

电力工业部科学技术委员会

**用气相色谱法
检测充油电气设备内部
故障的试验导则**

(试 行)

制 定 说 明

电力工业出版社

电力工业部科学技术委员会

**用气相色谱法
检测充油电气设备内部
故障的试验导则**

(试行)

制定说明

电力工业出版社

电力工业部科学技术委员会
用气相色谱法
检测充油电气设备内部故障的试验导则(试行)
制定说明

*

电力工业出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 1 $\frac{1}{2}$ 印张 35千字

1980年8月第一版 1980年8月北京第一次印刷

印数 00001—15500册 定价 0.20元

书号 15036·4153

电力工业部科学技术委员会

关于颁发《用气相色谱法
检测充油电气设备内部故障
的试验导则》(试行)的通知

(80) 技电字第51号

用气相色谱法检测充油电气设备内部故障的试验研究工作，已获得成功。这一方法在电力系统中得到广泛的应用，对防止变压器内部故障的发展，起着十分显著的作用。

为了总结提高这一测试技术，1977年我委委托电科院编写《用气相色谱法检测充油电气设备内部故障的试验导则》(讨论稿)，经过一年多的现场实践，在广泛征集意见的基础上，又召集电科院以及各有关单位的专业人员进行了讨论和修改，制定《用气相色谱法检测充油电气设备内部故障的试验导则》(试行)及编制说明，现颁发试行。

各单位在执行过程中如发现有不妥和需要补充之处，希随时报部科技委。

一九八〇年五月二十日

目 录

第一章	总则	1
第二章	取样	5
第三章	从油中脱出溶解气体	16
第四章	气体分析方法	29
第五章	试验结果的判断	41

第一章 总 则

一、指导思想和制定过程

用气相色谱法检测充油电气设备内部的故障，特别是对于电力变压器内部的故障，在电力部门已经普遍开展起来，广大技术人员及现场工作人员，对此积累了相当丰富的经验，对判断电气设备内部的故障起了积极作用。但是由于各地试验方法不一致，试验结果缺乏可比性，因此迫切需要把这些宝贵的经验进行总结提高和统一起来。另一方面，为了使更多的人掌握它，运用它，以便在生产上发挥更大的作用，也需要把这一方法系统地加以阐述，为此制定了本试验导则。

制定本导则的主要依据是：

1. 多年来使用色谱法检测变压器的实践经验。

2. 原水利电力部科学技术司1975年4月在无锡召开的全国变压器技术经验交流会有关本项目的讨论意见。

3. 原水利电力部科学技术司1976年6月组织色谱工作组（成员有陕西省电业管理局中心试验所，兰州供电局，贵州省电力中心试验所，东北电业管理局技术改进局，原电网调度研究所）在西安，兰州，鞍山等地进行现场考察及试验的结果。

4. 原水利电力部科学技术司1977年6月下旬召集色谱工作讨论会。参加单位有：陕西省电业管理局中心试验所，兰州供电局，贵州省电力中心试验所，东北电业管理局技术

改进局，原电网调度研究所，北京电力试验研究所，北京供电局，山西省电管局中心试验所，四川省电力局试验研究所，河南省电力科学试验所，湖北省电力局中心试验所，西安供电局，鞍山电业局，阜新电业局等。在会上根据各地的经验及工作组提供的情况所拟定的导则（讨论稿）。

5.1979年3月电力部科学技术委员会发函至各省电管局（水电局），各中试所，各大区中试所及部分供电局，征求对讨论稿的修订意见。10月份根据这些意见及参考国际电工委员会的有关文件，拟出供讨论用的修订稿。

6.1979年11月底电力部科学技术委员会召集《用气相色谱法检测充油电气设备内部故障的导则》讨论定稿会。参加单位有东北电业管理局技术改进局，吉林省电力局中心试验所，甘肃省电力局电力中心试验所，兰州供电局，福建省电力中心试验所，无锡供电局，河南省电力科学试验所，湖南省柘溪水电站，安徽省电力试验研究所，山东省电力科学研究试验所，阜新电业局，保定变压器厂，湖北省电力局中心试验所，陕西省电业管理局中心试验所，华东电业管理局中心试验所，贵州省电力中心试验所，江苏省电力试验研究所，北京电力试验研究所，北京供电局，电力部电力科学研究院，丹江电厂等21个单位。根据各地的经验和1977年工作组提供的情况，参考了国外有关资料，讨论并通过了本导则。

7.参考了国际电工委员会（IEC）在1977年颁发的567号文件“从充油电气设备取气样和油样及分析自由气体和溶解气体的导则”和1978年颁发的599号文件“运行中变压器及其它充油电气设备气体分析的解释”及其它有关文献。

由于在某些内容上仍感到不够成熟，故订为“试行”，

拟在积累一定的经验以后，在适当的时候再加以修订。

我委委托电力科学研究院组织华东电业管理局中心试验所，陕西省电业管理局中心试验所等有关单位，根据工作组和会议讨论内容以及收集到的资料编写了本导则（试行）的制订说明。由于水平所限，可能情况反映得不够全面，阐述的有关论点也可能有不当之处，发现问题希随时报电力部科学技术委员会。

以下按导则（试行）的内容顺序说明。

二、适用范围

从试验方法本身来看，原则上只要是充油电气设备（开关除外）都是适用的。对于充油套管及充油电缆，虽然近年来，不少单位开展了用色谱法的测试工作，取得了一定的效果，但由于缺乏足够的试验数据为根据，将其订入导则上还嫌不够成熟。另外套管和电缆在取样上也存在一定的困难，待积累一定的经验以后，将在导则上补进相应的判断方法。但原则及方法基本相同，可以参照变压器、互感器的方法试行。

三、检测周期

本导则（试行）所列的变压器的检测周期是根据大部分地区的实际工作能力所建议的最低限度的要求。有条件的地区可以扩大检测面，特别是虽然电压等级较低，容量较小但却是较重要的设备，可列入定期检测的范围之内，对此，导则（试行）没有做统一规定。对于35千伏及1000千伏安以上的变压器基本上应按规定周期检测。

关于互感器的检测问题，主要是针对目前事故较多的情况提出来的建议，因为电流互感器和电压互感器油量少，取油样不能太多，这与目前的脱气方法也有一定的矛盾，因此

如果经检测没有发现什么问题，可以少做或不做。全密封的互感器不做，因为一旦破坏它的密封，就会进水，进气，反而引起事故。

导则(试行)中强调了新设备及大修后设备在投运前后应做一次检测，这是因为不少新设备或大修后未投运的设备，由于非故障的原因，出厂时油中就已含有一定量的各种气体，如带油补焊等可使油中含有一定量的乙炔，这给以后判断故障带来一定的疑团，而且判断故障要根据故障气体的增长率，有一个油中含气量的起始值为基准是必不可少的。

导则(试行)中又强调了变压器在投运后的一段时期内应做多次检测。不少经验表明这是很必要的，因为不少变压器事故是在投运后不长时间内发生的。具体周期未做规定，原则上应是投运初期时间间隔短一些，若无异常情况测试间隔可逐渐放长，直至认为正常为止。

四、检测误差

导则(试行)强调指出，本试验方法从取样到取得分析结果之间操作环节较多，因此总的结果误差是比较大的。过去的同志(尤其是不具体从事这项工作的同志)误认为色谱试验是很精确的，因此在比较分析结果时，往往根据不大的差别就做出相应的判断，这是不确切的。

这些误差的主要来源是：

1. 所取的油样的代表性。
2. 取油样时与空气接触或取样容器与设备取样阀连接不好，有气体逸出或空气混入。
3. 油样在运输及保存时间内溶解气体的逸散，光作用下组分发生变化。
4. 脱气过程的误差，脱气不完全，饱和食盐水溶有空气

或待测组分气体，机械脱气装置未排空上次油样，以至对一个油样有污染。

5.分析过程的误差：包括进样误差，色谱仪、记录仪本身的误差。

6.标定过程引进的误差：标准气样的准确性，配气的准确性。

7.计算过程的误差：测量峰高或半峰宽的误差，计算峰面积的误差，不同仪器使用相同的校正因子的误差。

8.环境温度，大气压力变化引起气体体积变化引进的误差。

因此建议从事本试验工作的有关人员做平行试验来考察自己的试验的精确性。一般平行试验的误差主要来源是取样，脱气和测量峰面积等环节。导则(试行)要求平行试验的结果相差不大于大者的20%，这个要求是应该达到的，工作稍微仔细一些也是能够达到的。

这里还应注意，当试验与上次的结果出现明显差异时，不要轻易放过，应再次取油样进行核对。

第二章 取 样

一、从气体继电器中取气样的方法

在气体继电器动作时，取继电器中的气样进行分析是判断故障的重要依据。气样绝不可轻易放掉。按变压器运行规程的规定检查气体的颜色、气味、进行点燃等方法都是非常粗略的，在目前色谱技术已较普及的情况下，气样应该进行色谱分析。

关于取气样的方法，国际电工委员会导则推荐的，也是我国过去多数采用的，是用排水集气法将气样收集在气样瓶中。在制定导则（试行）的讨论中，认为用排水集气法当变压器处于负压时，有把水吸入变压器的危险，而且也不方便，因此只推荐用注射器取样一种方法。由于色谱分析用气量很少，这种方法是方便的。现场如需作点燃试验时，可同时取两支样品，一支作点燃试验，一支作色谱分析。

气样需要避光保存，以防在光的作用下气样发生变化。

二、取油样的部位

目前大多数单位均自变压器底部取样阀门取样，但也有个别单位自气体继电器放气嘴取样。1977年色谱工作组曾在兰州对此进行了对比试验，选择西固电厂含氢和一氧化碳较高的1号主变，用兽医注射器取样和脱气，每个取样点取两个油样做平行试验，取其平均值如表2-1：

表 2-1 不同取样部位比较

部 位	组 分						
	氢 H ₂	一氧化碳 CO	甲 烷 CH ₄	二氧化碳 CO ₂	乙 烯 C ₂ H ₄	乙 烷 C ₂ H ₆	丙烷, 丙烯, 丙炔 C ₃ H ₈ , C ₃ H ₆ , C ₃ H ₄
下部取样	0.20	0.60	0.038	2.7	0.068	0.021	0.011
上部取样	0.16	0.53	0.039	1.4	0.051	0.016	0.0064

注 CH₄简称C₁, C₂H₆、C₂H₄、C₂H₂统称C₂, C₃H₈、C₃H₆、C₃H₄统称C₃, C₄H₁₀(丁烷)、C₄H₈(丁烯)、……统称C₄, 依此类推。

试验表明，上部取样所得结果不如下部取样的高，因而不能认为轻组分容易在上部积累。相反，上部油中气体会因呼吸作用经常与油枕中油面上的空气进行交换而扩散掉一部分。

此外，在上部取样时，为避免气体继电器的重瓦斯动作，必须暂时退出保护，这是不安全也是不方便的。

湖北省电力局中心试验所曾在1977年的讨论会上介绍对一台变压器在八个不同的部位取样，所得结果相差不大，比较起来，上部取样还偏低些。

日本木下仁智在一台试验变压器上(采取自然对流冷却)设45个取样点，从某一点注入含某种气样的油，结论是满载下6小时，空载下30小时后，对流扩散大致均匀。因而认为自下部取样阀取样，是能够代表变压器内油的整体状态的。

1977年讨论中一致认为常规试验应从下部取样。1979年讨论中也一致认为这种作法是正确的。

但是，也有这样的实例，当变压器内部突然击穿，重瓦斯跳闸后，有时测得上、下部油中含气量有差异，上部明显高于下部。这是因为故障源产生的大量气体在短时间来不及扩散均匀的缘故。故在导则(试行)中不排除在特殊情况下，由不同位置取样的必要性。

三、取油样的容器

近年来不少地方对取样容器作了许多工作。国内目前所采用的取样容器主要有：全玻璃注射器，小口瓶，金属兽医注射器等几种。

为了考察不同取样容器对试验结果带来的差异，1977年色谱工作组曾在西安、兰州、鞍山进行了不同取样容器及取样方式的对比试验。小口瓶顺流及溢流取样与玻璃注射器取样结果比较见表2-2。为使结果准确可靠每种方式均作了三个平行试验。

由表2-2数据可见，用玻璃注射器取样所得结果，从平均值看普遍高于小口瓶溢流取样的数值，但差别不大。还应指

不同取样容器及不同取样方式比较

表 2-2

变压器	取样方式	H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆
西安雁塔变 1号	油泵流入小口瓶	0.074	0.28	3.1	0.18	0.42	0.0015	0.060	0.015	0.13
	油引入瓶底溢流	0.080	0.28	3.1	0.19	0.45	0.0014	0.065	0.014	0.14
	玻璃注射器	0.083	0.30	3.4	0.19	0.49	0.0015	0.077	0.023	0.19
西安翠园变 4号	油泵流入小口瓶	0.052	0.68	3.0	0.012	0.014	0.0026	0.0024		0.0048
	油引入瓶底溢流	0.062	0.74	3.3	0.013	0.015	0.0030	0.0026		0.0066
	玻璃注射器	0.068	0.76	3.3	0.013	0.016	0.0035	0.0028		0.0067
鞍山首山变 B相	油泵流入小口瓶	0.28	0.67	7.6	0.014	0.062	—	0.012	0.0074	0.003
	油引入瓶底溢流	0.31	0.71	8.6	0.015	0.063	—	0.013	0.0092	0.004
	玻璃注射器	0.32	0.73	8.5	0.015	0.067	—	0.013	0.0094	0.004

出，上述试验中取样操作均比较仔细，取样时变压器上层油温不高（雁塔变55℃，枣园变60℃，首山变53℃），底部油温更低；且运输距离都很近。这些都有利于减少小口瓶取样所造成的误差。西安供电局曾作了大量的取样容器对比试验，所得结果是：用注射器取样的结果要好一些。

湖北省电力中心试验所也提供证明，注射器取样数据普遍高于小口瓶的，而且分散性小，含量随放置时间的增长而减小的量也小。但常规试验采用小口瓶（棕色试剂瓶）也取得较满意的结果。

武汉供电局进行了取样容器的对比试验后决定一律采用注射器取样。以一台90兆伏安变压器的对比试验数据为例，见表2-3。

表 2-3 不同取样容器比较

取样方式	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₂ H ₂	C ₃ H ₆	CO	CO ₂
充氮瓶取样	0.06	0.35	0.07	0.56	0.04	0.011	0.11	0.67	6.9
注射器取样	0.11	0.49	0.14	0.83	0.04	0.011	0.23	0.66	7.8

武汉供电局还为针管取样，设计了专门的取样箱，使注射器在运输过程中得以固定，而且保证芯子能自由活动，以防针管破碎。

对组分含量很小的正常变压器来说，由于实际考察结果认为注射器取样与小口瓶溢流取样差别不大，而且这一类设备是大量的，因此本导则推荐了玻璃注射器及小口瓶（棕色带内盖和外盖）两种取样容器。但对于追踪分析的故障变压器建议最好采用100毫升玻璃注射器，如采用带有金属头的

玻璃兽医注射器更结实耐用一些。

关于小口瓶，讨论认为采用有塑料内盖和塑料螺旋外帽压紧的棕色小口瓶为宜。湖北省电力中心试验所曾做对比试验表明，这类瓶子带内盖的数据高，分散性小。

1977年国际电工委员会制定的色谱导则正文中只提出了玻璃注射器（玻璃芯子或塑料芯子）一种取样容器。而在附录中介绍了带内盖的小口瓶，作为常规分析也可以采用的取样容器。

对于所采用的玻璃注射器或棕色小口瓶均应保证一定的密封效果。国际电工委员会导则提出的考核方法是容器内贮存溶有氢气的油样放置两星期，每星期氢的浓度下降不得大于2.5%。根据我们现在采用的注射器，很难达到这一要求，因此这一检查方法未列入导则（试行）。对注射器的密封质量，还应进一步改进。

有的单位采用金属兽用注射器取样，取样容器即为脱气工具。对此1977年色谱工作组曾作了实地考察，进行了对比试验，一种方法是用金属兽用注射器取样，另一种方式是用导管从注射器后部灌入再用活塞密封（也称溢流），每种方式作三个平行试验，所得结果的平均值（有的只有两个试验结果取平均值）列于表2-4。

由表2-4结果可见，这种注射器所得的结果不见得比溢流法高。实际观察也可看到，这种注射器因芯子用胶塞密封，滑动性很差。操作时不能保证油在静压力下缓缓压入注射器，取完油样后也不易保证容器内没有残余气泡。而且在保存过程中油温降低造成的油体积收缩也不能使活塞移动到补偿。因此，实际上这种金属兽用注射器仅相当于小口瓶，并不具备注射器取样应有的优越性。它的优点是不易破

表 2-4 金属兽用注射器的不同取样方式比较

变 压 器	取样方式	H ₂	CO	CH ₄	CO ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₂	C ₃
西固电厂 6号变	溢流	0.23	0.74	0.046	2.5	0.060	0.016	—	0.010
	注射器	0.20	0.60	0.038	2.7	0.068	0.021	—	0.011
西固电厂 7号变	溢流		0.12	0.0056	0.41	0.0046	0.008	—	0.0004
	注射器		0.13	0.0054	0.45	0.0053	0.001	—	0.0004

碎，取样容器即为脱气容器，油样不需转移。但正因为油样不转移，当脱气操作不慎或需要重复做一次脱气试验时，该油样已经报废了。这种情况在实际试验中是很难避免的。因此导则（试行）中不推荐金属兽用注射器作为取样容器。

四、取油样的方法

导则（试行）提出设备的取样阀门应配上带有小嘴的取样帽或带小管的橡胶塞。在小管或小嘴上接软管，尽量不让油样与空气接触。这是考虑到油样与空气接触后会改变油样中气体的含量。玻璃注射器取样时容易做到油样与空气不接触。关于小口瓶取样，有的单位曾提出，直接从取样阀门放油进入小口瓶，只要顺壁缓缓流入，不激起气泡，效果也还是好的。表 2-2 中列出的结果表明，这种取样方法对一些轻组分有影响，对溶解度大的气体影响不大。

阜新电业局对油直接流进瓶中和经软管引入瓶底溢流两种方式作了大量的对比试验，在三台变压器上进行了 7 项对比取样，每种方式均作平行试验，共取样 42 个。从试验结果看，两种取样方式相差不大。但这只是对较理想的情况如此。当取样阀门结构不理想或油流无法控制使其顺壁缓缓流

下，甚至是在射出的一股激流中取油样时，所得结果差异就十分显著。色谱工作组在鞍山作了对比，每种方式取三个样品作平行试验，取其平均值，结果列于表2-5。

表 2-5 小口瓶的不同取样方式比较

变压器	取方 样式	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₂ H ₂	C ₃ H ₆	CO	CO ₂
红一变 2号机 变	油直接 流入	0.027	0.059	0.049	0.30	0.019	0.003	0.002	0.44	5.4
	油引至 瓶底 溢流	0.036	0.066	0.052	0.34	0.021	0.004	—	0.50	6.0
红一变 2号主 变	油直接 流入	0.009	0.004	0.0033	0.0041	0.0086	0.002	0.031	0.39	4.1
	油引至 瓶底 溢流	0.042	0.0082	0.0045	0.0057	0.0093	0.0006	0.029	0.95	6.7

对照表2-5和表2-2可见，表2-5中两种取样方式差别显著，尤其是表2-5中的红一变2号主变，因取样阀门不能实现平缓顺壁流入瓶中，而是向外喷出，直接流入瓶内激起许多泡沫，实验结果就表现出很大的差别。尤其是轻组分差别达好几倍，这是应该引起注意的，不消除这个误差可能会影响到判断。还需指出，直接流入的取样方式由于溶解气体与空气接触过程中逸出情况不可能一致，因此，数据分散性很大，仍以红一变2号主变为例，三个平行试验中如以 $\frac{\text{最大值}-\text{最小值}}{\text{平均值}}$ 表示分散性，油引进瓶底溢流时氢为2%，一氧化碳为4%，而油喷射流入时氢为67%，一氧化碳为31%，数据的重复性得不到保证。

阜新电业局做了油样射入瓶中激起泡沫与平静流入的对比试验，每种方式取二个样品做一平行试验。结果表明，激