

[GIS]

SF₆封闭组合电器绝缘子结构及密封

文/杨 震
湖南长高电气有限公司

金属封闭组合电器（GIS）由于其占地面积少、绝缘性能好等优点已经广泛应用于我国各个城市的变电站中。研究绝缘子结构及密封，从密封机理到结构以及密封槽形状、尺寸等多方面解决漏气问题。对提高GIS运行的可靠性和制造技术具有重要意义。

绝缘子是GIS的重要组成部件，有两大功能：一是联系高电位部件与地电位外壳，起着支撑与对地绝缘的作用；二是连接断口间的动触头及静触头相应元件，起着连接与断口绝缘的作用。大气中的绝缘件比较注意沿面放电的距离，因此，随着电压等级的升高，绝缘件变得更细长。但是，SF₆气体中的绝缘件在进行结构设计时，考虑更多的是电场分布的均匀性、受两端电极形状影响的电极耐受最大冲击场强能力，以及绝缘件表面场强、绝缘件内部工作场强和支撑绝缘件的壳体表面场强。往往对GIS绝缘子的密封性考虑得比较少，封闭组合电器内部通常充入0.3~0.6 MPa的SF₆，是为了保证电器的绝缘性能。然而，随着GIS电压等级的提高和投入系统运行台数的增多，GIS设备的内部故障也随之增多。一旦SF₆压力低于某一值时，组合电器将无法使用，甚至可能造成重大电力事故。另外，SF₆密度约等于空气的5倍，通常聚集在地面附近且不易扩散，是一种窒息性物质，在故障泄露时易造成人员缺氧、窒息。

绝缘子结构

1. 绝缘子结构分类

绝缘子又称隔板，其外形为盆状或平板状。绝缘子按是否带金属外圈可分为两种类型：一类绝缘

子采用外部金属环与内部环氧树脂组合而成，在金属环内壁设置夹槽或腔体；当环氧树脂固化后，被金属环内的夹槽或腔体夹紧，也可分别制造完成后组装而成。另一类为无金属环的绝缘子，环氧树脂一次浇注成型，在外侧环状结构内部嵌入金属件用于螺栓连接。

2. 绝缘子密封结构

目前，GIS密封结构包括单密封结构和双密封结构。

1) 不带金属环单密封结构的绝缘子如图1所示。



图1 不带金属环单密封结构的绝缘子

目前，此结构多数用在老式产品上，由于结构更改不易，牵扯问题较多，因此还有部分应用。

2) 不带金属环双密封结构的绝缘子如图2所示。

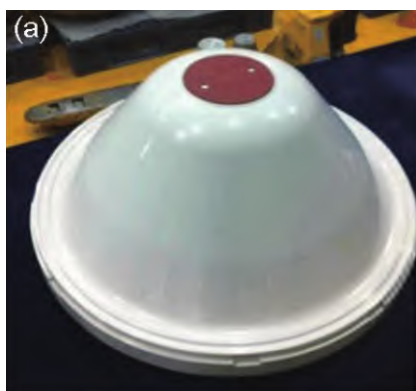


图2 不带金属环双密封结构的绝缘子

这种绝缘子本身没有密封槽，密封槽设在法兰面上，内圈防气，外圈防水和灰尘。

3) 带金属环单密封结构的绝缘子如图3所示。



图3 带金属环单密封结构的绝缘子

目前选用此结构的GIS为改进型产品，主要改进是外部嵌件部位进水后，导致树脂部分碎裂，产生不可预测的风险。

4) 带金属环双密封结构的绝缘子如图4所示。



图4 带金属环双密封结构的绝缘子

目前，此结构占据比较主流的地位，既避免了水分入侵绝缘子，使之腐蚀漏气的风险，又使水分无法进入金属法兰环与树脂部分的间隙，成为“双

保险”。

针对不同绝缘子结构采取的不同密封措施

针对不同绝缘子结构，需要采用不同的密封措施。根据《国家电网有限公司十八项电网重大反事故措施》（修订版）[2018版]的有关规定，法兰对接面宜采用双密封，对于单密封结构的绝缘子，通常采用涂抹防水胶的方式达到防水效果。

1. 不带金属环单密封绝缘子的防水措施

绝缘子对接面的密封方式为单密封圈加密封胶，即在绝缘子外侧开一道密封槽，加装橡胶密封胶圈，主要用于防止 SF_6 气体外泄，密封槽外部有一圈贯通式螺孔，用于连接相邻两气室的法兰面。对接前，还需在密封槽至螺孔间连续不间断涂抹一层密封胶，以防止雨雪天气时水分进入绝缘子。

2. 不带金属环双密封绝缘子的防水措施

不带金属环双密封绝缘子密封方式是在与其对接的金属法兰上设置两个密封槽，同时安装两个密封圈。内侧密封圈防止 SF_6 气体外泄，外侧密封圈防止水分进入绝缘子。

3. 带金属环单密封绝缘子的防水措施

绝缘子对接面的密封方式为单密封圈加密封胶或硅脂，用来连接相邻气室的法兰面的贯通式螺孔设置在金属法兰环上，同时在此部位加工出一圈连续凹槽，如图5所示。对接后，用注胶机向凹槽内注密封胶或硅脂，达到防水效果。



图5 绝缘子法兰凹槽

4. 带金属环双密封绝缘子的防水结构

带金属环双密封绝缘子密封方式是在绝缘子树脂和金属环上各设置一个密封槽，同时安装两个密封圈。内侧密封圈防止 SF_6 气体外泄，外侧密封圈防止水分进入绝缘子。

各种密封结构的优缺点对比

不带金属环单密封绝缘子还需要配合防水措施

才能用于户外，因为防水胶的涂抹只能限于手工操作，所以存在未按程序涂抹防水胶或防水胶涂抹不到位的情况。进水后对接面水分不易排出，在北方冬季时会因结冰而膨胀，造成密封圈压缩量不够，从而漏气。长时间运行，也会因空气中的酸、盐等物质进入，导致腐蚀法兰，从而漏气。密封胶即便涂抹得较好，起到阻隔水进入的作用，也会因密封胶固化使绝缘子与法兰面粘接牢固，在需要拆解时不易分离，给检修带来困难。另外防水胶易于老化，虽然目前还没有防水胶在电站环境下使用寿命的确切统计数据，但防水胶在非特定环境下，使用后的有效寿命也只能达到3~5年，即不带金属单密封绝缘子的防水年限只有3~5年时间。

带金属环单密封绝缘子，实际上还会配合注浆或注硅脂防水。虽然硅脂的有效期远远优于防水胶，但是向凹槽内注胶或注硅脂过程不可见，最终结果检查也相当困难。受人员素质、设备状况、机加工零件质量、硅脂的流动性及环境温度等多重因素影响，实际防水效果差别很大。一旦注胶槽出现未注满情况，进水后无切实可行的办法将水排出注胶槽，腐蚀密封面、结冰等情况无法避免。硅脂是属于由硅油作为基础油稠化无机稠化剂而成的一种聚合物，存在一定的分油性，在受热、压力等作用下易发生严重分油情况，使设备表面看起来很脏，这也是选用硅脂防水的缺点之一。

选用带金属环双密封绝缘子，完全避开防水胶和硅脂所带来的问题，也不受环境因素影响，能够更好地起到防水作用。但是相对于安装一个密封圈来说，双密封结构对装配人员的操作提出了更高的要求。各种密封结构优缺点对比见表1。

表1 各种密封结构优缺点

	不带金属环单密封	不带金属环双密封	带金属环单密封	带金属环双密封
防水效果	差	优	差	优
防水时间	短	短	长	长
维修周期	短	短	短	长
装配难度	低	高	低	高
工艺时间	长	短	长	短
检测难度	大	小	大	小

综上所述，带金属环双密封绝缘子除装配难度大外，相对于其他两种结构，优势还是十分明显的。

建议选用的密封结构及措施

GIS设备的气体泄漏率直接影响着设备运行的可靠性。国内GIS设备壳体一般多选用铝材料焊接组成，壳体的焊缝长期运行在户外环境下的高污染、高盐度地区，容易造成GIS设备外壳的泄漏率增加和壳体强度的降低。设备密封面如采用单密封圈结构，在户外运行时，单密封圈容易受外界各种环境影响而老化，密封面因水、酸及盐进入而产生腐蚀，随着运行时间增加，导致GIS的泄漏率增加。多年来的GIS设备运行经验表明，户外布置GIS设备的气体泄漏次数远高于户内布置GIS设备的气体泄漏次数。

根据《国家电网公司2015年开关设备运行情况》一文中提及的29起漏气事故来看，采用不带金属环单密封结构10起，带金属环单密封结构15起，带金属环双密封结构4起。由此可见，带金属环双密封结构具有更优的防漏气性能。

因此，绝缘子宜采用双密封结构，设置两道密封圈。外圈主要阻止水分、杂质进入，内圈主要密封气体，双密封结构使漏气率更低，增长了设备维护周期。对接面无注胶孔，密封圈为内外两道，外侧密封圈主要起防水作用，内侧防气体泄漏，提高了设备长期运行的密封性能。EA

(收稿日期：2022-12-19)

参考文献

[1] 黎 斌. GIS盆式绝缘子金属外圈及屏蔽内环设计的必要性[J]. 高压电器, 2012, 48(8): 109-113.

[2] 刘焱, 陈允, 崔博源, 王宁华. 1 100 kV交流特高压GIS用绝缘子的质量提升[J]. 设备监理, 2016(4): 9-13.

[3] 刘华枝, 王焕. 浅谈盘式绝缘子电场优化设计[J]. 电气制造, 2007(11): 56-58.

[4] 滕昊, 蓝海文, 杨帆. 结合设备多源状态数据的GIS设备局放带电测试异常的分析与处理[J]. 电气应用, 2021, 40(8): 30-35.

[5] 李 阳, 刘浩军, 何 冰, 等. GIS/GIL内部电弧试验中电弧外部效应检测方法[J]. 电气应用, 2021, 40(2): 61-64.