

气体绝缘金属封闭开关设备(上)

西安高压电器研究所有限责任公司 李建基

气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)是将变电站内除变压器以外的一次元件诸如罐式的断路器、隔离/接地开关、电流互感器、电压互感器、避雷器等集成为一体,封闭于充有一定压力 SF_6 气体的金属外壳之内而形成的组合电器。

1 GIS 结构特点

1.1 GIS的优势

GIS使用压缩的 SF_6 气体,克服了常规敞开式开关设备的许多限制。它具有如下优势:(1)大大减小了开关设备的占地面积,如对420kV变电站而言,GIS与敞开式设备占地面积之比为1:8。(2)完全不受大气条件的影响,如工业区的污秽、沿海区的盐雾及被污染的气候。(3)提供了高度的运行可靠性和人身安全。(4)容易安装在那些现场受限制的地方(如地面不牢固或地震活跃的地区)。(5) SF_6 气体的耐压强度比空气高得多,而且它无臭,不易燃。

1.2 GIS的安装方式

GIS有2种型式:户外型和户内型。这2种类型结构基本相同,只是户外型需要附加防气候措施,以适应户外环境。这2种型式的GIS在世界已运行20多年,都取得令人满意的效果。

在日本,大多数GIS安装在户外,没有任何保护的建筑物,并于1969年正式投运。日本是世界上使用GIS最多的国家。在英国,GEC和Reyrdle公司的GIS于1976年也用于户外。但近年来,在英国出于技术经济等原因,有将GIS装于户内的倾向,以减少环境对它的影响。在我国,GIS户外、户内2种安装方式都有。

户外GIS产品,可为用户省去建造建筑物的大笔费用。

1.3 GIS的布置

GIS按变电站的接线方式,可分为单母线、双母线、单(双)母线分段、桥形接线、1/2断路器接线等。

在GIS中,所有带电部分封闭在充气壳体内,壳体分成许多独立隔室。这样可使需维护或检修的隔室隔离,而其他隔室仍处于气压状态之下。图1示出双母线系统的单间隔接线图。图2和图3分别示出145kV以下及220~800kV 2种不同GIS间隔的布置。

1.4 GIS的壳体

GIS的壳体对整个GIS构成电气上的集成和接地,既有三相共筒式也有单相式。三相共筒式壳体设计的优势如下:

- (1) 每个馈线需要的壳体数量少(1/3)。
- (2) 在三相共筒式结构中,相对地电弧在几ms内因导体

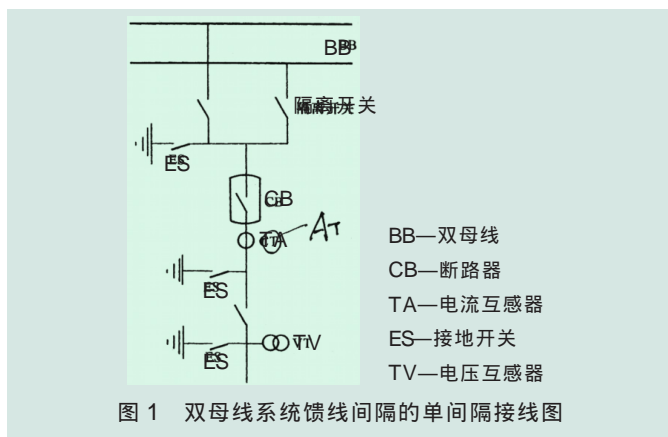


图1 双母线系统馈线间隔的单间隔接线图

之间间隙气体被电离而发展成相-相故障,同时相对地电弧熄灭,这样壳体就不会被烧穿。同时罐体上基本无电磁感应电流流过,也几乎没有因涡流引起能量的损失。

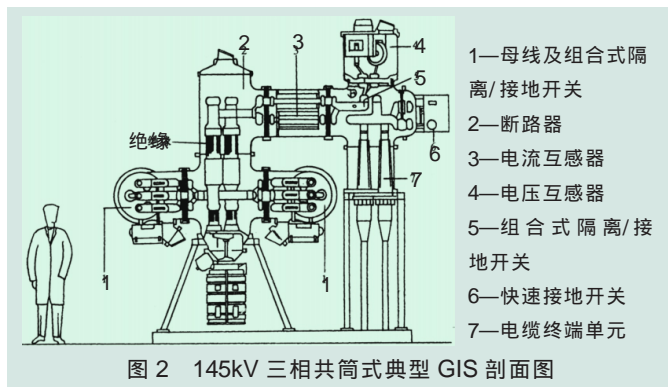


图2 145kV三相共筒式典型GIS剖面图

(3) 对同一参数而言(电压水平、导体大小、相间距离和相-地距离)三相共筒式中电场强度比单相减小约30%,因而不易发生故障。同时由于 SF_6 气体密封面和结合面减少,仅为三相分相式的1/3,故大大减少了漏气概率。

(4) 由于省去了断路器、隔离开关和接地开关的相间复杂的连杆和连接件,这就简化了操动系统。

三相共筒式壳体用于252kV以下电压等级,而更高电压等级需用分相式结构。

1.5 壳体材料

GIS壳体用的材料有铝和钢2种。但是钢在单相壳体的使用,被限制于较小电流系统,因为存在环流和涡流,使壳体内产生电损耗和热损耗。在高压力三相共筒式和单相式GIS中,钢的主要缺点是不易成型,难以焊接成相同的均匀形状,而用铝铸壳对于给定气压和导体结构,能保证最佳场强分布。因

此, 新一代 GIS 外壳向轻型铝合金外壳方向发展。

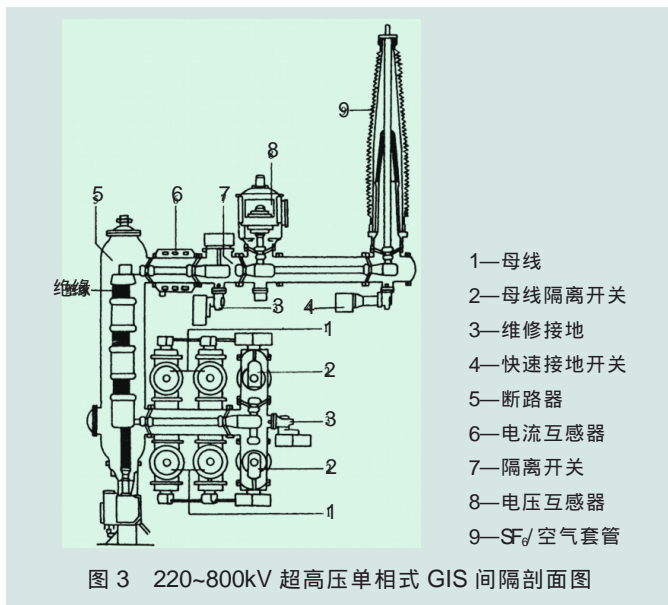


图 3 220~800kV 超高压单相式 GIS 间隔剖面图

1.6 SF₆ 气体压力

从 SF₆ 绝缘气压压力看, GIS 有 2 种基本的设计: 高压 GIS (约在 0.5~0.6MPa) 和低压 GIS (约在 0.12MPa)。对于 72.5kV 及以下, 适用低压 GIS 设计; 而对于更高电压级, 高压 GIS 的优势占上风。

SF₆ 气体压力越高, 则绝缘强度越高。因而对于给定电压等级来说, 可减小所需的导体间距, 使之设计更加紧凑。另一方面, 绝缘强度的提高比压力提高速率缓慢。其理由是 SF₆ 气体在高压下对导体和壳体表面的粗糙度和污秽的敏感性增加, 反而会降低产品的可靠性, 而且增加维修工作量。随着气压的增高, 要使提高的压力得到充分利用, 需要使电场分布均匀。因之, 对于增高 SF₆ 气压来说, 必须确保导体、元件及壳体的形状均匀。

由以上可知, 应限制 SF₆ 气体的气压, 使之不因高压 SF₆ 气体的缺点凸现而减小设计的经济性。

同样, 对于 126kV 及以上电压等级来说, 将压力限制太低, 会使壳体变大, 生产成本增加, 材料消耗加大, 以及建筑物扩大, 从而也降低了设计的经济性。

选择 SF₆ 气体压力时另一个重要考虑是出现漏气时对 GIS 性能的影响。漏气会使 SF₆ 气体压力自行下降, 这就意味着减小了乃至整个开关设备的绝缘强度。在高压 GIS 中, 当 SF₆ 气体额定压力约为 0.4MPa 时, 严重漏气时会使压力下降至 0.1MPa, 结果造成绝缘强度及 BIL (基本冲击水平) 下降到约为额定值的 75%。另一方面, 对低压 (额定压力 0.12MPa) 来说, 同样的泄漏会使绝缘强度劣化 15%。

1.7 导体系统

GIS 导体一般为铝管, 其直径和壁厚取决于电压和额定电流。铜弹簧触指构成触头插座, 铜插件构成触头插头。触头表面镀银, 并将触头焊到铝导体上。导体系统连同支持绝缘子必须精心设计, 使之能耐受正常工作和短路条件下的电、热和机械负荷。

1.8 固体绝缘支撑件

固体绝缘件在 GIS 中对高压导体起物理支持作用, 并对 GIS 起操作作用。它们有各种形状, 诸如盘形、锥形和支持件。固体绝缘材料置于压缩的 SF₆ 介质中, 会使 SF₆ 通道中的电场分布发生畸变。在 GIS 中用支撑件引起的严重问题如下: (1) 支撑件因固体材料老化限制了系统的电压梯度 (kV/m)。 (2) 支撑件影响 GIS 的短时特性 (如绝缘强度), 这里有许多因素。

2 GIS 基本组成元件

GIS 的基本元件包括断路器、隔离开关、接地开关、电压和电流互感器、避雷器、套管 (电缆终端)、母线及密度监视装置等。

2.1 断路器

断路器是 GIS 的中心元件, 由灭弧室及操动机构组成。灭弧室封闭在充有一定压力的 SF₆ 气体壳体内。断路器按灭弧原理可分为: 压气式、热膨胀式和混合式。所配操动机构有液压、气动、弹簧及液压弹簧机构。

20 世纪末, SF₆ 断路器已达到 550kV 63/50kA 单断口水平, 从而开发出 550kV 63/50kA 单断口 GIS 和 1100kV 50kA 双断口 GIS。由于断口的减少, 使 GIS 大大小型化。在 126~252kV 电压等级, 由于采用三相共筒式和复合式结构, 使之 GIS 小型化和轻量化。由于灭弧室利用热膨胀和混合式灭弧原理, 使之操作功大为减小, 使轻型弹簧机构的应用成为可能。

作为断路器的操动机构, 有液压机构、气动机构、弹簧机构、液压弹簧机构及电动机机构。液压、气动和液压弹簧机构配用于高电压大容量断路器。

目前液压弹簧操动机构使用较多, 不仅配 ABB 公司产品, 而且配国内一些产品。

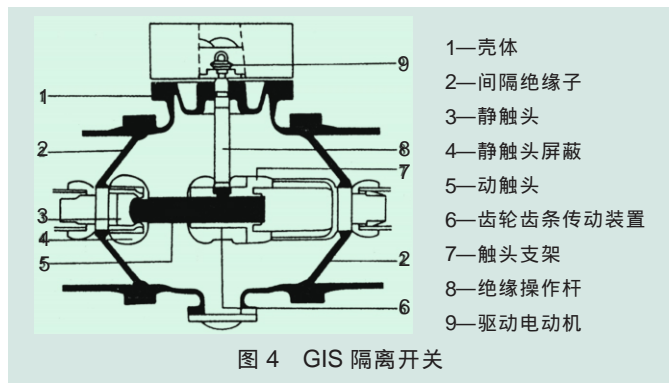
液压弹簧操动机构主要有 AHMA 型和 HMB 型 2 种。其基本原理相同, 都采用弹簧作为储能元件, 液压作为操作元件, 将液压与弹簧的优势集于一体。在结构上, 两者均采用集装结构, 无外接管路, 结构紧凑。两者最大的差别是 AHMA 型的所有元件装于铸造缸体内, 围绕缸体形成圆形布置, 而 HMB 型则为集装板块结构, 布置灵活方便。目前, ABB 公司用这种液压弹簧操动机构装备它的 LTB 型户外断路器、EIK 型 GIS 断路器、HG 及 HEC 型发电机断路器、PM 及 PASS 型等罐式断路器。

弹簧操动机构和电动机操动机构目前主要用于 126~252kV 电压等级。弹簧机构按采用的弹簧形式分类, 有螺旋压缩弹簧机构 (如 Alostom 公司的 FK-3 系列弹簧操动机构)、扭簧机构 (如三菱公司的 BM-2 型弹簧操动机构)、碟簧机构 (如 ABB 公司的 HMB 型液压弹簧操动机构)。

电动机操动机构是 ABB 公司最新推出的一种新型操动机构。它完全不同于液压、气动和弹簧操动机构。在这种机构设计中, 用具有足够转矩的电动机直接操动断路器, 而电动机由电子器件控制。ABB 公司已将这种机构用于它的有关断路器中。

2.2 隔离开关

隔离开关由绝缘子壳体和不同几何形状的导体构成最佳布置,如图4所示。铜触头用弹簧加载,使隔离开关具有高的电性能和机械可靠性。隔离开关必须精心设计和试验,使其能开断小的充电电流,而不会产生过高的过电压,否则会发生对地闪络。隔离开关和接地开关的操动机构对大多数GIS为同一设计。其主要特点是电动或手动操作,电气连锁以防误操作,且终端位置可机械连锁。

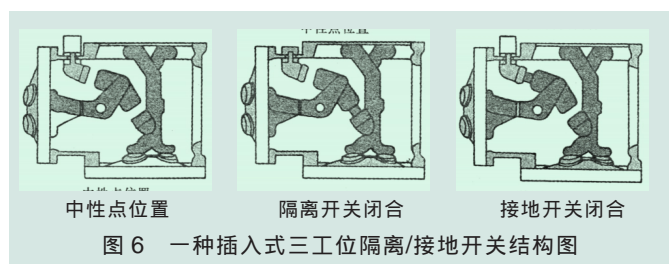
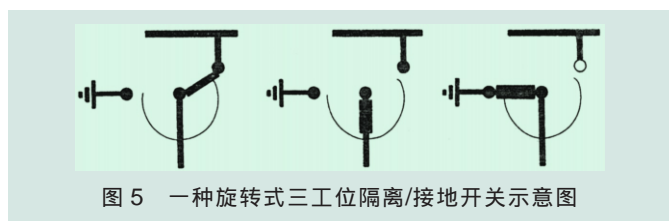


2.3 接地开关

通常用的接地开关有2种型式:故障检修用接地开关和快速关合接地开关。故障检修用接地开关用于变电站内作业时保护目的,只有在高压系统不带电情况下方可操作。快速接地开关可在全电压和短路条件下关合。快速关合操作靠弹簧合闸装置来实现。

国外新一代126~252kV GIS产品已普遍将以往GIS中隔离开关和接地开关2个独立元件合并为1个隔离/接地开关组合元件。隔离/接地开关组合元件包含:(1)隔离开关合闸-接地开关分闸;(2)隔离开关分闸-接地开关分闸;(3)隔离开关分闸-接地开关合闸3种工作位置组合,因此称为3工位隔离/接地开关。其中126kV GIS已全部采用3工位隔离/接地开关,而252kV GIS部分采用了3工位隔离/接地开关。

3工位隔离/接地开关有2种结构型式:旋转式(见图5)和插入式(见图6)。

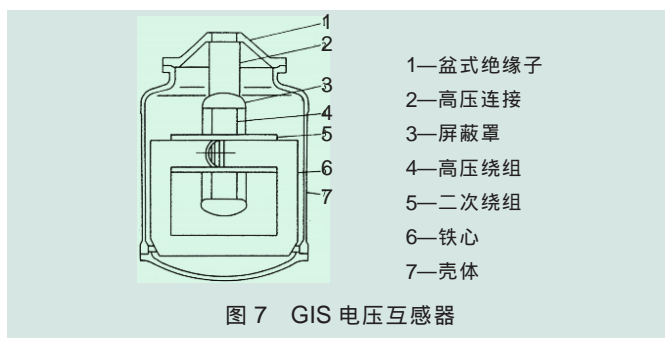


综上所述,由于隔离/接地开关组合元件共用1个活动导电杆(片),用1个操动机构,故具有如下优点:(1)由于两者组

合在一个气室内,大大缩小了GIS尺寸,使之小型化。(2)减少了GIS操动机构数量,减少了操作和维护工作量,方便运行和检修。(3)从原理上解决了隔离开关与接地开关之间的连锁问题,取消了以往隔离开关与接地开关之间复杂的连锁回路。不会发生带地线合刀闸的事故,大大提高了GIS运行可靠性。

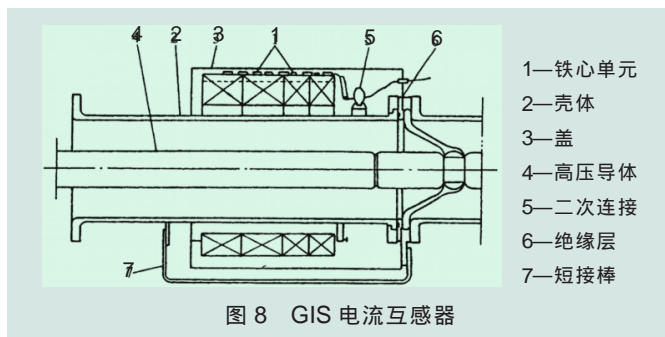
2.4 电压互感器

大多数电压互感器为感应型(见图7)。在三相共筒式GIS中,3个电压互感器位于1个壳体内。电压互感器也可设计为1个与电子放大器连接的低电容分压器。内部导体和靠近壳体的同心测量电极被用作为高压电容器。这种设计仅适用于超高压系统。



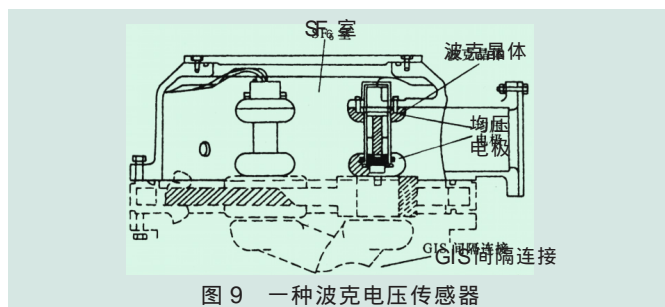
2.5 电流互感器

在单相式GIS中,电流互感器的铁心位于壳体的外侧,确保壳体和导体之间的电场完全不受干扰。壳体外的返回电流被绝缘层隔断。图8示出单相壳体布置。



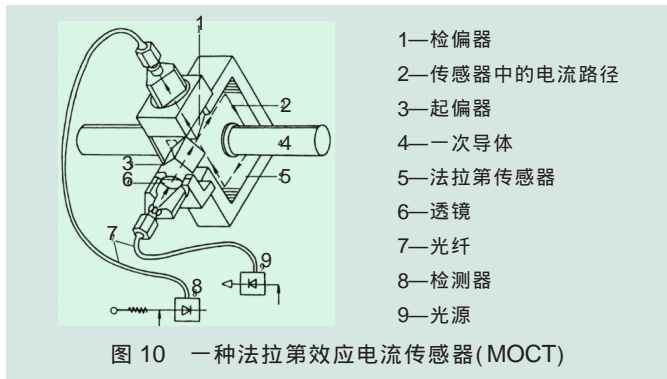
在三相共筒GIS设计中,电流互感器的铁心一般在壳体内。

近年来,高压互感器取得巨大的进步,从电磁式走向光电电子式。高压互感器也变成了传感器。这种新型传感器尺寸小,数字输出,能满足保护和计量要求,不受温度、振动和电磁干扰的影响。相比电磁式互感器,它不含铁心,无磁饱和及铁磁谐振,暂态响应范围大,测量精度高,体积小,重量轻,易于



实现电子计量和保护数字化、微机化和自动化。

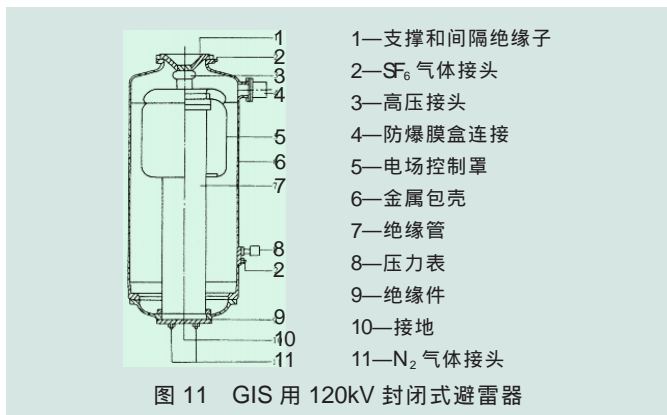
这种传感器已用于 GIS, AIS, GCBT 和 GCBP 中。作为电压传感器,有电容分压器和波克传感器。图 9 示出利用波克晶体的电压传感器,它已被 ABB 公司用于 GIS 中。作为电流传感器,有罗柯夫斯基传感器、法拉第效应传感器。图 10 示出 ABB 公司研制的法拉第效应电流传感器。



2.6 避雷器

SF_6 避雷器的主要元件如同普通避雷器,但它结构很紧凑,火花间隙元件密封,与大气隔绝。整个避雷器用干燥压缩气体绝缘,使性能高度稳定。因此,有可能使用配较低火花放电电压的避雷器,它对系统的保护提供了足够的裕度。相比普通避雷器,可减小放电电压 10%。

在 SF_6 绝缘避雷器中,金属接地部分与带电部分靠得很近,因此,要特别注意补偿电压沿避雷器元件的非线性分布。这点在其设计中达到(如用金属罩)。图 11 示出 1 台 120kV 避雷器。当额定电压更高的避雷器时,在金属罩的某些点上要附加多个均压环。当然, SF_6 避雷器可集成在 GIS 任何所需部位,视其保护要求而定。



避雷器也有了很大发展,如研制出高电位梯度 ZnO(氧化锌)避雷器。这种避雷器可使 GIS 小型化、轻量化和布置更加灵活。日本已将这种高电位梯度 ZnO 避雷器用于 154-800kV GIS 中。

日本使用输电线路避雷器的数量为世界之最。因此,日本也就特别关心避雷器的研发。日本于 20 世纪 90 年代中期推出高电位梯度 ZnO 避雷器。高电位梯度 ZnO 避雷器的电位梯度为 400V/mm,是普通的 2 倍。普通电阻元件的晶粒平均直径约为 20 μm ,而高电位梯度 ZnO 电阻元件的晶粒平均直径约

为 10 μm 。ZnO 元件的电压——电流特性取决于 ZnO 晶粒的边界层。ZnO 晶粒越小,单位元件长度的晶粒边界层数量越多,从而提高了元件的电压。这样就可减少避雷器所需元件数(可减少一半),从而简化了结构,降低了高度,减轻了重量,提高了安装灵活性及可靠性。

高电位梯度 ZnO 避雷器已作为主流产品被广泛使用,其使用高电位梯度 ZnO 避雷器的总数约为 5450 单元。使用 6 年来,未发现有损坏。该避雷器已从配电到 500kV 输电系统成系列。约有 1600 单元的避雷器用于国外 145kV 及以上的 GIS 中,高电位梯度 ZnO 避雷器于 1997 年 12 月首次用于 154kV GIS 中。使用于输电系统的避雷器总计 3850 单元,其中 500kV 系统为 175 单元。高电位梯度 ZnO 避雷器现已用于 800kV GIS 中。

2.7 套管

架空线或所有空气绝缘件用空气/ SF_6 气体套管连至 GIS。这些套管使用电容均压,并被间隔绝缘子分成 2 个独立的隔室。

被瓷绝缘子包围的间隙,充有略高于大气压的 SF_6 气体。如果电瓷受损,就可将风险减至最小。在间隔绝缘子开关设备侧的气隙中,亦充同样压力的 SF_6 气体。充油电容套管亦可用于高压,即将 GIS 直接连至变压器。

2.8 电缆终端

各种类型的高压电缆,均可通过电缆终端盒连至 SF_6 开关设备。它包括带连接法兰的电缆终端套管、壳体及带有插接头的间隔绝缘子。气密套管将 SF_6 气室与电缆绝缘介质分开。连至 GIS 的一个完整 XLPE 电缆终端,具有尺寸小且热特性更好的优势。

2.9 母线

各间隔通过各自封闭的母线直接连接,或通过延伸模块连接。有的做成母线模块,包括 1 个 3 工位开关,也可以和 1 个母线侧的接地开关(插入式)的功能组合。

封闭母线在结构上有单相式和三相式。三相共筒式结构已做到 550kV 电压级(如日本)。

2.10 气体密度监视装置

SF_6 气体绝缘开关设备的绝缘强度及 SF_6 断路器的开断能力,与气体密度有关。因为压力随温度而变,故要监视气体密度。为此要使用密度监视装置。由间隔绝缘子分隔的每个独立气室,必须有各自的密度监视装置。

密度监视装置可按工作原理、结构形式、安装方式分类。

- (1) 按工作原理分为:有指针和有刻度或数字的密度表;带电触点或能实现控制功能的密度继电器。
- (2) 按结构型式分为:弹簧管式;波纹管式;数字式。
- (3) 按安装方式分为:径向安装;轴向安装;其他安装方式。

SF_6 气体密度监视装置用在 GIS 中,它本身也可能成为一个漏点,因此要求 SF_6 气体密度监视装置的漏气率不大于 10-9Pa·m³/s。

密度的控制是通过监控 SF_6 气压来实现的。