

电
工
技
术
培
训
读
本

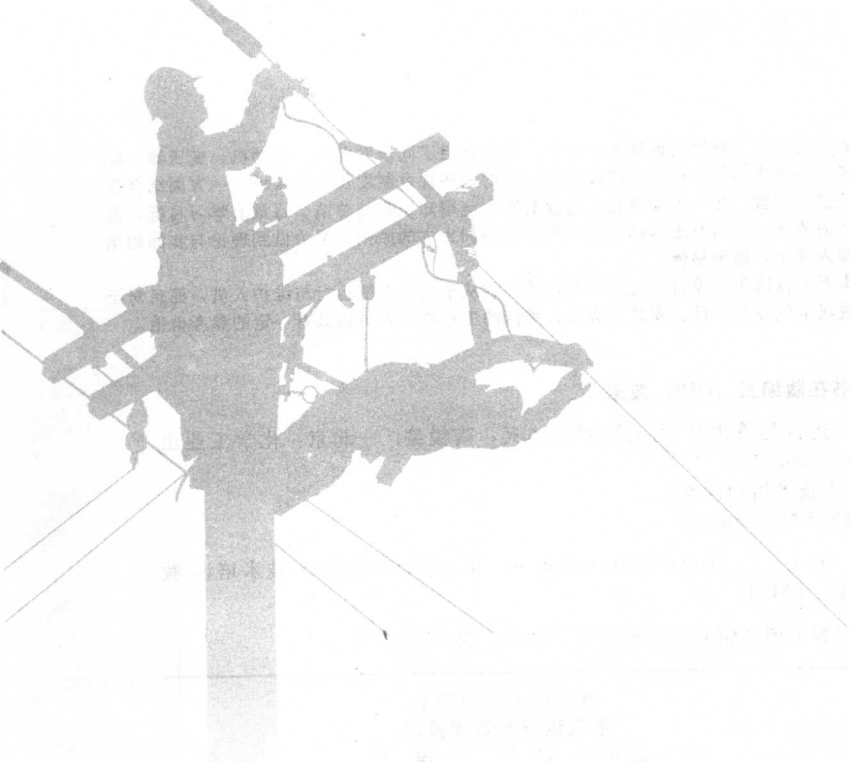


电气运行与管理技术

袁和平 江兵 陶锐 编



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心



电 工 技 术 培 训 读 本

电气运行与管理技术

袁和平 江兵 陶锐 编



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心
· 北京 ·

本书为《电工技术培训读本》之一。主要介绍了同步发电机、电动机、变压器、配电装置、供电线路等运行技术以及化工企业的一些规章制度及调度常识。一方面结合基本理论进行讲解,另一方面将化工企业的实际应用知识归纳总结。每章有学习目标,提出具体的要求,书后有思考练习题,贯彻以培训为主的原则,努力做到理论与实际相结合,深入浅出,通俗易懂。

本书不仅适用于没有经过系统专业培训的从事电力系统运行与维护人员,而且对于从事现场电气专业设计、安装、运行、维修的工程技术人员也具有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

电气运行与管理技术/袁和平,江兵,陶锐编. —北京:化学工业出版社,2006.5

(电工技术培训读本)

ISBN 7-5025-8622-9

I. 电… II. ①袁…②江…③陶… III. 电力系统运行-技术培训-教材 IV. TM732

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第040755号

电工技术培训读本
电气运行与管理技术
袁和平 江兵 陶锐 编
责任编辑:赵丽霞 刘哲
文字编辑:钱 诚
责任校对:李 林
封面设计:于 兵

*

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

购书咨询:(010)64982530

(010)64918013

购书传真:(010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京市兴顺印刷厂印装

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 5½ 字数 148千字

2006年6月第1版 2006年6月北京第1次印刷

ISBN 7-5025-8622-9

定 价:14.00元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

《电工技术培训读本》编委会

主任: 孙琴梅

副主任: 周跃明 夏新民

委员: 尹俊 冯薇 孙琴梅 朱光衡 陈英涛
陈华 严金云 周跃明 袁和平 夏新民

前 言

随着科学技术的发展，电气化程度正在日益提高，电气工作人员的综合素质，直接影响到电气设备的安装、维护和检修质量，关系到工厂企事业单位的正常运行和经济效益。应广大电气工作人员的要求，化学工业出版社组织南京化工职业技术学院、中国石化集团公司南京化学工业有限公司、南京工程学院、南京化工技工学校、江苏海事职业技术学院、中国石化集团公司扬子石化公司培训中心等单位编写了《电工技术培训读本》丛书，包括《电路与电工测量》、《实用电子技术基础》、《电机应用技术》、《电气控制与可编程控制器》、《工厂供配电技术》、《电工材料》、《继电保护与综合自动化系统》、《电气运行与管理技术》、《工厂电气试验》。

为保证本套丛书的质量，成立了电工技术培训读本编写委员会，编写人员均为生产一线具有丰富生产经验的工程技术专家、高级技师或具有多年丰富的教育培训教学经验的教师。根据劳动和社会保障部颁发的《职业技能鉴定规范》中电工的“知识要求”，结合工厂企业的生产特点，借鉴当前电工的实际工作经验，为电工的职业教育、职业培训和电工的职业技能鉴定，提供一套具有充实内容的教材和参考书。

全套培训读本在编写过程中，着眼于工厂现状，以目前使用较普遍的和以后预计使用量会增加的电气设备为主，适当地考虑到今后发展和提高的要求。本着突出针对性、典型性、实用性的原则，并注意工人培训的特点，内容精练、实用，注重理论联系实际，学以致用，且有一定的理论深度。每章有学习目标，提出具体的要求，书后有思考练习题，贯彻以培训为主的原则。本套读本通俗易懂，好学好用。不仅适用于具有初中以上文化程度、没有经过系统专业培训的从事电力系统运行与维护的人员，而且对于从事现场电

气专业设计、安装、运行、维修的电工、工程技术人员，也具有一定的参考价值。

本书为《电工技术培训读本》之一，主要为从事电力系统变配电值班运行的工人学习使用，全书以化工厂实际运行装置和规章制度为主，介绍了同步发电机、电动机、变压器、配电装置、供电线路等运行技术以及化工企业的一些规章制度及调度常识。本书一方面结合基本理论进行讲解，另一方面将化工企业的实际应用知识归纳总结。以实用性为主，以满足变电值班人员不同程度的需要。

本书由南化公司动力厂袁和平主编，其中第1章由袁和平编写，第2章、第3章由陶锐编写，第4章、第5章、第6章由江兵编写。全书由袁和平、江兵统稿。

本书在编写过程中，由于时间仓促，不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2006年3月

目 录

第 1 章 同步发电机的运行技术	1
1.1 概述	1
1.2 同步发电机许可运行方式	2
1.2.1 冷却空气温度变动时的运行方式	3
1.2.2 发电机运行电压变动许可	4
1.2.3 发电机运行频率变动许可	5
1.2.4 发电机功率因数变动许可	7
1.2.5 发电机负荷不平衡许可	7
1.3 发电机启动、升压	8
1.3.1 发电机启动前的准备工作	8
1.3.2 发电机启动	10
1.3.3 发电机升压	10
1.4 发电机并网	11
1.4.1 手动准同期并网操作	11
1.4.2 自动准同期并网操作	15
1.4.3 并网操作注意事项	16
1.5 发电机带接负荷及稳定调节	18
1.5.1 发电机带接负荷的原理	19
1.5.2 发电机带接负荷规定	20
1.5.3 发电机静态稳定	21
1.5.4 发电机无功功率调节	22
1.6 发电机运行监视	24
1.7 发电机解列停机	26
1.8 同步发电机异常运行及故障处理	27
1.8.1 发电机非周期并列	27

1.8.2	发电机自动跳闸	31
1.8.3	发电机线圈及铁芯温度过高	34
1.8.4	发电机非周期振荡	35
1.8.5	发电机升不起电压	36
1.8.6	励磁机整流子冒火	37
1.8.7	发电机失去励磁	40
1.8.8	发电机着火	42
1.9	发电机空载特性试验	43
1.9.1	试验方法	44
1.9.2	注意事项	45
1.9.3	分析判断	46
1.10	发电机三相短路特性试验	46
1.10.1	试验方法	47
1.10.2	注意事项	48
1.10.3	分析判断	49
1.11	测量灭磁时间常数	49
1.11.1	电气秒表法	50
1.11.2	录波法	51
	思考与练习	53
第2章	电动机运行技术	56
2.1	同步电动机运行技术	56
2.1.1	同步电动机的运行方式	56
2.1.2	同步电动机的启动与停机	60
2.1.3	同步电动机运行中的监视与维护	62
2.1.4	同步电动机的故障处理	63
2.2	异步电动机运行技术	66
2.2.1	异步电动机的启动与停机	66
2.2.2	异步电动机的运行监测和维护	71
	思考与练习	72
第3章	变压器运行技术	80

3.1	变压器的正常运行技术	80
3.1.1	变压器的种类	80
3.1.2	变压器的运行特性	80
3.1.3	变压器运行特性的主要指标	80
3.2	变压器的基本运行技术	81
3.2.1	变压器的停送电操作	81
3.2.2	变压器的允许运行方式	83
3.2.3	变压器的并列运行	85
3.2.4	变压器电压分接头调节	86
3.2.5	变压器正常运行时的检测与维护	88
3.2.6	变压器的冲击试验	89
3.3	变压器异常运行及故障处理	89
3.3.1	变压器的温度过高及异常声音	89
3.3.2	变压器绝缘油不合格	90
3.3.3	变压器分接开关的故障	93
3.3.4	变压器保护动作跳闸	94
	思考与练习	97
第4章	配电装置运行技术	111
4.1	变电站的常用主接线	111
4.1.1	概述	111
4.1.2	主接线的要求	111
4.1.3	主接线中主要电器的作用	112
4.1.4	高低压配电所系统接线方式	113
4.1.5	单母线接线	115
4.1.6	单母线分段接线	115
4.1.7	双母线接线	116
4.1.8	双母线单分段接线	118
4.2	电气倒闸操作	118
4.2.1	概述	118
4.2.2	倒闸操作的技术原则	118

4.2.3	倒闸操作的程序	121
4.2.4	倒闸操作中操作人员的责任和任务	122
4.3	防止电气误操作措施	123
4.3.1	设备必须具备的条件	123
4.3.2	变电值班人员必须做到的事项	123
4.3.3	防误操作装置	124
4.4	配电装置的监视检查	125
4.4.1	一般要求	125
4.4.2	断路器的监视检查	126
4.4.3	隔离开关、隔离触头的监视检查	128
4.4.4	电压互感器、电流互感器的监视检查	130
4.4.5	避雷器的监视检查	131
4.4.6	SF ₆ 设备的监视检查	132
4.5	继电保护的运行技术	132
4.5.1	继电保护运行监视检查	132
4.5.2	继电保护投退规定	133
4.5.3	继电保护动作分析	134
4.6	供配电系统常见故障处理	134
4.7	供电系统主要设备的事故处理	135
4.8	电气火灾事故的处理	136
4.9	电气事故调查分析	137
	思考与练习	138
第 5 章	供电线路的运行技术	140
5.1	电缆线路运行	140
5.1.1	电缆的额定载流量	140
5.1.2	电缆运行监视与检查	141
5.1.3	电缆的敷设	143
5.2	架空线路运行	148
5.2.1	架空线常用导线、字母含义、技术规范	148
5.2.2	铜线规范	148

5.2.3	架空导线的连接	149
5.2.4	弧垂	150
5.2.5	档距	151
5.2.6	架设线路时,有关各种距离的规定	151
5.2.7	架空线路的运行巡检	153
	思考与练习	154
第6章	电气运行管理	159
6.1	安全运行分析	159
6.2	安全生产管理制度	160
6.3	电气运行安全责任	161
6.3.1	安全员岗位职责	161
6.3.2	材料员岗位职责	162
6.3.3	电工岗位责任制	162
6.4	调度管理	163
6.4.1	调度管理的任务和组织机构	163
6.4.2	调度范围的划分	164
6.4.3	调度管理制度	164
6.4.4	电力系统频率和电压的调度管理	165
6.4.5	设备检修的调度管理	167
6.4.6	继电保护及安全自动装置的调度管理	168
6.5	职工培训管理	169
6.5.1	职工培训的作用、地位和任务	169
6.5.2	职工培训重点	170
6.5.3	上岗要求及考核	170
	参考文献	172

第 1 章 同步发电机的运行技术

学习目标

1. 了解同步发电机的工作原理及运行方式。
2. 了解同步发电机运行操作。
3. 了解并掌握同步发电机异常运行及故障处理。

1.1 概 述

发电机是将机械能转变成电能的电气设备。发电机通常有直流发电机和交流发电机之分。直流发电机受到换向器的限制，不宜制造高电压、大电流，因此其容量受到了限制。交流发电机没有换向器，而且可以把电柜固定，把磁极作转子，故适宜制造高电压、大电流，容量可达 600MW 甚至更大。同时交流电可以通过变压器使电压升高或降低，电能可长距离输送，而且在电能的使用上，交流电比直流电更为方便。交流异步电机等电气设备比直流电动机结构简单、运行可靠、价格便宜、启动方便。交流发电机应用更为普遍，因而将一次能源（水力、煤、油、天然气、风力、原子能等）转换为二次能源的发电机，都几乎采用三相交流同步发电机。

正因为有了三相交流同步发电机，才使大量的一次能量转变为二次能量成为可能。它是产生强大的电力网络的基础。在一般的工厂企业中，均有自备电厂，且均有中小容量同步发电机，其同步发电机按转送的能量分，有汽轮发电机、水轮发电机等，工厂一般采用汽轮发电机，本书主要针对企业自备电厂的中小型容量汽轮发电机组。

由于工厂企业普遍具有中小容量同步发电机，因此企业的运行电工和检修电工，包括电气调试工，均必须掌握同步发电机的结构、原理、运行技术，这样才能维护好发电机，操作和监视好发电



机，使发电机在受控的状态下达到长期安全可靠的运行。

再好的电气设备，再如何精心操作、维护，电气设备都有出现异常的时候，如何正确地判断异常，如何正确地分析导致异常的原因，并采取有效的措施和正确的检修方法，需要理论和实践的结合，需要人们有深入现场了解问题、细心研究的工作方法，只有通过正确的工作方法和良好技术支持，人们的技术水平才能不断提高。

本章作为运行和维修电工的技术支持，主要讲述中小型同步发电机如何操作和监控，异常情况的正确判断和处理，并结合发电机运行出现的一些实际异常问题进行讲述。

1.2 同步发电机许可运行方式

同步发电机按铭牌规定的额定参数运行称为额定运行方式，在冷却空气温度不超过规定值时，发电机可以带额定负载长期运行。但是实际运行中的发电机不可能始终处于额定电压、额定频率等条件下运行，虽然发电机自身可以调节运行电压、频率，但中小型发电机运行电压及频率受到电网的限制。因此，在实际运行中，就必须规定发电机运行参数的许可范围，尽量让其在许可的参数下运行，这就是所谓的同步发电机的许可运行方式。

虽然规定了各参数的许可范围，但也不是不能改变。在一些综合因素下，运行参数许可范围可以适当改变，但必须指出，设备参数未经试验鉴定和技术总工同意，不得任意扩大或缩小许可参数的范围。

在叙述同步发电机的许可运行参数之前，首先应知道限制发电机连续工作容量的因素。其主要取决于定子线圈、转子线圈和定子铁芯的温度，这些部件长期允许的最高温度，因发电机的冷却形式而异，并与所用的绝缘材料有关。当然，当测量方法不同时，允许的长期最高温度的规定值也不同。发电机在运行过程中绝缘材料要逐渐老化，对绝缘老化有重大影响的是绝缘材料的温度，绝缘材料的温度越高，老化越快，寿命就越短。若发电机的运行温度在冷却条件不变的情况下，其温度就与许可运行方式有较大的关系。发电



机运行电压越高，铁损就越大，铁芯温度就越高；发电机运行电流越大，铁损就越大，线圈温度就越高。在发电机铭牌数值中，都注明定子、转子线圈的绝缘等级，现在一般发电机定子线圈绝缘等级为B级或下级，但为了保证发电机安全可靠运行，下级绝缘的机组仍按B级运行，在特别情况下，可以短时间超过B级绝缘允许温度。目前中小型发电机的定子测温元件均采用热电偶法，规定定子线圈的最高允许温度为 120°C （B级），转子采用电阻法，转子线圈为 130°C （B级），定子铁芯为 120°C 。有时规定最高允许温升，最高允许温升与最高运行温度之间的差就是环境温度，允许温升是指环境温度为 40°C 的状况。

汽轮发电机转子线圈规定的允许温度高于定子线圈的主要原因有以下几点。

① 转子线圈的电压较低。

② 转子线圈温度分布均匀，不像定子线圈受铁芯温度的影响而可能使局部过热。

③ 测温方法不同。

1.2.1 冷却空气温度变动时的运行方式

发电机运行时，线圈的损耗和铁芯损耗均要转变为热能，为了保证发电机能在允许温度下长期运行，必须把电损耗产生的热量排出去，使其产生的热量和排出的热量相等，保持发电机温度在对应的负荷下基本不变。热量的排出是由冷却系统来实现的，通常中小容量的发电机采用密闭式水冷却循环通风系统，空气冷却器的冷风经发电机两端的风叶吸入发电机，冷却空气吸收发电机发出的热量后，从发电机中端再进入空冷器冷却，如此循环。因此，发电机两端装有两支温度计用以测量进口风温，发电机中间装有温度计用以测量出口风温。

发电机运行规程规定，冷却空气的进口温度应在 $20\sim 40^{\circ}\text{C}$ ，最低进口风温度（以气体冷却器的管子表面不凝结水珠为标准）一般不低于 5°C ，进口风温超过 40°C 时，视发电机温升，应适当降低负载。



进口风温过低易使发电机线圈端部绝缘变脆，因此进口风温过低时，应通过减少冷却水来提高进口风温。当进口风温高于 40°C 时，应设法增加冷却水来降低进口风温，如无法使进口风温降到 40°C 以下，则发电机绕组的温升必须降低。一般发电机的运行规程规定，发电机在额定冷却空气温度下，可以连续在额定容量下运行。冷却空气的进口温度超过规定值（ 40°C ）时，要注意使发电机的定子和转子线圈及定子铁芯的温度不超过制造厂所允许的温度，如超过允许的温度则应降低发电机的定子或转子电流。减少发电机的转子电流可以降低转子温升，同时可以降低定子的损耗；而降低定子铁芯的温度，可以使定子铁芯和线圈的温度均有所下降。所以对企业自备电厂的发电机在母线电压允许的情况下，首先可以减少发电机的励磁电流，而不降低发电机的应力，当减少发电机励磁电流不能满足要求时，则通过降低发电机的应力，使相关部件的温度降低到规定的范围内。

当冷却空气的进口温度低于额定值时，定子和转子的电流可以大于额定值，其增加值以不超过转子、定子线圈及铁芯的允许温度为原则。

若没有埋置式检温计，又未进行过温升试验，在冷却空气温度与额定值不同时，可按下列规定来决定定子电流的允许值。

① 对于额定冷却空气温度为 40°C 的发电机，进口空气温度在 $40\sim 45^{\circ}\text{C}$ 范围内每增加 1°C ，定子电流较额定值降低 1.5% ；进口空气温度在 $46\sim 50^{\circ}\text{C}$ 时，进口温度每升高 1°C ，定子电流较额定值降低 2% ；进口空气温度超过上述值时，必须查明原因并经上级领导批准运行电流允许值。

② 对于冷却空气进口温度低于额定值时，冷却空气进口温度每降低 1°C ，定子电流允许值可较额定值升高 0.5% ，此时转子电流也允许有相应的增加。

1.2.2 发电机运行电压变动许可

电压是供电质量的关键指标之一，电压过高或过低不仅对用户不利，而且对电力系统以及发电机本身都不利。电压过高，电气设



备的绝缘受影响，电机设备的空载电流增加，功率因数降低，铁磁损耗增加；电压过低，电动机设备的最大转矩、启动转矩均按电压的平方关系下降，同时电动机设备的有功分量电流上升，铁损上升。对发电机本身而言，电压过高，转子励磁电流过大，定子磁密过高，造成转子过热，定子铁芯损耗增加；电压过低，影响发电机的最大电磁功率，发电机的动态特性及抗外界短路能力下降，即发电机运行的稳定性下降，因此一定要控制好发电机的输出电压。但是在实际运行中，发电机的运行电压往往不能始终保持在额定数值上，常因电力系统的负荷变化而在一定范围内变化。发电机运行规程规定如下。

① 发电机正常运行电压的变动范围应在额定电压的 $\pm 5\%$ 以内，电压在此范围内，而功率因数为额定值时，其额定容量不变。

② 发电机连续运行最高允许电压应遵守制造厂规定，最高运行电压不得大于额定值的 110% ，最低一般不低于额定值的 95% 。

对这两条规定的具体理解应是，在额定功率因数下，发电机的运行电压超过额定值并在 5% 以内时，定子电流应较额定值减小 5% ，发电机的运行电压低于额定值的 5% 时，定子电流可较额定值高 5% ，但当运行电压超过额定值 $5\% \sim 10\%$ 时，发电机的容量相应的降低，降低的数值首先应以励磁电流不超过额定值为限，同时应保证发电机定子铁芯的温度不超过允许温度。

当在某些特殊情况下，发电机的运行电压可能会低于额定值的 95% ，但不允许低于额定值的 90% ，当发电机的电压下降到额定值的 $90\% \sim 95\%$ 时，定子电流长期允许的数值仍不得超过额定值 105% 。因为超过此值时，定子线圈的温度可能超过规定的数值。

1.2.3 发电机运行频率变动许可

频率又称周率或周波，也是供电质量的指标之一，频率变化较大时，不仅对用户带来影响，对电厂及发电机自身的运行也有害。用户的机械设备大都是由电动机拖动的，转速是随频率变化的。转速在额定值时，工作特性最好且最经济；当频率下降时，工作机械的应力也减少，使生产效率降低，甚至还会产生次品或废品；频率

过高时，电机转速上升，电机的铁损增加，消耗的功率增加，对电机的安全运行也不利。

频率变动对电厂的安全运行不利，主要表现在以下几方面。

(1) 频率过高的影响

- ① 汽轮机和发电机转子要承受较大应力。
- ② 发电机及厂用电机的铁芯均增加。
- ③ 厂用电机转动加快，锅炉给水压力上升，对锅炉及炉水加热器产生危害。

(2) 频率过低的影响

① 降低发电机的冷却风量，发电机冷却是通过其转子风扇将冷却空气吸入，风量与转速成正比，转速降低使通风不良，线圈和铁芯的温度增高。

② 使发电机的运行电压受到影响。发电机的感应电势与频率和主磁通的大小成正比，频率降低，发电机感应电势就降低，输出电压相应也降低，要维持电压不变，就必须相应增加主磁通，即增加转子励磁电流，因而使转子过热。

③ 影响锅炉及汽轮机的安全运行。频率降低，厂用电机转速下降，会使循环水量降低。冷凝水抽出较慢，就会使凝结器内的真空降低，锅炉给水压力不足，导致锅炉水压不稳，同时引起锅炉风量、油量或煤粉量变化。锅炉出力降低，发电机的出力降低，又导致频率再度降低，恶性循环，进而破坏电力系统的稳定运行。

基于上述分析，运行规程规定，发电机并网运行时，频率由电网决定，电网的频率正常应控制在 $50\text{Hz} \pm 0.2\text{Hz}$ 内，发电机不与电网并列运行时，发电机的频率应控制在 $50\text{Hz} \pm 0.5\text{Hz}$ 内。频率在范围内，发电机可按额定容量运行。

对企业自备电厂，发电机的容量比电网容量小很多，并网运行时，频率主要由电网决定，运行人员应注意的是发电机事故解列时频率的及时调整。发电机解列后，当只带厂用电负荷时，发电机的频率和电压会上升较多，当发电机有直配母线带全厂负荷（全厂负