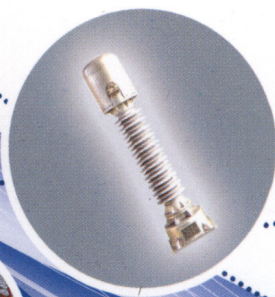
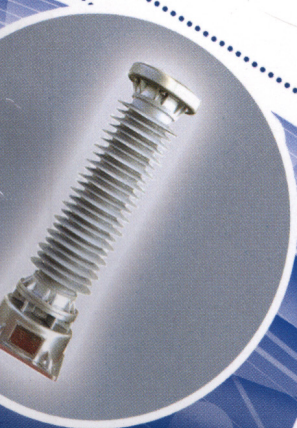


新型变配电设备 运行与异常处理

XINXING BIANPEIDIAN SHEBEI
YUNXING YU YICHANG CHULI

主 编 武文平
副主编 袁卫华



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

新型变配电设备 运行与异常处理

XINXING BIANPEIDIAN SHEBEI
YUNXING YU YICHANG CHULI

主 编 武文平
副主编 袁卫华
参 编 付 超



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书选取了 GIS 组合电器、光学电子互感器、新型微机继电保护装置等变配电设备，在精讲其组成、结构、工作原理的基础上，介绍该设备的现场运行技术规范要求，重点对新型变配电设备运行中出现的异常情况或发生事故时，值班人员的判断、处理方法以及原因进行分析，并辅以典型的事故案例进行说明。

本书针对现场运行的具体设备讲解，侧重于变电运行岗位技能的培养，通过典型案例从另一个角度强化操作规范的贯彻落实，是一本讲求实用的变电站运行岗位技能培训资料，可供变电站运行、检修、试验人员和相关管理人员学习、参考。

图书在版编目(CIP)数据

新型变配电设备运行与异常处理/武文平主编. —北京：中国电力出版社，2011.8

ISBN 978-7-5123-2032-1

I. ①新… II. ①武… III. ①配电系统-电力系统运行②变电站-电力系统运行③配电系统-异常-处理④变电站-异常-处理
IV. ①TM64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 166529 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 10 月第一版 2011 年 10 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 15.75 印张 295 千字

印数 0001—3000 册 定价 35.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

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

前 言

近十年来,我国电力工业发展迅速,新建变电站不断增加,各地很多变电站经过技术改造,大量采用了新技术、新设备,相继建成了基于新标准的数字化变电站和智能变电站,在这些新建和改建的变电站中大量采用了一些新型的开关、互感器、变压器和微机保护等装置。设备的更新换代极大地提高了变电站运行的可靠性,对变电运行人员的运行技能提出了更高的要求。综合自动化程度的提高,智能电气设备的大量应用,使得变电运行人员对于异常运行和事故的判断及处理更加方便、快捷和准确。

作为《教育部职业教育与成人教育司推荐教材 变配电运行》一书的编者,有幸接触过各地读者,有变电运行值班员,有变电专业工程技术人员,也有电力类中职和高职院校老师等,他们认为该书既适合现场学习培训的需要,又适合职业院校的培训教学。在此基础上,结合多年变电运行工作和培训经验,作者构思编写了本书。

本书以强化变电运行值班人员运行规范,提高对事故和异常运行的分析、判断、处理能力为主要目的,对目前变电站采用的新型开关、变压器、互感器、微机继电保护及其他新型设备的概况以及主要设备的结构、功能、运行技术规范要求进行了概要讲解,对运行规范中的部分危险点进行了着重说明,同时也介绍了电气设备异常运行和发生事故时,运行值班人员应怎样分析、判断和处理。

本书的部分章节根据现场运行情况列举了一些事故案例,从事故象征、

初步分析判断、具体检查处理和操作过程、再分析、恢复系统运行方式，到故障分析，使运行人员对每一步骤都能了解具体的处理方法，进一步说明运行规范的重要性。

本书坚持按照变电运行人员的岗位职责，不讲高深的理论，侧重于运行岗位技能培养的需要，叙述现场新型电气设备的典型结构、功能、运行技术和规范要求，以及出现异常或事故的处理方法，希望能为变电运行人员的岗位技能培训提供帮助。

参加本书编写的有保定电力职业技术学院武文平副教授（编写第一、二章），保定电力职业技术学院袁卫华讲师（编写第三、四章），保定供电公司高级工程师付超（编写第五章）。全书由武文平副教授统稿，并对内容进行修改和补充，袁卫华副主编参与了全书的修改工作。本书在编写工作中，还得到了保定电力职业技术学院、保定供电公司有关领导的大力支持，在此一并表示衷心感谢。

本书内容通俗易懂，所述内容具有一定的共性，是一本讲求实用的变电站运行岗位技能培训资料，可供变电站检修、试验人员和相关管理人员参考。由于编者水平有限，加之时间仓促，对于书中难免出现的疏漏之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 电力变压器运行与异常处理	1
第一节 新型变压器概况.....	1
第二节 有载调压变压器运行.....	5
第三节 变压器异常运行和处理	14
第四节 变压器运行异常案例分析	21
第二章 高压断路器运行与异常处理	31
第一节 高压断路器概述	31
第二节 SF ₆ 断路器运行与异常处理	38
第三节 GIS 组合电器运行与异常处理	58
第四节 高压真空断路器运行与异常处理	73
第五节 液压操动机构运行与异常处理	86
第三章 互感器运行与异常处理	103
第一节 电磁式互感器运行与异常处理.....	104
第二节 数字式互感器结构和特点.....	110
第三节 电子式电流、电压互感器运行与异常处理.....	113
第四节 光学电子式电流、电压互感器结构和技术参数.....	131
第五节 合并单元装置的运行与异常处理.....	138
第四章 新型继电保护装置运行与异常处理	146
第一节 线路及母联保护装置的运行与异常处理.....	147
第二节 变压器保护装置的运行与异常处理.....	166
第三节 母线保护装置的运行与异常处理.....	181

第四节	测控装置的运行与异常处理·····	207
第五节	电容器保护装置的运行与异常处理·····	217
第五章	其他变配电设备运行与异常处理·····	223
第一节	备自投装置运行与异常处理·····	223
第二节	主变压器过负荷联切装置运行与异常处理·····	227
第三节	频率电压紧急控制装置运行与异常处理·····	232
第四节	“五防”闭锁装置的运行与异常处理·····	236
附录 A	220kV 变电站主接线图 ·····	244
附录 B	220kV 数字化变电站二次系统结构图·····	245
参考文献	·····	246

第一章

电力变压器运行与异常处理

第一节 新型变压器概况

变压器是根据电磁原理制造的一种输变电设备，其主要作用是变换电压，以利于功率的传输。在同一段线路上，传送相同的功率，电压经升压变压器升压后，线路传输的电流减小，可以减少线路损耗，提高送电经济性，达到远距离送电的目的，而降压则能满足各级使用电能的用户需要。

变压器有单相变压器和三相变压器，目前主要有干式冷却和油浸式冷却方式，按绕组形式可分为双绕组变压器、三绕组变压器和自耦变电器。双绕组变压器用于连接电力系统中的两个电压等级。三绕组变压器一般用于电力系统区域变电站中连接三个电压等级。自耦变电器用于连接不同电压的电力系统，也可作为普通的升压或降压变压器用。

在电力系统中，发、供、用电过程的电能损耗主要包括线路损耗和变压器损耗两大部分。整个线路除有一定数量的输电变压器外，还有大量运行在电力系统末端的配电变压器，其总数量和总容量所占的比例很大，是配电网中不可缺少的主要设备，分布面非常广泛。

一、非晶合金铁心变压器

美国麻省理工学院于 1979 年采用 2605SC 制作了 15kVA 的干式变压器。日本于 1981 年 7 月采用 2605S2 试制了 10kVA 的变压器，于 1982 年 8 月试制了 30kVA 的高压油浸变压器，1983 年 2 月又试制了 35kVA 三相五柱式模型变压器作为研究对象。我国在 20 世纪 80 年代初进行了对非晶态合金铁心变压器的研究，并于 1986 年由上海变压器厂研制出 30kVA 的非晶合金铁心变压器。20 世纪 90 年代非晶合金铁心变压器的研发已进入实用阶段，国内数个厂家相继引进国外技术，

生产出较大容量的非晶合金铁心变压器。

非晶合金铁心变压器是用非晶态合金作为导磁材料所制造的一种配电变压器，其空载损耗值与同容量的新 S9 型配电变压器相比，可降低 75%，节能效果明显。目前国家还在不断进行电网建设和改造，如果所有配电变压器都能采用非晶合金铁心变压器，那么既可为国家节约大量能源，又会取得显著的环保效益。



图 1-1 一台非晶合金铁心变压器

1. 非晶合金铁心变压器的构成

图 1-1 所示为一台非晶合金铁心变压器，其各部分组成如图 1-2 所示。

(1) 变压器铁心均为三相五柱式两行矩形排列，在两个旁柱中流过零序磁通，磁通不经过箱体，不产生发热的结构损耗，使变压器能满足低噪声、低损耗的要求。

(2) 高低压绕组均为矩形的铜绕组，当绕组偶然发生短路时，能承受住较大的机械应力冲击，绕组不产生变形。

(3) 箱体采用冷轧钢板制成的片状散热器，高低压套管的上方加装防冰雹、防尘、防雨罩装置，其引线无导体裸露，可用电缆接线，全绝缘保护。

(4) 变压器热循环油为填充硅油，箱体全密封，20 年内免维护且可适应高温场所。

2. 非晶合金铁心变压器的规格

(1) 容量为 30~1600kVA，电压为 6~10kV/0.4kV/0.22kV，联结组标号为 Yyn0、Dyn11。

(2) 空载损耗、负载损耗、阻抗电压、主绝缘均符合 GB/T 6451—2008《油浸式电力变压器技术参数和要求》的技术要求。

3. 非晶合金铁心变压器性能要求和特点

目前广泛采用的新 S9 型配电变压器，其铁心所采用的导磁材料通常为 30Z140 高导磁冷轧硅钢片，其饱和磁通密度比非晶合金高，产品设计时所选取的磁通密度通常在 1.65~1.75T 之间，这也是非晶合金铁心配电变压器比新 S9 型配电变压器空载损耗低的一个主要原因。

(1) 变压器非晶合金结构特点。利用导磁性能突出的非晶合金作为制造变压器

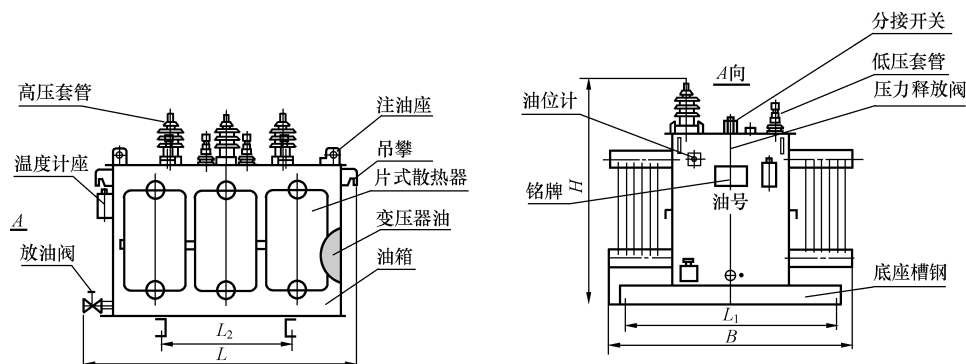


图 1-2 非晶合金铁心变压器的组成

的铁心材料，最终能获得很低的损耗值。但它具有许多特性，在设计和制造中是必须保证和考虑的，主要体现在以下几个方面。

1) 非晶合金片材料的硬度很高，用常规工具是难以剪切的，所以设计时应考虑减少切割量。

2) 非晶合金单片厚度极薄，材料表面也不是很平坦，因此铁心填充系数较低。

3) 非晶合金对机械应力非常敏感。结构设计时，必须避免采用以铁心作为主承重结构件的传统设计方案。

(2) 为了获得优良的低损耗特性，非晶合金铁心片必须进行退火处理。

(3) 电气性能。为了减少铁心片的剪切量，整台产品的铁心由四个单独的铁心框并列组成，并且每相绕组是套在磁路独立的两框上。每个框内的磁通除基波磁通外，还有三次谐波磁通的存在。一个绕组中的两个卷铁心框内，其三次谐波磁通正好在相位上相反，数值上相等，因此，每一组绕组内的三次谐波磁通量和为零。如一次侧是 D 接法，有三次谐波电流的回路，当在感应出的二次侧电压波形上，就不会有三次谐波电压的分量。

(4) 根据上面分析，三相非晶合金铁心配电变压器最合理的结构为：

1) 铁心。由四个单独铁心框在同一平面内组成三相五柱式，必须经退火处理，并带有交叉铁轭接缝，截面形状呈长方形。

2) 绕组。绕组为长方形截面，可单独绕制成型的，有双层或多层矩形层式。

3) 油箱。油箱为全密封免维护的波纹结构。

(5) 非晶合金铁心配电变压器使用效果。三相非晶合金铁心配电变压器与新 S9 型配电变压器相比，其年节约电能是相当可观的。

以 800kVA 为例， ΔP_0 为 1.05kW，两种形式配电变压器的负载损耗值是一样

的, 则 $\Delta P_k = 0$, 便可计算出一台产品每年可减少的电能损耗为

$$\Delta W_s = 8760 \times (1.05 + 0.62 \times 0) = 9198(\text{kW} \cdot \text{h})$$

通过该种规格产品的计算可知, 三相非晶合金铁心配电变压器系列产品的节能效果非同一般。由于油箱又设计成全密封式结构, 使变压器内的油与外界空气不接触, 防止了油的氧化, 延长了产品的使用寿命, 为用户节约了维护费用。

二、10kV 卷铁心配电变压器

10kV 卷铁心配电变压器是目前国内最优秀的一种配电变压器。它采用微机数控技术, 利用卷铁心生产的专用设备, 硅钢片带连接绕制而成, 减少了传统铁心的接缝气隙, 使得产品的噪声明显下降。产品经退火处理后空载损耗比 S9 型平均下降 30%。该产品配以波纹油箱全密封结构, 具有外形美观、性能优良、免维护等优点, 是新一代节能环保产品。

图 1-3 所示为一台 10kV 卷铁心配电变压器。

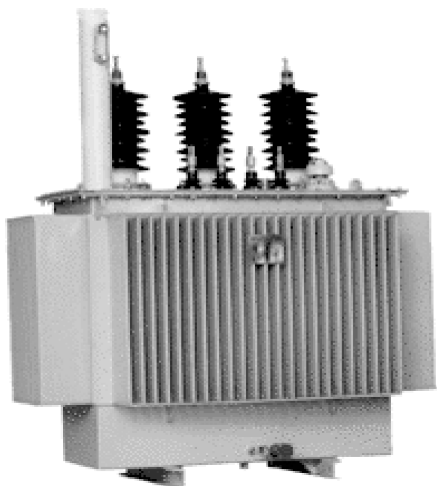


图 1-3 10kV 卷铁心配电变压器

10kV 卷铁心配电变压器的功能和特点为:

(1) 铁心。卷铁心配电变压器的铁心采用厚度为 0.30mm 或 0.27mm 的冷轧取向硅钢片, 采用阶梯形卷铁心无接缝结构, 在铁心卷绕机上卷制而成。先绕制两个小框形铁心, 再在两个小框形铁心外面卷制一个大框组成一个三相卷铁心。卷制完成后, 再装入铁心退火炉, 经真空和充氮退火, 其铁心性能得到充分的恢复, 因而, 本系列变压器空载损耗非常低, 比 S9 系列 10kV 级配电变压器的空载损耗平均降低 30%, 是一种更优秀的低损耗配电变压器。

(2) 绕组。卷铁心变压器的绕组绕制需要使用专用绕线机, 在铁心上直接绕制完成, 高低压绕组同时绕制, 并且不需采用绕线模, 结构合理, 安匝分布均匀, 具有很强的抗短路能力。

(3) 组装。组装时, 不再需要拆卸铁心上铁轭, 可防止铁心损耗在组装过程中的增大现象。

(4) 油箱。卷心配电变压器的油箱全部采用波纹片全密封形式。

(5) 装配。装配采用自锁式防松螺母, 确保长途运输、安装和运行不松动、不

移位，恒温真空注油，确保产品免维护。

第二节 有载调压变压器运行

一、变压器的运行标准和规定

变压器作为电力系统最重要的电气设备，广泛应用在发电厂和变电站中，其运行情况将直接影响电力系统的稳定性和供电的可靠性。图 1-4 所示为一台运行中的电力变压器。图 1-5 所示为一台 110kV 三相有载调压变压器。



图 1-4 一台运行中的电力变压器



图 1-5 一台 110kV 三相有载调压变压器

变压器的基本结构如图 1-6 所示，其铁心形式有心式和壳式。

变压器必须根据其铭牌所示的技术规范运行，图 1-7 所示为某小型电力变压器的铭牌。

变压器的运行电压一般不应高于该运行分接头额定电压的 105%。不论电压分接头在任何位置，如果所加一次电压不超过其相应额定值的 5%，则变压器的二次侧可带额定电流。也就是无载调压变压器可在额定电压的 $\pm 5\%$ 范围内改变分接头位置运行，其额定容量不变。如为 -7.5% 和 $+10\%$ 分接头时，额定容量应相应降低 2.5% 和 5%。对于特殊的使用情况（例如变压器的有功功率可以在任何方向流通），经制造厂认可，允许在不超过 110% 的额定电压下运行，以防止铁心过饱和而出现高次谐波而产生过电压并使铁损增加。

有载调压变压器的运行人员应根据调度部门下达的电压曲线，进行逐挡电压调整。其分接头位置的额定容量应遵守制造厂规定，但主变压器过载 1.2 倍以上时，禁止操作有载开关。

（一）主变压器运行油温的标准

变压器运行油系统如图 1-8 所示。

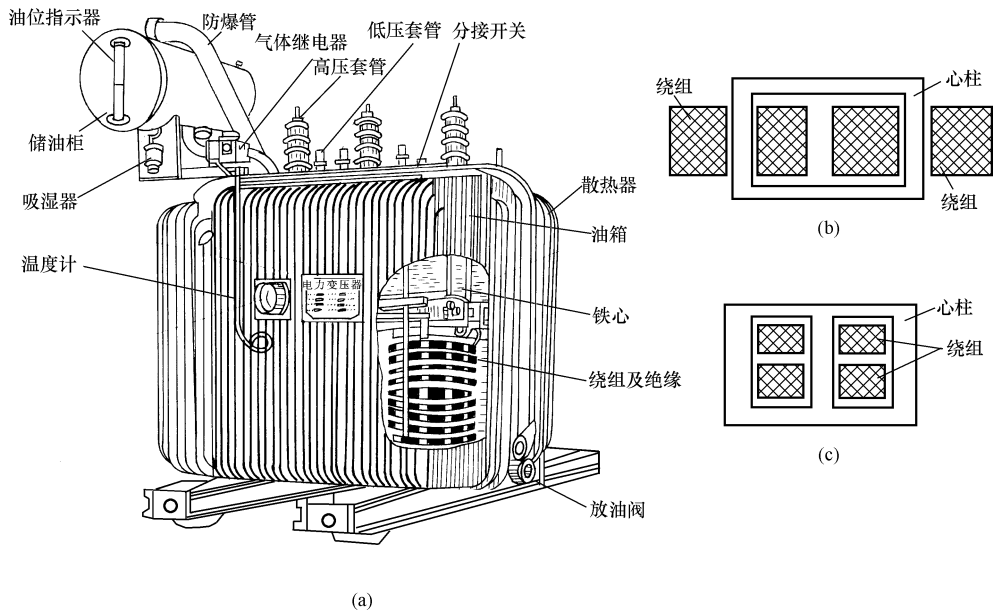


图 1-6 变压器的主要部件和铁心形式
(a) 变压器外形；(b) 心式铁心；(c) 壳式铁心

电 力 变 压 器					
TUW ZHU					
产品标准:	GB1094.1.2-1996		开关	高 压	低 压
	GB1094.3.5-2003		位置	电压(V)	电流(A)
产品代号:	1AB.710		I		
出厂序号:			II		
产品型号:	S		III		
额定容量:			冷却方式:	ONAN	
额定电压:			使用条件:	户外式	
额定频率:	50Hz		器身吊重:		
相 数:	3相		绝缘油重:		
联结组标号:			总 重:		
绝缘水平:	AC /LI				
安庆变压器有限公司制造			200 年 月 日		

图 1-7 某小型电力变压器的铭牌

控制大型主变压器的运行油温是确保变压器正常运行和其绝缘强度，防止绝缘油劣化的基本措施。对运行中的油浸式主变压器，运行人员必须认真监视其主变压器油温变化（一般监测的系变压器上层油温），油浸式变压器上层油温一般不应超过表 1-1 的规定（制造厂有规定的按制造厂规定）。

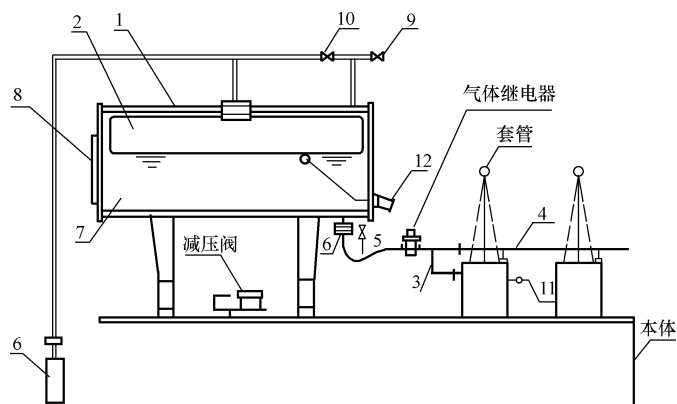


图 1-8 变压器运行油系统

1—油枕；2—气囊；3—油枕连接管路；4—集气管；5—排油阀；
6—吸湿器；7—绝缘油；8—人孔板；9、10、11—阀门；12—油位计

表 1-1

油浸式变压器上层油温

冷却方式	冷却介质最高温度/℃	最高上层油温/℃
自然循环冷却、风冷	40	95
强迫油循环风冷	40	85
强迫油循环水冷	30	70

变压器正常运行时，上层油温不超过 85℃，若运行中超过 85℃，应采取措施启用备用冷却器或转移负荷，此时变压器的上层油温最高不应超过 95℃。

（二）主变压器负载运行的规定

根据 DL/T 572—2010《电力变压器运行规程》，电力变压器负载状态的分类及运行的规定如下：

1. 变压器负载状态的分类

（1）正常周期性负载。在周期性负载中，某段时间环境温度较高，或超过额定电流，但可以由其他时间内环境温度较低，或低于额定电流所补偿。从热老化的观点出发，它与设计采用的环境温度下施加额定负载是等效的。

（2）长期急救周期性负载。要求变压器长时间在环境温度较高，或超过额定电流下运行。这种运行方式可能持续几个星期或几个月，将导致变压器老化加速，但不直接危及绝缘的安全。

（3）短期急救负载。要求变压器大幅度超额定电流运行，这种负载可能导致绕组热点温度达到危险的程度，使绝缘强度暂时下降。

2. 变压器负载运行的规定

（1）正常周期性负载的运行。变压器在额定使用条件下，全年可按额定电流运

行。允许在平均相对老化率小于或等于 1 的情况下，周期性超额定电流运行。当变压器有较严重的缺陷（如冷却系统不正常、严重漏油、有局部过热现象等）或绝缘有弱点时，不宜超额定电流运行。超额定电流运行时，允许的负载系数 K_2 和时间可按 GB 1094.7—2008《电力变压器 第7部分：油浸式电力变压器负载导则》规定的方法确定。

（2）长期急救周期性负载的运行。长期急救周期性负载下运行时，平均相对老化率可大于 1 甚至远大于 1，这将在不同程度上缩短变压器的寿命，应尽量减少出现这种运行方式的机会，必须采用时，应尽量缩短超额定电流运行的时间，降低超额定电流的倍数，有条件时（按制造厂规定）投入备用冷却器。当变压器有严重缺陷或绝缘有弱点时，不宜超额定电流运行。超额定电流负载系数 K_2 和时间，可按 GB 1094.7—2008《电力变压器 第7部分：油浸式电力变压器负载导则》规定的方法确定。运行期间，应有负载电流记录，以便计算该运行期间的平均相对老化率。

（3）短期急救负载的运行。短期急救负载下运行，相对老化率远大于 1，绕组热点温度可能达到危险程度。在出现这种情况时，应投入包括备用在内的全部冷却器（制造厂另有规定的除外），并尽量压缩负载，减少时间，一般不超过 0.5h。当变压器有严重缺陷或绝缘有弱点时，不宜超额定电流运行。

（三）变压器的并列运行

多台变压器并列运行方式具有能够提高供电的可靠性，可根据负荷情况增减变压器并列台数，达到经济运行、有利于变压器定期检修的优点。并列运行的变压器绕组接线组别必须相同，电压比相等（允许相差 $\pm 0.5\%$ ），阻抗电压相等，容量之比不大于 3，否则将产生环流，使变压器过负载。个别特殊情况，应进行实际计算。

变压器在初次（如新投入、绕组更新或修后）并列运行前必须经过核定相位，证明相位一致方可并列。

（四）冷却装置的运行要求

变压器按照容量和散热的需要采用不同的冷却方式，图 1-9 所示为变压器的不同冷却装置。对于油浸式变压器的冷却装置，其运行性能直接影响变压器的运行温度和负荷能力。

（1）变压器强迫油循环风冷却装置正常运行情况下，可带额定负荷长期运行。

（2）变压器在任何情况下不允许无冷却器运行。

（3）变压器强迫油循环风冷却系统必须具备两路电源，一个为备用电源，当主电源出现故障失压时，备用电源应自动投入运行。

（4）根据变压器的负荷和环境温度，确定投入冷却器的台数。在各种负载下，投入冷却器的台数应遵守制造厂的规定，并保持按负载投冷却器的自动装置正常运

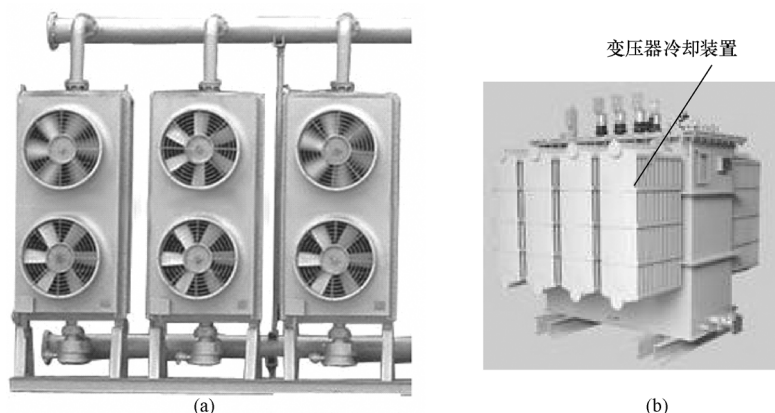


图 1-9 变压器的不同冷却装置

(a) 强迫油循环风冷装置；(b) 自然风冷装置

行，应防止在空载和轻载时投入过多的冷却器。

(5) 当冷却器全部失去电源时，潜油泵及风扇全部停止运行，变压器在额定负载条件下，允许运行时间为 20min。若上层油温未达到 75°C 时，允许油温上升到 75°C ，但切除冷却器后的最长运行时间，不得超过 1h。运行人员必须严格监视上层油温的变化，随时向调度汇报，并采取措施，迅速恢复冷却器电源。

(五) 气体继电器的运行

新安装或大修后的主变压器投入运行时，必须将重气体保护投入跳闸位置。气体保护中采用的气体继电器如图 1-10 所示。



图 1-10 气体继电器

在主变压器充电投入运行后，重气体保护再投入到动作于信号位置，待连续运行 48h 正常，并测量重气体保护跳闸连接片两端确无电压后，方可将重气体保护投入跳闸位置。

当变压器停用时，将轻气体保护投入“信号”位置，其目的是便于发现变压器油面下降并及时加油。当主变压器油位计的油面异常升高时，为查明原因，在未将重气体保护投入信号位置前，禁止打开放气阀、放油阀或清理呼吸器的眼孔或进行其他工作，以防气体保护误动作。对于主变压器，在运行中加油或滤油、净油器投入运行和更换吸湿剂、强迫油循环装置油路系统进行检修或试验以及在气体保护及其二次回路处工作时，重气体保护都应改为动作于信号。

对于有载调压变压器配备的有载分接开关，均带有气体继电器，主要用以防止断路器内部故障而动作跳闸，故在运行中重气体保护应置于跳闸位置。

（六）呼吸器的运行

变压器的呼吸器如图 1-11 所示。

呼吸器在安装时注意把下罩上的密封胶垫拆除，以便于空气进入，并在罩内注入绝缘油进行油封。运行中要注意，呼吸器是否真正起到了呼吸作用，油封中的油是否干枯，否则应加油。当呼吸器中的变色干燥剂的颜色由蓝色变成粉红色后，应更换干燥剂。当储油柜中的油位过高、储油柜内有空气或当天气温度高时，储油柜的油可能经呼吸器的管道往外溢出。图 1-12 所示为工作人员在进行呼吸器维护。



图 1-11 变压器的呼吸器



图 1-12 工作人员在进行呼吸器维护

（七）有载分接开关的运行

变压器有载分接开关的外形图和内部构造图如图 1-13 所示。

变压器有载分接开关的运行，应按制造厂的规定进行。无制造厂规定的可参照以下规定执行。



图 1-13 变压器有载分接开关外形图和内部构造图

（1）运行一年或切换 2000～4000 次后，应取切换开关油箱中的油样进行工频耐压（不低于 30kV）试验，试验应合格，否则应更换合格变压器绝缘油。

（2）新投入的分接开关，在切换 5000 次后，应将切换开关吊出检查，以后可按实际情况确定检查周期。

（3）运行中的有载分接开关动作 5000 次后或绝缘油的击穿电压低于 25kV 时，应更换切换开关油箱的绝缘油。图 1-14 为