



中华人民共和国电力行业标准

DL/T 486—2021

代替 DL/T 486—2010

高压交流隔离开关和接地开关

High-voltage alternating-current disconnectors and earthing switches
(IEC 62271-102: 2018 High-voltage switchgear and controlgear- Part 102: High-voltage alternating current disconnectors and earthing switches, MOD)

2021-04-26 发布

2021-10-26 实施

国家能源局 发布

目 次

前言	V
1 概述	1
1.1 范围	1
1.2 规范性引用文件	1
2 正常和特殊使用条件	2
3 术语和定义	2
3.1 通用术语和定义	2
3.2 开关设备和控制设备的总装	2
3.3 总装的组成部分	2
3.4 开关装置	2
3.5 开关装置的部件	4
3.6 操作	5
3.7 特性参量	7
4 额定值	10
4.1 概述	10
4.2 额定电压 (U_r)	11
4.3 额定绝缘水平	11
4.4 额定频率 (f_r)	11
4.5 额定电流和温升	11
4.6 额定短时耐受电流 (I_k)	11
4.7 额定峰值耐受电流 (I_p)	11
4.8 额定短路持续时间 (t_k)	11
4.9 合闸和分闸装置及其辅助和控制回路的额定电源电压 (U_a)	11
4.10 合闸和分闸装置及其辅助和控制回路的额定电源频率	11
4.11 可控压力系统压缩气源的额定压力	12
4.101 额定短路关合电流 (I_{ma})	12
4.102 接地开关短路关合能力分级	12
4.103 额定接触区	12
4.104 额定端子静态机械负荷	13
4.105 隔离开关机械寿命的分级	14
4.106 接地开关机械寿命的分级	14
4.107 额定覆冰厚度	14
4.108 隔离开关母线转换电流开合能力的额定值	15
4.109 接地开关感应电流开合额定值和分级	15
4.110 气体绝缘隔离开关母线充电电流开合能力额定值和分级	16
4.111 空气绝缘隔离开关小容性电流开合能力额定值	17
4.112 隔离开关小感性电流开合能力额定值	17

5	设计和结构	17
5.1	对隔离开关和接地开关中液体的要求	17
5.2	对隔离开关和接地开关中气体的要求	17
5.3	隔离开关和接地开关的接地	17
5.4	辅助和控制设备	17
5.5	动力操作	18
5.6	储能操作	18
5.7	不依赖人力的操作	18
5.8	脱扣器的操作	18
5.9	低压力和高压力闭锁及监视装置	18
5.10	铭牌	18
5.11	联锁装置	19
5.12	位置指示	19
5.13	外壳的防护等级	19
5.14	户外绝缘子的爬电距离	19
5.15	气体和真空的密封	20
5.16	液体的密封	20
5.17	易燃性(火灾危险)	20
5.18	电磁兼容性(EMC)	20
5.19	X射线的辐射	20
5.20	腐蚀	20
5.21	绝缘、开合和/或操作用充入水平	20
5.22	人力操作的手柄	20
5.101	对接地开关的专门要求	20
5.102	对隔离开关隔离断口的要求	21
5.103	机械强度	21
5.104	隔离开关和接地开关的操作——动触头系统的位置及其指示装置、信号装置	21
5.105	人力操作允许的最大力	23
5.106	尺寸公差	23
5.107	具有短路关合电流能力的接地开关	23
5.108	对机械传动系统和导电回路的要求	23
5.109	对隔离开关和接地开关用瓷支持绝缘子和操作绝缘子的要求	24
5.110	采用一台共用操动机构操动的两极或三极隔离开关的要求	24
6	型式试验	24
6.1	总则	24
6.2	绝缘试验	26
6.3	无线电干扰电压(r.i.v)试验	28
6.4	回路电阻的测量	28
6.5	温升试验	28
6.6	短时耐受电流和峰值耐受电流试验	28
6.7	防护等级检验	34
6.8	密封试验	34

6.9	电磁兼容性试验 (EMC)	34
6.10	辅助和控制回路的附加试验	34
6.11	真空开断装置 X 射线试验程序	34
6.101	接地开关短路关合能力试验	34
6.102	机械操作和机械寿命试验	37
6.103	严重冰冻条件下的操作	42
6.104	低温和高温试验	44
6.105	位置指示装置功能试验	46
6.106	隔离开关母线转换电流开合能力试验	47
6.107	接地开关感应电流开合试验	50
6.108	气体绝缘金属封闭开关设备隔离开关母线充电电流开合试验	54
6.109	空气绝缘隔离开关小容性电流开合试验	59
6.110	隔离开关小感性电流开合试验	59
6.111	抗震性能试验	59
7	出厂试验	59
7.1	概述	59
7.2	主回路的绝缘试验	59
7.3	辅助和控制回路的试验	60
7.4	主回路电阻的测量	60
7.5	密封试验	60
7.6	设计和外观检查	60
7.7	机械操作和机械特性试验	60
7.8	开关设备的湿度测量	61
7.101	接地功能验证	61
8	隔离开关和接地开关的选用导则	61
8.1	概述	61
8.2	正常运行条件下额定值的选择	61
8.3	因运行条件变化引起的连续过载或暂时过载	63
8.101	环境方面	63
9	随询问单、标书和订单提供的资料	63
9.1	概述	63
9.2	随询问单和订单提供的资料	64
9.3	随标书提供的资料	65
10	运输、储存、安装、运行和维护规则	66
10.1	概述	66
10.2	运输、储存和安装时的条件	66
10.3	安装	66
10.4	运行	66
10.5	维修	66
11	安全	66
11.1	概述	66
11.2	制造厂的预防措施	66

11.3 用户的预防措施	66
11.4 电气方面	67
11.5 机械方面	67
11.6 热方面	67
11.7 操作方面	67
12 产品对环境的影响	67
附录 A (资料性) 接地开关操作时最不利绝缘位置 (最小暂时电气间隙) 的试验电压	68
附录 B (资料性) 隔离开关和接地开关要求的电流开合能力	69
附录 C (规范性) 用于型式试验的试验参量的公差	71
附录 D (规范性) 短路关合试验的替代方法	72
附录 E (资料性) 型式试验有效性的延伸	74
附录 F (规范性) 额定电压 126 kV 及以上空气绝缘隔离开关的容性电流开合能力	75
附录 G (资料性) 变压器中性点接地用隔离开关的额定绝缘水平	79
附录 H (规范性) 高压交流隔离开关和接地开关用瓷绝缘子技术要求	80

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是根据 IEC 62271-102: 2018《高压开关设备和控制设备 第102部分：交流隔离开关和接地开关》的内容，对 DL/T 486—2010《高压交流隔离开关和接地开关》进行的全面修订。本文件中各章、节的编排顺序与 IEC 62271-102: 2018 一致，但在某些内容上根据我国电力系统的实际使用要求而有别于 IEC 62271-102: 2018，为修改采用。

本文件与 IEC 62271-102: 2018 的技术性差异及其原因如下：

- a) 适用范围。根据我国电网的实际情况，将 IEC 62271-102: 2018 中的 60 Hz 及以下，改为额定频率 50 Hz，将 1 kV 以上改为 3 kV 及以上。
- b) 正常和特殊使用条件、额定电压、额定绝缘水平、额定短路持续时间等方面的差异，见 DL/T 593—2016 的前言。
- c) 额定端子静态机械负荷。根据我国电力系统的需要对 IEC 62271-102: 2018 的额定端子静态机械负荷值进行了修改。
- d) 机械寿命的额定值。将 M1 级隔离开关的机械寿命试验次数 2000 次修改为 3000 次或 5000 次。
- e) 外壳的防护等级。IEC 62271-102: 2018 中户外设备的箱体的防护等级最低为 IP3XDW、户内为 IP2X，本文件分别将其修改为户外 IP4XW、户内 IP3X。
- f) 根据我国电力系统对高压隔离开关和接地开关的材质、结构设计、润滑和绝缘子的要求，本文件增加了“5.108 对机械传动系统和导电回路的要求”“5.109 对隔离开关和接地开关用支持绝缘子和操作绝缘子的技术要求”“6.102.7 支持绝缘子整体抗弯试验”和“6.109 抗震试验”等内容。
- g) 无线电干扰电压 (r. i. v) 试验。将 IEC 62271-102: 2018 的无线电干扰电平不得超过 2500 μ V 修改为不超过 500 μ V。
- h) 型式试验。6.2.9 增加了凝露试验的要求。
- i) 出厂试验。本文件规定出厂试验必须在工厂内进行整体组装后进行，不得在分装上进行。
- j) 出厂试验。增加 SF₆ 开关设备的湿度测量的要求。
- k) 在“表 7 隔离开关的额定母线转换电压”中增加“注 2”，明确用气体绝缘隔离开关开合空气绝缘母线的转换电流时，其额定母线转换电压应采用空气绝缘隔离开关的额定母线转换电压。
- l) 增加了附录 G“变压器中性点接地用隔离开关的额定绝缘水平”。
- m) 增加了附录 H“高压交流隔离开关和接地开关用瓷绝缘子技术要求”。
- n) 将接地开关的额定短路持续时间修改为不少于 2 s。
- o) 增加了隔离开关开合小电容和小电感电流的试验要求。
- p) 额定温升试验电流为额定电流的 1.1 倍。

本文件代替 DL/T 486—2010《高压交流隔离开关和接地开关》，与 DL/T 486—2010 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) “共用技术要求”。本文件根据 DL/T 593—2016 进行修订，而 DL/T 486—2010 是根据 DL/T 593—2007 制定的，因此在“共用技术要求”的内容上存在较大差异，具体差异见 DL/T 593—2016 前言。
- b) 范围扩展至涵盖所有的户内和户外装置，具有隔离或接地功能的开关装置，除其他功能之外，

也包含在本文件范围内。

- c) 术语和定义增加了“组合功能接地开关”“隔离负荷开关”“母线转换电压”“母线转换电流”“电磁感应电流”“静电感应电流”“对地瞬态电压”等定义；删除了“M0、M1、M2 级隔离开关”及“E1、E2 级接地开关”等定义。
- d) 调整了“表 4 额定端子静态机械负荷”的部分要求值。
- e) 4.102 的“接地开关电寿命额定值”现在称为“接地开关短路关合能力分级”。
- f) 4.107 增加了新的条款“覆冰厚度额定值”。
- g) 4.108 规定了新的“母线转换电流和母线转换电压额定值”。
- h) 4.110 增加了新的条款“母线充电电流开合能力的分级”。
- i) 5.10 修改了表 12 “铭牌内容”。
- j) 5.11 增加了联锁装置的新的耐受要求。
- k) 5.102 修改了满足隔离开关的隔离距离要求的方法。
- l) 5.104 针对位置指示和信号指示的要求，修改了位置指示装置设计和结构要求。
- m) 5.108 修改了 5.108.5 “对导电回路的要求”。
- n) 型式试验。在必要的地方，改进并修订了试验程序和确认判据。
- o) 6.2.6 修改了接地开关动触头处于最不利绝缘位置时工频耐压试验的要求。
- p) 6.101.4 对非同期合闸的接地开关进行单相试验时，修改了外施电压的要求。
- q) 6.102.6 修改了条款名称机械联锁装置的试验并修改了试验要求。
- r) 6.104 如果设备使用条件的温度限值（由制造厂规定）高于+40℃或低于-5℃，低温和高温试验是强制的，并给出了更详细的试验程序。
- s) 6.105 验证位置指示装置正确功能的试验程序允许使用各种技术进行更可行的试验。
- t) 增加新的附录 B “隔离开关和接地开关要求的电流开合能力”。
- u) 增加新的附录 C “用于型式试验的试验参量的公差”。
- v) 增加新的附录 E “型式试验有效性的延伸”。

本文件应与 DL/T 593—2016 一起使用，本文件的章、节与 DL/T 593—2016 一致，新增的内容在同一章节内从 101 开始编号。

本文件自实施之日起替代 DL/T 486—2010。

本文件的附录 A、附录 B、附录 E 和附录 G 是资料性附录，附录 C、附录 D、附录 F、附录 H 是规范性附录。

请注意本文件的某些内容有可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国电力企业联合会提出。

本文件由电力行业高压开关设备及直流电源标准化技术委员会（DL/TC 06）归口。

本文件起草单位：中国电力科学研究院有限公司、国网江苏电力公司电力科学研究院、国网湖南省电力公司、国网河南电力公司电力科学研究院、电力工业电力设备及仪表质量检验检测中心、上海电气输配电试验中心有限公司、西安高压电器研究院有限责任公司、苏州电器科学研究院股份有限公司、南方电网科学研究院有限公司、南方电网超高压输电公司、西安西电开关电气有限公司、河南平高电气股份有限公司、新东北电气集团高压开关有限公司、山东泰开隔离开关有限公司、湖南长高高压开关有限公司、西安西电高压开关有限公司、国网宁夏电力公司电力科学研究院、国网河北电力公司电力科学研究院、北京科锐配电自动化股份有限公司、许继集团有限公司、益和电气集团有限公司、河南森源电气股份有限公司、施耐德电气中国有限公司、江苏南瑞帕威尔电气有限公司、国网四川电力公司电力科学研究院、国网安徽电力公司电力科学研究院、北京双杰电气股份有限公司、北京北开电气股份有限公司、上海天灵开关厂有限公司、ABB（中国）有限公司、国网山东电力公司临沂供电公司、广东电网有限公司电力科学研究院、特变电工中发上海高压开关有限公司、广东正超电气

有限公司、日升集团有限公司、江苏如高高压电器有限公司、云南云开电气股份有限公司、西门子中压开关技术（无锡）有限公司。

本文件主要起草人：张振乾、王承玉、杨英杰、孔祥军、高山、李向阳、毛文奇、谢瑞涛、吴鸿雁、彭在兴、李付永、张勐、邓文华、李善成、杨为、丁培、庞先海、谭燕、王岩、王帮田、孔祥冲、雷小强、姚淮林、刘成学、王宇驰、王栋、李晶、魏杰、乔众、刘洋、谢建波、孙勇、刘根锋、王明钦、陈义龙、王根政、林则蓝、樊建荣、杨国胜、龚绍成、薛忠。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：1987年首次发布，1992年第一次修订，2000年第二次修订，2007年第三次修订，2019年第四次修订。

本文件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）。

高压交流隔离开关和接地开关

1 概述

1.1 范围

本文件规定了用于电压 3.0 kV 及以上的电力系统中运行的交流隔离开关和接地开关的术语和定义、使用条件、额定值、设计与结构、型式试验、出厂试验等各项技术要求。

本文件适用于电压 3.0 kV 及以上、频率为 50Hz 的电力系统中运行的户内和户外安装的交流隔离开关和接地开关。本文件也适用于这些隔离开关和接地开关的操动机构及其辅助设备。

封闭式开关设备和控制设备中的隔离开关和接地开关的附加要求在 DL/T 404、DL/T 617 和 IEC 62271-201 中给出。

注：本文件不包括将熔断器作为其一个组件的隔离开关。

具有隔离和/或接地功能的开关装置，例如快速接地开关、断路器、负荷开关等，除其他功能之外，本文件也适用。

1.2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 772 高压绝缘子瓷件 技术条件

GB/T 1804 一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差 (ISO 2768-1: 1989)

GB/T 2900.8—2009 电工术语 绝缘子 (IEC 60050-471: 2007, IDT)

GB/T 2900.20—2016 电工术语 高压开关设备和控制设备 (IEC 60050-441: 1984, MOD)

GB/T 4109 交流电压高于 1000 V 的绝缘套管 (IEC 60137 Ed6.0, MOD)

GB/T 4208—2017 外壳的防护等级 (IP 代码) (IEC 60529: 2013, IDT)

GB/T 4585 交流系统用高压绝缘子的人工污秽试验

GB/T 7354 高电压试验技术 局部放电测量 (IEC 60270: 2015, MOD)

GB/T 8287.1 标称电压高于 1000V 系统用支柱绝缘子 第 1 部分：瓷和玻璃绝缘子试验 (IEC 60168: 2001, MOD)

GB/T 8287.2 标称电压高于 1000V 系统用支柱绝缘子 第 2 部分：尺寸和特性 (IEC 60273: 1990, MOD)

GB/T 13540—2009 高压开关设备和控制设备的抗震要求 (IEC 62271-2: 2003, MOD)

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

GB/T 26218 (所有部分) 污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定

GB/T 35698.1 短路电流效应的计算 第 1 部分：定义和计算方法 (IEC 60865-1: 2011, IDT)

DL/T 402—2016 高压交流断路器 (IEC 62271-100: 2012, MOD)

DL/T 404 3.6 kV~40.5 kV 交流金属封闭开关设备和控制设备 (IEC 62271-200: 2012, MOD)

DL/T 593—2016 高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求 (IEC 62271-1: 2011, MOD)

DL/T 617 气体绝缘金属封闭开关设备技术条件 (IEC 62271-203: 2011, MOD)

IEC/TR 62271-305 高压开关设备和控制设备 第 305 部分: 额定电压高于 52 kV 的空气绝缘隔离开关的电容电流开合能力 (High-voltage switchgear and controlgear—Part 305: Capacitive current switching capability of air-insulated disconnectors for rated voltages above 52 kV)

2 正常和特殊使用条件

按照 DL/T 593—2016 中第 2 章的规定进行。

3 术语和定义

DL/T 593—2016 界定的以及下列术语和定义适应于本文件。

3.1 通用术语和定义

3.1.101

户内开关设备和控制设备 **indoor switchgear and controlgear**

不能承受风、雨、雪、冰及浓霜等作用, 仅适用于安装在户内使用的开关设备和控制设备。

[来源: GB/T 2900.20—2016, 3.4]

3.1.102

户外开关设备和控制设备 **outdoor switchgear and controlgear**

能承受风、雨、雪、污秽、凝露、冰及浓霜等作用, 适用于安装在露天使用的开关设备和控制设备。

[来源: GB/T 2900.20—2016, 3.5]

3.1.103

用户 **user**

使用隔离开关或接地开关的个体或法定团体。

注: 用户可以包括隔离开关或接地开关的买方 (如电力供应商), 也可以包括承包公司, 负责安装、维修的人员或操作人员, 或其他对隔离开关、接地开关或变电站暂时或长期负责的人员, 乃至开关设备的运行人员。

3.2 开关设备和控制设备的总装

试品 **test object**

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, 试品应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, 试品也可以是一个有代表性的分装。

[来源: DL/T 593—2016, 3.2.1]

3.3 总装的组成部分

按照 DL/T 593—2016 中 3.3 的规定。

3.4 开关装置

3.4.101

隔离开关 **disconnecter**

在分闸位置时, 触头间有符合规定要求的绝缘距离和明显的断开标志; 在合闸位置时, 能承载正

常回路条件下的电流和在规定时间内异常条件（例如短路）下的电流的开关装置。

[来源：GB/T 2900.20—2016，6.5]

注 1：当回路电流“很小”时，或者当隔离开关每极的两接线端子间的电压在关合和开断前后无显著变化时，隔离开关应具有关合和开断回路的能力。

注 2：所谓回路电流“很小”是指这样的电流，像套管、母线、连接线、非常短的电缆的容性电流，断路器上永久性连接的均压阻抗的电流以及电压互感器和分压器的电流（见 IEC/TR 62271-305）。按此定义，额定电压 363 kV 及以下时，不超过 0.5A 的电流是“很小”的电流；额定电压 550 kV 及以上且电流超过 0.5A 时，应向制造厂咨询。“电压无显著变化”是指感应式电压调节装置或断路器被旁路或母线转换的情况。

3.4.102

单柱式隔离开关（接地开关） single-column disconnect (earthing switch)

每极的静触头悬挂在母线上或独立的支座上，动触头由单独的底座或框架支撑，其断口方向与底座平面垂直或平行的隔离开关（或接地开关），如单臂垂直折叠式隔离开关（或接地开关）、双臂垂直折叠式隔离开关（或接地开关）。

3.4.103

双柱式隔离开关 double-column disconnect

每极由两个可水平转动的触头组成，分别装在单独的支柱绝缘子上，动静触头在两支柱中间接触，其断口方向与底座平面平行的隔离开关；或者，静触头固定在一个支柱绝缘子上，动触头可垂直旋转，其断口方向与底座平面成一定垂直角度的隔离开关。

3.4.104

三柱式隔离开关 three-column disconnect

每极由三组支柱绝缘子组成，中间支柱为可水平转动的动触头，有两个相互串联的断口，其断口方向与底座平面平行的隔离开关。

3.4.105

装有电阻的隔离开关 resistor fitted disconnect

一种带电阻的隔离开关，电阻与隔离开关触头串联或并联，限制气体绝缘金属封闭开关设备中的隔离开关分闸和合闸操作过程中出现的非常快速瞬态过电压（VFTO）。

3.4.106

接地开关 earthing switch

用于将回路接地的一种机械开关装置，在异常条件下（如短路），能够在规定时间内承载规定的异常电流，但不要求在正常回路条件下承载电流。

注 1：接地开关可具有短路关合能力。

注 2：额定电压 72.5 kV 及以上的接地开关可具有开合和承载感应电流的额定值。

注 3：接地开关有时可能要在短路条件下进行合闸操作，接地开关的不同等级与短路关合操作次数相关。

注 4：在某些情况下，接地开关用作故障触发装置。

3.4.107

组合功能接地开关 combined function earthing switch

具有共用触头系统、供接地用并至少具有下列功能之一的接地开关：

——隔离；

——关合或开断直至短路电流的电流。

3.4.108

隔离负荷开关 switch-disconnector

在分闸位置时满足隔离开关规定的绝缘要求的负荷开关。

[来源：GB/T 2900.20—2016，6.12]

3.5 开关装置的部件

3.5.101

开关装置的极 **pole of a switching device**

仅与开关装置的主回路的一个单独导电路径相连的电器部件，它不包括用来将所有极固定在一起和使各极一起动作的部件。

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

[来源：GB/T 2900.20—2016，7.1]

3.5.102

（开关装置的）主回路 **main circuit (of a switching device)**

传送电能的开关回路中的所有导电部分。

[来源：GB/T 2900.20—2016，7.2]

3.5.103

（机械开关装置）触头 **contact (of a mechanical switching device)**

两个或两个以上导体，以其接触使导电回路连续，其相对运动可分、合导电回路，而在铰链或滑动接触情况下还能维持导电回路的连续性。

[来源：GB/T 2900.20—2016，7.5]

3.5.104

主触头 **main contact**

开关装置主回路中的触头，在合闸位置时承载主回路的电流。

[来源：GB/T 2900.20—2016，7.7]

3.5.105

控制触头 **control contact**

接在开关装置的控制回路中并由该开关装置用机械方式操作的触头。

[来源：GB/T 2900.20—2016，7.9]

3.5.106

“a”触头 动合触头（常开触头） **“a” contact make contact**

当开关的主触头合时闭合而主触头分时断开的控制触头或辅助触头。

[来源：GB/T 2900.20—2016，7.12]

3.5.107

“b”触头 动断触头（常闭触头） **“b” contact break contact**

当开关的主触头合时断开而主触头分时闭合的控制触头或辅助触头。

[来源：GB/T 2900.20—2016，7.13]

3.5.108

位置指示装置 **position-indicating device**

机械开关装置的一个部件，用于指示开关装置处于分闸位置、合闸位置或者接地位置（适用时）。

3.5.109

位置信号装置 **position-signalling device**

隔离开关或接地开关的一个部件，用辅助能量指示主回路的触头处于分闸位置或合闸位置。

3.5.110

端子（作为一个元件） **terminal (as a component)**

装置、电路或电网的导电部件，用于把装置、电路或电网连接到一个或多个外部导体。

3.5.111

(单柱式隔离开关和接地开关的)接触区 **contact zone (for divided-support disconnectors and earthing switch)**

为使静触头能与动触头正确接触,静触头可以占据的位置的三维空间区域。

3.5.112

动力传动链 **power kinematic chain**

操动机构和动触头(包括两者)之间的机械连接系统。

3.5.113

位置指示传动链 **position-indicating kinematic chain**

动触头和位置指示装置(包括两者)之间的机械连接系统。

3.5.114

位置信号传动链 **position-signalling kinematic chain**

动触头与信号装置的位置之间的机械连接系统。

3.5.115

连接点 **connecting point**

动力传动链和位置指示/信号传动链共用部分的最上游的点(即离能量源最近的点)。

3.5.116

应力限制装置 **strain limiting device**

将传递到开关装置下游侧的转矩或力限制到一个规定值的装置,不考虑施加到上游侧的转矩或力的大小。

3.5.117

力矩(力)控制系统 **torque (force) controlling system**

监测和控制传递到装置下游侧的力矩(力)并与规定值进行比较的系统。

3.5.118

套管 **bushing**

使一个或多个导体穿过一个隔板(例如墙壁或罐体)并与其绝缘的装置。

[来源:GB/T 2900.8—2009, 471-02-01]

3.5.119

能量源 **source of energy**

开关装置释放的能量来源,或者开关装置在操作过程中或开关装置在任一稳定位置时施加给动力传动链的力/力矩的来源。

注:能量源或力/力矩源可以来自人力、电气、液压、气动和机械力,例如来源于独立的弹簧、重锤等,或者是它们的组合。

3.6 操作

3.6.101

(机械开关装置的)操作 **operation (of a mechanical switching device)**

动触头从一个位置转换至另一个位置的动作过程。

注:操作的含义从电气意义上说,是关合或开断回路;而从机械意义上说,是合闸或分闸。

[来源:GB/T 2900.20—2016, 8.1]

3.6.102

(机械开关装置的)操作循环 **operation cycle (of a mechanical switching device)**

从一个位置转换到另一位置再返回到初始位置的连续操作。如有多个位置,则需通过所有其他

位置。

[来源: GB/T 2900.20—2016, 8.2]

3.6.103

(机械开关装置的) 合闸操作 **closing operation (of a mechanical switching device)**

开关从分闸位置转换到合闸位置的操作。

[来源: GB/T 2900.20—2016, 8.8]

3.6.104

(机械开关装置的) 分闸操作 **opening operation (of a mechanical switching device)**

开关从合闸位置转换到分闸位置的操作。

[来源: GB/T 2900.20—2016, 8.9]

3.6.105

正向驱动操作 **positively driven operation**

按照规定要求, 用来保证机械开关装置的各辅助触头都分别处于与主触头的分闸或合闸位置相对应位置的一种操作。

[来源: GB/T 2900.20—2016, 8.12]

3.6.106

(机械开关装置的) 人力操作 **dependent manual operation (of a mechanical switching device)**

按照 GB/T 2900.20—2016 的 8.13 的规定, 并做如下补充:

人力操作可以用手柄或摇杆(水平的或垂直的)进行。

3.6.107

(机械开关装置的) 动力操作 **dependent power operation (of a mechanical switching device)**

用人力以外的其他能量的一种操作, 操作的完成取决于动力源(电能、磁能、热能、压缩空气或液压等)供给的连续性。

[来源: GB/T 2900.20—2016, 8.14]

3.6.108

(机械开关装置的) 储能操作 **stored energy operation (of a mechanical switching device)**

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达到预定条件。

注: 储能操作可分为贮能方式(弹簧、重物等), 能量来源(人力、电力等), 能量释放方式(人力、电力等)。

[来源: GB/T 2900.20—2016, 8.15]

3.6.109

(机械开关装置的) 不依赖人力的操作 **independent manual operation (of a mechanical switching device)**

能量来源于人力, 并在一次连续操作中储存和释放能量的一种储能操作, 操作的速度和力与操作者的动作无关。

[来源: GB/T 2900.20—2016, 8.16]

3.6.110

(机械开关装置的) 合闸位置 **closed position (of a mechanical switching device)**

按照 GB/T 2900.20—2016 的 8.22 的规定, 并做如下补充:

预定连续通电位置是指在此位置下触头能完全接触且能够承载额定电流和额定短路电流(如适用)。

3.6.111

(机械开关装置的) 分闸位置 **open position (of a mechanical switching device)**

保证开关装置主回路中分闸的触头间具有预定间隙的位置。

[来源: GB/T 2900.20—2016, 8.23]

3.6.112

解锁点 toggle point

储能机构的一个动作位置，在该位置，储能机构的任何进一步运动都会使存储的能量被释放。

3.6.113

隔离开关（或接地开关）的机械寿命 mechanical endurance of a disconnect (or earthing switch)

隔离开关（或接地开关）在规定的操作条件下并且主回路中没有电压和电流时完成规定次数操作的能力。

3.6.114

联锁装置 interlocking device

使开关装置的操作取决于设备的一个或几个其他部件的位置或动作的装置。

3.7 特性参量

3.7.101

（接地开关的）峰值关合电流 peak making current (of an earthing switch)

关合操作期间，电流出现后的瞬态过程中，接地开关一极中电流的第一个大半波的峰值。

注：除非另有说明，在这里，对于三相回路，（峰值）关合电流的单个值是指任一相中的最大值。

3.7.102

峰值电流 peak current

电流出现后的瞬态过程中，电流的第一个大半波的峰值。

3.7.103

短时耐受电流 short-time withstand current

在规定的使用和性能条件下，在规定的短时间内，回路和处于合闸位置的开关装置能够承载的电流有效值。

[来源：GB/T 2900.20—2016，9.103]

3.7.104

峰值耐受电流 peak withstand current

在规定的使用和性能条件下，回路和处于合闸位置的开关装置能够耐受的峰值电流。

[来源：GB/T 2900.20—2016，9.104]

3.7.105

额定值 rated value

规定的工作条件下，通常由制造厂对元件、装置或设备所规定的参数值。

3.7.106

绝缘水平 insulation level

为表征绝缘的介电强度而规定的一组耐受电压。

3.7.107

工频耐受电压 power frequency withstand voltage

在规定的试验条件下，隔离开关或接地开关的绝缘在规定的持续时间内耐受的工频正弦交流电压的有效值。

3.7.108

雷电冲击耐受电压 lightning impulse withstand voltage

在规定的试验条件下，隔离开关或接地开关的绝缘耐受的雷电冲击电压的峰值。

3.7.109

操作冲击耐受电压 switching impulse withstand voltage

在规定的试验条件下，隔离开关或接地开关的绝缘耐受的操作冲击电压的峰值。

3.7.110

外绝缘 external insulation

大气中的空气间隙及与空气接触的隔离开关和接地开关的固体绝缘表面，它承受电压的作用并受到大气和其他外部条件（例如污秽、湿气、鸟兽等）的影响。

注：外绝缘可以是气候防护的，也可以是非气候防护的，分别对应于设计用在户外或封闭掩体内。

3.7.111

内绝缘 internal insulation

设备绝缘的内部固体、液体或气体绝缘部分，不受大气和其他外界条件的影响。

3.7.112

自恢复绝缘 self-restoring insulation

发生破坏性放电后，能完全恢复其绝缘性能的绝缘。

3.7.113

非自恢复绝缘 non-self-restoring insulation

发生破坏性放电后，丧失其绝缘性能或不能完全恢复其绝缘性能的绝缘。

注：3.7.112 和 3.7.113 的定义仅适用于绝缘试验期间因施加试验电压而引起放电的情况。但是，在运行中发生的放电可能引起自恢复绝缘部分或全部丧失其原有的绝缘性能。

3.7.114

并联绝缘体 parallel insulation

由两个绝缘子并联组成的绝缘子布置，其中两个绝缘子间的距离可能影响绝缘强度。

注：对于端子是敞开的隔离开关和接地开关，如果操作（驱动）绝缘子靠近支持绝缘子时，就成为并联绝缘体。

3.7.115

破坏性放电 disruptive discharge

在电压作用下与绝缘失效有关的现象。此时，受试绝缘完全被放电所桥接，使电极间的电压降低到零或接近于零。

注 1：非保持破坏性放电中，试品被火花瞬间桥接，或出现电弧。在这些事件中，试品两端间的电压瞬间降至零或降至非常小的值。根据试验回路和试品的特性，可能出现绝缘强度的恢复，甚至试验电压恢复到较高的值。

这样的事件应解释为破坏性放电，除非有关技术委员会另有规定。

注 2：固体介质中的破坏性放电导致绝缘强度永久性丧失（非自恢复绝缘）；而在液体或气体介质中，绝缘强度的丧失可能仅是暂时的（自恢复绝缘）。

3.7.116

电气间隙 clearance

具有电位差的两个导电部件间的最短距离。

[来源：GB/T 2900.20—2016，9.28]

3.7.117

极间电气间隙 clearance between poles

相邻两极的导电部件的电气间隙。

[来源：GB/T 2900.20—2016，9.29]

3.7.118

对地电气间隙 clearance to earth

任何导电部件和任何接地或打算接地的部件之间的电气间隙。

[来源：GB/T 2900.20—2016，9.30，有修改]

3.7.119

触头开距 clearance between open contacts

分位置时，开关一极的各触头之间或其连接的各个导电部件之间的最小间隙。

3.7.127

(接地开关的) 静电感应电流 **electrostatically induced current (on an earthing switch)**

如果不带电的输电线路的一端开路, 且与带电线路平行并邻近, 当接地开关把不带电的输电线路的另一端接地或与地断开时, 流过接地开关的容性电流。

注: 一端接地的不带电线路中的容性电流取决于带电线路的电压、与带电线路的耦合系数(耦合系数由线路结构来确定)以及接地线路的接地端和开路端之间的长度。

3.7.128

母线充电电流开合 **bus-charging current switching**

用隔离开关关合或开断母线充电电流。

3.7.129

母线充电电流 **bus-charging current**

接通或断开部分母线系统时流过隔离开关的容性电流。

3.7.130

对地瞬态电压 **transient voltage to earth; UTVE**

隔离开关合闸操作过程中第一次预击穿时出现的对地电压。

3.7.131

绝缘和/或开合用额定充入压力(或密度) **rated filling pressure (or density) for insulation and/or switching**

在投运或自动补气前充入总装的绝缘和/或开合用的压力(或密度), 单位为 Pa, 折算到+20℃、101.3 kPa 的标准大气条件下, 可以用相对压力或绝对压力表示。

[来源: DL/T 593—2016, 3.6.5.1]

3.7.132

绝缘和/或开合用最低功能压力(或密度) **minimum functional pressure (or density) for insulation and/or switching**

用于绝缘和/或开合的压力(或密度), 单位为 Pa, 大于等于此压力时开关设备和控制设备能够保持其额定特性, 并且此时需要补气, 折算到+20℃、101.3 kPa 的标准大气条件下, 可以用相对压力或绝对压力表示。

[来源: DL/T 593—2016, 3.6.5.5]

4 额定值

4.1 概述

按照 DL/T 593—2016 的第 4 章的规定, 除其中规定的 a) ~k) 以外, 对额定值做如下补充:

- l) 额定短路关合电流(仅对接地开关);
 - m) 额定接触区;
 - n) 额定端子静态机械负荷;
 - o) 额定覆冰厚度;
 - p) 隔离开关母线转换电流开合能力的额定值;
 - q) 接地开关感应电流开合能力的额定值;
 - r) 隔离开关母线充电电流开合能力的额定值;
- 除上面给出的额定值外, 还可以规定下面的级别:
- s) 接地开关的短路关合级别;
 - t) 机械寿命级别;

u) 接地开关的感应电流开合级别;

v) 隔离开关的母线充电电流开合级别。

对划分为多个开合能力等级的隔离开关或接地开关, 可以通过组合这些等级符号来表示它们的分级, 例如, 具有 E1 级短路关合能力和 B 级感应电流开合能力的接地开关可以划分为 B+E1 级。

仅依赖于人力操作的隔离开关和接地开关不能规定关合和开断能力的额定值。

对于既可以动力操作也可以人力操作的隔离开关和接地开关, 关合和开断能力对人力操作无效。

4.2 额定电压 (U_r)

按照 DL/T 593—2016 的 4.2 的规定。

4.3 额定绝缘水平

按照 DL/T 593—2016 的 4.3 的规定, 并做如下补充:

对于隔离断口与底座平行且与接地开关组合为一体的隔离开关, 在接地开关操作过程中, 接地开关的运动部件与对面的带电部件之间在最小暂时间隙下的绝缘水平不应低于 6.2.6 中规定的短时工频耐受电压。

如果用户对仅配人力操动机构的接地开关要求更高的耐受电压值, 则由用户与制造厂协商。

变压器中性点接地用隔离开关的额定绝缘水平参见附录 G。

4.4 额定频率 (f_r)

按照 DL/T 593—2016 中 4.4 的规定。

4.5 额定电流和温升

按照 DL/T 593—2016 中 4.5 的规定。本条款一般仅适用于隔离开关。

4.6 额定短时耐受电流 (I_k)

按照 DL/T 593—2016 中 4.6 的规定, 并做如下补充:

除非另有规定, 构成组合功能接地开关组成元件的接地开关的额定短时耐受电流, 应等于组合功能接地开关的额定短时耐受电流。

4.7 额定峰值耐受电流 (I_P)

按照 DL/T 593—2016 中 4.7 的规定, 并做如下补充:

除非另有规定, 构成组合功能接地开关组成元件的接地开关的额定峰值耐受电流应等于组合功能接地开关的额定峰值耐受电流。

4.8 额定短路持续时间 (t_k)

按照 DL/T 593—2016 中 4.8 规定。

4.9 合闸和分闸装置及其辅助和控制回路的额定电源电压 (U_a)

按照 DL/T 593—2016 中 4.9 的规定。

4.10 合闸和分闸装置及其辅助和控制回路的额定电源频率

按照 DL/T 593—2016 中 4.10 的规定。

表 2（续）

额定电压 U_r^a kV	x^b mm	y^c mm	z_1^d mm	z_2 mm
363	200	500	300	450
550	200	600	400	500
注：静触头由软导线固定时， z_1 值适用于短跨距， z_2 值适用于长跨距。				
^a U_r 为额定电压。 ^b x 为支承导线纵向位移的总幅度（温度的影响）。 ^c y 为水平横向总偏移（与支承导线垂直方向的偏移）（风的影响）。 ^d z 为垂直偏移（温度和冰的影响）。				

表 3 静触头由硬导线（支撑式母线）支撑时推荐的接触区

额定电压 U_r^a kV	x^b mm	y^c mm	z^d mm
72.5、126	100	100	125
252、363	150	150	150
550	175	175	175
^a U_r 为额定电压。 ^b x 为支承导线纵向位移的总幅度（温度的影响）。 ^c y 为水平横向总偏移（与支承导线垂直方向的偏移）（风的影响）。 ^d z 为垂直偏移（冰的影响）。			

4.104 额定端子静态机械负荷

当隔离开关或接地开关直接与线路连接时（即使用软导线或硬导线），每个端子应规定额定端子静态机械负荷，并指明施加负荷的方向。

隔离开关和接地开关在承受其额定端子静态机械负荷时应能可靠合闸和分闸。

在最不利的条件下，隔离开关或接地开关的端子允许长期承受的最大端子静态机械负荷是其额定端子静态机械负荷。

隔离开关或接地开关的端子允许承受的最大外部动态机械负荷是其额定端子动态机械负荷。

在短路条件下，隔离开关和接地开关应能承受额定端子动态机械负荷。

隔离开关和接地开关的端子机械负荷的额定值不仅取决于它的设计，还取决于它所用的绝缘子的抗弯强度。

绝缘子所需的抗弯强度应通过计算决定，计算时应考虑绝缘子顶部的端子所处的高度和作用在绝缘子上的外力（见 3.7.121 和 8.2.105）。绝缘子的抗弯强度不应小于 2.75 倍额定端子静态机械负荷和 1.7 倍额定端子动态机械负荷，即抗弯强度的安全系数应为：静态 2.75，动态不小于 1.7。

额定端子静态机械负荷见表 4。

表 4 额定端子静态机械负荷

额定电压 kV	额定电流 A	双柱式和三柱式 隔离开关或接地开关		单柱式 隔离开关或接地开关		垂直力 ^a F_c
		水平纵向负荷 F_{a1} 和 F_{a2}	水平横向负荷 F_{b1} 和 F_{b2}	水平纵向负荷 F_{a1} 和 F_{a2}	水平横向负荷 F_{b1} 和 F_{b2}	
		N		N		
12~24	^b	500	250			300

表 4（续）

额定电压 kV	额定电流 A	双柱式和三柱式 隔离开关或接地开关		单柱式 隔离开关或接地开关		垂直力 ^a F_c
		水平纵向负荷 F_{a1} 和 F_{a2}	水平横向负荷 F_{b1} 和 F_{b2}	水平纵向负荷 F_{a1} 和 F_{a2}	水平横向负荷 F_{b1} 和 F_{b2}	
		N		N		
40.5~72.5	≤2500	800	500	800	500	750
	>2500	1000	750	1000	750	750
126	≤2500	1000	750	1000	750	1000
	>2500	1250	750	1250	750	1000
252	≤1600	1500	1000	2000	1500	1000
	≥2000					1250
363	^b	2000	1500	2500	2000	1500
550	^b	3000	2000	4000	2000	2000
800	^b	4000	3000	4000	3000	2000
1100	5000、6300	5000	4000	5000	4000	5000
注：端子静态机械负荷包括由冰、风和连接导体引起的合力。						
^a F_c 是模拟由连接导线的质量引起的向下的力，软导线的质量已计入纵向或横向力中。 F_c 不适用于软导线。						
^b 表示包括所有额定电流参数。						

4.105 隔离开关机械寿命的分级

隔离开关的机械寿命应符合表 5 中给出的隔离开关机械寿命的分级。机械性能与制造厂规定的维护程序有关。

表 5 隔离开关机械寿命的分级

级别	机械寿命分级	操作循环的次数
M0	基本的机械寿命	1000
M1	延长的机械寿命	3000、5000
M2	延长的机械寿命	10 000

4.106 接地开关机械寿命的分级

接地开关的机械寿命应符合表 6 中给出的接地开关机械寿命的分级。机械性能与制造厂规定的维护程序有关。

表 6 接地开关机械寿命的分级

级别	机械寿命分级	操作循环的次数
M0	基本的机械寿命	1000
M1	延长的机械寿命	3000、5000
M2	延长的机械寿命	10 000

4.107 额定覆冰厚度

对于能够在覆冰条件下操作的隔离开关和接地开关，制造厂应规定额定覆冰厚度。
优选的覆冰厚度额定值是：1 mm（1 级）、10 mm（10 级）和 20 mm（20 级）。

4.108 隔离开关母线转换电流开合能力的额定值

4.108.1 额定母线转换电流

用于空气绝缘和气体绝缘的隔离开关，其额定母线转换电流如下：

- a) 对于 $40.5\text{ kV} \leq U_r < 252\text{ kV}$ ：隔离开关额定电流的 80%，但不超过 1600 A。
- b) 对于 $252\text{ kV} \leq U_r \leq 550\text{ kV}$ ：隔离开关额定电流的 60%，但不超过 4000 A。
- c) 对于 $U_r > 550\text{ kV}$ ：隔离开关额定电流的 80%，但不超过 4000 A。

制造厂可以规定大于上述值的额定母线转换电流。

注： $U_r < 40.5\text{ kV}$ 的隔离开关也可以具有母线转换电流开合能力，该性能按用户和制造厂之间的协议进行考核。

4.108.2 额定母线转换电压

隔离开关的额定母线转换电压见表 7。制造厂可以规定不同于表 7 中的母线转换电压。

表 7 隔离开关的额定母线转换电压

额定 电流 I_r A	额定电压 U_r			额定电压 U_r		
	$40.5\text{ kV} \leq U_r < 252\text{ kV}$	$252\text{ kV} \leq U_r \leq 550\text{ kV}$	$U_r > 550\text{ kV}$	$40.5\text{ kV} \leq U_r < 252\text{ kV}$	$252\text{ kV} \leq U_r \leq 550\text{ kV}$	$U_r > 550\text{ kV}$
	气体绝缘 V（有效值）			空气绝缘 V（有效值）		
2000	10	15	20	100	175	250
2500		15	20		220	310
3150		20	30		275	390
4000		25	42		350	500
5000		25			435	625
6300		35			550	
8000		35			580	
注 1：表中的值是根据相应于隔离开关额定电流的母线转换电流计算的，并考虑了典型环路的长度和附录 B 给出的阻抗。 注 2：用气体绝缘隔离开关开合空气绝缘母线的转换电流时，其额定母线转换电压应采用空气绝缘隔离开关的额定母线转换电压。						

4.109 接地开关感应电流开合额定值和分级

额定电压 72.5 kV 及以上、设计用于关合和开断感性或容性感应电流（见 3.7.126 和 3.7.127）的接地开关应规定额定感应电流和额定感应电压，因此，要求具有感应电流开合能力。

注：额定电压 40.5 kV 及以下的接地开关偶尔也要求开断和关合感应电流，但感应电流的额定值和型式试验不属于正常要求，试验可按用户和制造厂之间的协议进行。

上述额定电压 72.5 kV 及以上、设计用于关合和开断感性或容性感应电流的接地开关应规定感应电流开合的等级（A 类或 B 类），该等级取决于感应电流开合方式的严酷程度。接地开关感应电流开合的

分类见表 8。

表 8 接地开关感应电流开合的分级

级别	接地开关的分级
A 级	设计用于相对短的线路或与邻近带电线路呈现低耦合的回路中的接地开关
B 级	设计用于相对长的线路或与邻近带电线路呈现高耦合的回路中的接地开关

两种等级的接地开关的额定感应电流和额定感应电压的标准值见表 9，这些值代表了每一额定电压的最大开合能力。

表 9 额定感应电流和额定感应电压的标准值

额定电压 U_r kV	电磁耦合				静电耦合			
	额定感应电流 A (有效值)		额定感应电压 kV (有效值)		额定感应电流 A (有效值)		额定感应电压 kV (有效值)	
	分级		分级		分级		分级	
	A	B	A	B	A	B	A	B
72.5	50	100	0.5	4	0.4	2	3	6
126	50	100	0.5	6	0.4	5	3	6
252	80	160	1.4	15	1.25	10	5	15
363	80	200	2	22	1.25	18	5	22
550	80	200	2	25	2	50	8	50
800	80	200	2	25	3	50	12	50
1100	80	360	2	30	3	50	12	180
注 1: 在某些情况 (接地线路很长一段与带电线路邻近、带电线路上的负荷很大、带电线路的运行电压比接地线路高等) 下, 感应电流和电压可能高于表中的值。对这类情况, 额定值应由制造厂和用户协商确定。								
注 2: 对单相和三相试验 (见 6.107.7), 额定感应电压均相应于线对地的值。								

4.110 气体绝缘隔离开关母线充电电流开合能力额定值和分级

额定电压在 72.5 kV 及以上的气体绝缘开关设备和控制设备一部分的隔离开关应对母线充电电流开合性能进行分级。

组成 $U_r \geq 363$ kV 的气体绝缘开关设备和控制设备一部分的隔离开关应对母线充电电流开合性能进行分级。 $U_r < 363$ kV 的隔离开关通常不需要进行试验, 但在制造厂和用户达成一致时也可以进行试验。任何情况下, 对 $72.5 \text{ kV} \leq U_r < 363 \text{ kV}$ 的隔离开关, BCS 级的试验不是强制的。

根据用途, 划分为 4 个等级并给出了相关的试验方式, 隔离开关母线充电开合能力的分级见表 10。

表 10 隔离开关母线充电开合能力的分级

分级	应 用	相关的试验方式 (见 6.108.2)
BCS 级	开合开路的非常短的母线管	TD1
BCB 级	BCS 级 + 在开路的 180°失步条件下开合与断路器有关的并联电容器	TD1 和 TD2
BCL 级	BCS 级 + 开合开路的长母线管	TD1 和 TD3
BCT 级	BCS 级 + BCB 级 + BCL 级	TD1、TD2 和 TD3

隔离开关和接地开关中安装的辅助和控制设备应选用优质、可靠的产品，元件布置应能防止误碰并便于维护和更换。

5.5 动力操作

按照 DL/T 593—2016 中 5.5 的规定，并做如下补充：

对于既能依赖动力操作也能依赖人力操作的隔离开关和接地开关，制造厂应明确标识人力操作时没有关合和开断能力，该标识应尽可能靠近人力操作的位置。

配气动或液压操动机构的隔离开关和接地开关，当气（液）源压力在其规定的最小和最大气（液）源压力（见 4.11.102）之间时，应能进行合闸和分闸操作。脱扣器的操作见 5.8。

人力操作的最大力见 5.105。

5.6 储能操作

按照 DL/T 593—2016 中 5.6 的规定，并做如下补充：

人力操作的最大力（储能）见 5.105。

5.7 不依赖人力的操作

按照 DL/T 593—2016 中 5.7 的规定，并做如下补充：

人力操作的最大力（储能）见 5.105。

5.8 脱扣器的操作

按照 DL/T 593—2016 中 5.8 的规定。

5.9 低压力和高压力闭锁及监视装置

按照 DL/T 593—2016 中 5.9 的规定。

5.10 铭牌

按照 DL/T 593—2016 中 5.10 的规定，并做如下补充：

- a) 单独使用或作为开关设备元件使用的隔离开关和接地开关及其操动机构应提供铭牌，铭牌内容应包含符合表 12 的信息。
- b) 在特定的一组开关设备和控制设备内使用的隔离开关和接地开关及其操动机构，应在开关设备和控制设备的铭牌上和/或说明书中整合表 12 给出的信息。
- c) 在正常运行状态下，其铭牌应清晰可见。

表 12 铭 牌 内 容

项目	缩写	单位	隔离开关	接地开关 ^a	操动机构
制造厂	—	—	×	×	×
型号	—	—	×	×	×
出厂编号	—	—	×	×	×
制造年份	—	—	×	×	×
额定电压	U_r	kV	×	×	—
额定雷电冲击耐受电压	U_p	kV	×	×	—
（额定电压在 363 kV 及以上）额定操作冲击耐受电压	U_s	kV	×	×	—

表 12 (续)

项目	缩写	单位	隔离开关	接地开关 ^a	操动机构
额定电流	I_r	A	×	—	—
额定短时耐受电流	I_k	kA	×	×	—
额定短路持续时间	t_k	s	×	×	—
绝缘和/或操作用的额定充入压力	P_{re}	MPa	×	×	×
辅助回路的额定电源电压	U_a	V	—	—	×
额定端子静态机械负荷	F	N	(×)	(×)	—
隔离开关的机械寿命次数	M_r	—	(×)	—	—
接地开关的电寿命次数	E_r	—	—	(×)	—
质量(包括气体)	m	kg	(×)	(×)	(×)
绝缘流体及质量	—	kg	×	×	×
注 1: ×表示的值的标识是强制性的。 注 2: (×)表示的值的标识是非强制性的。 注 3: “额定”一词在铭牌上可不出现。					
^a 当接地开关与隔离开关组合为一体时, 不要求有单独的铭牌。接地开关的短路额定值与隔离开关不同的情况除外。					

5.11 联锁装置

按照 DL/T 593—2016 中 5.11 的规定, 并做如下补充:

隔离开关和接地开关之间应装设机械联锁装置和/或电气联锁装置。隔离开关处于合闸位置时, 接地开关不能合闸; 接地开关处于合闸位置时, 隔离开关不能合闸。机械联锁装置应有足够的机械强度, 配合准确、联锁可靠。

通过阻止隔离开关或接地开关操作轴或动力传动链实现机械联锁, 并且不构成由 DL/T 404 和 DL/T 617 涵盖的封闭开关设备和控制设备组成部分的隔离开关或接地开关, 应能够耐受:

- 电动机操作时, 电动机在其最高电源电压下的启动力矩所产生的应力; 或者如果有应力限制装置, 直至其限制值; 用电力操作时, 电动机过载保护应切断合闸电源。
- 人力操作时, 相应于 5.105 中给出的最大人力操作力(不考虑峰值)的 3 倍; 或者, 如果有应力限制装置, 直至其限制值的 1.5 倍。

5.12 位置指示

按照 DL/T 593—2016 的 5.12 的规定和本文件 5.104 的规定。

5.13 外壳的防护等级

按照 DL/T 593—2016 中 5.13 的规定, 并对操动机构和二次设备的箱体做如下补充:

- 户外箱体应选用不锈钢、铸铝或具有防腐措施的材料, 应具有防潮、防腐、防止小动物进入等功能, 防护等级最低应为 IP4XW。应采取可靠措施保证箱体的密封性能, 不得用防水胶或密封胶等临时密封材料。
- 户内设备的箱体提供的防护等级最低应为 IP3X。
- 为了检修维护方便, 操动机构的箱体可侧向开门, 而且只有正向门打开后其侧向门才能打开。

5.14 户外绝缘子的爬电距离

按照 DL/T 593—2016 中 5.14 的规定, 并做如下补充:

虽然爬电距离可以按 DL/T 593—2016 中 5.14 的规定选取，但对并联绝缘体的两个并联的绝缘子之间的距离应予以考虑。

5.15 气体和真空的密封

按照 DL/T 593—2016 中 5.15 的规定。

5.16 液体的密封

DL/T 593—2016 中 5.16 不适用。

5.17 易燃性（火灾危险）

按照 DL/T 593—2016 中 5.17 的规定。

5.18 电磁兼容性（EMC）

按照 DL/T 593—2016 中 5.18 的规定。

5.19 X射线的辐射

按照 DL/T 593—2016 中 5.19 的规定。

5.20 腐蚀

按照 DL/T 593—2016 中 5.20 的规定，并做如下补充：隔离开关和接地开关的各种金属部件应能有效防锈耐腐蚀。

5.21 绝缘、开合和/或操作用充入水平

制造厂应规定在 20℃ 时气体的压力（用 Pa 或密度表示）或液体质量，充气体的或充液体的开关设备投运前应充入相应于该温度下的气体压力或液体质量。

对于自身带有压缩机或泵及压力罐的操动机构，制造厂应规定充入（运行）压力的限值。

除了充入水平，制造厂还应规定下面的值（适用时）：

- a) 绝缘和/或开合用介质的报警压力（密度）。
- b) 操作用介质的报警压力（密度）。
- c) 绝缘和/或开合用介质的最低功能压力（密度）。
- d) 操作用介质的最低功能压力（密度）。

5.22 人力操作的手柄

人力操作的手柄的操作方向应是明确的。

优选的操作原则是：

- a) 顺时针转动合闸，逆时针转动分闸。
- b) 推入合闸，拉出分闸。
- c) 向右移动合闸，向左移动分闸。
- d) 向上移动合闸，向下移动分闸。

5.101 对接地开关的专门要求

为了保证机械强度和抗腐蚀性，接地开关的可动部件与其底架之间的铜质软连接的截面积不应小于 50 mm²。

当该软连接用以承载短路电流时，则应按相应的要求进行设计，如果采用其他材料，则应具有等效的截面积。

5.102 对隔离开关隔离断口的要求

为了安全，隔离开关的设计应使其一侧的端子到另一侧的任一端子间不会流过危险的泄漏电流。当在运行中用可靠的接地连接将所有的泄漏电流引入地下或者所用绝缘子能有效防止污秽时，则这一安全要求已经满足。

当隔离断口的绝缘在运行中可能遭遇到污秽时，应注意确保绝缘子设计（例如绝缘子的爬电距离、疏水性和方向等）的适用性。按 GB/T 26218（所有部分）的规定作为选择合适的绝缘子设计的指导。污秽条件下隔离断口的绝缘性能应采用相应于隔离开关隔离断口的合适电压耐受水平进行验证。

设计还须考虑由磨损和电弧生成物引起的累积效应。耐受这些效应的有效性通过第 6 章规定的相关型式试验后的状态检查来验证。

注 1：由于 DL/T 593—2016 中对隔离断口规定了比相对地绝缘更高的耐受试验水平，一般隔离开关的隔离间隙要比相对地的绝缘距离长。但是，当需要更长的爬电距离时，相对地的绝缘距离可能会变得比隔离断口间隙长。对此情况，为使隔离断口间隙保持低的破坏性放电概率，可能需要使用避雷器或棒状放电间隙之类的保护装置。

注 2：绝缘子的试验方法遵守 GB/T 4585 和 GB/T 26218（所有部分）。

5.103 机械强度

按照制造厂的说明书安装的隔离开关和接地开关，包括所用的绝缘子，应满足如下要求：

- a) 在其额定端子静态机械负荷下正确地分、合主触头。
- b) 在其额定端子静态机械负荷下承载额定电流（适用时）。
- c) 耐受在短路条件下作用在端子上的动态力。

计算要求的绝缘子的弯曲强度时，应考虑绝缘子顶部以上的端子的高度及作用在绝缘子上的附加力（见 3.7.121 和 8.2.104）。

5.104 隔离开关和接地开关的操作——动触头系统的位置及其指示装置、信号装置

5.104.1 位置锁定

隔离开关和接地开关及其操动机构应该设计成：按照第 2 章规定的使用条件，在重力、风力、振动、合理的撞击作用下或其操作系统的连杆受到意外碰撞的情况下，均不会脱离其分闸或合闸位置。

为了安全，隔离开关和接地开关至少应能暂时在机械上锁定在分闸位置（对于隔离开关）和合闸位置（对于接地开关）上（例如维修时）。

注：用钩棒操作的隔离开关或接地开关，可以不满足后一段的要求。

5.104.2 对动力操动机构的附加要求

动力操动机构也应提供手动操作工具。手动操作时应能保证动力操动机构的控制电源被可靠地切断。操动机构箱内应装设分、合闸按钮和电源保护开关。

5.104.3 位置指示和位置信号

5.104.3.1 通用要求

除非动触头分别到达其合闸或分闸位置，否则不应该发出合闸和分闸位置指示和位置信号。

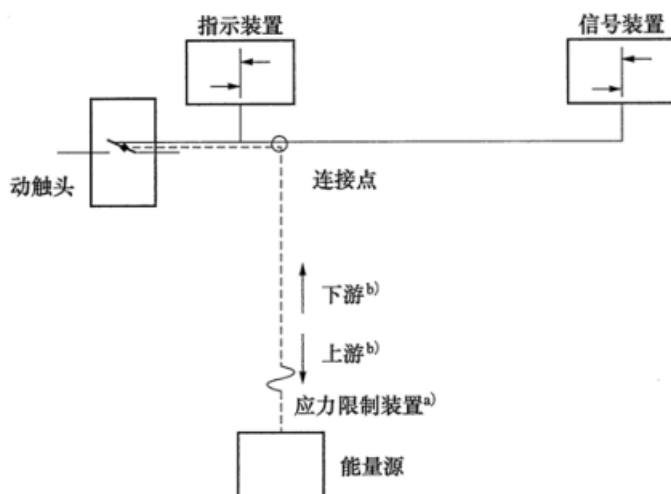
注：“合闸位置”和“分闸位置”的定义见 3.6.110 和 3.6.111。

位置指示/信号装置见图 1，给出了包含在位置指示和位置信号中的各个元件及某些设计条件。

应力限制装置（如果有）应位于能量源和连接点之间的动力传动链上的任一位置，而不应沿着位置指示/信号传动链，见 5.104.3.2 和 5.104.3.3。

位置指示装置应直接固定在动力传动链的机械部件上，或者通过一个单独的位置指示/信号传动链与动力传动链在机械上进行连接。如果位置指示器不能直接固定在动力传动链的机械部件上，那么自连接点的位置开始，位置指示传动链应放置在一个外壳内，该外壳能提供等效于 GB/T 4208—2017 中 IP2XC 的最低防护等级及 GB/T 20138—2006 中的撞击水平 IK07（2J）。

位置信号传动链应放置在一个外壳内，该外壳应与位置指示传动链的外壳的防护水平相同。



注：虚线表示动力传动链；实线表示位置指示/信号传动链。

a) 应力限制装置（如果有）可以是一个外部装置或者是作为能量源一部分的内部部件，例如力矩（力）控制系统。

b) 上游是朝向能量源的方向，下游是朝向触头的方向。

图 1 位置指示/信号装置

5.104.3.2 位置指示

位置指示应能识别隔离开关或接地开关的运行位置。如果满足下列条件之一，就能够提供隔离开关或接地开关的位置指示：

- 至少隔离开关每极动触头的分闸位置和接地开关每极动触头的合闸位置是可见的。
- 每极动触头的分闸和合闸位置都通过可靠并可见的指示装置指示。仅当隔离开关或接地开关所有极是通过一个共用的操动机构操作时，才允许使用一个共用的位置指示装置。

注：某些地区要求隔离开关的设计要有明显可见的隔离断口。

动触头和位置指示装置之间的传动链应设计得有足够的机构强度，以满足规定的试验（6.105）要求。位置指示传动链应是连续的机械连接，以保证正向驱动操作。位置指示装置可用适当的方法直接标示在动力传动链的机械部件上。应力限制装置（如有）不属于位置指示传动链的一部分。

5.104.3.3 由辅助触头发出的电气位置信号

只有当隔离开关或接地开关各极的位置均符合 5.104.3.1 的规定时，才能发出各极的位置信号。

如果隔离开关或接地开关的三极用一台共用操动机构进行操作，则允许用一个共用的位置信号装置。

动触头和位置信号装置之间的传动链应具有足够的机械强度，以满足机械寿命试验的要求。位置信号传动链应保证是正向驱动操作的。应力限制装置（如果有）不属于位置信号传动链的一部分。

辅助开关与传动连杆应采用直接机械传动连接，受力应均匀、稳定。

5.105 人力操作允许的最大力

5.105.1 概述

5.105.2 和 5.105.3 给出的值一般也适用于电动操作的隔离开关和接地开关在维修时进行的人力（用手柄）操作。

注：如适用，这些值也包括破冰操作的操作力。

操作高度高于正常操作高度时制造厂应和用户协商。

5.105.2 需要多于一转的操作

隔离开关或接地开关的操作或储能需要多于一转（例如操作手柄）时，在总转数的 90% 转数内所需的最大力不应大于 60 N，在总转数 10% 转数内操作力允许的最大值为 120 N。

5.105.3 需要一转以内的操作

隔离开关或接地开关的操作或储能需要一转以内（例如手柄）时，其所需的力不应大于 250 N（按照 DL/T 593—2016 中 5.6.4 的规定），在转动角度最大为 15° 的范围内，操作力允许的最大值为 450 N。

5.106 尺寸公差

隔离开关和接地开关的安装尺寸、高压连接尺寸和接地连接尺寸的线性和角度尺寸公差按 GB/T 1804 的规定。

5.107 具有短路关合电流能力的接地开关

规定了短路关合电流的接地开关，应能够在额定电压和较低电压下关合直到并包括其额定短路关合电流的任何电流。若接地开关成功地验证了它的电气寿命等级，则认为满足了该要求。

5.108 对机械传动系统和导电回路的要求

5.108.1 操动机构输出轴与本体的连接

隔离开关和接地开关操动机构的输出轴与其本体传动轴应采用无级调节的连接方式，机械连接应牢固、可靠，应尽量采用无需调节的固定连接。操动机构内应装设一套能可靠切断电动机电源的过载保护装置。

5.108.2 对转动连接的要求

转动连接轴承座必须采用全密封结构，至少应有两道密封，不允许设有“注油孔”。轴承润滑应采用符合设备周围空气温度等环境条件的优质润滑脂，并应在使用说明书中注明其质量控制指标，如组分、成分和黏度等。

5.108.3 对传动轴承、轴套、轴销的要求

传动连接应采用万向轴承和具有自润滑功能的轴套连接，轴销应采用不锈钢或铝青铜等防锈材料，万向轴承应带有防尘结构。

5.108.4 对传动连杆的要求

传动连杆应采用装配式连接结构，其材质应是满足机械强度、刚度、防腐蚀要求的材质，如不锈钢管、多棱形钢等。

5.108.5 对导电回路的要求

隔离开关主导电回路的设计应能耐受 1.1 倍额定电流而不超过允许温升，敞开式隔离开关触头的滑动接触面镀银层厚度应大于等于 20 μm 、硬度应大于等于 120 HV，交流金属封闭开关设备中隔离开关触头的滑动接触面镀银层厚度应大于等于 8 μm 。

触头弹簧应进行防腐防锈处理，应尽量采用外压式触头，如采用内压式触头，其触头弹簧必须采取可靠的防弹簧分流的绝缘措施。

单柱式隔离开关和接地开关的静触头装配应由制造厂提供，并应满足额定接触区的要求。在钳夹最不利位置下，隔离开关支持绝缘子和硬母线支持绝缘子不应受到额外的作用力。

5.108.6 对不得积水的要求

隔离开关和接地开关的所有部件和箱体上，尤其是传动连接部件和运动部位不得出现积水。

5.109 对隔离开关和接地开关用瓷支持绝缘子和操作绝缘子的要求

隔离开关和接地开关使用的瓷支持和操作绝缘子除应满足 GB/T 772、GB/T 8287.1、GB/T 8287.2 等相关国家标准的要求外，还应按照附录 H 的要求进行。

5.110 采用一台共用操动机构操动的两极或三极隔离开关的要求

对于采用一台共用操动机构操动的两极或三极隔离开关，其各极的合闸不同期性应能方便地调整，在合闸终了时应保证接触可靠。合闸不同期性应在产品说明书（或技术条件）中规定。

6 型式试验

6.1 总则

按照 DL/T 593—2016 中 6.1 的规定，并对其中项 d) 所规定的正常生产产品每隔 8 年应进行验证试验项目修改为：

- 温升试验（仅对隔离开关）；
- 短时工频耐受电压试验（干试）（仅对气体绝缘金属封闭开关设备中的隔离开关和接地开关）；
- 机械操作和机械寿命试验（见 6.102）。

6.1.1 概述

按照 DL/T 593—2016 中 6.1.1 的规定，并做如下补充：

隔离开关和接地开关应在其正确的安装和使用条件下（例如正常安装在气体绝缘或金属封闭开关设备和控制设备内）进行试验，验证它们的额定特性。试验时应安装其布置可能影响性能的所有相关部件，例如连接、支撑、排逸措施、电阻等。

在结构或安装布置方面与第 6 章所给示例不同的隔离开关和接地开关，应在能代表实际安装的条件下进行试验。

注：相关的元件可能影响性能。能够描述这些影响的性能有短路电流引起的机械力、电弧生成物的排放、破坏性放电的可能性等。已经认识到，在某些情况下，这样的影响可以完全忽略。

6.1.2 确认试品用的资料

按照 DL/T 593—2016 中 6.1.3 的规定，并做如下补充：

在型式试验开始时，制造厂应给出隔离开关或接地开关分闸和/或合闸时的机械操作特性及其公差，例如操作时的时间参量和空载行程曲线。

6.1.3 型式试验报告应包含的资料

按照 DL/T 593—2016 中 6.1.4 的规定，并做如下补充：

型式试验时所用绝缘子的下列详细资料是特别重要的，应在相应的试验报告中给出。

- 额定弯曲强度；
- 支持绝缘子（和操作绝缘子，适用时）的额定扭转强度；
- 元件的高度和数量；
- 爬电距离和伞形；
- 承受负荷时的偏移。

对于绝缘试验，应包括位置指示或位置信号能发出分闸位置信号时所对应的最小间隙的数据，对于空气绝缘的设备，应指明试验时所使用的最小间隙和对地高度的最小尺寸（见 6.2.4）。还应给出最低的绝缘部件对地距离。

对于短路试验，应包括下列资料：

- 被试开关设备与试验回路其他部分的机械和电气连接的详细资料，包括端子静态机械负荷和导体的尺寸；
- 采用的安装布置方面的资料；
- 对单柱式隔离开关或接地开关，静触头与上方导线安装方面的资料；
- 三极共用一个操动机构的隔离开关或接地开关，其操动机构的布置方式；
- 短路试验前、后的主回路电阻值；
- 试验前、后的触头压力（如果可能）。

6.2 绝缘试验

6.2.1 概述

按照 DL/T 593—2016 中 6.2.1 的规定。

6.2.2 试验时周围的大气条件

按照 DL/T 593—2016 中 6.2.2 的规定。

6.2.3 湿试程序

按照 DL/T 593—2016 中 6.2.3 的规定。

6.2.4 绝缘试验时隔离开关和接地开关的状态

按照 DL/T 593—2016 中 6.2.4 的规定，并做如下补充：

处于分闸位置的隔离开关或接地开关的绝缘试验，应在指示或信号装置能够发出分闸信号时所对应的隔离开关的最小隔离断口或接地开关的最小间隙下，或在与 5.104.1 中规定的锁定装置相一致的最小隔离断口下进行。无论哪种情况，隔离断口或间隙均为最小。这一要求对由钩棒操作的隔离开关和接地开关不适用。

6.2.12 作为状态检查的电压试验

按照 DL/T 593—2016 中 6.2.12 的规定，并做如下补充：

仅适用于涵盖在 DL/T 404 或 DL/T 617 范围内的封闭开关设备的充气隔室内的隔离开关和接地开关。

6.3 无线电干扰电压 (r. i. v) 试验

按照 DL/T 593—2016 中 6.3 的规定，并做如下补充：

在 $1.1 U_r / \sqrt{3}$ 下，无线电干扰电平不得超过 $500 \mu\text{V}$ ，且晴天夜晚无可见电晕。

6.4 回路电阻的测量

按照 DL/T 593—2016 中 6.4 的规定。

6.5 温升试验

按照 DL/T 593—2016 中 6.5 的规定。

6.6 短时耐受电流和峰值耐受电流试验

6.6.1 概述

按照 DL/T 593—2016 中 6.6 的规定，并做如下补充。

6.6.2 隔离开关和接地开关以及试验回路的布置

6.6.2.101 一般试验条件

试验时，被试隔离开关或接地开关应安装其自身的操动机构，以使试验具有代表性。

隔离开关为适应母线转换电流开合能力所需的辅助装置和接地开关为适应感应电流开合能力所需的辅助装置，试验时均应全部装好。

试验应在操动机构和主触头的处于最不利位置上进行。应考虑到 5.104.3 的要求，适用时，还应按照 6.105 的要求。

如果设计需要调整位置指示装置或位置信号装置，应按说明书的要求进行。对短路试验，这些装置不允许有偏离。

如果设计允许有偏差，则制造厂应在试验前事先声明。短时和峰值耐受电流试验，应在信号装置整定在由该信号装置指示的主触头处于最不利状态下给出的最大或最小偏差下进行。对于钩棒操作的隔离开关和接地开关，这一要求不适用。

总之，对于绝缘试验、短时和峰值耐受电流试验，位置信号装置应采用相同的整定。

注：对绝缘试验，主触头最不利状态是指出现“分闸”信号时的间隙最小；对短路试验，主触头最不利状态是指合闸操作期间出现“合闸”信号时的最初位置。

敞开式隔离开关和接地开关应按图 2～图 5 中规定的适用的试验布置进行试验。如果试验时使用软导线连接，则隔离开关和接地开关的端子应按照制造厂规定的方向施加其额定端子静态机械负荷。

试验布置也应反映出电磁力使隔离开关或接地开关趋于分闸的最不利状况。对与隔离开关组合为一体的接地开关试验时，试验接线应与隔离开关试验相同。

三极共用一台操动机构的隔离开关或接地开关进行单相试验时，应在远离操动机构的一极上进行。

未与隔离开关组合为一体的接地开关，应按对隔离开关相同要求的试验布置进行试验。

安装在封闭开关设备中的隔离开关和接地开关，应按照 DL/T 404 或 DL/T 617 作为成套开关设备的元件进行试验。

对单柱式隔离开关或单柱式接地开关，触头在接触区内垂直位置的选择，应反映静头由软母线或硬母线支撑时的最不利条件。如对最不利条件有怀疑，应在触头处于额定接触区内的最高位置和最低位置进行试验。

所有试验最好进行三相试验。如果进行单相试验，试验最好在两个相邻极上进行。如果在一个极上进行试验，其返回导体与被试极的距离应为相间距离。返回导体应与隔离开关或接地开关主电流路径平行且距底座是同一高度；或者，对于带有垂直（立式）动触头的隔离开关和接地开关，其返回导体与上述要求等效。返回导体的长度应与图 2～图 5 所示相当。

6.6.2.102 额定电压 40.5 kV 及以下的隔离开关和接地开关

额定电压 40.5 kV 及以下的敞开型隔离开关和接地开关应采用图 2 所示的隔离开关和接地开关的三相试验布置。图 2 中的距离 L_2 和 L_3 尽可能小，但不应小于 L_1 。

典型的布置包括：

- a) 对硬导线，未支撑的间距小于或等于 L_4 。
- b) 相间距等于或大于 L_1 。

如果 L_1 是一个范围，试验装置的相间距应是最短的。 L_4 应是制造厂给出的最长距离，但不小于最短 L_1 的 3 倍。

应注意避免由到电源的连接线引入不代表运行条件的力。

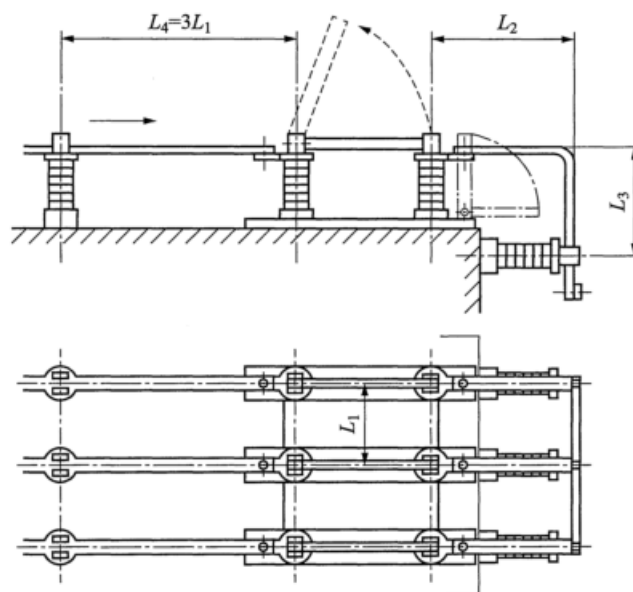


图 2 隔离开关和接地开关的三相试验布置

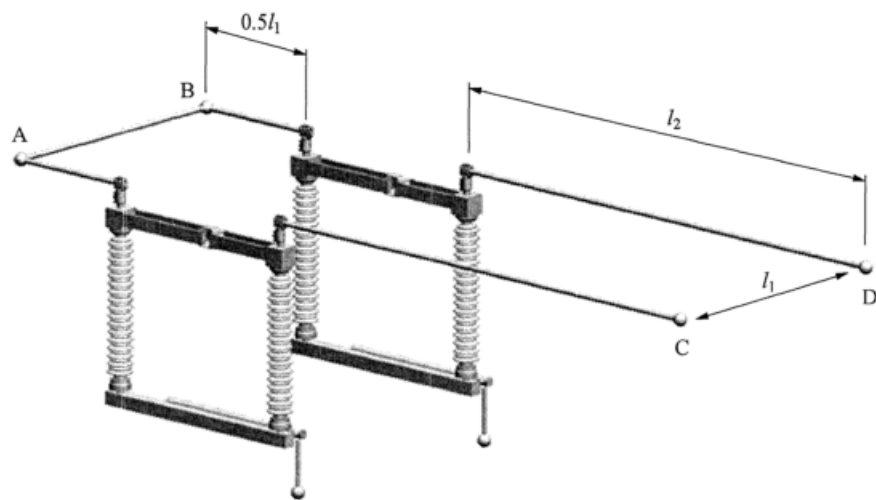
6.6.2.103 额定电压 72.5 kV 及以上的隔离开关和接地开关

具有水平隔离断口的隔离开关和接地开关应采用图 3 给出的 $U_t > 40.5$ kV、使用软导线或硬导线连接的接地开关和具有水平隔离断口的隔离开关的单相试验布置；具有垂直隔离断口的单柱式隔离开关和接地开关应采用图 4 和图 5 给出的单相试验布置。对在某一位置（例如垂直或水平位置）的隔离开关或接地开关进行试验所获得的试验结果，仅对在此试验期间隔离开关或接地开关的位置有效。

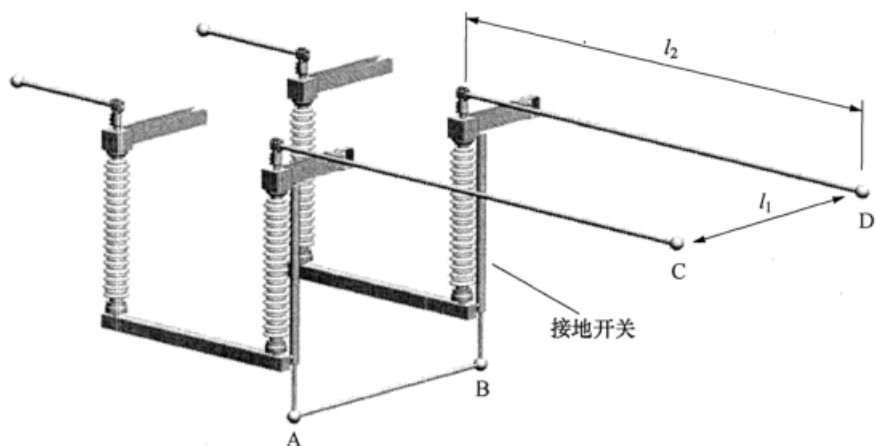
注：由于使用条件的特殊要求，在用户和制造厂协商的基础上，试验布置允许与规定的试验布置不同。

三相试验布置按照图 3～图 5 的单相试验布置同样的通用模式。

试验时，图 3 所示的接地开关极间短路路径应再现制造厂声明的安装条件。尤其是应考虑用于极间连接的导体和接地导体的位置和固定方法。



a) 隔离开关的试验布置



b) 接地开关的试验布置

注：

A—B 为短路连接。

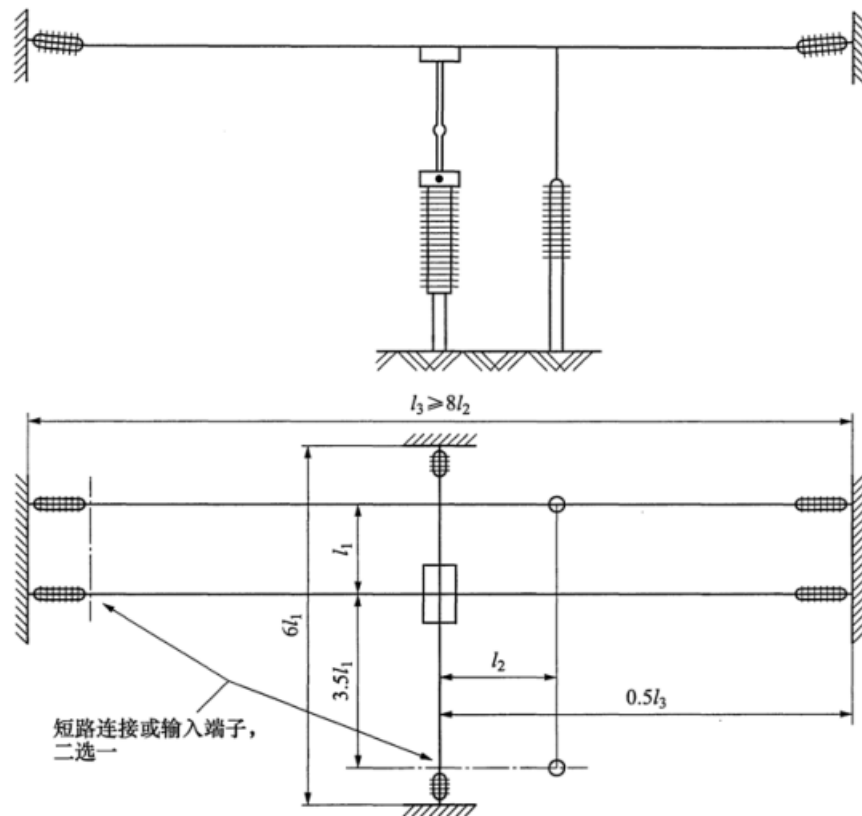
C—D 为输入。

l_1 是制造厂规定的相邻极间的最小中心距。

$l_2 = 2 \times l_1$ ($40.5 \text{ kV} < U_r \leq 550 \text{ kV}$)。

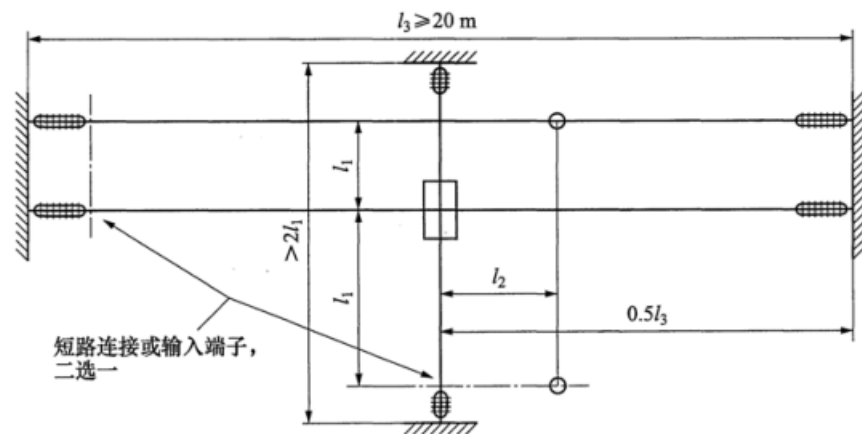
$l_2 = 0.5 \times l_1$ ($U_r > 550 \text{ kV}$, 最小为 7 m)。

图 3 $U_r > 40.5 \text{ kV}$ 、使用软导线或硬导线连接的接地开关和具有水平隔离断口的隔离开关的单相试验布置



图中: l_1 、 l_2 是制造厂规定的相邻极间的最小中心距。

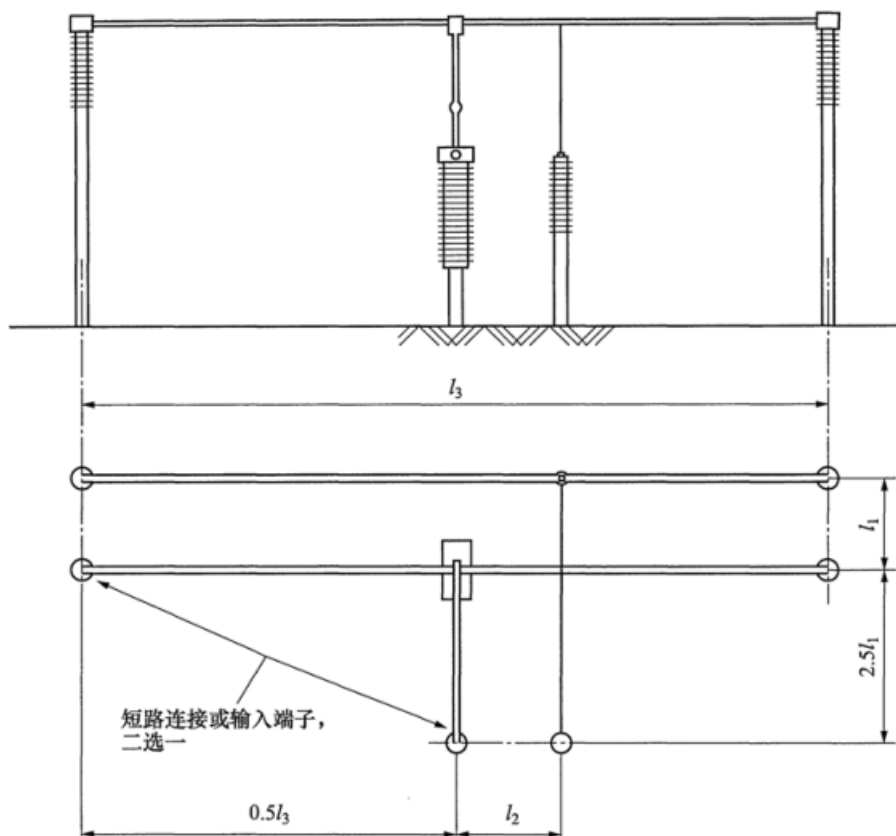
a) $40.5 \text{ kV} < U_r \leq 550 \text{ kV}$ 隔离开关的试验布置



图中: l_1 、 l_2 是制造厂规定的相邻极间最小(最小为10 m)和最大中心距。

b) $U_r > 550 \text{ kV}$ 隔离开关的试验布置

图4 $U_r > 40.5 \text{ kV}$ 、用软导线连接的具有垂直隔离断口的单柱式隔离开关
(接地开关)的单相试验布置

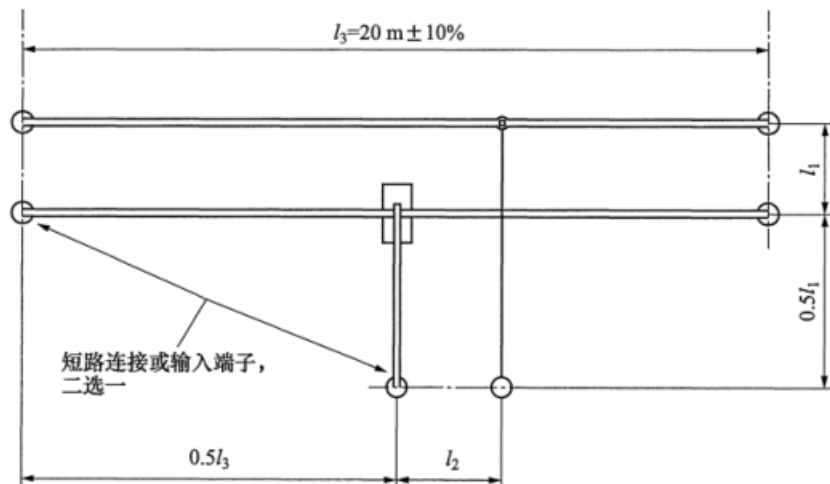


图中: l_1 、 l_2 是制造厂规定的相邻极间最小中心距。

对于 $U_r \leq 126 \text{ kV}$, $l_3 \geq 4l_1$ 。

对于 $U_r \geq 252 \text{ kV}$, $l_3 = 20 \text{ m} \pm 2 \text{ m}$ 。

a) $40.5 \text{ kV} < U_r \leq 550 \text{ kV}$ 隔离开关的试验布置



图中: l_1 、 l_2 制造厂规定的相邻极间最小中心距。

b) $U_r > 550 \text{ kV}$ 隔离开关的试验布置

图 5 $U_r > 40.5 \text{ kV}$ 、用硬导线连接的具有垂直隔离断口的
单柱式隔离开关（接地开关）的单相试验布置

变电站中与软导线或硬导线连接的隔离开关和接地开关应分别按图 3 或图 4 给出的尺寸的试验布置使用软导线进行试验, 并且同时施加其额定端子静态机械负荷 (图 8 中的纵向力 F_{a1} 或 F_{a2} 及图 9 中的 F_{a1} 和 F_{a2})。仅与硬导线连接的隔离开关和接地开关应按相同尺寸的试验布置并使用硬导线进行试

验，除硬导体本身的重量所产生的负荷之外不需要额外施加端子静态机械负荷。所用导体的尺寸和材料应在试验报告中说明。

施加 50%纵向额定端子静态机械负荷后、施加 100%负荷之前，可以调整隔离开关或接地开关。与试验布置有关的所有细节都是强制性的，作为举例，这里给出了隔离开关和接地开关试验布置的细节。

为了试验的标准化，当用软导线进行试验时，如果开关设备的额定电流大于 1250 A，或者 1 s 短路持续时间的短时耐受电流大于 31.5 kA，应采用中心线距离为 70 mm±30 mm 且没有支撑的两根软导线进行试验。 $U_r \geq 363$ kV 的隔离开关和接地开关也用两根这种软导线进行试验。除非被试隔离开关或接地开关牢固地固定在基础上，否则，应考虑支承结构的弹性系数（GB/T 35698.1）。

试验报告应清楚地给出用于试验的安装布置的细节或者隔离开关牢固地固定到基础上的记录。试验时，应避免引入因与电源的连接而产生的不代表运行条件的力，并且，施加的端子静态机械负荷不应大于试品的额定端子静态机械负荷。

在试验布置中，如果下层导线的短路侧不能被支撑，可用被试隔离开关来支撑，这可能引起较高的端子动态机械负荷。

注 1：原则上，图 3 也适用于试验接地导体布置得当的接地开关。

注 2：原则上，图 4 也适用于试验接地导体布置得当的完整的接地开关。

6.6.3 试验电流和持续时间

按照 DL/T 593—2016 中 6.6.3 的规定。

6.6.4 在试验过程中隔离开关和接地开关的表现

按照 DL/T 593—2016 中 6.6.4 的规定，并做如下补充：

处于合闸位置的隔离开关和接地开关，在额定短路持续时间内承受额定峰值和额定短时耐受电流时，不能产生：

- 隔离开关或接地开关任何部件的机械损伤；
- 触头分离；
- 电弧。

在短路试验期间，触头系统的状况应通过记录隔离开关主电流路径两端的电压降来证明。

6.6.5 试验后隔离开关和接地开关的状态

按照 DL/T 593—2016 中 6.6.5 的规定，并做如下补充：

试验后，对于不依赖的动力操动机构，应在电源的额定值下进行空载操作；对于依赖的动力操动机构，应在电源的最低值下进行空载操作。对于人力操动机构，应在操作力不大于 5.105 中规定的人力操动机构的操作力下进行空载操作。隔离开关或接地开关在第一次试操作时就应分开。

对于通过一个共用操动机构或驱动轴操作的三极隔离开关或接地开关，如果短路耐受试验是对其一极进行的单相试验，应记录试验程序的细节及空载操作时在操动机构出口处测得的力矩/力，以便评估在出现三相短路后操动机构操动三极设备能力方面的试验结果。该试验方法可能要求试验时在动力传动链上加入一个力矩/力测量装置。当分开被试隔离开关或接地开关的被试极时，在动力传动链上测得的力矩/力不应超过在阻止操动机构出口时操动机构给出的力矩值/力值除以被试开关设备的极数。

对于隔离开关，空载操作后：

- 为了验证承载电流的能力，应尽可能靠近触头测量回路电阻。试验后电阻的增加不应超过试验前测得值的 20%。

- 如果回路电阻超过 20%，应进行温升试验（6.5），应通过监测距离触头最近位置的温度来验证触头的温升不超过 DL/T 593—2016 中给出的温升限值。
- 应进行外观检查（如果可能）。如果对绝缘性能有怀疑，或者如果不拆解就不可能进行外观检查，为了验证隔离断口和对地的绝缘状态，6.2.12 适用。
对于接地开关，空载操作后，应按照下述方法验证接地连接和绝缘是否完好：
- 进行外观检查（如果可能）。不应观察到明显的触头烧蚀或触头熔焊，允许触头有轻微熔焊。
- 如果怀疑触头烧蚀明显，或者如果不拆解触头就不能进行外观检查，应按照 DL/T 593—2016 的 6.10.3 通过检查电气连续性来验证接地连接是否完好。
- 如果对绝缘特性有怀疑，或者如果不拆解就不可能进行外观检查，为了验证对地间隙的绝缘状态，6.2.12 适用。

6.7 防护等级检验

按照 DL/T 593—2016 中 6.7 的规定。

6.8 密封试验

按照 DL/T 593—2016 中 6.8 的规定。

6.9 电磁兼容性试验（EMC）

按照 DL/T 593—2016 中 6.9 的规定。

6.10 辅助和控制回路的附加试验

按照 DL/T 593—2016 中 6.10 的规定。

6.11 真空开断装置 X 射线试验程序

按照 DL/T 593—2016 中 6.11 的规定。

6.101 接地开关短路关合能力试验

6.101.1 一般试验条件

具有短路电流关合能力的接地开关，应按照 6.101.7 的试验程序在关合试验系列中分别经受 2 次（E1 级）或 5 次（E2 级）关合操作。

对于组合功能接地开关，如果其他功能也具有短路关合能力，下述试验方法适用：

首先，应按照相关标准对其他功能进行短路关合试验，随后对接地功能进行短路关合试验，且没有中间维修。

作为替代，组合功能接地开关的短路关合试验可以在新的组合功能接地开关上进行，但首先应对其他功能进行至少 1 次短路关合试验，随后对接地功能进行短路关合试验，且没有中间维修。该试验方法仅验证接地开关的短路关合能力。

6.101.2 被试接地开关的布置

接地开关应在典型的安装和使用条件下进行试验，按照 6.6.2，这些条件涉及接线、支撑、外壳和尺寸方面。

操动机构应按规定的方式进行操作，特别是，如果操动机构是电动、液压或气动操作的，应在最低电源电压或最低压力下操作。

对于充气的接地开关，试验应在绝缘和/或开合用最低功能压力下进行。

为了方便试验，可进行如下操作：

——为了获得稳定的合闸时间，只要不提高触头合闸速度，可以提高合闸操作线圈的电源电压；

——为了获得精确的合闸时间，可以在解锁点处加入电动或气动释放的锁闭。

不依赖人力操作的接地开关，可以按照为实现遥控关合的目的而提供的布置方式进行操作。

注：为了试验的目的，可能需要测量行程特性，例如使用行程记录仪。

6.101.3 试验频率

接地开关应在额定频率下进行试验，频率的公差为 $\pm 10\%$ 。

但是，在 50 Hz 或 60 Hz 电源频率下，按照峰值系数 2.6 或以上进行的试验，涵盖了两个频率的要求。

6.101.4 试验电压

试验电压如下：

- a) 对于三相试验，外施电压相间平均值应不低于额定电压 U_r ，并且未经制造厂同意，不得超过该值的 10%。每极外施电压和平均值之间的差值应不超过 5%。
- b) 对于单相试验，外施电压应不低于相对地电压值 $U_r/\sqrt{3}$ ，并且未经制造厂同意，不得超过该值的 10%。但下述情况下除外：对于三极操动的接地开关的单相试验，如果合闸操作极间不同期超过额定频率半个周波，外施电压不应低于额定电压 U_r 。

6.101.5 短路关合试验电流

短路关合试验时的短路电流用峰值电流和对称电流有效值来表示。在 0.2 s 时每相的对称电流有效值至少应为额定短时耐受电流的 80%。预期峰值电流应等于额定短路关合电流 (I_{ma})，公差为 (0%~+5%)。

短路电流的持续时间至少应为 0.2 s。

接地开关应在下述规定的两种极端情况进行试验：

- a) 在电压波形的峰值处（允许偏差为 -30 电度~+15 电度）关合，产生一个对称的短路电流和最长的预击穿时间。为了便于试验，可以采用替代的试验方法，短路关合试验的替代方法按照附录 D 的要求进行。
- b) 在电压波形的零点处关合，无预击穿，产生一个完全非对称的短路电流。为了方便试验，试验可以在降低的外施电压下进行，以便获得额定短路关合电流 (I_{ma})。关合操作可能没有精确地发生在电压波的零点，但是，如果已经获得额定短路关合电流，就认为满足极端情况 b)。

6.101.6 试验回路

关合试验应使用三相试验回路或单相试验回路进行。

三相试验涵盖了：

——极间的相互作用；

——作用在操动机构上的应力（在共用操动机构的情况下）。

为了同时涵盖中性点有效和非有效接地系统的应用，三极接地开关应在三相回路中进行试验。认为在中性点不接地回路中和在中性点固定接地的回路中进行关合试验的严酷度是等价的。但是，下列情况下，额定电压 72.5 kV 及以上的接地开关允许进行单相试验：

- a) 每极单独储存合闸能量的多箱壳型或敞开型接地开关；
- b) 逐极操作的接地开关。

6.101.7 试验程序

对于 E1 级接地开关，试验应按照在两次 C 操作之间进行一次单独的空载 O 操作的两次 C 操作的顺序进行，即按 C—O（空载）—C，除非试验室在合闸操作之间需要更多的空载试验。

对于 E2 级接地开关，试验顺序为 2C—x—2C—y—1C，其中，x 和 y 表示任意次数的空载操作试验，2C 操作由 C—O（空载）—C 组成，除非试验室在合闸操作之间需要更多的空载试验。两次合闸操作之间的时间间隔不做要求。

试验顺序期间不允许维修。

对于组合功能的接地开关，在 E2 级试验顺序中用 x 和 y 表示的空载操作的次数可以用开合操作来代替。

由于极间不同期性或不同极中预击穿起始时刻不同，在一极中可能出现比额定值大的峰值关合电流。特别是，如果一极中的电流比其他两极迟几毫秒流过，就在一极中可能出现比额定值大的峰值关合电流。若在这种情况下接地开关失败，则认为接地开关试验失败。

试验过程中，应达到表 15 中规定的关合时刻的要求。

表 15 关合时刻的要求

E1 级	E2 级
2 次试验： 至少 1 次试验满足 6.101.5 a) 的要求； 至少 1 次试验满足 6.101.5 b) 的要求	5 次试验： 至少 2 次试验满足 6.101.5 a) 的要求； 至少 2 次试验满足 6.101.5 b) 的要求
注：通常，具有短路关合能力的接地开关的触头合闸速度应足够高，以便在相同的试验中，在不同的相上能够获得最大的预击穿和最大的峰值电流。	

6.101.8 关合短路电流期间接地开关的表现

在关合试验期间，以下要求适用：

- a) 对于具有额定短路关合电流的封闭式接地开关，关合短路时，既不应向外壳外面喷射火焰、液体和气体，也不应向外壳外面喷射粒子。
- b) 对于敞开式接地开关，火焰或金属粒子不应喷射到超出制造厂规定的界限。

6.101.9 短路关合试验后接地开关的状况

完成规定的操作之后，接地开关的机械部件、与电场控制有关的部件（如 GIS 中接地开关的电场控制电极）和绝缘子应和试验前的状况基本相同。绝缘性能不应劣化。仅是短路关合性能和短时电流耐受性能受到影响。

注：通常认为，在规定的关合操作次数后，有关短路关合能力和短时电流耐受能力的接地开关的使用寿命就结束了，需要维修或更换。

为了验证以上要求，接地开关应满足下列检查条件：

- a) 机械状态。每次操作后，仅允许触头轻微熔焊。即在 5.5 和 5.6 中给定的条件下，对于动力操动机构，采用额定值应能使接地开关分闸和合闸；或者，对于人力操动机构，使用正常的操作手柄，采用 5.105 中给出值的 120% 的操作力应能使接地开关分闸和合闸。
- b) 电气连续性。空载操作之后的外观检查对于检查接地开关电气连续性通常是足够的。如果有怀疑，应按照 DL/T 593—2016 中 6.10.3 测量电气连续性。
- c) 绝缘要求。外观检查通常是足够的。如果有怀疑，应按照 6.2.12 进行作为状态检查的电压试验。作为替代，对于额定电压 72.5 kV 以上的接地开关可以采用 DL/T 402—2016 中 6.2.12。适

用时，应使用绝缘用气体的最低功能压力。对于终身密封的接地开关，作为状态检查的电压试验是强制性的。

6.101.10 无效试验

若出现无效试验，则可能有必要进行比本文件要求更多次数的短路关合试验。无效试验是指本文件要求的一个或多个试验参数未满足，例如电流、电压和时间因素和相位要求（如有规定）及合成试验时的附加参数。

与本文件的任何偏离可导致试验欠严酷或更严酷。表 16 中考虑了无效试验四种不同情况。

如果试验条件欠严酷，试验方式中的无效部分可在接地开关不经检修的情况下重复进行。在这些情况下，试验报告应包括涉及的无效试验。但是，如果接地开关在该附加的试验中失败，或根据制造厂的决定，接地开关可以检修并重复进行整个试验方式。由于技术原因，如果某一次操作不能出示任何记录，只要以其他的方式能够提供证据说明接地开关没有失败且要求的试验值已满足，则本次操作不应被认为无效。

如果进行三相直接试验，即使在重复整个试验方式期间还不能满足 6.101.5 中项 a) 和/或项 b) 中的要求，但是如果满足了 6.101.8 和 6.101.9 中规定的要求，那么认为接地开关通过了试验。

表 16 无 效 试 验

与标准相关的试验条件	接地开关通过试验	接地开关试验失败
更严酷	试验有效，结果可接受	用正确参数重复该试验。 不需要修改接地开关的设计
欠严酷	应用正确的参数重复进行试验。 不需要修改接地开关的设计	要求修改接地开关的设计，以提高其关合能力。 在修改过的接地开关上重新进行全部试验
注：认为“更严酷”是采用超过公差的电压和/或电流进行试验，以及使用替代的试验方法时具有更长预击穿时间的试验。		

6.101.11 型式试验报告

所有型式试验结果都应记录在型式试验报告中，型式试验报告应包含足够的证据证明接地开关符合额定短路关合电流性能要求。还应包括能够用来确认被试接地开关的主要部件的足够信息，见 DL/T 593—2016 的 6.1.3。

试验报告应包括关于试验布置、试验回路和试验程序的信息。

应包括涉及接地开关支撑结构的信息。如果适用，应记录试验时使用的操动机构的相关信息。

应提供典型示波图或类似的记录，以便能够确定下列参数：

- 用峰值表示的关合电流和 0.2 s 时的有效值；
- 外施电压；
- 关合瞬间电压的瞬时值；
- 预击穿时间。

6.102 机械操作和机械寿命试验

6.102.1 一般试验条件

试验可在试验场所的周围空气温度下进行。应记录试验期间的周围空气温度，最高值和最低值应包括在试验报告中。

电源电压应在操动机构流过全电流的情况下，在操动机构的端子上测量。应包括操动机构组成部分的辅助设备。

对于使用一个共用机构操作的三极隔离开关和接地开关，如果要求，端子负荷应同时施加在所有端子上。

6.102.2 接触区试验

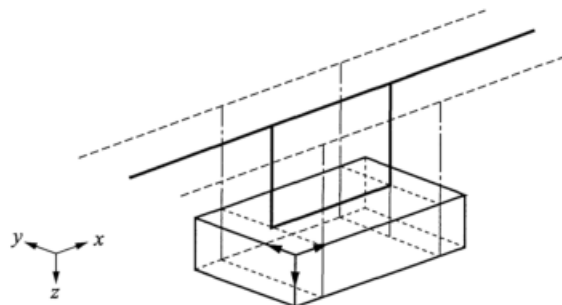
本试验是为了验证静触头在 4.103 以及图 6 和/或图 7 中规定的额定接触区限值范围内的各种位置时，单柱式隔离开关或接地开关能够满意地操作。

处于分闸位置的开关设备，静触头应放置在下列位置：

- a) 在总装的垂直轴上的高度 h 处；
- b) 在同一垂直轴上的高度 $h-z_r$ 处；
- c) 在高度等于 h 处，并从该垂直轴水平移动 $+y_r/2$ ；
- d) 在高度等于 h 处，并从该垂直轴水平移动 $-y_r/2$ ；
- e) 在距离等于 $+x_r/2$ 的上述位置 a) ~d) 处；
- f) 在距离等于 $-x_r/2$ 的上述位置 a) ~d) 处。

其中：

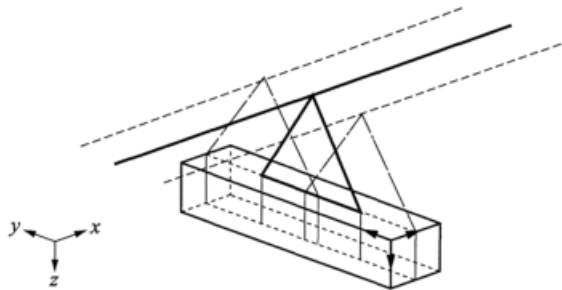
- h 是静触头高出安装平面的最高位置（由制造厂规定）；
 - x_r 是静触头在 X 方向移动的总幅度；
 - y_r 是静触头在 Y 方向移动的总幅度；
 - 下标 r 表示由制造厂规定的隔离开关或接地开关接触区的额定值。
- 在每个位置，开关设备应能正确地合闸和分闸。



图中：

- x ——支承导线的纵向（温度的影响）；
- y ——支承导线的横向（风的影响）；
- z ——垂直偏移（温度和冰的影响）。

图 6 静触头方向与支承导线平行



图中：

- x ——支承导线的纵向（温度的影响）；
- y ——支承导线的横向（风的影响）；
- z ——垂直偏移（温度和冰的影响）。

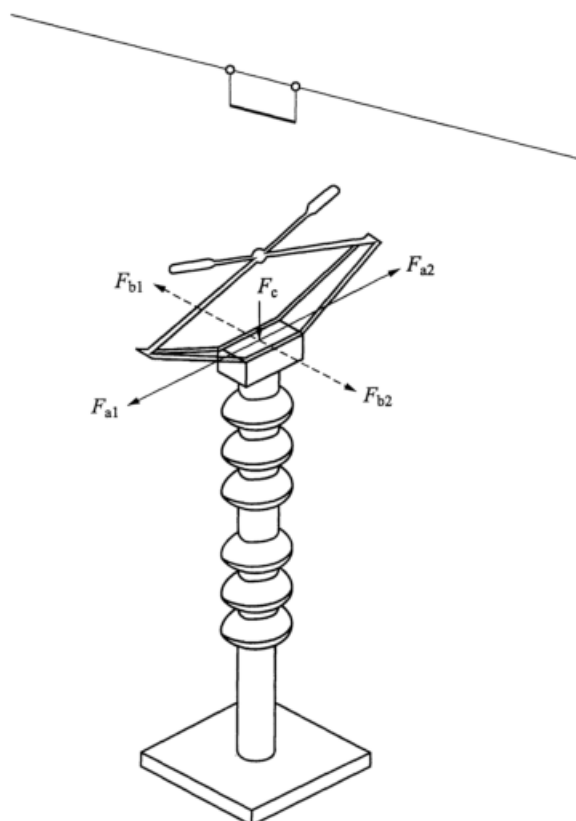
图 7 静触头方向与支承导线垂直

6.102.3 机械寿命试验

6.102.3.1 试验程序

应对 M0 级隔离开关和接地开关进行 6.102.3.1 和 6.102.3.2 中规定的试验。

机械寿命试验应由 1000 次操作循环组成。对具有额定端子机械负荷的隔离开关或接地开关，应在图 8 和图 9 所示的 F_{a1} 或 F_{a2} 的方向上施加 50% 额定端子静态机械负荷，并且主回路中没有电压和电流。对有两个或三个绝缘子柱并且通常是水平隔离断口的隔离开关，50% 额定端子静态机械负荷应施加在隔离开关的两侧，而且方向相反。对单柱式（操作用绝缘子柱不计入）隔离开关和接地开关，端子负荷只施加在隔离开关或接地开关的一侧。在施加 50% 额定端子静态负荷后并且在进行试验前，可以调整隔离开关或接地开关。



注：伸缩架的上方是静触头。

图 8 （单柱）伸缩（折架）式隔离开关（或接地开关）施加额定端子静态机械负荷的例子

在每次操作循环中，均应到达合闸位置和分闸位置。

试验时，控制和辅助触头以及位置指示装置（如果有）的动作应满足本文件 5.104 和 DL/T 593—2016 中 5.4 的要求。如果在一次合一分操作循环中任一控制和辅助触头及位置指示装置（如果有）不动作，则认为试验失败。

试验应在装有自身的操动机构的隔离开关和接地开关上进行。试验过程中，允许按制造厂说明书的要求进行润滑，但不允许进行机械调整或其他维护。

对于配有动力操动机构的隔离开关或接地开关：

- 在额定电源电压和/或压缩气源的额定压力下 900 次合一分操作循环；
- 在规定的最低电源电压和/或压缩气源的最低压力下 50 次合一分操作循环；
- 在规定的最高电源电压和/或压缩气源的最高压力下 50 次合一分操作循环。

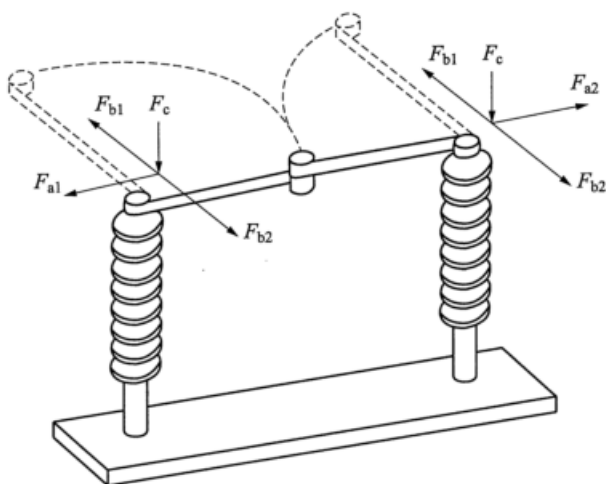


图9 双柱式隔离开关施加额定端子静态机械负荷的例子

没有规定操作循环之间或合闸和分闸之间的时间间隔，但是，这些操作应以通电的电气控制元件的温度不超其规定值的时间间隔进行。出于同样目的，试验期间可以采用外部冷却。

对配用人力操作的隔离开关和接地开关，为方便试验，操作手柄可以用外部的动力操作装置代替，在此情况下，不必改变电源电压。按 5.105 的要求，作为对直接测量的替代方法，操作力可以根据输入功率并计及动作速度来计算。

6.102.3.2 成功操作的验证

为了评估动作特性，进行机械寿命试验程序前后，应在不施加端子静态机械负荷的条件下进行下列操作：

- 在额定电源电压和/或压力（适用时）下进行 5 次合一分操作循环；
- 在最低电源电压和/或压力（适用时）下进行 5 次合一分操作循环；
- 在最高电源电压和/或压力（适用时）下进行 5 次合一分操作循环；
- 如果隔离开关或接地开关能够进行人力操作，用人力进行 5 次合一分操作循环。

在这些操作循环期间，应记录隔离开关或接地开关的动作特性，例如，适用时，动作时间、能耗、人力操作的最大操作力。应验证控制和辅助触头以及位置指示装置（如果有）能满意动作。型式试验报告中不需要包括记录的所有示波图。

机械寿命试验前后，测得的每个参数的变化应在制造厂规定的公差范围内。

试验后，通过外观检查，所有部件（包括触头）都应处于良好状态，并且没有过度的磨损，亦可见 DL/T 593—2016 的 4.5.3 的说明 6。机械寿命试验前后应尽可能靠近触头测量隔离开关的主回路电阻，电阻的变化不应超过试验前测量值的 20%。如果超过 20% 的限值，应进行温升试验（见 6.5），通过监测尽可能靠近触头位置的温度来验证隔离开关触头的温升不超过 DL/T 593—2016 表 3 给出的温升限值。

对于触头可见的接地开关，应通过外观检查来验证机械寿命试验后的操作期间完全到达合闸和分闸位置。

对于触头不可见的接地开关，应通过记录行程或采用其他合适的方法验证机械寿命试验后的操作期间完全到达合闸和分闸位置。

对于气体绝缘的隔离开关和接地开关，在机械寿命试验前、后应按照 6.8 进行密封试验。

对于气体绝缘金属封闭开关设备内并安装有电阻的隔离开关，在机械寿命试验后，整个电阻的电阻值的最大变化不应超过试验前测得值的 5%。

6.102.4 施加额定端子静态机械负荷时的操作

应在每一端子上按照制造厂规定的方向施加额定端子静态机械负荷的情况下，以额定动力源进行 20 次操作循环。当制造厂规定了更多的负荷布置时，应对每一种布置重复进行 20 次操作循环。对于每一端子负荷的三个分量，可以采用在三个向量合成方向上的牵引导体并施加三个向量的合成力。

注：施加在端子上的合成力的任一可能组合相当于一种负荷布置。

（单柱）伸缩（折架）式隔离开关（或接地开关）施加额定端子静态机械负荷的例子、双柱式隔离开关施加额定端子静态机械负荷的例子分别见图 8 和图 9。

对双柱式隔离开关，可能的布置示例如下：

——水平纵向负荷：在一个端子上按 F_{a1} 方向施加，在对面的端子上按 F_{a2} 方向施加。

——水平横向负荷：按 F_{b1} 或 F_{b2} 方向施加在两个端子上，且方向相同。

——垂直负荷：按 F_c 方向施加在两个端子上（规定与软导线连接的隔离开关除外）。

对仅由人力操作的隔离开关和接地开关，操作循环次数可减少到 10 次。

负荷应同时施加在两个端子上。

在试验前且施加了 50% 额定纵向或横向端子机械力后，隔离开关或接地开关可以调整。

在每次操作期间，隔离开关或接地开关应正确地合闸和分闸。

为了进行验证，在整个操作循环序列的前后，6.102.3.2 适用（即未施加端子静态机械负荷时）。

6.102.5 延长的机械寿命试验

M1 级和 M2 级隔离开关和接地开关应进行本条款规定的试验。

对于涵盖在 DL/T 617 范围内的封闭开关设备充气隔室中的隔离开关和接地开关，试验期间外壳不应打开。

试验应按如下规定进行：

a) 延长的机械寿命试验程序由按照 6.102.1 和 6.102.3.1 进行的合一分操作次数组成。

根据规定的等级，应进行下列次数的操作循环：

3000 或 5000（M1 级）；或 10 000（M2 级）。

在第一个 1000 次操作循环系列之后，允许按制造厂的说明书进行某些维护，例如润滑和机械调整，并将参考文件记录在试验报告中。主回路和传动链中的部件不允许更换。

在接下来的每一个 1000 次操作循环系列之后，应在额定操作电压或压力下（如果是动力操作）记录并评估动作特性。

制造厂应在试验前规定维护程序，并应记录在试验报告中。

b) 在整个试验程序的前、后，应按 6.102.3.2 中的要求进行成功操作验证。

c) 此外，在整个试验程序结束之后，应进行下列检查和试验：

——如果适用，接触区试验（6.102.2）；

——如果适用，施加额定端子静态机械负荷时操作的验证（6.102.4）；

——在制造厂规定的操作信号的最短持续时间下满意动作的验证；

——机械行程限位装置的良好状况的验证；

——机械应力限制装置（如果有）动作的验证。

6.102.6 机械联锁装置的试验

为了验证符合 5.11 的要求，对隔离开关和/或接地开关的任一联锁位置，所有联锁装置都应进行 5 次合闸和/或分闸试操作。

每一次试操作前，联锁装置应整定在试图阻止开关装置操作的位置上，然后进行一次试操作来操

作被连锁的开关设备。应使用 5.11 中规定的操作力，并且不应调整开关设备和连锁装置。

如果被连锁的开关设备和连锁装置处于正常的工作次序，并且在试验前后操作开关设备需要的力基本相同，那么认为试验是满意的。

如果试验后测得的操作力的平均值在试验前测得的最小值和最大值的范围内，认为操作力是相同的。为了试验后合闸或分闸操作的验收，为此，在试验前至少应进行 3 次合闸/分闸操作来确认操作力的最小值和最大值。

6.102.7 隔离开关和接地开关支持绝缘子整体抗弯强度试验

试验应在完全装配好的、并与运行状态相同的隔离开关或接地开关的一个或一组绝缘子柱上进行，隔离开关或接地开关处于分闸位置，在其端子上施加 2.75 倍额定端子静态机械负荷，保持 5 min，支持绝缘子不应发生损伤或断裂。

6.103 严重冰冻条件下的操作

6.103.1 概述

只有在制造厂声称隔离开关和接地开关适合于在严重结冰的条件下（即 10 mm 及以上覆冰）操作时才进行本条款规定的试验。

装有适应母线转换电流开合能力（仅对隔离开关）和感应电流开合能力（仅对接地开关）的辅助装置的隔离开关和接地开关，应安装上这些装置进行试验。

注：冰层的形成可能使电力系统的运行发生困难。在某种大气条件下，冰的沉积有时能达到使户外开关设备难以操作的厚度。

6.103.2 试验布置

- a) 被试隔离开关或接地开关的所有部件及其操动机构均应一起安装在能将温度降至符合 6.103.3 中要求的场所。试验期间，允许给控制机构的加热元件通电。为了适应现有的试验设施，只要受影响的部件的旋转角度和驱动连杆的弯曲度保持不变，可以缩短支持绝缘子和操作绝缘子及其他操作部件的长度来降低总装配的高度。在选择所要求的制冷能力时，应考虑用来喷淋被试设备的水的热容量。
- b) 如果每极都有独立的操动机构，可以对三极开关设备的单极进行试验。对于三极共用一台操动机构的额定电压 40.5 kV 及以下的三极开关设备，应对完整的三极开关设备进行试验。对于额定电压 40.5 kV 以上的设备，如果试验室不能容纳完整的标准三极开关设备，为了能够进行三极试验，允许改变安装结构、支柱绝缘子或间距。如果不可能在这种结构上进行试验，允许使用共用操动机构来操作单极设备进行试验。对于后一种情况，为了评估涉及操动机构操动三极设备的能力方面的结果，应记录试验程序的细节和测得的转矩。对于所有情况，都不允许改变隔离开关原有的隔离断口开距或者接地开关的对地间隙。
- c) 隔离开关和接地开关应分别从分闸位置和合闸位置开始操作进行试验。
- d) 试验前，应用适当的溶剂除去运行中不用润滑的部件上的油或润滑脂的痕迹，因为油或润滑脂的薄膜会阻碍冰的黏附并明显改变试验结果。
- e) 为了测量冰层厚度，应在能接收到和被试开关设备大致相同降雨量的地方，水平地放置一根长为 1 m、直径为 30 mm 的铜棒或铜管。试验布置应使整个开关设备能用人工降雨从上面由垂线到 45°的各种角度进行喷淋。喷淋所用的水应冷却到 0℃~3℃，并且降落到试品上时应为液态。

6.103.3 试验程序

6.103.3.1 冰层形成前的检查

试验前，应对受试隔离开关/接地开关进行：

- 在额定电源电压和/或压力（如果有）下进行 5 次合—分操作循环；
- 如果开关装置仅能手动操作，人力进行 5 次合—分操作；
- 按照 6.4 测量主回路电阻。

操作循环期间，应记录动作特性，如果适用，例如动作时间、能耗、人力操作的最大操作力。应验证控制和辅助触头、位置指示装置（如果有）的满意动作。型式试验报告中不必包括记录的所有示波图。

6.103.3.2 冰层的形成

自然形成的覆冰一般可分为两类：

- 透明的冰。通常是由于降雨通过温度稍低于水的冰点的空气而生成。
- 冰霜。由大气中的潮气在冷的表面上凝结形成，具有白色的外观。

对于型式试验，应按照下述程序产生具有要求厚度的固态透明的冰层：

- a) 受试隔离开关或接地开关分别处于分闸或合闸位置，将室温空气温度降低到 2℃，并开始喷淋预先冷却过的水，连续喷淋至少 1 h，在此期间保持室温在 0.5℃~3℃。
- b) 连续喷水期间，将室温降低到 -7℃~-3℃。温度变化的速度没有严格要求，因此可用任一种现有制冷设备来实现。
- c) 保持室温在 -7℃~-3℃，并继续喷水，直到在试棒的上表面能测得规定的冰层厚度为止。应控制水量，使得冰层厚度以大约 6 mm/h 的速率增加。

注 1：如果试棒和被试设备上每单位表面积的热容量明显不同，相同的喷淋条件可能产生非常不同的覆冰。可以通过短的喷淋时间代替长时间冷却来缩小冰层厚度的不同。

注 2：为了使结冰的沉积速度大约 6 mm/h，要求在每平方米面积上每小时喷水 20 L~80 L。

- d) 中止喷水，并保持室温在 -7℃~-3℃至少 4^h₀。这样可保证隔离开关或接地开关的所有部件和覆冰都达到一个恒定的温度。

6.103.3.3 结冰后操作的检查

冰层形成后，应检查隔离开关或接地开关是否能满意地操作：

- 对人力操作的隔离开关或接地开关，如果施加正常的操作力能操作开关设备到其最终的合闸位置或分闸位置（允许去除手柄插入位置的覆冰），则认为操作是满意的；
- 对电动、气动或液压操作的隔离开关或接地开关，如果给其操动机构施加额定电压或压力时，在第一次操作时就能达到其最终的合闸位置或分闸位置，则认为操作是满意的。

合闸操作后立刻检查触头间的电气连续性。

随着室温恢复到正常环境温度（10℃以上），当隔离开关或接地开关解冻时，应进行 6.103.3.1 中要求的检查。如果开关设备的机械性能和电气性能未受影响，认为它们通过了试验。如果符合下述要求，就认为满足了这些条件：

- 与覆冰形成前测得的电阻相比，电阻的增加没有超过 20%；
- 与冰层形成前相比，测得的每一个参数的平均值的变化在制造厂规定的公差范围内。

应对隔离开关和/或接地开关的每一个位置（即合闸/分闸位置）执行全部的覆冰程序和随后的检查。试验之间，覆冰应自然融化，例如开关设备在合适的室内温度下保持足够的时间。

隔离开关端子之间测量。

如 6.106.2.1 所述，通常仅要求进行单相试验。如果要求进行三相试验，则每一相的试验电压与平均试验电压相差不应大于 10%。

在开断后，工频恢复电压至少应保持 0.3 s。

6.106.2.5 试验电流

试验电流 I_{BT} 应等于 4.108.1 中规定的额定母线转换电流 ($+10\%$)。

被开断的电流应是对称电流。隔离开关的触头应在因闭合回路产生的瞬态电流消失后才能分开。

如果进行三相试验，试验电流应是所有三相电流的平均值。每一相的试验电流与试验电流平均值相差不大于 10%。

6.106.2.6 试验回路

母线转换电流开合试验的试验回路示例见图 11，其功率因数应不超过 0.15。图 11 中给出了两种试验回路的示例。

如果要求进行三相试验，电源回路的中性点和负载回路中性点都应接地。

当使用图 11 中给出的回路时，试验期间没有验证相对地绝缘。如果必须验证绝缘性能，需要采用能够提供额定相对地电压的其他试验回路。

注 1：对于气体绝缘的隔离开关，开合时对地绝缘通常不是问题。有怀疑时，可以用隔离开关的额定极对地电压施加到外壳上进行试验。可以使用单独的电压源。

注 2：与试验电压相比，被试隔离开关的电弧电压通常相对较高，这将引起 TRV 显著衰减和电流的相位偏移，使得试验电流在相位上与试验电压几乎相同。因此，TRV 参数（上升率和峰值）不明显，不要求详细规定。

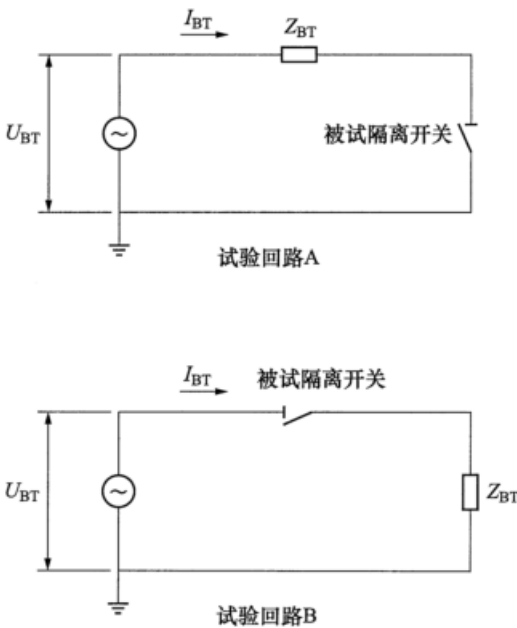


图 11 母线转换电流开合试验的试验回路示例

6.106.2.7 试验方式

应进行 100 次关合一开断操作循环。

注：认为 100 次操作循环不足以验证电寿命，但可以提供触头磨损的迹象。

分闸操作应继合闸操作之后并经过一段延时进行，且两次操作之间的延时至少应足以使瞬态电流消失。另外，如果制造厂有规定，两次操作之间的时间间隔应足以使隔离开关冷却下来。

在整个试验方式期间，隔离开关不应进行检修和调整。

6.106.2.8 试验过程中隔离开关的表现

隔离开关应成功地完成试验，且没有过度的机械或电气损伤。

在操作过程中，如果不会削弱隔离开关的绝缘水平，则允许在操作过程中从隔离开关向外喷射火焰或金属粒子。火焰或金属微粒不应喷射到制造厂规定的界限之外。

6.106.2.9 试验后隔离开关的状况

隔离开关的机械动作特性应在制造厂规定的公差范围内，并且隔离开关的绝缘应与试验前的状况基本相同。

机械磨损和燃弧产生的烧蚀及灭弧介质分解在绝缘子上产生的沉积物会削弱隔离开关的开合性能。但是，隔离开关的载流能力和绝缘性能不应降低。灭弧材料（如果有）的性能可能受损，并且其数量可能降低到正常水平以下。

在分闸位置，隔离开关的隔离性能不应由于绝缘件的劣化而降低到相应于正常磨损和老化的水平以下。

为了验证隔离开关的隔离性能和载流能力，试验后对隔离开关进行目视检查和空载操作通常是足够的。有怀疑时，有必要进行下述试验：

- 若对隔离开关的隔离性能有怀疑，则应按 6.2.12 进行状态检查试验来验证绝缘性能。对于额定电压 72.5 kV 以上的隔离开关，可以采用 DL/T 402—2016 中 6.2.12 的替代试验方法。适用时，应采用绝缘用气体的最低功能压力。对于终身密封的隔离开关，状态检查电压试验是强制性的。
- 若对隔离开关载流能力有怀疑，则可以尽可能靠近触头测量主回路电阻。试验后主回路电阻的增加不应超过 20%；如果超过了 20%，应进行温升试验（6.5），通过监测尽可能靠近主触头位置处的温度，来验证触头的温升不超过 DL/T 593—2016 中表 3 给出的限值。

对于在气体绝缘金属封闭开关设备内配有电阻的隔离开关，试验后整个电阻的电阻值最大变化不应超过试验前所测值的 5%。试验后应对电阻进行外观检查，电阻上没有观察到闪络的痕迹或任何机械损伤。为了进行外观检查，可能有必要拆解隔离开关。

6.106.2.10 型式试验报告

除了 DL/T 593—2016 中 6.1.2 和 6.1.3 的要求外，型式试验报告还应包含下述信息：

- a) 试验的典型示波图或类似的记录（至少每 10 次操作提供一个示波图）。
- b) 试验回路。
- c) 试验电流。
- d) 试验电压。
- e) 工频恢复电压。
- f) 预期瞬态恢复电压。
- g) 燃弧时间。
- h) 关合和开断操作的次数。
- i) 记录试验后触头的状况（见 6.106.2.9）。

应包括有关隔离开关支承结构的一般资料。应记录试验期间隔离开关的动作时间和使用的操动机构的类型。

6.107 接地开关感应电流开合试验

6.107.1 概述

具有额定感应电流开合能力的接地开关的型式试验应包括：

- 验证电磁感应电流关合和开断能力的试验；
- 验证静电感应电流关合和开断能力的试验。

6.107.2 被试接地开关的布置

被试接地开关应完整地安装在其自身的支架上或一等效的支架上。其操动机构应以规定的方式操作，如果是动力（电动或气动）操作的，应分别在最低电源电压或操作用最低功能压力下操作。

开始进行关合和开断试验前，应进行空载操作，并记录接地开关动作特性的细节，例如运动速度、分闸时间和合闸时间（见 6.102.3.2）。

对于气体绝缘的接地开关，试验应在开合用最低气体功能压力（密度）下进行。

配有人力操动机构的接地开关可以采用动力操作方式进行遥控操作，动力操作的速度应与人力操作获得的速度等效。

若在下述方面的条件不比整台三极接地开关试验时更有利，则仅需在三极接地开关的一极上进行单相试验：

- 合闸速度；
- 分闸速度；
- 相邻极的影响或与带电相的邻近程度。

若能够证明燃弧时间不可能受相邻带电相的影响和电弧不可能延伸到相邻带电相，则单相试验足以验证接地开关的关合和开断性能。如果单相试验表明电弧可以延伸到相邻带电相，则应当使用特定的接地开关布置进行三相试验。

6.107.3 试验回路和接地开关的接地

试验回路应通过接地开关正常接地的端子接地。

6.107.4 试验频率

接地开关应在额定频率下进行试验。然而，额定频率为 50 Hz 或 60 Hz 的接地开关可以在这两种频率的一个频率下进行试验，对于试验而言，认为两种频率是等价的。根据表 C.1，试验频率的公差应在±10%范围内。

6.107.5 试验电压

应合理选择试验电压，以便在关合前和开断后产生表 9 中规定的电压，对于电磁感应电流的开合，试验电压应在电流开断后立即进行测量。对于静电感应电流的开合，试验电压应在接地开关关合前瞬间进行测量。试验电压应在试验期间在接地开关端子之间测量。

如 6.107.2 所述，通常仅要求进行单相试验。若要求进行三相试验，则每一相的试验电压与平均试验电压相差不应大于 10%。

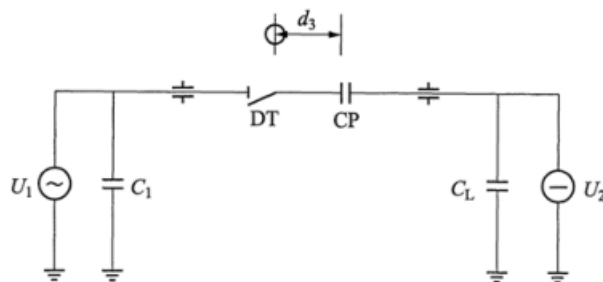
在开断后，工频恢复电压至少应保持 0.3 s。

6.107.6 试验电流

试验电流应等于额定感应电流（ $+10\%$ ）。被开断的电流应是对称电流。接地开关的触头应在闭合

但是，为了把它们对试验回路电容的影响降至最低，其他连接应尽可能短。

集中电容 C_L （见图 16）的值不应小于 400 pF，比值 C_1/C_L 应在 4~6。



图中：

DT —— 被试隔离开关；

CP —— 断路器并联电容器或等效电容器。

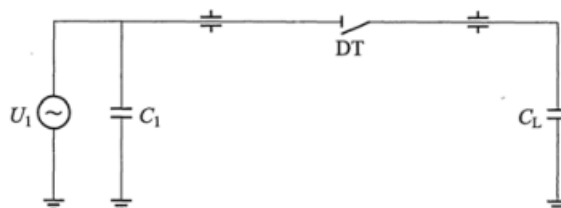
图 16 失步开合的试验回路

6.108.6.3 试验方式 3——电流开合能力试验

电流开合能力试验的试验回路见图 17。对于这种开合情况，母线段的具体长度不重要。应在负载侧增加一个集中电容 C_L ，以便获得表 11 中规定的母线充电电流，偏差为 $\pm 10\%$ 。

为了降低由较高的电源阻抗引起的谐振效应，允许在电源侧连接任一值的集中电容 C_1 。

影响瞬态恢复条件的其他试验条件应遵从制造厂和用户的协议。



图中：DT——被试隔离开关。

图 17 电流开合能力试验的试验回路

6.108.7 关合和开断试验的实施

在每个试验方式期间，各试验系列应在不对隔离开关进行调整的情况下进行。表 20 给出了试验的次数。

表 20 试 验 次 数

试验方式	关合和开断操作的次数	
	标准隔离开关	快速隔离开关 ^a
1	50 ^b	200 ^{a, c}
2	50	200
3	50	50

^a 隔离开关触头分离瞬间的触头运动速度应在 1 m/s 或更高范围内的隔离开关。
^b 如果不能确定隔离开关最不利的布置（参见 6.108.3），试验方式 1 应在另一端子上重复进行。
^c 如果试验电压提高（为了覆盖统计结果）到下列数值，则试验次数可以减少到 50 次：
 ——电源侧： $U_T \times 1.2 / \sqrt{3}$ 。
 ——负载侧（直流电压预充电）： $-U_T \times 1.2 \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$ 。

接地开关承受较高应力的情况。

注：对于短时电流，当 $I^2 \cdot t$ 为常数时，可以认为热应力是恒定的。

8.2.109 额定峰值耐受电流和接地开关的额定短路关合电流的选择

选取的隔离开关或接地开关的额定峰值耐受电流不应小于实际系统中可能出现的故障电流的最大峰值（按系统时间常数的实际值来考虑）。

应遵照 DL/T 593—2016 中 4.7 的规定。

以上所述也适用于接地开关额定短路关合电流的选择（如果适用）。

8.2.110 接地开关短路关合能力的选择

应按照 4.102 中规定的分级来选择接地开关。选择 E1 级或 E2 级取决于电网的操作程序。对于 72.5 kV 及以上的空气绝缘接地开关，通常不要求这种能力。

8.3 因运行条件变化引起的连续过载或暂时过载

按照 DL/T 593—2016 中 8.3 的规定。

8.101 环境方面

8.101.1 当地的环境

隔离开关和接地开关的正常和特殊使用条件按 DL/T 593—2016 第 2 章的规定。

对于隔离开关和接地开关，在某些地区，由于存在烟尘、化学气体、盐雾等，户内和户外的污秽条件都是不利的。如果已知存在这些不利条件，应对隔离开关或接地开关的设计和采用的材料给予特殊考虑。在这些条件下，考虑并联绝缘子的性能时应特别谨慎，有必要对隔离开关或接地开关进行污秽试验。

对暴露在大气中的绝缘子，要求的爬电距离应按照 DL/T 593—2016 中 5.14 的规定选取。在污秽大气条件下的绝缘子的性能还取决于人工清洗和自然清洗的频繁程度或采取的其他控制污秽的措施。

注：如果已通过试验证明瓷绝缘子的设计满足用户的要求，可以采用小于由额定相电压和最小统一爬电比距的乘积所确定的标称爬电距离。

对于敞开式端子的户内开关设备，在盐分沉积严重的沿海地区，当额定电压在 40.5 kV 以上时，推荐使用具有户外绝缘的开关设备，因为它通常比特殊的户内绝缘更易于获得，也可以使用 GIS。

若隔离开关或接地开关安装处的风压超过 700 Pa 时，则应在询问单中指明。

如果隔离开关或接地开关安装在预期覆冰厚度超过 1 mm 的环境下，应在询问单中指明，并考虑 6.103 的要求。

8.101.2 地震条件

按照 DL/T 593—2016 中 2.3.5 的规定。

8.101.3 使用在高海拔地区

按照 DL/T 593—2016 中 2.3.2 的规定。

9 随询问单、标书和订单提供的资料

9.1 概述

按照 DL/T 593—2016 第 9 章的规定，并做如下补充或更改：

安装在气体绝缘和/或金属封闭开关设备内的隔离开关和接地开关，DL/T 617 或 DL/T 404 的第 9 章适用。

9.2 随询问单和订单提供的资料

DL/T 593—2016 的 9.2 用下述描述代替：

当查询或订购隔离开关或接地开关时，适用时，查询者应提供下列详细资料：

- a) 系统的详细资料，即标称电压和最高工作电压、频率、相数及中性点接地的细节。
- b) 运行条件，包括不同于正常值的最低和最高周围空气温度（见 8.101）；超过 1000 m 时的海拔及可能存在或出现的任何特殊条件，例如，异常的暴露在蒸汽、潮气、烟雾、爆炸性气体、过多的灰尘或含盐的空气中（见 8.101）。
- c) 如果适用，对隔离开关或接地开关的特性应提供下列资料：
 - 1) 安装场所。户内或户外。
 - 2) 极数。
 - 3) 额定电压。
 - 4) 额定绝缘水平，在给定的额定电压对应的不同的绝缘水平中选取；或者，如果要求的绝缘水平是非标准的（按照 DL/T 593—2016 中表 1、表 2）。
 - 5) 额定频率。
 - 6) 额定电流（仅对隔离开关）。
 - 7) 额定短时耐受电流（ I_k ）。
 - 8) 短路持续时间的规定值（如果不同于 1 s）。
 - 9) 额定峰值耐受电流（如果不同于 $2.5I_k$ ）。
 - 10) 额定短路关合电流，如果有（仅对接地开关）（见 4.101）。
 - 11) 额定端子静态机械负荷和动态机械负荷（见 4.104）。
 - 12) 与隔离开关或接地开关连接用的导线，或悬挂分离触头用的导线，是硬导线还是软导线（见 4.104）。
 - 13) 安装条件和高压连接件，如隔离开关和接地开关静触头的悬挂布置；是否由设备提供支承结构。
 - 14) 对隔离开关和接地开关用绝缘子的要求：
 - 从 GB/T 26218.1 中选取的污秽等级；
 - 从 GB/T 26218.1 中选取的伞裙外形（如果适用）；
 - 额定端子静态和动态机械负荷。
 - 15) 对接触区的要求，如果适用。
 - 16) 严重冰冻条件下的操作，如果适用。
 - 17) 额定母线转换电流开合能力（仅对隔离开关），如果适用。
 - 18) 额定感应电流开合能力（仅对接地开关），如果适用。
 - 19) 母线充电电流开合能力（仅对 72.5 kV 及以上 GIS 中的隔离开关）。
 - 20) 额定小感性电流开合能力，如果适用。
 - 21) 额定机械寿命等级。M1 级或 M2 级。
 - 22) 额定短路关合能力等级。E1 级或 E2 级（仅对接地开关）。
 - 23) 外壳或隔板的防护等级（如果有）。
 - 24) 线路图。
- d) 操动机构和相关设备的特性，特别是：
 - 1) 操作方式。人力的或动力的。

11.4 电气方面

按照 DL/T 593—2016 中 11.4 的规定。

11.5 机械方面

按照 DL/T 593—2016 中 11.5 的规定。

11.6 热方面

按照 DL/T 593—2016 中 11.6 的规定。

11.7 操作方面

按照 DL/T 593—2016 中 11.7 的规定，5.104 作为补充。

12 产品对环境的影响

按照 DL/T 593—2016 中第 12 章的规定。

附录 B

(资料性)

隔离开关和接地开关要求的电流开合能力

B.1 隔离开关母线转换电流开合能力

对用于把负荷电流从一条母线系统转换到另一条母线系统的隔离开关，要求具有关合和开断母线转换电流的能力。

母线转换电流和母线转换电压取决于负荷电流的大小及耦合母线位置和被操作的隔离开关所处位置之间的环路的尺寸。

表 7 中给出的额定母线转换电压值是根据相应于隔离开关额定电流的母线转换电流计算得出的，并考虑了表 B.1 给出的平均阻抗和下述典型的环路长度：

- 气体绝缘设施的环路长度：65 m ($52\text{ kV} < U_r < 245\text{ kV}$) 和 130 m ($U_r \geq 245\text{ kV}$)。
- 空气绝缘设施的环路长度：200 m ($52\text{ kV} < U_r < 245\text{ kV}$) 和 400 m ($U_r \geq 245\text{ kV}$)。

表 B.1 平均阻抗

额定电压 kV	平均阻抗 $\mu\Omega/\text{m}$	
	气体绝缘设施	空气绝缘设施
72.5	63	314
100		
123		
145		
170		
245/300		
420	67	346
550	67	361
800	76	355
1100	80	388

B.2 隔离开关母线充电电流开合能力

本部分适用于额定电压 72.5 kV 及以上气体绝缘金属封闭隔离开关。

在气体绝缘金属封闭开关设备中用隔离开关进行容性开合时，出现非常快速瞬态过电压（VFTO）现象。容性开合包括，例如接通或断开母线管的空载段或断路器的并联电容器。由于 VFTO 可能引起对地破坏性放电，为了避免对地起破坏性放电，要求隔离开关正确设计。该要求通常适用于 $U_r \geq 363\text{ kV}$ 的隔离开关。

对于 $U_r < 363\text{ kV}$ ，VFTO 不会高于规定的雷电冲击耐受水平（LIWV），这是因为雷电冲击耐受水平与额定电压的比值足够高。建议同一回路中的几个隔离开关不应同时开合，所以本文件中不予考虑。

由于用隔离开关断开长母线或其他带电部分（例如短电缆）属于特殊工况，要求隔离开关具有电流开合能力。该要求不仅适用于 $U_r \geq 363\text{ kV}$ 的隔离开关，也适用于 $U_r < 363\text{ kV}$ 的隔离开关。

对于 $U_r \geq 800\text{ kV}$ ，在某些情况下，GIS 系统中最高的 VFTO 可以达到雷电冲击耐受电压的绝缘水

平。此时，可以在隔离开关上安装电阻来减轻 VFTO。图 B.1 中给出了安装在隔离开关的 3 种不同型式电阻的示例。电阻可以与开合间隙并联或串联，在电弧转移方法中，在分闸操作期间，电弧从主触头转移到电阻触头上，使电流切换到并联电阻上。

电阻的典型电阻值为 $200\ \Omega\sim 1000\ \Omega$ 。过电压阻尼系数取决于电阻的电阻和系统阻抗的比值。



图中：1、2 表示操作先后次序。

图 B.1 安装在隔离开关上的电阻的示例

B.3 接地开关感应电流开合能力

对用于多重结构架空输电线路接地的接地开关，要求具有关合和开断感应电流的能力。该要求适用于 $U_t \geq 72.5\text{ kV}$ 的接地开关。

对于多重结构架空输电线路，由于与相邻带电线路的容性和感性耦合，电流可以在不带电并接地的线路中流过。所以，用于把这些线路接地的接地开关应能够保证下述运行条件：

- 当接地连接在一端开路并且接地开关在另一终端进行接地开合操作时，关合和开断容性电流；
- 当线路在一端接地并且接地开关在另一终端进行接地开合操作时，关合和开断感性电流；
- 连续承载容性和感性电流。

D.2.2.3 第2部分：在降低的电压下的短路电流关合试验

在降低的电压下采用额定短路电流进行关合试验期间，预击穿时间（见 6.101.5 项 a）至少应等于在第 1 部分所述的试验中确定的预击穿时间的平均值加 2σ 。

在降低的电压下试验期间获得的短路电流至少应等于额定短路电流。

为了获得要求的预击穿时间，电流的起始可以用下述方法实现：

——方法 1：降低电压的电流源和任一波形的电压源应足够大，以便在合适的相位上激发预击穿。

——方法 2：对于气体绝缘的接地开关，可以降低气体压力和电流源的外施电压，以便仍能获得要求的预击穿时间。

不仅可以降低气体压力，试品还可以充入替代的介质，例如空气或氮气。

因降低气体压力或用替代的介质代替气体而引起的触头接触时的速度的变化不应超过 10%。

注 1：为了获得正确的预击穿时间，用第 1 部分所述的相同方法，可能对估算降低压力下要求的电压有用。

注 2：在采用降低气体压力或用替代气体情况下，因为其瞬态压力可能低于或高于采用运行气体和额定充入压力时的运行条件下的预期值，因此，防爆盘的性能得不到验证。

——方法 3：用降低电压的电流源和最大直径 0.5 mm 的熔丝来激发预击穿。为了获得具有正确预击穿时间的短路关合电流，在被试极中均需要这种熔丝。

注 3：为了估算熔丝的长度，可能需要额外的试验。

附录 F

(规范性)

额定电压 126 kV 及以上空气绝缘隔离开关的容性电流开合能力

F.1 概述

F.1.1 范围

本附录适用于额定电压 126 kV 及以上空气绝缘隔离开关。本附录规定了容性电流开合方式，给出了试验室验证开合能力的试验导则。本附录涵盖了安装有辅助开断装置的空气绝缘隔离开关。

注：对于人力操作的隔离开关，应考虑操作人员运行中的安全性，并且应该认识到，这里描述的开合试验（对使用电动机操作的隔离开关进行的）的结果不一定能够代表此类隔离开关在实际运行中的性能。如果开合试验表明可能存在延长的电弧持续时间，则需要特别注意。

F.1.2 背景和目的

隔离开关没有开断电流额定值，但是，在分闸操作过程中，借助一个或多个动触头，它们具有一定的电流开合能力。对于空气绝缘隔离开关的容性电流，过去该值定为 0.5 A 或更小，且没有规定试验。气体绝缘隔离开关的容性电流开合能力及试验要求在 6.108 中规定。

用户对空气绝缘隔离开关开合容性电流的要求经常超过上述规定的 0.5 A。所以，本附录的目的是提供开合方式的分析并规定试验程序。

F.2 开合试验

F.2.1 被试隔离开关的布置

被试隔离开关应整体安装在它自身的支架上或等效的支架上。为了安全及获得一致的结果，仅使用电动机操作。电动机应在其最低电源电压下操作。

进行开合试验前，应进行主回路电阻测量和空载操作，并记录隔离开关动作特性的细节，例如触头分离（起弧时刻）、合闸时间和分闸时间。只要被试极在下列方面不比完整的三极隔离开关处于更加有利条件，就仅需对三极隔离开关的一极进行单相试验：

- 合闸时间；
- 分闸时间；
- 相邻相的影响。

注：只要燃弧时间不受相邻相影响和电弧延伸长度不可能危及相邻相，单相试验足以验证隔离开关的开合性能。

如果单相试验时出现电弧过分地延伸，那么应进行三相试验。如果电弧顶端朝向相邻相的延伸长度不小于相间金属间隙的一半，认为电弧过分延伸。

F.2.2 试验回路和隔离开关的接地

隔离开关的框架应接地，并应测量流入地的电流。

F.2.3 试验频率

可以使用 50 Hz 或 60 Hz 对隔离开关进行试验，认为两个频率是等价的。

F.2.4 试验电压

试验电压应是隔离开关额定电压的相对地电压。如果进行三相试验，试验电压应施加在三相上且等于隔离开关的额定电压。

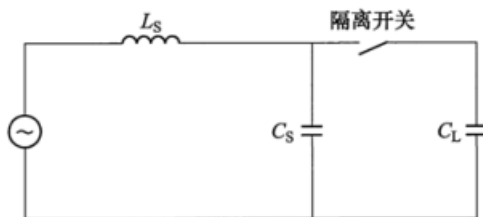
注：由于试验室的限制，允许对双断口隔离开关的一个断口施加一半的试验电压进行试验，假设两个断口的电压均匀分布。

F.2.5 试验电流

试验电流见 4.111，超过 4.111 电流水平的试验电流，应该遵从制造厂和用户之间的协议。

F.2.6 试验回路

容性电流开合试验回路原理图如图 F.1 所示。



图中：

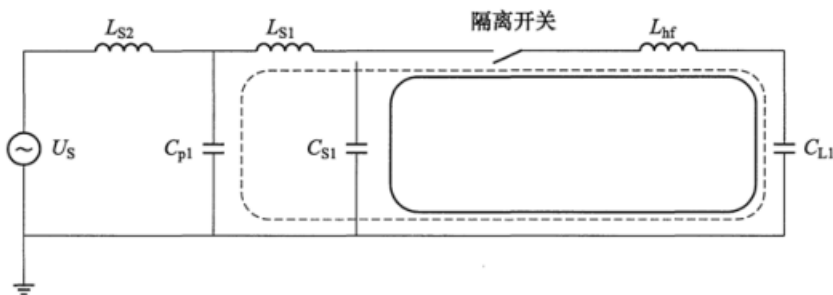
L_s —— 短路电感；
 C_s —— 电源侧电容；
 C_L —— 负载侧电容。

图 F.1 容性电流开合试验回路原理图

L_s 应使被试隔离开关在额定电压下获得额定短时耐受电流，但是，这就需要具有强大电源的试验回路，这在大多数情况下是不实际的。

对每一试验电流，试验应在 $C_s/C_L=0.1$ 下进行。

作为替代，推荐的试验回路见图 F.2。在这个回路中，电源很弱 ($L_{s2} \gg L_{s1}$)，而所有其他元件与图 F.1 给出的原始回路相同： $C_{s1} \approx C_s$ 、 $C_{L1} \approx C_L$ 、 $L_{s1} \approx L_s$ 。电容器 C_{p1} 与具有相当高阻抗的电源部分并联。



图中：

U_s —— 电源侧电压；	C_{s1} —— 电源侧电容；
L_{s2} —— 电源侧电感；	C_{L1} —— 负载侧电容；
C_{p1} —— 电源侧电容；	L_{hf} —— C_s 和 C_L 环路的电感；
L_{s1} —— 短路电感。	

图 F.2 替代的试验回路

试验参量的允许偏差在表 F.1 中给出。

表 F.1 试 验 偏 差

试验参量	公差
试验电压	±5%
试验电流	±10%
C_S/C_L	±20%

F.2.7 试验

F.2.7.1 试验方式和测量

对于每一试验电流，应进行 20 次 CO 操作，合闸前负载电容上不应有残留电荷。认为 20 次这样的操作在统计上是可接受的。恢复电压应在隔离开关到达完全分闸位置后保持 10 s。

试验期间应进行下列测量：

- a) 工频电源电压以及负载侧直流电压和瞬态过电压。
- b) 电流。
- c) 燃弧时间。
- d) 电弧延伸的视频记录（目的是记录沿着隔离开关纵向看进去时电弧在垂直方向和水平方向的极端延伸长度）。

注：如果试验在户外进行，应记录大气条件，包括风向和风速、湿度、空气压力和温度，这些参量不需要修正。

F.2.7.2 试验期间隔离开关的状态

试验期间，隔离开关应满足下列要求：

- a) 隔离开关应在（一个或数个）动触头到达完全分闸位置之前开断电流。
- b) 三相试验时没有出现接地故障或者相间故障。

F.2.7.3 试验后隔离开关的状态

试验后，隔离开关应满足下列要求：

- a) 认为外观检查足以验证机械部件和绝缘子基本上处于与试验前一样的状态。
- b) 主触头的状态，特别是在磨损、接触区、压力和运动自由度方面，应能够承载隔离开关的额定电流。
- c) 试验后主回路电阻应不超过试验前主回路电阻的±10%。
- d) 试验前后的动作时间应基本相同。

F.2.8 试验报告

所有试验结果应记录在试验报告中。应包括足够的信息以便能够确认被试隔离开关的主要部件。

试验报告最少包含下列信息：

- a) 所进行的试验的典型示波图或类似的记录。
- b) 试验回路。
- c) 试验电流。
- d) 试验电压，包括过电压。
- e) 燃弧时间。

- f) 电弧在垂直和水平方向的极限长度。
 - g) CO 操作次数。
 - h) 试验后主触头和弧触头状态的记录。
 - i) 试验顺序前后主回路电阻值。
 - j) 试验前后的动作时间。
 - k) 大气条件。周围温度、空气压力、湿度，以及如果在户外，风速和风向。
- 应包括涉及隔离开关支撑结构的一般信息。记录试验期间所用的操动机构类型。

附录 G

(资料性)

变压器中性点接地用隔离开关的额定绝缘水平

变压器中性点接地用隔离开关的额定绝缘水平见表 G1。

表 G.1 变压器中性点接地用隔离开关的额定绝缘水平

隔离开关的额定电压 U_r kV	变压器中性点 接地方式	雷电冲击全波 (1.2/50 μ s) 耐受电压 kV (峰值)	1min 工频耐受电压 kV (干试/湿试) (有效值)
40.5	—	185	85/80
72.5	—	325	140
126	不固定接地	250	95
252	固定接地	185	85
	不固定接地	400	200
363	固定接地	185	85
	不固定接地	550	230
550	固定接地	185	85
	经小电抗接地	325	140
800	固定接地	250	95
1100	固定接地	325	140
		185	85

附 录 H

(规范性)

高压交流隔离开关和接地开关用瓷绝缘子技术要求

H.1 范围

本技术要求规定了对隔离开关及接地开关用 40.5 kV~1100 kV 支柱及操作瓷绝缘子（以下简称绝缘子）的技术条件、试验方法和检验规则。复合绝缘子可参照使用。

H.2 技术要求

H.2.1 环境条件

- 海拔：≤1000 m。
- 风速：≤35 m/s。
- 温度：-40 ℃~+40 ℃。
- 相对湿度：<90%（月平均，25 ℃）。
- 日温差：应考虑温度的急骤变化。

H.2.2 额定参数和外形结构尺寸

额定参数及外形结构尺寸应符合经用户确认的图纸要求，结构尺寸中至少应给出单个绝缘子的干弧距离、伞型的有关数据和法兰上的螺孔距。
绝缘子伞裙下表面应是光滑的，没有伞棱。

H.2.3 推荐的绝缘子干弧距离

推荐的绝缘子干弧距离见表 H.1。

表 H.1 推荐的绝缘子干弧距离

电压等级 kV（有效）	干弧距离 mm
40.5	≥350
72.5	≥650
126	≥900
252	≥1900
363	≥2900
550	≥3800
800	≥5400
1100	≥7500

H.2.4 技术文件检查

绝缘子应以同一工艺方法制成的同一型号和同一产品代号的产品作为批次，每批数量不超过 300

支。每批绝缘子（按制造厂的批号）均应有制造厂的出厂试验报告、质量合格证或产品证明书等文件。新产品或当设计、材料和工艺发生变化后的产品应有型式试验报告和产品鉴定证书。

H.3 出厂试验

绝缘子应按标准规定的“逐个试验项目”进行检验，如有一项不符合要求则为不合格。

逐个试验项目为：

- a) 外观及尺寸检查。
- b) 瓷件超声波检查。
- c) 瓷件温度循环试验（杆径不小于 100 mm）。
- d) 弯曲和扭转机械负荷试验。

H.3.1 外观及尺寸检查

H.3.1.1 拆开包装后的绝缘子瓷件表面应无破损和开裂，外观质量应符合 GB/T 772 和 GB/T 8287.1 规定。如瓷件表面有破损，单个面积不得超过 40 mm^2 ，且必须进行修补，修补后的面积不大于 50 mm^2 。

H.3.1.2 瓷件表面釉层光滑、色泽一致且不应有明显的析晶釉。对缺釉情况的处理如下：

- a) 单个瓷件表面的缺釉面积不得超过 40 mm^2 ，数量不超过 2 处。
- b) 瓷件表面落砂点不得超过 4 个，且砂粒直径大于 2 mm 时应清理修补，补釉面积单个不超过 15 mm^2 。
- c) 每批验收的产品中出现的修补数量不超过该批绝缘子总量的 10%（装饰性的修补可除外）。
- d) 瓷件表面缺陷总面积不大于 300 mm^2 。

H.3.1.3 绝缘子金属附件采用上砂水泥胶装，胶装处胶合剂外露表面应平整，无水泥掉渣及露缝等缺陷。胶装后应露砂，且露砂面与第一个伞裙根部的距离不应小于 20 mm，以便超声波测量探头的布置。胶装处应涂防水密封胶，但涂胶后应露砂。

H.3.1.4 检查绝缘子的主要尺寸偏差及形位公差。

- a) 绝缘子的高度 H 允许偏差为：
 - 当 $H \leq 1200\text{ mm}$ 时，为 $\pm 1\text{ mm}$ ；
 - 当 $1200\text{ mm} < H \leq 2000\text{ mm}$ 时，为 $\pm 1.5\text{ mm}$ ；
 - 当 $H > 2000\text{ mm}$ 时，为 $\pm 2.0\text{ mm}$ 。
- b) 绝缘子元件轴线直线度 $\leq 0.3\%H$ （ H 以 mm 计算）。
- c) 上、下金属附件两端面平行度公差为：
 - 当 $H \leq 1200\text{ mm}$ 时，为 0.5 mm ；
 - 当 $H > 1200\text{ mm}$ 时，为 $(0.5H)\text{ mm}$ 。

注： H 为绝缘子元件高度，单位为 mm。

- d) 上、下金属附件安装孔中心圆轴线间最大偏差：
 - 操作绝缘子和支柱绝缘子 $\leq 3\text{ mm}$ ；
 - 上、下安装孔角度偏移为 $\leq 1^\circ$ 。
- e) 上、下金属附件中的螺孔有效深度：M16 为 18 mm，M12 为 15 mm。
- f) 上、下金属附件中心圆轴线与瓷件中心圆轴线间的最大偏差不应大于 3mm。
- g) 绝缘子爬电距离不应小于公称爬电距离。
- h) 其余应符合图纸的规定要求。

H.3.2 金属附件镀锌层检查

绝缘子上、下金属附件应热镀锌，热镀锌层应符合 GB/T 8287.1 的规定。带有螺孔的金属附件，应

在螺孔内涂满防锈的润滑脂。

H.3.3 瓷件超声波检查

超声波探伤试验方法应按 GB/T 8287.1 的规定，制造厂应积极开展金属附件胶装后的超声波检查。

H.3.4 温度循环试验

应按 GB/T 775.1 的规定进行，产品不得损坏。

H.3.5 机械负荷试验

应按照 GB/T 8287.1 的规定逐个进行机械负荷试验。对支柱绝缘子应加延长杆后做四个方向的抗弯试验，对操作绝缘子应做抗扭试验，规定施加的荷载为绝缘子额定机械负荷的 60%。

H.4 验收抽样方案和接受标准

H.4.1 概述

每批产品应按标准规定进行抽样试验，抽样试验在农个试验合格后的批中随机抽取试品进行。

验收抽样采用了二次抽样方案，原则上每两次加倍抽试如还不合格，则该批产品判废，具体见表 H.2。

表 H.2 抽 样 方 案

检验项目	抽样方案		说明
	第一次抽样	第二次抽样	
技术文件检查	每批每种绝缘子	—	—
外观及尺寸检查	5	10	每批每种绝缘子
金属附件镀锌层检查	5	10	每批每种绝缘子
机械负荷试验	3	6	每批每种绝缘子

H.4.2 对每批绝缘子均应实施技术文件检查，应符合要求。

H.4.3 各种类型的产品均应进行外观、尺寸和金属附件镀锌层检查，依据可参考相关标准规定。

H.4.4 机械负荷试验根据绝缘子的机械强度分成两类，且操作绝缘子的抗扭机械强度试验应作为必试项目。

H.4.4.1 用于 72.5 kV~126 kV 电压等级的绝缘子，可在任意批次中随机抽样进行试验（根据图纸要求可分别进行抗弯、抗扭等试验）。

H.4.4.2 用于 252 kV 及以上电压等级的绝缘子，可按每 300 支为一批，每批随机抽样进行试验 **H.4.4.3** 机械破坏负荷抽样试验的计量抽样判断常数应符合 GB/T 8287.1 的规定。

H.4.5 二次抽样试验仍不合格的产品以及进行过机械破坏负荷试验的试品，不得作为商品供货。

H.5 绝缘子的标记、包装和运输

H.5.1 隔离开关和接地开关用支柱和操作绝缘子应在明显的部位打上永久标记，标记内容为制造厂商

标、生产年月、与产品样本相一致产品代号。

每批出厂绝缘子的包装中应附有产品检验合格证，并有检验部门印章。

H.5.2 绝缘子的包装应符合相应包装技术规范的规定，并应满足多次转运的要求。外包装上应有明显的标记表明是“瓷件”。
