

二次平衡脱气反算法在色谱试验中的应用

王美荣, 刘娟

(衢州电力局, 浙江 衢州 324002)

摘要: 应用油中溶解气体各组分分配系数测定原理, 根据实测分配系数的方法之一——二次平衡脱气法, 参照国家推荐的 50℃时溶解气体各组分的分配系数值, 通过公式换算, 反算得出油中溶解气体各组分的体积分数。采用第一次色谱试验后的油样, 充入空白平衡气, 重新进行试验, 据反算公式计算, 再次得到油样中的溶解气各组分的浓度, 验证色谱试验数据是否正确可靠。该方法经过较长时间的实践论证, 简单可行。

关键词: 二次平衡脱气反算法; 色谱试验; 油中溶解气体; 分配系数; 试验数据

中图分类号: TM406

文献标志码: B

文章编号: 1001-1609(2010)04-0061-04

Application of Inverse Algorithm of Second Balance Degassing to Chromatography Test

WANG Mei-rong, LIU Juan

(Quzhou Electric Power Bureau, Quzhou 324002, China)

Abstract: Adopting the determination principle of distribution coefficient of each gas component in oil and the second balance degassing method, the volume fraction of each gas component dissolved in oil is obtained via formula conversion and inverse algorithm according to the recommended distribution coefficients of gas components in oil at 50 °C. Filling blank balance gas into the oil sample from first chromatogram test and conducting second test, the volume fraction of each gas component in oil is obtained again via inverse algorithm to verify the reliability of the first test data. The method has been demonstrated to be simple and workable.

Key Words: inverse algorithm of second balance degassing; chromatogram test; dissolved gas in oil; coefficient; test data

0 引言

在电力系统的检修维护中, 油中溶解特征气体组分由于可以反映充油设备的运行健康状况, 已得到了广泛应用, 并且在 DL/7596 的《电力设备预防性试验规程》中着重强调了油中溶解气体在判断变压器故障的重要地位^[1], 而气相色谱法正是检测油中溶解气体体积分数准确性较高且应用最广泛的方法。在色谱试验中, 由于试验程序复杂、试验步骤多、充油设备的运行状况发生变化等原因, 试验人员经常会遇到试验数据与历史数据不符、数据增长较快或数据出现负增长等现象, 这时为了验证试验数据是否真实有效, 往往会选择再次取样, 重新试验来达到目的。笔者介绍的二次平衡脱气反算油中溶解气体组分含量法是基于色谱试验的基础上, 根

据油中各组分分配系数测定原理以及振荡脱气的方法, 应用第一次色谱试验后的油样(即一次平衡脱气法试验后的油样), 充入一定体积的空白平衡气体, 充入量与第一次振荡脱气脱出的气体体积相等, 并重新进行试验, 据公式反算后, 再次得到油样中的溶解气体各组分的浓度。该方法从 2006 年开始着手探讨, 已经过较长时间的实践论证, 试验得出的数据真实有效, 方法简单可行。

1 二次平衡脱气反算法公式的推导及计算例举

1.1 二次平衡脱气反算法公式的推导

根据实测分配系数的方法之一——二次平衡脱气法, 在已知 50 °C 时溶解气体各组分的分配系数值的情况下, 通过公式换算, 反算得出油中溶解气体各组分的体积分数, 称其为二次平衡脱气反算油中溶

收稿日期: 2009-10-12; 修回日期: 2009-12-27

作者简介: 王美荣(1975—), 女, 工程师、技师, 现从事油化现场工作。

解气体组分含量法(简称二次平衡脱气反算法)。

二次平衡脱气法实测分配系数的方法^[2]是根据油气在一定温度下密闭系统中的分配定律以及物料平衡原理推导出计算各组分浓度的,其推算式为

$$K_i = [C_{ig}' / (C_{ig} - C_{ig}')] \times r' \quad (1)$$

式(1)中, K_i 为气体组分*i*在分配平衡的分配系数; C_{ig} 为第一次平衡下组分*i*在气相的浓度(摩尔浓度); C_{ig}' 为第二次平衡下组分*i*在气相的浓度(摩尔浓度); r' 为二次平衡时气体体积 V_g' 与液体体积(V_L)之比值,即 V_g' / V_L 。

油中溶解气体计算公式为

$$C_{iL}^0 = 0.929 C_{ig} (K_i + r) \quad (2)$$

$$C_{iL}^{0'} = 0.929 C_{ig}' (K_i + r') \quad (3)$$

式(2)、(3)中, C_{iL}^0 为油样中气体组分*i*的浓度, $\mu\text{L/L}$; $C_{iL}^{0'}$ 为一次平衡后油样中气体组分*i*的浓度, $\mu\text{L/L}$; r 为一次平衡时气体体积(V_g)与液体体积(V_L)之比值,即 V_g / V_L ;0.929为油样中溶解气体浓度从50℃状态校正到20℃时的温度校正系数($P_a=101.3\text{ kPa}$)

根据式(1)移项得

$$C_{ig} = C_{ig}' (1 + r' / K_i) \quad (4)$$

将(4)式代入式(2),得

$$\begin{aligned} C_{iL}^0 &= 0.929 C_{ig}' (1 + r' / K_i) (K_i + r) \\ &= 0.929 (C_{ig}' / K_i) (K_i + r') (K_i + r) \\ &= [0.929 C_{ig}' (K_i + r')] (K_i + r) / K_i \end{aligned} \quad (5)$$

于是将式(3)代入,得二次平衡脱气反算法公式

$$C_{iL}^0 = C_{iL}^{0'} (1 + r / K_i) = C_{iL}^{0'} [1 + V_g / (V_L \cdot K_i)] \quad (6)$$

1.2 二次平衡脱气反算法计算例举

根据式(6)需要的各项条件以及在二次平衡脱气试验完成后得到的油中溶解气体二次平衡值 $C_{iL}^{0'}$,计算得到各组分的二次平衡反算值 C_{iL}^0 。2008年10月9日,以江山变2号主变110 kV CT A相设备为例,计算各组分二次平衡反算值的体积分数。该油样的一次平衡脱气的气体体积 V_g 为2.5 mL,参与脱气的油体积 V_L 为40 mL,50℃时溶解气体各组分的分配系数 K_i ^[2]见表1,二次平衡脱气值 $C_{iL}^{0'}$ 见表2,将各项数据代入式(6),得到各组分的二次平衡反算值 C_{iL}^0 ,结果见表2。

2 二次平衡脱气反算法的实践论证

经过多次试验,将其试验结果与国标规定色谱试验的实验室再现性要求^[3](即 $>10\text{ }\mu\text{L/L}$,两次测定值之差应小于平均值的15%; $\leq 10\text{ }\mu\text{L/L}$,两次测定值之差应小于平均值的30%)作比较,摘录部分数据见表3,得出其数据完全符合再现性要求,说明此

表1 50℃时油中溶解气体各组分的分配系数 K_i

分配 系数	气体						
	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	CO	CO ₂
K_i	0.06	0.39	2.30	1.46	1.02	0.12	0.92

表2 二次平衡脱气反算法计算例举 $\mu\text{L/L}$

溶解气体组分	二次平衡值 $C_{iL}^{0'}$	二次平衡 反算值 C_{iL}^0	一次平衡 试验值 X_i
氢气(H ₂)	196.27	400.72	380.88
甲烷(CH ₄)	2.72	3.16	3.07
乙烷(C ₂ H ₆)	1.08	1.11	1.19
乙烯(C ₂ H ₄)	0.33	0.34	0.37
乙炔(C ₂ H ₂)	0	0	0
一氧化碳(CO)	244.64	372.06	368.35
二氧化碳(CO ₂)	604.80	645.89	654.70

方法行之有效(注:删除了原表3中衢州变220 kV旁路CT B相的一组数据,以节约篇幅)。

3 二次平衡脱气反算法在试验中的应用实例

3.1 二次平衡脱气反算法在色谱试验过程中发生偏差的应用

2006年7月12日,在辉埠变年检前取样试验中,2号主变110 kV CT的C相与A、B两相衡向比较中发现数据相差较大,加上此设备是新设备投运后的首次年检设备,投运前的数据均合格,数据见表4。

根据表4数据,为察看数据是否在试验环节中发生偏差,或发生漏气等现象,应用二次平衡反算法来验证数据的正确性,从二次平衡反算法得出的数据表明,辉埠变2号主变110 kV CT C相气样在试验过程中,可能由于放置时间长、橡皮堵头漏气或者进针过程中发生了漏气现象。为验证二次平衡反算值的正确性,在年检时再次取了2号主变110 kV CT C相油样进行色谱试验,各项试验数据见表5。

3.2 二次平衡脱气反算法在试验中误带入标样组分的应用

在2008年的信安变35 kV设备年检取样试验中发现,3号主变2号低抗332开关CT A相样品中含有乙炔组分,由于该设备首次年检取样,且设备投运前并未有乙炔组分以及该次试验的其他气体组分体积分数都没有明显增加。考虑进样时的状态是当天试验工作中的第一针样品,可能在进完标样后未完全将标气冲洗干净,而且乙炔由于不饱和键的作用最易残留,进样时将残留在针头中

表 3 二次平衡脱气反算法试验值与色谱试验值数据的比较

辉埠变 2 号主变本体					
溶解气体组分	一次平衡试验值/($\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$)	二次平衡反算值/($\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$)	相对偏差/%	再现性要求(<%)	是否符合重复性要求
氢气(H_2)	80.55	81.78	1.50	15	符合
甲烷(CH_4)	6.58	6.62	0.66	30	符合
乙烷(C_2H_6)	2.65	2.83	6.60	30	符合
乙烯(C_2H_4)	2.86	3.11	8.40	30	符合
乙炔(C_2H_2)	2.49	2.71	8.50	30	符合
一氧化碳(CO)	233.47	255.73	9.10	15	符合
二氧化碳(CO_2)	933.15	1077.24	14.33	15	符合

衢州变 220 kV 旁路 CT(A)					
溶解气体组分	一次平衡试验值/($\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$)	二次平衡反算值/($\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$)	相对偏差/%	再现性要求(<%)	是否符合重复性要求
氢气(H_2)	60.48	65.77	8.4	15	符合
甲烷(CH_4)	2.05	1.94	5.4	30	符合
乙烷(C_2H_6)	1.01	1.16	14.9	30	符合
乙烯(C_2H_4)	0.54	0.61	13.0	30	符合
乙炔(C_2H_2)	0.12	0.14	16.7	30	符合
一氧化碳(CO)	292.72	337.38	15.3	15	符合
二氧化碳(CO_2)	644.48	606.94	5.8	15	符合

衢州变 220 kV 旁路 CT(C)					
溶解气体组分	一次平衡试验值/($\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$)	二次平衡反算值/($\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$)	相对偏差/%	再现性要求(<%)	是否符合重复性要求
氢气(H_2)	56.48	59.17	4.8	15	符合
甲烷(CH_4)	4.72	4.74	0.4	30	符合
乙烷(C_2H_6)	1.47	1.59	8.2	30	符合
乙烯(C_2H_4)	0.76	0.74	2.6	30	符合
乙炔(C_2H_2)	0.58	0.58	0	30	符合
一氧化碳(CO)	257.01	242.84	5.5	15	符合
二氧化碳(CO_2)	540.31	599.71	11.0	15	符合

表 4 辉埠变 2 号主变 110 kV CT 三相数据值比较 $\mu\text{L/L}$

溶解气体组分	相别		
	A	B	C
氢气(H_2)	209.89	270.98	53.23
甲烷(CH_4)	0	0	0
乙烷(C_2H_6)	0.34	0.33	0.35
乙烯(C_2H_4)	0.50	0.49	0.49
乙炔(C_2H_2)	0	0	0
一氧化碳(CO)	175.17	187.21	179.13
二氧化碳(CO_2)	314.15	281.07	277.60

的标气带进了样品中。于是应用二次平衡脱气反算法来验证此次试验,发现确实在进样中带入了残留标气所致,在复取该油样进行试验后也得到了验证,见表 6。

以上例举了试验中两种不同情况的应用,其实二次平衡脱气反算法还可应用在更多的地方,如在不同单位实验室中试验的可疑数据的验证、在历史数据比较中有较大变化的试验数据验证、新员工在试验过程中对自己数据有怀疑而气样很少或已被

表 5 辉埠变 2 号主变 110 kV CT C 相
各项试验数据比较 $\mu\text{L/L}$

溶解气体组分	2006-07-12 一次平衡值(有疑问)	2006-07-12 二次平衡反算值	2006-09-25 复取试验数据
氢气(H_2)	53.23	259.80	246.31
甲烷(CH_4)	痕	痕	0.15
乙烷(C_2H_6)	0.35	0.35	0.42
乙烯(C_2H_4)	0.49	0.46	0.58
乙炔(C_2H_2)	0	0	0
一氧化碳(CO)	179.13	197.46	219.28
二氧化碳(CO_2)	277.60	312.42	332.66

混淆等情况。

4 应用二次平衡脱气反算法的注意事项

1) 在应用二次平衡脱气反算法时,正确应用振荡脱气法,在试验进针过程中,应严格按照绝缘油中溶解气体组分体积分数的气相色谱测定法的各项要求^[3],在试验进针做到“三快、三防”,减少试验误差;

表6 信安变3号主变2号低抗332开关CT

A相各项试验数据比较

 $\mu\text{L/L}$

溶解气体 组分	2008-02-28 一次平衡值	2008-02-28 二次平衡反算值	2008-02-29 复取试验数据
氢气(H_2)	14.31	14.59	14.24
甲烷(CH_4)	2.38	2.41	2.45
乙烷(C_2H_6)	0.46	0.47	0.50
乙烯(C_2H_4)	1.19	1.21	1.21
乙炔(C_2H_2)	1.50	0	0
一氧化碳(CO)	452.55	471.31	562.92
二氧化碳(CO_2)	325.13	330.27	334.43

2)在应用二次平衡脱气反算法时,振荡脱气的步骤中,正确读取一次平衡脱气脱出气体体积至关重要,从反算公式中可看出,一次平衡脱气的气体体积 V_g 在二次平衡值正确的前提下对数据的准确性起着决定性作用。

(上接第60页)

对此类电磁场问题进行更精确的分析。目前流行的大型有限元分析软件ANSYS非常适合快速地、有效地分析此类与电磁场相关的问题。

参考文献:

- [1] 朱德恒,严璋.高电压绝缘[M].北京:清华大学出版社,1990.
- [2] 尹克宁.变压器设计原理[M].北京:中国电力出版社,2003.
- [3] GB 1208—2006 电流互感器[S].
- [4] BG/T 5582—1993 高压电力设备外绝缘污秽等级[S].
- [5] 孙才新,舒立春,蒋兴良,等.高海拔、污秽、覆冰环境下超高压线路绝缘子交直流放电特性及闪络电压校正研究[J].中国电机工程学报,2002,22(11):115-120.
- [6] 张冠军,赵文彬,郑楠,等.真空中固体绝缘沿面闪络现象的研究进展[J].高压电技术,2007,33(7):822-825.
- [7] 蒋兴良,张志劲,胡建林,等.高海拔下不同伞形结构的750 kV合成绝缘子短样交流污秽闪络特性及其比较[J].中国电机工程学报,2005,25(12):159-163.
- [8] 高巍,孙广生,严萍,等.影响真空中绝缘体沿面闪络特性因素研究综述[J].高压电器,2005,41(6):456-460.
- [9] 车文俊.电力设备外绝缘的爬电距离[J].供用电,2004,21(2):24-28.
- [10] 杜伯学,高宇.高海拔与磁场环境下环氧树脂的绝缘破坏[J].高压电技术,2006,32(10):5-7.
- [11] 王福刚,曾兵,葛良全.高压互感器局部放电原因分析[J].高压电

5 结语

电力企业的高速发展,设备的不断增加,新设备、新技术的不断应用,状态检修的大面积推广,减少对设备的检修次数势在必行。油化验,正是担负决定是否开展检修的最重要依据之一,试验数据的准确可靠,对于判断设备的状态尤为重要。应用该二次平衡脱气反算法可验证试验数据的正确性,可减少取样次数,减少工作时间,对充油设备、特别对少油量的倒置式互感器、套管,可减少停电时间,延长检修周期更具重要意义。

参考文献:

- [1] DL/T 596—1996.电力设备预防性试验规程[S].
- [2] 孙坚明.电力用油(气)[M].西安:电力热工研究所,1996.
- [3] GB/T17623—1998.绝缘油中溶解气体组分含量的气相色谱测定法[S].
- [4] 器,2008,4(1):73-75.
- [12] MEREURE H. Insulator Pollution Performance at High aRi'mde [J]. MajorTrends.,IEEETrans on PWRD,1989,1461-1468.
- [13] SAITO Y, MICHIZUNO N, ANAMI S, et al. Surface Flashover on Alumina RF Windows for High-power Use [J]. IEEE Trans on Electr Insul, 1993, 28(4):566-573.
- [14] BLAISE G, LE GRESSUS C. Charging and Flashover Induced by Surface Polarization Relaxation Process [J]. J Appl Phys, 1991, 69(9):6334-6339.
- [15] ZHANG G J, WANG X, YAN Z. The Correlation Between Surface Chemical Elements of Solid Insulating Materials and Their Flashover Characteristics in Vacuum [C]// Proc. XXth Int. Sym. Disch. Electr. Insul. Vac, 2002.
- [16] LIANG Xi-dong, WANG Shao-wu, HUANG Leng-ceng, et al. Artificial Pollution Test and Pollution Performance of Composite Insulators [C]// High Voltage Engineering Symposium, 22-27 Aug. 1999, Conference Publication No.467, @ IEE, 1999.
- [17] RIZK F A M, REZAZADA A Q. Modeling of Altitude Effects on AC Flashover of Polluted High Voltage Insulators [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1997, 12(2):810-822.
- [18] SHI W D, GUAN Z C, WANG L M, et al. A study on the Selection of Outdoor Insulators Used in High Altitude Area [C]// 2003 Annual Report—Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena. 0-7803-7910-1, 03@ 2003 IEEE: 391-393.