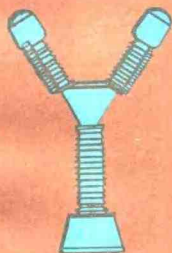


电气设备检修技术

(试用本)

火电生产类中级工培训教材

山西省电力工业局编



水利电力出版社

火电生产类中级工培训教材
电气设备检修技术
(试用本)

山西省电力工业局编

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

水利电力印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 19.5印张 132千字

1985年7月第一版 1985年7月北京第一次印刷

印数00001—65000册 定价3.85元

书号 15113·5780

内 容 提 要

本书是火电生产类中级工培训教材之一。其内容共分十三章，扼要叙述了以国产大中型机组为主线的汽轮发电机、大型电力变压器、高、低压交流电机和高压（油）断路器等结构、工作原理、检修工艺及有关质量标准。为配合中级工应知的基础知识的要求，书中扼要介绍一些与电机、变电、配电检修有关的专业基础知识。全书附有插图，各章备有复习思考题，可以帮助读者学习掌握本书的基本内容。

本书可供具有初中毕业以上文化程度的中级电机检修、变电检修和配电检修工人培训使用。也可供有关技术人员参考。

前 言

为了提高火力发电厂中级工的技术水平,使技术培训工作逐步走上正规,继《火电生产类学徒工初级工培训教材》编写出版之后,1984年10月22日水利电力部又以(84)水电教字第76号文向我局下达编写《火电生产类中级工培训教材》的任务。

根据国家有关加强职工培训通知的精神,在完成“双补”任务的基础上,各单位应适时地转入大力开展中级工人(4~6级工)的技术业务培训工作,要求到1990年工人中实际水平达到中级技术等级的比例逐步提高到50%左右。火电生产类中级工培训教材就是根据这一精神而编写的。

本教材是按照原电力工业部1979年颁发的《工人技术等级标准》中4~6级工人“应知”的要求,分工种编写的。教材的内容以20万kW以上的机组为重点,努力反映新技术、新设备、新工艺、新材料和新经验,以适应火电生产发展的需要。整个教材的编写力求体现工人技术培训的特点,本着理论联系实际的原则,努力做到内容准确、文字精练、插图简明、通俗易懂,并注意同学徒工初级工教材相衔接。

《火电生产类中级工培训教材》共十四本,适用于二十二个工种。为了保证这套教材的质量和使之适应在全国范围使用,我局除承担了部分教材编写任务外,还邀请了清河、陡河、大港、望亭、马头、闵行等发电厂,水利电力部西安

热工研究所、华东电业管理局、华北电业管理局和山东省电力试验研究所等单位及有关同志参加编写和审稿工作。在此，特向上述单位和有关同志表示衷心感谢。

本书由太原第二热电厂刘文熙同志主编。其中第二、四、五、六、七章由山西电力试验研究所罗国祥同志编写，第八章由闵行电厂周梓瑞、包新元二同志编写，第一、三、九、十、十二、十三章由刘文熙同志编写，第十一章由山西电力试验研究所陈国元同志编写。全书由山西省电力工业局总工程师沈燮楠同志主审。

由于编写时间仓促，又缺乏经验，培训教材中难免存在错误和不妥之处，恳请使用单位和广大读者提出宝贵意见。本培训教材现以试用本出版，准备根据各方面意见在再版时进行修改，以进一步提高质量。

山西省电力工业局

1984年12月

目 录

前 言

第一篇 基 础 知 识

第一章 电工专业标准知识及常用电工

计量单位	(1)
------	-----

第一节 标准的基本概念	(1)
-------------	-----

第二节 电工专业标准的基本要求	(2)
-----------------	-----

第三节 常用电工计量单位及换算	(11)
-----------------	------

复习思考题	(15)
-------	------

第二章 电场与磁场

第一节 静电场	(16)
---------	------

第二节 磁场与磁路	(30)
-----------	------

复习思考题	(40)
-------	------

第三章 晶体管开关电路

第一节 布尔代数和逻辑符号	(41)
---------------	------

第二节 晶体管开关电路	(46)
-------------	------

第三节 门电路分析	(59)
-----------	------

复习思考题	(77)
-------	------

第二篇 专 业 基 础 知 识

第四章 短路电流计算及电气设备的选择

第一节 电力系统短路的一般概念	(78)
-----------------	------

第二节 短路电流的计算	(80)
第三节 短路电流的电动力及发热计算	(99)
第四节 电气设备的选择	(104)
第五节 短路电流的限制	(107)
复习思考题	(109)
第五章 电机与变压器设计计算知识	(109)
第一节 同步发电机绕组结构设计与散热计算	(109)
第二节 中小型电机的设计与计算	(124)
第三节 变压器的设计计算	(141)
复习思考题	(157)
第六章 高压开关设备结构设计知识	(158)
第一节 开关的结构设计	(158)
第二节 灭弧室设计原理	(178)
第三节 动热稳定计算	(193)
复习思考题	(197)
第七章 常用电工材料的性能及使用	(198)
第一节 电工材料的一般力学知识	(198)
第二节 电工材料的性能及使用	(203)
复习思考题	(220)
第八章 大型汽轮发电机同步及励磁调节 装置介绍	(220)
第一节 同步装置原理及调试原则	(220)
第二节 自动励磁调节系统	(244)
复习思考题	(272)

第三篇 电气设备检修技术

第九章 高低压电机修理	(274)
-------------------	-------

第一节 异步电动机应用数据简介	(274)
第二节 高低压电机定子绕组的修理	(283)
第三节 交流电机铁芯故障修理	(334)
第四节 高低压电机转子故障的修理	(341)
第五节 直流电机的故障修理	(353)
复习思考题	(377)
第十章 汽轮发电机的故障修理	(379)
第一节 发电机转子故障检修方法	(380)
第二节 发电机定子线棒故障检查及修理	(398)
第三节 发电机定子铁芯故障的修理	(417)
第四节 氢冷和水内冷发电机的检修	(422)
第五节 发电机冷却系统检修	(433)
复习思考题	(450)
第十一章 变压器故障判断与修理	(452)
第一节 气相色谱分析法的原理与作用	(452)
第二节 大型变压器线圈现场检修方法	(466)
第三节 变压器铁芯故障处理方法	(487)
第四节 大型变压器的干燥	(512)
复习思考题	(527)
第十二章 高压油断路器的检修	(528)
第一节 高压断路器的检修要点	(528)
第二节 高压断路器灭弧室的检修	(533)
第三节 高压断路器运动机构的检修	(560)
复习思考题	(581)
第十三章 高压电缆的检修	(583)
第一节 高压电缆的安装与检修要求	(583)
第二节 高压电缆故障检测与修理	(603)
复习思考题	(609)

附表1 国际单位制的基本单位	(611)
附表2 国际单位制的辅助单位	(611)
附表3 国际单位制中具有专门名称的导出单位	(611)
附表4 国家选定的非国际单位制单位	(612)
附表5 用于构成十进倍数和分数单位的词头	(613)

第一篇 基础知识

第一章 电工专业标准 知识及常用电工计量单位

第一节 标准的基本概念

1. 标准

工业生产中的技术标准是根据不同时期的科学技术水平和实践经验,针对具有普遍性和重复地出现的生产技术问题,提出的最佳解决方案。它的对象既可以是物质的(如产品、材料、工具),也可以是非物质的(如程序、方法、图形、符号)。

各标准均须按照一定的程序经主管部门批准发布,定期实施,在规定的范围内具有约束力。

2. 标准的分级和代号

我国的标准分国家标准、部标准(专业标准)和企业标准三级。下级标准不得同上级标准相抵触。国家标准和部标准的适用面虽然有所不同,但都是全国性的。企业标准是国家标准和部标准的延伸(传递、贯彻)与补充,只在工厂、公司等范围内应用。

标准的代号表示标准的等级和适用范围。国家标准的代号为GB，由“国标”二字的第一个汉语拼音字母构成。部标准代号也是由汉语拼音字母构成，如水利电力部的标准代号为SD，机械工业部的标准代号为JB，冶金部为YB等。

企业标准的代号由发布单位自行规定。但为了同国家标准和部标准有所区别，前面一律加一个字母Q（“企”字的第一个汉语拼音字母），中间隔一斜线，写成Q/×××。

所谓标准化是指标准的形成和实施过程。

在实际工作中，应该重视和熟悉本专业标准和标准化的具体贯彻、执行以保证社会化的生产技术活动得到必要的统一、协调，进而获得最好的经济效益。

第二节 电工专业标准的基本要求

在电工专业范围内，国家标准和部颁标准又可分为基础标准、产品标准和原材料标准等。

一、基础标准

基础标准规定了各类电工产品应遵循的基本使用条件、技术规范及主要技术参数的额定值等，举例如下。

1. 国家标准GB 156-80《额定电压》

该基础标准中列出了用于直流、交流50Hz的电力输电线路、电气设备和电子设备的额定电压等级为3、6、10、35、63、110、220、330、500kV等。正常运行时，系统中任何一点出现的最高电压，称为电网最高工作电压。GB 156-80规定，220kV及以下电网最高工作电压比额定电压高15%，330kV和550kV电网最高工作电压比额定电压高10%。例如，110kV电网（或设备）的最高线电压为126

kV, 最高相电压为 $\frac{110 \times 1.15}{\sqrt{3}} = 73$ (kV); 500 kV 电网

的最高线电压为 550 kV, 最高相电压为 $\frac{500 \times 1.1}{\sqrt{3}} = 318$ (kV)。

2. 国家标准 GB 762-80《电气设备额定电流》

国家标准 GB 762-80 适应于以电流为主参数来命名或标注型号的交、直流电气设备和电子设备, 例如断路器、熔断器、继电器等高低压电器, 半导体整流器, 电流互感器, 电焊设备及电工仪器仪表等。该标准中规定了 1 ~ 25000 A 范围内的额定电流等级。1 A 以下的按 R 10 化整值的十进分数值选用, 25000 A 以上的则按 R 10 优先数系的十进倍数值来选用 (用优先数和优先数系确定产品的参数或参数系列的量值分级方法可参见国家标准 GB 321-80)。

电工专业标准中的另一个重要的基础标准, GB 311-64《高压电气设备绝缘试验电压和试验方法》, 它规定了高压电气设备的使用条件、内部绝缘和外部绝缘的绝缘水平和试验标准及标准的试验方法、测量方法等。它约束了设计和制造部门按本标准确定的设备绝缘水平进行产品的设计、制造和试验 (如型式试验和出厂试验); 指导使用部门按本标准进行电网设计、设备验收、安装调试和运行管理。这个标准是反映我国电工制造工业、绝缘材料工业、电力生产工业等部门技术经济水平和保证电力系统和设备安全运行的权威性标准。随着我国电工制造业和电力工业的发展需要 GB 311-64 标准已修订完毕, 新修订的标准将进一步提高我国的电工设备制造和电力系统运行水平。

二、产品标准

产品标准是设备产品制造的规范性规定的专业标准, 反

映了某一具体产品或某一类产品的技术经济水平,举例如下。

1. G B 1094-79《电力变压器》

G B 1094-79《电力变压器》标准适用于电压级次为220 kV 及以下的标准型电力变压器(包括油浸式无激磁调压、有载调压、自耦及干式电力变压器),对于220 kV 以上产品,可以部分或全部引用。

标准规定三相或单相电力变压器的容量等级应为下列容量等级之一:

10, 20, 30, 40, 50, 63, 80, 100,
125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630,
800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000,
5000, 6300, 8000, 10000, 12500, 16000, 20000, 25000,
31500, 40000, 50000, 63000, 75000, 90000, 120000, 150000,
180000, 240000, 300000, 360000 kVA。

三线圈及自耦变压器的容量分配按表1-1选择。

表1-1

线圈 变压器种类	高 压	中 压	低 压	备 注
三线圈变压器	100	100	50	以变压器额定容量的百分数表示
	100	50	100	
	100	100	100	
三线圈自耦变压器	100	100	50	

标准规定线圈电压的分接范围及级数,对于无激磁调压变压器为:

(1) 容量在6300 k V A 及以下的高压线圈:35 k V 级、

8000 kVA 及以上的中压线圈；10.5, 13.8, 15.75, 18, 20 kV 级、800 kVA 及以上的高压线圈，其分接级数为 $U_e \pm 5\%$ (U_e 为线圈的额定电压)。

(2) 35 kV 及以上、800 kVA 及以上的高压线圈和厂用变压器的高压线圈，其分接级数为 $U_e \pm 2 \times 2.5\%$ 。

对于有载调压变压器：

(1) 电压为 35 kV 级及以下的高压线圈其分接级数为 $U_e \pm 3 \times 2.5\%$ 。

(2) 电压为 110 kV 级高压线圈其分接级数为 $U_e \pm 3 \times 2.5\%$ ，或调压范围为额定电压的 20%，分接级数不少于 13 级。

(3) 电压为 220 kV 的高压线圈的调压范围为额定电压的 20%，分接级数不少于 13 级。

电力变压器的性能数据与国家标准或部颁标准规定值相比较的允许偏差及线圈直流电阻不平衡率应不超过表 1-2 的规定。

表 1-2

项 目	允 许 偏 差	适 应 范 围
空载损耗	+15%	所有变压器
短路损耗	+10%	所有变压器
总 损 耗	+10%	所有变压器
空载电流	+30%	所有变压器
阻抗电压	$\pm 10\%$	所有变压器
变 压 比	+1% $\pm 0.5\%$	35 kV 级以下、变比小于 3 的变压器 其他所有变压器 (额定分接)
直流电阻	线 2 %	1600 kVA 及以下
不平衡率	相 4 % 相 (有中性点引出时) 2 % 线 (无中性点引出时) 2 %	1600 kVA 及以下 其他所有变压器 其他所有变压器

G B 1094-79还规定了电力变压器的过负荷能力:

(1) 对油浸式变压器, 在特殊情况下, 允许短时间超过额定电流值的过载运行, 但不得超过表1-3的规定。

表 1-3

过 电 流 (%)	允许运行时间 (min)
30	120
45	80
60	45
75	20
100	10

(2) 对油浸自然循环风冷变压器, 当冷却系统发生事故切除全部风扇时, 允许带额定负载运行的时间, 不得超过表1-4的规定。

表 1-4

空 气 温 度 (°C)	15	-10	0	+10	+20	+30	+40
额定负载下允许运行的最长时间(h)	60	40	16	10	5	3	0.2

(3) 对强迫油循环风冷、强迫油循环水冷的变压器, 当冷却系统发生事故切除冷却器时, 不同容量的变压器在额定负载下, 允许的运行时间为: 容量为12MVA及以下时, 为20 min, 容量为120MVA以上时, 为10min。若按上述允许运行时间的规定变压器油面温度尚未达到75°C时, 则允许其温度上升到75°C, 但切除冷却器后的最长运行时间不得超过一小时。

电力变压器的一般结构应满足以下主要要求:

(1) 套管的安装位置和相互距离应便于接线, 而且其

带电部分之间的间隔应能满足国家标准GB 311-64中对绝缘电气强度的要求；套管接线端子连接处在空气中对空气的温升不大于 55°C ，在油中对油的温升不大于 15°C 。

(2) 贮油柜应保证在周围气温 $+40^{\circ}\text{C}$ 满载状态时，油不溢出，在 -30°C 未投入运行时，油表中应看得见油面。贮油柜油表应表示出变压器未投入运行时，相当于油温为 -30°C 、 $+20^{\circ}\text{C}$ 和 $+40^{\circ}\text{C}$ 三个油面标志。8000 kVA及以上的油浸式变压器应采取措施保证变压器油不与空气直接接触（如在贮油柜内增加隔膜装置等）或采取其他防止油老化措施。100 kVA及以上带有贮油柜的变压器，除了有充氮保护的变压器外，均应加装带有油封的吸湿器。3150 kVA及以上变压器应装有净油器。

(3) 带有贮油柜的800 kVA及以上的油浸式变压器和400 kVA及以上的厂用变压器，应装有气体继电器，其接点容量不小于66 VA，在连续收集气体 $150\sim 300\text{ m}^3$ 时和油流有突然冲动时，分别接通相应的接点。200~315 kVA的厂用变压器，应装只带信号接点的气体继电器。继电器结构及安装位置应能观察到分解出气体的数量及颜色，同时应便于安全取气样。800 kVA及以上带贮油柜的油浸式变压器应装有安全气道，当内部压力达到 50.662 kPa (0.5 atm) 时，保护膜应爆破；对315 kVA及以上的密封式变压器应有保护装置，当内部压力达到 76 kPa 时，应解除压力，对于其可能冲出的油流应导向变压器本体之外。

(4) 带有套管型电流互感器的风冷变压器，应有吹风装置控制箱，当变压器油面温度达到 65° 或达到额定电流时，应当投入吹风装置；当负荷电流低于额定电流或油温低于 50°C 时，应当切除风扇。强油循环风冷装置的控制线路应满

足下列要求：变压器冷却系统按负载情况能自动投入或切除相应数量的冷却器；切除故障冷却器时，备用冷却器应自动投入运行；冷却系统电动机的电源电压降低或发生故障时，应自动接入备用电源；当切除冷却器，投入备用冷却器、备用电源或风扇电机损坏时，均应发出信号。

(5) 油浸式变压器油箱、贮油柜应承受50.662kPa (0.5atm)的气压而不漏泄，密封式变压器应承受76kPa (0.75atm)的气压的密封和机械强度试验，无渗漏。

(6) 变压器的铁芯和所有较大的金属结构元件，均应通过油箱可靠接地；110kV级、20000kVA及以上的变压器铁芯应通过套管从外壳上部引出可靠接地。接地处应有明显的接地符号“⊥”或“接地”字样。

2. GB1984-80《交流高压断路器》

国家标准GB1984-80《交流高压断路器》适应于额定电压3~330kV、频率50Hz的户内、户外三相系统中三相普通断路器和单相系统中单相普通断路器。

本标准规定的断路器额定电流级次为200, 400, 630 (1000), 1250, 1600, 2000, 3150, 4000, 5000, 6300, 8000, 10000, 12500, 16000和20000A，额定开断电流周期分量有效值为1.6, 3.15, 6.3, 8, 10, 12.5, 16, 20, 25, 31.5, 40, 50, 63, 80和100kA，额定动稳定电流和额定关合电流(峰值)为其额定开断电流周期分量有效值的2.5倍。额定热稳定电流等于额定开断电流，额定热稳定时间为2s，需要大于2s时，推荐4s。

本标准规定断路器的额定操作循环是：自动重合闸操作循环为：分— θ —合分— t —合分；非自动重合闸操作循环为：分— t —合分— t —合分。其中， θ 为无电流间隔时间，