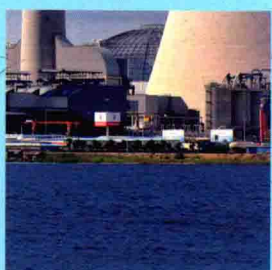


电力设备监控运行 培训手册

安徽电力调度控制中心 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电力设备监控运行

培训手册

安徽电力调度控制中心 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

图书在版编目（CIP）数据

电力设备监控运行培训手册 / 安徽电力调度控制中心编. —北京：中国电力出版社，2018. 12
ISBN 978-7-5198-0409-1

I. ①电… II. ①安… III. ①电力监控系统—技术培训—手册 IV. ① TM73-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2019）第 031072 号

出版发行：中国电力出版社

地 址：北京市东城区北京站西街 19 号（邮政编码 100005）

网 址：<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑：周秋慧（010-63412627）

责任校对：黄 蓓 郝军燕

装帧设计：赵姗姗

责任印制：石 雷

印 刷：北京九天众诚印刷有限公司

版 次：2018 年 12 月第一版

印 次：2018 年 12 月北京第一次印刷

开 本：787 毫米×1092 毫米 16 开本

印 张：16.75

字 数：373 千字

印 数：0001—2000 册

定 价：98.00 元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题，我社营销中心负责退换

编 委 会

主 任	陈 实					
副 主 任	胡晓飞	吴 迪	黄太贵	赵晓春	胡世骏	戴长春
委 员	孙月琴	宋祥春	陈存林	张 炜	汤 伟	李端超
	谢 民	马金辉	谢大为			
主 编	叶海峰					
副 主 编	刘路登	刘 辉	方林波	王正风	黄少雄	王同文
	王海港					
编写人员	李玉龙	鲁 伟	高 岭	杨劲松	王媛玥	朱明星
	郝翠甲	陈琼芳	曹成功	罗利荣	吴春洋	杜 力
	佟志亮	熊 平	马 跃	黄莉莉	洪 瑞	康 臣
	黄春胜	吴文兵	李 顺	朱刚刚	王丽萍	吴德花
	李 森	吕学增	朱义贤	魏 霞	石 峰	罗俊骁
	王 盛	陈 斗	王文林	代 飞	胡海琴	胡 昊
	许建中	徐 振	江千军	杨恒云	赵岱平	时 标
	朱志国	王永生	陈 信	陈世雯	方周康	舒永志
	王有军	罗 宏	占晓友	马 艳	刘 辉	(铜陵公司)
	柏长城	贾良彦	黄大钊	张春龙	赵 尧	柯明宇
	韩 辉	朱 兵	李 坤	李卫国	金 桂	

前言



国家电网公司提出了“调度集控专业融合、调度结构优化调整”的改革方向，需要整合电网调度和变电运行资源，推进变电设备集中监控业务与电网调度运行业务的融合，实现各级调控一体化，以提高驾驭大电网的调控能力和大范围优化配置资源的能力，保障大电网的安全、经济、优质、高效运行。在调控一体化工作模式下调控中心的功能和职责发生了深刻变化，调控中心在承担既有的电网调度运行的职责的基础上，还将承担对电网变电设备进行监控的职责。职责上的扩充和业务范围的扩展，对省、地市电网调控运行人员的电网运行技能提出了很高的要求，但目前安徽电网尚缺乏面向监控业务的专业培训教材。

为了更好地完成对监控运行人员的专业化、精细化培训，达到更好的培训效果，安徽省电力调度控制中心精心组织编写本书。培训手册分为两篇，第一篇为基础知识，结合监控员竞赛培训内容编写，并汇聚了相关行业专家的意见，重点挑选了监控运行人员在工作中需要掌握了解的基础知识，包括电气设备的一次部分、二次部分及自动化通信等方面的知识。第二篇为上机实操，结合监控仿真系统，选取了其中具有代表性的 25 个典型案例，能够很好地测试提高监控运行人员的理论及实操技能水平。

受时间等因素限制，本书可能存在疏漏、不准确之处，欢迎专家、读者提供宝贵意见，以便我们修正，达到更好的培训效果。

编者

2018 年 12 月

目录



前言

第一篇 基础知识

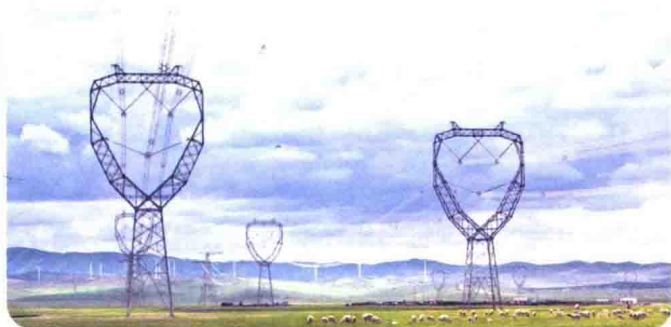
第一章 变压器	3
第一节 变压器的分类、构成及型号	3
第二节 变压器的温度及测温装置	5
第三节 变压器的冷却及接地方式	6
第四节 变压器保护	8
第二章 高压断路器	10
第一节 高压断路器概述	10
第二节 高压断路器技术参数	13
第三章 互感器	19
第一节 互感器的作用及类型	19
第二节 电磁式电流互感器	19
第三节 电磁式和电容分压式电压互感器	25
第四章 避雷器	40
第一节 雷击故障及防雷措施	40
第二节 避雷器的分类	43
第三节 氧化锌避雷器的运行故障	49
第四节 避雷器典型产品及应用	51
第五章 电力电容器和电抗器	57
第一节 电力电容器	57
第二节 电抗器	64
第六章 气体绝缘金属封闭开关设备	72
第一节 元件组成	72
第二节 主要特点	77

第七章 母线保护	78
第一节 母线的接线方式及常见故障	78
第二节 母线保护的装设原则及配置方案	80
第八章 变压器保护	88
第一节 变压器纵差动保护	88
第二节 变压器相间短路的后备保护	90
第三节 变压器的接地保护	91
第九章 线路保护	92
第一节 纵联保护概述	92
第二节 线路保护配置	93
第三节 输电线路高频保护	93
第四节 闭锁式方向纵联保护	94
第五节 纵联允许式保护	96
第六节 光纤纵差保护	97
第十章 自动重合闸	99
第一节 自动重合闸的作用及基本要求	99
第二节 输电线的三相一次重合闸	99
第三节 输电线的单相重合闸	101
第十一章 智能变电站继电保护技术	103
第一节 智能变电站保护术语	103
第二节 智能变电站保护配置	107
第三节 智能变电站保护信息流	107
第四节 新一代智能变电站	111
第五节 新六统一保护设备	113
第六节 继电保护信息规范	114
第十二章 继电保护二次回路——控制回路	116
第一节 断路器控制回路的方式和基本要求	116
第二节 控制开关	117
第三节 控制回路原理图	118
第十三章 继电保护二次回路——交流二次回路	122
第一节 二次回路概述	122
第二节 TA、TV 的作用和参数	124
第三节 TA、TV 在二次回路的标号原则	125
第四节 TA、TV 二次绕组的使用原则	125

第五节	TA、TV 二次绕组的接线方式及相量分析	127
第十四章	变电站站用电交流系统	133
第一节	变电站用交流系统的组成	133
第二节	站用电系统常用接线	134
第十五章	高频模块（新力）直流系统	138
第一节	微机保护对直流系统的基本要求	138
第二节	新力直流系统的构成	140
第十六章	电力调度数据网及二次安全防护	146
第一节	调度数据网承载的业务	146
第二节	调度数据网骨干	146
第十七章	故障录波器及故障波形分析	154
第一节	定义、作用及原理	154
第二节	故障录波器常用指标	155
第三节	故障波形分析	155

第二篇 上机实操

第十八章	省调系统模拟接线图	165
第十九章	省调上机实操案例	176
第二十章	地调系统模拟接线图	199
第二十一章	地调上机实操案例	241



第一篇 基础知识

第一章 变 压 器

一次设备是直接用于生产、输送和分配电能的生产过程中的高压电气设备，包括发电机、变压器、断路器、隔离开关、自动开关、接触器、刀开关、母线、输电线路、电力电缆、电容器、电抗器、电动机等。二次设备是指继电保护、自动化控制、直流系统等。变电站的一、二次设备都是变电站的主设备。

变电站是电网中的线路连接点，是用于变换电压、接受和分配电能、控制电力的流向和调整电压的电力设施。变电站分为枢纽变电站、区域变电站、终端变电站，当枢纽变电站全站停电时，将引起地区电网瓦解，造成大面积停电，严重时甚至影响整个电网的几个省、市的供电。

变压器是变电站的主设备，是一种利用电磁感应原理将电能从一个电路转移到另一个电路的静止电气设备，其电能的转移靠变换电压实现，即将一种电压等级的交流电能变换成另一种电压等级的交流电能。变压器的发展方向主要有两个，一是向特大型超高压方向发展，二是向节能化、小型化、低噪声、高阻抗、防爆型发展。

第一节 变压器的分类、构成及型号

变压器是一种静止的电气设备，是用来将某一数值的交流电压变成频率相同的另一种或几种数值不同的电压的设备，变压器整体结构如图 1-1 所示。

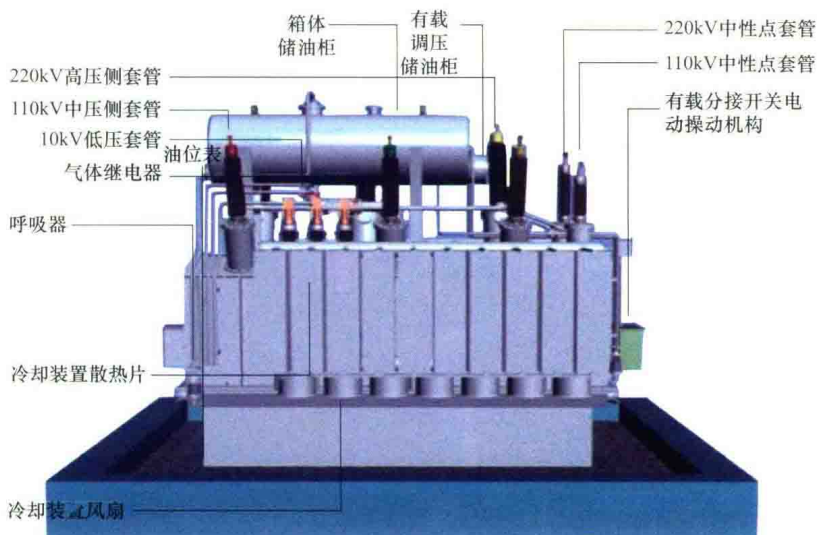


图 1-1 变压器整体结构

按用途，变压器可分为电力变压器、试验变压器和仪用变压器。

按相数，变压器可分为单相变压器和三相变压器。

按绕组形式，变压器可分为自耦变压器、双绕组变压器、三绕组变压器和分裂变压器。



图 1-2 变压器绕组排列方式

按绕组绝缘水平，变压器可分为全绝缘变压器和半绝缘变压器。

还有按容量、冷却方式等分类。

三绕组变压器的 3 个绕组同心地套在一个芯柱上。为绝缘方便，高压绕组放在最外边。至于中、低压绕组，根据相互间传递功率较多的两个绕组应靠得近些的原则，用在不同场合的变压器有不同的安排，如图 1-2 所示。

气体继电器的作用是当变压器内部发生绝缘击穿、线匝短路及铁芯烧毁等故障时，给运行人员发出信号或切断电源以保护变压器。变压器的气体继电器侧有以下两个坡度：

(1) 沿气体继电器方向变压器大盖坡度，应为 $1\% \sim 1.5\%$ 。变压器大盖坡度要求在安装

变压器时从底部垫好。

(2) 变压器油箱到储油柜连接管的坡度，应为 $2\% \sim 4\%$ （这个坡度由厂家制造好的）。

这两个坡度既可以防止在变压器内贮存空气，又便于在故障时使气体迅速可靠地冲入气体继电器，保证气体继电器正确动作，如图 1-3 所示。

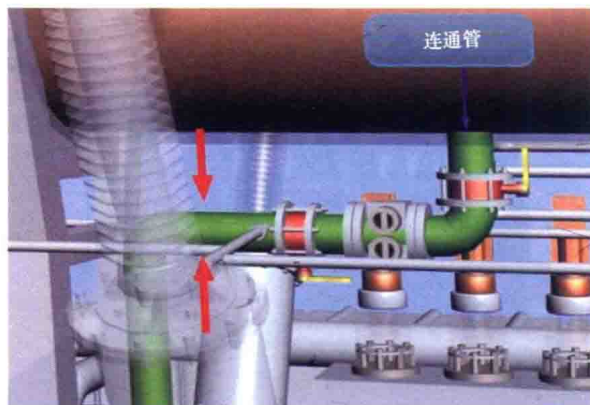


图 1-3 气体继电器

变压器铭牌中的型号见表 1-1。

表 1-1

变压器铭牌中的型号

排列顺序	内容	类别	符号
1 (或末数)	绕组耦合方式	自耦降压 (或自耦升压)	0
2	相数	单相	D
		三相	S
3	冷却方式	油浸自冷	J
		干式空气自冷	G
		干式浇注绝缘	G
		油浸风冷	F
		油浸水冷	S
		强迫油循环风冷	FP
		强迫油循环水冷	SP
4	绕组数	双绕组	—
		三绕组	S
5	绕组导线材质	铜	—
		铝	L
6	调压方式	无励磁调压	—
		有载调压	Z

变压器型号第一部分由汉语拼音字母组成,代表变压器的类别、结构、特征和用途;第二部分由数字组成,用以表示产品的容量(kVA)和高压绕组电压(kV)等级。斜线左边表示额定容量(kVA);斜线右边表示一次侧额定电压(kV)。如,SJL-1000/10表示三相油浸自冷铝质材料—1000kVA/10kV;SFPZ9-120000/110表示三相强迫油循环风冷带有载调压—120000kVA/110kV;ODFSZ-1000000/500表示自耦降压单相油浸风冷三绕组带有载调压—1000000kVA/500kV。

第二节 变压器的温度及测温装置

一、变压器使用寿命与温度的关系

在温度的长期作用下,变压器绝缘材料的绝缘性能会逐渐降低。绝缘温度经常保持在 95°C ,使用年限为20年;绝缘温度经常保持在 105°C ,使用年限约为7年;绝缘温度经常保持在 120°C ,使用年限约为2年;绝缘温度经常保持在 170°C ,使用时间约为10~12天。

当变压器绝缘材料的工作温度长期超过允许值运行时,每升高 6°C ,其使用寿命缩短一半,这就是变压器运行 6°C 法则。

冷却器有工作、备用、辅助和停用四种工作状态。

一般情况下,变压器冷却器不全部启动,当运行中的工作、辅助冷却器发生故障时,备用冷却器自动投入;变压器上层油温或绕组温度达到一定值时,自动启动尚未投入的辅助冷却器(当辅助冷却器温度升高至 55°C 时自启,当温度降低至 45°C 时返回)。

强迫油循环冷却变压器运行时，必须投入冷却器。

当冷却系统故障切除全部冷却器时，强迫油循环风冷和强迫油循环水冷变压器允许带额定负荷运行 20min。如 20min 后上层油温尚未达到 75℃，则允许上升到 75℃。但这种状态下运行的时间不得超过 1h。

二、油浸式变压器的允许温度

运行中的变压器，通常是通过监视变压器上层油温来控制变压器绕组最热点的工作温度，使绕组运行温度不超过其绝缘材料的允许温度值，以保证变压器的绝缘使用寿命，如图 1-4 所示。

油浸式变压器上层油温允许值见表 1-2。



图 1-4 变压器温度示意图

表 1-2 油浸式变压器上层油温允许值

冷却方式	冷却介质最高温度（℃）	长期运行的上层油温度（℃）	最高上层油温度（℃）
自然循环冷却、风冷	40（空气）	85	95
强迫油循环风冷	40（空气）	75	85
强迫油循环水冷	（冷却水）	60	70



图 1-5 变压器温度计

三、变压器的测温装置

为保证变压器不超温运行，一般变压器都装有测温装置和温度继电器，测温装置装在变压器油箱外，便于运行人员监视油温，如图 1-5 所示。

温度继电器的作用是，当变压器上层油温超过允许值时，发出报警信号，根据上层油温的变化范围，自动地启动、停辅助冷却器；当变压器冷却器全停，上层油温超过允许值时，延时将变压器从系统中切除。

第三节 变压器的冷却及接地方式

变压器的冷却方式和油循环回路如图 1-6 和图 1-7 所示。

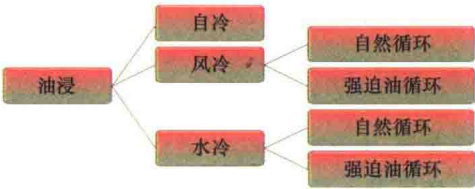


图 1-6 变压器的冷却方式

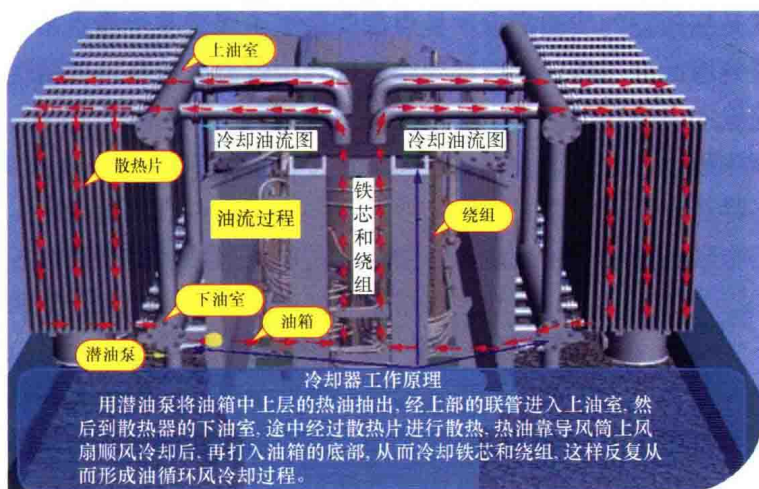


图 1-7 变压器油循环回路

变压器的接地方式有铁芯接地和中性点接地两种方式。

(1) 铁芯接地。运行中变压器的铁芯及其他附件都处于绕组周围的电场内, 如不接地, 在外加电压的作用下, 铁芯及其他附件必然感应一定的电压。当感应电压超过对地放电电压时, 就会产生放电现象。为了避免变压器内部放电, 需要将铁芯接地, 如图 1-8 所示。变压器的铁芯接地点只允许一点接地。如果有两点以上接地, 则接地点之间可能形成回路。当主磁道穿过此闭合回路时, 就会在其中产生循环电流, 造成内部过热事故。

(2) 中性点接地。目前大电流接地系统普遍采用分级绝缘的变压器, 当变电站有两台及以上的分级绝缘变压器并列运行时, 通常只考虑一部分变压器中性点接地, 而另一部分变压器的中性点则经间隙接地运行, 以防止故障过程中所产生的过电压损坏变压器的绝缘。

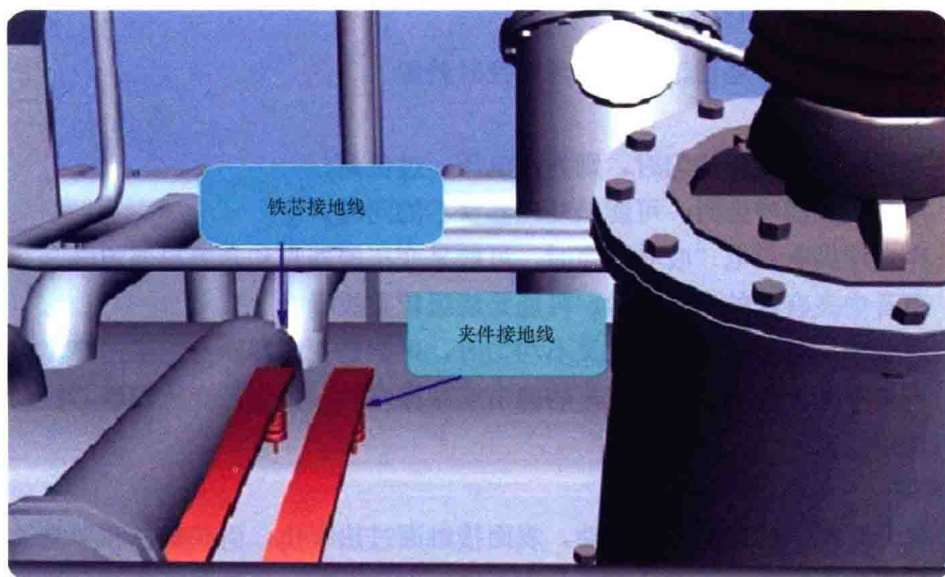


图 1-8 变压器铁芯接地方式

分级绝缘就是变压器的线圈靠近中性点部分的主绝缘，其绝缘水平比线圈端部的绝缘水平低。分级绝缘的变压器，一般都规定只许在中性点直接接地的情况下投入运行。

采用分级绝缘的主变压器运行中应注意以下问题：

- (1) 变压器中性点一定要加装避雷器和防止过电压间隙。
- (2) 如果条件允许、运行方式允许，变压器一定要中性点接地运行。
- (3) 变压器中性点如果不接地运行，中性点过电压保护一定要可靠投入。

第四节 变 压 器 保 护

变压器是电力系统中十分重要的供电设备，变压器故障将给电力系统正常运行及供电可靠性带来严重的影响。为了确保电力系统的安全运行，必须根据变压器的容量和重要程度装设专用的保护装置，使其在遇有异常和故障时做出必要的动作。

一、变压器本体构造上安全保护设置

- (1) 储油柜。其容量为变压器油量的 8%~10%，限制变压器油与空气接触，减少油受潮和氧化程度，储油柜上安装吸湿器，防止进入变压器。
- (2) 吸湿器（呼吸器）。内有吸附剂，当吸附剂颜色蓝色变红色时，必须干燥或更换。
- (3) 净油器（过滤器）。净油缸内充满吸附剂，变压器油经过净油器时，水、酸、氧化物被吸收，使油清洁，延长油的使用年限。
- (4) 防爆管（安全气道）。在变压器内部发生故障时，防止油箱内产生高压力的释放保护。

此外，还有瓦斯、温度计、油表等安全保护装置。

二、变压器的运行与维护

变压器应做好日常巡视工作，发现要及时处置。

1. 声音

- (1) 声音比平时大而均匀时，则为过电压、过负荷。
- (2) 声音较大而嘈杂时，可能是变压器铁芯的问题。
- (3) 声音中夹有放电“吱吱”声时，可能是变压器器身和套管局部放电。
- (4) 声音中夹有水的沸腾声时，可能是绕组较重故障。
- (5) 声音中夹有爆裂声、既大又不均匀时，可能是变压器器身绝缘击穿。
- (6) 声音中夹有连续的、有规律的撞击或摩擦声时，可能是变压器铁芯振动造成某些部件机械接触。

2. 气体

- (1) 瓷套管端子的紧固部分松动，表面接触面过热氧化，引起变色和异常气味。
- (2) 漏瓷的断瓷能力不好及磁场分布不均，引生涡流，导致油箱各部分局部，从而过热引起油漆变色。

- (3) 瓷套管污损产生电晕、闪络，发出异臭味。
- (4) 硅胶呼吸器从蓝色变为红色时，应做再生处理。

3. 体表

- (1) 气体继电器、压力继电器、差动继电器有动作时，可推测可能是内部故障引起的。
- (2) 湿度、温度、紫外线或周围的空气中所含酸、盐引起表面龟裂、起泡、剥离。
- (3) 大气、内过电压引起将瓷件、瓷套管表面龟裂，产生放电痕迹。
- (4) 硅胶呼吸器从蓝色变为红色时，应做再生处理。

4. 渗漏油

- (1) 变压器外面闪闪发光或粘着黑色液体，可能是漏油。
- (2) 内部故障会使变压器油温升高，引起油体积的膨胀，从而发生漏油，甚至会发生喷油。若油位计大大下降，而没有发生上述现象，则可能为油位计损坏。

5. 温度

- (1) 应经常性检查套管各端子和母线或电缆连接是否紧密，有无发热迹象。
- (2) 过负载、环境温度超过规定值，冷却风扇和输油泵出现故障、散热器阀门忘记打开、漏油引起油量不足、温度计损坏以及变压器内部故障等会使温度计上的读数超过运行标准中规定的允许温度。即使温度在允许的限度内，但从负载率和环境温度来判断，也是温度不正常。

上述声音、振动、气味、变色、温度及其他现象对变压器事故的判断，只能作为变压器故障直观的初步判断。因为变压器的内部故障不仅仅是单一方面的直观反映，还涉及诸多因素，有时会甚至出现假象，因此，必须进行测量并作综合分析，才能准确可靠地查找故障原因，判明事故性质，提出较为完备、合理的处理方法。