定频率为 50 Hz 的同一产品有效。

试验应该持续足够长的时间以使温升达到稳定。如果在 1 h 内温升的增加不超过 1 K,就认为达到这一状态。通常这一判据在试验持续时间达到受试设备热时间常数的五倍时就会满足。

除了要求测量热时间常数的情况外,可以用较大电流预热回路的办法来缩短整个试验的时间。

6.5.3 温度和温升的测量

应该采取预防措施来减少由于开关装置的温度和周围空气温度的变化之间的时间滞后引起的变化和误差。

对于线圈,通常利用电阻变化来测量温升的方法(见附录 H¹⁴⁾),只在使用电阻法不可行时才允许使用其他的方法。

除线圈以外的各部分的温度(其温度极限已有规定)应该用温度计、热电偶或其他适用的传感器件来测量,它们应被放在可触及的最热点上。如果需要计算热时间常数,在整个试验过程中应按一定时间间隔记录温升。

浸入液体介质中元件的表面温度只应该使用紧贴元件表面的热电偶来测量。液体介质本身的温度应该在它的上层测量。

使用温度计或热电偶测量时,应该采取以下的预防措施:

a) 温度计的球泡或热电偶应该防止来自外部的冷却(用干燥清洁的羊毛等)。然而,被保护的面积和受试电器的冷却面积相比应该是可以忽略的;

b) 应该保证温度计或热电偶与受试部分的表面之间具有良好的导热性;

c) 如果在变化的磁场中使用球泡形温度计,酒精温度计比水银温度计更为适宜,因为后者更易受到变化磁场的影响。

采用说明:

14] IEC 60694 无此附录。

6.5.4 周围空气温度

周围空气温度是开关设备和控制设备(对于封闭开关设备和控制设备是指外壳)周围空气的平均温度。它应该在试验的最后四分之一的期间,至少使用三只均匀布置在开关设备和控制设备周围、处在载流部件的平均高度上并距开关设备和控制设备1 m处的温度计、热电偶或其他温度检测器件来测量。应该防止温度计或热电偶受气流以及热的过分影响。

为了避免温度快速变化造成的读数误差,可以把温度计或热电偶放入装有0.5 L油的小瓶中。

在最后四分之一的试验期间,周围空气温度的变化在1 h内不应该超过1 K。如果因试验室不利的温度条件而不可能达到时,可以用在相同条件下但不通过电流的一台相同的开关设备和控制设备的温度来代替周围空气温度。这台另加的开关设备和控制设备不应该受到过热的热量。

试验时的周围空气温度应该高于+10℃,但低于+40℃。在周围空气温度的这一范围内,不应该进行温升值的修正。

6.5.5 辅助设备和控制设备的温升试验

试验用规定的电源(交流或直流)进行,对交流电源,用它的额定频率(允差±3%)。

注:对邻近载流部分没有铁质元件的敞开式开关装置在50 Hz下进行温升试验时,如果实测的温升值不超过最大允许值的95%,则应当认为该开关装置在60 Hz下的性能得到了验证。

如果用60 Hz试验,其结果应当对额定电流相同的额定频率为50 Hz的同一产品有效。

辅助设备应该在其额定电源电压或其额定电流下进行试验。交流电源电压应该是近似正弦的。

连续工作在额定值的线圈的试验应该持续足够长的时间以使温升达到稳定值。如果在1 h内温升的变化不超过1 K,通常就认为达到了这一状态。

对于只在开关操作时才通电的回路,应该按下述条件进行试验:

a) 如果开关装置具有在操作终了时切断辅助回路的自动断开装置,该回路应该通电10次,每次1 s或者直到自动断开装置动作为止,两次通电之间的间隔时间取10 s,如果开关装置的结构不允许,则取可能的最短间隔时间;

b) 如果开关装置不具有在操作终了时切断辅助回路的自动断开装置,试验时回路应该一次通电15 s。

6.5.6 温升试验的解释

开关设备和控制设备或其辅助设备各部分的温升(其温升极限已有规定)不应该超过表3的规定值。否则,应认为开关设备和控制设备没有通过试验。

如果弧触头是裸铜触头,它和主触头分离但又并联,主触头的温升和弧触头的温升都不应该超过表3给出的值。

如果线圈的绝缘由几种不同的绝缘材料组成,线圈的允许温升应取温升极限最低的绝缘材料的值。

如果开关设备和控制设备装有各种符合各自标准的设备(例如整流器、电动机、低压开关等),这些设备的温升不应超过在相应标准中规定的极限值。

6.6 短时耐受电流和峰值耐受电流试验

开关设备和控制设备的主回路和接地回路(如果适用的话)应该经受试验,来检验它们承载额定峰值耐受电流和额定短时耐受电流的能力。

试验应该在额定频率(允差±10%)和任一合适的电压下进行,并在任一方便的周围温度下开始试验。

注:为了便于试验,可能需要更大的额定频率允差。如果偏差显著,即如额定频率50 Hz的开关设备和控制设备在60 Hz下试验或反之,则在解释试验结果时应予以注意。

6.6.1 开关设备和控制设备以及试验回路的布置

开关设备和控制设备应该安装在它自身的支架上,或者安装在等效的支架上,并且装上它自身的操作机构,尽量使试验具有代表性。试品应该处于合闸位置并装上清洁的新触头。

每次试验前,机械开关装置要做一次空载操作,除了接地开关外,还要测量主回路的电阻。

可以进行三相试验或单相试验。单相试验时,下列各点应该适用:

——对于三极开关设备和控制设备,应该在相邻的两极上进行试验;

——对于各极分离的开关设备和控制设备,既可在相邻的两极上也可在相间距离处装设返回导体的单极上进行试验。如果在设计上相间距离不是固定不变的,应该按制造厂给出的最短距离进行试验;

——额定电压 72.5 kV 以上,除非相关标准另有规定,不必考虑返回导体,但决不应该把返回导体放在比制造厂给出的最短极间中心距离还靠近受试极的位置。

接到开关设备和控制设备端子上的连接线应该避免端子受到不真实的应力。在开关设备和控制设备的两侧,端子和最近的导体支持件之间的距离应该按制造厂说明书的规定。

试验的布置应该记入试验报告。

6.6.2 试验电流和持续时间

试验电流的交流分量原则上应该等于开关设备和控制设备的额定短时耐受电流(I_k)的交流分量。峰值电流(对于三相回路,在任一边相中的最大值)不应该小于额定峰值耐受电流(I_{pk}),未经制造厂同意不应该超过该值的 5%。

对于三相试验,任一相中的电流与三相电流平均值的差别不应该大于 10%。试验电流交流分量有效值的平均值不应该小于额定值。

试验电流 I_t 施加的时间 t_t 原则上应该等于额定短路持续时间 t_k 。

如果没有别的用来确定 $I_t t_t$ 的方法,那么它应该利用附录 B 给出的计算 I_t 的方法从示波图上确定。试验的 $I_t t_t$ 不应该小于由额定短时耐受电流(I_k)和额定短路持续时间(t_k)算得的 $I_k t_k$,未经制造厂同意不应该超过该值的 10%。

然而,如果试验设备的特性使得在规定持续时间的试验中不能得到上面规定的试验电流峰值和有价值,以下的变通是允许的:

a) 如果试验设备短路电流的衰减特性使得在额定持续时间内,不在开始时施加过分大的电流,就不能得到规定的有效值(按附录 B 或等效的方法测定),试验时允许把试验电流的有效值降低到规定值以下,并把试验的持续时间适当加长,但是,峰值电流不小于规定值和持续时间不大于 5 s;

b) 如果为了得到要求的峰值电流,把试验电流增大到超过规定值,可以相应地把试验持续时间缩短;

c) 如果 a) 和 b) 都不可行,允许把峰值耐受电流试验和短时耐受电流试验分开。这时要做两项试验:

——对于峰值耐受电流试验,施加短路电流的时间不应该小于 0.3 s;

——对于短时耐受电流试验,施加短路电流的时间应该等于额定持续时间。然而,按照项 a) 允许有时间上的偏差。

6.6.3 在试验过程中开关设备和控制设备的表现

所有的开关设备和控制设备应该能承载其额定峰值耐受电流及其额定短时耐受电流,不得引起任何部件的机械损伤或触头分离。

通常认为,在试验过程中机械开关装置的载流部分和与其相邻的部件的温升可能超过表 3 规定的极限。对于短时电流耐受试验不规定温升极限,但达到的最高温度不足以引起相邻部件明显的损伤。

6.6.4 试验后开关设备和控制设备的状态

试验后,开关设备和控制设备不应该有明显的损坏;应该能正常地操作,连续地承载额定电流而不会超过表 3 规定的温升极限,并在绝缘试验时能耐受规定的电压。

如果机械开关装置具有额定关合和/或开断能力,那么,触头的状况不应该对关合和/或开断直到其额定值的任一电流的性能有实质上的影响。

下列各项足以检查这些要求:

a) 机械开关装置在试验后应该立即进行空载操作,且触头应该在第一次操作时分开;

b) 其次,应该按 6.4.1 测量主回路电阻(接地开关除外)。如果电阻的增加超过 20%,同时又不可能用目测检查证实触头的状况,进行一次附加的温升试验可能是合适的。

6.7 防护等级检验

6.7.1 IP 代码的检验

按照 GB 4208 规定的要求,试验应该在使用情况一样的、完全装配好的开关设备和控制设备的外壳上进行。对于型式试验,通常不安装进入外壳的真实电缆连接线,应该使用一段相应的填充物来模拟。试验时开关设备的运输单元应该用盖板封闭,盖板能提供和单元间连接同一等级的防护性能。

然而,试验只在对符合这些要求有怀疑时才应该进行,且在认为有必要的有关部件的各个位置上进行。

当使用附加字母 W 时,在附录 C 中给出了推荐的试验方法。

6.7.2 机械撞击试验

如果制造厂和用户同意,户内设备的外壳应该经受机械撞击试验。在每个外壳的可能是最薄弱的部位(点)上施加三次撞击。继电器、仪表等器件除外。

施加撞击的锤头有一半径 25 mm、洛氏硬度 R 100 的钢质半球面。推荐使用在 GB/T 2423.44 中规定的弹簧操作撞击试验装置。

试验后,外壳不应该损坏;外壳的变形不应该影响设备的正常功能,不降低绝缘和/或缩短爬电距离,也不使规定的防止接近危险部件的防护等级降到允许值以下。表面损伤如油漆脱落,冷却肋或类似零件的开裂或小面积的凹陷可以忽略。

然而,试验只在对符合这些要求有怀疑时才应该进行,且在认为有必要的有关部件的各个位置上进行。

对于户外设备,试验应当由制造厂和用户商定。

6.8 密封试验

密封试验的目的是证明绝对漏气率 F 不超过允许漏气率 F_0 的规定值。

如果可能的话,试验应当在处于 p_{ne} (或 ρ_{ne}) 的完整的系统上进行。如果不可行,试验可以在部件、元件或分装上进行。这时,整个系统的漏气率应该利用密封配合图(见附录 E),由各部分漏气率的总和来确定。压力不同的分装之间可能的泄漏也应该考虑。

装有机械开关装置的开关设备和控制设备的密封试验应该既在开关的合闸位置又在开关的分闸位置上进行,除非漏气率与主触头的位置无关。

通常,只允许以累计漏气量的测量来计算漏气率。

型式试验报告应当包括下面这些资料:

- 试品的说明,包括它的内部容积和充入气体的性质;
- 试品是在合闸位置还是在分闸位置(如果适用的话);
- 试验开始时和结束时记录的的压力和温度,以及补气的次数(如果需要的话);
- 压力(或密度)控制或监视装置的投入和切除压力整定值;
- 用来检测漏气率的仪表的校正值;
- 测量的结果;
- 如果适用的话,试验气体和评定试验结果用的换算因数。

密封试验应该与相关标准中要求做的试验一起进行,一般在机械操作试验前和后、或在极端温度下的操作试验过程中进行。

在极端温度下(如果相关标准要求进行这样的试验),漏气率的增加是可接受的,只要漏气率回复到不高于在正常的周围空气温度下的最大允许值。暂时增加的漏气率不应该超过表 12 给出的值。

通常,为了使用合适的试验方法,参见 GB/T 2423.23。

表 12 气体系统的允许暂时漏气率

温度等级, °C	允许暂时漏气率
+40 和 +50	$3F_p$
-5 < 周围温度 < +40	F_p
-5/-10/-15/-25/-40	$3F_p$
-50	$6F_p$

6.8.1 气体的可控压力系统

应该用在一段时间 t 内测得的压力降 ΔP 来检查相对漏气率 F_{rel} , 这段时间要长到足以确定压力降 (在充气 and 补充压力范围之内)。应当对周围空气温度的变化进行修正。在这段时间内补气装置不应该工作。

$$F_{rel} = \frac{\Delta P}{P_i} \times \frac{24}{t} \times 100 (\% \text{ 每天})$$

$$N = \frac{\Delta P}{P_i - P_m} \times \frac{24}{t}$$

式中: t 是试验持续时间 (h)。

注: 为了保持公式的线性, ΔP 应当和 $P_i - P_m$ 具有同一数量级。可用的另一种方法是直接测量每天的补气次数。

6.8.2 气体的封闭压力系统

由于这些系统的漏气率相对较小, 压力降测量法是不适用的。可以用其他的方法 (实例在附录 E 中给出) 来测量漏气率 F , 这些方法连同密封配合图 TC 可以用来计算:

— 相对漏气率 F_{rel} ;

— 补气间隔时间 T (不在极端的温度条件或操作频率下)。

通常, 试验 Q_m (GB/T 2423.23) 是确定气体系统泄漏的合适方法。

如果充入试品的试验气体不同于运行中使用的气体和/或试验压力不同于正常的工作压力, 计算时应该使用制造厂规定的换算因数。

鉴于低温和高温试验过程中测量有困难, 可以在低温和高温试验前和后, 处在周围温度下进行密封试验, 来确定漏气率是否有变化。

由于漏气率的测量实际上可能有 $\pm 50\%$ 的误差, 如果达到表 12 规定值的 $\pm 50\%$ 以内, 就认为密封试验结果是良好的。在计算补气间隔时间时, 应该计入这一测量误差。

6.8.3 密封压力系统

a) 使用气体的开关设备

对这类开关设备和控制设备进行密封试验是为了确定密封压力系统的预期工作寿命。

试验应按 6.8.2 进行。

b) 真空开关设备

应该在真空灭弧室没有操作过的条件下, 测量两次真空度, 两次测量的时间间隔能够正确地评定真空压力的变化率。

这一变化率应该是使在预期工作寿命期内的真空压力不会达到可接受的最大极限。最短的时间间隔取决于真空灭弧室的尺寸和试验方法的灵敏度。

注: 通常认为四周的时间间隔是可接受的。

选择的测量真空度的方法应该对每种型式的真空灭弧室进行校正。这种校正是在样品密封之前, 在应用待校方法的同时, 进行常规的真空压力测量。准确度的评定应该由反复的测量来确定。

6.8.4 液体的密封试验

密封试验的目的是证明系统总的泄漏率 F_{liq} 不超过规定值 $F_{p(liq)}$ 。

试品应该装上使用时带有的各种附件和规定的液体, 安装得尽可能接近使用情况 (框架、固定方式)。

密封试验应该与相关标准中要求做的试验一起进行,一般在机械操作试验前和后、在极端温度下的操作试验过程中、或在温升试验的前和后进行。

在极端温度下(如果相关标准要求进行这样的试验)和/或在操作过程中,泄漏率的增加是可以接受的,只要在温度恢复到正常周围空气温度后和/或在操作完成后,泄漏率恢复到起始的数值。暂时增加的泄漏率不应该妨碍开关设备和控制设备的安全运行。

对开关设备观测的时间应该足以确定可能的泄漏或压力降 ΔP 。这时,6.8.1给出的计算公式是有效的。

注:试验时采用和工作时不同的液体或者采用气体,这都是可能的,但要求制造厂证明其合理性。

试验报告应当包括以下资料:

- 试品的一般说明;
- 完成的操作次数;
- 液体的性质和压力;
- 在试验过程中周围空气的温度;
- 开关装置在合闸位置或分闸位置测得的试验结果(如果适用的话)。

6.9 电磁兼容性(EMC)试验

只对二次系统规定了EMC的要求和试验。

对于开关设备和控制设备的主回路,在正常运行但不进行开合操作时,辐射电平是用无线电干扰电压试验来验证的。

由开合操作(包括开断故障电流)引起的辐射是偶然发生的。

上述辐射的频率和电平被认为是正常电磁环境的一部分。

对于开关设备和控制设备的二次系统,在本标准中规定的EMC的要求和试验比其他EMC的技术规范优先。

6.9.1 二次系统辐射试验

作为二次系统一部分的电子设备,应该满足GB 4824规定的关于辐射的要求。不再规定其他的试验。

6.9.2 二次系统抗扰性试验

如果开关设备和控制设备的二次系统包括电子设备和元件,二次系统应该经受电磁抗扰性试验。对其他情形,不需要做试验。

规定了以下的抗扰性试验:

- 冲击电压试验(见6.9.4)。该试验是耐受试验,并模拟高能脉冲的效应;
- 电快速瞬变脉冲群试验(见6.9.5)。该试验模拟在二次回路中开合引起的情况;
- 振荡波抗扰性试验(见6.9.6)。该试验模拟在主回路中开合引起的情况。

注:还有其他EMC的抗扰性试验,但在这里不作规定。静电放电(ESD)试验是对电子设备的常规要求,对整个二次系统不必重复。辐射场试验和磁场试验只在特殊场合才被认为是恰当的。各种EMC的抗扰性试验汇集在GB/T 17626.1—1998中。

特殊场合的例子:

放在金属封闭开关设备母线附近的电子装置,可能受到磁场的影响,为了确保电磁兼容性,可能要做些附加的处理。

6.9.3 抗扰性试验的准则

电磁抗扰性试验最好应当在整个二次系统上进行。一般认为在一个有代表性的二次系统上进行的这些试验,验证了属于同一型式的开关设备和控制设备的类似的二次系统的正常功能。也允许在实际结构中包括电子设备的那些主要分装上,分别进行试验。

注:即使二次系统只有适度的改动,例如电缆布置的变动,也可能改变对于高频干扰的特性。

试验电压只应该加在二次系统或者受试分装的外部接口上。

如果没有外部接口,也就是说,如果二次系统与开关设备和控制设备完全成为一体,试验电压应该加在二次系统内部合适的端子上。这些端子应该由制造厂来选择。

6.9.4 冲击电压试验

冲击电压试验应该按照 GB/T 14598.3 进行。

冲击电压峰值应该是 5 kV。试验电压应按 6.2.10(工频电压耐受试验)中提及的相同的方式施加。

6.9.5 电快速瞬变脉冲群试验

电快速瞬变脉冲群试验应该按照 GB/T 17626.4 进行。试验电压应该是 2 kV。

6.9.6 振荡波抗扰性试验

振荡波抗扰性试验应该以 GB/T 17626.12 规定的试验电压波形和持续时间来进行。

应该按下列频率(容差 $\pm 30\%$)进行阻尼振荡波试验。

——对于 GIS 的二次系统:100 kHz,1 MHz,10 MHz,50 MHz;

——其他情况:100 kHz 和 1 MHz。

试验应该既对共模又对差模进行。对于共模试验,电压应该为 2.5 kV;对于差模试验,电压应该为 1.0 kV。

注:GIS 中隔离开关的操作可能产生波前极陡的过电压。这是 GIS 的试验频率有 10 MHz 和 50 MHz 的原因。对这些频率的试验程序,正在考虑中。

6.9.7 在试验过程中和试验后的表现

二次系统应该耐受在 6.9.4 到 6.9.6 中规定的各项试验而不发生永久的损坏。各项试验后,它们应该仍是完全可以工作的。在电快速瞬变脉冲群试验和振荡波抗扰性试验时,按表 13,部分功能的暂时丧失是允许的。

6.9.8 电磁兼容性的现场测量

在主回路中和在二次系统中的操作,都会在二次系统中引起电磁感应电压,这些电压可以在现场测量时记录。现场测量不是型式试验;然而,进行测量是为了验证系统的正确性能,或者是为了评定它的电磁环境以便在需要时采取适当的调节措施。

通常认为对正在研究中的变电站的整个二次系统进行试验是不必要的,应当选择一个有代表性的结构。

测量感应电压是在和系统不断开的条件下,在二次系统和周围网络间的接口中有代表性的端子(例如在控制柜的输入端子上)上进行。5.18 描述了二次系统所及的范围。用来记录感应电压的测量仪器应当按 IEC 816 所述的方式连接。

表 13 瞬态干扰抗扰性试验的评定判据

功 能	判 据
指令和控制	1
测量	2
计数	1
数据传输	2
信息和数据储存的保护	1
数据处理:在线 离线	1
	3

表 13(完)

功 能	判 据
监测	2
人-机接口	3
自诊断	2
按 GB/T 17626.1, 推荐的严酷度的判据: 1 在技术条件规定的范围内正常工作。 2 功能或性能的暂时下降或丧失, 但能自行恢复。 3 功能或性能的暂时下降或丧失, 但需操作者干预或系统重新设置。 4 功能下降或丧失由于设备(元件)或软件的损坏而无法恢复, 或者丢失数据。	

在主回路中和在二次系统中的开合操作都应当在正常工作电压下进行。感应电压会有统计上的变化, 因此, 应当选择有代表性的关合和开断次数, 而且关合和开断的瞬间都是随机的。

主回路的开合操作是在空载情况下进行的。这样, 试验就包括了开合变电站的某些部分, 但不开合负载电流和故障电流。

主回路上的关合操作应当在负载侧带有与正常工作电压相应的残留电荷的条件下进行。这一条件在试验时可能难以实现, 作为替代, 试验程序如下:

- 关合操作前将负载侧放电, 保证残留电荷为零。
- 将关合操作中记录到的电压值乘以 2, 以模拟负载侧有残留电荷的条件。

一次系统中的开关装置最好应该在额定压力和额定辅助电压下操作。

注

1 关于感应电压, 通常最严重的情形会在只对变电站的一小部分进行开合时发生。

2 特别是对于 GIS, 最严重的电磁干扰预计在隔离开关开合时发生。

记录到的感应电压峰值不应超过 1.6 kV。

5.18 中的注 2 给出改善电磁兼容性的准则。

7 出厂试验

出厂试验是为了曝露材料和结构中的缺陷。它们不会损坏试品的性能和可靠性。出厂试验应该在制造厂内任一合适的地方对每台成品进行, 以确保产品与已通过型式试验的设备相一致。根据协议, 任一项出厂试验都可在现场进行。

本标准规定的出厂试验项目包括:

- a) 主回路的绝缘试验, 按 7.1;
- b) 辅助和控制回路的绝缘试验, 按 7.2;
- c) 主回路电阻的测量, 按 7.3;
- d) 密封试验, 按 7.4;
- e) 设计检查和外观检查, 按 7.5。

可能需要进行一些附加的出厂试验, 这在有关的产品标准中予以规定。

如果开关设备和控制设备在运输前不完成总装, 那么应该对所有的运输单元进行单独的试验。在这种场合, 制造厂应该证明这些试验的有效性(例如: 泄漏率, 试验电压, 部分主回路的电阻)。

除非制造厂和用户间另有协议, 通常出厂试验不需要出试验报告。

7.1 主回路的绝缘试验

应该进行短时工频电压干试验。试验应按 GB/T 16927.1 和 6.2 在新的、清洁的和干燥的完整设备、单极或运输单元上进行。

试验电压应该是表 1 或表 2 中栏 2 的规定值,或是按有关的产品标准,或是这些标准的适用部分。

如果开关设备和控制设备的绝缘仅由实心绝缘子和处在大气压力下的空气提供,只要检查了导电部分之间(相间、断口间以及导电部分和底架间)的尺寸,工频电压耐受试验可以省略。

尺寸检查的基础是尺寸(外形)图,这些图样是特定的开关设备和控制设备的型式试验报告的一部分(或是在型式试验报告中被引用)。因此,在这些图样中应该给出尺寸检查所需的全部数据(包括允许的偏差)。

7.2 辅助和控制回路的绝缘试验

试验应该在与 6.2.10 中所述的相同条件下进行。

为了便于试验,经制造厂和用户协商同意,试验持续时间通常可以缩短到 1 s。

7.3 主回路电阻的测量

对于出厂试验,主回路每极直流电压降或电阻的测量,应该尽可能在与相应的型式试验相似的条件(周围空气温度和测量部位)下进行。试验电流应当在 6.4.1 规定的范围内。

测得的电阻不应超过 $1.2 R_0$,这里 R_0 等于温升试验前测得的电阻。

7.4 密封试验

出厂试验应按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。对于充气的系统,可以用探头来试漏。

7.4.1 气体的可控压力系统

试验程序与 6.8.1 一致。

7.4.2 气体的封闭压力系统

试验程序与 6.8.2 一致。

按密封配合图 TC,试验可以在制造过程或现场装配的不同阶段,对部件、元件和分装进行。

7.4.3 密封压力系统

a) 使用气体的开关设备

试验程序与 6.8.3 的项 a) 一致。

b) 真空开关设备

每只真空灭弧室应该用它的出厂顺序号来识别。它的真空压力应该由制造厂按 6.8.3 的项 b) 来检验。

试验结果应该作出书面记录,如有要求,应该出具书面证明。

开关装置装配完成以后,真空灭弧室的真空度应该在分开的触头间用有明显作用的出厂绝缘试验来检验。试验电压应由制造厂规定。

绝缘试验应该在出厂机械试验后进行。

7.4.4 液体密封试验

出厂试验应该在正常的周围温度下,在完全装配好的开关设备和控制设备上进行。分装的试验也是允许的,这时,最后的检查应该在现场进行。

试验方法和型式试验方法一致(见 6.8.4)。

7.5 设计和外观检查

开关设备和控制设备应该经过检查,以证明它们符合买方的技术条件。

8 开关设备和控制设备的选用导则

在开关设备和控制设备的有关产品标准中规定。

9 查询、投标和订货时提供的资料

在开关设备和控制设备的有关产品标准中规定。

10 运输、储存、安装、运行和维修规则

按照制造厂给出的说明书对开关设备和控制设备进行运输、储存和安装以及在使用中的运行和维修,是十分重要的。

因此,制造厂应提供开关设备和控制设备的运输、储存、安装、运行和维修说明书。运输和储存说明书应在交货前的适当时间提供,而安装、运行和维修说明书最迟应在交货时提供。

本标准不可能详细地列出每种不同类型设备的安装、运行和维修的全部规则,但下面给出的资料,对制造厂提供的说明书来说,是十分重要的。

10.1 运输、储存和安装时的条件

如果在运输、储存和安装时不能保证订货单中规定的使用条件(温度和湿度),制造厂和用户应当就此达成专门的协议。

为了在运输、储存和安装中以及在带电前保护绝缘,以防由于雨、雪或凝露等原因而吸潮,采取特殊的预防措施可能是必要的。运输中的振动也应予以考虑。说明书中对此应给予适当的说明。

10.2 安装

对于每种型式的开关设备和控制设备,制造厂提供的说明书至少应当包括下列各项。

10.2.1 开箱和起吊

应当给出安全开箱和起吊所需的资料,包括必需使用的专用起吊和定位器具的细节。

10.2.2 总装

如果开关设备和控制设备不是完全装成后发运的,所有的运输单元应当清晰地加以标记。应当随同开关设备和控制设备一起提供将它们总装起来的图样。

10.2.3 安装就位

开关设备和控制设备、操动机构和辅助设备安装就位用的说明书应当包括定位件和基础的详细说明,以便完成现场的准备工作。

还应当简要地说明:

- 包括灭弧或绝缘液体的设备的总质量;
- 灭弧或绝缘液体的质量;
- 单独起吊的设备部件的质量,如果它超过 100 kg 的话。

10.2.4 连接

说明书应当包括的资料:

a) 导体的连接,包括防止在开关设备和控制设备上产生过度和不必要的变形以及提供适当的电气间隙所需的建议;

b) 辅助回路的连接;

c) 液体或气体系统的连接(如果有的话),包括管道尺寸和布置;

d) 接地连接。

10.2.5 安装竣工检验

在开关设备和控制设备安装完毕和完成所有的连接后应当进行检查和试验,应当提供检查和试验的说明。

这些说明包括:

- 为了正确地运行,建议进行的现场试验项目清单;
- 为了达到正确的运行,可能需要进行调整的程序;
- 为了帮助作出将来维修的决定,建议进行并记录的有关测量项目;
- 最终检查和投入使用的说明。

10.3 运行

制造厂给出的说明书应当包括以下资料：

- 设备的一般说明，要特别注意它的特性和运行的技术说明，使用户充分了解所涉及的主要原理；
- 设备安全性能以及联锁和挂锁操作的说明；
- 和运行有关的，为了对设备进行操作、隔离、接地、维修和试验所采取的行动的说明。

10.4 维修

维修的有效性主要取决于制造厂编写的说明书的内容和用户贯彻执行说明书的程度。

10.4.1 对制造厂的建议

a) 制造厂应出版包括以下资料的维修手册。

1) 维修的范围和频度，为此应当考虑以下的因素：

- 开合操作(电流和次数)；
- 总的操作次数；
- 使用时间(断续的时间间隔)；
- 环境条件；
- 测量和诊断试验(如果有的话)。

2) 维修工作的详细说明：

- 推荐进行维修工作的场所(户内、户外、工厂、现场等)；
- 检查、诊断试验、检验和修配的程序；
- 参考图样；
- 参考零件号；
- 使用的专用设备和工具；
- 要注意的事项(例如清洁度和有害的电弧分解物的可能影响)；
- 润滑的步骤。

3) 对维修至关重要的开关设备和控制设备细节的全套图样，图样上要有总装，分装和重要零件的清晰标志(零件号和说明)。

注：推荐的图示法是细节的放大图，它表示了总装和分装中元件的相对位置。

4) 极限值和允许偏差，如果超出，要进行必要的校正。

例如：

- 压力，密度；
- 电阻器和电容器(主回路的)的数值；
- 操作时间；
- 主回路电阻；
- 绝缘液体或气体的特性；
- 液体或气体的数量和质量(对于六氟化硫见 GB/T 8905 和 IEC 1634)；
- 耐磨零件的允许磨损；
- 转矩；
- 主要尺寸。

5) 辅助维修材料的规格，包括对已知的不相容材料的警告：

- 油脂；
- 油；
- 液体；
- 清洁剂和去油剂。

6) 专用工具、起吊和维修用设备的清单。

7) 维修后的试验项目。

8) 推荐的备件(说明、代号、数量)和储存建议。

9) 有效计划维修时间的估计。

10) 在设备操作寿命终了时,计及环境的要求,怎样对设备进行处理。

b) 制造厂应当告诉某特定型号开关设备和控制设备的用户,对可能出现的系统缺陷和失效需要进行的校正。

c) 备件的供应

从开关设备和控制设备最后的制造日期算起,在不少于10年的期限内,制造厂应当有责任确保维修用备件的不间断供应。

10.4.2 对用户的建议

a) 如果用户希望自行维修,其工作人员应具有有效的资格证书,以及对相应的开关设备和控制设备的详尽了解。

b) 用户应当记录下列资料:

——开关设备和控制设备的出厂编号和型号;

——开关设备和控制设备投入使用的日期;

——所有的测量和试验(包括开关设备和控制设备在寿命期内进行的诊断试验)的结果;

——进行维修工作的日期和范围;

——使用的历史,操作计数器的定期记录和其他需要说明的事项(例如短路操作次数);

——所有可参考的失效报告。

c) 如果出现失效和缺陷,用户应当建立一份失效报告,并应向制造厂说明特别的细节和采取的措施。根据失效的性质,用户应和制造厂一起做失效分析。

10.4.3 失效报告

失效报告的目的是使开关设备和控制设备的失效记录标准化,它的目标如下:

——采用共同的术语来描述失效;

——为用户的统计资料提供数据;

——向制造厂反馈有意义的信息。

以下给出如何建立失效报告的指导。

a) 失效开关设备的确认:

——变电站的名称;

——开关设备的确认(制造厂、型号、出厂编号、额定值);

——开关设备的种类(空气、少油、六氟化硫、真空);

——使用场所(户内、户外);

——外壳;

——操动机构(液压、气动、弹簧、电动机、人力),如果适用的话。

b) 开关设备的历史

——设备投运日期;

——失效/缺陷出现的日期;

——操作循环总数,如果适用的话;

——上次维修的日期;

——出厂以来对设备进行的任何改动的细节;

——上次维修以来操作循环的总数;

——发现失效/缺陷时开关设备的状态(运行、维修等);

c) 对最初的失效/缺陷负责的分装/元件的确认;

- 高压作用的元件；
 - 电气控制和辅助回路；
 - 操动机构，如果适用的话；
 - 其他元件。
- d) 推测的促使失效/缺陷发生的因素；
- 环境条件(温度、风、雨、水、污秽、雷击等)；
- e) 失效/缺陷的分类
- 重失效；
 - 轻失效；
 - 缺陷。
- f) 失效/缺陷的起源和原因
- 起源(机械的、电气的、密封性，如果适用的话)；
 - 原因(设计、制造、说明书不够详细，不正确的安装就位，不正确的维修，负荷超过规定值等)。
- g) 失效或缺陷的后果
- 开关设备停工时间；
 - 修理用去的时间；
 - 劳动力的价格；
 - 备件的价格。
- 失效报告可以包括以下内容：
- 图样，草图；
 - 损坏元件的照片；
 - 变电站的单线图；
 - 运行情况和时间顺序；
 - 记录和图表；
 - 参考的维修或运行手册。

11 安全

仅当高压开关设备和控制设备按有关的规程安装，并按制造厂的说明书使用和维修时，它才能够安全地工作。

通常只有指派的人员才可以接近高压开关设备和控制设备。它应该由技术熟练的人员来使用和维修。如果对接近配用电用开关设备和控制设备不加限制，就需要有附加的安全性能。

本标准的以下规定为开关设备和控制设备提供了防止各种危险的人身安全措施。

11.1 电气方面

- 隔离断口的绝缘(见 4.2)；
- 接地(间接触)(见 5.3)；
- 高压回路和低压回路分离(见 5.4)；
- IP 代码(直接接触)(见 5.13)。

11.2 机械方面

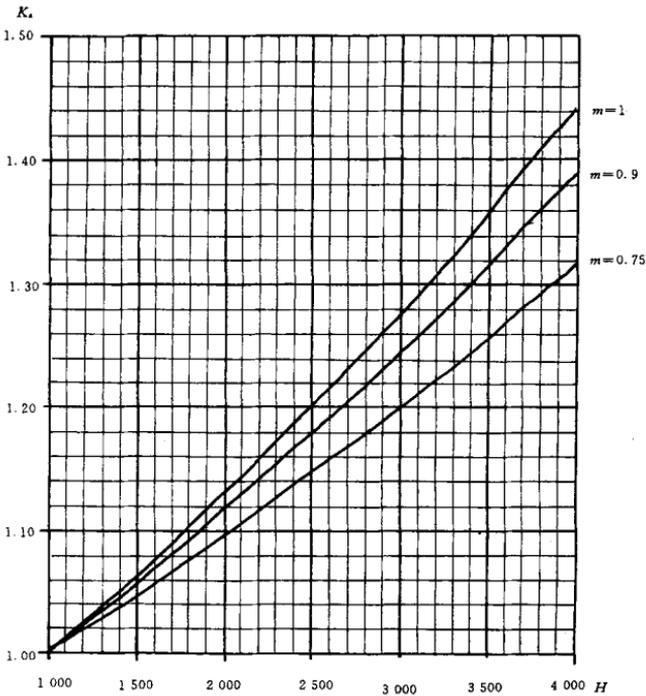
- 承压元件(见 5.2)；
- 人的操作力(见 5.6.3)；
- IP 代码(可动部件)(见 5.13.1)；
- 机械撞击的保护(见 5.13.3)。

11.3 热的方面

- 可触及部件的最高温度(见表 3);
- 易燃性(见 5.17);

11.4 操作方面

- 动力操作(见 5.5);
- 人力储能(见 5.6.3);
- 不依赖人力的操作(见 5.7);
- 联锁装置(见 5.11);
- 位置指示(见 5.12)。



这些因数可用下式计算:

$$K_a = e^{m(H-1000)/78150}$$

式中: H —海拔,用 m 表示;

m —为了简单起见,取下述确定值:

- $m=1$ 对于工频、雷电冲击和相间操作冲击电压,
- $m=0.9$ 对于纵绝缘操作冲击电压,
- $m=0.75$ 对于相对地操作冲击电压。

图 1 海拔修正因数(见 2.2.1)

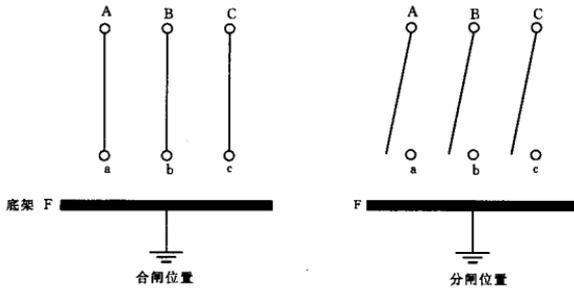
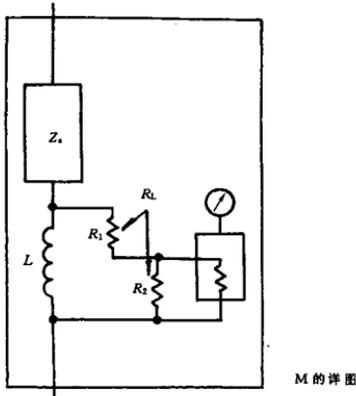
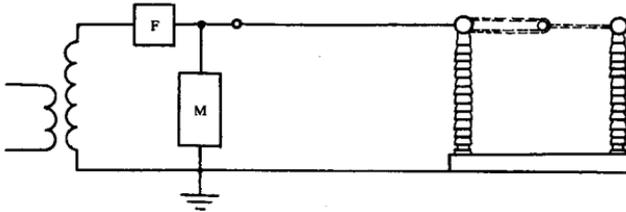


图 2 三极开关装置的连接图(见 6.2.5.1)



M 的详图

F—滤波器；

R_1 — R_2 和测量装置的等值电阻并联后再与 R_1 串联的等值电阻；

Z_s —既可以是电容器，也可以是电容器和电抗器串联的电路；

L —用来旁路工频电流和补偿测量频率下杂散电容的阻抗。

图 3 开关装置无线电干扰电压试验回路图(见 6.3)

附录 A
(标准的附录)
试 品 的 确 认

对于每台试品,如果适用,制造厂应该向试验室提交下列资料和图样(但不一定要包括在试验报告内)。试验报告内包括的资料在 6.1.3 中给出。

A1 资料

- 制造厂名称;
- 设备的型号,额定值和出厂编号;
- 设备的简述(包括极数、联锁系统、母线系统、接地系统和电弧的熄灭过程);
- 主要部件的制造厂、型号、出厂编号和额定值,如果适用的话(例如操动机构、灭弧室、并联阻抗、继电器、熔断件、绝缘子);
- 熔断件和保护装置的额定特性;
- 设备打算是在垂直位置还是在水平位置操作。

A2 图样

提交的图样	图样内容(如果适用的话)
主回路的单线图(示意图)	主要元件的型号
总装图 注:对于成套设备,可能需要提供整套设备和各个开关装置的图样。	外形尺寸 支持结构 外壳 压力释放装置 主回路的导电部件 接地导体和接地联结 电气间隙: ——对地、断口间 ——极间 极间隔板的位置和尺寸 接地金属屏蔽、活门或隔板相对于带电部分的位置 绝缘液体的液位 绝缘子的位置和型号 仪用互感器的位置和型号
绝缘子的详图	材料 尺寸(包括剖面图和爬距)
电缆箱的配置图	电气间隙 主要尺寸 端子 箱内绝缘填充物的规格、液位或数量 电缆头的详图

提交的图样	图样内容(如果适用的话)
主回路部件和毗连的元件的详图	主要部件的尺寸和材料 通过主触头和弧触头中心线的剖视图 动触头行程曲线 断口间的电气距离 触头刚合点和触头运动终了点间的距离 静触头和动触头装配 端子(尺寸、材料)的详图 弹簧的标志 绝缘部件的材料和爬距
机构(包括联动机构和操动机构)的详图	连接到下列部件的运动链的主要元件的布置和标志 ——主触头 ——辅助开关 ——指示开关 ——位置指示器 扣锁装置 机构的装配 联锁装置 弹簧的标志 控制和辅助装置
辅助和控制回路的电路图(如果适用的话)	所有元件的型号

附录 B

(标准的附录)

在给定的短路持续时间内、短时电流等效有效值的确定

应当使用图 B1 所示的方法来确定短时电流(见 6.6.2)。

将试验的总时间 t_i 用垂直线 0, 0.1, ..., 1 分成 10 等分, 并在这些垂直线上测量电流交流分量的有效值。

这些值用 Z_0, Z_1, \dots, Z_{10} 表示。

这里, $Z = X / \sqrt{2}$; 而 X 是电流交流分量的峰值。

在时间 t_i 内电流的等效有效值为:

$$I_t = \sqrt{\frac{1}{30} [Z_0^2 + 4(Z_1^2 + Z_2^2 + Z_3^2 + Z_4^2 + Z_5^2) + 2(Z_6^2 + Z_7^2 + Z_8^2 + Z_9^2) + Z_{10}^2]}$$

由 CC' 表示的电流的直流分量没有计入。

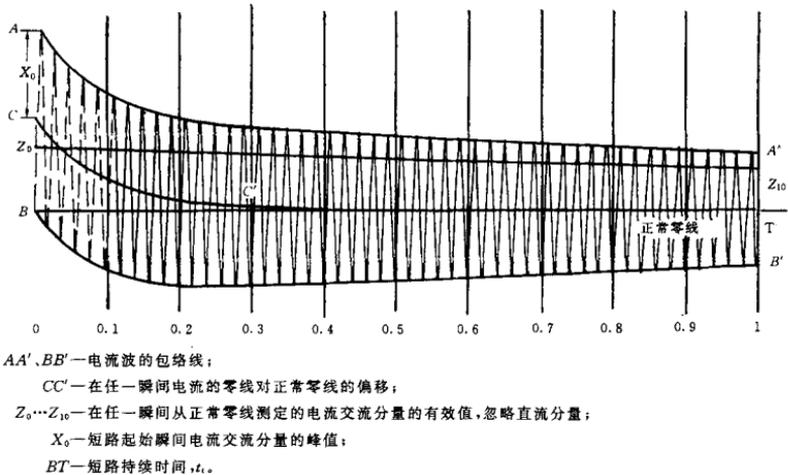


图 B1 短时电流的确定

附录 C

(标准的附录)

户外开关设备和控制设备防雨试验方法

受试的开关设备和控制设备应该完全装好，配齐所有的盖板、屏蔽、套管等，放在有人工淋雨设备的场所。对于由几个功能单元组成的开关设备和控制设备，最少应该用两个单元来试验它们之间的连接的防雨性能。

人工淋雨设备应该具有足够数量的喷嘴，以便在受试表面产生均匀的淋雨。如果均匀的淋雨也同时加到了下列的两个部位，那么开关设备和控制设备的各个部分可以分别试验：

- a) 从装在适当高度上的喷嘴产生的淋雨加到设备的顶部表面；
- b) 设备置于制造厂规定的离地面的最低高度上，淋雨加到设备受试部分前方距离 1 m 以内的地面上。

如果设备的宽度超过 3 m，可以依次对 3 m 宽的区域淋雨。充压外壳不需要进行防雨试验。

本试验采用的每个喷嘴，应该产生均匀分布的截面呈正方形的淋雨束；在压力 $460 \text{ kPa} \pm 10\%$ 和喷嘴射角 60° 到 80° 时，应该有 $30 \text{ L/min} \pm 10\%$ 的流量。在淋雨正对受试表面的情况下，喷嘴的中心线应该向下倾斜，使得淋雨束的顶部呈水平射出。将喷嘴布置在垂直的立管上，相互间间隔 2 m 左右是合适的（见图 C1 中的试验布置）。

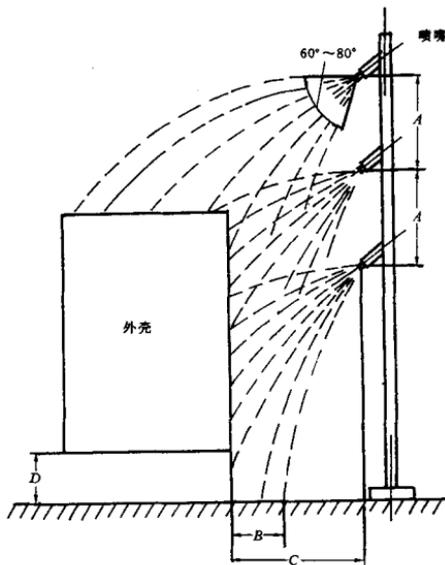
在流动条件下，喷嘴供水管中的压力应该为 $460 \text{ kPa} \pm 10\%$ 。加到各受试表面的淋雨率应该约为 5 mm/min ，且各受试表面应该经受持续 5 min 的人工淋雨。喷嘴应该放在离最近的垂直受试表面 2.5 m 到 3 m 处。

注：如果采用图 C2 的喷嘴，当压力为 $460 \text{ kPa} \pm 10\%$ 时，则认为淋雨量符合本标准。

试验完成后，应该立即检查设备，以确定是否满足下列要求：

- 1) 在主回路和辅助回路的绝缘上应该见不到水迹；
- 2) 在设备内部的电气元件和机构上应该见不到水迹；

3) 结构件或其他非绝缘部件应该没有明显的积水(以减少腐蚀)。



A	约 2 m
B	1 m
C	2.5 m 到 3 m
D	离地面最低高度

图 C1 防雨试验的布置

附录 D

(提示的附录)

关于绝缘水平和绝缘试验的资料

本附录的目的是给出本标准中规定的关于绝缘水平和绝缘试验的资料。

D1 技术说明

额定绝缘水平主要是以 GB 311.1 的要求为基础。使用导则 GB/T 311.7 给出关于系统标称电压和标准绝缘水平之间关系的充分说明。这些标准适用于各种各样的设备：绝缘子、电缆、电力变压器等。因此，将它们用于高压开关设备和控制设备需要作某些选择。

D1.1 相对地

选用的绝缘水平考虑了开关设备和控制设备最常采用的值。

除了 GB 311.1 的要求外，为了检验内绝缘对暂时过电压的耐受能力，对于额定电压高于 252 kV 的设备，增加了额定短时工频耐受电压。

D1.2 相间

对于极间绝缘，GB 311.1 的技术要求不变。

D1.3 纵绝缘

因为没有其他的产品标准规定纵绝缘，额定耐受值可从 GB 311.1 中选取。

D1.3.1 隔离断口

除了绝缘配合的要求外，本标准规定了“隔离断口”的绝缘。这是考虑了隔离开关要满足的特殊工况而提供的附加的安全系数(1.15)。

并不意味着要提供“自动配合”，即要求任何破坏性放电会在开关装置的相对地间，而不在它的断口间发生。通常认为，如果必需在高压导体上进行作业，只有当导体接地时安全才有保障。有关的安全法规应该适用。

D1.3.2 表 2 的联合电压试验

联合电压试验是这样的一种试验，在试验中两个独立的能产生对地电压的电源分别连接到试品的两个端子上(见 GB/T 16927.1)。

对于 363 kV 及以上的开关设备和控制设备，断口间承受反相工况或用作联络断路器，需要进行这样的试验。在一些试验中，两个带电部分之间的试验电压规定得高于相对地电压，为了进行这些试验，联合电压试验也可能是有用的。

按照下述理由规定了联合电压试验的电压分量：

——短时工频耐受电压

规定的工频耐受电压值对应于满负荷发电机从电网上断开后甩掉负荷的最严重的情况。开关装置发电机侧的过电压可以达到 1.5 倍系统电压，它可以持续 3 s 并带有可能的相位移。在此同时，开关装置电网侧加有正常的运行电压。两个电压反相时的和是 2.5 倍系统电压，这里扩大为 2.5 倍额定电压。

——操作冲击电压

在表 2 栏 4 中规定的相对地操作冲击电压值是用来考虑在开关装置端子上可能出现的最高缓波前过电压。这是从带有残留电荷的线路的一端快速重合后出现在线路远端的过电压。这个最高过电压与这一瞬间电网的工频电压极性相同，因此在寻找开关装置断口上的最大电压负荷时，它并不保持下来。当过电压的极性与系统工频电压的极性相反时，断口上出现最大电压负荷。在这种情况下，最大值是从线路的一端合闸时出现的，它比重合闸时出现的值低。因此，在栏 6 中规定的操作冲击值比栏 4 的值低。

—雷电冲击

在作出绝缘配合的过程中,为了选择性能指标,GB 311.1考虑某种情况出现的概率。在开关装置一侧端子上出现最大快波前过电压的瞬间,其对侧端子处在反极性的最高系统电压幅值的可能性是小的。因此,在这种特殊情况下所规定的雷电冲击不需要和一般情况下的一样高。在过去的几十年中,已证明降低5%是非常适当的。为了便于试验,开关断口电压的降低放在工频电压分量上。

D2 试验

D2.1 用替代方法试验纵绝缘

为了和优选方法严格地等效,带电端子和底架间的电压应当等于额定相对地耐受电压。但把这一电压与纵绝缘的试验电压同时调整好是困难的。确定 U_1 时考虑了以下的事实:

- 任一端子和底架间的试验电压不能超过了额定相对地耐受电压而不带来危险;
- 断口间的电场强度主要取决于断口间的电压,对地电压的影响较小;
- 隔离断口额定耐受电压的确定不是很准确的;
- 在绝缘配合的过程中(见GB 311.1)计入了安全系数,来考虑试验上的这些困难。

D2.2 额定电压高于252 kV的相间绝缘试验

D2.2.1 相间绝缘试验的两个操作冲击电压分量的分配

在电网上两个分量的实际比例可以有不同的值。为了简化试验,GB 311.1规定了两个平衡的分量(幅值相同,极性相反)。鉴于这会导致条件不够严格,所以提高了总的试验电压以考虑各种现实的情况(见GB 311.7)。这样,如果施加的总试验电压相同,而各分量是非平衡分配时,试验就比要求的更加苛刻。

但是没有几个试验室有两台冲击发生器,因此一个分量可以用工频电压的峰值来代替。但这导致工频电压高于相对地的规定值,而且持续较长的时间。所以需要作些折衷的处理,这取决于开关装置实际的相对地耐受电压和试验室的设备情况。

D2.2.2 湿试

由于以下的理由,相间操作冲击湿试验通常是不需要的:

- 封闭的绝缘不需湿试验;
- 暴露在雨雪中的相间绝缘只是大气压下的空气,对于额定电压高于252 kV的开关设备和控制设备,相间的耐受电压对此并不敏感。

D2.3 纵绝缘的联合电压试验

D2.3.1 工频电压分量的允差

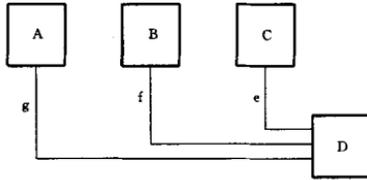
按照GB/T 16927.1,工频电压分量的允差应当保持在规定值的3%以内。这就允许电源电压有这些变化而不需进行持续的调整。但在联合试验过程中,试验室还必须监测冲击电压源的许多其他参数。因此工频分量有较大的偏差是可以接受的,但把开关断口或隔离断口上实际的总电压看作是试验电压。

D2.3.2 大气校正因数

应当按GB/T 16927.1来计算大气校正因数。在联合电压试验时,应当把大气校正因数用于总的试验电压(两个分量之和)上。

附录 E
(提示的附录)
密封(资料、实例和建议)

实例: 气体绝缘金属封闭开关设备, 单相密封的, 三相的断路器隔室接到同一个气体系统。



系统漏气率:

隔室 A $19 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$

隔室 B $19 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$

隔室 C $19 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$

控制箱 D(包括阀门, 表计和监测装置) $2.3 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$

管路 e $0.2 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$

管路 f $0.2 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$

管路 g $0.2 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$

整个系统 $59.9 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$

充气压力 p_{re} : 700 kPa(绝对压力)

报警压力 p_{se} : 640 kPa(绝对压力)

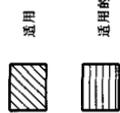
总的内部体积 270 dm^3

$$F_{rel} = \frac{59.9 \times 10^{-6} \times 60 \times 60 \times 24 \times 365}{700 \times 10^3 \times 270 \times 10^{-3}} \times 100 = 1.0\% \text{ 每年}$$

$$T = \frac{(700 - 640) \times 10^3 \times 270 \times 10^{-3}}{59.9 \times 10^{-6} \times 60 \times 60 \times 24 \times 365} = 8.5 \text{ 年}$$

图 E1 封闭压力系统密封配合图 TC 的实例

泄漏灵敏度 Pa·cm ³ /s	泄漏量/kg SF ₆ 的时间	超声波 压力降	肥皂液 染色 手电光	热导率	氟气检漏	卤素检漏器	电子捕获 检漏器	质谱仪
10 ⁴	18天	斜线阴影	斜线阴影	斜线阴影	斜线阴影	斜线阴影	斜线阴影	斜线阴影
10 ³	24周	横纹阴影	横纹阴影	横纹阴影	横纹阴影	横纹阴影	横纹阴影	横纹阴影
10 ²	5年	任何气体	任何气体	任何气体	任何气体	任何气体	任何气体	任何气体
10 ¹	48年		任何气体的 气泡试验	氟里昂12 SF ₆				
10 ⁰	480年							
10 ⁻¹	4 800年					SF ₆		
10 ⁻²	48 000年				NH ₃			
10 ⁻³	480 000年							



注
 1 在良好的状态下探漏，积分检漏能达到更高的灵敏度。
 2 积分检漏。
 3 探漏。

图 E2 密封试验的不同检漏方法的灵敏度和适用性

附 录 F
(提示的附录)

自保护开关设备和控制设备的绝缘试验

F1 概述

F1.1

如果开关设备和控制设备包含了避雷器,而它又成为具有耐受电压额定值的设备的一部分且不可能分开时,需要对正常试验的习惯作法作一些修改。

首先需要引入“预期耐受电压”,即冲击发生器不受试品影响时能够给出的试验电压。这一电压在试品接入前进行测量。

其次,把失败的判据定义为“不正常”放电,即记录到的电压波形上有突然的下降,或电压波形与电压限制装置单独试验时的电压波形不同(见图 F1)。

F1.2

短时工频耐受电压也必须予以考虑,对于额定电压 252 kV 及以下的开关设备和控制设备尤其如此。

对这一电压范围的设备,工频试验电压值得高,不是因为有这么高的暂时过电压,而是为了考虑对缓波前过电压的耐受能力。

把试验电压的波形和持续时间保持在表 1 和表 2 规定的水平上,这不代表真实的使用条件,但却会损坏避雷器。因此,工频试验应该考虑在实际上可能出现的暂时过电压水平上进行,并应加试操作冲击以检验绝缘耐受缓波前过电压的能力(见 GB/T 311.7)

F1.3

自保护开关设备和控制设备中的电压限制装置应该按有关标准(JB/T 6479)单独进行试验。

本附录的试验目的是检验电压限制装置与开关设备和控制设备的其他元件之间的配合。

F2 工频试验

工频干试验应该在下述的试验电压(有效值)下进行 1 min。不应该发生破坏性放电。在下述的公式中采用 1.4 作为故障接地系数的通用值。如果实际值是已知的,应当采用实际值。

F2.1 相对地

— 在有效接地系统中用的开关设备和控制设备应该以 $1.4 \times 1.15 U_i / \sqrt{3} = 1.6 U_i / \sqrt{3}$ 试验;

— 在非有效接地系统中用的开关设备和控制设备应该以 $1.15 U_i = 2U_i / \sqrt{3}$ 试验。

F2.2 相间

— 相间没有接地导电隔板的开关设备和控制设备应该以 $1.15 U_i = 2U_i / \sqrt{3}$ 试验。

F2.3 开关断口

— 在有效接地系统中用的开关设备和控制设备应该以 $1.15(1+1.4) U_i / \sqrt{3} = 2.75 U_i / \sqrt{3}$ 试验;

— 在非有效接地系统中用的开关设备和控制设备应该以 $1.15(1+\sqrt{3})U_i / \sqrt{3} = 3.15 U_i / \sqrt{3}$ 试验。

— 隔离断口应该以 1.15 倍开关断口的试验电压试验。

试验应该用两个反向的电压源进行,一个调整到接近相对地试验电压,而另一个调整到合适的电压以便给出总的规定电压。

作为替代方法,如果将底座对地绝缘起来,可以使用单一的电压源。这时,如同 6.2.5.2b)中的替代方法一样,带电端子和底座之间的电压应当调整到接近相对地试验电压。

F3 操作冲击试验

额定电压 363 kV 及以上的开关设备和控制设备应该以表 2 中的试验电压作为预期电压进行试验。

额定电压 252 kV 及以下的开关设备和控制设备应该在每一极性和每种试验状况下进行 15 次操作冲击试验,不应该发生破坏性放电。预期试验电压(峰值)应该分别为表 1 规定的相对地、相间、开关断口和隔离断口(如果有的话)的工频电压(有效值)的 1.55 倍。

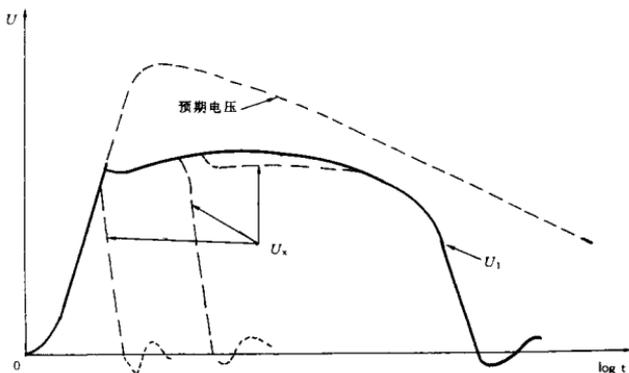
应该记录试品上的实际电压,至少记录相对地的电压。实际电压波形可以和预期电压波形很不相同,这归因于冲击发生器和电压限制装置相应的特性(见图 F1)。

F4 雷电冲击试验

开关设备和控制设备应该以表 1 和表 2 中的试验电压作为预期电压进行试验。

F5 出厂试验

自保护开关设备和控制设备中的元件应该进行 1 min 的工频电压试验,试验电压(有效值)等于 $1.15 \times 0.7 U_1$, U_1 是操作冲击型式试验时的实测电压的峰值。



U_1 —实测电压

U_e —各种破坏性放电的波形

图 F1 带有电压限制装置时冲击电压波形的示例

附录 G

(提示的附录)

参 考 资 料

在本标准中参考了下列标准。

IEC 73:1991 指示器件和控制器件的色标和辅助标志

neq IEC 99-4:1991(JB/T 6479—1992) 避雷器 第 4 部分:交流系统用无间隙金属氧化物避雷器

eqv IEC 129:1984(GB 1985—1989) 交流隔离开关和接地开关

- neq IEC 233:1974(GB 772—1987) 电气设备用空心绝缘子的试验
- neq IEC 273:1990(GB 8287.2—1987) 标称电压 1 000 V 以上系统中户内和户外支柱绝缘子的特性
- idt IEC 664-1:1992(GB 16935.1—1997) 低压系统中设备的绝缘配合 第 1 部分:原理、要求和试验
- IEC 943:1989 电气设备部件(特别是端子)的允许温度和温升的分类导则
- neq IEC 1000-4-1:1992(GB/T 17626.1—1998) 电磁兼容 第 4 部分:试验和测量技术 第 1 节:抗扰性试验总论
- ISO 9001:1994(GB/T 19001—1994) 质量体系 设计、开发、生产、安装和服务的质量保证模式
- ISO 9002:1994(GB/T 19002—1994) 质量体系 生产、安装和服务的质量保证模式

附录 H

(提示的附录)

利用电阻变化测量线圈温升的方法

- H1 电阻法是根据导体热电阻和冷电阻的电阻差来确定温升的方法,用来测定已知电阻温度系数的金属所制成的线圈温度。
- H2 热态和冷态的电阻应以同一方法和同一仪表测量。
- H3 测量线圈的电阻时,通过线圈的电流不应超过额定电流的 115%。对于交流线圈,电阻的测量应以直流进行。线圈电阻也可用电桥直接测量,所用仪器仪表精度不得低于 0.2 级。
- H4 在测量线圈的冷态电阻前,线圈应在试验室内放置 8 h 以上。
- H5 测量冷态与热态电阻时,其导线的连接点应固定不变、接触良好,建议将用作测量线圈电阻(特别是小电阻)的导线焊接在接线点上。
- H6 当用电阻法测量线圈温度时,线圈的温升 τ 由下式确定:

$$\tau = \theta_2 - \theta_0 = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \left(\frac{1}{\alpha} + \theta_1 \right) + \theta_1 - \theta_0$$

式中: θ_0 ——测量线圈热态电阻时的周围空气温度, $^{\circ}\text{C}$;

θ_2 ——线圈在热态下的温度, $^{\circ}\text{C}$;

θ_1 ——与周围空气温度相同时的线圈冷态温度, $^{\circ}\text{C}$;

R_1 ——温度为 θ_1 时线圈的电阻, Ω ;

R_2 ——温度为 θ_2 时线圈的电阻, Ω ;

α —— 0°C 时线圈导线的电阻温度系数(铜为 $\frac{1}{234.5}$, 铝为 $\frac{1}{245}$)。

对于直流电压线圈,如果试验不是在最高周围空气温度 $+40^{\circ}\text{C}$ 时进行,则按本条公式得到的线圈温升数值,可乘以系数 K 换算到 $+40^{\circ}\text{C}$ 时的温升。

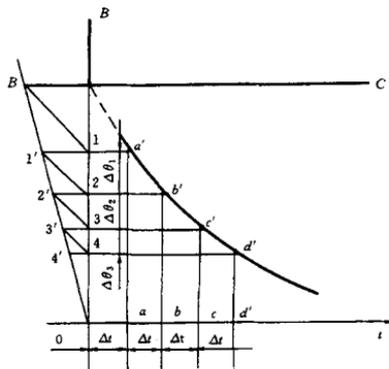
$$K = \frac{\frac{1.6}{\alpha} + \theta_0}{\frac{1.6}{\alpha} + 40}$$

- H7 如果在试验终了前不可能直接测量最高温度时的电阻(如交流线圈中),则可在试验终了后,经一定的时间间隔,用电阻法测定冷却曲线(温度与时间的关系),再根据冷却曲线用外延法(此法仅适用于连续的指数曲线性质的降温曲线)决定在停止试验时的最高温升。

冷却曲线的外延法如下:

用半对数坐标纸在横坐标 $0t$ 轴上取等时间间隔 Δt , 得点 a, b, c, d , 通过 a, b, c, d 各点作 $0t$ 轴的垂

线与试验所得曲线交于 a' 、 b' 、 c' 、 d' 。通过 a' 、 b' 、 c' 、 d' 作 Ot 轴的平行线，交纵坐标 0θ 于 1、2、3、4 并向左延伸，使 $33'$ 等于 $\Delta\theta_3$ ， $22'$ 等于 $\Delta\theta_2$ ， $11'$ 等于 $\Delta\theta_1$ 。通过 0、 $3'$ 、 $2'$ 、 $1'$ 各点连直线（近似地）。然后过 1 作 $21'$ 的平行线与所连直线交于 B 点。过 B 点作 Ot 轴的平行线与 0θ 轴之交点即为所求的温升 θ_M 。



试验停止后，自然冷却的物体，也可用冷却曲线的外推法推算出线圈最高发热温升。冷却曲线的外推法如下：

试品停电后，在自然冷却过程中，始于冷却不久的瞬间 t_1 和 t_2 分别测得的温升为 τ_1 和 τ_2 ，然后根据下式推算最高温升 τ_M 。

$$\tau = \tau_M \cdot e^{-\frac{t}{T}}$$

试品最高温升推算公式为：

$$\tau_M = e^{\frac{t_2 \ln \tau_1 - t_1 \ln \tau_2}{t_2 - t_1}}$$

式中： τ_M ——试品最高温升，即为冷却曲线起始温升，K；

t_1 、 t_2 ——试品停电后不久测得 τ_1 、 τ_2 温升值的时刻，s；

τ_1 、 τ_2 ——试品停电后不久的 t_1 、 t_2 时刻测得的温升值，K；

T ——冷却时间常数，s。