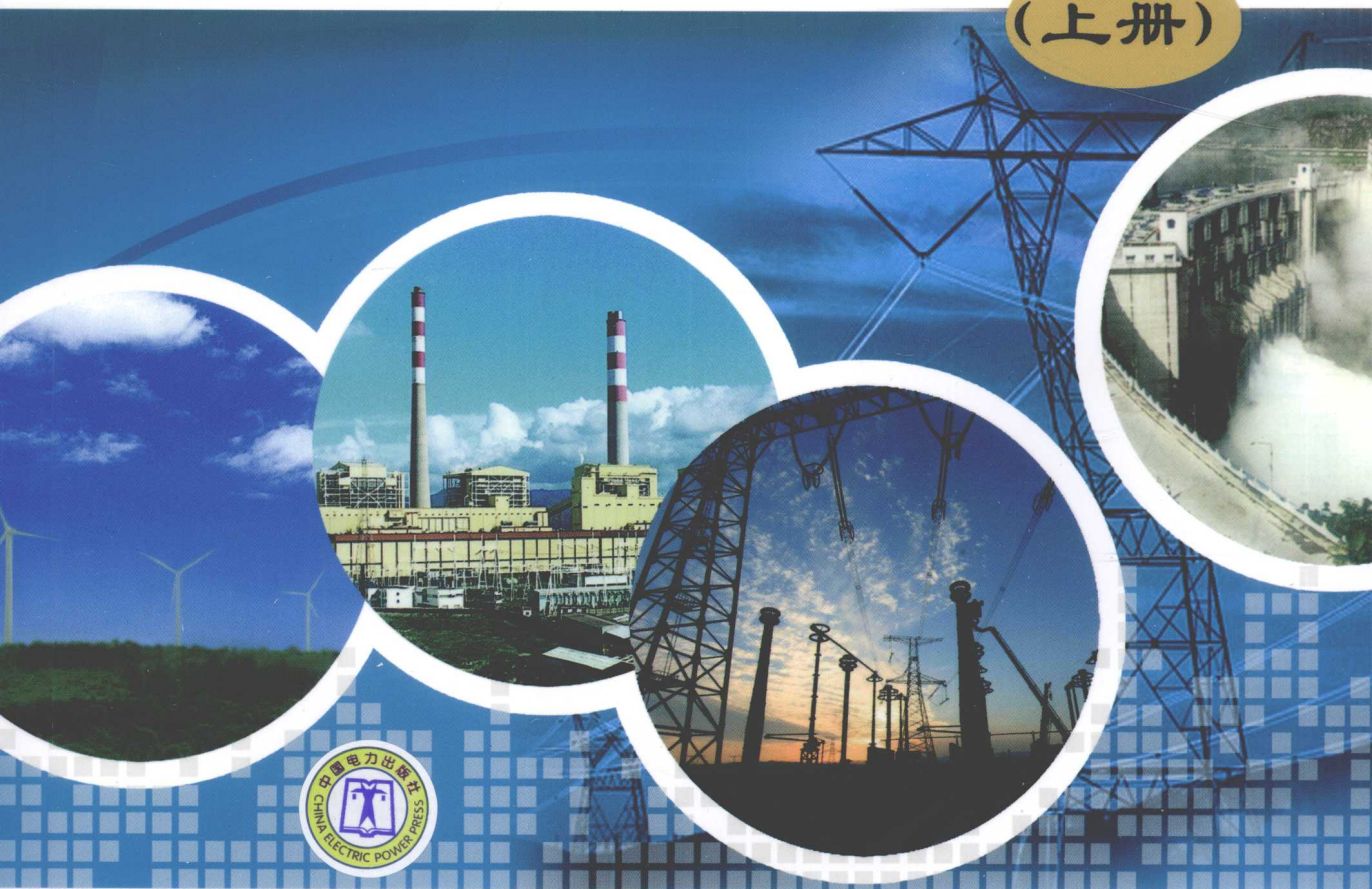


XIANDAIDIANWANG YUNXING YU KONGZHI

现代电网 运行与控制

黑龙江省电力有限公司 编著

(上册)



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

XIANDAI DIANWANG YUNXING YU KONGZHI

现代电网 运行与控制

(上册)

黑龙江省电力有限公司 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书由黑龙江省电力有限公司组织编写,旨在适应现代电网运行和控制技术不断的发展变化,系统、全面地介绍电网运行的基本理论和电力系统的最新进展,理论与实践相结合,为读者提供相关的技术知识和常用的数据资料,在日常工作和学习中起到提示和指导作用。

全书分上、下两册,共22章,主要内容既包括潮流、短路计算,发电机、变压器、高压开关、消弧线圈的运行,继电保护原理,提高稳定措施,电压、频率调整等基本理论和目前在电网中的实际应用情况,又对特高压、直流输电、数字化变电站、变电站综合自动化系统、可再生能源、灵活交流输电、电网安全稳定控制等新技术进行了适当阐述,也叙述了电力系统通信、自动化基本知识,还对现代电网发展进行了展望。

本书内容全面、系统、实用并注重发展,可作为电网调度、运行人员的培训教材,也适合从事电网规划、设计、科研、管理工作的人员和大专院校的师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代电网运行与控制. 上/黑龙江省电力有限公司编
著. —北京:中国电力出版社,2010.7

ISBN 978-7-5123-0177-1

I. ①现… II. ①黑… III. ①电力系统运行②电力系统-自动控制 IV. ①TM732②TM761

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 034664 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2010年7月第一版 2010年7月北京第一次印刷
787毫米×1092毫米 16开本 52.75印张 1208千字
印数 0001—5000册 上、下册定价共 120.00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

编委会名单

主 编 魏庆海

副主编 赵建中 杨好忠 周迎秋 才洪全 陶家琪

编委成员 刘志富 李凤波 肖荣国 张伯良 张 力 史 滨 赵万有
杨 滨 边二曼 田 伟 陈亚东 侯成斌 孙晓波 陈 铁
王 宏 胡本然 赵 旭 徐洪涛 康春雷 郭庆阳 杨兴华
华 科 孟祥星 刘 更 曹 阳 徐丽娟 张海彬 赵恭祥
张 或 李明华 田石刚 赵 君 郭江涛 郝文波 徐冰亮
于海洋 刘 洋 刘瑞叶 白雪峰 印永华 杨迎建 赵红光
严剑峰 何凤军 李文锋 王明新 迟永宁 冯庆东 赵 刚
罗剑波 徐石明 孙光辉 吴世普 陈江波 戴 敏 吴京涛
段 刚 须 雷 闵 勇 姜齐荣 徐 政 王忠伟 郭永全
孙旭东 盛宝臣

序

电力系统的不断发展给国民经济和社会发展带来了巨大的动力和效益。几十年来,中国电力工业实现了历史性跨越,取得了令人瞩目的骄人业绩。电网技术持续创新发展,电网电压等级不断提高,全国大部分地区已形成了以500kV电压等级为主(西北地区为330kV)的电网主网架,全国性的互联电网已初步形成,跨区、跨省送电能力稳步增长,全国能源资源优化配置初见成效。750kV输变电路投入运行、 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电工程和交流1000kV特高压试验示范工程的建设和投运,标志着我国已进入更高电压等级电网的发展阶段。

随着电网规模的扩大和电网技术的不断升级,需要建立和培养与之相适应的高素质的人才队伍。为提高从事电网运行人员的专业知识和业务能力,适应电网发展需要,黑龙江省电力有限公司组织有关专家编写了本书。本书内容系统全面,既包括电网运行的基本理论,又对实际系统运行作了详细介绍,并密切关注电力系统的最新进展,如可再生能源及特高压输电等。本书注重理论与实践相结合,对现代电网的控制、通信及数字化变电站等的实际运行作了全新的阐述。本书由黑龙江省电力有限公司组织,由全国著名大学、科研机构、企业和运行单位的教授、专家、生产一线技术人员编写,代表了我国电力系统操作与运行方面的较高水平。相信本书的出版,对培养我国电力系统人才会起到十分积极的作用,将大大提高运行部门驾驭电网能力,从而提高电网的安全运行水平。

希望本书能成为电力协调运行人员培训的好教材,并成为广大读者案头的必备图书,为建设、管理和运行我国坚强智能电网发挥更大的作用。

黄其励

前言

进入 21 世纪以来,我国的电力网发展很快。随着三峡电站的并网运行,我国已经形成以三峡工程为核心,以华中电网为依托,向东、西、南、北四个方向辐射的互联电网和输电线路;同时不断扩大北、中、南三个主要西电东送通道规模,当前除新疆、西藏、海南、台湾外,全国互联电网格局基本形成。同时,交流 1000kV 电压等级、直流 $\pm 800\text{kV}$ 的输电线路也已投运。

电力是高度自动化连续进行生产的行业,需要高素质的技术人员不间断地在运行岗位上对电网实行监视与控制。随着电网的发展,对运行人员的要求也逐步提高,为了适应电网新形势,提高电网运行人员的运行与管理水平,黑龙江省电力有限公司组织人员编写了本书。

本书分为上、下两册,上册侧重基本理论,下册侧重实际应用。在编写过程中,编者以“适应时代的发展、内容全面及实用方便”为原则;在初稿形成后,编者又广泛征求各方专家意见,对内容进行调整,使本书在高度概括电力系统领域最基本、最常用的技术内容的同时,反映最前沿的技术,对直流输电、特高压输电和新能源发电等都有所阐述。

本书的编写工作得到了黑龙江省电力有限公司领导的大力支持,并得到东北电网公司、哈尔滨工业大学、清华大学、浙江大学、中国电力科学研究院、国网电力科学研究院、北京四方继保自动化股份有限公司、南瑞继保电气有限公司和部分发电公司的专家的指导和审阅。在此,谨向所有参与该书研讨、编写和评审的专家与学者表示诚挚的感谢!

由于参编人员众多,加之编者水平有限,遗漏和不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

序 前言

上 册

第 1 章 电网的潮流计算	1
1.1 电力元件的阻抗和导纳	1
1.1.1 输电线路的参数及等值	1
1.1.2 变压器的参数及等值	4
1.2 长线路计算	10
1.2.1 均匀分布输电线路参数	10
1.2.2 修正系数	12
1.3 标幺制	14
1.3.1 标幺值的概念	14
1.3.2 基准值的选择	14
1.3.3 不同基准值的标幺值间的换算	15
1.3.4 有几级电压的网络中各元件参数标幺值的计算	16
1.4 功率损耗	17
1.4.1 输电线路的功率损耗	17
1.4.2 变压器的功率损耗	18
1.4.3 变电所运算用负荷及发电厂运算用容量	20
1.5 电压损耗	21
1.5.1 网络元件的电压降落	21
1.5.2 电压降落公式的分析	23
1.6 开式电力网的潮流计算	24
1.6.1 开式电力网潮流计算的特点	24
1.6.2 开式电力网潮流计算的基本方法（前推后推法）	28
1.7 闭式电力网潮流计算的传统方法	31
1.7.1 闭式电力网潮流计算的基本原理	31

1.7.2 闭式电力网潮流计算的方法	34
1.8 复杂系统潮流计算的一般步骤	38
1.8.1 潮流计算的定解条件	38
1.8.2 潮流计算的约束条件	40
1.9 复杂系统潮流计算机算法流程和比较	41
1.9.1 牛顿法及其流程	41
1.9.2 PQ分解法及其流程	45
1.10 潮流计算中若干问题的解决办法	49
1.10.1 稀疏矩阵表示法	49
1.10.2 高斯消去法	49
1.10.3 节点的优化编号	51
1.10.4 牛顿—拉夫逊法的收敛特性	52
第2章 电力系统短路的计算和分析	54
2.1 短路电流的变化过程	54
2.1.1 短路暂态过程分析	54
2.1.2 短路冲击电流和最大有效值电流	56
2.2 暂态电动势和暂态电抗	58
2.3 短路电流计算的基本假设	59
2.4 三相短路次暂态电流的计算	59
2.4.1 绘制等效网络	59
2.4.2 短路电流的计算	64
2.5 对称分量法的基本原理	68
2.6 电力系统元件的序阻抗	69
2.6.1 同步发电机	72
2.6.2 变压器	74
2.6.3 负荷	81
2.6.4 输电线路	82
2.6.5 电抗器	90
2.6.6 电缆	90
2.7 电力系统各序网络的建立	90
2.7.1 应用对称分量法分析不对称短路	90
2.7.2 序网的建立	93
2.8 简单不对称短路故障的分析和计算	95
2.8.1 单相接地短路	96
2.8.2 两相短路	97
2.8.3 两相接地短路	98
2.8.4 正序等效定则	99

第3章 电力系统安全稳定分析	103
3.1 电力系统稳定性的定义及分类	103
3.1.1 发电机同步运行的稳定性问题	103
3.1.2 电力系统无功功率不足引起的电压稳定性问题	104
3.1.3 电力系统有功功率不足引起的频率稳定性问题	104
3.2 发电机转子运动方程和功率特性	104
3.2.1 发电机转子运动方程	104
3.2.2 发电机的功率特性和功率方程	105
3.3 电力系统的静态安全分析	106
3.3.1 静态安全分析的第一个内容	106
3.3.2 静态安全分析的第二个内容	107
3.4 静态稳定计算分析	109
3.4.1 单机无穷大系统的功角静态稳定	110
3.4.2 单负荷无穷大系统的电压静态稳定	112
3.4.3 多机系统静态稳定性分析	113
3.4.4 提高静态非周期稳定性的控制措施	114
3.5 暂态稳定计算分析	116
3.5.1 时域仿真法	117
3.5.2 直接法	121
3.5.3 提高暂态稳定性的控制措施	122
3.6 电压稳定计算分析	124
3.6.1 电压稳定的概念与分类	124
3.6.2 简单电力系统的电压稳定	125
3.6.3 多机复杂系统的电压稳定	127
3.7 电力系统动态稳定分析	129
3.7.1 单机无穷大系统的线性化模型	130
3.7.2 多机系统的线性化模型	132
3.7.3 多机系统的特征分析法	133
3.7.4 电力系统低频振荡	134
3.7.5 励磁系统对低频振荡的影响	137
3.7.6 低频振荡及抑制措施	138
第4章 同步发电机的物理特性及实际运行	140
4.1 同步发电机的物理参数和电磁关系	140
4.1.1 同步发电机的主要参数	140
4.1.2 运行参数不同于额定参数时发电机的运行	140
4.1.3 大型同步发电机参数的特点和发展趋势	143
4.1.4 阻抗增大和时间常数减小对电力系统运行的影响	144

4.2	同步发电机的运行特性	145
4.2.1	同步发电机的正常运行	145
4.2.2	同步发电机的特殊运行方式	149
4.3	同步发电机的并网运行	154
4.3.1	电力系统并列操作的作用	154
4.3.2	电厂的同步点	155
4.3.3	同步发电机并列操作的方法	155
4.3.4	准同步并列条件及分析	156
4.3.5	合闸脉冲命令的发出	158
4.3.6	自动准同步装置的功能	158
4.4	同步发电机的非正常运行方式	158
4.4.1	发电机的容许过负荷	158
4.4.2	异步运行	158
4.4.3	发电机的不对称运行	160
4.5	同步发电机运行时的振荡问题	161
4.5.1	扭动稳定	161
4.5.2	次同步谐振	162
4.5.3	轴系扭振在线监测	165
第5章	变压器的运行	166
5.1	变压器的工作原理和基本结构	166
5.1.1	变压器的工作原理	166
5.1.2	变压器的基本结构	167
5.1.3	变压器的分类	169
5.2	变压器的运行	170
5.2.1	变压器的等效电路	170
5.2.2	变压器的空载运行	171
5.2.3	变压器的负载运行	171
5.3	变压器的试验	173
5.3.1	出厂试验	173
5.3.2	交接试验	174
5.3.3	预防性试验	174
5.4	变压器的新技术	174
5.4.1	特高压变压器	174
5.4.2	特高压变压器基本结构	175
5.4.3	特高压变压器选型	177
5.4.4	特高压变压器的绝缘	181
第6章	交流高压开关的运行	186

6.1	交流高压开关概述	186
6.2	交流高压开关中电弧的熄灭过程	186
6.2.1	交流电弧的形成和特点	186
6.2.2	交流电弧的熄灭条件	189
6.2.3	介质强度的恢复过程	189
6.2.4	电压的恢复过程	190
6.3	交流高压开关在正常工作下的工作状态	191
6.3.1	接触电阻	191
6.3.2	三相同步	192
6.4	交流高压开关在短路情况下的工作状态	192
6.4.1	开断能力	193
6.4.2	电动稳定性	193
6.4.3	热稳定性	193
6.4.4	闭合能力	194
6.5	交流高压开关在开断短路电流情况下的工作状态	194
6.5.1	断路器开断短路电流的物理过程	194
6.5.2	直流分量对开断能力的影响	198
6.5.3	短路形式对开断能力的影响	199
6.6	交流高压开关近区故障、发展性故障情况下的工作状态	200
6.6.1	近区故障	200
6.6.2	发展性故障	203
6.7	交流高压开关的重合闸性能	204
6.7.1	自动重合闸的术语	204
6.7.2	单相和三相自动重合闸	205
6.7.3	开关的自动重合闸性能	206
6.8	电力系统主要应用的交流高压开关运行与维护	207
6.8.1	断路器运行维护的一般要求	207
6.8.2	少油断路器的运行与维护	208
6.8.3	真空断路器的运行与维护	210
6.8.4	六氟化硫断路器的运行与维护	214
第7章	消弧线圈的运行	216
7.1	中性点绝缘系统单相接地故障	216
7.1.1	中性点绝缘系统单相接地故障的对称分量法	216
7.1.2	各序网络图以及复合序网络图	218
7.1.3	故障电流及电压计算	219
7.1.4	电容电流的计算	221
7.2	中性点绝缘系统的中性点位移电压	222

7.2.1	正常运行时的中性点位移电压	222
7.2.2	电网的不对称度	223
7.2.3	故障情况下的中性点位移电压	224
7.3	消弧线圈的结构及其调谐方式	225
7.3.1	消弧线圈的作用	225
7.3.2	消弧线圈的主要类型	225
7.3.3	消弧线圈的发展现状	226
7.3.4	消弧线圈的调谐控制方式	227
7.4	谐振接地系统接地电容电流的检测	228
7.4.1	直接测量法	229
7.4.2	间接测量法	230
7.5	消弧线圈接地系统的谐振过电压	235
7.5.1	消弧线圈接地系统正常运行时的情况	235
7.5.2	消弧线圈接地系统故障时的情况	236
7.6	消弧线圈的整定原则、容量和安装地点的选择	237
7.6.1	整定原则	237
7.6.2	消弧线圈的容量	238
7.6.3	消弧线圈的安装地点	238
第8章	电力系统的内部过电压	240
8.1	电力系统内部过电压的主要形式和产生原因	240
8.2	工频过电压	240
8.2.1	突然甩负荷引起的工频电压升高	241
8.2.2	空载线路末端的电压升高	243
8.2.3	非对称短路时的电压升高	249
8.2.4	电力系统故障恢复过程中的过电压控制	251
8.3	操作过电压	254
8.3.1	切除空载线路时的过电压	254
8.3.2	切除空载变压器引起的过电压	256
8.3.3	操作过电压的计算	259
8.4	弧光接地过电压	260
8.4.1	弧光接地过电压的产生机理	261
8.4.2	弧光接地过电压对电力系统的影响	261
8.5	铁磁谐振过电压	265
8.5.1	铁磁谐振过电压的机理	265
8.5.2	中性点接地方式以及电容改变对铁磁谐振过电压的影响	268
8.5.3	电力系统中高频和分频铁磁谐振	269
8.5.4	电磁式电压互感器引起谐振过电压	272

8.5.5 参数谐振	277
第9章 电力系统的不对称运行及计算	279
9.1 电力系统不对称运行概述	279
9.1.1 电力系统不对称运行概述	279
9.1.2 电网不对称运行的影响	281
9.2 简单不对称电路计算	281
9.3 不平衡的潮流计算	285
9.3.1 系统各元件的数学模型	285
9.3.2 三相潮流计算的数学模型	290
9.4 非全相运行的计算	293
9.4.1 一相断开	295
9.4.2 两相断开	296
9.5 电气化铁路负序的分析计算	298
9.5.1 负序电流	298
9.5.2 正序功率和负序功率	299
9.5.3 牵引变电所负荷的负序容量	300
9.5.4 应用分配系数检查电力系统负序容量	301
第10章 电力系统继电保护	304
10.1 继电保护的基本要求和基本内容	304
10.1.1 继电保护的基本要求	304
10.1.2 继电保护的基本内容	305
10.2 微机保护的软硬件	306
10.2.1 微机保护装置的硬件结构	306
10.2.2 微机保护软件系统配置	311
10.2.3 微机型继电保护的特点	313
10.3 微机线路保护	314
10.3.1 微机距离保护	314
10.3.2 微机零序保护	321
10.3.3 微机高频保护	327
10.3.4 微机重合闸	334
10.4 母线及失灵保护	338
10.4.1 母线保护	338
10.4.2 断路器失灵保护	339
10.5 电力变压器保护	339
10.5.1 变压器的故障和不正常工作情况	340
10.5.2 变压器的差动保护	340
10.5.3 变压器的接地保护	342

10.5.4 变压器瓦斯保护	342
10.5.5 变压器相间短路的后备保护	342
10.6 同步发电机的保护	342
10.6.1 同步发电机的故障及不正常工作情况	342
10.6.2 同步发电机的纵差动保护	343
10.6.3 同步发电机的匝间短路保护	344
10.6.4 同步发电机定子绕组的单相接地保护	345
10.6.5 同步发电机相间短路的后备保护	347
参考文献	349

下 册

第 11 章 电力系统的频率及其调整	355
11.1 电力系统的频率特性	355
11.1.1 电力系统负荷频率的静态特性	355
11.1.2 电力系统发电机频率的静态特性	356
11.2 电力系统的频率调整	359
11.2.1 频率的一次调整	359
11.2.2 频率的二次调整	361
11.2.3 互联系统的频率调整	362
11.2.4 频率调整厂的选择	365
11.3 电液机组一次调频的实现	366
11.3.1 一次调频的国内外发展状况	366
11.3.2 发电机组的调频特性	367
11.3.3 发电机组一次调频功能的实现	368
11.4 黑龙江省一次调频功能的开展和实现	370
11.4.1 试验目的	371
11.4.2 试验依据	371
11.4.3 发电机组参与一次调频的技术要求	371
11.4.4 试验对象与范围	372
11.4.5 试验项目	373
11.4.6 试验应具备的条件	373
11.4.7 试验记录的数据	373
11.4.8 试验内容	373
11.4.9 试验过程中发现的问题及建议	374
第 12 章 电压及其调整	375
12.1 电压质量与无功控制	375
12.1.1 电压质量对负荷和电网的影响	375

12.1.2	无功控制与有功控制的差别	375
12.2	电力系统无功平衡原则及方法	376
12.2.1	无功功率电源	376
12.2.2	无功负荷与电网无功损耗	377
12.2.3	无功功率平衡原则及方法	378
12.3	电力系统的无功电压调整与控制	379
12.3.1	无功功率对电压水平的决定性影响	379
12.3.2	中枢点电压管理	379
12.3.3	无功电压调整与控制的主要任务	380
12.3.4	无功电压调整的设计原则	381
12.3.5	无功电压的调整手段	381
12.3.6	无功与电压的分层分区自动控制	381
12.4	电力系统的无功补偿设备	382
12.4.1	SVC 的类型	383
12.4.2	SVC 的特性	383
12.5	电压质量要求	385
12.5.1	电压标准	385
12.5.2	电压损耗	386
12.6	无功电压调整手段	387
12.6.1	发电机调压	387
12.6.2	变压器调压	388
12.6.3	同步调相机调压	389
12.6.4	静止补偿器调压	389
12.6.5	改变电力网的参数	393
12.7	无功与电压最优控制	394
12.7.1	等网损微增率准则	395
12.7.2	灵敏度分析	396
12.7.3	无功与电压最优控制的数学模型	397
12.8	无功电压管理原则及方法	398
12.8.1	无功电压管理原则	398
12.8.2	无功电压管理方法	398
12.8.3	利用无功补偿设备调整电压	398
12.8.4	利用线路充电功率调整电压	399
12.8.5	利用变压器电压分接头挡位调整电压	399
12.8.6	改变运行方式	399
12.9	自动电压控制 (AVC)	399
12.9.1	国内外研究现状	400
12.9.2	省网 AVC 效益分析	402

12.9.3	省网 AVC 系统的实现方式	403
12.9.4	区域电网内各省网自动电压控制系统间的协调	405
第 13 章	变电站综合自动化系统	408
13.1	变电站自动化系统研究内容	408
13.2	变电站自动化系统的特点和优点	409
13.3	变电站自动化系统的结构和配置	410
13.3.1	变电站分类	410
13.3.2	体系结构	411
13.3.3	变电站无人值班自动化系统配置模式	412
13.4	变电站自动化系统的基本功能	415
13.4.1	监控子系统的功能	415
13.4.2	微机保护子系统	419
13.4.3	变电站综合自动化系统的通信任务	421
13.5	变电站自动化系统的设计原则和要求	421
13.6	新建变电站自动化系统的设计	423
13.6.1	变电站自动化系统子系统设计	423
13.6.2	系统结构	428
13.7	老变电站改造自动化系统的设计	429
13.7.1	老变电站改造的两种主要方式	429
13.7.2	在老变电站改造当中主要考虑的问题	429
13.7.3	老变电站在设计遥控回路时的方法	431
13.7.4	系统设计	431
13.8	提高变电站自动化系统可靠性的措施	432
13.8.1	变电站内的电磁兼容	433
13.8.2	变电站抗电磁干扰的措施	436
第 14 章	特高压电网基础	440
14.1	特高压电网概述	440
14.1.1	我国建设特高压电网的必要性	441
14.1.2	特高压电网的经济性分析	443
14.1.3	未来特高压电网的发展计划	444
14.1.4	1000kV 长治—南阳—荆门特高压输电示范工程简介	444
14.2	特高压交、直流输电方式比较	444
14.2.1	特高压交、直流输电方式技术特点	445
14.2.2	特高压交、直流输电方式的稳定性能分析	446
14.3	特高压电网的输电能力	450
14.3.1	特高压电网的稳定性原则	450
14.3.2	特高压输电能力的计算方法	451

14.3.3 超高压和特高压输电能力比较	454
14.4 特高压变电站与特高压电气设备	455
14.4.1 特高压电力变压器与高压并联电抗器	455
14.4.2 特高压开关设备	459
14.4.3 特高压避雷器与套管	459
14.4.4 特高压电压与电流互感器	466
第 15 章 高压直流输电	469
15.1 高压直流输电的发展及特点	469
15.1.1 高压直流输电的历史	469
15.1.2 高压直流输电的现状	472
15.1.3 高压直流输电的特点	474
15.2 直流输电的基本原理	475
15.2.1 高压直流输电的换流原理	475
15.2.2 高压直流系统的构成	479
15.2.3 高压直流系统的主要设备	483
15.2.4 高压直流输电的可靠性指标	485
15.2.5 高压直流输电控制系统基本结构及功能	488
15.3 高压交、直流系统相互作用及分析	490
15.3.1 高压直流输电对运行变压器的影响	490
15.3.2 高压直流输电对系统稳定性的影响	493
15.4 高压直流输电在交流系统控制中的应用	494
15.4.1 系统稳定控制	494
15.4.2 系统频率控制	499
15.4.3 交流电压、无功控制	500
15.4.4 交、直流混联系统运行的稳定问题及解决措施	506
15.5 特高压直流输电	508
15.5.1 特高压直流输电在我国的发展	508
15.5.2 特高压直流输电的主要技术特点和需要研究的关键技术问题	509
15.5.3 特高压直流输电的运行方式	511
15.5.4 特高压直流输电可靠性	511
第 16 章 风电及其他可再生能源	513
16.1 风电的发展	514
16.1.1 世界风电的发展	514
16.1.2 中国风电的发展	516
16.2 风电机组技术	518
16.2.1 风电机组的发展	518
16.2.2 风电机组的基本概念	519