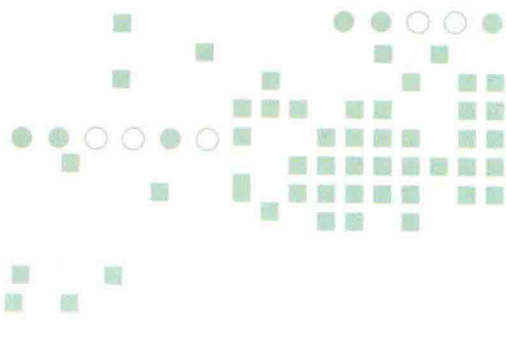
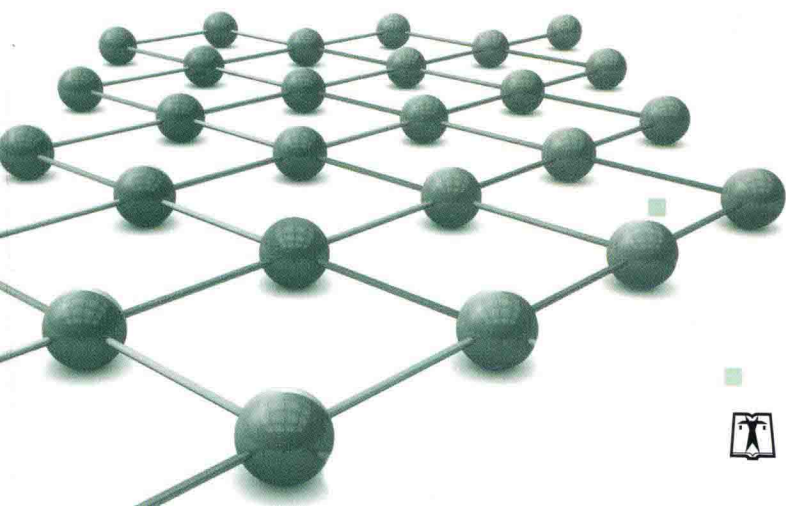


DIANWANG DIAOKONG YUNXING RENYUAN
SHIYONG SHOUCHE (2018BAN)

电网调控运行人员

实用手册 (2018版)

国家电力调度控制中心 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

DIANWANG DIAOKONG YUNXING RENYUAN
SHIYONG SHOUCHE (2018BAN)

电网调控运行人员

实用手册 (2018版)

国家电力调度控制中心 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为满足调度机构调控运行人员培训需要,国家电力调度控制中心编写了《电网调控运行人员实用手册(2018版)》一书。本书内容共分13章,分别为电力系统概述、电网调控运行管理、电网设备监视、电网稳定、电网运行调整、电网倒闸操作、电网故障处理、发电厂运行、交流变电站运行、直流换流站运行、电力市场、电网新技术应用、调控技术支持系统,从发电、输电、配电、用电各环节中调控运行相关知识和业务进行了系统梳理。

本书不仅可供各级调度机构调控运行人员、厂站运行人员培训使用,还可作为电力职业院校及新入职员工的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电网调控运行人员实用手册:2018版/国家电力调度控制中心编.一北京:中国电力出版社,2019.2

ISBN 978-7-5198-2957-5

I. ①电… II. ①国… III. ①电力系统调度—技术培训—手册 IV. ①TM73-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第023089号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:陈 倩(010-63412512)

责任校对:黄 蓓 郝军燕 李 楠

装帧设计:左 铭

责任印制:石 雷

印 刷:三河市万龙印装有限公司

版 次:2019年2月第一版

印 次:2019年2月北京第一次印刷

开 本:787毫米×1092毫米 16开本

印 张:25.75

字 数:603千字

印 数:00001—15000册

定 价:98.00元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题,我社营销中心负责退换

《电网调控运行人员实用手册（2018版）》 编委会

主 任 陈国平

副 主 任 张晓华 朱伟江 舒治淮

委 员 王轶禹 葛 睿 庄 伟 冯长有

编写成员 刘 东 王 震 武 力 陈龙翔 刘 畅
曲 翀 柴润泽 皮俊波 叶 海 雷 鸣
刘 洋 仇晨光 徐奇峰 李 奎 金晓明
徐 昊 姚 光 刘国瑞 王大江 郑 翔
权 隆 崔 岱 万 雄 关 立 王 晶
李增辉 周才期 马 超 姚伟锋 董时萌
牟佳男 王 坤 张 放 暴英凯 唐 磊
刘 赫 韦 尊 崔 达 薛恒宇 王秋楠
王 扬 于松泰 贺启飞

前 言

电网调控运行人员实用手册（2018版）

2013版《电网调控运行人员实用手册》自发行以来，在指导调控运行人员开展实时运行与业务管理方面发挥了重要作用，受到了广泛好评。近几年，随着电网规模及调控业务发展迅速，大运行体系建设不断深化，成果落地不断推进，书中部分内容已不能涵盖电力市场、清洁能源消纳等专业发展新形势、新要求。为适应电网发展需要，更好地指导公司调控系统运行人员业务开展，国家电力调度控制中心组织相关调控分中心、省调开展了《电网调控运行人员实用手册》修编。

本次修订新增电网调控运行管理、电网设备监视、电力市场、电网新技术应用、调控技术支持系统五章，着重突出近几年电网在新技术应用、运行管理及技术支撑等方面的创新性变化，并结合当前电网实际，对其余章节内容做了修订更新。

修订后本书共13章，其中第1章、第12章由华东电力调度控制分中心负责编写，第2章由山东电力调度控制中心负责编写，第3章、第5章由山西电力调度控制中心负责编写，第4章、第10章由江苏电力调度控制中心负责编写，第6章、第11章由辽宁电力调度控制中心负责编写，第7章由河南电力调度控制中心负责编写，第8章、第9章由浙江电力调度控制中心负责编写，第13章由国家电力调度控制中心负责编写。全书由国家电力调度控制中心统稿并审定。

本书可供各级调度控制机构运行人员以及变电站、换流站、发电厂运行人员学习培训使用。

由于条件和水平有限，书中难免存在疏漏，诚望各位专家读者斧正。

编 者

2018年3月

目 录

电网调控运行人员实用手册（2018版）

前言

第 1 章 电力系统概述	1
1.1 电力系统基础	3
1.1.1 电力系统基本概念	3
1.1.2 电力生产主要特点	3
1.2 我国电网发展历程	4
1.2.1 我国早期电网及发展历程	4
1.2.2 特高压交直流联网	5
1.2.3 我国电网现状和特点	7
1.3 我国电网调控发展历程	9
1.3.1 我国早期电网调控及发展历程	9
1.3.2 电网调控管理现状	10
第 2 章 电网调控运行管理	21
2.1 调控运行管理主要内容	23
2.2 实时调控运行管理	24
2.2.1 运行值班岗位设置	24
2.2.2 实时倒闸操作	25
2.2.3 实时运行监视	26
2.2.4 电网故障处置	28
2.2.5 运行后评估	29
2.3 调控运行专业管理	29
2.3.1 安全内控管理	29
2.3.2 在线安全分析	29
2.3.3 日内市场管理	29
2.3.4 调度运行应急管理	30

2.3.5	重大事件汇报	31
2.3.6	统计分析管理	32
2.3.7	持证上岗管理	32
2.4	调控运行相关业务管理	33
2.4.1	调度计划管理	33
2.4.2	电网运行方式管理	34
2.4.3	并网电厂运行管理	35
2.4.4	继电保护和安全自动装置运行管理	35
2.4.5	网络安全管理	36
第3章	电网设备监视	41
3.1	设备集中监视	43
3.1.1	集中监视运行职责	43
3.1.2	集中监视信息及分类	43
3.1.3	集中监视运行管理	43
3.2	设备监视信息处置	45
3.2.1	监视信息分类与处置	45
3.2.2	监视典型异常信号分析处置	46
第4章	电网稳定	63
4.1	电力系统稳定	65
4.1.1	电力系统稳定概念	65
4.1.2	电力系统静态稳定	68
4.1.3	电力系统暂态稳定	68
4.1.4	电力系统动态稳定	70
4.1.5	电网稳定分析	72
4.2	稳定标准	73
4.2.1	我国电力系统稳定行业标准	73
4.2.2	电力系统的静态稳定储备标准	74
4.2.3	电力系统承受大扰动能力的安全稳定标准	74
4.2.4	国外安全稳定标准简介	75
4.2.5	国内外安全稳定标准比较	75
4.3	在线安全分析	75
4.3.1	在线安全分析发展历程	75
4.3.2	在线安全分析技术	78
4.3.3	在线安全分析应用	80
4.4	稳定措施	84
4.4.1	提高电力系统静态稳定的措施	84

4.4.2	提高电力系统暂态稳定的措施	84
4.4.3	提高电力系统动态稳定的措施	85
第5章	电网运行调整	87
5.1	有功及频率调整	89
5.1.1	基础理论	89
5.1.2	频率调整	90
5.1.3	潮流调整	93
5.1.4	负荷及出力调整	94
5.2	无功及电压调整	99
5.2.1	基础理论	99
5.2.2	电压调整原则和方式	100
5.2.3	电压调整方法	101
第6章	电网倒闸操作	103
6.1	倒闸操作概述	105
6.1.1	倒闸操作原则	105
6.1.2	倒闸操作流程	107
6.2	交流电气设备操作	110
6.2.1	母线操作	110
6.2.2	变压器操作	112
6.2.3	断路器操作	115
6.2.4	隔离开关操作	117
6.2.5	补偿装置操作	119
6.2.6	继电保护及安全自动装置操作	122
6.3	直流电气设备操作	125
6.3.1	换流阀顺序控制	125
6.3.2	极顺序控制	126
6.3.3	大地金属回线转换	126
6.3.4	直流极开路试验	127
6.4	电网方式调整操作	128
6.4.1	解、合环操作	128
6.4.2	并、解列操作	130
6.4.3	线路停送电操作	133
6.4.4	新设备启动投运	136
6.5	倒闸操作新模式	139
6.5.1	刀闸远方操作	139
6.5.2	程序化顺控操作	141

6.5.3	停电设备冷备用操作	143
第7章	电网故障处理	145
7.1	故障处理概述	147
7.1.1	事故等级与分类	147
7.1.2	故障处理的基本原则	147
7.1.3	故障处置分工	150
7.2	主要故障处理	151
7.2.1	线路故障及处理原则	151
7.2.2	母线故障及处理原则	155
7.2.3	变压器故障及异常处理	158
7.2.4	断路器及隔离开关故障及处理原则	159
7.2.5	补偿装置故障及处理原则	161
7.2.6	直流输电系统故障及处理原则	162
7.2.7	发电机故障及处理原则	166
7.2.8	发电厂、变电站全停故障处理	167
7.2.9	频率、电压异常处理	168
7.2.10	系统振荡处理	171
7.2.11	电网黑启动	173
7.2.12	自动化通信系统异常处理	174
7.2.13	大面积停电事件及处理原则	176
7.3	故障信息汇报	181
7.3.1	重大事件分类	181
7.3.2	汇报要求	183
第8章	发电厂运行	185
8.1	火力发电厂运行	187
8.1.1	火力发电厂分类	187
8.1.2	燃煤火力发电厂构成	188
8.1.3	燃煤火力发电厂的电能生产过程	191
8.1.4	燃气轮机发电	192
8.2	水电厂运行	193
8.2.1	水电厂类型和构成	193
8.2.2	典型水电厂运行	195
8.2.3	梯级水电厂运行控制介绍	197
8.3	核电站运行	198
8.3.1	核电站类型和构成	198
8.3.2	反应堆运行控制	202

8.3.3	典型核电站运行	203
8.4	风电场运行	204
8.4.1	风电装机情况	204
8.4.2	风机原理及构成	204
8.4.3	风力发电对电网的影响	208
8.5	太阳能发电	210
8.5.1	太阳能发电概况	210
8.5.2	太阳能发电分类及特点	210
8.5.3	太阳能发电对电网运行的影响	211
8.6	储能发电技术	213
8.6.1	抽水蓄能	213
8.6.2	压缩空气储能	215
8.6.3	电化学储能	215
8.6.4	其他储能发电技术	215
8.7	其他能源发电技术	216
8.7.1	潮汐发电	216
8.7.2	地热发电	217
8.7.3	生物质能发电	218
8.8	分布式发电	219
8.8.1	分布式发电概况	219
8.8.2	分布式发电运行	220
第9章	交流变电站运行	225
9.1	运行方式	227
9.1.1	主接线方式	227
9.1.2	变电站运行方式	230
9.2	一次设备	230
9.2.1	线路	230
9.2.2	母线	235
9.2.3	变压器	236
9.2.4	断路器	240
9.2.5	隔离开关	242
9.2.6	GIS/HGIS	244
9.2.7	高压电抗器	246
9.2.8	串联补偿器	247
9.2.9	无功补偿装置	248
9.2.10	互感器	249
9.3	二次设备	251

9.3.1	二次设备概述	251
9.3.2	保护装置	251
9.3.3	安全自动装置	256
9.3.4	自动控制装置	257
9.3.5	其他装置	257
9.4	智能变电站	258
9.4.1	基本概念	258
9.4.2	智能化变电站的体系结构	258
9.4.3	智能化变电站的特点	260
9.4.4	设备功能要求	260
9.4.5	智能变电站应用实例	263
第 10 章	直流换流站运行	265
10.1	换流站运行方式	267
10.1.1	常规换流站运行方式	267
10.1.2	背靠背换流站运行方式	271
10.1.3	特高压直流换流站运行方式	273
10.2	一次设备	277
10.2.1	换流阀	277
10.2.2	换流变压器	280
10.2.3	换流器	285
10.2.4	平波电抗器	286
10.2.5	直流断路器	289
10.2.6	交流滤波器	291
10.2.7	直流滤波器	294
10.2.8	直流线路	296
10.2.9	直流接地极	297
10.3	二次设备	300
10.3.1	直流控制保护基本结构和配置	300
10.3.2	直流控制	302
10.3.3	直流保护	303
10.4	换流阀冷却系统	307
10.4.1	阀内水冷系统	307
10.4.2	阀外水冷系统	308
10.4.3	阀外风冷系统	308
10.4.4	阀水冷系统保护配置	309
第 11 章	电力市场	311
11.1	总体介绍	313

11.2	电能市场	313
11.2.1	中长期电能市场	314
11.2.2	日前电能市场	314
11.2.3	日内、实时电能市场	315
11.3	辅助服务市场	315
11.4	容量市场	315
11.5	金融输电权市场	317
11.6	电力现货市场主要业务环节	317
11.6.1	数据申报	317
11.6.2	市场出清计算与定价	318
11.6.3	安全校核	320
11.6.4	市场结算	320
11.6.5	信息发布	320
11.7	我国电力市场改革历程	321
11.7.1	电改5号文及相关进展	321
11.7.2	电改9号文及相关进展	322
11.8	跨区域省间富余可再生能源电力现货市场实践	324
11.8.1	市场总体架构	324
11.8.2	市场流程	326
11.8.3	交易执行和偏差调整	327
11.8.4	交易结算	329
11.9	东北电网电力调峰辅助服务市场	329
11.9.1	市场规则	329
11.9.2	东北电网调峰辅助服务市场运行效果	333
第12章	电网新技术应用	335
12.1	柔性直流输电技术	337
12.1.1	柔性直流输电的工作原理	337
12.1.2	柔性直流输电的特点	339
12.1.3	柔性直流输电的主要设备	341
12.1.4	柔性直流输电工程介绍	342
12.2	灵活交流输电技术	345
12.2.1	FACTS技术及其发展	345
12.2.2	故障电流限制器 FCL	350
12.2.3	统一潮流控制器 UPFC	353
12.3	新一代调相机	357
12.3.1	调相机发展历程	357
12.3.2	新一代调相机介绍	358

12.3.3	主要性能参数及技术特点	360
12.3.4	与静止型无功补偿装置对比	361
12.3.5	新一代调相机运行特性	361
12.3.6	主要应用	362
12.4	系统保护	362
12.4.1	系统保护建设背景	363
12.4.2	系统保护技术方案	364
12.4.3	华东电网频率紧急协调控制系统	366
第 13 章	调控技术支持系统	369
13.1	智能电网调度控制系统概述	371
13.1.1	调度自动化发展历程	371
13.1.2	D5000 系统	372
13.2	特高压电网一体化管控功能	373
13.2.1	基本概况	373
13.2.2	国分省协同监视	374
13.2.3	综合智能告警信息广域共享	374
13.2.4	电子预案及故障后三屏推送	375
13.2.5	特高压直流运行风险评估	376
13.3	电网实时平衡能力监视功能	376
13.3.1	简介	376
13.3.2	国调监视相关内容	377
13.3.3	分中心监视相关内容	378
13.3.4	省调监视相关内容	379
13.4	调控人员仿真培训功能	379
13.4.1	DTS 基本概念	379
13.4.2	DTS 用途	380
13.4.3	DTS 的培训方式	381
13.5	主网运行协同管理功能	382
13.5.1	基本概况	382
13.5.2	总体框架	382
13.5.3	线路外部运行环境监测功能	383
13.5.4	规范化调控日志	385
13.5.5	信息共享及历史信息查询	386
附录 A	电网主要设备常用名称	387
	参考文献	394

电网调控运行人员实用手册（2018版）

第1章

电力系统概述



1.1 电力系统基础

1.1.1 电力系统基本概念

电力系统指由生产、变换、输送、分配、消费电能的发电机、变压器、电力线路和各种用电设备（一次设备）以及测量、保护、控制等智能装置（二次设备）组成的统一整体。发电机把其他形式能量（包括机械能、太阳能、风能等）转化为电能，电能经变压器和电力线路输送并分配到用户，再经电动机、电炉、电灯、电化工业设备、变频设备等将电能转化为机械能、热能和光能等其他形式能量，表 1-1、图 1-1 分别给出了各部分定义及相互关系。

表 1-1 电力系统基本概念简介

名称	定义
动力系统	电力系统和发电厂动力部分的总和。其中，动力部分，包括火电厂的锅炉、汽轮机；水电站的水库、水轮机等；核电厂的核反应堆、风电场的风机、光伏电站的光伏元件等
电源	电源是提供电能的装置。因为它可以将其他形式的能转换成电能，所以我们把这种提供电能的装置叫作电源
电力网	电力系统中输送、变换和分配电能的那一部分称为电力网络，简称电网。电力网是电力系统的一个组成部分，包括输电网和配电网

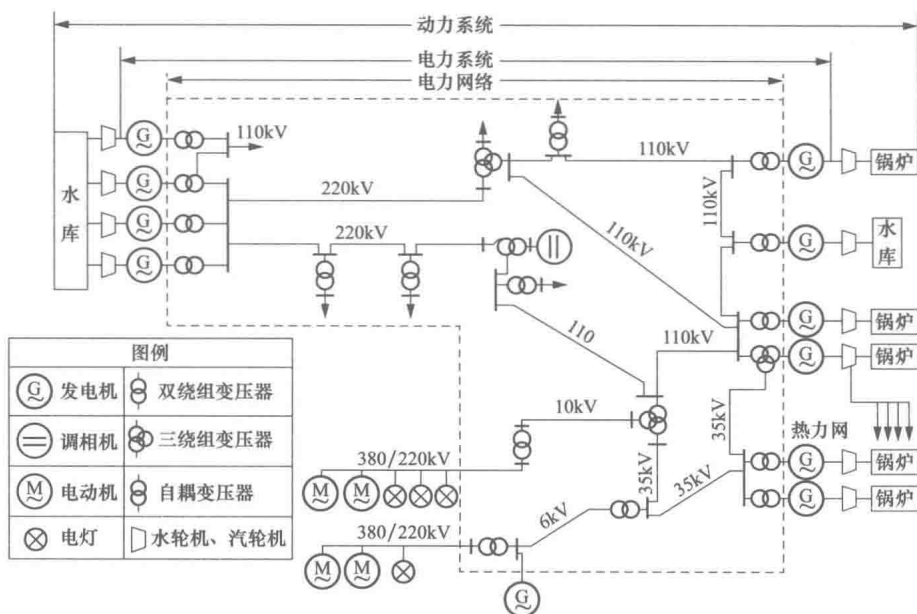


图 1-1 动力系统、电力系统、电力网络示意图

1.1.2 电力生产主要特点

电力工业生产过程由于其自身独有的同时性、整体性、快速性、连续性、实时性特性，使得它与其他工业有很大的差别，主要特点见表 1-2。

表 1-2 电力生产主要特点

特点	含义
同时性	发电、输电、配电、用电同时完成, 电能不能大量储存, 一般必须用多少, 发多少
整体性	发电厂、变压器、高压输电线路、配电线路和用电设备在电网中形成一个不可分割的整体, 缺少任一环节, 电力生产都不可能完成; 相反, 任何设备脱离电网都将失去意义
快速性	电能输送过程迅速, 其传输速度与光速相同, 发、供、用都是在一瞬间实现
连续性	电能质量需要实时、连续的监视与调整
实时性	电网事故发展迅速, 涉及面大, 需要实时安全监视调整和控制

1.2 我国电网发展历程

1.2.1 我国早期电网及发展历程

我国电力系统是随着电力工业的发展而逐步形成的, 建国以后随着国民经济的迅速发展, 逐步形成以大型发电厂和中心城市为核心, 以不同电压等级的输电线路为网架的各大区、省级和地区的电力系统, 表 1-3 给出了我国电网发展标志性事件。

表 1-3 我国电网发展标志性事件

时间节点	电网典型事件和电网发展情况
1949 年前	1949 年, 全国发电装机容量为 184.6 万 kW, 年发电量约 43.1 亿 kWh, 居世界第 25 位。当时中国已形成东北中部电力系统、东北南部电力系统、东北东部电力系统及冀北电力系统等。 1908 年, 建成 22kV 石龙坝水电站—昆明线路。 1921 年, 建成 33kV 石景山电厂—北京城线路。 1933 年, 建成抚顺电厂的 44kV 出线。 1934 年, 建成 66kV 延边—老头沟线路。 1935 年, 建成抚顺电厂—鞍山的 154kV 线路。 1943 年, 建成 110kV 镜泊湖—延边线路, 同年建成水丰水电站至大连的 220kV 输电线路
1952 年	配合官厅水电站, 建设投运 110kV 京官线, 全长 106km, 逐渐形成京津唐 110kV 输电网
1954 年	东北电网 220kV 丰满—李石寨输电线路投运, 以后相继建设辽宁电厂—李石寨、阜新电厂—青堆子等 220kV 线路, 逐步形成东北电网 220kV 骨干网架
1972 年	西北电网 330kV 刘(家峡)天(水)关(中)输变电工程投运, 陕甘电网开始互联, 并逐步形成以 330kV 电网为主网架结构
1981 年	华中电网 500kV 河南平顶山—湖北武汉输变电工程建成投运, 拉开了我国 500kV 电网建设的序幕, 标志着省级电网互联形成大区电网的开始
1989 年	葛洲坝—上海±500kV 直流输电工程的投运, 实现了华中—华东两大电网的互联, 揭开了我国跨大区联网的序幕
2005 年	750kV 官厅—兰州东输变电示范工程正式投产, 西北电网最高电压等级提高为 750kV
2009 年	1000kV 长治—南阳—荆门特高压交流线路建成投运, 标志着我国率先实现了交流特高压技术在电网实际运行中的成功应用
2010 年	±800kV 复龙—奉贤特高压直流输电工程投运, 标志着我国率先掌握了直流特高压输电技术
2015 年	1000kV 圩淮 I 线投产, 平圩电厂 5 号机并网, 标志着世界首台并入特高压电网的百万机组成功投入商业运行

2011 年 11 月, 随着±400kV 柴达木—拉萨拉直流投运, 西藏电网与西北电网互联,