

ICS 130.100
K 43
备案号: 16982-2006

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 978 — 2005

气体绝缘金属封闭输电线路技术条件

Specification for Gas-insulated metal-enclosed transmission line

2005-11-28 发布

2006-06-01 实施

中华人民共和国国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言..... II

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 正常和特殊使用条件..... 2

5 额定值..... 4

6 设计和结构..... 5

7 型式试验..... 11

8 出厂试验..... 18

9 现场试验..... 20

10 气体绝缘输电线路选型导则..... 23

11 查询、标书和订货中提供的资料..... 23

12 运输、贮存、安装和运行维护..... 26

13 安全性..... 31

14 环境方面..... 32

附录 A（资料性附录） 持续电流的估算..... 33

附录 B（资料性附录） 接地..... 37

附录 C（规范性附录） GIL 内部故障燃弧情况下的试验方法..... 40

附录 D（资料性附录） IEC 62271—203 提供的额定绝缘水平..... 42

附录 E（资料性附录） 西门子公司和 CGIT 公司提供的 GIL 部件图..... 43

前 言

本标准是根据《国家发展改革委办公厅关于下达 2003 年行业标准项目补充计划的通知》（发改办工业〔2003〕873 号）的安排制定的。

本标准参考 IEC 61640—1998《额定电压 72.5kV 及以上气体绝缘高压刚性输电线路》技术报告的内容，结合我国具体运行条件和要求，提出本标准各条款。

本标准的附录 A、附录 B、附录 D、附录 E 是资料性附录。

本标准的附录 C 是规范性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准负责起草单位：中国电力科学研究院。

本标准参加起草单位：华东电网有限公司、西门子股份公司、水电水利规划设计总院、西北勘测设计研究院、长江勘测规划设计研究院、能科技术有限公司（AZZ/CGIT Westboro Inc）。

本标准主要起草人：郭碧红、刘兆林、Hermann Koch、阮全荣、石凤翔、李定中。

本标准由电力行业气体绝缘金属封闭电器标准化技术委员会归口并负责解释。

气体绝缘金属封闭输电线路技术条件

1 范围

本标准规定了额定电压 72.5kV 及以上、额定频率为 50Hz 的气体绝缘金属封闭输电线路（以下简称 GIL）的使用条件、额定值、设计与结构、试验等方面的要求。

本标准除适用于 GB 7674 的应用场合外，还可用于对 GB 7674 条款不适用的场合。

例如：

- 所有或部分 GIL 是布置在地面、沟管、竖井、隧道或直接掩埋等；
- GIL 被整体或部分放置在靠近公共场合的地方；
- GIL 较长的场合。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 4109—1999 高压套管技术条件（eqv IEC 60137:1995）

GB 4208—1993 外壳防护等级（IP 代码）（eqv IEC 60529:1989）

GB 7674—1997 72.5kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备（eqv IEC 60517:1990）

GB/T 8905—1996 六氟化硫电气设备中气体管理和检测导则（neq IEC 60480:1974）

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

GB 12022—1989 工业六氟化硫

GB/T 16927.1—1997 高电压试验技术 第一部分：一般试验要求（eqv IEC 60060—1:1989）

JB/T 10181.5—2000 电缆载流量计算 第 3 部分第 1 节：基准运行条件和电缆选型

IEC 60068—1 环境试验 第一部分 总则和导则

IEC 60270 局部放电测量

IEC 60287—3—1 电缆、电流额定值的计算 第 3 部分：运行条件的章节第 1 节：基准运行条件和电缆类型的选择

IEC 60694—1996 高压开关设备和控制设备的共用技术要求

IEC 60859 额定电压 72.5kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备的电缆连接

IEC 61639 额定电压 72.5kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备与电力变压器之间的直接连接

IEC/TR2 61634 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（SF₆）的使用和处理

IEC 62271—203—2003 高压开关设备和控制设备 第 3 部分：额定电压 52kV 以上气体绝缘金属封闭开关设备

3 术语和定义

GB/T 11022 中确立的术语和定义以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

公共场所 area accessible to public

不对出入人员进行限制的场所。安装在地面以上和变电站外部的 GIL 被称为“安装在公共场所”。

3.2

气体绝缘输电线路 (GIL) gas-insulated transmission lines

部分或全部采用不同于大气压下空气的气体绝缘金属封闭线路，其外壳接地。

GIL 的绝缘介质是无腐蚀的绝缘气体。

在 GIL 的每一个末端，应有一个专门部件用于 GIL 和其他设备，如变压器、电抗器、隔离开关、套管、电缆终端、电压互感器、避雷器、GIS 等之间的连接。

3.3

外壳 enclosure

GIL 的一部分，用于维持绝缘气体在规定状况下运行，以满足额定绝缘水平的要求，保护设备不受外界影响，并对人员安全提供高等级的保护。

3.4

隔室 compartment

由同一个受压气室构成的 GIL 的一部分。

3.5

隔板 partition

GIL 的一部分，将一个隔室和另一个隔室分开的密封绝缘子。

3.6

主回路 main circuit

包含在作为传输电能回路内的所有导电部分。

3.7

GIL 周围环境空气温度 ambient air temperature of GIL

在规定条件下测定的各种安装方式（除直埋以外）下 GIL 外壳周围的空气温度。

3.8

外壳设计温度 design temperature of enclosure

运行状况下 GIL 外壳的最高温度。

3.9

标准单元 standard section

是 GIL 的一部分，其长度受制造、运输、安装、运行、维护等条件的限制。

3.10

隔离单元 disconnecter unit

用于气室分隔，供 GIL 分段检修的连接单元。

3.11

伸缩节 compensation unit

用于 GIL 之间的连接或 GIL 与其他设备的连接，考虑到设备制造及安装误差、土建误差等因素，用来吸收 GIL 自身及其相连接设备因温度变化、地震力、设备操作或振动、检修人员在设备上工作以及土建伸缩缝和基础变形等引起的位移，且具有波纹管等型式的弹性接头。

4 正常和特殊使用条件

4.1 一般规定

依据 GB/T 11022—1999 第 2 章，并作如下修改：

内绝缘的绝缘特性与海拔高度无关，故对使用海拔高度不做规定。

外绝缘的绝缘特性应进行海拔高度的修正。

对外壳机械强度的设计应考虑海拔高度的影响。

对于电力系统短时过载和过高的环境温度应予以关注。

GIL 的使用条件由安装方式决定。如 4.2、4.3 和 4.4 规定的安装方式。如采用组合安装方式时，则以下条款分别适用于各自对应的安装方式。

4.2 户外安装

为确定户外安装的 GIL 的额定参数，应采用 GB/T 11022—1999 第 2 章所规定的常规和特殊使用条件。如果由户外沟管环境所引起的影响可以不予考虑时，这些使用条件对户外沟管安装同样有效。

如果实际使用条件与常规使用条件不同，GIL 额定参数应根据使用条件修正。

4.3 直埋安装

热阻系数及土壤温度的典型值为：

——1.2K·m/W 夏季，20℃；

——0.85 K·m/W 冬季，10℃。

可依据 JB/T 10181.5—2000 中 3.2 的表中数值（见表 1）。

表 1 土壤热阻系数

热阻系数 K·m/W	土壤状况	气象条件
0.7	非常潮湿	连续潮湿
1.0	潮湿	常规降雨
2.0	干燥	不常降雨
3.0	非常干燥	很少或不降雨

GIL 安装深度由用户与制造厂协商确定。布置深度的确定应考虑热特性、安全性要求以及当地的法规。

- 注：1. 长距离（几千米）GIL 输电线路应考虑土壤的实测热阻系数。
2. 应考虑使用具有规定热阻系数的回填土壤。
3. 如果地下 GIL 周围土壤变干，则可能存在热量散失的危险。为防止土壤的干燥，通常考虑外壳的最大运行温度值应介于 50℃～60℃之间。

在计算额定过负荷能力、额定短路电流时，应考虑直埋 GIL 上方的最大电场强度，并提供 GIL 所在地面上方和周围环境中的磁场强度。

4.4 隧道、竖井、斜井或类似安装

隧道、竖井和斜井安装如需要时，可设置强迫冷却装置。冷却装置的散热量需计入隧道内的总散热量，这包括 GIL 本体以及其他散热源的总散热量。

注：严禁在下列情况下进入隧道进行维护：

- 短时过负荷；
- 无通风条件；
- 隧道内温度过高；
- 气体泄漏量超标。

在长垂直竖井中，尤其是在 GIL 中采用混合气体时，必须监视管道外壳温度的梯度变化和气体密度的梯度变化。

5 额定值

5.1 概述

GIL 的额定值包括下列值:

- a) 额定电压及相数;
- b) 额定绝缘水平;
- c) 额定频率;
- d) 额定电流 (主回路);
- e) 额定短时耐受电流 (主回路和接地回路);
- f) 额定峰值耐受电流 (主回路和接地回路);
- g) 额定短路持续时间;
- h) GIL 组件及其辅助设备的额定值;
- i) 绝缘气体的额定压力值。

5.2 额定电压

见 GB/T 11022—1999。

5.3 额定绝缘水平

应符合 GB 7674—1997 的规定, GIL 的额定绝缘水平应从表 2、表 3 中选取, 并依据 IEC 62271—203—2003 的规定 (参见附录 D)。

对较长的 GIL 两端或任何合适的位置可考虑安装避雷器以限制外部过电压。

表 2 72.5、126、252kV GIL 的额定绝缘水平 kV

额定电压 (有效值)	额定雷电冲击耐受电压 (峰值) 相对地、相间	额定 1min 工频耐受电压 (有效值) 相对地、相间
72.5	325	155
126	450	200
252	850	360
	950	395

表 3 363、550kV GIL 的额定绝缘水平 kV

额定电压 (有效值)	额定雷电冲击耐受电压 (峰值)	额定操作冲击耐受电压 (峰值)		额定 1min 工频耐受电压 (有效值) 相对地、相间
	相对地、相间	相对地	相间	
363	1050	850	1300	460
	1175	950	1425	510
550	1425	1050	1675	630
	1550	1050	1675	630
	1550	1175	1800	680
	1675	1175	1800	680

5.4 额定频率

50Hz。

5.5 额定电流、温升和短时过载能力

5.5.1 额定电流

见 GB/T 11022—1999 中 4.4.1，并作如下补充：

额定电流定义为周围空气温度为 40℃ 时，安装在地面上的单相、三相回路的电流数值。对于其他安装方式持续电流的估算，参见附录 A。户外安装的应考虑日照的影响。

5.5.2 温升

地面上安装：

采用地面上安装，见 GB/T 11022—1999 中 4.4.2，并作如下补充：

人员可触及部分 GIL 外壳最高温度为 70℃，人员不可触及部分 GIL 外壳最高温度为 80℃。

GIL 中任何部件的最大温升值应不超过 GB/T 11022—1999 表 3 中指定条件下的允许温升限值。

直埋安装：

通过额定电流情况下，外壳最高温度为 50℃。为了避免周围土壤完全干燥对 GIL 的影响，则长期运行温度为 40℃。

隧道、竖井安装：

隧道、竖井中的空气温度由外界空气温度决定，并视其中有无通风口而定。外壳上可接触部位最高温度为 70℃，不可接触部位的最高温度为 80℃。

5.5.3 短时过负荷能力

短时过负荷由过负荷系数及过负荷时间决定。过负荷条件由制造厂和用户在考虑特殊情况（过负荷值及时间，初始条件，过负荷的温升限值，敷设条件等）下协商而定。一般要求 $1.2I_n$ (30min)。

5.6 额定短时耐受电流

见 GB/T 11022—1999 中 4.5。

额定短时耐受电流优先从下列数值中选取：

25kA-31.5kA-40kA-50kA-63kA-80kA-100kA。

5.7 额定峰值耐受电流

见 GB/T 11022—1999 中 4.6。

额定峰值耐受电流应不小于 2.5 倍额定短时耐受电流。

5.8 额定短时电流持续时间

126kV 及以下为 4s；

252kV 及以上为 2s。

5.9 辅助回路的额定电压

见 GB/T 11022—1999 中 4.8。

5.10 绝缘气体额定充气压力

见 GB 7674—1997 中 5.10。

6 设计和结构

6.1 一般规定

GIL 的设计应确保安全可靠运行，检查以及维护操作方便。

设备的设计应考虑下列相关荷载不影响设备正常运行：如允许范围内的基础偏移，外部振动，地震裂度，土壤荷载，热膨胀，机械应力，风和冰雪。

具有相同额定值及结构的部件应具有互换性。

6.2 对 GIL 中气体的要求

见 GB/T 8905—1996 中 5.2。

当 GIL 充有 N_2/SF_6 混合气体时，制造厂应规定混合气体的百分比数、露点值和充气压力。

新的 SF₆ 气体应该遵照 GB 12022 的要求；而使用过的 SF₆ 气体应遵照 GB/T 8905—1996 的要求。N₂ 的纯度应达到 99.99%。

6.3 GIL 的接地

6.3.1 主回路接地

为保证维护检修期间的安全，所有有通路联系或要求有通路联系的主回路部件都应该能够接地。而且打开外壳后，在维护期间应能方便地接地。

接地可采用下列办法：

- a) 若无法确定连接回路不带电，则采用关合能力等于额定峰值耐受电流的接地开关。
- b) 若可以确定连接回路不带电，则采用无关合能力或关合能力小于额定峰值耐受电流的接地开关。
- c) 在 GIL 的维修位置采用可移动式接地设备。

在 GIL 上能相互隔离的部分均应能够各自接地。

必须考虑第一个操作的接地装置具有足以释放绝缘电路中最大残余电荷的能力。

6.3.2 外壳接地

所有外壳均宜采用多点接地方式。

分相式 GIL 接地线应布置在三相短接线处，其三相短接线截面应能承受长期通过的最大感应电流和接地短路电流；若采用单点接地方式时，接地点宜设在 GIL 各连续段壳体的中部，设备的支撑构架与外壳应绝缘（除利用设备支撑构架接地外）。

GIL 宜设置专用的接地母线。所有外壳接地引线应直接接在接地母线上。接地母线与地网连接线截面应按最大单相短路电流的 70% 进行选择。

GIL 的接地有不同的方法：固定连接、单点连接和交叉连接。所选的连接方式会对散热、稳态电压及外部磁场有一定影响（参见附录 B）。

采用直埋安装方式的 GIL，外壳接地的设计需考虑防腐测量的需要；外壳对地的连接应在可以进入的井中实现。

GIL 应有可靠的接地系统。因此 GIL 外壳相间以及外壳对地必须可靠连接。在隧道中安装的 GIL 的钢支架和外壳均应与隧道接地系统可靠连接。

外壳应设置接地端子，端子的大小应满足最大短路电流的要求。

6.3.3 支架接地

GIL 的所有金属支架和钢结构均应可靠接地。应确保接地系统的连续性，外壳、框架及钢结构之间的连接应考虑到接地电流引起的热应力和机械应力。

6.4 辅助设备—监测系统

见 GB/T 11022—1999 中 5.4。

6.5 低压力和高压力信号装置

应提供监测气体压力或气体密度的方法和所参照的相关标准。

建议当绝缘气体压力降至制造厂规定的报警压力和最低功能压力，或升高到制造厂规定的可控压力系统的最高压力值时，发出相应信号。

6.6 铭牌、标识及标记

6.6.1 铭牌

户外安装的 GIL，铭牌及其紧固件应具有防腐和防水性能。

完整的铭牌应设置在每一段线路末端和地面上以及需要进行维护的每个点。对于直埋安装的 GIL，在其端部也应竖杆以设置铭牌。铭牌应包含下列信息：

- 制造商名称及商标。
- 型号和序列号。
- 额定电压。

- 额定电流。
- 额定短时耐受电流。
- 额定频率。
- 绝缘气体的额定压力和最小运行压力。
- 气体种类；当使用 N₂/SF₆ 混合气体时，应标明各种气体的百分比。
- 敷设方式和长度。

注：铭牌上可不需要出现“额定”字样。

6.6.2 度量标记

如果线路长度超过 500m，则应标明长度。地面和隧道安装时，标记应固定在 GIL 上或支架上。对于直埋安装的 GIL 在其端部及沿线一定间隔的地面上方也应设置相应的标记。

6.6.3 设备标志

- 不同 GIL 类型连接时需在其连接处进行标记。
- 设备标记应具有耐久性并清晰，并应包含下列信息：
- 制造厂名称及商标；
 - 型号；
 - 额定电压；
 - 气体种类和额定压力。

6.6.4 公共标志

若安装在公共场所，应根据当地有关法规设置合适的外部标记。

6.7 防护等级

6.7.1 主回路防护等级

由于外壳为气密性的，因此对主回路及与之直接连接部分无相应的规定。

6.7.2 辅助回路防护等级

- 低压控制和/或辅助回路的外壳的防护等级一般为：户内为 IP 50；户外为 IP 54W。
- 对特殊环境条件如防雨、防水等应根据工程情况确定。
- 该防护等级适用于设备的运行状态。

6.7.2.1 防止人体接近以及防止外物影响设备的保护

- 见 GB/T 11022—1999 中 5.13.1，并作如下修改：
- 防护措施仅适用于控制和/或辅助回路。第一个特征数字应不小于 3。

6.7.2.2 防水措施

采用直埋敷设、电缆沟或管道敷设等敷设方式时，外壳内部进水将对设备造成危害，则应规定第二个特征数字。IEC 60694—1996 表 6 中所规定的防护等级第二位字母 X 用表 4 中值替代。

表 4 防 护 等 级

第二个特征数字	简单描述	技术要求
7	防止临时性的浸水效应	当外壳在标准的压力和时间下临时性的浸水时，进入的水应不导致有害的效应
注：当要求第二个特征数字高于 7 的更严酷条件时，防护应由用户与制造商协商。		

6.8 压力配合

见 IEC 62271—203—2003 中 5.101 的规定。

由于不同的运行条件，GIL 内部压力可能不同于额定充气压力。由于温度变化导致的压力升高会造成一个附加的机械应力。由于泄漏使得压力减少可能会降低绝缘性能。图 1 示出各种压力水平和它们的关系。

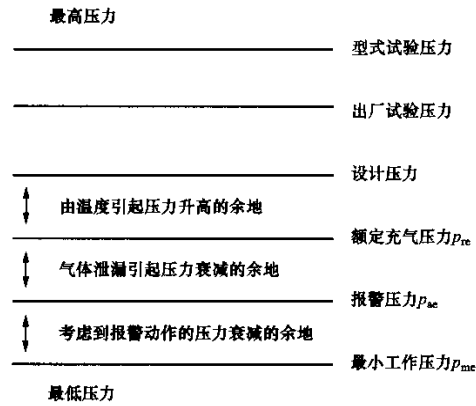


图 1 压力调整

制造商必须负责选择保证绝缘和运行压力 p_{me} 的最低工作压力。额定的充气压力 p_{re} 是和报警压力 p_{ac} 及漏气率有关的，以便保证有一个足够的时间再充气。

报警压力 p_{ac} 和最小工作压力 p_{me} 之间应允许有足够的反应时间去容许再充气动作，同时应考虑气体检测仪的工作误差。

在运行条件下，机械压强与由气体温度所决定的内部压力密切相关，因此，设计压力应对应于在气体能达到的最大温度下的额定充气压力。

例行试验压力和型式试验压力是基于设计压力并考虑材料和工艺过程因素来决定的。

6.9 内部故障

6.9.1 概述

应将内部故障产生的电弧对正常运行的 GIL 造成的危害限制到最小。如果在各隔室之间设置有压力释放装置，应将电弧的影响限制在起弧隔室或故障区域内的其他少数隔室之中。

限于保护系统的特性，要求外壳至少需要具有耐受一定时间燃弧的机械强度。

6.9.2 电弧的外部效应

为确保人身和设备的安全，应采取可靠的防护措施，电弧的外部效应不应使外壳穿孔、破裂，且不应有任何杀伤碎片。

如采用压力释放装置，其布置的位置应对周围环境影响最小并且在正常运行时对人没有危害。

6.9.3 内部故障的定位

GIL 中有条件时宜设置内部故障点的测定装置，通过其给出需要维修的故障点位置。

6.10 外壳

6.10.1 概述

外壳应是金属的，宜采用铝合金材料。外壳应固定接地并能耐受在运行中出现的正常压力和瞬态压力。

制造商应考虑气候条件对户外安装的 GIL 设备的影响（见第 4 章）。

对于直埋敷设，应考虑防止环境条件造成的外部腐蚀（见 6.3）。

6.10.2 外壳设计

外壳的壁厚应基于设计压力及下列的外壳不烧穿的最小耐受持续时间：

- 电流值为 40kA 及以上为 0.1s；
- 电流小于 40kA 为 0.2s。

为避免外壳烧穿，应对故障电流的大小和持续时间与外壳设计和隔室尺寸进行仔细配合。最小的容积应使得在上面给出的最短持续时间内压力释放装置不动作。

注：在外壳设计时，还应考虑下列各因素：

1. 作为正常充气过程一部分的外壳抽真空；
2. 全部压力差可能施加到外壳壁或隔板上；
3. 相邻隔室不同运行压力时隔室间偶然泄漏的情况下所产生的压力；
4. 出现内部故障的可能性（见 6.9）。

外壳的设计温度通常为环境温度的上限再加上流过额定电流时导致的温升。如果太阳辐射的效应比较明显，则应予以考虑。

外壳的设计压力至少应等于在设计温度下，外壳内部压力所能达到的上限。

确定外壳的设计压力时（除非能通过现有温升试验记录确定设计压力），气体温度应取外壳温度上限值和流过额定电流时主回路导体温度的平均值。

外壳设计时，应考虑到除内部过压力引起的机械负荷外的机械负荷，如热膨胀产生的力（见 6.16）、外部振动（见 6.17）、直埋方式的土壤负荷、其他外部负荷如地震、风、雪、冰等。

对于外壳及其部件，如不能通过计算完全确定其强度，应进行样品试验，以验证是否满足要求。

6.10.3 外壳的连接

通常采用两种连接方式：

- 法兰连接；
- 焊接。

用户可根据现场安装、运行条件选定。

6.11 导体

导体应采用高导电率的铝合金材料，且应满足强度和温升的要求。导体间可采用固定或滑动连接。

6.12 绝缘子

6.12.1 支撑绝缘子

支撑绝缘子的机械强度应能承载导体荷载和满足动稳定要求，应按第 7 章和第 8 章进行电气试验。

6.12.2 隔板

隔板影响到：

- 安装；
- 现场试验；
- 维护；
- 气体控制。

隔板通常由绝缘材料制造，但不要求它对人身提供电气安全性。对人身安全的保证需要用设备接地等其他方法来实现，但必须保证相邻隔室在可能出现的最大压力差下的机械安全性。

相邻隔室之间的隔板，不允许出现任何影响绝缘介质电气性能的泄漏。

6.13 隔室

GIL 应划分成若干隔室，以满足正常运行以及限制故障范围和方便检修。

隔室长度的划分应考虑：

- a) 故障区域的限制并便于故障处理，尽可能不影响相邻无故障隔室的正常运行；
- b) 隔室气体总量，气体回收装置的容量，GIL 安装（分期安装）、试验和维护、检修时间等因素的优化；
- c) 与外部设备连接的部位，宜单独分隔。

6.14 GIL 标准单元

除受场地布置、安装及设计制造等影响及要求，需在局部采用非标准设计外，GIL 应尽可能多采用标准单元，标准单元包括标准直线长度、标准连接、标准弯头等结构，以及方便现场安装及维护的备用单元等。

6.15 压力释放装置

隔室的容积取决于短路电流值及持续时间，若故障引起的压力上升不超过外壳出厂试验的压力值

时,可不设压力释放装置。对小气室容积和/或安装在隧道里的,可考虑安装压力释放装置。

若设置压力释放装置,其设计原则应是,若气体或蒸汽在压力下逸出,释放装置能够将对执行正常操作任务的运行人员的危害限制到最小。

注:名词“压力释放装置”包含两种:具有开放压力和关闭压力特性的压力释放阀;不能重新关闭的压力释放装置,例如隔膜和爆破片。

如果压力释放装置设置在人可以到达的狭窄区域,应针对压力释放时的人身安全采取预防措施。

注:1. 内部故障造成外壳变形时,应检查相邻外壳是否变形。

2. 当爆破片用在压力释放装置中时,应考虑它的动作压力与外壳设计压力之间的关系,以降低误爆破的概率。

6.16 伸缩节

由于温度差的存在,各元件之间,各元件与外界间会产生相对位移。

元件间和/或元件与环境间的相对位移或作用力可以根据施工时环境温度值和元件所经受的最大温度差,通过测量或计算求得。如有必要进行补偿,可采用下列方法:

a) 主要元件与外壳之间的位移补偿可通过滑动触点或主元件上使用的类似方法来实现。

b) 外壳自身的位移(基础埋件,土建基础)补偿可通过外壳伸缩节来实现。

注:须按相应的标准或适当的方法计算外壳的位移和由此产生的力,并阐明其结果。这对于受外部因素如锚件、土壤压力、土壤类型和线路构造影响的直埋 GIL 尤其重要。

6.17 外部振动

GIL 可能会遇到外部振动。典型的情况是 GIL 靠近地铁、汽车和火车用的桥。另一种情况是 GIL 直接与电力变压器连接。

如果 GIL 与振动源相连,建议通过在振动源与 GIL 刚性连接的支撑构件的部件之间设减振装置来降低机械应力,这样可显著降低输电线路构件上的动态机械应力。根据剩余应力与其他荷载的共同作用,基本可确定 GIL 的机械尺寸,并确保该值不超过所采用材料的允许应力。

如果 GIL 敷设在桥梁上,尤其应考虑桥梁对基础的相对位移,它对有关机械尺寸的总应力计算有影响。

6.18 气密性

密封压力系统的气密性由相对泄漏率表示。

单个隔室最大年漏气率应不大于 0.5%,整套装置的年漏气率应不大于 0.1%。

6.19 直埋安装时的防腐蚀

腐蚀防护,包括外壳涂层和任何主动防护系统均应考虑到一些特殊情况,如地点、土壤/回填材料和条件、外壳材料及采用的接地方式。

通常, GIL 的防腐保护与普通线路及高压充油电缆的防护基本相同。外壳上包有一层或多层橡皮或聚氯乙烯护套。护套通过阻止潮气或水分进入 GIL 金属外壳来实现被动的防腐。

作为对被动防腐的补充,在被动防护失败的情况下,可以安装主动防护装置,该装置保持金属外壳处于规定的电位,这取决于外壳的材料(钢,铝)。设计主动防腐装置时,应考虑 GIL 周围的土壤条件。

6.20 非直埋安装 GIL 的支架

GIL 的支架对其机械特性有影响。支架的结构因 GIL 的用途、敷设方式以及基础的结构而各不相同。

6.20.1 设计条件

支架设计中应考虑的作用力和荷载:

- GIL 的荷载;
- 支架横梁表面和 GIL 底部间的摩擦力;
- 温差引起的作用力;
- 地震作用力;
- 风荷载;
- 短路电流作用力;

——冰、雪荷载。

支架的设计应注意避免形成闭合回路，并提供措施避免支架内产生涡流且能够防腐。

6.20.2 支架类型

以下是两种基本的支架类型：

- a) 可滑动、柔性支撑结构支架：这种支架用于支撑 GIL 在热胀冷缩时产生位移的情况。
- b) 固定结构支架：这种支架用于固定 GIL 并能承受因外壳热膨胀引起的力和外壳内补偿器（如有）的热膨胀以及内部气体压力。

6.21 GIL 外部接口

6.21.1 与架空线连接

最为常见的情况是 GIL 通过架空线连接，这种情况常见于架空线在人口稠密及景观保护地区需要经由地下通过。

GIL 与架空线的连接套管按 GB/T 4109 要求。

6.21.2 与 GIS 连接

GIL 也可以直接与气体绝缘变电站（GIS）相连接。

与 GIS 连接时，须用隔板将 GIL 和 GIS 的不同气室分隔开来。

由于直埋 GIL 外壳采用了防电腐蚀措施，因此与 GIS 连接时需用绝缘措施和其外壳隔绝。

6.21.3 与变压器/电抗器连接

与变压器/电抗器连接方式如下：

- a) 直接连接。与变压器直接相连须按 IEC 61639 的要求。
- b) 通过套管与变压器连接。与变压器连接的套管按 GB/T 4109 的要求。

6.21.4 电缆连接

与电缆相连时连接界面的要求按 IEC 60859 执行。

现场电缆进行耐压试验时，应预先将 GIL 与电缆隔离。

6.22 备品备件

GIL 是以在设备使用期限内不需要任何维修用途的备品备件为原则来制造的。在规定的使用条件及额定值下外壳及导体均不会发生老化。如有必要，传感元件（气体密度计）、二次监视和控制元件的备品备件可相应的由供货商来确定。

在极其偶然的情况下如发生内部电弧，有必要在短时间内取得必要的设备来进行最快的修理（修理工作应由制造厂进行），为此目的推荐在 GIL 附近存放足够长的预先组装试验过的 GIL 备用单元。

6.23 专用工具

如 6.22 所述，GIL 不需要维护或保养，因此不推荐专用工具。

6.22 提到的 GIL 发生内部电弧时的维修由制造厂实施。

7 型式试验

7.1 概述

见 GB/T 11022—1999 第 6 章，并作如下补充：

型式试验应在具有代表性的总装件或部件上进行。

由于元件的型式、额定值和可能的组合方式的多样化，因而对所有可能的布置方式进行型式试验是不现实的。任何一种特定布置方案的性能均可用类似布置方案的试验数据来证明。原则上所有试验应在设备充有额定压力的规定气体的情况下进行。

所有型式试验结果应记录在型式试验报告中，型式试验报告中应有足够的数据证明其满足规范要求，并且设备主要部件的试验资料应全面、可查。一般情况下，报告中应包括有关支架结构的资料。

型式试验应包括一种在实际环境条件下具有代表性的长持续时间耐受试验，并表现出长期的稳定可靠性。

7.1.1 试验分组

不同类型和长持续时间耐受试验应至少在典型的标准单元组合上进行，按由 GIL 主要部件构成的分组进行代表性的试验。试验报告应包括各相关的技术规范参数值。

型式试验项目见表 5。

表 5 型式试验项目

序 号	型式试验项目	条 款
1	设备绝缘试验和辅助回路绝缘试验	7.2
—	无线电干扰试验	7.3
2	设备各部件温升试验和主回路电阻测量	7.4 和 7.5
3	主回路、接地回路额定峰值和短时耐受电流试验	7.6
4	外壳强度的验证	7.7
5	防护等级验证	7.8
6	气密性试验	7.9
7	电磁兼容性试验 (EMC)	7.10
8	辅助回路和控制回路的补充试验	7.11
9	隔板压力试验	7.13
10	直埋安装时长期性试验	7.12
11	内部故障引起电弧条件下的试验	7.14

7.1.2 样本标识内容

采用 GB/T 11022—1999 中 6.1.2 的规定。

7.1.3 型式试验报告应报告的内容

采用 GB/T 11022—1999 中 6.1.3 的规定。

7.2 绝缘试验

型式试验中的绝缘试验和局部放电量测量应按 7.2.6 规定进行。

7.2.1 绝缘试验条件

绝缘试验时应按制造商规定充以最低绝缘要求的气体压力，试验过程中的气体压力和温度都应在试验报告中予以记录。

7.2.2 试验执行标准

按照 GB/T 11022—1999 中 6.2.4，并作如下补充：

如果满足以下条件，则可认为已通过了冲击试验：

——单相每一系列 15 次冲击试验过程中击穿放电的次数不超过 2 次；

——非自恢复绝缘件上无击穿放电。

可以确证 15 次冲击试验系列中发生击穿放电之后至少 5 次冲击试验无击穿放电。如果发生击穿的冲击试验是 15 次冲击试验后的最后 5 次之一，则须进行额外的试验。

7.2.3 采用的试验电压和试验条件

主回路每相导体依次连接到试验电源的高压端子上，应施加 7.2.4 和 7.2.5 规定的试验电压，所有其他的主回路导体和辅助回路应连接到接地导体或框架并接至试验电源的接地端子上。

若导体分相封闭在金属外壳中，则只做相—地试验，不做相间试验。

7.2.4 额定电压≤252kV

额定耐受电压按 GB 7674—1997 的规定，见表 2。

7.2.4.1 工频耐压试验

按照 GB/T 11022—1999 中 6.2.6.1，并作如下补充：

GIL 主回路仅作干燥情况下的工频耐压试验。

7.2.4.2 雷电冲击耐压试验

按照 GB/T 11022—1999 中 6.2.6.2。

7.2.5 额定电压 252kV 以上 GIL 的试验

额定耐受电压按 GB 7674—1997 的规定，见表 3。

7.2.5.1 工频耐压试验

按照 GB/T 11022—1999 中 6.2.7.1 的规定。

7.2.5.2 操作冲击耐压试验

按照 GB/T 11022—1999 中 6.2.7.2 的规定，并作如下补充：

GIL 主回路仅作干燥情况下的操作冲击耐压试验。

7.2.5.3 雷电冲击耐压试验

按照 GB/T 11022—1999 中 6.2.7.3 的规定。

7.2.6 局部放电试验

局部放电试验应符合 IEC 60270 的规定，并按照 GB 7674—1997 中 7.1.9 进行，应在绝缘试验之后再进行局部放电测量。局部放电测量应在用于进行绝缘试验设备的整体或分装上进行。

注：工频耐压试验和局放试验可同时进行。

7.2.6.1 试验程序

将工频电压升高至工频耐压试验值并维持 1min，此时发生的局部放电可以忽略不计；然后将电压下降至表 6 中所规定的测量局部放电强度的电压值（根据被试设备和系统中性点结构类型而定）。熄灭电压应予以记录。

7.2.6.2 最大允许局部放电强度

相对于采用的试验回路，在如表 6 规定的电压下最大允许的局部放电强度不超过 5pC；单个绝缘件局部放电强度不超过 3pC。

表 6 PD 测量试验电压

设备型式	中心点接地系统		中性点非接地系统	
	预加电压 $U_{\text{pre-stress}}$ (1min)	PD 测量试验电压 $U_{\text{pd-test}}$ (>1min)	预加电压 $U_{\text{pre-stress}}$ (1min)	PD 测量试验电压 $U_{\text{pd-test}}$ (>1min)
单相外壳 (相对地电压)	$U_{\text{pre-stress}} = U_d$	$U_{\text{pd-test}} = 1.2U_r / \sqrt{3}$	$U_{\text{pre-stress}} = U_d$	$U_{\text{pd-test}} = 1.2U_r$
三相共筒外壳	$U_{\text{pre-stress}} = U_d$	$U_{\text{pd-test, ph-ea}} = 1.2U_r / \sqrt{3}$ $U_{\text{pd-test, ph-ph}} = 1.2U_r$	$U_{\text{pre-stress}} = U_d$	$U_{\text{pd-test, ph-ea}} = 1.2U_r$
注： U_r ——设备额定电压； U_d ——工频耐压试验电压；见 GB 7674—1997 中表 1 和表 2； $U_{\text{pre-stress}}$ ——预加电压； $U_{\text{pd-test}}$ ——PD 测量试验电压； $U_{\text{pd-test, ph-ea}}$ ——PD 测量试验电压，相对地； $U_{\text{pd-test, ph-ph}}$ ——PD 测量试验电压，相间。				

7.2.7 辅助设备和控制回路的绝缘试验

按照 GB/T 11022—1999 中 6.2.10 的规定。

7.3 无线电干扰电压试验 (RIV)

按照 GB/T 11022—1999 中 6.3, 并作如下补充:

这项试验仅适用于套管。

7.4 回路电阻测量

7.4.1 主回路

按照 GB/T 11022—1999 中 6.4.1, 并作如下补充:

温升试验和短路试验前后应对 GIL 的各个部件进行直流电阻测量。

测量电流应大于或等于直流 100A, 以获得足够的测量精度。

7.4.2 辅助回路

按照 GB/T 11022—1999 中 6.4.2 的规定。

7.5 温升试验

按照 GB/T 11022—1999 中 6.5, 并作如下补充:

应根据型式试验结果进行计算以确定特殊使用条件下的最大电流。计算可参见附录 A, 如需补充试验应由制造厂和用户协商确定。

总装或分装应包括带有防腐涂层的正常外壳, 并且防止过度地外部加热或冷却。试验应在流通的空气中进行。

在设计提供的可供选择的部件和布置型式中, 应对条件最苛刻的方案进行试验。除了每相单独封闭在金属外壳中外, 试验应在规定相数施加额定电流从装配的一端流向与试验电缆连接的端子。

若进行单相试验, 则壳内导体电流应代表最严重运行情况。

若对分装部件进行单独试验时, 相邻的部件应承载相应于额定条件下功率损耗的电流。若试验不能在实际条件下进行, 允许采用加热器或绝热方式来模拟等价条件。

不同元件的温升应参考周围空气温度的规定, 它们不应超过相关标准中的规定值。

注 1: GIL 导体能耗及电阻数值可用于附录 A 的计算。

注 2: 可根据 GIL 试验持续时间估算 GIL 短时过载能力。

7.6 短时耐受电流和峰值耐受电流试验

按照 GB/T 11022—1999 中 6.6, 并作如下补充:

如果设计提供了可选择的部件或布置方式, 则应在最严酷条件下对有代表性部件或布置方式进行试验。

7.6.1 GIL 和试验回路的布置

试验时应使用新的洁净触头。

三相共筒式 GIL 应进行三相试验。

分相式 GIL 应按照外壳中返回电流进行试验。

a) 若外壳承载运行中所有返回电流, 则 GIL 应进行单相试验, 外壳中流过全部的返回电流。

b) 若外壳不承载运行中所有返回电流, 则 GIL 应进行三相试验。试验应在制造厂规定的最小相间距离进行。

7.6.2 试验电流和耐受时间

按照 GB/T 11022—1999 中 6.6.2。

7.6.3 试验过程中 GIL 的性能

试验期间, GIL 的带电元件及其相邻元件的温升可能超过 GB/T 11022—1999 中表 3 规定的温升限值。虽然短时耐受电流试验没有规定温升限值, 但所达到的最高温度不应邻近部件造成损坏。

7.6.4 试验后 GIL 状态

试验后, 主回路的电阻值增加不得超过 20%, 在外壳内部件和导体不能出现变形或破坏以免影响其

长期正常的运行。

如果电阻增加并且无法直观检查确认各触头的状况，则需要进行附加的温升试验。

7.7 外壳强度的验证

如果外壳或其中一部分的强度未经计算时则应进行验证试验。在内部组件按设计压力的试验条件安装之前，对独立的外壳进行试验。

验证试验根据采用材料的不同进行爆破试验或非破坏性压力试验。

7.7.1 爆裂压力试验

在爆裂压力试验时压力升高速度不应快于 400kPa/min。

应根据以下要求进行爆破试验：

铸铝或铝合金外壳：型式试验压力为 3.5 倍设计压力；

焊接外壳：型式试验压力为 2.3 倍设计压力。

这些系数是根据所用材料能够保证最低特性确定的。

根据布置方式应考虑计入额外的系数。

所有经过耐受此压力而依然保持完整的外壳都应予以报废。

7.7.2 非破坏性压力试验

考虑非破坏性试验采用应变指示技术，应采用如下的试验程序：

试验前，能够指示 0.05mm/m 变形的应变计应提前贴在外壳表面，应变计的数量、位置和方向的选择应可以测出整个外壳上所有关键点上应力和应变值。

水压试验时应按 10% 的梯级逐步施加静态水压力至预定设计压力（见 8.5）的标准试验压力或外壳的任一部分出现明显变形为止。

当加压达到其中之一要求时，不可再继续进行加压。

应在压力升高过程中和重复下降过程中分别读取其应变量。

如果外壳无明显的普遍变形的证据，则局部的持久性的信号指示可忽略。

如果所记录的应变—压力曲线呈非线性，可以重新加压，但不超过 5 次，直到对应于连续两个周期循环的加载和卸载曲线实现吻合。如果达不到吻合，那么设计压力和试验压力应根据最终的卸载过程的曲线的线性范围来选取。

如果在应变—压力关系曲线的线性部分已达到了标准试验压力，则预定的设计压力应予以确认。

如果最终试验压力值或相应于应变—压力曲线的线性部分的压力范围小于标准试验压力，则设计压力则可按下式进行计算：

$$p = \frac{1}{1.1 k} \left(p_y \frac{\sigma_a}{\sigma_t} \right)$$

式中：

p ——设计压力；

p_y ——压力值，在此压力下有明显的变形或外壳卸载之后其应变符合应变—压力曲线的最大应变部分（见上述）；

k ——标准试验压力系数（见 8.7）；

σ_t ——试验温度下的允许设计应力；

σ_a ——设计温度下的允许设计应力。

可以任意选择两种破坏性压力试验程序的其中之一。

7.8 防护等级的确定

按照 GB/T 11022—1999 中 6.7，并作如下补充：

如果防护等级第二位特征数字已经规定，则应根据 GB 4208—1993 第 11 章和第 14 章进行试验来确

定其相称等级。

7.9 气密性试验

按照 GB/T 11022—1999 中 6.8 的规定。

7.9.1 外壳焊接连接

对于焊接连接应建立一套质量保证系统以确保焊接的密封性，如采用超声波探伤或 X 射线检漏法。

7.9.2 法兰带密封圈连接

按照 GB/T 11022—1999 中 6.8 作为通用条款。

7.10 电磁兼容性试验 (EMC)

按照 GB/T 11022—1999 中 6.9 的规定。

7.11 辅助设备和控制回路的补充试验

按照 GB/T 11022—1999 中 6.2.10 的规定。

7.12 直埋安装时的长期性试验

长期性试验应表征设备的电气寿命，考验 GIL 在现场实际情况下所能达到的机械强度寿命。试验应基于 GIL 中具有代表性的主要单元上进行。

应通过现场更换一段 GIL 来说明在现场检修的可能性。

7.12.1 长期运行情况的评估

评估其长期性行为应包括：

- 总装件的机械热力性能；
- 外壳的防腐性。

7.12.1.1 机械热力性能

除非正确地计算机械热力，否则由其引起的应力将会造成 GIL 的损坏和外壳的破裂。因此，对于直埋安装的 GIL 尤其需要考虑采用何种装置来吸收外壳的热胀冷缩。而试验时的长度也应确保实际运行过程中该长度的 GIL 所产生的机械热力位移是足够安全的。

注：回填材料的性能：

GIL 上的土壤性能的评估是困难的，除非使用已知性能的回填土。假定正常的土壤材料在温度 50℃~60℃ 之间具有一个干枯的热阻率值和低于该温度的非干枯数值，这些数值用于在附录 A 中的额定值计算。假设已知热阻率数值，可以计算出干枯数值允许的系统额定值（适用时）和土壤温度。

7.12.1.2 外壳防腐

运行中外壳防护涂层不被渗透是重要的。涂层的性能可以通过长期水浸试验或长期埋入潮湿土壤中的试验来评估。在这段时间内，GIL 应承受热循环以检查温度循环对水的转移的影响。涂层的劣化可以通过调节施加的试验电压和测量流过的泄漏电流来检测。

7.12.2 长期试验概要

在进行长期试验之前，制造厂应完成开发试验。这些试验的目的是为了确认完整 GIL 系统的长期运行性能且只需进行一次（除非 GIL 在材料、工艺和设计上有重大改动时）。试验的布置应由 50m~100m 长的 GIL 组成，包括辅助设备（气体监视装置、局放监测仪和压力释放装置）。用于系统中的每个组件至少有一种类型应进行试验，而且试验的布置应能反映出一种安装设计的特征。长期试验应超过 12 个月。

以下就试验程序给出指导建议。

长期试验前后应进行以下试验：

- a) 外壳及设定距离的 GIL（包括回填土壤）的温升试验（按照 GB/T 11022—1999 中 4.4.2）；
- b) 主回路电阻测量；
- c) GIL 内部的局部放电水平；

- d) 绝缘耐受试验;
- e) 气体泄漏率;
- f) 作为完整的试验, 须包含击穿试验。

长期试验应包括:

- a) 长期热循环。母线及任何受热应力作用的伸缩装置。
- b) 防腐性能。该试验包括了完整的布置及其附件, 用以估算热循环下的性能。
- c) 回填土性能。若回填土性能未知或未获保证时, 须进行该项试验。

7.13 隔板压力试验

该项试验的目的只是为了证明实际运行过程中使用的隔板的安全裕度。

绝缘隔板应按维护时的情况进行安装, 压力升高的速度应不大于 400kPa/min, 直至防爆膜破裂。

型式试验的压力应大于 3 倍的设计压力。

7.14 内部故障引起电弧条件下的试验

通常 GIL 充有以 N_2 为主的与 SF_6 混合的绝缘气体。

燃弧试验时, IEC 62271—203—2003 中 6.105 和附录 C 适用, 并作如下补充:

由于 N_2/SF_6 的混合气体的吸热性能低于纯 SF_6 气体, 因此在进行小气室试验时应特别注意其安全性, 也可采用压力释放装置用于保护。对于电弧的物理性能, 在以 SF_6 为主的 N_2/SF_6 混合气体中, 可以使得弧足部分的最大温度相应的减小, 因此, 不可能发生外壳烧穿这种情况。

7.15 滑动触头的特殊机械试验

该试验可检验可动触头等基本部件在设备设计使用寿命内的功能特性。

注: 由于触头测量和维护的难度, 该项试验对 GIL 是特殊试验。

触头应从下述方面来确认:

- 触头布置及原理;
- 触头材料 (包括特征和涂层厚度, 如果有的话);
- 触头压力 (最小—最大);
- 润滑 (如果有) 参见使用手册。

试验条件应指出:

- 触头行程;
- 触头速度;
- 循环数。

可采用电动试验装置来模拟带电导体预期的相对位移。

只要能达到下列条件, 则该试验是具有代表性的:

- 按最恶劣的条件进行试验, 考虑了不同类型的膨胀, 导体重量, 荷载等因素;
- 操作频率限定为每小时 6 个循环的数量级;
- 通用 GIL 的最小循环数为 10000 次。

在试验前后应进行下述检查和试验:

- 直观检查;
- 尺寸检查及触头压力检查;
- 接触电阻检查。

如果满足下列要求, 则认为通过试验:

- 直观检查表明原始镀层仍然完好;
- 触头的磨损没有使触头压力超出允许公差;
- 接触电阻变化小于或等于 20%。

7.16 直埋安装时的抗腐蚀试验

7.16.1 被动腐蚀防护

被动腐蚀防护系统主要是在金属外壳上形成覆盖层以防止金属受潮。覆盖层通常由一层或多层合成材料构成。

应进行如下三项试验。

7.16.1.1 电气试验

为了验证合成涂层的质量，应进行高压试验。导电层加在合成涂层上，然后根据合成涂层的绝缘强度在导电层与外壳之间施加试验电压。

试验电压的大小取决于合成涂层的类型，且应根据用户与制造厂之间的协议确定。

试品的长度应足以反映合成涂层的实际结果。因此，推荐的最短长度为 $5D$ ，其中 D 是金属外壳的外径。

7.16.1.2 机械试验

机械型式试验应按 IEC 60068—1 的要求在环境温度下进行。机械型式试验应证明涂层在现场敷设过程中及敷设之后的抵御能力，应证明能抵御的两种机械应力为：

- 涂层的弯曲；
- 金属物体或岩石对涂层的撞击。

布置方式的最大机械应力应由制造厂商放置 GIL 的方式和满足涂料规范的要求来决定。

7.16.1.3 发热试验

现场安装过程中敞开沟渠在白天和晚上所产生的最大温差变化。

GIL 外壳采用钝化防腐涂料时应规定其最大温差变化范围。

7.16.2 主动腐蚀防护

为了提高直接埋入土壤中 GIL 的安全性，有必要采取主动腐蚀防护。采用两种基本防腐系统：即牺牲阳极法和施加电流法。

主动腐蚀防护系统的设计和布置受以下因素影响：

- 金属外壳的特性；
- 涂层材料的类型；
- 涂层的数量；
- 涂层中的缺陷的数量；
- 涂层和土壤的电阻率；
- 土壤的 pH 值；
- 土壤湿度；
- 有无暂时或永久性地下水。

通过对不同影响因素的分析，根据现有理论和规范，按最小或最大保护电流设计系统布置。

电气防腐系统的型式试验仅仅适用于几种典型的环境，并且须与长期试验同时进行，见 7.12。

8 出厂试验

8.1 一般规定

按照 GB 7674—1997 第 7 章，并做如下补充：

绝缘例行试验最好在 GIL 整体上进行。根据试验的特性，一部分试验将在部件、运输单元或完整的安装上进行。例行试验用来保证产品性能能够与经过型式试验的设备性能一致。

由于有些长的部件需要拆装运输，所以厂家可能限制关键部件的例行试验（如绝缘子），这些关键部件的试验应在与使用条件相同的绝缘配置上进行。

需要进行以下试验项目：

- a) 主回路绝缘试验 (见 8.2);
- b) 辅助和控制回路的绝缘试验 (见 8.3);
- c) 主回路电阻测量 (见 8.4);
- d) 气体密封性试验 (见 8.5);
- e) 设计和外观检查 (见 8.6);
- f) 外壳压力试验 (见 8.7);
- g) 直埋安装时的抗腐蚀试验 (见 8.8);
- h) 气隔压力试验 (见 8.9)。

8.2 主回路绝缘试验

8.2.1 主回路工频耐压试验

见 GB 11022—1999 中 7.1, 并作如下补充:

GIL 主回路上的工频耐压试验应根据 7.2.4.1 或 7.2.5.1 在相—地和相间进行 (如果采用)。例行试验的试验电压应从表 2 和表 3 中选取。

试验应在绝缘气体的最小功能压力下进行。

8.2.2 局部放电测量

局部放电的测量是为了检测可能的材料和制造缺陷。

局部放电的测量应根据 7.2.6 的要求。局部放电的测量应和绝缘试验一起进行。

局部放电测量适用于关键元件如绝缘子, 它可以在完整的安装上进行 (如果可行) 或在运输单元上或独立的元器件上进行, 没有包含固体绝缘的单个元器件可以除外。建议在分装上和/或 GIL 部件上进行局部放电的监测。

8.3 辅助和控制回路的绝缘试验

见 GB/T 11022—1999 中 7.2。

8.4 主回路电阻测量

见 GB/T 11022—1999 中 7.3, 针对在工厂装配部分的主回路导体, 并做如下补充:

如果主回路的导体作为单件运输到现场再安装, 该导体的例行试验不必做。

全部测量均在制造厂的组装单元或运输单元上进行。所有的测量方法应和现场安装后的测量方法相比较, 使得在维护或修理期间有可能测量。总的电阻值不超过 $1.2R_0$, 其中 R_0 为型式试验中测量到的相应电阻的总和。

注: 如果焊接的质量已根据 8.7 进行了检查, 则不必对焊接点或连接件的电阻进行测量。

8.5 气体密封性试验

见 GB/T 11022—1999 中 6.8 和 7.4。

泄漏检测可以用吸气装置。吸气装置的灵敏度应至少为 $10^{-2} (\text{Pa} \cdot \text{cm}^3) / \text{s}$ 。如果发现泄漏点, 该泄漏点需要按 GB/T 11022 中描述的累计方法量化。

8.6 设计和外观检查

适用 GB/T 11022—1999 中 7.5。

8.7 外壳压力试验

8.7.1 工厂制造的外壳

压力试验应针对工厂生产的每一个独立外壳实施。

标准试验压力值应为设计压力值的 k 倍, 其中系数 k 的取值:

铝板和钢板焊接外壳取 1.3;

铸铝或合成铝合金外壳取 2。

测试压力至少维持 1.0min。在测试期间应无爆裂或永久变形发生。

8.7.2 现场焊接外壳

如果采用在现场焊接外壳，需有两种试验验证焊接的质量和完整性，即焊接鉴定和压力试验。

8.7.2.1 现场焊接检查

应对所有现场焊接部位采用专门技术进行控制检查以杜绝缺陷，专门技术包括 X 射线、超声波检测或其他等效的检测技术。表明试验通过的数据应按焊接外壳气密性的要求和相应的 ISO 标准。独立的压力容器和焊接性能方面的专家应对现场焊接工作进行确认。

8.7.2.2 压力试验

现场焊接在通过 8.7.2.1 所要求的试验后，要进行压力耐受试验，优先采用气压。此时系数 k 取 1.1。试验应在全部装配完毕的隔室进行。

测试压力至少维持 3min。在测试期间应无爆裂或永久变形发生。

应做好预防措施以确保试验期间压力释放装置不动作。

8.7.3 定期试验

下列情况可不进行定期试验。

- 外壳内所充气体为非腐蚀性，干燥、稳定的惰性气体；
- 对防腐蚀的外部涂层实施了监控。

8.8 直埋安装时的抗腐蚀试验

8.8.1 被动腐蚀的防护

在装置埋入地下之前进行的出厂电气试验可以验证腐蚀防护涂层的质量。通过在金属外壳和合成涂层外的导电涂层或环之间施加高电压的方法可以检测到空隙或间隙。有以下两种可能性。

8.8.1.1 GIL 预制单元试验

直埋的 GIL 是由涂层和预制的单元长度组成来实现被动腐蚀的防护。带涂层的预制单元应根据 7.16.1 进行电气试验。

8.8.1.2 GIL 完整段的试验

如 8.8.1.1 所述的预制并经电气测试后的单元长度在现场组装成 GIL 段。那么，每个焊缝都必须涂防腐涂层，该焊缝的防腐涂层应按 7.16.1.1 的要求进行电气试验。

8.8.2 主动腐蚀防护

主动腐蚀防护系统应根据 GIL 沿线的环境条件进行设计。保护电流和电位应根据土壤电阻以及酸度进行计算。

这些数据的测量应在 GIL 投运后进行。

8.9 隔板压力试验

每个隔板均应经受 2 倍的设计压力/1min 试验。

每个隔板在与实际运行方式相同的条件下进行压力试验应是可靠的。

隔板不应有过应力或泄漏的迹象。

9 现场试验

9.1 一般规定

安装完工后在投运前，GIL 应进行试验以检验设备的操作和成套设备的绝缘性能。

这些试验和验证应包括：

- a) 主回路绝缘试验（见 9.2）；
- b) 辅助回路绝缘试验（见 9.3）；
- c) 主回路的电阻测量（见 9.4）；
- d) 气体质量验证及气密性试验（见 9.5）；
- e) 检查和验证（见 9.6）；

- f) 电磁场 (EMF) 测量 (见 9.7);
- g) 直埋安装时的抗腐蚀试验 (见 9.8)。

为确保最少的干扰和减少水分侵入外壳的风险, 在 GIL 运行期间, 没有规定或推荐强制的、周期性的检查或关于外壳的压力试验。在厂家的指导手册上应有在任何情况下的参考规定。

厂家和用户应就现场调试试验计划达成一致。

9.2 主回路绝缘试验

9.2.1 概述

对 GIL 来说, 检验绝缘强度特别重要, 此做法可以消除可能引起运行中内部故障率增加的各种偶然因素 (如错接, 装卸、储存、安装中的损伤以及外部物体的误留等)。

由于试验目的不同, 这些试验不能替代型式试验或对运输单元以及尽可能在制造厂实施的出厂试验。它们是为了检查完整装置的绝缘整体性和上述偶然因素造成的缺陷, 这些试验作为出厂试验的补充。通常, 绝缘试验应在 GIL 全部安装完毕且充入额定压力的气体后进行; 如果是新安装的, 最好在所有现场试验之后进行。建议在隔室经过因维护或调整的拆卸后进行这样的绝缘试验。这些试验应与交付前说明设备电气状况所进行的逐步升压试验区分开。

现场试验并不总是能够进行, 如在与有关标准不符时, 试验的目的就是充电前的最后检查。重要的是所选的试验程序不能危害 GIL 的完好部件。

在选择试验方法时应综合考虑可行性和经济性如电源要求, 还要考虑试验仪器的尺寸和重量, 双方应就此达成一个专门的协议。

现场绝缘试验的详细程序应由制造厂和用户协商。

9.2.2 试验程序

GIL 应完全安装好, 并充以额定密度的绝缘气体。

由于某些部件的充电电流较大或它对电压的限制效应, 试验时它可以被隔离开, 例如:

- 高压电缆和架空线;
- 电力变压器和大多数电压互感器;
- 避雷器和保护火花间隙。

考虑到 GIL 的长度因素, 可在 GIL 分段上进行现场绝缘试验。基于这个事实, GIL 设计时应采取措施加装可以安装试验设备而不拆卸 GIL 的位置。

注: 1. 在确定可能被隔离的部件时, 应注意到完成试验后的重新连接可能会引入故障。

2. 为了尽可能对 GIL 进行试验, 设计中应包括上述每种情况下的可移动连接件。这里‘连接件’应认为是导体的一部分, 它可以容易地拆除并实现 GIL 上两个部分之间的绝缘, 这种隔离比拆卸隔离好。

GIL 每一个新装部分都应进行安装后的现场绝缘试验。

通常, 对于扩建部分进行绝缘试验时, 与它相邻的原有设备应不带电并接地。除非采取专门措施以防止它出现的击穿放电对原有设备带电部分的影响。

主要部件经过检修后或扩建段安装后都需要进行耐压试验, 试验电压可以加在现有的部分上, 以便可以对相关的所有部分进行耐压试验, 在这种情况下, 可按照对新安装的 GIL 同样的试验程序。

9.2.3 绝缘试验程序

需要从以下所列的试验程序中选择一种试验程序:

程序 A (推荐额定电压 $\leq 252\text{kV}$)

工频耐压试验持续时间为 1min。

程序 B (推荐额定电压 $\geq 363\text{kV}$)

工频耐压试验持续时间为 1min, 并且按表 6 第 2 栏进行 PD 测量, 应保证按表 6 第 2 栏 $U_{\text{pre-stress}} = U_{\text{ds}}$ 。推荐在 $U_L/\sqrt{3}$ 下进行 PD 测量, 由于该测量决定设备在运行了一段时间后是否需要维护。

PD 的测量实际的方法见 GB 7674—1997 和附录 C。

程序 C (推荐额定电压 $\geq 363\text{kV}$, 与程序 B 二选一)

工频耐压试验持续时间为 1min, 并且进行正、负极性各 3 次冲击耐压试验。

9.2.4 试验电压

应考虑到以下因素:

- 运输单元已经经过出厂试验;
- 安装整体的破坏性放电的可能性要大于单个功能模块;
- 应避免在正确安装的设备上的破坏性放电。

现场绝缘试验电压为出厂试验电压的 80%, 见表 2、表 3 规定。

在某些情况下, 由于技术或实际操作上的原因, 现场绝缘的电压数值可以减小, 详细情况见 GB 7674—1997 和附录 C 要求。

9.2.5 电压波形

电压波形的选择应按 GB/T 16927.1 的规定进行。关于试验电压发生器的信息见 GB 7674—1997 的附录 C.1。

9.2.5.1 工频试验电压

工频耐压试验对检测污染物 (如自由移动的导电微粒) 尤其敏感, 在大多数情况下, 对非正常电场结构也很有效。

电压波形应接近正弦, 两个半波应完全一样, 且峰值和有效值之比等于 $\sqrt{2} \pm 0.07$, 现有的经验是选用频率范围在 (10~300) Hz 之间。

9.2.5.2 冲击试验电压

- a) 雷电冲击电压试验对非正常电场结构特别敏感 (如电极的损坏)。基于现有经验, 波前时间延长到 $8\mu\text{s}$ 的雷电冲击电压是可以接受的。如果用振荡雷电冲击电压, 波前时间可以延长到约 $15\mu\text{s}$ 。

注: 在大型的 GIL 安装中, 需要考虑陡波的反射。

- b) 操作冲击电压试验所用的试验设备比较简单, 适用于更高额定电压的 GIL 的现场耐压试验, 对检测非正常电场结构和污染物的存在非常有效。操作冲击波 (包括振荡操作冲击) 的波头时间一般应为 $150\mu\text{s} \sim 1000\mu\text{s}$ 范围。

9.2.6 电压的施加

在试验中试验电压源可以接到被试相导体的任何方便的点。

至少由于以下原因之一, 出于方便和必要在现场经常要把 GIL 分成几段:

- 限制电压源的电容负载;
- 容易查找破坏性放电点;
- 限制破坏性放电的能量 (如有的话)。

在上述情况下, 不测试的和与测试段相隔离的 GIL 段均应接地。

对于三相共箱的 GIL, 在做规定的试验时, 试验电压每次应施加于每相与外壳之间, 其他两相应与接地的外壳相连。相间绝缘试验在现场不做。

9.2.7 评估试验

如果每段 GIL 都经受规定的试验电压并没有任何破坏性放电, 该 GIL 应被认为通过了试验。

如果在现场试验中有破坏性放电发生, 试验应重做。

重做试验的导则请参照 GB 7674—1997 的附录 C.6。

如果程序 B 中用了 PD 检测则应按 VHF/UHF 或声学方法, 最大的 PD 允许值为 10pC 或等效值。

注 1: 如果运用 VHF/UHF 或声学 PD 测试方法, 校准是不可能的, 而用 IEC 62271—203—2003 的附件 C7.5 的灵敏检查方法来取代。

注 2: 在现场噪声要 $\leq 5\text{pC}$ 是困难的, 需要对测试电路予以特殊的处理以达到良好的测量, 即使噪声 $\geq 5\text{pC}$, 试验对检测重大的缺陷仍然是有效的, 但对固定的导电微粒的检测是不适用的, 这是由于这类缺陷会引起非常低的

PD 被噪声盖住。在这种情况下, 如果没有检测到超过噪声水平的 PD 的试验是可以接受的。

9.3 辅助回路绝缘试验

见 GB/T 11022—1999 中 7.2, 并做如下补充:

绝缘试验应在新的接线上进行, 如果接线必须解开或电路里有电子元件, 这些电路不应被试验。

9.4 主回路的电阻测量

所有的测试应在完整的安装上进行, 并且试验条件应尽可能的和例行试验相似。

考虑各种不同的布置(如触头和连接的数量、导体长度等), 电阻的测量值不应超过模块或运输单元在例行试验最大允许值(见 GB/T 11022—1999 中 7.3)。

9.5 气体质量验证和密封性试验

测量应在装配的并充有额定压力的 GIL 上进行, 所有气室应分离。

绝缘气体的水分含量应确定, 水分含量应按照 6.2 的要求。

如果是使用混合气体, 应测量混合气中 SF₆ 气体含量。

如果 GIL 充的是 SF₆ 气体, 应参照 GB/T 8905 检查运行中气体状况。

处理气体的预防措施参见 IEC/TR2 61634。

注: 在气体取样和/或操作检查时(如提供集气袋或检测水分安装收集器时)应尽量做到 SF₆ 排入空气中的量最少。

9.6 检查和核实

应核对下列内容:

- a) 装配符合制造厂的图纸和说明书;
- b) 所有管接头的密封、螺栓和连接的紧固性;
- c) 接线符合图纸的确认;
- d) 包括加热器和照明在内的监控和调节设备的功能;
- e) 连接系统的正确连接。

注: 无论什么原因, 如果有一个或几个例行试验项目在工厂出产时没有做, 在现场这些试验应与安装后的试验相结合一起做。

9.7 (电磁场) EMF 的测量

GIL 外壳外部的电场应接近零。

在工频额定电流下, 距离 5cm 远的地方磁场应低于 10 μ T。

9.8 直埋安装的抗腐蚀试验

按 7.16 描述的要求对 GIL 的腐蚀保护涂层进行检查。

主动抗腐蚀保护系统的保护电流和保护电压在安装结束后应测量。

10 气体绝缘输电线路选型导则

对于使用中所给定的工况, GIL 分别要按正常负荷条件下的额定值和故障条件下的额定值来选择。

额定值应该根据标准中提出的关于系统的特性以及预计将来的发展来选取, 额定值见第 5 章。

由故障所强加的负荷应通过计算 GIL 在系统中所在位置的故障电流来确定。

当所有或部分 GIL 是直接掩埋在地下或水中, 应对其工作条件进行专门的校核; 当安装地点的环境条件恶劣, 如暴露在蒸汽、潮气、烟雾、易爆气体、重污秽(过量的灰尘或盐雾)中, 应对外绝缘和外壳及金属构件的防腐蚀提出特殊的要求。

11 查询、标书和订货中提供的资料

11.1 查询和订货时的资料

当查询或订购 GIL 设备时, 买方应提供的资料如下。

11.1.1 工程概述

- a) 地理位置;
- b) 电力系统中的作用;
- c) 电力系统额定和最高电压、频率、中性点接地方式;
- d) 电气接线;
- e) 安装场所;
- f) 环境条件。

11.1.2 使用环境条件

- a) 最高气温;
- b) 最低气温;
- c) 最大日温差;
- d) 相对湿度;
- e) 地震烈度;
- f) 土壤的热阻系数(直埋安装时);
- g) 日照强度(户外地面安装时)。

11.1.3 技术参数

- a) 型式(分相或三相共筒式);
- b) 额定电压(kV);
- c) 额定电流(A);
- d) 额定频率(Hz);
- e) 额定绝缘水平;
- f) 额定短时耐受电流(kA);
- g) 额定短路持续时间(s);
- h) 额定峰值耐受电流(kA)。

11.1.4 其他

- a) 敷设路径布置图及路径长度;
- b) 接口设备性能参数及相关要求;
- c) 竖井、隧道的通风条件;
- d) 相关土建结构特点及要求;
- e) 土壤的地质和物理结构(直埋安装时);
- f) 机械振动特性(在安装在桥梁上情况下);
- g) 运输条件。

11.1.5 特殊条件

除 11.1.1~11.1.4 的项目外, 查询者应指明可能影响投标和订货的每一种情况, 如特殊的安装条件、特殊的试验及特殊环境等要求。

11.2 投标时卖方应提供的资料

制造厂应根据需要以文字叙述或图示方式提供下列资料。

11.2.1 设备特性及性能保证

- a) 型式(分相或三相共筒式);
- b) 额定电压(kV)。
- c) 额定电流(A)。
- d) 额定频率(Hz)。
- e) 额定绝缘水平。

- f) 额定短时耐受电流 (kA)。
- g) 额定短时持续时间 (s)。
- h) 额定峰值耐受电流 (kA)。
- i) 局部放电。
- j) 年漏气率：
 - 1) 单个部件；
 - 2) 整套装置。
- k) 外壳正常感应电压。
- l) 温升：
 - 1) 导体；
 - 2) 外壳。
- m) 短时过载能力：
 - 1) 负荷倍数；
 - 2) 过负荷时间。
- n) 可靠性指标：
 - 1) 无故障运行时间；
 - 2) 检修周期；
 - 3) 故障平均修复时间。
- o) 损耗：
 - 1) 外壳；
 - 2) 导体；
 - 3) 其他。
- p) 内部燃弧，外壳不烧穿的最小耐受时间。

11.2.2 GIL 及其部件详细的情况

- a) 外壳的机械强度特性：
 - 1) 设计压力；
 - 2) 运行压力；
 - 3) 型式试验压力；
 - 4) 例行试验压力；
 - 5) 安全系数。
- b) 外壳和导体材料、尺寸。
- c) 外壳和导体电阻、电感、电容。
- d) 外壳连接方式；焊接、法兰连接。
- e) 导体连接方式；插接、焊接。
- f) 外壳接地方式。
- g) 在环境温度 20℃ 时的气体压力：
 - 1) 额定压力；
 - 2) 气体损失报警压力；
 - 3) 最低运行压力。
- h) 伸缩节：
 - 1) 总数；
 - 2) 最大角度及变化范围度；
 - 3) 最大伸缩循环次数；

- 4) 结构层数;
- 5) 层厚。
- i) 外壳和金属构件的防腐蚀措施。
- j) 压力释放装置:
 - 1) 装置的型式;
 - 2) 装置的设定压力;
 - 3) 装置动作的保护方法。
- k) 绝缘用气体的种类和额定密度,如采用混合气体应说明其比例和物理特性。
- l) 隔室:
 - 1) 总数;
 - 2) 气室体积。
- m) 隔室连接部分的密封件结构和性能。
- n) 固体绝缘子的材料:
 - 1) 放电强度和试验电压;
 - 2) 最大电场强度;
 - 3) 设计压力;
 - 4) 例行试验压力。
- o) GIL 标准段
 - 1) 长度;
 - 2) 重量。
- p) 运输:
 - 1) 最大运输单元的重量;
 - 2) 最大运输单元的外形尺寸;
 - 3) 最小起吊高度。

11.2.3 其他资料

- a) 型式试验证书或报告;
- b) 备品备件;
- c) 专用工具;
- d) 安装、运行维护要求;
- e) 辅助设备特性及要求;
- f) 气体的分析、取样、净化方法的详细说明;
- g) 维护设备的详细说明;
- h) 试验要求;
- i) 对土建要求;
- j) 对通风要求;
- k) 外壳连接要求;
- l) 隔室划分原则;
- m) 敷设要求;
- n) 分段、标准段、备用段选择原则。

12 运输,贮存,安装和运行维护

见 GB/T 11022—1999 第 10 章。

12.1 运输、贮存和安装条件

见 GB/T 11022—1999 中 10.1，并作如下补充：

内部的清洁对 GIL 的性能具有重要影响，因此应按制造厂要求采取适当防护措施，确保内部的清洁。

注：防护措施应包括：

- 在洁净的条件下连接 GIL 单元（配备有干燥空气、温度调节及正微压力的密闭安装间棚）；
- 安装时出现的敞口应用防尘罩或盖板临时盖住；
- 如果需要，安装后对整装 GIL 内部进行清理；
- 除了现场防御措施外，采用在 GIL 内预充干燥清洁气体的运输方法可以保持 GIL 内部元件的性能良好。

尽可能增大 GIL 标准段长度以减少现场安装量及污染风险。

应对 GIL 单元的连接面进行保护以防损伤密封面或预留焊接边沿。

对 GIL 单元进行现场焊接时，应采取预防措施以免金属微粒或污染性气体进入 GIL。

安装程序应包含在质量保证系统内。

12.2 安装

按照 GB/T 11022—1999 中 10.2，并做以下补充：

制造厂提供的任一类型 GIL 的安装说明书都应包含下列各项内容。

12.2.1 卸货和起吊

按照 GB/T 11022—1999 中 10.2.1 的规定。

12.2.2 组装

所有运输单元应有清晰的标记，组装图纸应与 GIL 一起提供。

12.2.3 装配

GIL 及其辅助设备的安装说明书中应有设备的详细位置及基础位置描述，以便完成现场的准备工作，并应给出每米 GIL 的平均重量。

12.2.4 连接

应提供下列信息：

- a) 与外部设备的连接；
- b) 外壳的连接；
- c) 导体的连接，包括避免 GIL 过热及不必要的应变的说明，足够的电气距离及保证值；
- d) 辅助回路的连接；
- e) 气体系统的连接，包括管子的尺寸和位置；
- f) 接地连接。

12.3 操作

按 GB/T 11022—1999 中 10.3 进行。

12.4 维护

12.4.1 GIL 的维护

维护的效果主要取决于制造厂提供的维护方法和用户的执行情况。

12.4.2 对制造厂的建议

- a) 制造厂应出版包含如下内容的维护手册：
 - 1) 维修的范围和频度。为此目的，应考虑下述因素：
 - 运行时间（周期性间隔）；
 - 环境条件（户外安装，隧道及竖井安装，直埋安装，短时或长期在水中浸泡的可能性）；
 - 来自测量、诊断试验（如果有）和状态监控的所有相关资料。
 - 2) 维护工作的详细叙述：
 - 推荐的维护情况；

- 检查、诊断试验、检验和检修的程序；
- 涉及到的图纸；
- 涉及到的零部件编号；
- 专用仪器及工具的使用；
- 应遵守的预防措施（如清洁度和产品电弧的影响）；
- 润滑措施。

3) 对维护工作很重要的 GIL 详细的完整图纸，图中有清楚的标识（部件编号和说明）GIL 维护工作进行的区域情况。

4) 对数值和误差进行限制，如果超出，需要进行校准，例如：

- 压力，密度值；
- 绝缘气体性能；
- 绝缘气体质量；
- 磨损件（例如：牺牲阳极保护）的允许腐蚀程度；
- 扭矩；
- 外壳螺栓连接的电阻；
- 腐蚀防护系统（至少是用于直埋安装）的状态。

5) 辅助维护材料的技术要求，包括对已知材料的非通用性的警告：

- 绝缘气体，如果不同于 GB 12022 的纯的 SF₆ 气体；
- 用于腐蚀防护的材料；
- 清洁剂及去油剂；
- 润滑油。

6) 专用工具清单（各制造厂提供规定的备品、备件专用工具明细表）。

7) 维护工作完成后的试验。

8) 备品备件及材料清单（说明，参考编号，数量）以及贮存建议。

9) GIL 运行后的计划检修时间的评估。

10) 考虑到环境要求，设备在其运行寿命终了时如何处置。

b) 制造厂应告诉 GIL 用户正确处理可能发生的系统缺陷及故障。

c) 备件的实用性：制造厂应保证自 GIL 出厂日期算起不少于 10 年内维修所要求的备件的连续可用性。

12.4.3 对用户的建议

a) 若用户希望自己完成日常维护，则应保证工作人员具有足够维护资格以及相应 GIL 的详细知识。

b) 用户应记录下列信息：

- 1) GIL 的系列编号及类型；
- 2) GIL 投运的日期；
- 3) 在 GIL 使用期间所进行的测量和试验（包括诊断试验）的结果；
- 4) 维护工作的日期和维护范围；
- 5) 所有故障报告。

c) 在缺陷或故障情况下，用户应写出故障报告并通知制造厂，说明特殊的环境条件和采取的措施。根据故障的性质、故障分析应与制造厂一同进行。

12.4.4 故障报告

做故障报告的目的是为了使 GIL 故障记录标准化：

- a) 用公用术语描述故障；
- b) 为用户统计提供资料；
- c) 向制造厂提供有意义的反馈。

下面将对如何做故障报告提供指导。

一个故障报告应包括：

- a) 对故障的 GIL 的鉴定：
 - 1) 装置名称；
 - 2) GIL 的情况（制造厂，型号，工厂编号，额定值）；
 - 3) 故障部位。
- b) GIL 的历史记录：
 - 1) GIL 试运行日期；
 - 2) 故障/缺陷发生日期；
 - 3) 最后维护日期；
 - 4) 出厂后对 GIL 进行的所有修改；
 - 5) 故障/缺陷被发现时，GIL 的情况（运行，维护等）。
- c) 分装配或部件的确认：
 - 1) 高电压下的元件；
 - 2) 金属接地元件；
 - 3) 气体绝缘；
 - 4) 触头装配（包括螺栓连接的触头）；
 - 5) GIL 内部的固体绝缘；
 - 6) 气体密封；
 - 7) 控制和辅助电压下的元件；
 - 8) 管件的配合；
 - 9) SF₆ 气体密度监测；
 - 10) 不明的或其他情况。
- d) 故障种类（征兆）：
 - 1) 击穿（固体绝缘）；
 - 2) 击穿（气体绝缘）；
 - 3) 承载电流故障；
 - 4) 机械功能的丧失；
 - 5) 气体泄漏；
 - 6) 压力释放装置故障；
 - 7) 外壳烧穿；
 - 8) 局部放电；
 - 9) 其他。
- e) 运行状况：
 - 1) 正常运行；
 - 2) 试验；
 - 3) 维护/检修过程中或之后；
 - 4) 退出运行。
- f) 操作状况：
 - 1) 无操作；
 - 2) 短路电流超过额定值；
 - 3) 工作电流超过额定值；
 - 4) 接入电网中的雷电过电压；

- 5) 接入电网中的操作过电压或快速暂态过电压;
- 6) 工频过电压;
- 7) 机械过应力;
- 8) 其他应力。

g) 原因:

- 1) 设计;
- 2) 工程;
- 3) 制造;
- 4) 对于安装、操作及维护的说明不充分;
- 5) 不正确的安装;
- 6) 内部污染;
- 7) 不正确的操作或人为过失;
- 8) 不正确的维护;
- 9) 超出技术要求外的应力 (例如: 不恰当的应用);
- 10) 环境: 温度、雨、雪、风暴等;
- 11) 腐蚀;
- 12) 磨损/老化;
- 13) 不明的或其他。

h) 维修形式:

- 1) 故障元件的现场维修;
- 2) 故障元件的现场更换;
- 3) 全部外壳的更换;
- 4) 要求的工厂修理;
- 5) 只是更换密封件或更换气体;
- 6) 采用另外设计的设备来更换故障设备;
- 7) 没有维修。

i) 结果:

- 1) 火灾和/或爆炸;
- 2) 必须立刻修理;
- 3) 将类似设备退出运行进行检查或修改以防再次发生故障;
- 4) 后果限制在故障部件, 不对 GIL 有其他影响;
- 5) 整个 GIL 退出运行;
- 6) 对类似 GIL 的影响;
- 7) 故障时没有可利用的余度;
- 8) GIL 停运时间;
- 9) 维修时间;
- 10) 劳力费用;
- 11) 备件费用。

故障报告应包括下列信息:

- 1) 图纸、示意图;
- 2) 故障元件的照片;
- 3) 所连电网的操作顺序和时间顺序;
- 4) 记录或曲线;

5) 参考的维护手册。

12.4.5 气体的处理

下述内容适用于充有气体 GIL，该气体可能对环境造成影响或者对操作人员产生危害。

对于采用 SF₆ 气体或混合气体的 GIL，采用 GB/T 8905 的规定。作为补充，推荐的内容如下：

通常，对绝缘气体处理的方式应不对环境或人员造成危害。如果气体本身或其分解物在某些运行条件下（如内部燃弧产生的分解物）会对人体造成伤害，则应采取安全预防措施以确保对有害气体的安全处理，并包括对事故中有害产物的净化。

应严格遵守使用气体的工作区中最大允许气体浓度的规定，这需要测量气体浓度的设备以及通风设施。当工作在电缆沟、隧道或竖井中靠近装置狭小区域时，这一点尤为重要。如果采用氮气和其他无毒气体，也应采取类似保护措施以防窒息。

如果采用的气体对环境有影响，在正常情况下（如维护，检修时），不应将它释放到大气中。这就要求利用气体处理装置来回收，其容积应与装置中的最大气室体积相匹配，应排除不正常的泄漏。含有杂质的气体应通过气体处理装置进行处理再使用；如果不可行，应送到专业从事废气净化/再处理公司进行处理。如果是有害废气，在处理和运输过程中应遵守相应的安全法规。

13 安全性

在安装准则指导下进行安装，在制造厂指导下使用和维护 GIL，只有满足这些条件，气体绝缘高压输电线路才能保证安全。操作和维护应该由专业的技术人员完成。

由于根本接触不到任何带电部件，因此 GIL 具有最大程度的安全性。尽管如此，无关人员严禁接近。

如果 GIL 安装在公众可靠近的场所，还需要附加的安全措施，下列两种敷设型式可考虑：

——直埋敷设，无直接入口但有明显标记，埋设的标记带应告知人们：此处理有电气设备，这些布置以及具有足够的埋入深度（典型的为 1m，见 3.3）应能避免任何偶然的接触。

——对于地上敷设，沿着 GIL 应设置围栏或类似的方法，以防止无意间的接触 GIL 或其配套设施。

本标准的下列技术条件提供了针对 GIL 的人身安全措施：

13.1 电气方面

- a) 主回路绝缘（见 5.2）；
- b) 接地（见 6.3）；
- c) 高压和低压辅助回路的隔离监控（见 6.4、6.5）；
- d) IP 代码（直接接触）（见 6.7.2）；
- e) 内部故障效应（见 6.9）。

13.2 机械方面

外部环境的作用或 GIL 与环境之间的相互作用产生的机械应力：

- a) 基础位移，地震，土壤荷载，风，雪（见 6.10.2、6.17）；
- b) 热膨胀（见 6.16）；
- c) 受承压部件（见 6.10.2、6.12、6.15）；
- d) 机械碰撞保护（见 GB/T 11022）。

13.3 发热方面

- a) 可接触部件的最高温度（见 5.5.2）；
- b) 可燃性（见 GB/T 11022）。

13.4 维护方面

- a) 气体处理（见 12.4.5）；
- b) 隧道中的维护作业人员（见 6.15）。

隧道中的维护作业人员应严格限制。需要维护时，必须认真规定维护条件，考虑到 GIL 的设计（隔

室的气体体积，压力释放装置等）及隧道空间。

c) 主回路和外壳的接地（见 6.3）。

14 环境方面

制造厂应规定设备运行寿命和环境方面的有关信息，按照 GB/T 11022—1999 中 10.4.1a) 中第 2 款的规定。

按照 GB/T 11022—1999 中 10.4.1a) 中第 10 款的规定，制造厂应规定设备不同部件（成分、重量、毒性等）关于拆解和寿命终结的处理程序。

附录 A

(资料性附录)

持续电流的估算

A.1 说明

此附录旨在确定与型式试验条件不同的运行条件下的 GIL 持续电流,例如直接暴露于日光下的户外 GIL,直埋 GIL,或设置强迫冷却的隧道内、竖井内的 GIL。另外,不同的相间距,不同的单相 GIL 的位置或不同的接地系统导致外壳电流的不同。持续电流的估算方法参见 IEC 60287—3—1。

A.2 总则

与所提到的标准不同的是,持续电流不仅通过计算获得,还通过对型式试验结果的推算获得。指定的标准可以用于计算。如果采用其他正确的计算方法,应进行说明。如果型式试验导体温升值不大于 15K,可以采用计算。

注:尽管 IEC 60287—3—1 的使用范围为电缆,但给定的计算方法对 GIL 是有效的,除非相应的前提条件不同(主要是相关尺寸)。

A.3 符号

D_c 导体直径, m;
 D_e 外壳直径, m;
 L GIL 长度, m;
 n 一个外壳内的相数;
 $\Delta\theta_c$ 导体平均温升, K;
 $\Delta\theta_{mc}$ 导体最高温升, K;
 $\Delta\theta_e$ 外壳平均温升, K;
 $\Delta\theta_{me}$ 外壳最高温升, K;
 $\Delta\theta_{ce}$ 导体外壳温差平均值, K;
 I_s 持续电流估算值, kA;
 K 热交换系数;
 α 电阻温度系数, 1/K;
 α_c 导体电阻温度系数, 1/K;
 α_e 外壳电阻温度系数, 1/K。

A.4 参考数据

下列参考数值从型式试验结果推算出来的:

- a) 通用的型式试验数据;
- b) 交流电阻;
- c) 损耗;
- d) 热阻系数;
- e) 热系数。

A.4.1 通用的型式试验数据

下列数值可以从完成的型式试验中导出或给出:

I_r 额定电流, kA;

$\Delta\theta_{co}$ 导体平均温升, K;

$\Delta\theta_{mco}$ 导体最高温升, K;

R_{dco} 环境温度下导体的直流电阻, $\mu\Omega$;

I_{co} 外壳电流, kA;

$\Delta\theta_{eo}$ 外壳平均温升, K;

$\Delta\theta_{meo}$ 外壳最大温升, K;

R_{deo} 环境温度下外壳的直流电阻, $\mu\Omega$;

$\Delta\theta_{ceo}$ 导体外壳平均温差, K。

注: 平均温度应根据全部试验长度温度测试图测定。

A.4.2 交流电阻

导体在平均温度下的交流电阻值 R_{co} 既可由 IEC 60287—3—1 和直流电阻测量值 R_{dco} 进行推算, 也可通过恰当的计算求得。

外壳在平均温度下的交流电阻值 R_{eo} 既可由 IEC 60287—3—1 和直流电阻测量值 R_{deo} 进行推算, 也可通过恰当的计算求得。

注 1: 接触点电阻也应考虑。

注 2: GIL 的电阻值应通过 GIL 的全部长度来确定。

注 3: 应考虑邻近效应, 参见 IEC 60287—3—1 或其他相关文献。

A.4.3 损耗

在导体平均温度下的导体功率损耗 P_{co} 应由下式确定:

$$P_{co}=I_r^2 \cdot R_{co}$$

在外壳平均温度下的外壳功率损耗 P_{eo} 应由下式确定:

$$P_{eo}=I_{co}^2 \cdot R_{eo}$$

应通过计算确定由涡流引起的外壳功率损耗 (参见 IEC 60287—3—1 或相关文献)。

A.4.4 热阻系数

导体和外壳间的热阻系数 T_{ceo} 由下式确定:

$$T_{ceo}=\Delta\theta_{ceo}/P_{co}$$

外壳与环境间的热阻系数 T_{eo} 由下式确定:

$$T_{eo}=\Delta\theta_{eo}/(n \cdot P_{co}+P_{eo})$$

A.4.5 热交换系数

IEC 60287—3—1 [空气 (气体介质) 中的热阻] 中给出的热阻 T 为:

$$T=1/(\pi \cdot D \cdot K \cdot \theta^{0.25})$$

式中:

K ——热系数;

D ——直径;

θ ——温差。

对应于 T_{ce} 及 T_e 的热系数 K_{ce} 和 K_e 分别为:

$$K_{ce}=1/(T_{ceo} \cdot \pi \cdot D_c \cdot \Delta\theta_{ceo}^{0.25})$$

$$K_e=1/(T_{eo} \cdot \pi \cdot D_e \cdot \Delta\theta_{eo}^{0.25})$$

注: 根据 IEC 60943, 电流与温升的关系为:

$$I^{1.67}=K' \Delta\theta$$

所以, 根据 IEC 60943, 热阻系数为:

$$T=1/(\pi \cdot D \cdot K \theta^{0.2})$$

A.5 电流额定值的估算

估算持续电流值时应考虑下列各项。

A.5.1 最大温升

因为计算是基于平均温升的, 下面的关系式是用来确定与导体平均温升有关的导体最大温升:

$$\delta \theta_{mc} = (I_s/I_r)^2 \cdot (\Delta \theta_{mco} - \Delta \theta_{co})$$

导体最大温升 $\Delta \theta_{mc}$ 为:

$$\Delta \theta_{mc} = \Delta \theta_c + \delta \theta_{mc}$$

外壳最大温升 $\delta \theta_{mc}$ 也可以用同样方法计算。

A.5.2 外来热量

估算外来热量的作用时应考虑相邻相间的影响。

A.5.2.1 内部损耗估算

导体在工作状态下的内部损耗:

$$P_c = (I_s/I_r)^2 \cdot P_{co} [1 + \alpha_c \cdot (\Delta \theta_c - \Delta \theta_{co})]$$

外壳在工作状态下的内部损耗:

$$P_e = (I_s/I_r)^2 \cdot P_{eo} [1 + \alpha_e \cdot (\Delta \theta_e - \Delta \theta_{eo})]$$

注: 若装置的布置不同 (如不同的相间距或不同的接地方式), 则损耗计算应相应修改。

A.5.2.2 外部热量

应考虑其他外部热量如太阳照射、相邻相的影响等。下面, 它们的影响用符号 P_s 表示。

A.5.3 热阻系数

A.5.3.1 内部热阻系数

应根据 A.4.4 中给出的公式对导体与外壳间的内部热阻系数 T_{ce} 进行计算。计算中用热交换系数。

A.5.3.2 外部热阻系数

A.4.4 中给出了户外安装时外壳与环境之间的热阻系数 T_e , 包括热交换系数、风等因素的影响忽略不计。

其他安装方式时的外部热阻系数 T_e 可根据 IEC 60287—3—1 或其他相关文献确定。

注: 外部热阻系数应采用外壳与环境之间总的热阻系数。

A.5.4 最大温升的估算

外壳温升平均估算值由下式确定:

$$\Delta \theta_e = T_e \cdot (n \cdot P_c + P_e + P_s)$$

外壳的最大温升:

$$\Delta \theta_{me} = \Delta \theta_e + \delta \theta_{me}$$

导体最大温升:

$$\Delta \theta_{mc} = \Delta \theta_e + \delta \theta_{mc} + T_{ce} \cdot P_c$$

A.5.5 允许温升

GIL 上 (导体, 外壳, 通道等) 任意一点的温升应根据相关 IEC 标准的允许最大温升确定。

A.5.6 持续电流的估算

持续电流的估算由本附录提供的关系式和方法确定。

A.6 参考文献

IEC 60943:1998 电气设备元件，特别是终端设备允许的温升规范。

附 录 B
(资料性附录)
接 地

B.1 总则

接地系统设计目的是在标称或异常运行情况下保障人身及设备的安全。

B.2 电压升高的安全限值

接地系统的设计应考虑故障电流引起的电压升高,外壳暂态电压及高频电流以及某些类型的屏蔽电压和稳态电压。

接触电压、跨步电压以及转移电压的人身安全允许值应根据 IEC 60497—1、IEC 60497—2 内容确定。应注意遵守当地电压(稳态电压、感应电压)强制性规程。

B.3 外壳

GIL 的导电外壳通常应处于地电位或接近地电压。

B.4 接地电极

接地电极为故障电流和外壳暂态电压引起的高频电流提供了低阻抗通路。

接地电极的设计应考虑系统中所处位置的最大接地故障电流和故障持续时间以及土壤电阻率,以防出现危险的电位差。

接地电极截面积的选择应能适应系统中该位置的最大故障电流和持续时间,且在可接受的温升范围内。

任何接头的设计都应考虑到系统中该处的最大故障电流和持续时间。

接地电极的设计应考虑在安装及故障情况下可能出现的机械应力。

接地电极的材料应做防腐处理。

B.5 接地系统的导体

接地系统的导体应能耐受故障电流和暂态电压引起的高频电流,有时导体将承受零序电流或工频环流。

接地导体设计应考虑到所有需要承载的电流而不出现危险的电位差。

接地导体应有足够宽度(通常大于 50mm),应尽可能短,并尽可能自由变更方向以降低自感。应避免锐角弯曲。

导体截面的选择应满足在允许温升范围内的任何需要承载的电流。

任一接头设计应满足所有电流流经接头的要求。

导体设计应考虑故障情况下可能出现的机械应力。

B.6 接地系统的连续性

保证输电管线两侧接地系统的连续性对提供零序电流的低阻抗通路十分必要。

在无法利用外壳来提供接地连续性时,有必要单独设置一个连续性接地体。

B.7 感应电压

接地系统的设计应避免产生大的接地电流,因为这样可能在其他部门所属的通信回路,管线中产生

危害性感应电压。

B.8 暂态外壳电压

有些操作如开关操作（尤其是断开操作）、故障、雷击和避雷器动作等产生快速的瞬时现象，在这些条件下，外壳的不连续性（如支架连接处的绝缘法兰，或气体—空气套管）将导致高频电流耦合并沿外壳表面传播从而引起外壳电压上升，故应在设计中对限制暂态电压的影响有所考虑。

B.9 非线性电阻

为了保护设备免受暂态过电压的影响，应在未接地的外壳终端设保护装置（非线性电阻）。

设备的额定电压应与由短路电流的感应产生的标准电压相配合（见 B.10.2.2.1 和 B.10.2.2.2），设备应具有足够的吸收能量及高频反应能力。

将连接线长度最小化以及将大量设备并联可以产生一个低感应接地系统。

B.10 连接和接地

借助于对电缆电路的分析，可采用下列连接和接地系统。

B.10.1 三相输电线路

若三相输电线路为共筒式，则外壳应在输电线路两端接地。线路两端之间，外壳通常具有足够的接地连续性，不需要另外的接地连续性导体。外壳上流过的工频电流将会最小，并对输电线路总的热量扩散影响很小。

外壳可能需要沿线路在附加位置接地，以减少内部故障情况下地电压升高。

B.10.2 单相输电线路

在分相布置的三相输电线路中可能会有大量的接地和屏蔽系统，沿线路长度不只一个接地系统。

B.10.2.1 固定连接

外壳每个末端连接处流过的工频环流会减少外壳间的磁场，且因此沿外壳的感应电动势降到很小的数值，环流会影响输电线路的总热损耗。

外壳通常在线路的每个末端以及为内部故障情况下降低地电位升高所需要的附加位置连接和接地。

B.10.2.2 特殊连接

若环流可能导致发热超过限值，应设特殊连接。

B.10.2.2.1 单点连接

若外壳在一点连接和接地，外壳之间的磁场将沿外壳感应出电动势和稳态电压。

单点连接阻止环流的流动，但外壳壁上通常会感应出涡流且会增加输电线路总热损耗。

稳态电压与导体电流、导体的对地距离和外壳间距的增加成正比。

有必要设置独立连续接地体。接地体的设计应考虑系统中安装地点的最大接地故障电流。接地连续导体的位置可以沿其长度方向换位敷设以平衡外壳感应电动势并避免环流。

外壳可以在一端连接并接地而另一端与地绝缘（末端连接），或在中点连接并接地，而在两端末端与地绝缘（中点连接）。输电线路可能由大量的单元段组成，每一个单元段单点连接。

为防止暂态电压的影响，保护装置（非线性电阻）应连接在外壳与地绝缘的单元段末端。

B.10.2.2.2 交叉连接

在交叉连接系统中，外壳的每个单元段依相旋转串联连接，因此，在三个单元段后沿外壳上的感应电动势总和趋于零。这样，外壳电压被控制住，且环流也基本消除。但是，外壳壁上通常存在涡流，它会影响输电线路总的热损耗。

外壳可以在输电线路的末端固定连接并接地，整个长度内连续的交叉连接或在大量主要段的末尾固定连接并接地，每个主段包括三个交叉连接的小段（分段的交叉连接）。

为了防止暂态电压的影响，保护装置（非线性电阻）连接在外壳与地绝缘的单元段的末端。

固定连接的位置接地电阻较高，需要一个独立接地连续导体以防止在内部故障条件下，保护装置超过额定值。

B.11 适用于直埋安装方式

在采用直埋方式的地方，接地系统的设计应满足 6.19 中规定的防腐蚀的要求（见图 B.1）。

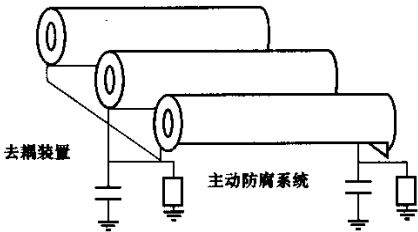


图 B.1 固定连接情况下接地系统与有效防腐系统在一起的示例

接地系统的设计应与防腐蚀护套的绝缘水平相协调。

应提供可移动的连接件，以便能对 8.8.1 中规定的被动腐蚀防护进行电气的试验。

接地系统和主动防腐的设计应相互协调，以便电流从外壳流入大地时不会损坏主动腐蚀防护系统。

B.12 参考文献

IEC 60479—1994 电流对人类和家畜的影响——第 1 部分：一般方面。

IEC 60479—1987 电流通过人体的影响——第 2 部分：特殊方面——第 4 章：频率 100Hz 以上交流的影响；第 5 章：特殊波形电流的影响；第 6 章：短持续时间单向单脉冲电流的影响。

附录 C

(规范性附录)

GIL 内部故障燃弧情况下的试验方法

C.1 简介

GIL 内部故障引起的电弧往往伴随着各种物理现象。

例如, 外壳内部电弧发展产生的能量会引起内部过压力和局部过热, 它们会导致 GIL 热的和机械的应力。

该试验考虑了内部过压力的效应和电弧的热效应或电弧根部对外壳的热效应, 但没有包括可能对公众构成威胁的所有效应, 例如有毒气体。

C.2 短路电弧试验

C.2.1 试验布置

选择被试对象时, 应参照 GIL 的设计文件, 应选择最没有可能耐受电弧发生时的压力和温升的隔室。无论何种情况, 应关注以下几点:

- a) 每个试验应在没有预先承受过电弧试验的试品上进行。进行过电弧试验的试品应予以修复, 以便进一步的电弧试验时不受影响。
- b) 试品应完整装配和安装, 并包括制造厂为限制电弧效应所提供的所有保护装置 (如压力释放装置, 短路装置)。

如果具有相同的容积和外部材料, 以及在耐受电弧方面与原件的反映相同, 则可以使用“模型”。

- c) 试品应充以额定压力的绝缘气体。

C.2.2 施加的电流和电压

单极外壳应进行单相试验, 而三极外壳则进行三相试验。

C.2.2.1 电压

如果满足下述条件, 试验可以在外施电压低于试品的额定电压时进行。

- a) 电弧电流实际上呈正弦波形;
- b) 电弧不会提前熄灭。

C.2.2.2 电流

- a) 交流分量。试验开始阶段交流分量应在 $0 \sim +10\%$ 的误差范围之内。

在第一段保护的持续时间内, 允许误差为 $\pm 10\%$, 并在第二段保护的持续时间内, 电流的平均交流分量不小于规定试验电流, 且不低于 80% 的规定值。

注: 如果试验站不同意, 试验耐受时间可以延长, 但不应超过 20% , 进行评估时对时间进行适当调节。

- b) 直流分量。短路关合瞬间的选择应保证电弧电流第一个半波的峰值为规定试验电流交流分量有效值的 1.7 倍。

对于三相试验, 该要求适用于至少一相的电流。

C.2.2.3 频率

对于 50Hz 或 60Hz 的额定频率, 试验开始时频率应在 $48\text{Hz} \sim 62\text{Hz}$ 之间。对于 $16\frac{2}{3}\text{Hz}$ 或 25Hz 的额定频率, 允许在 $(1 \pm 10\%) 25\text{Hz}$ 范围内进行试验。如果试验耐受时间不少于 0.1s , 则试验开始阶段的频率也应限制在 $48\text{Hz} \sim 62\text{Hz}$ 之间。

C.2.2.4 试验的持续时间

电流的持续时间应能覆盖根据保护装置确定的期望的持续时间选择的第二段保护的持续时间。

注：作为资料，第一段保护的故障切除时间对 40kA 及以上的电流为 0.1s，对于较小的电流时则为 0.2s。第二段保护的时间对 40kA 及以上的电流不超过 0.3s，对于较小的电流为 0.5s。

C.2.3 试验程序

C.2.3.1 试验连接

选择电流的馈入点应是可能导致最严酷条件的点。

在试验条件下不可放松对连接重要性的关注。通常，在试验电流施加的同一侧的外壳都被接地。

C.2.3.2 起弧

通过适当直径的金属导线可以引发电弧。

选择的引发点应为电弧最有可能在试品内建立起最高应力的位置。通常，当电弧在远离送电点和压力释放装置（如果装有的话）隔板附近引发时，就认为达到了这一要求。

注：电弧不应通过在固体绝缘上冲孔引燃。

C.2.3.3 试验过程的测量和记录

如下参数应予以绘制和记录：

- a) 试验电流和试验耐受时间；
- b) 电弧电压；
- c) 试品隔室两端的压力。

以下现象应采用适当的方式，如照相机、发光探测器进行记录：

- a) 压力释放（不论是通过压力释放装置或外壳穿孔）；
- b) 外部效应。

注：推荐延长外部效应记录，直到故障切除后 120s。

C.2.4 试验报告

试验报告应给出如下内容：

- a) 试品的额定值和描述，外壳和导体的材料，以及表明主要尺寸和压力释放装置（如有的话）布置的图纸；
- b) 试验连接的布置、燃弧引发点和压力测量传感器的位置；
- c) 示波图导出的电流、电压、能量、压力和时间；
- d) 试验结果和观察的准确描述；
- e) 压力释放（如果有的话）的瞬间；
- f) 外部效应（如果有的话）的出现；
- g) 其他相关的备注；
- h) 试验前后的试品状态的照片。

附 录 D
(资料性附录)

IEC 62271—203 提供的额定绝缘水平

标准“IEC 62271—203 高压开关设备和控制设备 第3部分：额定电压 52kV 以上气体绝缘金属封闭开关设备”中额定绝缘水平规定列于表 D.1、表 D.2 中，供使用中参考。

表 D.1 IEC 62271—203 中的额定绝缘水平

额定电压 U_r (有效值) kV	额定短时工频耐受电压 U_d (有效值) kV		额定雷电冲击耐受电压 U_p (峰值) kV	
	相对地、开关断口两 端、相间	隔离断口两端	相对地、开关断口两 端、相间	隔离断口两端
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
72.5	140	160	325	375
100	185	210	450	520
123	230	265	550	630
145	275	315	650	750
170	325	375	750	860
245	460	530	1050	1200
注：栏 (2) 的各值适用于： a) 对型式试验、相对地和相间； b) 对出厂试验，相对地、相间和开关断口两端。 栏 (3)、(4) 和 (5) 中的各值仅适用于型式试验。				

表 D.2 IEC 62271—203 中的额定绝缘水平

额定电压 U_r (有效值) kV	额定短时工频耐受电压 U_d (有效值) kV		额定操作冲击耐受电压 U_s (峰值) kV			额定雷电冲击耐受电压 U_p (峰值) kV	
	相对地、 相间 (注 3)	开关断口两 端和 (或) 隔离断口两 端 (注 3)	相对地、开 关断口 两端	相间 (注 3 和 4)	隔离断口 两端 (注 1、2 和 3)	相对地、 相间	开关断口和 (或) 隔离断口两端 (注 2、3)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
300	460	595	850	1275	700 (+245)	1050	1050 (+170)
362	520	675	950	1425	800 (+295)	1175	1175 (+205)
420	650	815	1050	1575	900 (+345)	1425	1425 (+240)
550	710	925	1175	1760	900 (+450)	1550	1550 (+315)
800	960	1270	1425	2420	1100 (+650)	2100	2100 (+455)
注：1. 栏 (6) 也适用于一些断路器，见 IEC 62271—100。 2. 栏 (6) 中括弧内的值是施加到对面端子上的工频电压峰值 $U_r\sqrt{2}/\sqrt{3}$ (复合电压)。 栏 (8) 中括弧内的值是施加到对面端子上的工频电压峰值 $0.7U_r\sqrt{2}/\sqrt{3}$ (复合电压)，见 IEC 60694 的附录 D。 3. 栏 (2) 各值适用于： a) 对型式试验：相对地、相间； b) 对出厂试验：相对地、相间以及开关断口两端。 栏 (3)、(4)、(5)、(6)、(7) 和 (8) 的各值仅适用于型式试验。 4. 这些值可用 IEC 60071—1 (1993) 表 3 中规定的扩大因子导出。							

附录 E (资料性附录)

西门子公司和 CGIT 公司提供的 GIL 部件图

西门子公司提供的 GIL 组件示意图见图 E.1，CGIT 公司提供的 GIL 组件见图 E.2。

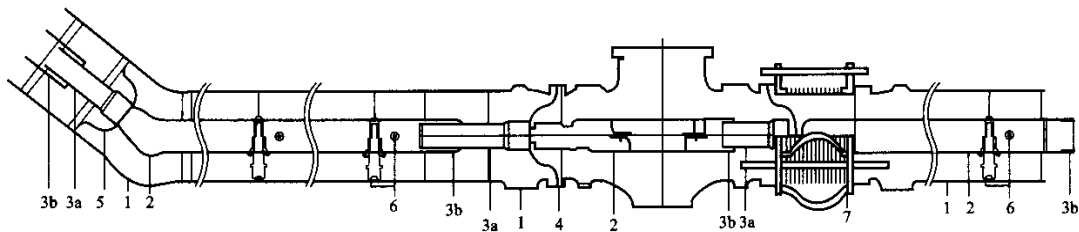


图 E.1 西门子公司提供的 GIL 组件示意图

1—外壳；2—导体；3a—内滑动触头；3b—外滑动触头；
4—盆式绝缘子；5—支柱绝缘子；6—连接导体；7—伸缩节

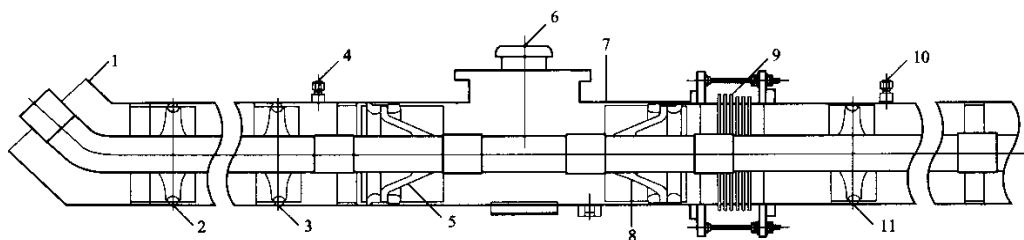


图 E.2 CGIT 公司提供的 GIL 组件示意图

1—弯管；2、3、11—支柱绝缘子；4、10—充气阀；5、8—盆式绝缘子；
6—防爆膜；7—外壳；9—伸缩节