



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 17468—2019  
代替 GB/T 17468—2008

---

## 电力变压器选用导则

Guide for choice power transformers

2019-12-10 发布

2020-07-01 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布

## 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 使用条件 .....	3
4 选用变压器的一般原则 .....	5
5 技术要求 .....	12
6 变压器并联运行 .....	12
7 变压器的声级 .....	12
8 变压器承受短路的能力 .....	13
9 变压器热老化率与寿命 .....	13
10 变压器非电量保护 .....	14
11 变压器主材 .....	16
12 变压器组件、部件 .....	18
13 变压器运维检修 .....	20
14 变压器选型 .....	21
15 变压器技术经济评价 .....	24
16 标志、起吊、安装、运输和贮存 .....	24
17 制造方应提供的技术文件和图表 .....	24
18 变压器询价、招标和投标 .....	26
19 技术协议 .....	27
附录 A (资料性附录) 三相变压器常用的联结组 .....	28
附录 B (资料性附录) 变压器的主要性能参数与制造成本的关系 .....	29
附录 C (资料性附录) 变压器并联运行的联结方法 .....	33
附录 D (资料性附录) 套管式电流互感器的选用 .....	36
附录 E (资料性附录) 极寒地区用油浸式变压器的选用 .....	40
附录 F (资料性附录) 全寿命周期成本法 .....	43
附录 G (资料性附录) 技术协议书的内容 .....	46
图 A.1 常用的联结组 .....	28
图 C.1 同组变压器的并联运行 .....	34
图 C.2 组 3 和组 4 中的变压器的并联运行 .....	35
表 1 热带产品使用环境条件 .....	4

表 2 三种绕组联结方法的主要特点 .....	9
表 D.1 66 kV、110 kV 侧套管式电流互感器推荐的性能参数额定值 .....	38
表 D.2 220 kV 侧套管式电流互感器推荐的性能参数额定值 .....	38



## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 17468—2008《电力变压器选用导则》，与 GB/T 17468—2008 相比，主要技术变化如下：

- 对范围和规范性引用文件进行了修改和完善(见第 1 章和第 2 章)；
- 对使用条件进行了修改和增补(见第 3 章)；
- 对选用变压器的一般原则及技术要求的有关内容进行了修改和增补(见第 4 章和第 5 章)；
- 增加了对变压器承受短路能力的有关内容(见第 8 章)；
- 增加了对变压器非电量保护的有关内容(见第 9 章)；
- 增加了对变压器主材的有关内容(见第 10 章)；
- 增加了对变压器组件、部件的有关内容(见第 11 章)；
- 增加了对变压器运维检修的有关内容(见第 12 章)；
- 增加了对变压器选型的有关内容(见第 13 章)；
- 增加了对变压器技术经济评价的有关内容(见第 14 章)；
- 增加了询价和投标的有关内容(见第 17 章)。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国变压器标准化技术委员会(SAC/TC 44)归口。

本标准起草单位：沈阳变压器研究院股份有限公司、中国电力科学研究院有限公司、明珠电气股份有限公司、特变电工沈阳变压器集团有限公司、西安西电变压器有限责任公司、保定天威保变电气股份有限公司、特变电工衡阳变压器有限公司、山东输变电设备有限公司、江苏华鹏变压器有限公司、国网吉林省电力有限公司电力科学研究院、特变电工股份有限公司新疆变压器厂、海鸿电气有限公司、南方电网科学研究院有限责任公司、广东电网有限责任公司电力科学研究院、广东科源电气有限公司、江苏华辰变压器股份有限公司、江西赣电电气有限公司、浙江江山变压器股份有限公司、卧龙电气烟台东源变压器有限公司、江西明正变电设备有限公司、鲁特电工股份有限公司、巨邦集团有限公司、国网江西省电力有限公司电力科学研究院。

本标准主要起草人：姜益民、张显忠、付超、蔡定国、车力、张良县、程从明、刘金波、王明胜、周国伟、赵春明、马旭平、孟杰、梁庆宁、雷园园、林春耀、邱国兴、徐健、张爱民、姜振军、孔非凡、吴锦新、张令建、李德志、周求宽。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 17468—1998、GB/T 17468—2008。

# 电力变压器选用导则

## 1 范围

本标准规定了选择和使用电力变压器的一般原则及有关要求。

本标准适用于对电力规划设计时合理地选择和使用好电力变压器进行指导。用户选用变压器时，可参考本标准确定变压器的类型、技术参数、技术性能、检修策略和合同等内容。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB/T 321—2005 优先数和优先数系
- GB/T 1094.1 电力变压器 第1部分:总则
- GB/T 1094.2—2013 电力变压器 第2部分:液浸式变压器的温升
- GB/T 1094.3 电力变压器 第3部分:绝缘水平、绝缘试验和外绝缘空气间隙
- GB/T 1094.5—2008 电力变压器 第5部分:承受短路的能力
- GB/T 1094.7 电力变压器 第7部分:油浸式电力变压器负载导则
- GB/T 1094.10 电力变压器 第10部分:声级测定
- GB/T 1094.11 电力变压器 第11部分:干式变压器
- GB/T 1094.12 电力变压器 第12部分:干式电力变压器负载导则
- GB/Z 1094.14 电力变压器 第14部分:采用高温绝缘材料的液浸式变压器的设计 and 应用
- GB 3096 声环境质量标准
- GB/T 4109 交流电压高于1 000 V的绝缘套管
- GB/T 6451 油浸式电力变压器技术参数和要求
- GB/T 7595 运行中变压器油质量
- GB/T 8349 金属封闭母线
- GB/T 10228 干式电力变压器技术参数和要求
- GB/T 10230.1 分接开关 第1部分:性能要求和试验方法
- GB/T 10230.2 分接开关 第2部分:应用导则
- GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准
- GB/T 13462 电力变压器经济运行
- GB/T 15166.2 高压交流熔断器 第2部分:限流熔断器
- GB/T 20840.2 互感器 第2部分:电流互感器的补充技术要求
- GB/T 22072 干式非晶合金铁心变压器技术参数和要求
- GB/T 23755 三相组合式电力变压器
- GB/T 25289 20 kV油浸式配电变压器技术参数和要求
- GB/T 25438 三相油浸式立体卷铁心配电变压器技术参数和要求
- GB/T 25446 油浸式非晶合金铁心配电变压器技术参数和要求
- GB/T 32825 三相干式立体卷铁心配电变压器技术参数和要求

- GB 50148 电气装置安装工程 电力变压器、油浸电抗器、互感器施工及验收规范
- GB 50150 电气装置安装工程 电气设备交接试验标准
- DL/T 272 220 kV~750 kV 油浸式电力变压器使用技术条件
- DL/T 572 电力变压器运行规程
- DL/T 573 电力变压器检修导则
- DL/T 574 变压器分接开关运行维修导则
- DL/T 985 配电变压器能效技术经济评价导则
- DL/T 1102 配电变压器运行规程
- JB/T 501 电力变压器试验导则
- JB/T 2426 发电厂和变电所自用三相变压器技术参数和要求
- JB/T 3837 变压器类产品型号编制方法
- JB/T 5345 变压器用蝶阀
- JB/T 5347 变压器用片式散热器
- JB/T 6302 变压器用油面温控器
- JB/T 6484 变压器用储油柜
- JB/T 7065 变压器用压力释放阀
- JB/T 7631 变压器用电子温控器
- JB/T 7633 变压器用螺旋板式强油水冷却器
- JB/T 8315 变压器用强迫油循环风冷却器
- JB/T 8316 变压器用强迫油循环水冷却器
- JB/T 8317 变压器冷却器用油流继电器
- JB/T 8318 变压器用成型绝缘件技术条件
- JB/T 8448.1 变压器类产品用密封制品技术条件 第1部分:橡胶密封制品
- JB/T 8450 变压器用绕组温控器
- JB/T 8971 干式变压器用横流式冷却风机
- JB/T 9642 变压器用风扇
- JB/T 9647 变压器用气体继电器
- JB/T 10088 6 kV~1 000 kV 级电力变压器声级
- JB/T 10112 变压器用油泵
- JB/T 10217 组合式变压器
- JB/T 10317 单相油浸式配电变压器技术参数和要求
- JB/T 10428 变压器用多功能保护装置
- JB/T 10430 变压器用速动油压继电器
- JB/T 10544 地下式变压器
- JB/T 10549 SF<sub>6</sub> 气体密度继电器和密度表 通用技术条件
- JB/T 10681 组合式变压器用油浸式负荷开关
- JB/T 10692 变压器用油位计
- JB/T 10778 三相油浸式调容变压器
- NB/T 42066 6 kV~35 kV 级干式铝绕组电力变压器技术参数和要求
- NB/T 42067 6 kV~35 kV 级油浸式铝绕组配电变压器技术参数和要求
- IEC 60076-15 电力变压器 第15部分:充气式电力变压器(Power transformers—Part 15: Gas-filled power transformers)

### 3 使用条件

#### 3.1 正常使用条件和特殊使用条件

油浸式电力变压器的正常使用条件和特殊使用条件按照 GB/T 1094.1 的规定,采用高温绝缘材料的液浸式变压器的正常使用条件和特殊使用条件按照 GB/Z 1094.14 的规定,干式电力变压器的正常使用条件和特殊使用条件按照 GB/T 1094.11 的规定,充气式电力变压器的正常使用条件和特殊使用条件按照 IEC 60076-15 的规定,地下式变压器的正常使用条件和特殊使用条件按照 JB/T 10544 的规定,组合式变压器的正常使用条件和特殊使用条件按照 JB/T 10217 的规定。

#### 3.2 其他特殊使用条件

如果有 3.1 之外的其他特殊使用条件,用户应与制造方协商并在合同中规定,如:

- a) 特殊的运行环境:
  - 1) 有害的烟或蒸汽、灰尘过多或带有腐蚀性、易爆的灰尘或气体的混合物、蒸汽、盐雾、过潮或滴水等;
  - 2) 异常振动、倾斜、碰撞、冲击;
  - 3) 室内或地下布置的通风要求;
  - 4) 年平均温度超出 25 °C 或低于 15 °C 时;
  - 5) 与大气进行热交换装置周围环境温度长期超出 40 °C;
  - 6) 低于 -25 °C 投运时;
  - 7) 高于 8 级的地震烈度。
- b) 特殊的运输条件:
  - 1) 运输外形尺寸的限制;
  - 2) 运输质量的限制;
  - 3) 运输方式或条件的限制。
- c) 特殊的安装位置和方式,以及空间限制:
  - 1) 高海拔地区;
  - 2) 地下变电站;
  - 3) 水下或地理;
  - 4) 冷却装置的特殊布置方式(如水平分体或上下分体);
  - 5) 限高、限宽或限长。
- d) 特殊的出线方式:
  - 1) 气体绝缘组合电器(GIS)、气体绝缘母线(GIB/GIL)、油浸式绝缘母线(OIB/OIL)或电缆终端出线方式;
  - 2) 具有低压大电流离相或共箱封闭母线。
- e) 特殊的运行条件:
  - 1) 冲击负载或周期性短时高过载;
  - 2) 不平衡的交流电压或交流系统的电压与实质正弦波有差异;
  - 3) 异常的谐波电流负载,如由整流逆变而引起的谐波问题;
  - 4) 多绕组变压器或自耦变压器的特定负载条件(如三侧满负荷、容量不同分配、绕组负载功率因数和绕组电压);
  - 5) 励磁电压超过额定电压的 110% 或额定电压与额定频率比值的 110%;
  - 6) 在绝缘设计中需要特殊考虑的异常电压或过电压情况;

- 7) 频繁的短路电流冲击;
- 8) 直流偏磁;
- 9) 重合闸。
- f) 特殊的维护问题:
  - 1) 特殊现场的检修条件;
  - 2) 特殊的结构要求;
  - 3) 特殊的寿命要求。

### 3.3 热带气候防护类型及使用环境条件

3.3.1 热带产品的气候防护类型是指产品使用在一定的热带气候区域时所采取的相应防护措施,以保证按该典型环境设计、制造的产品在运行中的可靠性。

3.3.2 热带产品的气候防护类型分为湿热型(TH)、干热型(TA)和干湿热合型(T)。

3.3.3 对于湿热带工业污秽较严重及沿海地区户外的产品,应考虑潮湿、污秽及盐雾的影响,其所使用的绝缘子和瓷套管应选用加强绝缘型或防污秽型产品,所有裸露紧固件应符合三防要求;由于湿热地区雷暴雨比较频繁,对产品结构应考虑加强防雷措施。

3.3.4 三种气候防护类型热带产品使用环境条件见表 1。

表 1 热带产品使用环境条件

环境参数		气候防护类型		
		湿热型 TH	干热型 TA	干湿热合型 T
 空气温度/°C	年最高	40	50 <sup>a</sup>	50 <sup>a</sup>
	年最低	-10	-10	-10
	年平均	25	30	30
	月平均最高(最热月)	35	45	45
	日平均	35	40	40
	最大日温差	—	30	30
相对湿度≥95%时的最高温度/°C		28	—	28
最低空气相对湿度/%		—	10	10
气压/kPa		90	90	90
最大太阳辐射强度/(W/m <sup>2</sup> )		1000	1 120	1 120
最大降雨强度/(mm/min)		6	—	6
地面沙土最高温度/°C		—	75	75
1 m 深土壤最高温度/°C		—	32	32
来自水库最高冷却水温度/°C		33	35	35
阳光直射下黑色物体表面最高温度/°C		80	90	90
最大风速/(m/s)		60	40	60
凝露		有	有 <sup>b</sup>	有
雷暴		频繁	—	频繁

表 1 (续)

环境参数	气候防护类型		
	湿热型 TH	干热型 TA	干湿热合型 T
沙土	—	有	有
霉菌	有	—	有
有害动物	有	有	有
<sup>a</sup> 当需要适用于年最高温度 55℃ 的产品时,由供需双方协商确定。 <sup>b</sup> 在订货时提出,作特殊考虑。			

## 4 选用变压器的一般原则

### 4.1 概述

选用变压器技术参数及性能要求时,应以变压器整体的可靠性为基础,综合考虑技术参数的先进性、合理性、经济性、环境友好性,结合负荷发展、安全要求、运行环境、运行方式、运行工况及损耗评价方式等,提出合理的技术经济指标和性能考核指标。同时还要考虑可能对系统安全运行、环保、运输、安装空间和运行维护等方面的影响。

### 4.2 变压器符合的标准和技术规范

在选用变压器时,应明确变压器应符合的标准(国家标准、行业标准、团体标准、企业标准、国际标准)编号和名称。如有其他要求,应在询价或招标文件中注明,并在合同中明确。

注:符合国家标准规定是最基本的要求。

### 4.3 变压器的类型

#### 4.3.1 一般分类

电力变压器按绕组材质可分为:铝绕组变压器和铜绕组变压器;按绝缘介质可分为:液浸式变压器、干式变压器和充气式变压器;按用途可分为:联络变压器、升压变压器、降压变压器、配电变压器、厂用变压器及站用变压器等;按绕组耦合方式可分为:独立绕组变压器和自耦变压器;按绕组数可分为:双绕组变压器、多绕组变压器;按相数可分为:三相变压器和单相变压器;按调压方式可分为:无调压变压器、无励磁调压变压器和有载调压变压器;按调容方式可分为:无励磁调容变压器、有载调容变压器和子母变压器调容;按冷却方式分为:自冷变压器、风冷变压器、强迫油循环风冷变压器、强迫油循环水冷变压器、强迫导向油循环风冷变压器和强迫导向油循环水冷变压器。

对应的产品型号见 JB/T 3837。

#### 4.3.2 主要分类

##### 4.3.2.1 液浸式变压器

液浸式变压器有矿物油浸渍式变压器和高燃点油(合成油及天然酯)浸渍式变压器。矿物油浸渍式变压器广泛用于各类场所,但应充分考虑安装场所的消防及安全需求。高燃点油由于其闪点及燃点高

于矿物油,其安全性能更高,因此高燃点油浸渍式变压器常用于安全要求相对较高的场所,或与建筑物消防间距不够的场所。

#### 4.3.2.2 干式变压器

干式变压器通常有环氧树脂浇注绝缘干式变压器和浸渍绝缘干式变压器。该变压器应符合 GB/T 1094.11 规定的燃烧等级要求,通常用于与大楼联合建造的户内变电站内或防水防潮性能良好的地下变电站内。

#### 4.3.2.3 充气式变压器

充气式变压器是以 SF<sub>6</sub> 或混合气体等不燃气体作为绝缘及冷却介质的变压器,其本体具有不爆不燃特点,通常用于消防及安全要求更高的场所。

### 4.4 额定容量

#### 4.4.1 概述

额定容量是指输入到变压器的视在功率值(包括变压器本身吸收的有功功率和无功功率)。选择容量时应按相应的标准(如 GB/T 6451、GB/T 10228、JB/T 2426、JB/T 10317、GB/T 22072 和 GB/T 25446 等),尽量采用 GB/T 321—2005 中的 R10 优先数系。

#### 4.4.2 升压变压器

升压变压器的额定容量一般根据发电机的额定功率及其功率因数确定。

#### 4.4.3 联络或降压变压器

联络或降压变压器参考 GB/T 1094.7 或 GB/T 1094.12 中的正常周期负载图所推荐的变压器在正常寿命损失下的负载条件及电网安全性,经济性地估算变压器的额定容量,同时还应考虑电网发展及负荷增长趋势。

#### 4.4.4 配电变压器

配电变压器应根据 GB/T 1094.7 或 GB/T 1094.12 及工程设计部门提供的用电设备安装容量(可为假设负荷)、运行容量及供电可靠性要求来确定其容量。

#### 4.4.5 单相变压器

由单相变压器组成的变压器组中,各单相变压器容量可取三相变压器容量的三分之一,取值尽可能靠到标准容量系列,且有效位数保留到个位 MVA(例如 167 MVA、334 MVA)。

#### 4.4.6 容量组合



##### 4.4.6.1 三绕组变压器

三绕组变压器的高、中、低压绕组容量的分配应按各侧绕组所带实际负荷进行分配,推荐按 GB/T 6451 的规定。但考虑变压器抗短路能力要求,低压绕组除仅作无功补偿外,其额定容量一般不能低于变压器额定容量的 50%。

##### 4.4.6.2 带稳定绕组变压器

稳定绕组额定容量一般不能低于变压器额定容量的 35%。

#### 4.4.6.3 调容变压器

对于通过高压绕组角星变换和低压绕组串并联转换的调容变压器,其大小额定容量约为 3 : 1 的关系。

对于通过高低压绕组串并联转换的调容变压器,其大小额定容量约为 4 : 1 的关系。

对于通过大小子母变压器实现额定容量改变时,其大小额定容量可任意组合。

### 4.5 额定电压

4.5.1 额定电压是指变压器线路端子之间指定施加的或空载时感应出的电压,额定电压一般不会高出该电压等级的最高运行电压。

4.5.2 联络或降压变压器的输入、输出端额定电压如下:

- a) 输入端电压为: 10 kV、20 kV、35 kV、66 kV、110 kV、220 kV、330 kV、500 kV、750 kV、1 000 kV;
- b) 输出端电压为: 0.4 kV、3.3 kV、6.3 kV、10.5 kV、21 kV、36 kV、69 kV、115 kV、230 kV、345 kV、515 kV。

4.5.3 升压变压器的输入、输出端额定电压通常如下:

- a) 输入端电压为: 0.69 kV、3.15 kV、6.3 kV、11 kV、13.5 kV、15.75 kV、18 kV、20 kV、24 kV、27 kV;
- b) 输出端电压为: 12 kV、40.5 kV、72.5 kV、121 kV、242 kV、363 kV、550 kV、800 kV、1 100 kV。

4.5.4 稳定绕组额定电压通常为 4.5.2 中的输出端电压。

4.5.5 如另有要求,则额定电压应由用户与制造方协商,并在合同中规定。

### 4.6 调压分接

#### 4.6.1 调压分接位置的选择

分接头一般按以下原则布置:

- a) 在高压绕组上而不是在中、低压绕组上,电压比大时更应如此;
- b) 在星形联结绕组上,而不是在三角形联结的绕组上(特殊情况下除外,如变压器为 Dy 联结组别时,可在 D 联结绕组上设分接头);
- c) 在中性点位置,而不是在绕组首端或中部(特殊要求除外)。

#### 4.6.2 调压方式的选用原则

一般原则如下:

- a) 无调压变压器一般用于发电机升压变压器和电压变化较小且另有其他调压手段的场所。
- b) 无励磁调压变压器一般用于电压波动范围较小,且电压变化较少的场所。
- c) 有载调压变压器一般用于电压波动范围较大,且电压变化比较频繁的场所。
- d) 在满足使用要求的前提下,能用无调压的尽量不用调压;能用无励磁调压的尽量不用有载调压;分接开关应尽量减少分接数目,无励磁分接开关可根据电压变动范围只设最大、最小和额定分接。
- e) 自耦变压器采用公共绕组中性点侧调压者,应验算第三绕组电压波动不致超出允许值。在调压范围大、第三绕组电压不准许波动范围大时,推荐采用中压侧线端调压。如果需要,则可以采用低压补偿方式,补偿低压绕组电压。
- f) 并联运行时,调压绕组分接区域及调压方式应相同。

### 4.6.3 分接范围

#### 4.6.3.1 概述

应按实际需求选择分接范围,一般按 GB/T 6451、GB/T 10228、JB/T 2426、GB/T 22072、JB/T 10317 和 GB/T 25446 等标准选择。

#### 4.6.3.2 无励磁调压分接范围

无励磁调压分接范围推荐为: $\pm 5\%$ 或 $\pm 2 \times 2.5\%$ 。在保证分接范围不变的情况下,正、负分接挡位可以改变,如 $\begin{matrix} +1 \times 2.5\% & +3 \times 2.5\% \\ -3 \times 2.5\% & -1 \times 2.5\% \end{matrix}$ 。

#### 4.6.3.3 有载调压分接范围

有载调压分接范围如下:

- a) 对电压等级为 10 kV 及以下变压器,其分接范围推荐为 $\pm 2 \times 2.5\%$ ,并且在保证分接范围不变的情况下,正、负分接挡位可以改变,如 $\begin{matrix} +1 \times 2.5\% \\ -3 \times 2.5\% \end{matrix}$ ;
- b) 对电压等级为 20 kV、35 kV 级变压器,其分接范围推荐为 $\pm 3 \times 2.5\%$ ,并且在保证分接范围不变的情况下,正、负分接挡位可以改变,如 $\begin{matrix} +2 \times 2.5\% \\ -4 \times 2.5\% \end{matrix}$ ;
- c) 对电压等级为 66 kV 及以上变压器,其有载调压范围为 $\pm 6 \times 1.25\%$ 或 $\pm 8 \times 1.25\%$ ,正、负分接挡位可以改变。

### 4.7 绝缘水平

绝缘水平与绝缘配合有关,但应满足运行中各种过电压与长期最高工作电压作用的要求。液浸式和充气式电力变压器的绝缘水平按 GB/T 1094.3 的规定,但当变压器与 GIS 联接时,应考虑 GIS 中的开关操作产生快速瞬变过电压(VFTO)对变压器绕组绝缘的影响。干式电力变压器绝缘水平按 GB/T 1094.11 的规定,但当架空线或架空线与电缆混合进出线时,其绝缘水平应按 GB/T 1094.3 的规定。对空气潮湿运行场所可适当提高对地绝缘水平,对全电缆进出线的地下变电站的电力变压器绝缘水平宜提高 10%。

### 4.8 损耗

变压器损耗值应遵守国家节能减排有关法规,并考虑产品性价比和制造水平,可按 GB/T 13462 提出相应的要求。当年平均负载率低于 50%时,变压器的损耗应符合 GB/T 6451、GB/T 10228、GB/T 22072、GB/T 25289、GB/T 25446、GB/T 25438、GB/T 32825、JB/T 2426、JB/T 10317、NB/T 42066、NB/T 42067 和 JB/T 3837 等标准的规定;当年平均负载率大于或等于 50%时,宜在上述标准基础上适当降低负载损耗。

### 4.9 短路阻抗

根据运行需要对短路阻抗值提出特殊要求,一般可按 GB/T 6451、GB/T 10228、JB/T 2426、JB/T 10317、GB/T 22072 和 GB/T 25446 等标准提出相应的要求,当所产生的最大短路电流超出开关开断能力时,还需作相应调整。

对于高阻抗变压器,可通过油箱内设置电抗器来实现。

对于三绕组变压器,改变其中一对绕组间的阻抗,将可能影响其他绕组对的阻抗值。

#### 4.10 温升限值

GB/T 1094.2 和 GB/T 1094.11 所规定的变压器温升限值是基于年平均温度 20 °C 时的值,因此可结合实际运行环境的年平均温度作适当调整,通常年平均温度高于 25 °C 或低于 15 °C 时,其温升限值可减去或加上相应差值,详见 GB/T 1094.2 和 GB/T 1094.11。

#### 4.11 三相系统变压器绕组联结方法

##### 4.11.1 概述

一台三相变压器或拟结成三相的单相变压器组,其绕组的联结方法应根据该变压器是否与其他变压器并联运行、中性点是否引出和中性点的接地方式要求来选择。

联结方法对变压器的设计和所需材料的用量有影响。在某些情况下选择联结方法时,还需考虑铁心的结构型式和气象条件。如某些地区特殊结法:10 kV 与 110 kV 输电系统电压相量差 60° 的电气角,此时可采用 110/35/10 kV 电压比与 Yd11y10 结法的三相三绕组电力变压器;多雷地区可选 Dy 或 Yz。

尽量不选用全星形结法的变压器,如必须选用,则应考虑设立单独的三角形结线的稳定绕组。其绝缘水平还应考虑其他绕组的传递过电压。

##### 4.11.2 联结特点

三种绕组联结方法的主要特点见表 2。

表 2 三种绕组联结方法的主要特点

特征量	星形联结		三角形联结	曲折形联结
中性点的负载能力	与其他绕组的联结方法和变压器所连接系统的零序阻抗有关			可带绕组额定电流的负载
励磁电流	三次整数倍谐波电流不能通过(中性点绝缘,无三角形联结的绕组)	三次谐波电流至少能在变压器的一个绕组中通过(中性点引出的接地系统)	三次谐波电流能在三角形联结绕组中通过	—
相电压	含有三次谐波电压 <sup>a</sup>	正弦波	正弦波	—
<sup>a</sup> 在三相三柱心式变压器中,三次谐波电压值不大,但在三相五柱心式变压器、三相壳式变压器和联结成三相组的单相变压器中,三次谐波电压可能较高,以致中性点出现相应的漂移。				

##### 4.11.3 联结方法

绕组联结方法的选择按 GB/T 6451、GB/T 10228、JB/T 2426、JB/T 10317、GB/T 22072 和 GB/T 25446 等标准的规定,其常用的联结组参见附录 A。

#### 4.12 冷却方式

##### 4.12.1 油浸式电力变压器冷却方式的选择

在满足温升限值的情况下,冷却方式优先采用自冷或风冷。具体如下:

- a) 油浸自冷(ONAN):180 MVA 及以下产品;
- b) 油浸风冷(ONAF):240 MVA 及以下产品;

- c) 强迫油循环风冷(OFAF)或强迫导向油循环风冷(ODAF):240 MVA 以上产品;
- d) 强迫油循环水冷(OFWF)或强迫导向油循环水冷(ODWF):一般水电厂或地下变电站的变压器采用。

冷却装置的布置形式有两种:一种为冷却装置固定在变压器油箱上;另一种为冷却装置就近集中固定在支架上,通过导油管与变压器油箱连接,也可远距离(分室)水平或上下移位布置。选用时用户应向制造方提出冷却装置安装方式,并在合同中注明。

选用强迫油循环风冷却器或强迫导向油循环风冷却器时,在油泵与风扇失去供电电源的情况下,变压器不能长时间运行,即使空载也不能长时间运行。因此,应选择两个独立电源供冷却装置使用。当选用强迫油循环风冷片式散热器时,也应选择两个独立电源供冷却装置使用。

冷却装置优先采用片式散热器。当选用风冷片式散热器时,变压器自冷容量的要求按 DL/T 272 的规定。

当选用水冷方式时,进出口的油温和水温按 GB/T 6451 的规定。

油浸式电力变压器冷却方式的标志按 GB/T 1094.2 的规定。

#### 4.12.2 干式电力变压器冷却方式的选择

标准规定的干式电力变压器冷却方式为空气自冷,其额定容量应为空气自冷下的容量。如有特殊需求或用户要求,干式电力变压器也可加装风机,并在合同中事先注明。

干式电力变压器冷却方式的标志按 GB/T 1094.11 的规定。

#### 4.12.3 充气式电力变压器冷却方式的选择

充气式变压器冷却方式的选择如下:

- a) 充气全自冷(GNAN):20 MVA 及以下产品;
  - b) 强迫导向充气循环风冷(GDAF)或(GDAN):20 MVA 以上产品;
  - c) 强迫导向充气循环水冷(GDWF):特殊场合或大容量。
- 充气式电力变压器冷却方式的标志按 IEC 60076-15 的规定。

#### 4.12.4 冷却器的控制箱

合理选择控制策略,宜具有如下智能控制功能:

- a) 在变压器寿命周期内各台冷却器的运行寿命近似相等;
- b) 冷却器的冷却效率低于 85%时应报警;
- c) 双路动力电源应能相互自动切换;
- d) 风机和油泵的运行状态异常报警;
- e) 各冷却器或油泵的延时调节功能。

### 4.13 变压器绝缘冷却液及保护系统

#### 4.13.1 矿物油

变压器制造方一般按例行试验时所注入的某种牌号的油供给用户。用户对变压器油另有要求时,应在订货合同中规定。对矿物油的要求如下:

- a) 根据变压器安装地点的环境平均最低温度合理选择油的牌号;
- b) 新油或再生油;
- c) 备用油量;

- d) 抗氧化能力；
- e) 提出合理的油性性能要求(一般按 GB/T 7595)。

#### 4.13.2 高燃点油(燃点不低于 300 ℃)

对高燃点油的要求如下：

- a) 对消防安全性能要求较高场所,可选用合成油；
- b) 对环保及消防安全性能要求较高场所,可选用天然酯(但在低于凝固点的寒冷地区不宜使用)。

#### 4.13.3 油保护系统

绝缘冷却液不应应对导电回路内的铜、铝和银等金属材料、绝缘材料、结构材料、密封材料产生腐蚀,以免影响安全运行。在选用变压器时,用户应提出对油保护系统的要求,并在订货合同中规定。常用的油保护系统有：

- a) 采用波纹油箱或机械弹性散热器,这种系统可自行补偿油的体积膨胀,可不装设储油柜,一般适用于小容量的变压器；
- b) 装有胶囊、隔膜或金属波纹结构的储油柜,其能使油与空气隔开,实现全密封,但其容积应能满足最高油温和最低环境温度下的变化；
- c) 对全密封结构的变压器一般不配置净油器,如需配置,则应在询价或招标文件中注明；
- d) 天然酯绝缘油变压器的油保护系统应采用全密封结构,带气隙结构不应采用空气。

#### 4.13.4 铭牌标注

交货时,绝缘冷却液应在铭牌上予以注明(新油牌号或再生油)。

#### 4.13.5 不同绝缘冷却液混合使用原则

不同绝缘冷却液混合使用时应遵照以下原则：

- a) 不同牌号矿物油不宜混合使用,如需混合使用的油,则其质量均需符合 GB/T 7595 的规定,并应预先进行混合油样的氧化安定性试验,无沉淀物方可混合使用；
- b) 新矿物油或相当于新矿物油质量的同一油基不同牌号油混合使用时,应按混合油的实测倾点决定其是否可用,不能仅按化学和电气性能合格就混合使用；
- c) 不同原料来源的合成油、合成酯、天然酯绝缘油不应混合使用。

如果用户需用自己采购的绝缘冷却液注入变压器时,则应在订货合同中规定。为了确保变压器运行的可靠性,用户与制造方应就有关要求达成一致。

#### 4.14 变压器的技术参数和制造成本

选用变压器时,技术参数由运行条件所决定。一些技术参数,如:负载损耗、短路阻抗、空载损耗、空载电流、冷却方式、调压方式等,参照 GB/T 6451、GB/T 10228、GB/T 22072、GB/T 23755、GB/T 25289、GB/T 25438、GB/T 25446、GB/T 32825、JB/T 2426、JB/T 3837、JB/T 10317、NB/T 42066 和 NB/T 42067 等标准执行。这些参数不仅与变压器的安全运行和经济运行有关,而且也直接影响其制造成本。为了降低变压器的能耗,或从环保及安全运行角度提出高于标准规定的参数或特殊要求时(如损耗水平、声级水平、油箱机械强度、绝缘水平或高海拔等),应考虑变压器制造成本的增加。有关信息参见附录 B,有关技术经济评价方法见第 14 章。

## 5 技术要求

### 5.1 一般技术要求

油浸式电力变压器一般技术要求应符合 GB/T 1094.1、GB/T 6451、GB/T 23755、GB/T 25289、GB/T 25438、GB/T 25446、DL/T 272、JB/T 2426、JB/T 10317 和 NB/T 42067 等标准的规定；干式电力变压器一般技术要求应符合 GB/T 1094.11、GB/T 10228、GB/T 22072、GB/T 32825、JB/T 2426 和 NB/T 42066 等标准的规定；充气式电力变压器一般技术要求应符合 IEC 60076-15 的规定；地下式变压器应符合 JB/T 10544 的规定；组合式变压器应符合 JB/T 10217 的规定。

### 5.2 特殊技术要求

如有除 5.1 之外的特殊技术要求，则应由用户与制造方协商并在合同中规定。

## 6 变压器并联运行

### 6.1 并联运行的条件

并联运行的条件如下：

- a) 联结组标号应一致，如不一致则可参考附录 C 的要求进行联结；
- b) 电压和电压比要相同，允许偏差也要相同（尽量满足电压比在允许偏差范围内），调压范围与每级电压也要相同；
- c) 频率相同；
- d) 短路阻抗相同，尽量控制在允许偏差范围±10%以内，还应注意极限正分接位置短路阻抗与极限负分接位置短路阻抗要分别相同；
- e) 容量比在 0.5~3 之间。

### 6.2 并联运行后产生的问题

并联运行后产生的问题如下：

- a) 多绕组变压器并联后的等效阻抗变小，对变压器承受短路能力不利；
- b) 短路电流可能超出断路器的开断电流能力要求；
- c) 不同阻抗、不同变比的变压器并联后会产生环流。

### 6.3 并联运行要求

并联运行要求如下：

- a) 220 kV 及以上的变压器承受短路的能力应符合 DL/T 272 的规定；
- b) 110 kV 及以下的变压器应在合同中明确。

## 7 变压器的声级

### 7.1 概述

当对变压器声级水平要求严于 JB/T 10088、GB/T 22072 和 GB/T 25446 的规定时，应在询价或招标时提出。

## 7.2 环境保护对噪声的判断

按 GB 3096 和 GB 12348 的规定,间接判断变压器噪声是否符合环境保护的要求。随着噪声的降低,变压器的制造成本也将有所增加。

## 7.3 声级测定

变压器的声级测定方法按 GB/T 1094.10 的规定。如有对过励磁或谐波下的声级测定要求,则应在询价及合同中明确对声级的具体要求。

## 8 变压器承受短路的能力

### 8.1 概述

变压器承受短路的能力应符合 GB/T 1094.5 的要求。根据该标准验证变压器承受短路的能力通常有试验验证、设计验证和理论评估三种方法。如有并联运行要求,则应在合同或协议中予以明确。

### 8.2 试验验证

8.2.1 按 GB/T 1094.5 规定的试验电流,按 GB/T 1094.5 和 DL/T 272 规定的试验方法进行试验,试验结果应符合 GB/T 1094.5 和 DL/T 272 的规定。如要进行该项试验考核,则应在合同或协议中予以明确。

8.2.2 对批量采购的配电变压器采用抽取一台或两台进行短路承受能力试验,是一种最快捷、经济、实效的方法。

8.2.3 对高低压均为层式绕组的变压器,应在温升试验合格后进行短路承受能力试验。

8.2.4 对高低压均为饼式绕组的变压器,短路承受能力试验后还应进行温升试验,温升试验也应合格。

8.2.5 对层式和饼式绕组并存的变压器,短路承受能力试验前后均应进行温升试验,其结果均应合格。

### 8.3 设计验证

8.3.1 设计验证是检查在规定的短路电流条件下,变压器所出现的最大临界机械力和应力的数值,并将这些数值与一台或两台短路承受能力试验合格的类似变压器对应进行比较,其值均应在合格的类似变压器允许范围内。详见 GB/T 1094.5—2008 的附录 A。

8.3.2 被设计验证的变压器应与短路承受能力试验合格的变压器或模型具有较大的类似性,类似变压器可以是产品,也可以是模型,但其选用的材料、结构、工艺、设计应相同,且被设计验证的变压器额定容量应在类似变压器额定容量的 30%~130% 范围内,详见 GB/T 1094.5—2008 的附录 A。

8.3.3 该方法适用于电力变压器的短路性能验证,尤其是试验验证较为困难的大型变压器。

### 8.4 理论评估

8.4.1 理论评估是基于变压器机械强度的设计计算评审。为此,需要提供较为详尽的变压器电磁计算、材料机械特性、制造经验和工艺规程等技术资料。

8.4.2 理论评估是对试验验证和设计验证的一种补充,是一种最为经济的考核验收方法。

8.4.3 理论评估适用于电力变压器。

## 9 变压器热老化率与寿命



在外部冷却空气为 20 ℃,变压器以额定电流持续运行,以某种温度等级的绝缘材料发生热老化而

损坏时,规定配电变压器的寿命一般为 20 年,而电力变压器的寿命一般为 30 年。

对于符合 GB/T 1094 系列标准设计的油浸式电力变压器,在绕组热点温度为 98 °C 下相对热老化率为 1,此热点温度与“在环境温度为 20 °C 和绕组热点温升为 78 K 下运行”相对应。

对于干式电力变压器,其环境温度也为 20 °C,而热点温度限值取决于绝缘材料的温度等级,其温度限值按 GB/T 1094.12 的规定。

液浸式变压器和干式变压器的寿命损失计算可分别参考 GB/T 1094.7 和 GB/T 1094.12。

## 10 变压器非电量保护

### 10.1 油浸式变压器

#### 10.1.1 气体继电器

##### 10.1.1.1 概述

气体继电器的配置原则应符合 GB/T 6451 的规定。

##### 10.1.1.2 油流速动和下浮子动作保护(重瓦斯)

10.1.1.2.1 当变压器内部发生故障时,油体积迅速膨胀,油流带动气体继电器挡板偏转,引起油流速动保护动作,快速切断变压器上级保护的开关,以免事故进一步扩大。挡板式不随油面下降而动作,而是在油的流速达到整定值时才动作。

片式散热器结构的变压器油流速动整定值如下:

- a) 非强油循环变压器宜为 0.8 m/s;
- b) 强油循环变压器宜为 1 m/s,多台循环油泵不能同时开启,各台应延时 30 s 以上逐台开启。

强油循环冷却器结构的变压器油流速动整定值如下:

- a) 120 MVA 及以下变压器宜为 1 m/s~1.2 m/s;
- b) 120 MVA 以上变压器宜为 1.3 m/s,多台循环油泵不能同时开启,各台应延时 30 s 以上逐台开启。

10.1.1.2.2 双浮子气体继电器的油流速动既有挡板式功能,又有浮子式功能,当油面下降到一定程度后,下浮子带动重瓦斯动作。

10.1.1.2.3 油流速动(重瓦斯)保护接点应接投跳回路。

10.1.1.2.4 具有片式散热器结构的三相组合式电力变压器的每个单元上方应配置挡板式气体继电器或双浮子气体继电器。

10.1.1.2.5 500 kV 及以上电力变压器的升高座上可配置双浮子气体继电器,下浮子信号可接投跳回路。

##### 10.1.1.3 气体保护(轻瓦斯)

10.1.1.3.1 当变压器出现窝气、进气或内部故障时,出现的气体将聚集在气体继电器的上部,当聚集到一定容积后,触发接点接通,发出信号。

10.1.1.3.2 气体保护应能及时反映变压器内部故障。为此,110 kV 及以上产品可进行集气试验,具体试验方法由用户与制造方协商确定。

10.1.1.3.3 变压器的气体保护接点应接信号回路。

10.1.1.3.4 具有片散热器结构的三相组合式电力变压器的每个单元上方应配置气体继电器。

10.1.1.3.5 排油注氮变压器应选用双浮子气体继电器。

10.1.1.3.6 750 kV 及以上电力变压器的升高座上可配置双球气体继电器,上浮子信号可接报警回路。

### 10.1.2 温度

10.1.2.1 变压器应通过对顶层油或绕组的温度检测来实现过温保护。

10.1.2.2 顶层油温的测温布点应具有代表性,应能反映变压器顶层油的平均温度,布点数的设置应符合 GB/T 1094.2 和 GB/T 6451 的规定。

10.1.2.3 绕组热点温度可依据 GB/T 1094.2—2013 的附录 C 和附录 D,通过间接计算得到。也可依据 GB/T 1094.2—2013 的附录 E,采用光纤测温传感器进行实测。

10.1.2.4 温度应能就近显示和远方监控。

10.1.2.5 顶层油温的报警温度可参考如下:

- a) 强迫油循环风冷:85 ℃;
- b) 自然风冷:90 ℃;
- c) 全自冷:95 ℃。

10.1.2.6 顶层油温如有跳闸要求时为 105 ℃。

### 10.1.3 压力

10.1.3.1 当变压器内部发生故障后,内部产生的压力应能及时得到释放,以免事故扩大。

10.1.3.2 压力保护装置的配置应符合 GB/T 6451 的规定。

10.1.3.3 当变压器额定容量大于 100 MVA 时可配置突发压力继电器。

### 10.1.4 油位

100 MVA 及以上电力变压器在运行过程中应能实现油位检视及过低或过高油位保护,其保护接点应接报警回路。

## 10.2 干式变压器

绝缘系统耐热等级为 155 级(F)的干式变压器的报警和跳闸温度可参考如下:

- a) 报警 130 ℃;
- b) 跳闸 150 ℃。

绝缘系统耐热等级为 180 级(H)的干式变压器的报警和跳闸温度可参考如下:

- a) 报警 150 ℃;
- b) 跳闸 170 ℃。

## 10.3 充气式变压器

10.3.1 气体密度计的报警和跳闸压力可参考如下:

- a) 低压报警 0.12 MPa,高压报警 0.19 MPa;
- b) 低压跳闸 0.1 MPa。

10.3.2 气温的报警和跳闸温度可参考如下:

- a) 报警 85 ℃;
- b) 跳闸 95 ℃。

10.3.3 绕组的报警和跳闸温度可参考如下:

- a) 报警 120 ℃;
- b) 跳闸 130 ℃。

10.3.4 突发压力继电器:跳闸信号的整定值由制造方确定。

## 10.4 有载分接开关

### 10.4.1 油中灭弧型有载分接开关

油中灭弧型有载分接开关要求如下：

- a) 不宜采用气体继电器,应配有油流速动继电器或突发压力继电器,其接点应接跳闸回路。
- b) 应配有防爆膜,也可同时配有压力释放阀。动作整定值应与油流保护定值或突发压力继电器相配合,由制造方确定;当同时配置压力释放阀和防爆膜时,应保证压力释放阀动作定值小于防爆膜动作定值,且防爆膜口径应不小于压力释放阀释放口径。
- c) 油流速动或突发压力整定值由制造方确定。
- d) 用户根据需要也可配置油位计,用于油位监视及过低或过高油位保护,其保护接点应接报警回路。

### 10.4.2 真空型有载分接开关

真空型有载分接开关要求如下：

- a) 可采用带有油流速动和气体报警(轻重瓦斯接点)的气体继电器,其气体(轻瓦斯)接点应接报警回路,油流速动(重瓦斯)接点应接跳闸回路;
- b) 应配置压力释放装置,但不宜采用压力释放阀;当同时配置压力释放阀和防爆膜时,应保证压力释放阀动作定值小于防爆膜动作定值,且防爆膜口径应不小于压力释放阀释放口径;其动作整定值应与油流保护定值或突发压力继电器相配合,由制造方确定;
- c) 油流速动整定值宜采用 1.0 m/s 及以上;
- d) 用户根据需要也可配置油位计,用于油位监视及过低或过高油位保护,其保护接点应接报警回路。

### 10.4.3 充气式有载分接开关

充气式有载分接开关要求如下：

- a) 应采用压力突发继电器,其接点应接跳闸回路;
- b) 应采用气体密度继电器,其压力整定值为 0.025 MPa,低压报警值为 0.01 MPa,高压报警值为 0.05 MPa,其接点应接报警回路。

## 11 变压器主材

### 11.1 铁心材料

#### 11.1.1 冷轧取向电工钢带

冷轧取向电工钢带是目前电力变压器中通常采用的材料。

#### 11.1.2 非晶合金带材

非晶合金带材具有单位励磁功率及单位损耗小等优点,但带材规格较少,铁心柱截面通常为矩形结构;带材很薄且较脆,制造过程或受力时易产生碎片;带材磁滞伸缩较大,噪声较高。

### 11.2 绝缘材料

#### 11.2.1 制作油浸式变压器的固体绝缘材料通常有：

- a) 电缆纸:常用于匝间及层间绝缘;
- b) 皱纹纸:常用于静电环及引线包扎;

- c) 点胶纸:常用于配电变压器层间绝缘,并具有固定线匝作用;
- d) 纸板:常用于绝缘筒、垫块、撑条、围屏及铁心绝缘;
- e) 层压木板:常用于引线支架、托板及压板;
- f) 层压纸板:常用于 330 kV 及以上变压器的引线支架、托板及压板;
- g) 电工木:常用于低电压等级的引线支架。

#### 11.2.2 制作干式变压器的绝缘材料通常有:

- a) 环氧树脂及固化剂:用于固化绕组;
- b) 聚酯薄膜:常用于匝间绝缘及绝缘筒;
- c) 聚酰亚胺膜:常用于匝间绝缘;
- d) 预浸布:常用于层间绝缘;
- e) 玻璃纤维网格布:常用于线圈内外加强或层间绝缘;
- f) 无碱玻璃纤维布:常用于层间绝缘;
- g) 无碱玻璃纤维带:常用于固定线匝或匝间绝缘;
- h) 层压玻璃布板:常用于铁心绝缘;
- i) 铁心绝缘漆:常用于铁心表面防锈;
- j) 无溶剂快干绝缘漆:常用于非包封线圈浸渍漆;
- k) 芳香族聚酰胺纸:常用于匝间绝缘或层间绝缘;
- l) 不饱和聚酯玻璃纤维增强片状模塑料(SMC):常用于非包封高压线圈垫块。

#### 11.2.3 制作充气式变压器的绝缘材料通常有:

- a) 纸板:常用于绕组绝缘筒、挡气隔板、围屏及器身撑条;
- b) 聚酯薄膜:常用于匝绝缘及引线绝缘;
- c) 尼龙:常用于绕组绝缘垫块;
- d) 玻璃纤维拉拔制品:常用于线圈撑条;
- e) 层压木板:常用于引线支架、托板及压板。

#### 11.2.4 制作高温绝缘材料的液浸式变压器的绝缘材料通常有:

- a) E 级的纤维素基热改性纸:常用于匝间或层间绝缘;
- b) N 级或 R 级的芳香聚酰胺漆:常用于匝间绝缘;
- c) R 级的芳香族聚酰胺纸:常用于匝间或层间绝缘;
- d) B 级的芳香聚酰胺增强纤维素纸:常用于匝间或层间绝缘。

### 11.3 绕组及引线线材

变压器线材的材质通常有铜和铝两种。

变压器线材主要有:

- a) 箔材:常用于箔式绕组;
- b) 漆包线:漆包圆线常用于配电变压器高压绕组,漆包扁线常用于电力变压器或大容量干式变压器绕组;
- c) 纸包线:常用于液浸式变压器绕组;
- d) 组合线:常用于大电流 4 根及以下并绕的绕组;
- e) 换位线:常用于大电流多根并绕的绕组;
- f) 排材或管材:常用于低压引线;
- g) 多股绞线:常用于高中压引线。

### 11.4 绝缘介质

变压器的绝缘介质主要有:



- a) 矿物油:常用于油浸式变压器的绝缘和冷却;
- b) 高燃点油(天然酯、合成酯、合成油等):常用于燃烧性能等级较高变压器的绝缘和冷却;
- c) 气体(SF<sub>6</sub>、混合气体等):常用于充气式变压器的绝缘和冷却。

## 12 变压器组件、部件

### 12.1 分接开关

分接开关应符合 GB/T 10230.1 的要求,分接开关的选用应符合 GB/T 10230.2 的要求。充气式有载分接开关应采用真空灭弧结构,同时应符合相关产品技术条件的要求。

### 12.2 冷却装置

12.2.1 变压器用片式散热器应符合 JB/T 5347 的要求。选用片式散热器结构的变压器,一般不宜配置油泵。

12.2.2 变压器用风冷却器应符合 JB/T 8315 的要求。

12.2.3 变压器用水冷却器应符合 JB/T 8316 和 JB/T 7633 的要求。

12.2.4 变压器用风扇应符合 JB/T 9642 的要求。

12.2.5 干式变压器用风机应符合 JB/T 8971 的要求。

### 12.3 油泵

变压器用油泵应符合 JB/T 10112 的要求。

### 12.4 油位计

变压器用油位计应符合 JB/T 10692 的要求。

### 12.5 封闭母线

选用封闭母线时,用户应向变压器制造方提供固定法兰尺寸、封闭母线相间中心距等数据及封闭母线的工作温度、连接方式等。封闭母线应符合 GB/T 8349 的要求。

### 12.6 压力释放阀

变压器用压力释放阀应符合 JB/T 7065 的要求。

### 12.7 气体继电器

变压器用气体继电器应符合 JB/T 9647 的要求。采用排油注氮灭火装置的变压器宜选用双浮子气体继电器。

### 12.8 油流继电器

变压器冷却器用油流继电器应符合 JB/T 8317 的要求。采用强迫油循环冷却器结构的变压器应配置油流继电器,油流继电器应与油泵相匹配。

### 12.9 速动油压继电器

变压器用速动油压继电器应符合 JB/T 10430 的要求。

### 12.10 多功能保护装置

变压器用多功能保护装置应符合 JB/T 10428 的要求。

### 12.11 储油柜

变压器用储油柜应符合 JB/T 6484 的要求。储油柜应具有足够大的容积,保证在最低环境温度下显示不报警的最低油位,在最高油温下显示不报警的最高油位,在最高环境温度下的允许过负荷时应不喷油。

### 12.12 温控器

12.12.1 变压器用油面温控器应符合 JB/T 6302 的要求。

12.12.2 变压器用电子温控器应符合 JB/T 7631 的要求。

12.12.3 变压器用绕组温控器应符合 JB/T 8450 的要求。

### 12.13 净油器

对全密封结构的变压器一般不配置净油器,如需配置则应符合产品技术条件的要求。

### 12.14 套管

12.14.1 套管应符合 GB/T 4109 的要求。

12.14.2 如果纯油套管能满足要求,则尽量不用电容套管。

12.14.3 对抗震要求较高的场所宜采用干式套管。

12.14.4 对 GIS 或 OIL 联结的套管应采用干式套管。

12.14.5 对散热器高位布置的变压器宜选用干式套管。

12.14.6 当需要对电容套管末屏进行在线监测时,宜在末屏前增加的用于测量的次末屏上实施。

12.14.7 选用封闭母线时,套管额定电流应按封闭母线内最高运行温度进行修正。

12.14.8 当全密封配电变压器油箱顶部留有气隙时,高压套管的下瓷套部分应确保在最低环境温度下浸入绝缘液内。

### 12.15 套管式电流互感器

套管式电流互感器分为测量用和保护用两种。选用时应提出相应的额定值,包括额定一次电流、额定二次电流、额定变比、额定准确级、额定输出等。除非用户与制造方另有协议规定,额定值应符合 GB/T 20840.2 的规定。

套管式电流互感器的选用原则参见附录 D。

### 12.16 蝶阀

变压器用蝶阀应符合 JB/T 5345 的要求。

### 12.17 成型绝缘件

变压器用成型绝缘件应符合 JB/T 8318 的要求。

### 12.18 密封制品

变压器用密封制品应符合 JB/T 8448.1 的要求。

### 12.19 负荷开关

组合式变压器用负荷开关应符合 JB/T 10681 的要求。



#### 12.20 熔断器

组合式变压器及地理变压器用熔断器应符合 GB/T 15166.2 的要求。

#### 12.21 气体密度计

气体密度计应符合 JB/T 10549 或产品技术条件的要求。

#### 12.22 气泵

气泵应符合产品技术条件的要求。

#### 12.23 盆式绝缘子

盆式绝缘子应符合产品技术条件的要求。

#### 12.24 其他组件、部件

变压器用的其他组件、部件的选用应符合相应标准或技术条件的要求。

### 13 变压器运维检修

#### 13.1 影响变压器运行寿命的因素

变压器在运行中由于各组件、部件的寿命周期不均等,以及材料的自然老化和运行老化,因此需进行检修才能保证预期的运行寿命。影响变压器运行寿命的因素有:

- a) 各类检测元件及表计等易损件需定期更换;
- b) 各类非电量保护装置需定期校验;
- c) 循环油泵轴承累计运行时间超过 10 年需更换;
- d) 有载分接开关需定期检修;
- e) 密封制品及胶囊隔膜的运行寿命通常低于变压器运行寿命,需定期更换;
- f) 绝缘垫块由于自然收缩现象及变压器的短路承受能力持续下降,另外各紧固件也有存在松动的可能,因此 20 年后需重新紧固;
- g) 当变压器内部发生故障时,需检修处理;
- h) 变压器表面的防腐需重新处理等。

#### 13.2 运行

##### 13.2.1 油浸式变压器

油浸式变压器不应在油温低于 $-25^{\circ}\text{C}$ 下投运。

##### 13.2.2 干式变压器

干式变压器不宜长期开风机运行,也不宜在低温下频繁高负荷投切。

##### 13.2.3 非晶合金铁心变压器

非晶合金铁心变压器不宜频繁投切。

##### 13.2.4 充气式变压器

充气式变压器不应在低于气体液化温度下投运。

### 13.3 运行维护

配电变压器的运行维护应符合 DL/T 1102 的规定,电力变压器的运行维护应符合 DL/T 572 的规定,有载分接开关的运行维护应符合 DL/T 574 的规定。

### 13.4 检修

变压器的检修应符合 DL/T 573 的规定。

### 13.5 状态检测

13.5.1 对于 10 MVA 及以上的变压器,其铁心与夹件应分别引出接地。

13.5.2 对于高压有独立出线筒或 500 kV 及以上升高座处应设置取油样口,宜引出并与本体油样管并接后进入油色谱在线装置,实现检测。

13.5.3 不宜在套管末屏上安装在线检测装置,宜在次末屏上实施。

13.5.4 如还需设置其他检测接口,则应在合同中明确。

### 13.6 检修策略

#### 13.6.1 概述

变压器检修策略通常有事故检修、状态检修和定期检修。变压器检修策略如有特殊要求时,则应在招标询价中提出,并在合同中予以明确。

#### 13.6.2 事故检修

选用事故检修策略的变压器,通常为预计 20 年设计寿命的配电变压器,否则事前应明确。通过大修也能延长配电变压器运行寿命。

#### 13.6.3 状态检修

选用状态检修策略的变压器,通常为 110(66)kV 及以上的电力变压器。但当运行时间超过 20 年时应进行大修。

#### 13.6.4 定期检修

当变压器存在技术上及同一性质三次及以上重复发生的家族性问题时,应进行定期检修。

## 14 变压器选型

### 14.1 配电变压器

#### 14.1.1 总则

联结组标号为 Yyn0 的配电变压器不应采用四框五柱结构铁心,否则应与三相联动熔断器配合应用。

#### 14.1.2 油浸式变压器

##### 14.1.2.1 概述

油浸式变压器是目前应用最广泛、能耗相对较低和性价比相对较高的一种变压器,其产品主要依据

标准为 GB/T 6451。

#### 14.1.2.2 油浸式全密封变压器

无储油柜的全密封变压器,由于存在运行负压问题,不宜在雨水丰富和温差变化较大的户外安装场所使用,尤其是云南、贵州等高海拔地区。其产品主要依据标准为 GB/T 6451。

#### 14.1.2.3 油浸地下式变压器

适合电缆进出线,且地面安全、环保及环境要求较高的场所,但需保持通风良好的环境。其产品主要依据标准为 JB/T 10544。

### 14.1.3 干式变压器

#### 14.1.3.1 概述

干式变压器适合应用在与商住办公大楼联合建造或消防要求较高的户内站,且应满足:

- a) 对消防要求较高的场所,其燃烧性能等级应达到 F1,否则应达到 F0;
- b) 对于低于 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的环境温度下运行、运输和储存时,其气候等级应达到 C2,最低应达到 C1;
- c) 对于潮湿、常有凝露或严重污秽区域,其环境等级应达到 E2,最低应达到 E1。

干式变压器主要依据标准为 GB/T 10228。

#### 14.1.3.2 环氧树脂绝缘干式变压器

环氧树脂绝缘干式变压器分为环氧真空浇注和缠绕固化工艺两种,其机械强度高,承受短路能力强。采用环氧真空浇注工艺的变压器,其局部放电水平较低。绝缘系统耐热等级通常有 155 级(F)和 180 级(H)。180 级(H)干式变压器负载损耗较高,其变压器室通风量要求较高,不宜在通风不良且与开关柜共室布置时使用。对低温环境下频繁高负荷投切的运行方式,不宜选用该类型干式变压器。

#### 14.1.3.3 浸渍绝缘干式变压器

浸渍绝缘干式变压器有包封干式变压器和非包封干式变压器两种。

### 14.1.4 耐高温绝缘液浸式变压器(高燃点油变压器)

#### 14.1.4.1 概述

耐高温绝缘液浸式变压器适合应用在对安全性能要求较高,或消防间距不够的户外公共场所,其产品主要依据标准为 GB/Z 1094.14。

#### 14.1.4.2 组合式变压器

组合式变压器适用于路边、绿化带内安装的专用或公共配电,宜选用高燃点油作为绝缘冷却介质,其产品依据标准为 JB/T 10217。

### 14.1.5 充气式变压器

充气式变压器具有不爆不燃特点,适合应用在消防等级及安全性能要求高的环境及场所,如隧道、矿井、海上风电、钻井平台、地铁、管廊、桥梁、学校、医院、广场、人口密集的商业中心或公共场所及存在易燃易爆物质的矿山、油田、化工生产与存放场所等。其产品标准依据为 IEC 60076-15。

### 14.1.6 非晶合金铁心变压器

非晶合金铁心变压器主要有油浸式和干式两种,其产品主要标准依据为 GB/T 25446 和

GB/T 22072。

非晶合金铁心变压器的空载损耗低,但噪声较高,适合应用在年平均负载率小于 30% 及噪声要求不高的场所。由于设计磁密较低,变压器体积较大,外形较为矮胖。变压器过励磁时,噪声增量较大。运输、安装或运行中铁心不能受外力,否则空载损耗会增大。

#### 14.1.7 卷铁心变压器

卷铁心变压器主要有油浸式和干式两种,其产品主要依据标准为 GB/T 25438 和 GB/T 32825。

#### 14.1.8 调容变压器

##### 14.1.8.1 概述

调容变压器目前主要有油浸式,其适合应用在负荷峰谷差值较大,且平均负载率较低,高载或低载持续性较长的场所。其产品依据标准为 JB/T 10778。

##### 14.1.8.2 有载调容

有载调容变压器适合应用在用电要求较高的场所,但需与非晶合金铁心变压器综合评估后确定。

##### 14.1.8.3 无励磁调容

无励磁调容变压器需停电后手动调容,适合应用在用电要求不高,且季节性负荷变化较大、规律性较强,每年调容次数有限的场所。

##### 14.1.8.4 子母变压器调容

子母变压器调容的变压器需停电后手动调容,适合应用在用电要求不高,且季节性负荷变化更大、规律性较强,每年调容次数有限的场所。

#### 14.1.9 地埋变压器

地埋变压器主要有油浸式和干式两种,其产品依据标准为 JB/T 10544。该变压器地埋后具有防爆、防燃、防水、防雷、防盗、防撞等特点。通常用于城市配网及公共安全要求较高的场所,如城网、管廊、隧道或桥梁等,容量一般为 400 kVA 及以下。

#### 14.1.10 有载调压变压器

有载调压变压器主要有油浸式和干式两种,该变压器适用于电压波动较大、电压质量要求较高的场所,可根据实际电压波动范围,选择合适的级差、级数和范围,其产品主要依据标准为 GB/T 6451 和 GB/T 10228。

### 14.2 电力变压器

#### 14.2.1 油浸式变压器

油浸式变压器是目前最常用的变压器,但在消防及安全要求较高的场所不宜选用油浸式变压器,产品主要依据标准为 GB/T 6451。

#### 14.2.2 干式变压器

干式变压器适合有消防要求的场所,66 kV 及以上电压等级不宜选用干式变压器,其产品主要依据标准为 GB/T 10228。

### 14.2.3 充气式变压器

对消防安全要求较高的场所宜选用充气式变压器,其产品依据标准为 IEC 60076-15。

### 14.2.4 三绕组变压器

三绕组变压器一般用于具有三种电压等级的变电站,产品主要依据标准为 GB/T 6451。

### 14.2.5 自耦变压器

自耦变压器一般用于联络两种不同电压网络系统或用于连接两个中性点直接接地系统,产品主要依据标准为 GB/T 6451。自耦两侧电网间不但存在磁的耦合,还存在电路的联系。自耦变压器因具有良好的性价比,因此通常用于 220 kV 及以上电压等级的变电站。

### 14.2.6 三相变压器和单相变压器

电力变压器通常采用三相结构,该结构的性价比较高。若因制造和运输条件限制,则可采用三个单相或三相组合式电力变压器,产品主要依据标准为 GB/T 6451 和 GB/T 23755。

### 14.2.7 现场组装变压器

由于运输条件的限制,可将变压器本体拆卸运输,到现场后再重新组装,产品主要依据标准为 GB/T 6451。

## 14.3 极寒地区油浸式变压器

极寒地区油浸式变压器的选型参见附录 E。

## 15 变压器技术经济评价

### 15.1 总拥有费用法(简称 TOC 法)

TOC 法是根据综合比较变压器价格和能耗水平的原则,按照总拥有费用最低来选择变压器,详见 DL/T 985。该评价方法适用于配电变压器的选用。

### 15.2 全寿命周期成本法(简称 LCC 法)

LCC 法是根据综合分析变压器采购成本、运行成本和废弃回收成本等内容后,按照 LCC 成本最低来选择变压器,参见附录 F。该评价方法适用于电力变压器的选用。

## 16 标志、起吊、安装、运输和贮存

油浸式电力变压器应符合 GB/T 6451、GB/T 25438、GB/T 25446、JB/T 2426、JB/T 10317、NB/T 42067 等标准的规定,干式电力变压器应符合 GB/T 10228、GB/T 22072、GB/T 32825、JB/T 2426、NB/T 42066 等标准的规定,变压器的安装项目和要求应符合 GB 50148 的规定。

## 17 制造方应提供的技术文件和图表

### 17.1 制造方向设计单位提供的技术文件

在变电站设计及建设阶段,制造方应提供的技术文件可根据不同类型变压器需要按如下内容选择:

a) 变压器外型图:包括变压器总体外型尺寸、主体运输质量、主要组件、部件质量、油总质量、上节

油箱或器身吊重、吊高、起吊位置、千斤顶位置、牵引孔位置、轨距或支座位置、基础尺寸和要求、冷却器或散热器布置、套管出线位置和接线端子尺寸、接地端子位置和端子尺寸、梯子位置、连接件(管道法兰)接口尺寸、其他必要的安装尺寸；

- b) 变压器铭牌图或铭牌标志图；
- c) 绕组排列简图；
- d) 变压器本体运输尺寸图；
- e) 冷却系统(如果有)控制原理图和冷却控制设备接线图；
- f) 主控制箱(如果有)外型图(安装图)；
- g) 变压器二次保护接线安装图(必要时提供)；
- h) 变压器二次保护设备接线图；
- i) 变压器端子箱接线图；
- j) 有载分接开关(如果有)电气控制接线图和遥控信号接线图；
- k) 经制造方与用户协商一致,可以提供的资料有:过励磁曲线、电容(包括线圈之间和线圈对地)、零序阻抗、声级水平、变压器入口电容、励磁电流谐波分析、变压器短路承受能力的计算报告或试验报告。

## 17.2 制造方向用户提供的技术文件

建设完成后,由制造方向用户提供规定的技术文件,技术文件可根据不同类型变压器需要按如下内容选择:

- a) 提供 17.1 的全部技术文件；
  - b) 产品合格证书,包括变压器和主要组件、部件合格证书(如:套管、冷却器、开关、气体继电器温控器等)；
  - c) 产品试验报告,包括变压器试验报告(除例行试验报告外,其他试验报告提供内容由双方协商确定)和主要组件、部件试验报告；
  - d) 油浸式电力变压器油化验单及油色谱分析报告；
  - e) 变压器安装使用说明书；
  - f) 套管安装使用说明书；
  - g) 储油柜安装使用说明书；
  - h) 冷却器或散热器(如果有)安装使用说明书；
  - i) 油面温控器、电子温控器、绕组温控器使用说明书；
  - j) 压力释放阀、速动油压继电器、多功能保护装置使用说明书；
- 注:根据要求提供整定参数。
- k) 有载分接开关或无励磁分接开关使用说明书；
  - l) 装箱单或拆卸一览表(一般随产品发运)。

## 17.3 制造方向用户提供的主要部件及备件规格图表

如果用户需要,则制造方应提供下列内容:

- a) 冷却系统简图(仅对强迫油循环系统)；
- b) 梯子、储油柜安装图；
- c) 内部引线走向示意图和内部接地系统示意图；
- d) 冷却器安装图；
- e) 变压器套管及套管式电流互感器布置示意图(必要时,用户与制造方协商)；
- f) 主绝缘示意图(必要时,用户与制造方协商)；

- g) 二次馈线布置图；
- h) 电磁屏蔽或磁屏蔽布置示意图。

#### 17.4 对试验的要求

变压器的例行试验、型式试验和特殊试验的项目应符合 GB/T 1094.1、GB/T 1094.11、GB/T 6451 和 GB/T 10228 等标准的要求，试验方法见 JB/T 501。

现场交接试验见 GB 50150。

如果在试验中有特殊要求，则应在协议(合同)中事先明确。

### 18 变压器询价、招标和投标

#### 18.1 询价

变压器询价时，应提出如下基本要求：

- a) 基本结构型式；
- b) 额定容量组合；
- c) 额定电压；
- d) 损耗及温升要求；
- e) 绝缘水平；
- f) 短路阻抗；
- g) 联结组标号；
- h) 调压方式、范围及部位；
- i) 声级水平；
- j) 绕组材质；
- k) 绝缘系统耐热等级；
- l) 防护等级；
- m) 出线方式；
- n) 冷却方式及布置方式；
- o) 冷却介质；
- p) 运输质量；
- q) 运输尺寸；
- r) 特殊的使用条件和试验项目。

#### 18.2 招标

变压器招标时，招标文件应提出如下基本要求：

- a) 执行标准；
- b) 安装方式及位置，以及特殊运行环境条件；
- c) 运输方式及条件；
- d) 额定电压、绝缘水平、短路阻抗、空载损耗、负载损耗、温升限值、声级水平等主要技术参数，以及调压方式、范围及位置、冷却方式、绝缘系统耐热等级、防护等级等；
- e) 短路承受能力、直流偏磁耐受能力、过负荷能力、过励磁能力等技术性能要求；
- f) 主要材质和组件、部件；
- g) 出线方式及结构，以及特殊结构要求；
- h) 特殊试验考核内容及要求；

- i) 特殊现场试验内容及特殊运维(检修)策略。

### 18.3 投标

供货方投标时,应确认变压器所有技术要求,包括:

- a) 变压器运行环境及运行工况;
- b) 技术性能及执行的标准;
- c) 变压器基本结构型式;
- d) 工厂采用的主要工艺、材质及组件、部件技术参数及来源;
- e) 技术差异以及选项。

### 19 技术协议

在订购变压器时,用户除应与制造方签订合同外,如果需要则还应同时签订技术协议,作为合同的技术附件。技术协议书格式参见附录 G。



附录 A  
(资料性附录)  
三相变压器常用的联结组

三相变压器常用的联结组见图 A.1。

<p>0</p>	<p>Yy0</p>	<p>Dd0</p>	<p>Dz0</p>
<p>1</p>	<p>Yd1</p>	<p>Dy1</p>	<p>Yz1</p>
<p>5</p>	<p>Yd5</p>	<p>Dy5</p>	<p>Yz5</p>
<p>6</p>	<p>Yy6</p>	<p>Dd6</p>	<p>Dz6</p>
<p>11</p>	<p>Yd11</p>	<p>Dy11</p>	<p>Yz11</p>

图 A.1 常用的联结组

## 附录 B

(资料性附录)

### 变压器的主要性能参数与制造成本的关系

#### B.1 概述

变压器主要性能参数的选用,首先应满足第4章的要求,以保证变压器的可靠性。其次应注意到提高性能参数的同时变压器制造成本也将相应增加。

#### B.2 短路阻抗

当负载的功率因数一定时,变压器的电压调整率与短路阻抗基本成正比,变压器的无功损耗与短路阻抗的无功分量成正比。由此短路阻抗小较为适宜。然而,短路电流倍数与短路阻抗成反比,短路阻抗越小,则短路电流倍数越大。当变压器发生出口短路时,绕组会遭受巨大的电动力并产生更高的短路温升。为了限制短路电流,则希望较大的短路阻抗。

对心式变压器而言,与正常短路阻抗相比,当取较大的短路阻抗时,就要增加线圈的匝数,即增加了导线质量,或增大漏磁面积,从而增加了铁心质量。由此可见,高阻抗变压器,要相应增加制造成本。

随着短路阻抗增大,负载损耗也会相应增大。所以,选择短路阻抗时要兼顾电动力、损耗参数和制造成本。

#### B.3 负载损耗

##### B.3.1 概述

负载损耗包括线圈直流电阻损耗、导线中的涡流损耗、并列导线间环流损耗和结构件(如夹件、钢压板、箱壁、螺栓、铁心拉板等)的杂散损耗。

##### B.3.2 线圈直流电阻损耗

降低线圈直流电阻损耗的有效方法是增大导线截面积。然而也导致线圈体积的增大,相应增加导线长度,为了设计出低负载损耗的变压器,需耗用较多的导线,制造成本必然增加。

##### B.3.3 导线的涡流损耗

 线圈处于漏磁场中,在导线中会产生涡流损耗。大型变压器中涡流损耗有时会达到直流电阻损耗的10%以上。

当变压器短路阻抗增大时,纵向漏磁增大,导致涡流损耗的增加。降低涡流损耗的途径可采用多根导线并联,用组合导线或换位导线。此时,考虑到绕组的机械强度,需采用自黏性换位导线,或采用截面积大的单根导线降低电密,这就使制造成本增加。

##### B.3.4 环流损耗

变压器(尤其是大型变压器)线圈由多根导线并列绕成,每根导线在漏磁场中占据的空间位置不同,它们各自产生的漏感电势也不同,漏感电势之差产生环流并产生环流损耗。

当要求变压器短路阻抗大时,由前所述的原因,需减小电抗高度,增加导线匝数,它们都会增加环流损耗。为抵偿该损耗的增大,就要采取适当的导线换位方式或增加导线截面积减少直流电阻损耗及采用换位导线等,这就增加了变压器制造成本。

### B.3.5 结构件的杂散损耗

大型变压器中,杂散损耗有时会达到直流电阻损耗的 30%。经验证明,在油箱壁和夹件上加装磁屏蔽或电磁屏蔽,铁心拉板和在漏磁场中的结构件(如螺栓等)采用低磁钢材料等措施,可有效地降低杂散损耗。然而,这些措施都相应增加了制造成本。

## B.4 空载损耗

变压器的空载损耗主要是铁心损耗。它由磁滞损耗和涡流损耗组成,前者与导磁材料(如电工钢、非晶合金)的质量成正比,且与磁密的  $n$  次方成正比。而涡流损耗近似与磁密的平方、导磁材料的厚度的平方、频率的平方和导磁材料的质量成正比。降低空载损耗就要降低磁密,其结果导致导磁材料质量增加,或采用高导磁、低损耗的导磁材料,或采用厚度更薄的导磁材料,其结果都导致变压器制造成本的相应增加。而过薄的硅钢片又使铁心的平整度下降,导致铁心机械强度的降低。

## B.5 冷却装置布置方式

**B.5.1** 户内冷却装置水平分室分体布置,有利于降低噪声,降低变压器制造成本,节省建筑面积,是首选方式。

**B.5.2** 户内冷却装置垂直高位分体布置,更有利于节省土地和建筑面积,但变压器油箱将承受较高的压力,制造成本要比水平分体布置高,同时易渗漏油,运行风险较高。

## B.6 冷却方式

油浸变压器冷却装置通常有冷却器和散热器,若采用散热器则可实现多种组合的冷却方式,其运行成本也较低,也是今后的发展趋势。各种冷却方式的变压器具体情况如下:

- a) 强迫导向油循环风冷(ODAF)变压器,冷却效率高,是大容量变压器的常用方式,但是,该方式易出现负压、渗漏、轴承磨损、油流带电、散热管道堵塞、冷却效果下降等现象,造成变压器可靠性降低、冷却器检修频繁、风险成本和运行成本提高等;
- b) 强迫非导向油循环风冷(OFAF)变压器,制造成本比强迫导向油循环风冷变压器略高,但不会出现油流带电现象,运行时油中的杂质也不会进入绕组内部,可靠性较高,风险成本相对导向油循环的要低;
- c) 强迫油循环自冷(OFAN)变压器,制造成本与强油循环风冷变压器相当,但在冷却过程中油泵贡献率相对较低,一般不采纳,只有变压器容量较大(大于 300 MVA 以上)并在噪声要求较高地区采用;
- d) 自然油循环风冷(ONAF)变压器,制造成本与强迫油循环风冷变压器相当,但可靠性高,运行成本较低;
- e) 自冷(ONAN)变压器,制造成本高,但运行维护简单,可靠性高,噪声低,运行成本最低;
- f) 采用油/水热交换装置,适用于地下变电站中冷却器地面布置的强迫油循环/强迫水循环风冷变压器,与采用油/油热交换装置相比,其冷却效率高,可用于超大容量变压器上,但制造成本、风险成本、运行成本较高。

## B.7 调压方式

调压方式对变压器的可靠性、制造成本和运行成本影响非常大,在满足电网电压变动范围的情况下,应优先选用无调压方式。各种调压方式的具体情况如下:

- a) 有载调压,制造成本和运行成本高,但调压灵活;
- b) 无励磁调压,制造成本和运行成本较低;
- c) 无调压结构,制造成本和运行成本低,但无法通过变压器自身进行调压,适用于有其他调压手段,如升压变压器或电压较稳定的降压变压器。

## B.8 调压部位

调压部位通常有:

- a) 中性点调压,要求分接开关的绝缘水平低,制造成本低,可靠性高,但对自耦变压器来说,为磁通调压,但对仅作无功补偿作用的独立低压回路是适宜的;
- b) 线端调压,分接开关的绝缘水平要求最高,制造成本高,可靠性低;
- c) 中部调压,分接开关的相间绝缘水平要求比中性点调压的高,与线端调压的要求相当,制造成本低。但绕组抗短路能力水平低,往往适用于中小型变压器,风险成本略高。

调压绕组布置:调压绕组为独立布置结构,安匝平衡好,绕组抗短路能力强,但制造成本和过电压风险高,较适合中性点调压方式,但对中压调压的变压器应考虑独立布置结构。对调压范围较小的调压绕组可设置在主绕组内,虽制造成本较低,但对制造工艺要求较高,抗短路能力也较差。

## B.9 调压范围

调压范围对变压器的可靠性、制造成本也有较大影响。调压范围影响调压绕组的设置,为了保证变压器有足够的短路承受能力,通常将较大调压范围的调压绕组设置为独立结构,从而增加了制造成本。另外,随着电网的不断强大,调压手段的多样化,电能质量不断提高,其电网电压波动越来越小。较小调压范围的调压绕组可设置在主绕组内,结构简单,运行可靠,制造成本较低。

## B.10 绝缘水平

变压器的绝缘水平,原则上应按照国家标准规定的上限数值,以利于提高变压器运行的安全可靠。有时,可根据变电站的特殊性和重要性(如地下变电站)以及近期故障情况,适当地提高绝缘水平,以提高变压器的安全可靠,但制造成本会相应增加。

## B.11 声级水平

如果要求变压器的声级水平低于标准值,则制造方将采取特殊的设计和措施,例如降低磁密、采用特殊的绑扎或压紧方法、相应的减振结构、选用低噪声风扇(机)等,这无疑将导致变压器制造成本的增加。因此,如果必须选用低噪声变压器,则应作相应的分析。从经济上来看,在变压器安装地点采取相应的其他措施(例如安装隔离墙)或许更合适和经济。

## B.12 变压器的容量、质量、尺寸和性能之间的关系

不同容量的变压器,在电压等级、短路阻抗、结构型式、设计原则、导线电流密度和铁心磁密等相同的情况下,它们之间存在着以下近似关系:

- a) 变压器的容量正比于线性尺寸的 4 次方;
- b) 变压器有效材料质量正比于容量的  $3/4$  次方;
- c) 变压器单位容量消耗的有效材料正比于容量的一  $1/4$  次方;
- d) 当变压器的导线电流密度和铁心磁通密度保持不变时,有效材料中的损耗与质量成正比,即总损耗正比于容量的  $3/4$  次方;
- e) 变压器单位容量的损耗正比于容量的一  $1/4$  次方;
- f) 变压器的制造成本正比于容量的  $3/4$  次方。

由此,从经济角度看,在同样的负载条件下,选用单台大容量变压器比用数台小容量变压器经济得多。

附录 C  
(资料性附录)

变压器并联运行的联结方法

变压器并联运行的联结方法应符合如下要求：

- a) 具有相同的相位关系(即在矢量图中,具有相同的钟时序数)的各变压器,可将各自的一次侧和二次侧同符号标志端子连接在一起,作并联运行。
- b) 若钟时序数不同,从变压器并联运行可靠性看,有如下联结方法(见图 C.1):
  - 1) 组 1:钟时序数为 0、4 和 8;
  - 2) 组 2:钟时序数为 6、10 和 2;
  - 3) 组 3:钟时序数为 1 和 5;
  - 4) 组 4:钟时序数为 7 和 11。
- c) 在实际平衡负载条件下,属于同组的两台变压器可并联运行,见图 C.1。
- d) 如果一台变压器的相序与另一台刚好相反,则组 3 中的变压器与组 4 中的变压器并联运行,见图 C.2。
- e) 不同组的两台变压器是不能并联运行的。如:
  - 1) 组 1 与组 2 或组 3 与组 4;
  - 2) 组 2 与组 1 或组 3 与组 4;
  - 3) 组 3 与组 1 或组 2;
  - 4) 组 4 与组 1 或组 2。

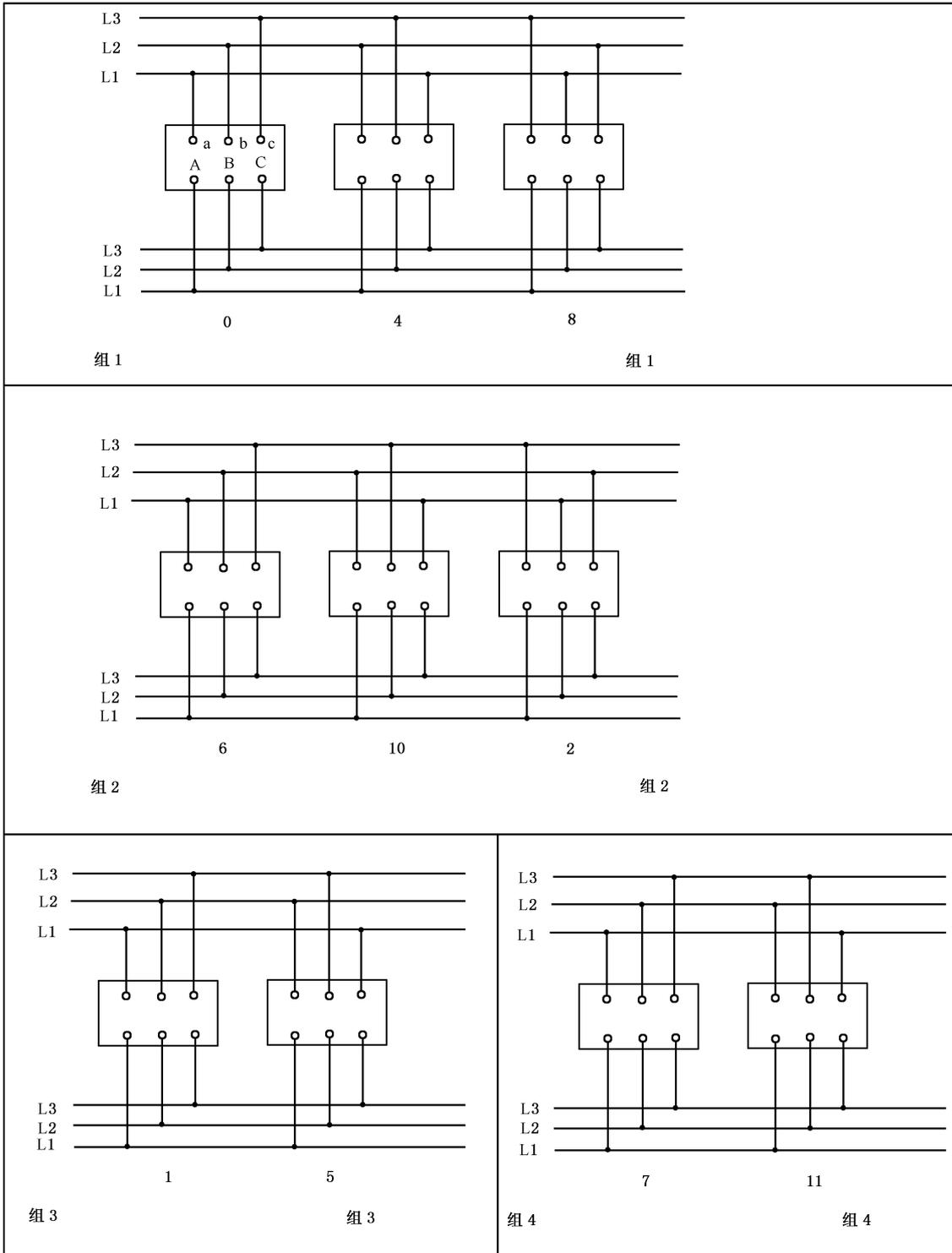


图 C.1 同组变压器的并联运行

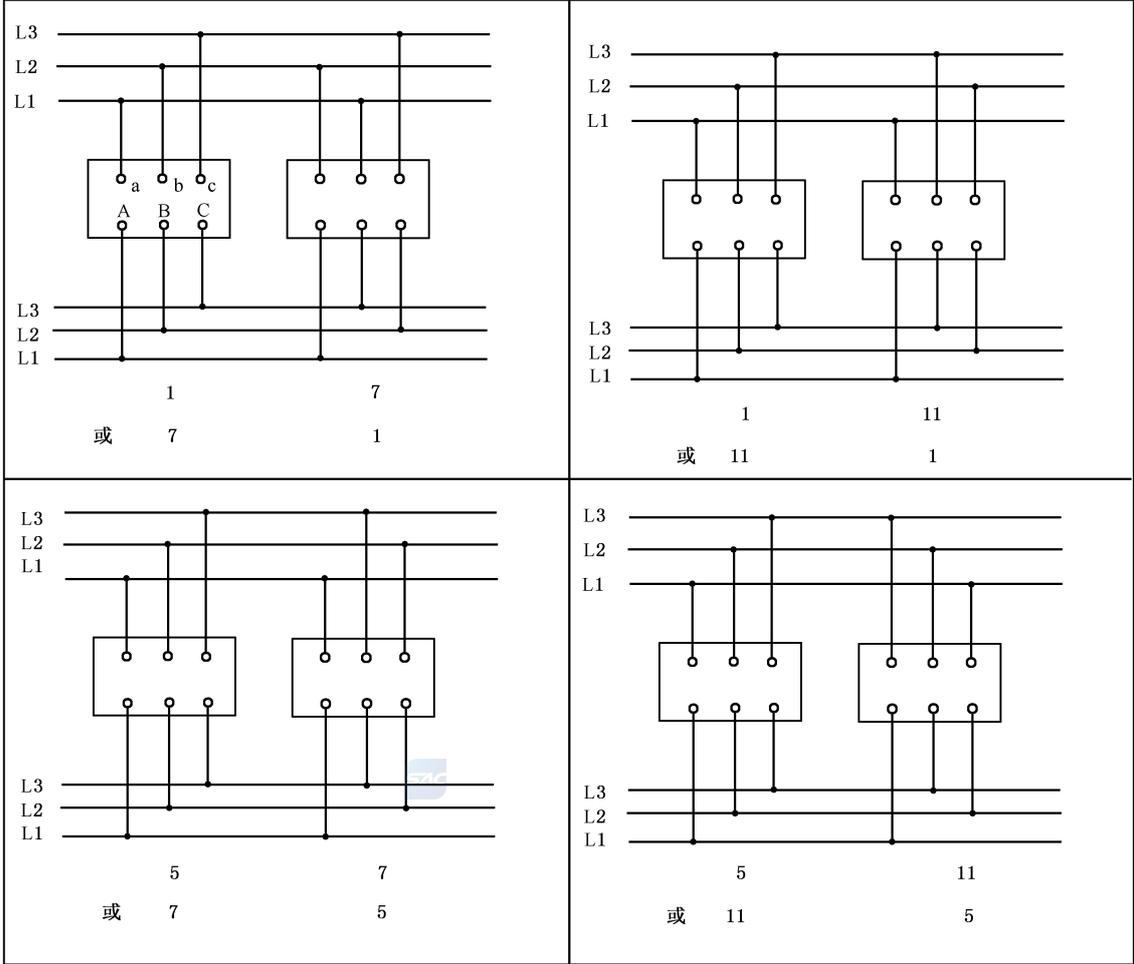


图 C.2 组 3 和组 4 中的变压器的并联运行

**附 录 D**  
(资料性附录)  
**套管式电流互感器的选用**

**D.1 套管式电流互感器变比的选择****D.1.1 概述**

套管式电流互感器的额定一次电流应根据变压器容量来确定,通常取按变压器容量计算出的电流值的 1.0 倍~1.2 倍,考虑到线路保护等原因,可适当增大。但应修正到符合 GB/T 20840.2 的规定。

**D.1.2 额定一次电流标准值**

套管式电流互感器额定一次电流标准值为:100 A、125 A、150 A、200 A、250 A、300 A、400 A、500 A、600 A、750 A 以及它们的十进位倍数。

**D.1.3 额定二次电流标准值**

套管式电流互感器额定二次电流标准值为:1 A 或 5 A。

**D.1.4 套管式电流互感器的变比**

套管式电流互感器根据变压器负荷的变化情况,可选单变比或多变比。单变比按 D.1.2、D.1.3 选取。除非用户与制造方另有协议,多变比通常为两个变比。

两个变比的套管式电流互感器的额定一次电流标准值为:100 A-200 A、150 A-300 A、200 A-400 A、250 A-500 A、300 A-600 A、400 A-800 A、500 A-1 000 A、600 A-1 200 A、750 A-1 500 A、1 000 A-2 000 A。

其他额定一次电流值可由用户与制造方协商确定。

**注 1:** 两个变比的互感器,其下限电流可与上述标准值不同,但需符合 D.1.2 的规定。

**注 2:** 两个以上变比的数值由用户与制造方协调规定。实际上变压器安装后,即按当地负载情况选定一个电流比,更换情况很少。不推荐选用多变比。

**D.2 套管式电流互感器准确级的选择****D.2.1 测量用套管式电流互感器**

测量用套管式电流互感器的准确级为:0.2、0.5、1.0、3.0 和 5.0。

推荐 1 200 A 及以上的互感器选 0.2 级;600 A~1 000 A 选 0.5 级;300 A~500 A 选 1.0 级;150 A~250 A 选 3.0 级;100 A 以下互感器不保证准确级。如果有高于上述准确级的特殊需求情况,则由用户与制造方协商规定。

**注:** 套管式电流互感器的一次绕组是变压器的套管,只有固定的一匝。因此,决定互感器技术参数最关键的额定一次安匝数是固定的,制造方无法选择。由此,较小变比的互感器的准确级一般情况下不可能很高。当用户特殊要求高准确级时,可由制造方与用户协商,选用价格高、制造工艺复杂的高导磁材料来满足。即使这样,200 A 以下的互感器也很难做到 0.5 级。

### D.2.2 保护用套管式电流互感器

保护用套管式电流互感器的准确级为:5P、10P、TPX 和 TPY。

推荐 600 A 及以上的互感器最高准确级选 5P;200 A~500 A 选 10P;其他情况,由用户与制造方协商规定,500 kV 变压器根据系统需要可选 TPY 或 TPX(单变比)。

注 1: TPY、TPX 按 GB/T 20840.2。

注 2: TPY、TPX 尽量不选用。

### D.3 保护用套管式电流互感器的准确限值系数

保护用套管式电流互感器的标准准确限值系数为:10、15、20 和 30。

推荐 600 A 及以上互感器选用 20 或 20 以上;200 A 及以下选 10;300 A~500 A 选 15。有特殊需要时,由用户与制造方协商规定。

注:对于某些特殊情况,为降低保护级的准确限值系数,可选取比按变压器容量计算出的额定一次电流大的变比。

例如:一台变压器,按容量计算选用变比 300/5 A,按短路电流计算准确限值系数 10P40,可选取 600/5 A、10P20,但测量级(如果有)变比仍为 300/5 A。

### D.4 套管式电流互感器的额定输出

套管式电流互感器额定输出标准值为:10 VA、15 VA、20 VA、25 VA、30 VA、40 VA、50 VA、60 VA 和 80 VA。

注:按 GB/T 20840.2 的规定,测量用电流互感器的准确级(0.2、0.5、1)误差限值规定的二次输出范围为 25%~100%额定输出。因此,如果额定输出选得大,而实际运行时的负荷可能小于 25%额定输出,此时所规定的准确级则达不到。这说明额定输出不是越大越好。因此,宜根据使用要求确定其容量,不易过大,对于 40 VA、50 VA、60 VA 和 80 VA 的电流互感器尽量不采用。

### D.5 多变比套管式电流互感器的性能额定值

除制造方与用户另有协商规定外,多变比套管式电流互感器性能额定值是以其最大变比时规定的,其余电流则不做规定。例如:300-600-1 200/1 A、50 VA、0.5 级,是指在 1 200/1 A 时满足 50 VA0.5 级要求。而 300/1 A、600/1 A 时准确级和额定输出应由制造方设计决定,但应尽量保证其为标准值。

对双变比套管式电流互感器,推荐的性能额定值见表 D.1 和表 D.2。

注:套管式电流互感器改变变比只能在二次绕组抽中间头。这就意味着改变了额定安匝。因而其准确级、额定输出和准确限值系数都要改变。如果按抽头变比满足规定的准确级及其他参数,则满匝数变比,即最高变比的性能要比抽头变比高,使用上不经济。

### D.6 套管式电流互感器的短时热电流

套管式电流互感器的短时热电流一般不作规定。但当变压器额定一次电流小,而短路电流很大时,应由用户与制造方协商确定,以免套管式电流互感器导线短时电流密度过大。

注:套管式电流互感器,因其环境温度就是变压器油的温度,允许温升很小,故其二次绕组导线截面较大,短时热电流允许值较高,绝大多数情况下都能满足短路事故的要求,故可不规定其短时热电流值。至于套管式电流互感器动稳定性能,因其没有一次绕组,环形二次绕组的电动力很小,可不规定。

表 D.1 66 kV、110 kV 侧套管式电流互感器推荐的性能参数额定值

变比 A		测量准确级与额定输出	保护准确级与额定输出
100-200/5	100/5	不规定 3.0 20 VA	不规定 10P10 20 VA
	200/5		
150-300/5	150/5	3.0 20 VA	10P10 20 VA
	300/5	1.0 20 VA	10P15 20 VA
200-400/5	200/5	3.0 20 VA	10P10 20 VA
	400/5	1.0 20 VA	10P15 20 VA
250-500/5	250/5	3.0 20 VA	10P10 20 VA
	500/5	1.0 20 VA	10P15 20 VA
300-600/5	300/5	1.0 20 VA	10P15 20 VA
	600/5	0.5 20 VA	5P20 30 VA
400-800/5	400/5	1.0 20 VA	10P15 20 VA
	800/5	0.5 30 VA	5P20 30 VA
500-1 000/5	500/5	1.0 20 VA	10P15 20 VA
	1 000/5	0.5 40 VA	5P20 40 VA
600-1 200/5	600/5	0.5 20 VA	5P20 30 VA
	1 200/5	0.2 40 VA	5P20 60 VA
750-1 500/5	750/5	0.5 30 VA	5P20 40 VA
	1 500/5	0.2 50 VA	5P20 50 VA

注：表中的内容也适用二次电流为 1 A 的互感器，但其额定输出可以减小。

表 D.2 220 kV 侧套管式电流互感器推荐的性能参数额定值

变比 A		测量准确级与额定输出	保护准确级与额定输出
100-200/5	100/5	不规定 3.0 20 VA	不规定 10P10 20 VA
	200/5		
150-300/5	150/5	3.0 20 VA	10P10 20 VA
	300/5	1.0 20 VA	10P15 20 VA
200-400/5	200/5	3.0 20 VA	10P10 20 VA
	400/5	1.0 20 VA	10P15 20 VA
250-500/5	250/5	3.0 20 VA	10P10 20 VA
	500/5	1.0 20 VA	10P15 20 VA

表 D.2 (续)

变比 A		测量准确级与额定输出	保护准确级与额定输出
300-600/5	300/5	1.0 20 VA	10P15 20 VA
	600/5	0.5 20 VA	5P20 30 VA
400-800/5	400/5	1.0 20 VA	10P15 20 VA
	800/5	0.5 30 VA	5P20 30 VA
500-1 000/5	500/5	1.0 30 VA	10P15 20 VA
	1 000/5	0.5 40 VA	5P20 40 VA
600-1 200/5	600/5	0.5 20 VA	5P20 30 VA
	1 200/5	0.2 40 VA	5P20 40 VA
750-1 500/5	750/5	0.5 20 VA	5P20 30 VA
	1 500/5	0.2 40 VA	5P20 50 VA
1 000-2 000/5	1 000/5	0.5 30 VA	5P20 40 VA
	2 000/5	0.2 50 VA	5P20 50 VA

注：表中的内容也适用二次电流为 1 A 的互感器，但其额定输出可以减小。

附 录 E  
(资料性附录)

极寒地区用油浸式变压器的选用

E.1 概述

对于在低于 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境温度下使用的油浸式变压器可参照本附录选用。

E.2 技术要求

E.2.1 主要技术参数及性能应符合 GB/T 1094.1、GB/T 6451 等标准的规定。

E.2.2 试验合格后变压器内部绝缘材料的含水量应小于 $0.1\%$ 。

E.2.3 变压器应能满足最低环境温度下的绝缘性能要求。

E.2.4 套管、分接开关、压力释放阀、散热器、冷却器、气体继电器、阀门、油泵、储油柜、温控器、油位计等组件,应能满足最低环境温度下的基本功能、机械性能、电气性能和密封性能等要求。

E.2.5 变压器储油柜应具有足够大容积,保证在最低环境温度下显示不报警的最低油位,在最高油温下显示不报警的最高油位,在最高环境温度下的允许过负荷时不喷油。

E.3 主要原材料及组件、部件的要求

E.3.1 变压器油

变压器油的最低冷态投运温度应是 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,密度( $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) $\leq 883\text{ kg/m}^3$ 。

E.3.2 钢板

变压器使用的钢板应满足以下要求:

- a) 在 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,冲击韧性应不小于 $3\text{ kg/cm}^2$ ;
- b) 油箱上使用的各类钢材(如箱壁、吊攀、加强筋等)的线膨胀系数应相近。

E.3.3 密封件

包括变压器和分接开关等组部件的密封件应满足如下要求:

- a) 低温脆性温度应不高于 $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- b) 压缩耐寒系数(压缩 $20\%$ , $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ )应不小于 $0.5$ 。

E.3.4 波纹片和片式散热器

波纹片和片式散热器应满足以下要求:

- a) 选用金属材料的弯折疲劳次数应大于 $2$ 万次;
- b) 选用的钢板、焊接材料及表面涂层应能满足最低环境温度下及 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度差变化的要求。

E.3.5 电容式套管

电容式套管应满足以下要求:

- a) 最低环境条件下的电气性能、机械性能,以及不同污秽地区对污闪、冰闪爬距的要求;
- b) 套管内部的气室应能满足最低环境温度下和最高运行油温下的膨缩容积及保持正压力的要求。

### E.3.6 分接开关

分接开关的传动机构润滑物质应保证在最低环境温度下的润滑作用及传动机构的正常运转。

### E.3.7 线缆

设备所配各种动力、控制和二次信号线缆应满足以下要求:

- a) 绝缘应具有耐寒性能;
- b) 低温脆性温度应不低于所允许的最低环境温度。

### E.3.8 阀门

各类阀门应满足以下要求:

- a) 在最低环境温度下,所有阀门应正常开启和关闭;
- b) 阀门内外金属材料应使用相同材质或线膨胀系数相近的材质。

### E.3.9 气体继电器

气体继电器的弹簧、触点等在所要求的最低环境温度下应动作灵敏、接触良好。

### E.3.10 其他

智能设备及其组件、部件的端子箱、控制箱等设施,应具有加温、除霜、防潮功能,以及相应的有效保温措施。

## E.4 试验要求

在最低环境温度下应能满足如下试验要求:

- a) 主要材料:
  - 1) 变压器油低温介电性能试验。
  - 2) 绝缘纸板含水量试验。事先在变压器上放置试验纸样,试验合格后取出按 GB/T 462 的要求进行含水量测试,其结果应小于 0.1%。
  - 3) 钢板低温冲击韧性试验。所采用的钢板按 GB/T 229 的要求进行低温冲击韧性测试,其结果应不小于 3 kg/cm<sup>2</sup>。
  - 4) 密封制品低温脆性试验。所选用的密封制品按照 GB/T 1682 进行脆性测试,其结果应不高于 -70 ℃。
  - 5) 密封胶垫压缩耐寒系数试验。所选用的密封制品按照 GB/T 1682 进行压缩耐寒系数测试,其结果应不小于 0.50(压缩 20%, -50 ℃)。
- b) 主要组件、部件:
  - 1) 压力释放阀的低温开启试验。将待试压力释放阀置于所要求的最低温环境中至少 1 h,按 JB/T 7065 的要求进行功能测试,其结果应在规定压力下开启和闭合。
  - 2) 油泵的低温试验。将油泵置于所要求的低温试验温度的变压器油中至少 1 h,按 JB/T 10112 的要求进行测试,其结果应满足 GB/T 755 和 GB/T 1032 的要求。
  - 3) 蝶阀的低温试验。将蝶阀置于所要求的低温试验温度的环境中至少 1 h,蝶阀一侧注入低

温试验温度的变压器油,另一侧置于低温试验温度的空气中,按 JB/T 5345 的要求进行低温下的开启、泄漏性能试验,其结果应开关正常,并无渗漏现象。

- 4) 气体继电器的低温试验。将气体继电器置于所要求的低温试验温度的环境中至少 1 h,按照 JB/T 9647 的要求对气体继电器进行动作特性试验。当气体继电器内积聚气体数量达到 250 mL 时,信号接点应可靠接通(容积刻度偏差 10%)。
  - 5) 电容式套管低温适应性试验。
- c) 变压器:
- 1) 常温下所有例行试验。
  - 2) 低温下外施耐压特殊试验,试验方法可由用户与制造方协商确定。
  - 3) 低温下冲击合闸特殊试验,试验方法可由用户与制造方协商确定。

## E.5 运行

E.5.1 变压器不应在低于 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 油温下投运。

E.5.2 低温投运初始阶段,不投冷却器空载运行,待油温增高后,逐步增加负载,并投入相应数量冷却器,方可转入正常运行。

E.5.3 临时停运的变压器可采用保温措施,保证油温高于 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

E.5.4 经过低于 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境下停运超过 5 天及以上的变压器,且无保温措施时,投运前应对变压器进行加温处理。

## E.6 储存

用于冬季应急使用的备品宜存储在高于 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的环境内。

附 录 F  
(资料性附录)  
全寿命周期成本法

## F.1 全寿命周期成本模型

### F.1.1 概述

全寿命周期成本法(简称 LCC 法)统筹考虑变压器的规划、设计、采购、建设、运行、检修、技改和报废的全过程,在满足安全、效能的前提下追求全寿命周期成本最低来选择变压器。其计算模型如下:

$$LCC=CI+CO+CM+CF+CD$$

式中:

LCC——变压器设备在全寿命周期内的总费用;

CI——初始投资成本;

CO——运行成本;

CM——检修维护成本;

CF——故障成本;

CD——退役处置成本。

### F.1.2 初始投资成本 CI

初始投资成本 CI 主要包括设备的购置费、安装调试费和其他费用。购置费包括设备费、专用工具及初次备品备件费、现场服务费、供货商运输费等;安装调试费包括业主方运输费、设备建设安装费和设备投运前的调试费;其他费用包括培训费用、验收费用、特殊试验费和可能要购置的状态监测装置费用等。

初始投资成本可表示为:

$$CI=C_1+C_2+C_3$$

式中:

$C_1$ ——变压器的购置费用;

$C_2$ ——安装调试费,一般取购置费的 6.2%;

$C_3$ ——其他费用,一般取购置费的 11.8%。



### F.1.3 运行成本 CO

运行成本 CO 主要包括设备能耗费、日常巡视检查费和环保等其他费用。设备能耗费包括设备本体能耗费用、辅助设备能耗费;日常巡视检查费包括日常巡视检查需要的巡视设备和材料费用以及巡视人工费用。

运行成本费用主要和变压器的损耗有关,因此运行成本可估算为变压器损耗所产生的费用,可表示为:

$$C_L=(P_0+\eta^2 P_k)\times 8\,760\times\alpha$$

式中:

$P_0$ ——变压器空载损耗,单位为千瓦(kW);

$\eta$ ——变压器年平均负载率,%;

$P_k$ ——变压器负载损耗,单位为千瓦(kW);  
 $\alpha$  ——单位电价,单位为元每千瓦时[元/(kW·h)].  
 变压器运行成本可表示为:

$$CO = \sum_{i=1}^N \left( \frac{1+r}{1+R} \right)^{i-1} (C_p + C_L + C_0)$$

式中:  
 $N$  ——变压器的寿命周期,一般变压器运行年限为 30 年;  
 $r$  ——通货膨胀率;  
 $R$  ——社会贴现率;  
 $C_p$ ——人工费用,单位为万元每年(万元/年);  
 $C_0$ ——其他费用,单位为万元每年(万元/年)。

#### F.1.4 检修维护成本 CM

检修维护成本 CM 主要包括变压器的小修成本和大修成本,每项检修成分主要包括设备材料费用、服务费用及人工费用。检修成本可表示为:

$$CM = \sum_{i=1}^{N_r} \left( \frac{1+r}{1+R} \right)^{i \times T_r - 1} \times C_{m1} + \sum_{i=1}^{N_0} \left( \frac{1+r}{1+R} \right)^{i \times T_0 - 1} \times C_{m0}$$

$$N_r = \text{floor} \left( \frac{N-1}{T_r} \right)$$

$$N_0 = \text{floor} \left( \frac{N-1}{T_0} \right)$$

式中:  
 $T_r$  ——变压器小修周期,单位为年每次(年/次);  
 $T_0$  ——变压器大修周期,单位为年每次(年/次);  
 $C_{m1}$  ——变压器单次小修费用,单位为万元每次(万元/次);  
 $C_{m0}$  ——变压器单次大修费用,单位为万元每次(万元/次);  
 floor——取整操作。

#### F.1.5 故障成本 CF

变压器故障成本 CF 主要是因变压器故障造成缺电或供电中断引起的损失成本。可表示为:

$$C_e = \frac{8\,760 \times UOC \times S_N \times \eta \times \alpha}{10}$$

$$CF = \sum_{i=1}^N \left( \frac{1+r}{1+R} \right)^{i-1} \times (C_e + C_f)$$

式中:  
 $UOC$  ——故障率或失效率,该数据需统计而得,由制造方提供;  
 $C_e$  ——故障损失费用;  
 $C_f$  ——故障检修费用;  
 $S_N$  ——变压器额定容量,单位为千伏安(kVA)。

#### F.1.6 退役处置费 CD

退役处置费 CD 包括设备退役时处置的人工、设备费用以及运输费和设备退役时的报废费用,并应减去设备退役时的残值。实际变压器报废回收成本可以近似等效为初始投资成本的某一比值,而且往往负值。计算公式为:

$$CD = \left( \frac{1+r}{1+R} \right)^{N-1} \times C_1 \times \beta$$

式中：

$\beta$ ——残值折算率。

而实际计算中，其变压器的残值一般可简化为初始购置费用的 20%（已折算至初始年限）。

## F.2 静态分析法

在不考虑通货膨胀率和社会贴现率的情况下，计算出的值不需折算至初始年限的值。

## F.3 动态分析法

考虑了通货膨胀和社会贴现率的影响，计算出的值应折算至初始年限的值。

**附 录 G**  
(资料性附录)  
技术协议书的内容

为保证变压器的技术性能和制造质量,经双方协商,达成如下技术协议。  
本协议为双方签订的合同的补充件(合同号: )。

**G.1 正常项目**

**G.1.1 变压器符合的标准或技术规范:**

- a) 油浸式电力变压器的主要标准:
  - GB/T 1094.1 电力变压器 第1部分 总则
  - GB/T 1094.2 电力变压器 第2部分 液浸式变压器的温升
  - GB/T 1094.3 电力变压器 第3部分:绝缘水平、绝缘试验和外绝缘空气间隙
  - GB/T 1094.5 电力变压器 第5部分:承受短路的能力
  - GB/T 1094.7 电力变压器 第7部分:油浸式电力变压器负载导则
  - GB/T 6451 油浸式电力变压器技术参数和要求
  - GB/T 23755 三相组合式电力变压器
  - GB/T 25289 20 kV 油浸式配电变压器技术参数和要求
  - GB/T 25446 油浸式非晶合金铁心配电变压器技术参数和要求
  - GB/T 25438 三相油浸式立体卷铁心配电变压器技术参数和要求
  - JB/T 2426 发电厂和变电所自用三相变压器技术参数和要求
  - JB/T 10088 6 kV~1 000 kV 级电力变压器声级
  - JB/T 10317 单相油浸式配电变压器技术参数和要求
  - NB/T 42067 6 kV~35 kV 级油浸式铝绕组配电变压器技术参数和要求
- b) 液浸式电力变压器的主要标准:
  - GB/Z 1094.14 电力变压器 第14部分:采用高温绝缘材料的液浸式变压器的设计 and 应用
  - DL/T 1811 电力变压器用天然脂绝缘油选用导则
- c) 干式电力变压器的主要标准:
  - GB/T 1094.11 电力变压器 第11部分:干式变压器
  - GB/T 1094.12 干式电力变压器负载导则
  - GB/T 10228 干式电力变压器技术参数和要求
  - GB/T 22072 干式非晶合金铁心变压器技术参数和要求
  - GB/T 32825 三相干式立体卷铁心配电变压器技术参数和要求
  - JB/T 2426 发电厂和变电所自用三相变压器技术参数和要求
  - JB/T 10088 6 kV~1 000 kV 级电力变压器声级
  - NB/T 42066 6 kV~35 kV 级干式铝绕组电力变压器技术参数和要求》
- d) 充气式变压器的主要标准:
  - IEC 60076-15 电力变压器 第15部分:充气式变压器
- e) 地下式变压器的主要标准:
  - JB/T 10544 地下式变压器
- f) 组合式变压器的主要标准:
  - JB/T 10217 组合式变压器

- g) 调容变压器的主要标准：  
JB/T 10778 三相油浸式调容变压器
- h) 除 G.1.1a)~g) 外尚需符合的国家标准、行业标准、团体标准、企业标准或产品技术条件。
- i) 除 G.1.1a)~g) 外尚需符合的国际标准或国外标准。

注：如无另行规定，乙方只保证变压器符合所列标准。

**G.1.2 变压器名称和产品型号：**

**G.1.3 相数(用于组成三相变压器组的单相变压器应另行注明)及联结组标号：**

**G.1.4 频率(Hz)：**

**G.1.5 绝缘种类及冷却介质：**

- a) 液浸式包括：
  - 1) 矿物油还是其他绝缘液体；
  - 2) 凝点；
  - 3) 抗氧化能力。
- b) 干式包括：
  - 1) 非包封空气绝缘或树脂绝缘；
  - 2) 绝缘系统耐热等级；
  - 3) 燃烧等级；
  - 4) 气候等级；
  - 5) 环境等级；
  - 6) 外壳防护等级(如需外壳)；
  - 7) 是否需要配置风机；
  - 8) 室内通风及进风温度。
- c) 充气式包括：
  - 1) 绝缘气体；
  - 2) 冷却方式；
  - 3) 冷却器布置方式。

**G.1.6 安装场所包括：**

- a) 户内；
- b) 户外；
- c) 地下。

**G.1.7 冷却方式：**

当改变冷却方式时，变压器的容量比。

**G.1.8 每个绕组的额定容量(kVA)：**

**G.1.9 每个绕组的额定电压(kV)和设备最高电压(kV)：**

**G.1.10 调压方式及范围包括：**

- a) 无调压、无励磁调压或有载调压；
- b) 带有分接的绕组；
- c) 分接位置数；
- d) 分接范围；
- e) 若分接范围超过 $\pm 5\%$ ，其调压种类和最大电流分接位置(如采用)。

**G.1.11 系统接地方式或各侧中性点的绝缘水平：**

**G.1.12 各个绕组的绝缘水平：**

HV：

MV：

LV:

G.1.13 短路阻抗(或阻抗范围)及允许偏差:

HV-LV: ± %

HV-MV: ± %

MV-LV: ± %

对多绕组变压器,还包括规定的各对绕组的短路阻抗(若以百分数,则应一并给出相关的参考容量)和极限分接短路阻抗。

G.1.14 损耗(kW)及允许偏差:

空载损耗: + %

负载损耗: + %

总损耗: + %(不含辅机损耗)

G.1.15 套管爬电比距(以系统最高工作电压计)及伞形、伞宽、伞距和干弧距离:

HV: kV/cm

MV: kV/cm

LV: kV/cm

G.1.16 变压器带、不带小车或滚轮(是否带固定装置):

沿短轴轨距: mm × mm

沿长轴轨距: mm × mm

G.1.17 运输方式包括:

- a) 充油、充氮或干燥空气、铁路、公路、水航联运;
- b) 运输质量或尺寸的限制。

G.1.18 附件、仪表、铭牌、油位计等的安装位置(有特殊要求时):

- a) 冷却器(或散热器)置于本体或集中布置;
- b) 其他附件、仪表(或仪表箱)、铭牌、油位计安装位置的要求。

G.1.19 有关辅助电源(包括信号回路)电压(用于风扇、泵、分接开关以及报警系统):

G.1.20 油保护系统的类型:

G.1.21 套管及套管式电流互感器的要求:

- a) 套管;
- b) 套管式电流互感器包括:
  - 1) 测量用或保护用;
  - 2) 额定变比;
  - 3) 准确级;
  - 4) 其他特殊要求;
  - 5) 数量、设置位置及型号。

G.1.22 变压器表面涂漆的颜色:

## G.2 特殊项目

G.2.1 环境条件不同于 GB/T 1094.1 或 GB/T 1094.11 的部分包括:

- a) 环境温度;
- b) 海拔(如超过 1 000 m 时);
- c) 地震烈度;
- d) 冷却空气循环的限制;
- e) 冷却水温度(如用水冷却时);

- f) 安装场地污秽等级。
- G.2.2 升压变压器的承受甩负载的工作条件；
- G.2.3 变压器直接或通过短距离架空线接 GIS(气体绝缘开关装置)；
- G.2.4 影响变压器空气绝缘间隙和端子位置的安装空间位置；
- G.2.5 负载情况包括：
- 三绕组变压器负载组合；
  - 负载电流波形是否严重畸变,三相负载是否不平衡及其细节；
  - 经常承受过负载时,负载周期图；
  - 除 GB/T 1094.7 和 GB/T 1094.12 规定外的周期性过负载细节。
- G.2.6 变压器联结组标号是否有变换、进行联结变换的方法、出厂时要求用哪种联结；
- G.2.7 变压器所连接系统和短路特性(如短路容量、电流或系统阻抗数据)及可能影响变压器设计的限值(参见 GB/T 1094.5)；
- G.2.8 对变压器机械强度、油箱机械强度和局部放电水平不同于标准要求的部分；
- G.2.9 对短路承受力的相关参数和计算结果；
- G.2.10 声级水平(如与标准不一致时)与声级测定；
- G.2.11 零序阻抗测量；
- G.2.12 需要的其他特殊试验项目；
- G.2.13 特殊的组件及接口需求；

### G.3 并联运行

若要求与现有变压器并联运行,则应予以说明,并给出现有变压器的下列数据：

- 额定容量(kVA)；
- 额定电压比；
- 除主分接外的其他分接的电压比；
- 额定电流下,主分接上的负载损耗(校正到相应的参考温度,kW)；
- 带分接绕组的分接范围超过 $\pm 5\%$ 时,主分接和至少两个极限分接上的短路阻抗；
- 联结图或联结组标号。

### G.4 其他

本协议自双方签字并盖章后生效,并与合同具有同等法律效力。

甲 方：

乙 方：

名 称：  
地 址：  
邮 编：  
电 话：  
E-mail：  
传 真：  
代表签字：  
日 期：

---