

气体传感器检测SF₆断路器中分解物SO₂异常分析和探讨

在预防性试验中发现同批次多台SO₂含量超过应注意值的GL312型SF₆断路器，多种检测手段分析表明，JH4000A型的SO₂电化学气体传感器将S₂OF₁₀组分误报为SO₂，排除了该批次GL312型断路器因整体工艺缺陷导致出现故障分解物SO₂的情况。督促厂家优化选型，提高了仪器检测的准确性，为设备故障诊断及其运行管理提供正确依据。

张 英 余鹏程 李军卫 蒋 震 牧 灏/贵州电力试验研究院

0 引言

SF₆气体具有优良的绝缘和灭弧性能，广泛应用于气体绝缘开关设备、断路器和互感器等电气设备中^[1-5]。电网110 kV及以上电压等级的断路器主要采用SF₆断路器，GL312型断路器在电网中占据一定比例，设备可靠性对电网安全运行至关重要。研究表明，检测断路器内部故障产生的气体分解物组分及含量是判断运行设备内部状态的有效手段，过热或放电故障均会产生分解物SO₂^[6-8]。目前，国内外关于SF₆气体分解产物的检测方法主要有检测管法、气相色谱法、红外光谱法和电化学气体传感器法等。检测管法仅适用于现场定性分析；气相色谱法和红外光谱法灵敏度和准确度高，适用于实验室；气体传感器法则具有灵敏度高、检测速度快、检测组分多、结构简便、价格经济以及适合于便携检测等优点^[9-12]。因此，目前携带至现场检测气体分解组分含量主要为基于电化学气体传感器法的分解产物仪。

1 GL312型断路器中SO₂含量异常情况的发现

2012年3月用仪器厂家1的JH4000A型电化学气体传感器法的SF₆分解物检测仪进行220 kV某变电站1和变电站2的断路器预防性试验过程中，测得某设备厂家共19台110 kV电压等级的GL312型断路器中分解物SO₂+SOF₂含量为2.7~18.2 μL/L，均超出气体分解物应注意值（SO₂+SOF₂<2 μL/L）^[13]，三日后复测数据与初测数据基本一致，证实了初测数据的有效性。

由于断路器中SOF₂易与水反应生成SO₂，故很难在设备中检测到SOF₂的存在，检测数据实际应为SO₂。这些SO₂含量异常的GL312断路器均为该设备厂家2007年8月出厂的同批次产品，同时出厂的220 kV电压等级的GL3012型断路器中检测到SO₂含量为0，此外，另一台才投运5天的GL312型101断路器中SO₂含量也为0，表明这19台GL312型断路器中分解物SO₂是在设备运行中产生，怀疑某设备厂家这一批次的GL312型断路器可能存在整体工艺缺陷，内部存在潜伏性故障。

2 试验结果及分析

针对此情况，2012年4月现场选取了某变电站1三台有代表性的GL312型断路器（同批次SO₂含量最低的100断路器、同批次SO₂含量最高的103断路器以及非同批次SO₂含量为0的101断路器），同时用仪器厂家1的三台JH4000A型、仪器厂家2的一台RA601FA和仪器厂家3的一台STP1003



张 英/高级工程师

关键词/Keywords

SF₆断路器 ·
气体传感器 ·
检测 ·
分解物SO₂ ·
误报 ·

型SF₆气体分解物检测仪共五台检测仪（其检测方法均为电化学气体传感器法）以及SO₂检测管对这三台断路器进行检测数据比对，结果如表1所示。

表1 三台GL312型断路器现场分解物测试数据

设备名	仪器厂家和型号	SO ₂ + SOF ₂	CO
		/(μL/L)	/(μL/L)
100断路器	仪器厂家1的JH4000A	2.4	46.1
	仪器厂家1的JH4000A	2.9	47.9
	仪器厂家1的JH4000A	3.1	42.5
	SO ₂ 检测管	0	—
	仪器厂家2的RA601FA	0	—
	仪器厂家3的STP1003	0	48.7
103断路器	仪器厂家1的JH4000A	19.0	47.4
	仪器厂家1的JH4000A	18.4	46.9
	仪器厂家1的JH4000A	17.8	50.9
	SO ₂ 检测管	0	—
	仪器厂家2的RA601FA	0	—
	仪器厂家3的STP1003	0	47.2
101断路器	仪器厂家1的JH4000A	0	46.4
	仪器厂家1的JH4000A	0	42.8
	仪器厂家1的JH4000A	0	45.7
	SO ₂ 检测管	0	—
	仪器厂家2的RA601FA	0	—
	仪器厂家3的STP1003	0	44.5

注：1. H₂S和HF的测试数据均为0，未列入表中。
2. 表中数据结果均为检测两次数据所求平均值。
3. “—”表示不具有该项指标检测功能。

在检测之前，先用10 μL/L SO₂标气，标定仪器厂家1、仪器厂家2和仪器厂家3的SF₆气体分解物检测仪，测得三个厂家仪器检测SO₂含量范围为(10±1.0) μL/L，均符合电化学气体传感器SO₂含量检测示值误差允许范围^[14]，表明三台仪器对单组分SO₂含量响应数据可靠。

表1中数据表明，CO、H₂S和HF含量均无异常，仪器厂家1的三台JH4000A均检测到运行一段时间后的同批次GL312型断路器中有分解物SO₂，且SO₂含量数据差异性不大。厂家2和厂家3的仪器以及检测管检测到SO₂含量则为0，对于非同批次的GL312型断路器，五台检测仪和检测管检测到SO₂含量均为0。

与此同时，现场采集这三台断路器的气样到实验室，用GC-9560-HG气相色谱仪进行检测，该色谱仪系统配备氦离子化检测器（PDHID），

可对多种分解气体产物进行检测，对各种组分含量均可准确检测到0.1 μL/L，检测结果如表2所示。

表2 GC-9560-HG气相色谱仪检测三台断路器中分解物数据
(单位：μL/L)

气体组分	设备名		
	100断路器	101断路器	103断路器
H ₂	38.27	27.90	45.62
O ₂	952.26	612.57	888.20
N ₂	1 892.04	1 626.87	1 882.11
CH ₄	10.80	0	10.01
CF ₄	131.24	60.67	115.78
CO	44.79	47.92	43.44
CO ₂	1.48	1.53	3.11
C ₂ F ₆	228.17	211.84	185.82
C ₃ F ₈	37.98	41.28	33.44
SO ₂ F ₂	0	0	0
SOF ₂	0	0	0
SO ₂	0	0	0
S ₂ OF ₁₀	30.11	6.25	34.63
COS	7.05	15.83	6.66
CS ₂	0	0	0

从色谱试验和现场检测数据分析，现场和离线色谱检测出的SO₂和可通过水解反应衍变为SO₂的分解产物SOF₂值均为0，判断预防性试验中测试运行一段时间后的同批次GL312型断路器中SO₂含量数据为假值，为厂家1测试仪器误报，排除了该批次GL312型断路器存在整体工艺缺陷导致出现故障分解物SO₂的情况。

分析此次仪器厂家1的分解产物仅检测出SO₂含量超出应注意值的情况，是因为其采用的SO₂电化学气体传感器对该批次GL312型断路器运行中产生的某些物质产生了响应，而仪器厂家2和厂家3采用的SO₂电化学传感器则对这些物质不响应，所以未出现误报情况。

仪器厂家1在仪器出厂前针对SO₂电化学气体传感器进行过对O₂、N₂、CF₄、CO、CO₂、C₂F₆、C₃F₈和COS等分解物避免交叉干扰的线性处理，对以上组分均不响应。排除以上八种气体组分数据干扰，且SO₂F₂、SOF₂、SO₂和CS₂含量均为0，所相色谱法检测数据中仅CH₄、H₂和S₂OF₁₀含量与仪器厂家1的电化学气体传感器法检测到SO₂含量具有数据相关性，推断导致SO₂电化学气体传感器响

应的物质可能是CH₄、H₂和S₂OF₁₀。

由于电化学气体传感器法具有交叉干扰缺点, 需要进行严格的电化学气体传感器选型和避免交叉干扰试验, 才能保证所检测分解物含量的准确性。督促仪器厂家1进行了浓度为100 μL/L的CH₄和H₂对SO₂电化学气体传感器的响应试验。结果表明, SO₂电化学气体传感器对这两种物质均无响应, 排除了对CH₄和H₂响应产生误报的可能性, 判断误报为SO₂的气体组分为S₂OF₁₀。随后, 仪器厂家1选择多种SO₂电化学气体传感器进行反复测试, 选出对S₂OF₁₀气体无响应的SO₂气体传感器。2013年4月使用改造后的仪器在变电站1和变电站2对该批次检出“SO₂+SOF₂”含量异常的GL312型断路器进行验证测试, 结果显示“SO₂+SOF₂”组分数据为0, 无异常。

3 结束语

1) 通过多种分析手段, 检测管法、电化学气体传感器法(厂家2和厂家3的仪器)以及氦离子色谱法检测均未发现有SO₂的存在, 通过数据筛选和标气验证分析, 确认仪器厂家1的SO₂电化学气体传感器对2007年8月同批次某设备厂家GL312型断路器中的S₂OF₁₀组分产生了响应, 出现了误报为SO₂的情况。排除了该批次GL312型断路器存在整体工艺缺陷导致出现故障分解物SO₂的情况。

2) 在确认了干扰组分为S₂OF₁₀后, 督促仪器厂家1对其气体分解产物仪进行了改造, 并通过了现场验证, 不再对S₂OF₁₀产生响应, 避免了后期误报的情况, 提高了厂家1检测仪器数据的可靠性, 为正确诊断设备故障提供理论依据。

3) 在用电化学气体传感器法的分解产物仪检测出设备中分解物SO₂含量时, 应与其他检测方法(如现场检测管法、实验室红外光谱法和气相色谱法等)相互印证, 保证分解物SO₂含量检测的准确性, 便于对运行设备状况给出正确的判断和合理的建议。

参考文献

[1] 丁繁荣, 赵学军, 张敏强. 高压电气设备SF₆气体危害及防范措施[J]. 电网技术, 2007, 31(增刊2):

286-290.

- [2] Suehiro Junya, Zhou Guangbin, Hara M. Detection of partial discharge in SF₆ gas using a carbon nanotube-based gas sensor [J]. Sensors and Actuators, 2005, 105 (2): 164-169.
- [3] 汪泓, 邱毓昌. 气体绝缘开关装置 (GIS) 近期发展动向 [J]. 电网技术, 2003, 27 (2): 54-57.
- [4] Piedmonts M, Niemeyer L. Sorption of SF₆ and SF₆ decomposition products by activated alumina and molecular sieve 13X [C]. IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Montreal, Quebec, Canada, IEEE, 1996: 828-838.
- [5] 杨韧, 吴水锋, 薛军, 等. SF₆断路器内部悬浮电位放电产生的分解产物分析 [J]. 高压电器, 2013, 49 (6): 17-21.
- [6] 颜湘莲, 王承玉, 杨韧, 等. 应用 SF₆气体分解产物的高压开关设备故障诊断 [J]. 电网技术, 2011, 35 (12): 118-123.
- [7] 汪金星, 杨韧, 郑小川. SF₆开关类设备带电测试新技术在陕西电网的应用[J]. 陕西电力, 2008(11): 15-17.
- [8] 颜湘莲, 王承玉, 季严松, 等. 开关设备中 SF₆气体分解产物检测的应用 [J]. 电网技术, 2010, 34 (9): 160-165.
- [9] 张晓星, 谢延斌, 姚尧. 曲线拟合法用于 SF₆分解气体组分的重叠色谱峰分离研究 [J]. 高电压技术, 2008, 34 (12): 2708.
- [10] 张晓星, 姚尧, 唐炬, 等. SF₆放电分解气体组分分析的现状和发展[J]. 高电压技术, 2008, 34(4): 664.
- [11] 李红雷, 周方洁, 谈克雄, 等. 用于变压器在线监测的傅里叶红外定量分析 [J]. 电力系统自动化, 2005, 29 (18): 62.
- [12] 游荣文, 黄逸松. 基于 SO₂、H₂S 含量测试的 SF₆电气设备内部故障的诊断 [J]. 福建电力与电工, 2004 (2): 15-16.
- [13] GB/T 8905—2012 六氟化硫电气设备中气体管理和检测导则 [S].
- [14] DL/T 1205—2013 六氟化硫电气设备分解产物试验方法 [S].

(收稿日期: 2014-10-13) **EA**