

[GIS]

SF₆/N₂混合气体在气体绝缘金属封闭开关设备母线中的应用

文/西安西电开关电气有限公司 郝学东 孙飞舟 罗四娇

由于SF₆气体的温室效应，减少SF₆气体的使用具有深远的社会意义，用SF₆/N₂混合气体取代纯SF₆气体作为高压电器设备的绝缘介质是减少使用SF₆气体的有效措施。

在GIS产品中母线SF₆使用量是最大的，其使用性能与结构同气体绝缘金属封闭输电线路GIL类似，同样起着转换线路和传输电能的重要作用，采用SF₆/N₂混合气体，可减少SF₆气体的使用量，对国家节能减排和实现低碳发展具有重要意义。2017年12月，重庆奉节铁甲变220 kV变电站母线混合气体置换项目，一次性通过现场耐压试验，并带电试运行。

SF₆/N₂混合气体的气压

根据国内外科研院所的理论研究和试验数据可知，低含量SF₆/N₂混合气体中SF₆气体含量从0提高到20%时击穿电压提高很快，但是当SF₆气体含量超过20%后击穿电压提高就变得较为缓慢。同时考虑到电极表面粗糙度、自由微粒、超高频检测局放和气体泄漏等因素，研究经验认为用作GIS母线输电线路绝缘气体的SF₆/N₂混合气体中SF₆气体含量可以在10%~30%之间选取。

由于SF₆/N₂混合气体的耐电强度低于纯SF₆气体，因此在产品尺寸不变的情况下，用SF₆/N₂混合气体取代纯SF₆气体时，要想达到相同的绝缘强度，则混合气体的充气压力必须高于纯SF₆气体的充气压力。由《管道母线（GIL）中SF₆/N₂混合气体绝缘性能的研究》一文中得出具有与纯SF₆气体相同绝缘强度的SF₆/N₂混合气体的充气压力应满

足 $p = SF_6 (x/100)^{0.18/n}$ ，式中 p 为混合气体充气压力， p_{SF_6} 为纯SF₆气体的充气压力。

依据实际使用情况，确定对于SF₆体积分数为30%的SF₆/N₂混合气体，需将混合气体气压提高到纯SF₆气体时的1.33倍，即 $p_{SF_6/N_2} = 1.33 \times (p_{SF_6} + p_0) - p_0$ 。252 kV GIS用母线采用SF₆气体绝缘，额定压力为0.4 MPa，报警压力为0.35 MPa；计算得出252 kV GIS用母线采用SF₆/N₂气体绝缘，额定压力为0.6 MPa，报警压力为0.55 MPa。其中： p_{SF_6/N_2} 为混合气体额定压力（相对）， p_{SF_6} 为SF₆气体额定压力（相对）， p_0 为大气压力。

试验验证

252 kV气体绝缘金属封闭开关设备用母线已在采用SF₆气体绝缘条件下，进行了型式试验验证，目前采用SF₆/N₂气体绝缘，由于原母线结构没有改变，只有绝缘气体压力相对升高，由于母线短时耐受电流和峰值耐受电流试验是在不充绝缘气体条件下进行试验，故对252 kV气体绝缘金属封闭开关设备用SF₆/N₂气体母线需要进行绝缘、温升、回路电阻测量、压力试验、密封及混合气体比例测试等相关型式试验。

1. 252kV GIS母线结构简介

西开电气生产的252 kV GIS母线结构为三相共箱式，主要技术参数见表1。

表1 252 kV GIS母线技术参数

名称	单位	参数值
额定电压	kV	252
额定电流	A	4 000
额定频率	Hz	50
额定短时耐受电流	kA	50 (3 s)
额定峰值耐受电流	kA	125
额定短时工频耐受电压 (1 min)	kV	460
额定雷电冲击耐受电压	kV	1 050
混合气体额定压力	MPa	0.6
混合气体最低工作压力	MPa	0.55
SF ₆ /N ₂ 气体混合比例	%	30/70
气体泄漏率	%/a	≤0.1

2. 252 kV GIS SF₆/N₂母线型式试验

2017年1月在国家高压电器质量监督检验中心,顺利完成了母线的绝缘、温升、密封、压力等试验。主要试验项目及参数见表2。图1~图6为型式试验照片。

表2 主母线主要试验项目及参数

试验项目	单位	参数	备注
绝缘 额定短时工频耐受电压 (1 min)	kV	460	—
额定雷电冲击耐受电压		1050	—
局部放电	pc	≤3	—
温升试验	A	1.1 × 4 000	—
密封试验	%/a	0.1	—
SF ₆ /N ₂ 混合气体 SF ₆ 含量测定	%	≤29%	—
壳体破坏试验	—	焊接外壳压力: 2.3 × 0.8 MPa; 铸造壳体压力: 5 × 0.8 MPa	设计压力: 0.8 MPa
盆式绝缘子水压试验	—	试验压力: 大于3 × 0.8 MPa	



图1 绝缘试验



图2 温升试验



图3 密封试验



图4 混合气体比例测量试验



图5 壳体压力试验



图6 盆式绝缘子压力试验

工程应用

2017年12月,重庆奉节铁甲变220 kV变电站2 M母线混合气体置换项目成功投运。该站220 kV GIS设备为西安西电开关电气有限公司2012年制造252 kV 户外GIS设备,2012年12月投运,双母线接线方式,母线结构与试验验证结构相同。220 kV 2M母线总长度为39.8 m,体积19 900 L共分4个气室。目前充入的绝缘气体为额定压力0.4 MPa的纯SF₆气体,总重量为645 kg。2M母线SF₆气体更换为混合比为3:7的SF₆/N₂混合气体,先将原0.4 MPa的纯SF₆气体全部回收,再灌充额定压力0.6 MPa的SF₆/N₂混合气体,其中纯SF₆气体为290 kg,占原绝缘气体45%,其余为高纯N₂。换气完成后,可节约SF₆气体约355 kg,占原绝缘气体55%。

由此可见,该项目采用混合比为3:7的SF₆/N₂混合气体代替SF₆气体作为GIS母线设备的绝缘介质,显著减少GIS对SF₆气体的使用量,对国家节能减排和实现低碳发展具有重要意义。

结束语

用SF₆/N₂混合气体取代纯SF₆气体作为气体绝缘金属封闭开关设备母线的绝缘介质,具有重要的社会和经济意义。西开电气对252 kV GIS SF₆/N₂混合气体母线的性能研究及工程试点应用,为SF₆/N₂混合气体在气体绝缘金属封闭开关设备母线中的应用奠定了坚实基础。EA

(收稿日期:2018.05.18)

(编辑:白文亭)