

电流互感器过量产氢的理化机制与实验研究

姚一鸣¹, 刘 亮¹, 蒋 鑫¹, 曹乃庆², 吴光斌², 武鹏之²

(1. 国网冀北电力有限公司电力科学研究院, 北京 100032;
2. 山东泰开互感器有限公司, 山东 泰安 271000)

摘要:近年来发现电流互感器(CT)普遍存在过量产氢的问题,目前对此问题已展开一定研究,但氢气来源和产生机理尚不明确。本文针对运行变电站的大量CT进行氢气含量监测,配合油色谱和CT解体实验,获取了过量产氢的特征,并进一步开展了模拟实验和机理分析。研究了含水量和温度、电流等因素对过量产氢的影响规律,通过实验得到了不同含水量和温度条件下的产氢量变化曲线,对比分析了含水量和温度对产氢速率的影响效果和机理以及通流条件对产氢速率的影响。分析了CT中氢气的主要材料来源和产氢的外部激励条件,初步揭示了过量产氢的理化机制,并据此对CT的制造和运行维护提出了合理化建议。

关键词: 电流互感器; 过量产氢; 含水量; 温度; 机理分析

DOI: 10.12067/ATEEE1811036 **文章编号:** 1003-3076(2019)11-0039-07 **中图分类号:** TM452+2

1 引言

电流互感器(Current Transformer, CT)是电力系统的重要设备,通过电磁感应将一次侧的大电流按照一定比例转化为便于测量的小电流信号,进而和其他设备配合使用,实现电网设备的可观和可控。CT的性能对测量结果的准确性和继电保护设备动作的正确性有着重要影响^[1]。CT主要被安装使用于户外变电站,长期运行在大电流、高场强的恶劣复杂环境下,容易出现绝缘劣化、受潮等缺陷,这些问题可以通过油色谱实验的数据直接体现^[2]。

CT过量产氢的问题很早就引起了相关学者的注意,目前对此问题已开展过一些研究。传统主流观点认为,由于CT的金属部件和膨胀器等部分存在焊接问题,内部的镍等材料具有催化作用,促进有机物分解形成单氢^[3-9]。基于此种理论,制造厂家不断改进选材和工艺,取得了一定效果,但过量产氢问题仍屡有发生,表明此问题仍有其他原因。部分研究人员认为主要是水或绝缘油在高温及电场作用下分解,但是始终没有确切结论^[10-15]。也有学者在未投运的CT中发现了过量产氢现象,可以达到

400 μ L/L,但是测量介损和绝缘电阻并没有异常,处理后投运也未出现事故,因此提出过量产氢和内部绝缘问题无关的观点^[16,17]。近几年,针对CT过量产氢问题的研究基本停滞。

本文针对过量产氢问题,对多处变电站不同工况下的CT进行产氢量监测,对过量产氢的CT进行解体分析。设计实验研究不同因素对产氢的影响,并对氢气来源和产生理化机制进行了分析。

2 电流互感器过量产氢现象

CT过量产氢的基本特征为油中单氢含量高,CH₄含量和总烃含量均增大,但一般没有乙炔生成。过量产氢会导致CT内部压力增大,造成设备变形,破坏密封结构。同时氢气的产生也表明CT的内部发生了理化反应,根据GB/T 7252-2001《变压器油中溶解气体分析和判断导则》,氢气产量可表征设备内部可能的缺陷和绝缘介质的隐患。国家标准规定,CT油色谱实验氢气含量不超过150 μ L/L。

为更全面研究CT过量产氢问题,本文对多处变电站CT进行产氢量监测,共获取了500kV、220kV、110kV三种电压等级合计37台过量产氢CT

收稿日期: 2018-11-22

基金项目: 国网冀北电力有限公司科技项目(52018K16000W)

作者简介: 姚一鸣(1993-),男,蒙古族,辽宁籍,工程师,硕士,研究方向为高电压技术;

刘 亮(1979-),男,河南籍,高级工程师,博士,研究方向为高电压技术。

的数据,其中有 7 起氢气含量达到上万(单位 $\mu\text{L/L}$,下同),4 起达到上千,26 起相对较低,在几百的量级。对氢气产量较高和较低的情况,分别选取比较有代表性的典型案例。

(1)案例一。某 220kV 等级 CT 出现严重过量产氢现象,金属膨胀器外边沿顶起。带电取油样进行油色谱分析,数据详见表 1。

表 1 油色谱实验结果

Tab.1 Oil chromatogram results

(单位: $\mu\text{L/L}$)								
测试日期	H_2	CH_4	C_2H_6	C_2H_4	C_2H_2	CO	CO_2	总烃
2013-6-5	39.4	0.6	0.3	0.2	0	65	226	1.1
2014-6-11	41526	857	1046	3	2	12	0	1908

对设备停电进行绝缘参数测量实验,该 CT 的主绝缘为 $4\text{M}\Omega$ (标准为不小于 $3000\text{M}\Omega$);介损值为 3%(标准值为不大于 0.8%)。

(2)案例二。某 220kV 等级 CT 设备一直在投运后处于热备用状态,未带负荷运行,也发现了过量产氢现象。油色谱数据详见表 2。

表 2 未投运 CT 油色谱实验结果

Tab.2 Test results of oil chromatogram of non commissioned current transformer

(单位: $\mu\text{L/L}$)								
测试日期	H_2	CH_4	C_2H_6	C_2H_4	C_2H_2	CO	CO_2	总烃
2013-6-18	26	0.5	0	0	0	12	188	0.5
2014-5-7	370	3	3	0	0	45	238	6

未投运设备也产生了氢气,可见运行中的电场电流作用以及发生的故障放电等因素并不是过量产氢的必要条件,产生氢气的原因存在着多种可能。

根据过量产氢 CT 的油色谱实验结果,同时配合对设备进行解体实验,可以发现过量产氢现象有如下特点:

(1)单氢含量上千上万($\mu\text{L/L}$)的 CT,都是带负荷运行的设备,除了氢气含量较高外还伴随有大量 CH_4 产生,但乙炔含量通常较少,解体后设备内部查看无明显异样,表现为低能放电。

(2)氢气含量为几百($\mu\text{L/L}$)的 CT,多数发生在未投运的设备中,此种情况 CH_4 含量相对较少,没有乙炔的产生,共同特点是周围环境温度较高。

过量产氢 CT 受到的外部激励因素多样化、相应的产氢量及附加产物含量也有所不同,说明高温、负荷电流可能是过量产氢的影响因素,但影响机制尚不明确。

3 实验室内过量产氢模拟实验研究

从 CT 产氢量监测数据可以看出,CT 过量产氢的情况较为复杂,可能同时存在多种外部激励因素和理化机制。本文针对不同含水量的绝缘材料,选取温度和有无负荷电流两种外部激励因素作为变量进行了实验。

3.1 实验装置试品及方案

本文采用实验室内模拟实验的方法研究含水量和温度对 CT 产氢的影响,用真实 CT 研究有无负荷电流的影响。在温度和含水量的研究中,实验采用如图 1 所示的容器。

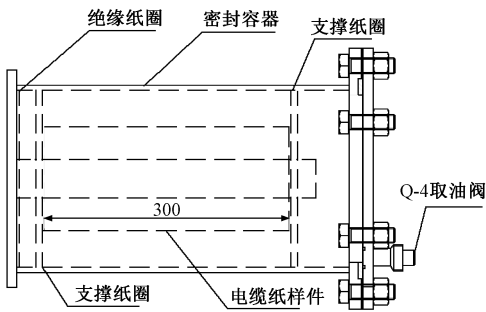


图 1 温度含水量实验容器

Fig.1 Trial product container for researching influence of temperature and water content

在实验前,使用中性油污清洗剂清洗样件容器,在上法兰边沿开孔安装放油阀,并在开孔部位表面喷变压器专用内壁漆修补,控制漆膜厚度小于 $90\mu\text{m}$ 。密封容器喷漆后进行脱氢处理,晾干 3 天, $105\sim 110(^{\circ}\text{C})$ 烘干 12h。

为保证模拟实验的等效性,选用常规 CT 设备所用的绝缘介质 45#变压器油和乐山高压电缆纸作为试品。采用 CT 的相同的制作工艺,模拟线圈的绝缘结构,在 $\phi 40\times 4$ 铝管上缠绕 0.13mm 高压电缆纸半叠包扎 120 层(控制绝缘厚度与常规 LB6-110 产品相同)、长度约 300mm,共 6 个样件,分别记做 1#~6#。实验所用试品中绝缘纸与绝缘油的比例与真实 CT 中的比例相同。

对 6 个实验试品分别处理如下:

通过对绝缘纸圈进行干燥处理,控制 1#、2#试品材料内部含水量约 1%;3#、4#试品内部含水量约 2.5%~3%;5#、6#试品自然放置,内部含水量 6%~8%。

将放置试品的容器放入烘箱中恒温加热,1#、

3#、5#升温至 55~65(℃),2#、4#、6#升温至 75~85(℃),试品按照以上方式加热保持 9 个月处理,每隔 30 天取油测试一次油样进行油色谱实验。为避免取油时容器上下油样存在差异性,取油前将容器平放滚动,使上下部油样充分混合。同时保证油面始终高于放油阀部位,避免取油时气体逸散。

对真实 CT 进行通电流实验:取 a、b、c 三台 35kV 电压等级 CT(CT 中绝缘纸和绝缘油的比例与模拟实验相同)进行处理,使得 a、b、c 绝缘纸含水量分别为 1%、2.5%~3%、6%~8%;通过 4 台 10kV 升流器(并联使用)、20kV·A 调压器对 a、b、c 长期持续通流 600A(控制实验温度 60±5(℃))。

油色谱分析使用仪器为中分 2000B 气相色谱仪。

3.2 实验结果分析

对 6 个试品的氢气含量进行测量,结果见表 3。可以看出,1#~5#试品氢气产量相对较低,6#试品产生了较多氢气。实验初期,氢气产生速率相对较为缓慢,在 120 天后产氢速率增大,300 天后趋于饱和。在刚开始实验时绝缘纸中的水分扩散量较少,随着时间越来越长,扩散出的水分越来越多,产生氢气速率也加快,在达到一定程度后达到动态平衡,所以逐渐趋于饱和。对比实验条件和生成氢气量,本实验较好地模拟了未投运设备过量产氢的情况。

表 3 模拟实验不同试品氢气含量随时间的变化

Tab.3 Variation of hydrogen content in different samples with time in simulation test

(单位:μL/L)

测试时间/天	1#	2#	3#	4#	5#	6#
30	0	0	0	0.55	0.44	5.05
60	0.341	1.13	1.25	2.294	1.16	16.7
90	0.781	0.93	0.42	3.025	0.95	28.21
120	1.54	0.82	0	3.904	0.78	38.33
150	1.84	1.12	0.75	4.352	4.25	67.85
180	1.62	2.54	0.79	2.54	3.27	92.61
210	1.53	3.15	0.821	3.18	3.16	114.24
240	1.45	3.42	0.845	6.25	2.98	127.5
270	1.15	3.78	0.885	8.42	2.68	195.24
300	0.856	4.43	0.912	9.486	2.51	239.81
330	0.91	6.671	1.01	11.297	3.61	241.2

通电流实验结果见表 4。由于 b、c 中氢气产量一直较低,所以 150 天后主要对 a 进行油色谱测量。

表 4 通电流实验氢气含量随时间的变化

Tab.4 Change of hydrogen content with time in current-through test

(单位:μL/L)

测试时间/天	a	b	c
0	0.85	0.94	0.35
30	4.21	0.46	1.483
60	5.99	1.4	3.707
120	8.381	1.47	3.24
150	9.21	2.12	3.69
210	33.211	-	-

3.2.1 绝缘介质含水量对产生氢气速率的影响

选择含水量分别为 1%、2.5%~3%、6%~8%的 2#、4#、6#试品产氢结果进行对比,加热温度为 80±5(℃),结果如图 2 所示。

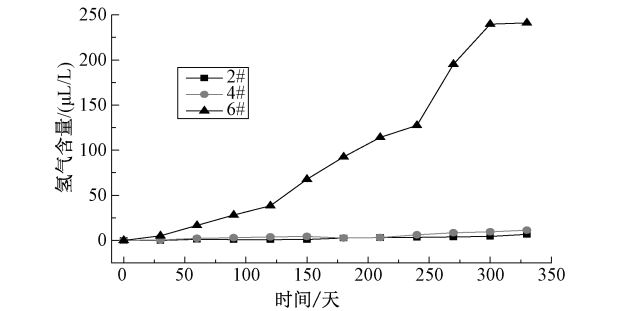


图 2 不同含水量试品氢气含量随时间变化
Fig.2 Hydrogen content with time in different water content specimens

可以看出,在相同温度下,氢气产生速率与含水量成正相关。当含水量处于较低水平时(如 2#和 4#试品),氢气产生的速率相对较慢,含水量高的试品略大于含水量低的试品;但是当含水量继续增大到某一水平时,产氢速率明显增快。比较 300 天时三种含水量试品产生的氢气量(由于 300~330 天有饱和趋势,所以选用 300 天的数据更能反映氢气的增长速率),80±5(℃)条件下的结果如图 3 所示。

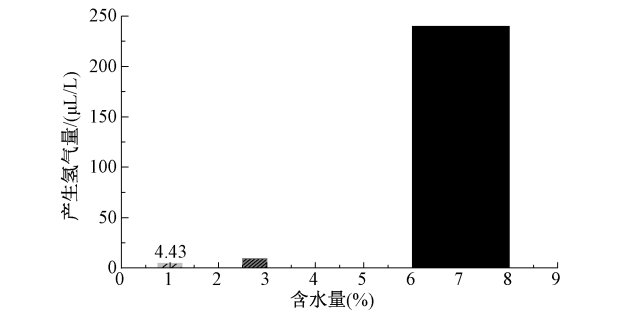


图 3 氢气产生量随含水量变化
Fig.3 Variation of hydrogen production with water content

60±5(℃)的结果趋势与图3相同。由图3可以看出,随着含水量的增大,氢气产生速率也越大。化学反应是一个动态平衡的过程,不同的反应进行的程度有所不同。绝缘介质中的微量杂质水分,会以吸附的形式存在于绝缘纸当中,可以参与反应的量极少,水分解为氢气的反应很难进行。但是当含水量逐渐增大,绝缘纸吸附水分趋于饱和,有大量游离态的水分可以参与反应,极大地促进了水分解反应的正向进行。因此在水分较少时,产生氢气速率相对较低,但是当含水量达到一定水平后,产氢速率会迅速增大。

3.2.2 温度对产生氢气速率的影响

选择含水量为6%~8%的5#、6#试品进行对比,5#试品加热温度为60±5(℃),6#试品加热温度为80±5(℃)。结果如图4所示。

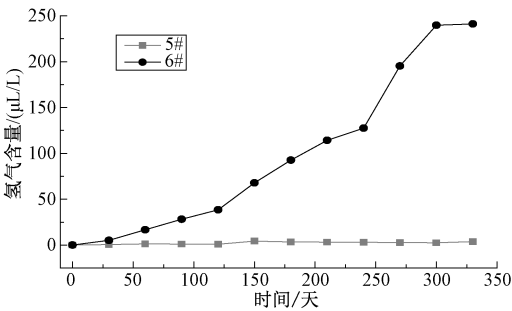


图4 不同温度试品氢气含量随时间的变化
Fig.4 Hydrogen content with time in different temperature samples

可以看出,在含水量相同时,温度升高可以促进氢气的产生。虽然5#试品的含水量也很高,但是产氢速率相对较小,说明温度对于水分解产生氢气速率是一个重要影响因素。对300天时6个试品的氢气生成量进行对比,结果如图5所示。

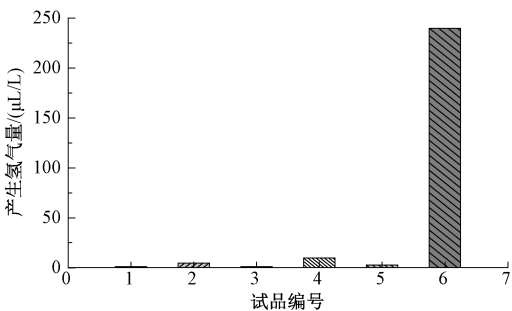


图5 不同试品氢气含量对比
Fig.5 Comparison of hydrogen content in different samples

可以看出,含水量1%的2#试品比含水量为6%

~8%的5#试品产生氢气还要多,说明在水分解产生氢气的反应中,温度是比含水量更为重要的影响因素。从微观角度分析,温度升高导致水分子热运动增强,相同含水量下会出现更多的游离态水分子,提升了实际参与反应的水分的浓度,促进了水分解反应的正向进行。

3.2.3 通电流实验对比

将a、b、c试品的实验结果与1#试品进行对比,如图6所示。

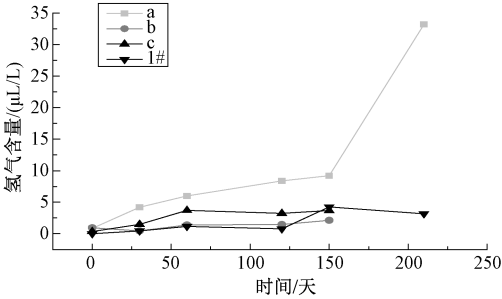


图6 通流实验氢气产量
Fig.6 Hydrogen content in CT under current

可以看出,当有电流作用时,产氢速率仍然符合随含水量升高而升高的规律。含水量和温度相同时,在电流作用下产氢速率明显增大,说明过量产氢的外部激励因素并不单一,电流也是重要的激励因素。由于控制了温度,可以排除大电流导致温度升高的影响,说明在电流(电场)作用下,会促进水分的分解,或者发生了绝缘介质的分解,导致了氢气产量增加。

温度和电流的实验结果与监测到的热备用状态CT的过量产氢现象一致,证实了高温和电流都是过量产氢的外部激励,也说明了单纯的温度和电流的影响较难导致案例一中氢气含量上万(μL/L)的情形,过量产氢的原因还可能与放电导致的绝缘介质的分解有关。

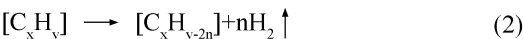
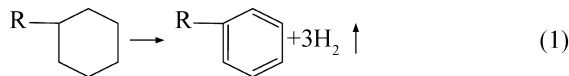
4 CT 过量产氢的理化机制分析

CT也属于变压器的一种,主要组成部分包括线圈、铁心,绝缘介质通常采用油纸绝缘。绝缘介质中会含有微量杂质,主要为水分子。本文从CT的结构材料组成和受到的外部激励对产生氢气的来源和理化机制进行分析。

4.1 过量产氢的材料来源

目前变压器类产品使用的绝缘油主要为矿物油,为多种烃类的混合物,包括链烃、环烷烃和芳香

烃等。烃类为碳氢化合物,绝缘油在受热和放电条件下可能发生 C-H 键断裂,生成氢气,如式(1)、式(2)所示。



CT 中存在不锈钢金属部件。金属元素会在加氢脱氢、异构环化、裂解氢解的反应中作为催化剂促进反应进行。对比实验室实验结果和现场监测数据,实验室中模拟的产氢量仅有几百(μL/L),远小于现场案例中 CT 的产氢量,说明大量的氢气来源应该是绝缘介质的分解。

CT 在制造加工中可能存在干燥不彻底,或者运行中会发生受潮,导致绝缘介质中存在微量的水分,在 CT 的高场强环境下发生电解产生氢气。现场运行和模拟实验结果表明,仅在高温作用下,也可能发生水分的分解。活泼金属可以与水反应生成氢气。对于铁、锌等金属,在温度较高或电场作用下,也可以与水反应,产生氢气。当金属漆包件表面有划痕破损时,金属元素会加速氢气的产生。因此水分解及水和金属的腐蚀反应是 CT 中单氢的可能来源。

绝缘纸的主要成分是纤维素,是一种由 β-D-吡喃型葡萄糖基组成的聚合物,一般可用通式(C₆H₁₀O₅)_n表示,n 为聚合度^[18,19]。其分子结构中的氢气来源如图 7 所示。

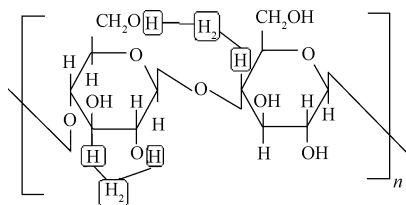


图 7 纤维素分子中的氢元素

Fig.7 Hydrogen in cellulose molecule

由图 7 可以看出,α-纤维素中存在以羟基(-OH)和 C-H 键形式存在的氢元素。高温、电场或放电的作用下,O-H 和 C-H 键都有可能发生断裂,提供氢元素生成氢气。

4.2 过量产氢的外部激发因素

根据 4.1 节的分析,氢元素主要来源是绝缘介质中的微量水分子和绝缘介质中的 C-H、O-H 键。氢气的产生需要外部提供能量破坏化学键,来推动化学反应的进行。根据变电站 CT 监测结果和实验室内实验的结果,局部放电、高温和负荷电流是促进

CT 产氢的外部激励条件。

CT 工作在大电流、高场强的环境下,电场和电流是提供理化反应进行所需能量的重要来源。CT 内部有时会存在一些毛刺,或者由于受潮、含有杂质而形成气泡空腔导致局部放电。局部放电提供了破坏 C-H 键、O-H 键的能量,导致绝缘油和绝缘纸的分解。局部放电在不同放电能量下产生的气体特征也有所不同,三比值法可以粗略判定故障种类。

模拟实验中,未通电流的试品也产生了过量的氢气,根据现场监测结果,此类过量产氢的 CT 共同特点是环境温度较高,可见电磁场不是造成过量产氢的唯一原因,高温也是导致此问题的激励条件。当设备内部发生故障时会由于放电导致绝缘介质过热,正常运行时由于环境温度升高以及大电流的热效应也会导致温度升高。根据不同含水量和温度对氢气产量的模拟实验结果,含水量越多、温度越高,氢气产量也越高,说明在高温下发生了水分解产生氢气。

此外,在正常投运设备中,会存在电场和电流的双重作用。电场作用下,极性分子(如水分子)也会翻转运动,可能会导致化学键获能断裂,产生氢气。电介质中的带电粒子(电子或离子、带电基团)和金属线圈中电子会发生周期性往复运动,与绝缘介质在界面处的碰撞也可能导致化学键断裂。这也解释了为什么相同温度下通电流的试品产氢量更多。

4.3 基于产氢来源的防护技术

根据实验结果和对氢气来源及外部激励的分析,对 CT 的制造和运行提出以下建议:

(1)在 CT 制造过程中,要对绝缘介质、各个部件进行彻底干燥,尽可能减少含水量。安装和运行中也要尽量避免设备受潮,一旦受潮及时进行干燥处理。

(2)含水量高的 CT,出厂或交接时绝缘纸中的水分还未扩散出来,缺陷较难被发现,随着运行水分逐渐扩散,会导致过量产氢。因此建议在运行中要加强含水量监测。

(3)在含水量较低时,氢气产生速率随含水量的增大变化不大,但是达到一定程度后会迅速增长。因此在平时的监测中只根据氢气含量来进行评价是存在隐患的,还需要关注含水量的变化。

(4)在气温较高或负载电流较大等条件下会导致温度升高,导致产生大量氢气。因此,在上述情况下需要额外关注设备温升情况。

5 结论

(1)通过监测发现过量产氢现象,产氢量可以高达上万($\mu\text{L/L}$)。且CT过量产氢的条件和过量程度较为复杂,在运设备和备用设备中都会出现过量产氢。

(2)水和绝缘介质是CT中氢气的重要来源。水分解会导致过量产氢,但绝缘油的分解才是导致产氢量达到上万($\mu\text{L/L}$)的主要因素。

(3)外部激励是过量产氢的必要条件。CT产生氢气的外部激励因素包括温度、电场电流作用和局部放电,不同激励作用机理不同,作用对象也有所区别,但都可以导致过量产氢。

(4)初步揭示了CT过量产氢的理化机制:在外部激励条件下,绝缘介质中的水分子杂质在高温作用下O-H键断裂,绝缘介质的C-H键、O-H键在电场的作用下断裂,产生过量氢气。

参考文献 (References):

- [1] 李林川 (Li Linchuan). 电能生产过程 (The process of electric energy production) [M]. 北京: 科学出版社 (Beijing: Science Press), 2011.
- [2] GB/T 7252-2001, 变压器油中溶解气体分析和判断导则 (Guide to the analysis and the diagnosis of gases dissolved in transformer oil) [S].
- [3] 徐康健, 吴一民 (Xu Kangjian, Wu Yimin). 互感器油中氢浓度偏高现象的分析 (Analysis on high hydrogen in oil of instrument transformer) [J]. 变压器 (Transformer), 1997, 34 (12): 34-36.
- [4] 程传高, 苏镇西 (Cheng Chuangao, Su Zhenxi). 互感器油中溶解气体单一氢气超标原因浅析 (Brief discussion on overproof problems of hydrogen among dissolved gases in instrument transformer oil) [J]. 变压器 (Transformer), 2003, 40 (8): 43-46.
- [5] 焦国杰 (Jiao Guojie). 电流互感器为何氢气超标 (Reasons for exceeding hydrogen standard of current transformer) [J]. 农村电气化 (Rural Electrification), 2005, (8): 38.
- [6] 蒋福佑, 袁鹰 (Jiang Fuyou, Yuan Ying). 电流互感器油中氢气产生机理研究 (Study on generation mechanism of hydrogen in current transformer oil) [J]. 四川电力技术 (Sichuan Electric Power Technology), 2012, 35 (4): 56-59.
- [7] 王文华, 张科, 高新志 (Wang Wenhua, Zhang Ke, Gao Xinzhi). 高压互感器中氢含量高的原因浅析 (Analysis of the reasons for high hydrogen content in high voltage transformer) [A]. 中国电机工程学会高电压专业委员会学术会议论文集 (Academic Meeting of the High Voltage Professional Committee of the Chinese Society of Electrical Engineering) [C]. 2004. 869-872.
- [8] 李康, 郭润睿, Hassan Javed, 等 (Li Kang, Guo Runrui, Hassan Javed, et al.). 空气局部放电衍生物气生成规律的研究 (Study of air by-products formation characteristics under corona discharge) [J]. 电工电能新技术 (Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy), 2017, 36 (8): 1-7.
- [9] 周远翔, 周仲柳, 沙彦超, 等 (Zhou Yuanxiang, Zhou Zhongliu, Sha Yanchao, et al.). 交直流复合电压下油纸绝缘典型缺陷局部放电发展阶段评估 (Assessment of stages of partial discharge process of typical oil-paper insulation defect under combined AC-DC voltage) [J]. 电工电能新技术 (Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy), 2018, 37 (6): 50-57.
- [10] 谷小博, 余辉, 宋斌, 等 (Gu Xiaobo, Yu Hui, Song Bin, et al.). 电流互感器单氢超标现象的理论分析 (Theoretic analysis of phenomenon of overproof hydrogen in current transformer) [J]. 变压器 (Transformer), 2014, 51 (1): 28-33.
- [11] 李国胜 (Li Guosheng). 关于110kV互感器色谱分析情况的讨论 (Discussion on chromatographic analysis of 110 kV Transformer) [J]. 科技信息 (Science & Technology Information), 2010, (33): 351, 307.
- [12] 丁峰, 刘炯明, 许红军 (Ding Feng, Liu Jiongming, Xu Hongjun). 电流互感器油中氢气含量超标分析和处理 (Analysis and treatment of excessive hydrogen content in current transformer oil) [J]. 中国设备工程 (China Plant Engineering), 2009, (6): 49-51.
- [13] 蔡跃群, 肖乾琅 (Cai Yuequn, Xiao Qianlang). 电流互感器油中氢气含量超标的原因分析和处理方法 (Analysis and treatment of hydrogen content exceeding the limit in the oil of CT) [J]. 高压电器 (High Voltage Apparatus), 2004, 40 (6): 476-477.
- [14] 朱希伏 (Zhu Xifu). 互感器油中氢含量超标的分析和处理 (Analysis and disposal of the over hydrogen in current transformer's oil) [J]. 湖南电力 (Hunan Electric Power), 2003, 23 (3): 38-39.
- [15] 梁冰梅 (Liang Bingmei). 互感器油中氢气含量超标的分析和处理 (Analysis and treatment for H_2 excessive in transformer oil) [J]. 高压电器 (High Voltage Apparatus), 2001, 37 (5): 51-52, 60.
- [16] 李永忠 (Li Yongzhong). 互感器运行前油中氢气偏高的原因 (Reasons for high hydrogen content in oil before operation of transformer) [J]. 变压器 (Transformer), 1996, 33 (8): 39.

- [17] 张俊锋 (Zhang Junfeng). 互感器非故障性氢超标的原因及判断 (Reasons and judgment of non-fault hydrogen exceeding standard of transformer) [J]. 电力与电工 (Electric Power & Electrical Engineering), 2002, (3): 4-5, 9.
- [18] Graham R G, Bergounou M A, Freel B A. The kinetics of vapour-phase cellulose fast pyrolysis reactions [J]. Biomass and Bioenergy, 1994, 7 (1-6): 33-47.
- [19] Antal M J, Várhegyi G, Jakab E. Cellulose pyrolysis kinetics revisited [J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 1998, 37 (4): 1267-1275.

Physical and chemical mechanism and experimental study on hydrogen overproduction in current transformers

YAO Yi-ming¹, LIU Liang¹, JIANG Xin¹, CAO Nai-qing², WU Guang-bin², WU Peng-zhi²

(1. Electric Power Research Institute of State Grid Jibei Electric Power Company, Beijing 100032, China;
2. Shandong TaiKai Instrument Transformer Co., Ltd., Tai'an 271000, China)

Abstract: In recent years, it has been found that the current transformer (CT) generally has the problem of hydrogen overproduction. At present, some studies have been carried out on this problem, but the source and mechanism of hydrogen generation are still unclear. In this paper, hydrogen content monitoring is carried out on a large number of CT scanners in operation substations. The characteristics of hydrogen overproduction are obtained through oil chromatography and CT disintegration experiments, and further simulation experiments and mechanism analysis are carried out. The effects of water content, temperature and current on hydrogen overproduction are studied. The curves of hydrogen production under different water content and temperature conditions are obtained through experiments. The effects and mechanisms of water content and temperature on hydrogen production rate and the effects of working current on hydrogen production rate are compared and analyzed. The main material sources of hydrogen in CT and the external excitation conditions of hydrogen production are analyzed. The physical and chemical mechanism of hydrogen overproduction is revealed preliminarily. Based on this, some reasonable suggestions for the manufacture, operation and maintenance of CT are put forward.

Key words: current transformer; hydrogen overproduction; water content; temperature; mechanism analysis