

BIANDIANSHEBEIGUZHANG
ZHENDUANJIFENXI

变电设备故障 诊断及分析

湖南省电力公司星沙培训分中心 组编
陈润颖 毛学锋 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

BIANDIANSHEBEIGUZHANG
ZHENDUANJI FENXI

变电设备故障 诊断及分析

湖南省电力公司星沙培训分中心 组编
陈润颖 毛学锋 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

变电设备的安全稳定关系着电网的安全及供电的可靠性,任何的异常或者故障都有可能造成重大损失,正确诊断变电设备的故障,并采取相关措施及时处理,对于事故防范具有重要意义。

全书共6章,内容涵盖了电力变压器、互感器、电容器、断路器、避雷器和接地网的故障诊断方法及原因分析,并结合实际工作,列举了丰富的故障分析处理实例,为变电设备的维护、检修提供了重要的参考依据,具有很强的指导性和实用性。

本书可供从事电力系统变电检修、运行、安装、试验及管理工程技术人员阅读,也可供制造厂商、电力用户及高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

变电设备故障诊断及分析 / 陈润颖, 毛学锋主编; 湖南省电力公司星沙培训分中心组编. —北京: 中国电力出版社, 2013. 12
ISBN 978 - 7 - 5123 - 4110 - 4

I. ①变… II. ①陈… ②毛… ③湖… III. ①变电所 - 电气设备 - 故障诊断 IV. ①TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 286056 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 12 月第一版 2013 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 13.5 印张 295 千字

印数 0001—4000 册 定价 36.00 元

敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

编 委 会

主 任 谌家良 张孝军

副主任 彭学文 车红卫 彭京仁 张治国 潘志敏

委 员 梁勇超 于彩葵 章建平 罗电兵 陈桃清

吴学斌 刘 宇 谭 震 冷 志 王 香

主 编 陈润颖 毛学锋

参 编 沈梦甜 唐新群 魏力争

主 审 刘卫东

前言

变电设备的安全稳定关系着电网的安全及供电的可靠性。变电设备在运行过程中的故障时有发生，任何的异常及故障都有可能影响供电的可靠性，甚至造成重大损失，所以，正确、迅速地诊断变电设备的故障并采取相关措施及时处理具有重要意义。本书的编写，旨在对变电设备现场的故障诊断提供帮助和指导。

本书在编写过程中，对每一类变电设备可能引起故障的原因及故障时产生的现象进行了深入阐述，同时选取了影响面大、性质严重的典型故障案例进行了原因分析。由于变电设备的类型及结构千差万别，产生的故障多种多样，不可能对所有故障都面面俱到。在编写时，力求做到实用，并突出新技术、新方法在故障诊断中的应用。

本书对电力变压器、互感器、电容器、断路器、避雷器、接地网的各种异常情况结合电气试验进行了分析，通过电气试验对故障设备进行诊断及定位，剖析了设备引起故障的原因，给出了处理方法。本书还列举了丰富的案例，为变电设备的维护、检修提供了重要的参考，可供从事电力系统变电运行、检修、安装、试验及管理工程技术人员阅读，也可供制造部门、电力用户及高等院校相关专业的师生参考，亦可作为电力、电气、化工、冶金、轨道交通等部门专业技术人员的培训教材。

本书共6章，第1章由陈润颖编写，第2章由毛学锋编写，第3章由沈梦甜编写，第4、5章由唐新群编写，第6章由魏力争编写，全书由陈润颖统稿。

本书的编写得到了国网湖南省电力公司人力资源部、国网长沙供电公司、国网湖南省电力公司检修公司、国网湖南省电力公司星沙培训分中心、国网常德供电公司及国网永州供电公司的大力支持，在此表示衷心的感谢。

本书参考了诸多专业工作者和有关专家提供的实例、经验及公开发表的论文、正式书籍和资料；引用了有关作者的研究成果、试验数据和故障典型案例与分析，谨在此向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，且本书内容涉及面广，书中难免存有不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

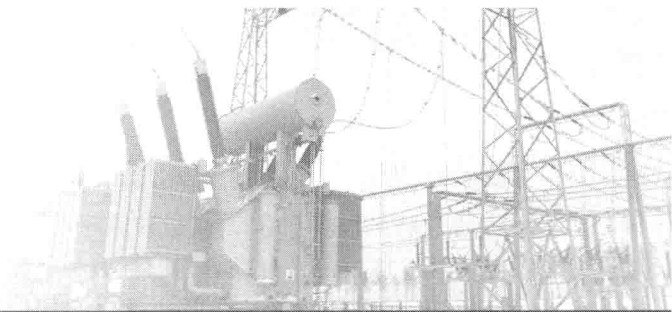
2013年12月

目录

前言

1 电力变压器	1
1.1 变压器故障的类型	1
1.2 变压器故障运行特征表现	9
1.3 变压器故障诊断的检测方法及故障原因分析	11
1.4 变压器高压套管	25
1.5 变压器储油柜	28
1.6 故障分析及处理实例	34
1.7 变压器保护	117
2 互感器	122
2.1 电流互感器	122
2.2 电磁式电压互感器	137
2.3 电容式电压互感器	147
3 电容器	158
3.1 高压并联电容器故障分析	158
3.2 集合式电容器组故障分析	163
4 断路器	168
4.1 断路器故障分类及处理方法	168
4.2 断路器回路电阻超标原因分析	171

4.3	SF ₆ 断路器保护动作跳闸故障分析	176
4.4	SF ₆ 断路器微水含量超标的原因分析与处理	178
5	避雷器	180
5.1	氧化锌避雷器故障分析及性能判断方法	180
5.2	氧化锌避雷器的电气特性及性能测试分析	182
5.3	复合套氧化锌避雷器绝缘性能下降的原因分析	186
5.4	金属氧化锌避雷器测试方法对比与分析	188
5.5	避雷器泄漏电流超标的原因分析	192
6	接地网	195
6.1	接地网存在的问题	195
6.2	接地电阻的影响因素分析	197
6.3	降低接地电阻的措施及应用分析	201
	参考文献	207



1

电力变压器

变压器在安装和运行时，因受各种因素的影响，本体或部件会发生故障，直接影响变压器的安全运行。只有准确判断和诊断变压器发生故障的部位和性质，分析故障产生的原因并及时处理，才能确保变压器的安全稳定运行。

1.1 变压器故障的类型

1.1.1 缺陷性故障和事故性故障的概念

变压器故障，总体上可分为缺陷性故障和事故性故障两大类。缺陷性故障是指一般性故障，消缺处理即可排除；事故性故障是指重大故障，如变压器明显受到破坏，并造成重大损失，故障停电时间和损失额度超过规定限额。变压器的缺陷性故障如不能得到及时发现和处理，会使故障范围扩大，从而酿成事故性故障。

1.1.2 变压器故障的分类

根据变压器的结构，按故障发生的部位可分为如下几类：

(1) 电气回路故障：包括绕组（线圈本身）故障；分接开关及分接引线故障；套管及电源引线故障。

(2) 励磁回路故障：铁芯及其夹持系统故障。

(3) 绝缘系统故障：绝缘击穿或绝缘性能（绝缘电阻、吸收比、介损）下降，变压器油指标不合格。

(4) 变压器附件、保护测量元件故障：按发生故障的部位也可分为内部故障和外部故障。

1.1.3 变压器故障的性质及产生原因

变压器故障的性质，按其表现特性可分为过热故障、放电故障、绝缘性能故障及其他性质故障。

(1) 过热故障：主要指变压器内部的过热性故障，过热性故障分局部过热和整体温升过高两种情况。

1) 局部过热故障，按过热温度的高低可分三种类型：

a. 低温过热（150 ~ 300℃）。

b. 中温过热（200 ~ 500℃）。

c. 高温过热（700℃以上）。

2) 整体温升过高故障，主要指变压器的油温度和绕组的温度超限。

a. 油顶层最高温度超 95°C ，或温升值超 55K 。

b. 绕组最高温度超 105°C ，或温升值超 65K 。

3) 变压器过热故障又可以分为以下四种典型故障模式：

a. 接触不良型过热故障。金属部件之间接触不良会引起导电回路局部电阻增加而导致局部过热。

(a) 分接开关动、静触头接触不良。无励磁分接开关动触头过负荷，或由于操作机构的缺陷、固定出头的支架变形或压紧弹簧失效，造成动触头和静触头接触不良，造成触头表面腐蚀氧化，或接触电阻增大，引起分接开关损坏。

有载调压变压器，特别是调压频繁、负荷电流较大的变压器，会造成触头之间的机械磨损、电腐蚀和触头污染。此外，电流的热效应会使弹簧的弹性变弱，从而使动、静触头之间的接触压力下降，使触头之间的接触电阻增大发热，严重时引起分接开关烧坏。

(b) 引线接头连接不良。绕组引出线与套管导电接头由于压紧程度不足，造成接触电阻大，导致过热烧损，或者分接引线与绕组的引线接头焊接质量不良，引起分接引线在焊接处烧断。

(c) 处于漏磁场中的金属结构件之间的连接螺栓过热。当变压器铁芯拉板和夹件均为低磁钢板时，由低压引线漏磁场在铁芯拉板与夹件腹板之间的导磁钢连接螺栓中产生的环流或涡流的集肤效应使接触不紧实的螺栓边缘（如螺纹、螺帽与腹板接触面邻近位置）出现局部烧黑、烧焦现象。

b. 环流或涡流在导体和金属结构件中引起的过热。变压器中的环流和涡流都与磁场有关，不仅存在于变压器绕组导体中，而且存在于变压器油箱、铁芯、夹件、拉板及连接螺栓等金属结构件中，他们的分布及量值大小取决于磁场，而且还与本身材料特性、几何尺寸和周围介质等因素有关。

(a) 铁芯过热故障。铁芯发生过热故障的原因主要有：① 铁芯发生多点接地，在铁芯中产生环流，引起铁芯局部过热；② 铁芯部分硅钢片碰伤、翘曲或加工毛刺大，使铁芯叠片局部短路，由此产生的环流导致铁芯局部过热；③ 铁芯结构和加工质量问题，使铁芯接缝气隙大，造成局部磁场损耗增大，引起铁芯过热。

(b) 绕组过热故障。绕组发生过热故障的原因主要有：① 严重的漏磁场在大型变压器绕组端部产生的局部涡流，使绕组端部过热；② 由于绕组换位不合适，使漏磁场在绕组各并联导体中感应出不同电势，使它们之间产生环流，有可能引起过热；③ 换位导线股间绝缘损伤后形成环路，漏磁通在其中产生环流，引起局部过热。

(c) 引线分流故障。由于引线安装工艺问题，使高压套管的出线电缆与套管内的铜管相碰，一旦引线绝缘层损伤或半叠绕白布带脱落，引起裸铜引线直接与铜管内壁及均压球接触，形成由铜管壁和引线组成的交链磁通的闭合回路，由此产生引线分流和环流，使电缆铜线烧断、烧伤，使铜管熔成凹形坑等。

(d) 铁芯拉板过热故障。大型变压器铁芯拉板，通常采用低磁钢材料，由于它处于铁芯与绕组之间的高漏磁场区域中，因此，容易产生涡流损耗过度集中，严重时会造成

成局部过热。

大型变压器低磁钢拉板错用导磁钢拉板，漏磁场在铁芯拉板上损耗过大，导致铁芯拉板过热。

铁芯拉板不开槽、长度不够或数量不合适，绕组幅向漏磁场在对铁芯拉板边缘或端部感应涡流过大引起局部过热。

(e) 涡流集中引起油箱局部过热。主要是大型变压器或高阻抗变压器由于漏磁场很强，若绕组平衡安匝设计不合理，或不采取屏蔽措施，使得漏磁感应较大，引起油箱过热。

变压器漏磁场在上、下节油箱连接螺栓引起的过热。变压器漏磁场部分经过油箱壁形成闭合回路，当漏磁通通过上、下节油箱交界处时，由于空气的磁阻大，从而，大量的漏磁通通过导磁较好的连接螺栓，使得螺杆内的磁通密度很高，并在螺杆内感应出很大的涡流，从而造成连接螺栓严重过热。

c. 散热异常型过热故障。散热或冷却效果差易产生散热异常型过热故障，由于散热条件被改变或异常，可引起局部过热。

(a) 冷却装置风道堵塞及其他问题。长期运行的变压器，由于冷却装置缺少维护和清理，使风冷却器散热管的翅片间或散热器风道缝隙积满灰尘、树叶、昆虫等杂物，引起风道堵塞，使散热效率降低，引起变压器的温度不断升高。

冷却器的冷却容量不足或误将电源接反或启动风扇设定值有误，会造成油温过高，引起过热性故障。

(b) 绕组油道堵塞。近年来，各制造厂为降低变压器损耗，通常在绕组设计制造中采用换位导线。当绝缘包扎不紧或因振动引发绕组导体松动时，会使采用换位导线的油浸变压器在运行一段时间后发生“涨包”，段间油道堵塞、油流不畅，匝绝缘得不到充分冷却，使之过热老化。

(c) 硅胶漏入油箱。由于净油器过滤网不严密，出现较大缝隙，使硅胶大量进入油箱，阻挡了油的循环通路，使油循环不良，引起变压器高温过热。

d. 变压器异常运行引起的过热故障。

(a) 过负荷运行。当变压器负载电流超过额定电流运行时，因漏磁通的增大而使变压器结构件易于发生局部过热。特别是当变压器采用短时急救运行方式时，可在变压器中产生高温，加速绝缘的老化，严重时还会诱发匝间短路，烧毁绕组。

(b) 过励磁运行。当由于某种原因，例如，变压器直流偏磁产生的铁芯过饱和问题、在夜间负荷低谷或节假日由于电压升高产生的变压器过励磁问题等，导致变压器铁芯磁通密度增大和损耗增加，可引起铁芯过热。

(c) 不具备运行条件而并联运行。当不具备运行条件而并联运行的变压器中，至少有一台会因为环流产生过热并可能导致损坏。

(2) 放电故障：主要指变压器内部发生的放电性故障，按放电量的大小、强弱可分以下几种情况。

1) 低密度局部放电：其放电量约在 $10^{-9} \sim 10^{-8} \text{C}$ ($10^3 \sim 10^4 \text{pC}$) 及以下。

2) 高密度局部放电: 其放电量约在 $10^{-8} \sim 10^{-7} \text{ C}$ ($10^4 \sim 10^5 \text{ pC}$) 之间, 即 10 000 pC 左右, 即几万 pC 放电量属高密度局部放电。

3) 低能量放电 (火花放电): 其放电量在 $10^{-7} \sim 10^{-6} \text{ C}$ ($10^5 \sim 10^6 \text{ pC}$) 之间。

4) 高能量放电 (电弧放电): 其放电量很大, 已难以测量。

放电量较大且伴随有发热现象时, 可为低能量放电兼过热故障, 或为高能量放电兼过热故障。

(3) 绝缘性能故障: 绝缘击穿及绝缘性能下降的故障。变压器的绝缘是变压器绝缘材料组成的绝缘系统, 它是变压器正常工作的基本条件, 变压器的使用寿命主要由绝缘材料决定, 大多数变压器的损坏都是因绝缘系统的损坏造成的。据统计因各类型的绝缘故障形成的事故约占全部变压器事故的 85% 以上。油浸变压器中主要的绝缘材料是绝缘油及固体绝缘材料绝缘纸、纸板及木块等。变压器损坏是指这些材料受各种因素影响发生分解, 降低或丧失了绝缘强度。

绝缘性能故障可以分成以下两类:

1) 工作电压下的绝缘故障。变压器在正常运行过程中, 由于受到水分、杂质及其他因素的影响, 局部场强发生畸变, 使绝缘处于非正常状态下, 最终导致绝缘故障。

a. 悬浮导体。在变压器运行过程中, 金属紧固件或屏蔽件由于工艺不合理或者变压器运行时的器身振动等原因, 可能使某些金属件松动或脱落, 成为悬浮导体, 在强交变电场作用下, 处于悬浮状态的金属件上产生悬浮电位, 该悬浮电位足以产生油隙击穿的作用场强, 引起局部放电和在油中产生乙炔及其他可燃性气体。

b. 金属异物。与金属杂质相比, 金属异物的体积相对较大。金属异物的形成主要是制造、检修过程中残留物, 或变压器运行过程中的生成物, 如冷却油管路内部的焊渣等。金属异物如果处于高场强区, 造成此区域的电场畸变, 在此区域内会产生局部放电现象, 进而有可能引发事故或故障。

c. 杂质。变压器内部的杂质包括水分、气体和固体杂质。其中, 固体杂质又可分为导电性杂质、导磁性杂质与非导电性杂质。导电性杂质包括铜粉、铝粉、炭粉等; 导磁性杂质主要指铁粉; 非导电性杂质包括绝缘纸屑、纤维、漆皮及净化油用的硅胶等。固体杂质的存在, 使变压器油的击穿电压大幅下降。导磁性杂质在磁场的作用下会沿磁力线方向排列, 容易引起铁芯多点接地故障。导电性杂质如果处于高电场区域, 沿电力线排列, 造成所处位置的电场发生畸变或处于不同电位的导体短路; 非导电性杂质极易沿电场方向排列成杂质“小桥”, 使小桥附近区域的变压器油发生电离, 产生气泡, 引发局部放电。

d. 绝缘受潮。由于密封不良等原因, 会使空气中的水分侵入到变压器内部。对变压器油来说, 含水量的增加会导致介电性能逐渐劣化, 在油的融水能饱和之后, 绝缘性能会急剧降低。特别是套管将军帽、法兰等处密封不严会导致雨水侵入变压器。如果水分沿一定的路径渗漏到线圈上, 导致线圈匝间短路, 从而引发事故。

2) 过电压下的绝缘故障。

a. 暂时过电压。暂时过电压主要包括工频电压升高和谐振过电压两种。工频电压

升高（过励磁）对变压器绝缘的损坏主要表现在靠近铁芯的绕组局部过热，导致匝绝缘损伤或击穿。

b. 雷电过电压。雷电过电压对变压器的损坏主要是因为雷电冲击电压在绕组上的分布不均匀，使得局部电压过高，造成变压器绝缘损坏。

c. 操作过电压。操作过电压对内部绝缘的有害作用电压值一般低于避雷器的放电电压动作值。对于 220kV 及以下电压等级的变压器，出厂一般不进行操作冲击试验，而用雷电冲击试验和短时工频耐压试验来代替，因此在避雷器不能提供有效保护的情况下，在操作过电压下发生线圈层间或匝间短路。

d. 陡波前过电压（Very Fast Transient Overvoltage, VFTO）。随着 GIS 在超高压输变电系统中越来越广泛的应用，陡波前过电压（VFTO）影响也越来越突出。VFTO 一般来自 GIS 隔离开关的操作，另外当 GIS 内部导体对外壳发生放电时，也可能诱发 VFTO。尽管 VFTO 可能达到的最大幅值不高，但其波前陡度为毫秒级，在这种波形的作用下，变压器绕组的电压分布是极不均匀的，会使绝缘薄弱处被直接击穿。

（4）其他性质的故障：例如噪声异常、油流带电、保护误动、渗漏油等性质的故障。

1.1.4 变压器的安装故障和运行故障

按变压器故障发生的时段分，在运输和安装过程中产生的故障属安装故障；在变压器运行过程中发生的故障称运行故障。不同时段发生的故障，也就是说安装故障和运行故障，其故障的特性及其产生原因会有明显的不同表现形式。

（1）变压器安装故障的表现形式及产生原因。

1）绝缘受潮：产生原因是运输、存储或安装过程中进气进水，故障表现为绝缘性能降低，投运初期油色谱呈单氢增长现象。

2）投运初期轻瓦斯频繁报警：产生原因是安装过程中排气不净，变压器内部存留的空气积聚到瓦斯继电器，产生轻瓦斯报警，而且随着存气的不断析出，频繁报警。

3）投运初期油位表油位指示失准或压力释放动作：产生原因是没对储油柜单独进行排气或储油柜排气不净，或瓦斯继电器两端蝶阀未打开，热油无膨胀通路。

4）交接试验时局放不合格或投运初期的氢气超标：产生原因是真空注油不符合或未达到要求，造成变压器内部有气泡存在，由于气泡放电致使局放量大或油色谱的氢气增长，安装时操作不当如带进或风刮进杂质，操作损坏绝缘件或结构位置发生变化。

5）交接试验时铁芯多点接地或夹件多点接地（对夹件单独外引的）：铁芯多点接地产生原因是安装过程中操作不当，造成异物搭接所致。夹件多点接地主要是地脚与箱底异物连接，或开关支撑件与开关法兰头连接。

6）交接试验时铁芯悬浮（对地绝缘电阻无穷大）：产生原因是安装过程中铁芯接地装置受损或脱落。

7）分接开关缺陷：表现在无载开关挡位不正；有载开关挡位校验不准；不同挡位的直流电阻不平衡率不合格；有载开关油室与变压器油箱间内渗等，产生上述缺陷的原因是，开关安装操作不当及开关制造质量缺陷所致。

8) 套管缺陷：表现在安装时低压侧导杆式套管的接线片紧固不到位，造成交接试验直阻不平衡；高压侧电容式套管将军帽上的接线端子紧固不到位，造成投运后端子接线部位温升过热；套管擦拭不净，造成投运后闪络或电晕。

9) 交接试验的油指标不合格：产生原因是安装过程中油务工作操作不当，如油罐、管路不净造成污染，滤油机功能失效，或新油不合格没经严格验收。

10) 密封部位渗漏油及油箱内遗留异物：产生原因是安装操作工作不当。

11) 保护和测量元件失准：产生原因是元件质量不合格没经校验，或二次接线有误。

12) 主体或部件受损伤：原因是运输、安装过程中，由于操作不当造成损伤。

(2) 变压器运行主要部件故障的表现形式及产生原因。

1) 绕组故障。

a. 绕组绝缘电阻低、吸收比不合格：产生原因主要是变压器运行中进水受潮，或绝缘老化所致，其表现是停电检测时，绝缘测试性能不合格。

b. 绕组温升超限，温度过高：产生原因是产品原设计不合理或运行超负载所致，其表现是运行中绕组温度和油顶层温度的指示值过高。

c. 绕组直流电阻不平衡：产生原因是运行中电气连接部位有松动（如接线片）；绕组内部导体有短路、断股情形；开关触头接触电阻有变化。需根据绕组结构不同进行具体分析，其表现是停电检测时直阻不平衡，运行中油色谱大多异常。

d. 绕组接地故障：产生原因是主绝缘击穿接地，或绕组出口短路变形，发生绝缘烧毁接地，其表现是停电检测时绕组对地绝缘为0，运行时变压器保护要动作。

e. 绕组匝间、层间、饼间、股间、相间、高低压绕组间发生短路故障：产生原因是绕组制造质量缺陷，或绕组运行中受到短路冲击或过电压冲击所致，其表现是由于产生局部放电或过热，运行中油色谱检测指标异常，通常瓦斯、差动保护要有动作表现。

f. 绕组出口短路故障：产生原因属变压器外部负载侧发生相间或对地短路，短路后变压器保护（差动和瓦斯）要动作。

在变压器短路电磁力作用下，绕组损坏或引线位移是变压器短路故障最可能的结果。这其中包括以下几种典型故障模式。

(a) 绕组辐向失稳。对于紧靠铁芯柱放置的变压器内绕组或多绕组变压器的中间绕组，在变压器短路状况下，可能受到辐向短路电磁力所引起的周向压缩作用。所谓绕组的辐向失稳是指，在绕组圆周方向的某些撑条间隔内整个线饼的所有导线都向里塌陷，而在相近的撑条间隔内整个线饼的所有导线都向外凸出。

(b) 绕组轴向失稳。绕组的轴向失稳是指在变压器短路过程中绕组某些线饼导线倾斜倒塌的现象，它是受短路轴向电动力和短路辐向电动力共同作用的绕组损坏的主要形式。绕组轴向失稳的主要原因有：绕组轴向预压紧力值选取不合理；绕组辐向垫块残余变形的影响；当绕组轴向振动的某一阶固有频率与变压器短路电磁力的频率相接近时，在短路电磁力作用下绕组可能产生共振而导致线饼轴向失稳；绕组绕制的先天缺陷也会对绕组的轴向稳定性产生一定影响。

(c) 绕组变形导致匝绝缘破裂而引起匝间短路。在短路电磁力的作用下，绕组变形导致匝绝缘破裂而引起匝间短路，从而产生更为严重的短路事故。

(d) 绕组变形导致主绝缘强度降低而造成主绝缘击穿。

2) 铁芯故障。

a. 铁芯多点接地故障：产生原因是由于铁芯与接地体间异物搭接所致，其表现是铁芯接地电流大（超过 0.3A）。

b. 铁芯绝缘油道间多点连接故障：产生原因是铁芯油道的端面（铁窗内外切面处），尤其是尖角处有搭接，而铁芯连接片跨接距离又较大，形成局部磁通短路回路，其表现是铁芯有局部过热，油色谱检测指标异常。

c. 铁芯局部过热：铁芯硅钢片间或铁芯局部间有短路所致，其表现是油色谱检测指标异常。

d. 整体铁芯过热、噪声异常：变压器励磁电压过高所致。

e. 夹件多点接地（对夹件单独外引接地方式）：产生原因是铁芯夹持系统在运行中有接地部位，如上部器身与油箱定位装置处、下部垫脚与箱底间、开关支撑架与开关头部法兰间有接触所致，其表现是夹件接地电流大（超过 0.3A）。

3) 绝缘故障。

a. 绝缘性能下降（包括绕组、铁芯、夹件绝缘）：产生原因是变压器受潮所致，其表现在停电检测时指标异常。

b. 绝缘击穿故障：包括主、纵绝缘的绝缘击穿，产生原因是变压器本身的制造质量缺陷，或运行中变压器受到过电压冲击所致，其表现在运行时的油色谱检测指标异常，变压器瓦斯保护要动作；停电检测时主绝缘击穿，主绝缘对地耐压不合格，纵绝缘击穿，绕组直阻或变比不合格。

c. 绝缘老化：主要指与电导体或磁导体发热部件接触的绝缘材料受热，年久失效，绝缘性能下降，变压器寿命到期，不能保证变压器安全运行。

4) 变压器油故障。

a. 新变压器油耐压指标不合格：产生原因是油中含水等指标过高，通过滤油脱气、脱水等处理即可提高耐压值。

b. 变压器投运前变压器油中油色谱指标不合格（如含有乙炔等）：产生原因应是新油不合格（含乙炔）未经验收注入本体，或新油合格而现场油务工作操作不当及设备污染所致。

c. 运行中变压器油的油色谱检测不合格：产生原因应是变压器内部有热故障或放电故障所致，其表现是不同性质的故障有不同的油色谱分析含气指标，可作为变压器故障监测的有效手段。

d. 运行中变压器油介损、酸值、水溶性酸等简化试验指标不合格：产生原因是变压器长期运行温度过高，或变压器运行年限很长，油老化所致。

e. 混油故障：产生原因是不同产地、不同油基或指标有严重差异的变压器油发生混油，致使油性能指标不合格。

5) 变压器组件在运行中常见的典型故障。

a. 开关故障。分接开关的故障主要分两大类：机械故障和电气故障。

机械故障包括自然磨损、异常磨损、运转失效、机械疲劳损坏或经受外力作用所导致的部件损坏。

电气故障包括由短路电流引起的电弧熔蚀或由于触头接触不良引起的异常发热、燃弧放电以及雷击或异常过电压所造成绝缘油性能劣化乃至绝缘击穿。机械和电气故障的最终结果均可导致分接开关失灵甚至烧毁。

分接开关的故障原因分为设计和工艺制造等方面。例如，由于紧固程度不够，所以在机械振动后开关产生位移、拒动、连动；由于分接开关采用的传动齿轮加工精度不够和所采用的材料本身机械强度不够导致开关运转失常或损坏。属于安装运行方面的故障原因主要是开关与电动机构连接不好，导致传动轴扭断或不能顺次调压等。

(a) 开关触头接触电阻增加造成绕组直阻不平故障：产生原因是变压器运行中长期未调挡，油膜和游离碳附着触头表面所致。

(b) 开关触头极间或相间放电拉弧故障：产生原因是变压器受过电压作用，保护装置作用失灵所致；或无载开关切换不到位所致；或开关制造质量缺陷所致。

(c) 运行中变压器有载开关经常产生开关油室与变压器油箱间内渗故障：产生原因是安装时操作不当，如放油塞没关严，上部法兰密封圈移位所致。另外是开关质量缺陷，如触头渗漏，组合开关传动轴的轴封渗漏所致。

(d) 开关操纵机构失灵故障：产生原因多因制造质量缺陷，电控元件质量缺陷所致。

b. 瓦斯继电器误动故障：产生原因多是二次接线受潮或误连所致，表现是误报警和跳闸。

c. 吸湿器呼吸不畅（堵塞）故障：产生原因是吸湿器油杯运输用胶圈未取出，或呼吸通孔被尘埃堵塞，表现是变压器不能正常呼吸，易引起变压器瓦斯保护误动。

d. 套管故障。套管的主要故障包括渗漏油、进水受潮、局部放电、内部过热、引线连接不良以及机械性损伤等。套管故障的原因：一是质量差，主要体现在套管的制造工艺和材质不良，以及端部密封不良；二是套管介损和局部放电量超标；三是套管的绝缘水平与变压器绝缘不配合。

套管外部连接端子过热：产生原因是紧固不到位，接触电阻过大发热。

(a) 套管下部连接片发热或放电：产生原因是紧固不到位，表现是变压器油色谱检测指标异常，停电检测直阻不平。

(b) 套管闪络放电故障：产生原因是瓷套管表面不干净，泄漏电流大，表现是运行中有闪络。

(c) 油纸电容式套管的介损或电容指标不合格：产生原因是套管本身的质量缺陷，安装前未经验收检测。

(d) 油纸电容式套管的小接地套管（测量装置）接地不良引起的放电故障。

e. 冷却装置故障。强油风冷却器的故障主要是轴承精度低、寿命短，电气控制元

件质量不过关，油泵密封存在缺陷，致使有渗漏出现。

(a) 冷却装置用风机或油泵反转：产生原因是三相接线相序不对，调两相接线顺序即可解决。

(b) 冷却装置的控制柜控制失灵：产生原因是柜内元件或接线损坏失灵所致。

f. 温控器失准：产生原因主要是产品质量缺陷，或安装时没校验。

1.2 变压器故障运行特征表现

变压器运行时发生故障会有异常特征表现，通过对这些特征表现的观测和分析，就可以发现和判断变压器运行中有无故障和缺陷发生。

1.2.1 变压器外观异常特征

(1) 变压器有无渗漏油。渗漏油是变压器常见问题，渗漏油主要在大盖与本体结合部分、放油门、散热器等部位。

(2) 压力释放阀有无渗油。

(3) 套管有无闪络放电和端子发热变色迹象。套管闪络放电会造成发热、老化，引起短路甚至爆炸。

(4) 变压器颜色变化有无异常。看套管的卡线连接处，接头是否因过热而颜色变暗失去光泽；看吸湿器内硅胶颜色是否由蓝色变成粉红色；看气体继电器内有无气体，如果有气体，无色无味不可燃为空气，无色无味可燃为氢气，微黄色为木质材料裂解所生，黑色、深灰色气体为油裂解所生，灰白色、可燃、有臭味为绝缘材料裂解所生；看油箱箱体有无局部因过热而变色。

1.2.2 变压器声响异常特征

(1) 交流声音增大。可能出现了过电压或过负荷情况。

(2) 出现杂声。若声音比正常增大且有明显杂音，可能内部夹件或压紧铁芯的螺钉松动，造成硅钢片振动增大。

(3) 伴有放电声。若是内部放电，应立即将变压器停电检查。

(4) 夹杂有水沸腾声。若有水沸腾声且温度急剧变化则有可能是发生短路或分接开关不良的严重过热。

(5) 夹杂爆裂声。若声音中夹杂不均匀爆裂声，可能是变压器内部或表面绝缘击穿，应立即将变压器停电检查。

1.2.3 变压器温度异常特征

(1) 在一定的负载和环境温度下，油顶层温度和温升过高（高于对应值），在满负载或接近满负载时，油顶层温度超过 85℃，或温升超过 55K。

(2) 在一定的负载和环境温度下，绕组温度和温升过高（高于对应值），在满负载或接近满负载时，绕组温度超过 95 ~ 100℃，或温升超过 65K。

(3) 变压器油箱表面局部过热超过温升限值 80K。

(4) 套管接线端子连接处过热温升高于 55K。

温度异常的原因：内部故障引起温度异常；变压器内部故障时如过热、铁芯多点接地等会引起温度异常；散热器阀门不通引起温度异常；新安装或大修后变压器散热器阀门忘记打开时，呼吸器堵塞或严重漏油引起温度异常；冷却装置运行不正常引起温度异常。

1.2.4 变压器油位异常特征

(1) 储油柜油位异常（包括主体油柜和开关油柜的油位）。

1) 储油柜的油位出现假油位。运行中出现假油位的原因有油标管堵塞、油枕呼吸器堵塞、防爆管通气孔堵塞。

2) 储油柜的油位超高，变压器油无膨胀空间，变压器内部压力增加，压力释放阀动作。

3) 储油柜的油位过低，低于规定的油面线，无法观察。油位过低会引起轻瓦斯动作，严重时会引起内部绕组暴露，并使得绝缘能力降低。

(2) 套管油位异常特征。套管油位过高或过低，套管观察窗内无法观察到油面。

(3) 吸湿器油位过低，不能起到过滤作用。

1.2.5 变压器呼吸异常特征

变压器正常运行时，吸湿器油杯内没有气泡正常产生，吸湿器及呼吸系统（管路）堵塞，变压器内部压力增加，压力释放阀动作，胀通瞬间重瓦斯动作跳闸。

1.2.6 变压器产气异常特征

变压器运行时，观察瓦斯继电器视察窗，如果有气体聚集在上部空间，说明变压器内部有缺陷。

1.2.7 变压器负载异常特征

变压器在运行时，发生过负载现象，过负载包括正常过负载、事故过负载和短路过负载，不同的过负载对变压器有不同的影响。

1.2.8 变压器油色谱异常特征

变压器定期油色谱监督，或临时状态油色谱检测时，发现油色谱含气指标异常，不同的故障缺陷会表现为不同的产气组分、含量和产气速度。

1.2.9 铁芯夹件接地电流异常

变压器铁芯或夹件接地电流超 0.3A 或更多，说明变压器铁芯或夹件有多点接地现象。

1.2.10 变压器运行瓦斯报警

(1) 二次线短路造成非故障性报警。

(2) 变压器安装时排气不净，安装初期常报警。

(3) 变压器内部有故障和缺陷造成的产气报警。

1.2.11 变压器保护动作跳闸

(1) 非故障性的二次线短路造成的某项保护误动作。

(2) 变压器瓦斯保护（主保护）动作跳闸，说明变压器内部产生故障。

(3) 变压器差动保护（主保护）动作跳闸，说明变压器内部有短路或外部有短路