



国家电网  
STATE GRID

# 电网调控运行人员

## 实用手册

国家电力调度控制中心 编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



国家电网  
STATE GRID

电网调控运行人员实用手册



ISBN 978-7-5123-3920-0



9 787512 339200 >

上架建议：电力工程/供用电

定价：88.00 元



国家电网  
STATE GRID

# 电网调控运行人员

## 实用手册

国家电力调度控制中心 编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 图书在版编目 (CIP) 数据

电网调控运行人员实用手册 / 国家电力调度控制中心编. —北京: 中国电力出版社, 2013.2

ISBN 978-7-5123-3920-0

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 (2013) 第 000300 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2013 年 1 月第一版 2013 年 3 月北京第三次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.75 印张 451 千字

印数 14001—23000 册 定价 88.00 元

### 敬告读者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪  
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

# 《电网调控运行人员实用手册》

## 编委会名单

主 任 张智刚  
副 主 任 王玉玲 李 丹  
委 员 陈 刚 董 昱 胡超凡 许 涛 汤晓峥  
葛 睿

编写组组长 董 昱

编写组副组长 胡超凡 许 涛 葛 睿

成 员 严 宇 冯长有 郑晓雨 韩鹏飞 梁明亮  
孙骁强 李 杰 陈大军 游大宁 陈 浩  
金晓明 耿 林 周 鑫 李晓松 鲁 鹏  
刘 军 葛亚明 杨梓俊 贺鹏程 袁贵川  
杨 洋 郑继红 造 颖 梁晓赫 石 千  
陈春萌

# 序言

近年来，国家电网公司特高压工作在战略制定、电网规划、工程建设、电网运行等方面取得了重大进展和实质性突破，电网进入了特高压全面推进、特大型交直流混联电网加快发展的新时期。未来十年，特高压电网进入大规模建设时期，电网特征、运行特性都将发生重大变化：电网侧网架结构复杂，多种稳定约束并存；发电侧新能源的间歇性，用电侧分布式电源、微电网的出现，加剧了电网运行潮流变化的时变性和复杂性；交直流混联和电力电子设备广泛应用，电磁暂态与机电暂态交织，系统特性日益复杂，电网运行控制难度加大。

作为保障电网安全运行的最后一道关口，电网调控运行人员的总体素质直接关系到保障大电网安全的各项措施能否真正落实到位。如何更好地适应电网发展、装备升级和业务转型的要求，进一步建设高素质的调控运行队伍，切实增强驾驭大电网运行能力，是当前和今后一个时期摆在我们面前的重要任务。

为适应新形势的要求，完善与“大运行”体系相适应的调控人员专业培训体系，国家电力调度控制中心组织有关调控分中心和省（市）调，编写了《电网调控运行人员实用手册》。本书瞄准“大运行”体系建设全面实施的新形势，结合调度控制专业岗位设置转型，紧扣提高专业技术业务能力和综合业务素质的要求，内容包括电力系统概述、发电厂运行、交流变电站运行、直流换流站运行、运行监视、电网稳定、电网调整、倒闸操作、电网故障处理共九章，涵盖了当前调度控制运行人员工作涉及的主要方面，同时新增了设备监控、智能变电站、在线安全稳定分析等相关内容。

作为今后公司调控运行人员的统一培训手册，全书理论联系实际，循序渐进地讲解了电力系统运行中的重点与难点，突出了电网调控人员应当掌握的基础知识和规程规定，具有较强的针对性和指导性。各单位在本书编写过程中本着高度负责的态度，坚持认真细致的工作，历时近一年的时间，广泛征求有关专家和调控运行专业人员的意见，经过三次全面修编和多次审核，才最终完成。

《电网调控运行人员实用手册》的出版有助于各级调控人员把握电网特性、优化调度运行工作，有助于推进新形势下电网调度控制专业管理和学习培训工作，有助于促进一线运行人员综合素质的全面提升，从而为保障国家电网安全稳定运行作出贡献。

张智刚  
2012年12月

# 前言

随着国家电网公司特高压电网的发展和“大运行”体系建设的深入推进，电网调度控制专业正处于发展和转型的关键时期，各级调度机构调控运行人员必须紧密结合电力工业新技术的发展，不断提升自身业务水平，切实提高驾驭大电网安全运行的能力。

为满足调度机构调控运行人员培训的需要，国家电力调度控制中心组织有关调控分中心和省（市）调编制了《电网调控运行人员实用手册》。本书从发电、输电、配电、用电各环节中可能对调度产生的影响进行了系统梳理，涵盖了电网调控运行管理、交直流设备运行与监视、电网稳定与调节、倒闸操作及事故处理等内容，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。

本书共包含九章，其中第1章电力系统概述，由国调中心和江苏省调负责编写；第2章发电厂运行部分，由青海省调和西北电力调控分中心负责编写；第3章交流变电站运行部分，由河北省调负责编写；第4章直流换流站运行部分，由西北电力调控分中心负责编写；第5章运行监视，由重庆市调负责编写；第6章电网稳定，由江苏省调负责编写；第7章电网调整，由湖南省调负责编写；第8章倒闸操作，由四川省调负责编写；第9章电网故障处理，由华北电力调控分中心负责编写。全书由国调中心担任主审，北京市调、山东省调、辽宁省调参审。

本手册的编写工作得到华东、华中、东北电力调控分中心和山西、上海、陕西省（市）调等单位的大力支持，对此表示衷心的感谢。

由于时间和水平所限，书中难免出现疏漏之处，恳请各位专家和读者批评指正。

编者  
2012年12月

# 目 录

序言  
前言

## 第1章 电力系统概述

1.1 电力系统基础	2
1.1.1 电力系统基本概念	2
1.1.2 电力生产主要特点	2
1.2 我国电力发展历程	3
1.2.1 我国早期电网及发展历程	3
1.2.2 特高压交直流联网	4
1.2.3 我国电网现状和特点	6
1.3 电网调控管理	7
1.3.1 设备监控管理	7
1.3.2 电网调度管理	12
1.3.3 电网调度管理主要工作及规程规定	16

## 第2章 发电厂运行

2.1 热力发电厂运行	20
2.1.1 热力发电厂分类	20
2.1.2 燃煤火电发电厂构成	20
2.1.3 燃煤火力发电厂的电能生产过程	26
2.1.4 循环流化床锅炉	26
2.1.5 燃气轮机发电	28
2.2 水力发电厂运行	29
2.2.1 水力发电厂类型和构成	29
2.2.2 抽水蓄能电站	32
2.2.3 梯级水电厂运行控制介绍	34
2.3 核电站运行	36
2.3.1 核电站类型和构成	36



2.3.2	反应堆运行控制	39
2.3.3	典型核电站运行	43
<b>2.4</b>	<b>风电场运行</b>	<b>45</b>
2.4.1	风力发电概况	45
2.4.2	风力发电运行控制	50
2.4.3	典型风电场结构及运行	51
<b>2.5</b>	<b>新能源发电技术</b>	<b>55</b>
2.5.1	太阳能发电	55
2.5.2	潮汐发电	57
2.5.3	地热发电	59
2.5.4	生物质能发电	60

### 第3章 交流变电站运行

<b>3.1</b>	<b>运行方式</b>	<b>64</b>
3.1.1	主接线方式	64
3.1.2	变电站运行方式	67
<b>3.2</b>	<b>一次设备</b>	<b>67</b>
3.2.1	一次设备概述	67
3.2.2	线路	68
3.2.3	母线	73
3.2.4	变压器	74
3.2.5	断路器	79
3.2.6	隔离开关	83
3.2.7	GIS/HGIS 简介	86
3.2.8	高压电抗器	89
3.2.9	串联补偿器	92
3.2.10	无功补偿装置	93
3.2.11	互感器	97
<b>3.3</b>	<b>二次设备</b>	<b>101</b>
3.3.1	二次设备概述	101
3.3.2	保护装置	102
3.3.3	安全自动装置	107
3.3.4	自动控制装置	108
3.3.5	其他装置	108
<b>3.4</b>	<b>智能变电站</b>	<b>109</b>
3.4.1	概述	109
3.4.2	设备功能要求	110
3.4.3	智能变电站应用实例	111

## 第4章 直流换流站运行

4.1	换流站运行方式	116
4.1.1	常规换流站运行方式	116
4.1.2	背靠背换流站运行方式	119
4.1.3	特高压直流换流站运行方式	121
4.2	一次设备	124
4.2.1	换流阀	124
4.2.2	换流变压器	128
4.2.3	换流器	134
4.2.4	平波电抗器	136
4.2.5	直流断路器	140
4.2.6	交流滤波器	142
4.2.7	直流滤波器	144
4.2.8	直流线路	146
4.2.9	直流接地极	147
4.3	二次设备	150
4.3.1	直流控制保护基本结构和配置	150
4.3.2	直流控制	152
4.3.3	直流保护	154
4.4	辅助系统	157
4.4.1	换流阀冷却系统	157
4.4.2	阀厅空调系统	160

## 第5章 运行监视

5.1	电气系统运行监视	164
5.1.1	电网运行监视的原则和基本要求	164
5.1.2	设备运行监视的原则和基本要求	164
5.1.3	集中监视与厂站配合	168
5.1.4	运行监视的主要指标	170
5.2	设备运行监视	171
5.2.1	变压器(含换流变压器、平波电抗器)	171
5.2.2	断路器(GIS)	175
5.2.3	隔离开关	176
5.2.4	高压电抗器	177
5.2.5	串联补偿器	180
5.2.6	低压无功补偿装置	181

5.2.7	交直流滤波器	182
5.2.8	电流互感器	182
5.2.9	电压互感器	183
5.2.10	站用电系统	185
5.2.11	换流阀水冷系统	186
5.2.12	换流阀厅空调系统	187

## 第6章 电网稳定

6.1	电力系统稳定	190
6.1.1	电力系统稳定概念	190
6.1.2	电力系统静态稳定	193
6.1.3	电力系统暂态稳定	194
6.1.4	电力系统动态稳定	196
6.2	稳定导则	198
6.2.1	电力系统安全稳定导则	198
6.2.2	电力系统的静态稳定储备标准	199
6.2.3	电力系统承受大扰动能力的安全稳定标准	199
6.2.4	国外安全稳定标准简介	200
6.2.5	国内外安全稳定标准比较	200
6.3	稳定分析	200
6.3.1	电网稳定分析的发展历程	200
6.3.2	电网稳定分析方法和分析软件简介	201
6.3.3	在线安全稳定分析	202
6.4	稳定措施	204
6.4.1	提高电力系统静态稳定的措施	204
6.4.2	提高电力系统暂态稳定的措施	204
6.4.3	提高电力系统动态稳定的措施	205

## 第7章 电网调整

7.1	有功及频率调整	208
7.1.1	基础理论	208
7.1.2	频率调整	209
7.1.3	潮流调整	212
7.1.4	负荷及出力调整	214
7.2	无功及电压调整	219
7.2.1	基础理论	219
7.2.2	电压调整原则和方式	219

7.2.3 电压调整方法.....221

第8章 倒闸操作

**8.1 倒闸操作概述** ..... 226

8.1.1 倒闸操作原则..... 226

8.1.2 倒闸操作流程..... 227

**8.2 电气设备操作** ..... 230

8.2.1 母线操作..... 230

8.2.2 变压器操作..... 232

8.2.3 断路器操作..... 234

8.2.4 隔离开关操作..... 236

8.2.5 补偿装置操作..... 237

8.2.6 继电保护及安全自动装置操作..... 240

**8.3 电网方式调整操作**..... 242

8.3.1 解、合环操作..... 242

8.3.2 并、解列操作..... 244

8.3.3 线路停送电操作..... 247

8.3.4 新设备启动投运..... 250

8.3.5 直流系统操作..... 257

第9章 电网故障处理

**9.1 故障处理概述** ..... 262

9.1.1 事故等级与分类..... 262

9.1.2 故障处理的基本原则..... 262

**9.2 主要故障处理** ..... 265

9.2.1 线路故障及处理原则..... 265

9.2.2 母线故障及处理原则..... 268

9.2.3 变压器故障及异常处理..... 270

9.2.4 断路器和隔离开关故障及处理原则..... 272

9.2.5 补偿装置故障及处理原则..... 273

9.2.6 发电机故障及处理原则..... 274

9.2.7 发电厂、变电站全停故障处理..... 276

9.2.8 频率、电压异常处理..... 277

9.2.9 系统振荡处理..... 280

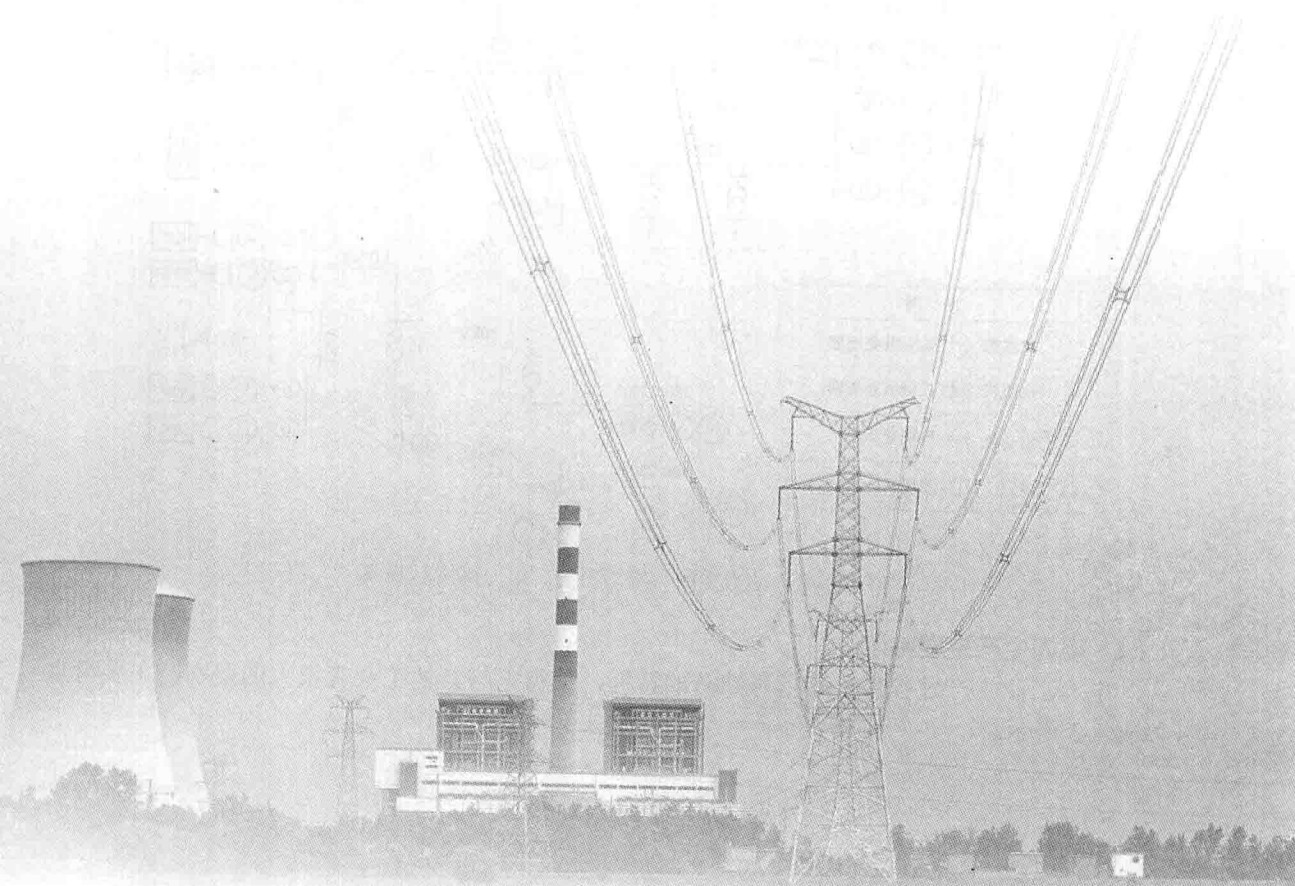
9.2.10 电网黑启动..... 282

9.2.11 自动化通信系统异常处理..... 283

参考文献.....285

# 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，在那里经电动机、电炉、电灯、电化工业设备、变频设备等设备又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做电源
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

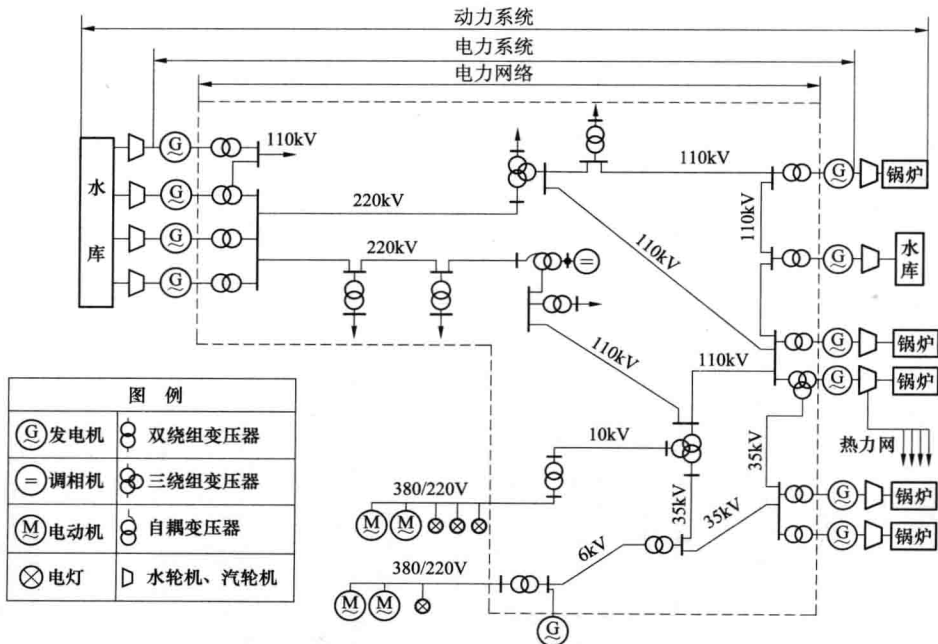


图 1-1 动力系统、电力系统、电力网络示意图

## 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特性，使得它与其他工业有很大的差别，主要特点如表 1-2 所示。

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	电网事故发生迅速，涉及面广，需要实时安全监视调整和控制

## 1.2 我国电力发展历程

### 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骨架的各大区、省级和地区的电力系统，表 1-3 给出了我国电网发展史中典型事件，图 1-2 给出了交直流不同电压等级线路的投运时间。

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系统。 > 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，也标志着省级电网互联形成大区电网的开始
1989 年	葛洲坝至上海±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 晋东南—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



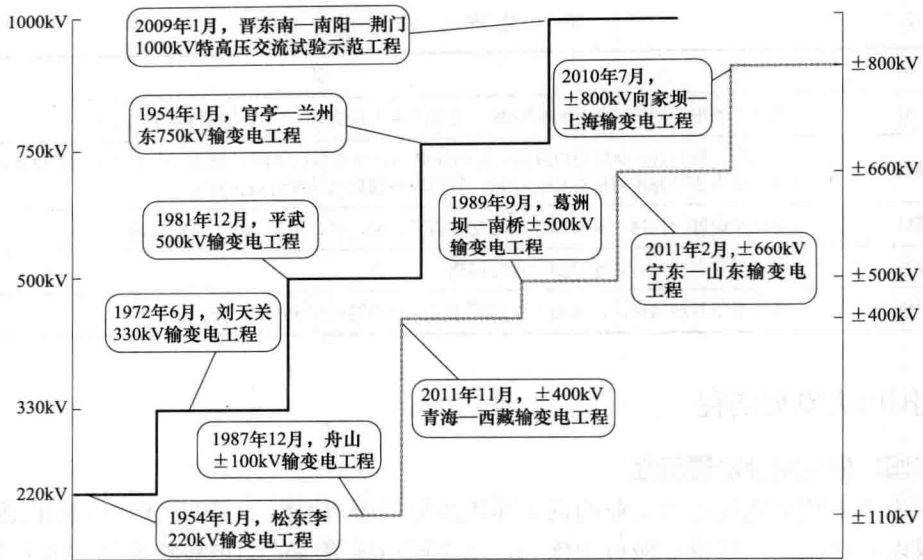


图 1-2 典型电压等级输电线路投运时间

2011年11月，随着±400kV 柴达木—拉萨直流投运，西藏电网与西北电网互联，除台湾地区外实现了全国联网，实现了全国范围内的资源优化配置，表 1-4 给出了我国电网互联情况。

表 1-4 我国电网互联情况

时间节点	互联电网	联网工程
1989年9月	华中电网、华东电网	±500kV 葛洲坝至上海直流
2001年5月	华北电网、东北电网	500kV 高姜线交流
2001年10月	福建电网、华东主网	500kV 宁德—双龙交流线路
2002年5月	川渝电网、华中主网	500kV 三峡—万县交流线路
2005年3月	山东电网、华北主网	500kV 辛安—聊城交流线路
2004年6月	华中电网、南方电网	±500kV 江陵—鹤城直流
2004年9月	华北电网、华中电网	500kV 辛安—获嘉交流线路
2005年6月	西北电网、华中电网	灵宝背靠背直流
2008年11月	东北电网、华北电网	±500kV 高岭背靠背直流
2009年1月	华北电网、华中电网	1000kV 长治—南阳—荆门交流线路
2010年10月	新疆电网、西北主网	750kV 交流线路
2011年11月	西藏电网、西北主网	±400kV 柴达木—拉萨直流
2011年12月	东北电网、俄罗斯电网	±500kV 黑河背靠背直流

### 1.2.2 特高压交直流联网

随着电网发展，500kV 电网的技术性能已不能适应当前电网运行和未来发展需求，为破解电网发展难题，就必须转变电网发展方式，推动输变电技术创新，发展特高压互联电网。



### 1.2.2.1 发展特高压电网的必要性

特高压互联电网符合电网安全稳定工作的基本要求，符合安全发展、科学发展的要求，是我国电力可持续发展的必由之路，是我国电力行业发展的必然选择。

发展特高压电网，一是满足电力持续快速增长的客观需要。随着国民经济的持续快速发展，我国电力需求和电源建设空间巨大，电网面临持续增加输送能力的艰巨任务。

发展特高压电网，二是电源结构调整和优化布局的必然要求。我国能源资源和生产力发展呈逆向分布，西部、北部地区水能、煤炭、风能、太阳能资源比较丰富，东部地区经济发达，是主要的负荷中心，远距离、大容量输电是我国电网发展的必然趋势。未来，我国将形成大规模的“西电东送”、“北电南送”的电力格局，大型煤电基地的外送方向为：蒙西、山西煤电主要送华中和华北，锡盟煤电主要送华北和华东，呼盟、宝清煤电主要送东北和华北，陕西煤电主要送华北和华中，宁夏煤电主要送华北和华东，新疆煤电主要送华中和华东；大型水电基地外送方向为：四川水电主要送华中、华东地区，云南水电主要送广东；大型风电基地外送方向为：西北酒泉、哈密风电基地主要送华中，蒙西、河北风电基地主要送华北、华中、华东，蒙东风电基地主要送东北和华北。

发展特高压电网，三是推动电力技术创新的重大举措，可以使我国电力科技水平再上新台阶，促进输变电装备制造业的产业升级，对于增强我国科技自主创新能力意义重大。

发展特高压电网，四是转变电网发展方式的必然选择。继续发展 500kV 电网难以从根本上解决输电走廊紧张、短路电流超标、确保电网安全稳定运行等问题，难以满足快速增长的电力需求，需要转变电网的发展方式。

发展特高压电网，五是符合党和国家的工作大局。研究开发特高压输电技术与装备列入了国家“十二五”科技发展规划。在中国应对气候变化国家方案中，发展特高压输电技术已作为加大先进适用技术开发和推广力度的重要内容。

### 1.2.2.2 特高压交直流联网介绍

#### (一) 1000kV 特高压交流试验示范工程

2009 年 1 月 6 日，1000kV 晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程正式投入运行，其中南阳站作为开关站运行；2011 年 12 月 16 日扩建工程正式投产（长治、荆门站各扩建一组主变压器，南阳站扩建两组主变压器），达到持续输送 500 万 kW 的设计能力。特高压交流线路全长 640km，采用  $8 \times 500\text{mm}^2$  导线，共有铁塔 1284 基，平均塔高 77m。扩建工程联网示意图如图 1-3 所示。

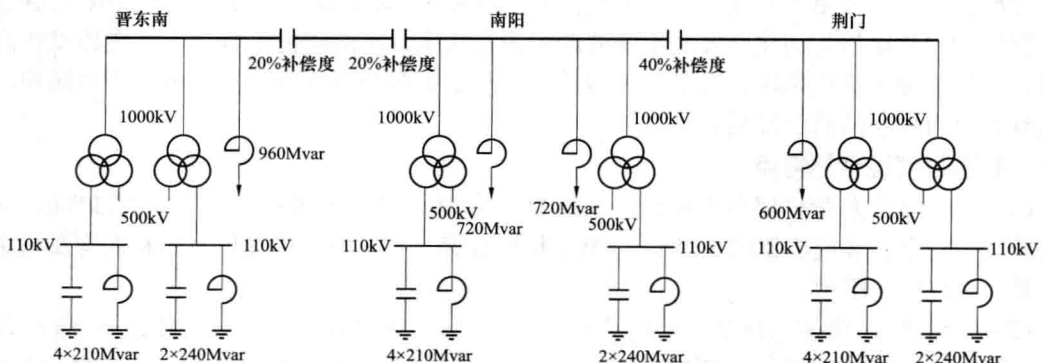


图 1-3 特高压扩建工程联网示意图