

高等学校统编精品规划教材

发电厂电气部分

主 编 姚李孝 朱雪凌
副主编 毛慧和 刘家军 殷 豪



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高等学校统编精品规划教材

发电厂电气部分

主 编 姚李孝 朱雪凌

副主编 毛慧和 刘家军 殷 豪



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书既涉及了电力系统一次系统及其设备的原理、设计和运行等方面的内容，还介绍了电力系统二次保护的相关知识，其内容包括理论知识的讲解，还有一些应用实例，使读者加深理解和易于掌握相关知识。

全书共有十章，主要内容包括：电力系统概述，电力系统短路及其计算，电气主接线及设计，厂用电，载流导体的发热与电动力效应，导体及电气设备的原理与选择，配电装置及电气总布局，防雷与接地，继电保护，发电厂的 control 与信号等。

本书适合作为高等院校电气工程及其自动化专业本科教材，也可作为电力系统工程技术培训教材和参考书，又可作为电力系统专业研究生参考书籍。

图书在版编目（C I P）数据

发电厂电气部分 / 姚李孝, 朱雪凌主编. -- 北京 :
中国水利水电出版社, 2011. 12
高等学校统编精品规划教材
ISBN 978-7-5084-9333-6

I. ①发… II. ①姚… ②朱… III. ①发电厂—电气设备—高等学校—教材②电厂电气系统—高等学校—教材
IV. ①TM62

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第281455号

书 名	高等学校统编精品规划教材 发电厂电气部分
作 者	主编 姚李孝 朱雪凌 副主编 毛慧和 刘家军 殷豪
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 19.25 印张 456 千字
版 次	2011 年 12 月第 1 版 2011 年 12 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	39.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

发电厂是电力系统的重要环节，它直接影响整个电力系统的安全和经济运行，本书主要讲述发电厂的电气部分。在发电厂中，电气一次系统是主干系统，处于关键的地位。

本书的特点是既涉及了一次系统及其设备的原理、设计和运行等方面的内容，还介绍了系统二次保护的相关知识，其内容包括理论知识的讲解，还有一些应用实例，使读者加深理解；有一定的规律性和层次性，从一次到二次，先细节再总体，可以巩固已学知识，加深记忆与理解。

本书共有十章：第一章电力系统概述，主要介绍电力系统的相关基本概念、运行的基本要求、接线方式、电压等级、中性点的运行方式以及我国电力工业概况和发展方向；第二章电力系统短路及其计算，首先介绍电力系统故障分析的基本知识，然后叙述了无限大容量三相短路电流计算及有限容量三相短路电流近似计算的流程；第三章电气主接线及设计，先介绍电气主接线的基本要求和基本形式、主变压器选择的注意事项，然后举例说明电气主接线选择的主要内容；第四章厂用电，讲述了厂用电率、厂用电负荷分类以及对厂用电接线的基本要求和厂用电接线设计原则，还介绍不同类型发电厂的厂用电接线及特点以及厂用变压器和厂用电动机的选择和自启动校验；第五章载流导体的发热与电动力效应，先介绍了电流的热效应和其引发的不良后果，然后介绍了载流体的发热与计算及其电动力效应；第六章导体及电气设备的原理与选择，在介绍了电气设备选择的一般条件以及开关电器中的电弧后，结合不同电气设备的特点及参数，介绍了高压断路器、隔离开关、互感器、熔断器等设备的选择；第七章配电装置及电气总布局，简述了配电装置的安全净距、类型及其设计基本原则、基本要求、基本步骤，继而对屋内、外配电装置布置的特点和原则进行介绍，然后介绍了成套配电装置和发电厂电气设施的总体布局；第八章防雷与接地，主要介绍了雷电的形成及危害、防雷保护措施、接地原理与接地装置，最后对发电厂和变电站的防雷接地进行了讲述；第九章继电保护，主要介绍了常用的系统保护，输电线路的三段

式电流保护、距离保护、全线快速保护，以及母线差动保护、断路器失灵保护、变压器纵差保护和瓦斯保护、发电机纵差保护等；第十章发电厂的控制与信号，主要介绍了发电厂的控制方式、二次回路接线图、电气测量系统、断路器控制系统、操作电源、同期回路、中央信号、发电厂计算及监控系统。

本书由姚李孝、朱雪凌老师主编，并负责全书的修改与统稿工作。华北水电学院朱雪凌老师编写了第一章和第二章，广东工业大学殷豪老师编写了第三章和第七章，西安理工大学姚李孝老师编写了第四章和第八章，武汉大学毛慧和老师编写了第五章和第六章，西安理工大学刘家军老师编写了第九章和第十章。此外，还有西安理工大学的研究生屈小勇、古婷婷、程丹丹、贺明等同学参加了本书中部分图表与文字录入工作，在此一并表示感谢。

为了使本书突出重点，在统稿时对各个章节进行了较多的压缩和修改，书中难免有错误和不足之处，望读者和同仁批评指正。

编 者

2011年8月

目 录

前言

第一章 电力系统概述	1
第一节 电力系统基本概念	1
第二节 电力系统接线方式与电压等级	11
第三节 电力系统中性点的运行方式	16
思考题	22
第二章 电力系统短路及其计算	23
第一节 短路的基本概念	23
第二节 标幺制和网络化简	25
第三节 三相短路电流计算	39
思考题	58
第三章 电气主接线及设计	60
第一节 电气主接线的基本要求	60
第二节 电气主接线的基本形式	62
第三节 主变压器的选择	75
第四节 电气主接线设计程序	78
第五节 电气主接线的典型实例	83
思考题	86
第四章 厂用电	88
第一节 概述	88
第二节 厂用电接线的设计原则和接线形式	89
第三节 厂用变压器	94
第四节 厂用电动机	98
思考题	105
第五章 载流导体的发热与电动力效应	107
第一节 概述	107
第二节 载流体的发热与计算	109
第三节 载流体的电动力效应	117

思考题	119
第六章 导体及电气设备的原理与选择	120
第一节 电气设备选择的一般条件	120
第二节 开关电器中的电弧	123
第三节 高压断路器	128
第四节 隔离开关	144
第五节 互感器	146
第六节 熔断器	159
第七节 绝缘子、母线及电缆	162
思考题	182
第七章 配电装置及电气总布局	184
第一节 概述	184
第二节 屋内配电装置	188
第三节 屋外配电装置	193
第四节 成套配电装置	198
第五节 发电厂电气设施的总体布局	201
思考题	204
第八章 防雷与接地	205
第一节 雷电的形成及危害	205
第二节 防雷保护措施	209
第三节 接地原理与接地装置	217
第四节 发电厂和变电站的防雷接地	220
思考题	221
第九章 继电保护	222
第一节 继电保护基础	222
第二节 输电线路的保护	225
第三节 距离保护	231
第四节 输电线路全线快速保护	235
第五节 母线的保护	239
第六节 断路器失灵保护	241
第七节 变压器的保护	243
第八节 发电机的保护	248
第九节 发电机—变压器组的继电保护	251
思考题	252
第十章 发电厂的控制与信号	253
第一节 发电厂的控制方式	253

第二节	二次回路接线图	255
第三节	电气测量系统	258
第四节	断路器控制系统	265
第五节	操作电源	271
第六节	同期回路	273
第七节	中央信号	282
第八节	发电厂计算机监控系统	287
思考题		294
附录	发电机短路电流运算曲线	295
参考文献		299

电力系统概述

第一节 电力系统基本概念

一、我国电力工业概况及发展趋势

近年来，伴随着中国电力发展步伐不断加快，中国电网也得到迅速发展，电网系统运行电压等级不断提高，网络规模也不断扩大，全国已经形成了东北电网、华北电网、华中电网、华东电网、西北电网和南方电网 6 个跨省（自治区、直辖市）的大型区域电网，并基本形成了完整的长距离输电网网架。国家电网主网架示意图如图 1-1 所示。

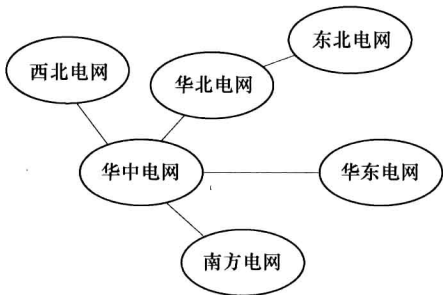


图 1-1 国家电网主网架示意图

近年来，我国加快了特高压电网的建设力度。2006 年，我国首个特高压电网工程——国家电网公司晋东南—南阳—荆门交流特高压试验示范工程在山西长治隆重奠基，这标志着我国百万

伏级电压等级的交流特高压电网工程正式进入建设阶段（2008 年 12 月 30 日完成系统调试投入试运行，2009 年 1 月 6 日 22 时完成 168h 试运行投入商业运行，目前运行情况良好）；2007 年 12 月 21 日，四川—上海±800kV 特高压直流输电示范工程在四川宜宾开工，这是目前规划建设的世界电压等级最高、输送距离最远、容量最大的直流输电工程。四川特高压工程包括三大项目：宜宾向家坝—上海±800kV 特高压直流输电示范工程和锦屏—苏南±800kV 特高压直流输电工程；溪洛渡—浙西±800kV 特高压直流输电工程。其中，向家坝—上海±800kV 特高压直流输电示范工程，是我国自主设计、自主建设的世界上第一个特高压直流工程，目前工程建设正在紧张进行。现主控楼已封顶，防火墙、备班楼已断水，500kV 滤波器支构架已完成，土建工程已经进入尾声，即将开始电气设备的安装，预计于 2010 年双极投运。

2008 年全国基建新增生产能力依然保持较大规模，基建新增发电设备容量 9051 万 kW，其中，水电 2010 万 kW，火电 6575 万 kW，风电 466 万 kW；新增 220kV 及以上输电线路 4.10 万 km，新增 220kV 及以上变电设备容量 23222 万 kVA。

2008年,全国发电生产能力继续提高,电源结构调整力度进一步加大。三峡电站5台机组(350万kW)、广西龙滩水电站(一期)4台机组(280万kW)和云南景洪水电站(一期)3台机组(105万kW)等一批大中型水电机组集中投产,使得水电新增装机规模再创历史新高;截至2008年年底,三峡电站26台机组(总容量1820万kW)、广西龙滩水电站(一期)7台机组(总容量420万kW)均已全部投产;四川锦屏二级、向家坝及云南小湾等水电站相继实现大江截流,全年水电建设取得了历史性辉煌成就。火电建设继续向着大容量、高参数、节水环保型方向发展,上海外高桥电厂2台、江苏泰州电厂1台百万千瓦超超临界机组又相继投运,使得全国在运百万千瓦超超临界机组达到10台,世界首台百万千瓦空冷机组也已经在宁夏开工建设;核电加快了立项核准和建设速度,全年共核准浙江秦山、福建宁德、福建福清及广东阳江共14台核电机组,建设规模1512万kW;风力发电翻倍增长,全年基建新增风电设备容量466万kW。内蒙古自治区继去年风电装机容量突破100万kW后,今年已逼近300万kW。中国国电集团公司风电设备容量突破200万kW。全年又有一批生物质发电厂建成投产。

2008年,全国特高压、超高压电网以及跨区送电规模加快发展。晋东南—荆门1000kV特高压交流试验示范工程试运行;兰州东—白银—宁东750kV输电线路、青海官亭—西宁750kV输变电工程相继投运,标志着西北地区750kV电网建设取得阶段性成果;500kV贵州施秉至广东贤令山输变电工程和500kV文山—大新—南宁输变电工程相继建成投产、500kV“皖电东送”西通道建成投运,以及内蒙古送华北电网的汧海—沽源—平安城500kV输变电工程建成投产,“西电东送”通道建设快速推进;东北—华北直流背靠背联网工程竣工投产、世界首个±660kV西北(宁东)—华北(山东)直流输电示范工程和西北—华中(四川)直流联网工程开工,全国跨区联网建设加快进行。

截至2008年年底,全国发电设备容量79253万kW。其中,水电17152万kW,约占总容量21.64%;火电60132万kW,约占总容量75.87%;风电并网总容量894万kW。全国电网220kV及以上输电线路回路长度36.48万km,220kV及以上变电设备容量138714万kVA。

2008年,全国全口径发电量34334亿kW·h。其中,水电5633亿kW·h,约占全部发电量16.41%;火电27793亿kW·h,约占全部发电量80.95%;核电684亿kW·h,约占全部发电量1.99%,风电128亿kW·h。

2008年,全国电力行业节能减排成效继续显现。经国家能源局核实,全年关停小火电机组容量1669万kW。2008年,全国发电生产耗用原煤13.4亿t,同比增长4.05%;全国6000kW及以上电厂供电标准煤耗为349g/(kW·h),比上年降低7g/(kW·h);全国电网输电线路损失率为6.64%,比上年下降0.33个百分点。

今后,我国电力工业在火电、核电、水电、可再生能源发电以及电网建设等方面的发展方向如下。

(一) 继续优化发展火电

火电包括了煤电、气电、热电联产及分布式电源等。

由我国能源资源赋存决定,以煤为主的能源结构,将维持很长时间,在相当长时间内



我们都将坚持“以电为中心，以煤为基础”这一能源发展的基本思路。因此调整电源结构，一方面要进一步提高电煤在总的煤炭消费中的比重，具体要根据煤炭在我国能源中的消费总量来确定；另一方面要调整煤炭发电的技术结构，以提高能效、降低消耗、减轻排放。具体包括如下几方面：

(1) 要进一步提高大容量、高参数机组的比例。这是提高燃煤机组效率的重要方向之一。对新建大型区域性电厂一般要求采用 60 万 kW 及以上超临界或超超临界机组，然而从稳定运行与电网的适应性来看，对 100 万 kW 级机组容量比例要适当。对大、中、小机组配置要科学合理，要从电力系统总体效率与效益来考量机组容量配置的合理性。

(2) 进一步提高热电联产的比重，机型选择要科学。在能源的使用上，实现“温度对口、梯级利用、能质匹配”，这是提高热能利用效率的根本方向。热电联产以及热电冷联产是这一热力学原理应用的基本体现。尽可能减少不同能源形态的转换，提高热电联产的比重，做到凡是供热的要先经过发电，凡是发电的要同时进行供热，这是提高化石燃料使用效率的根本途径。对于热电联产的机组选择，要根据热负荷来确定机组大小及机型，一味强调要发展单机容量在 30 万 kW 以上热电联产大机组，是不科学的，会阻碍热电联产的发展，影响热电联产机组效益的发挥。

(3) 加大大型矿区煤电联合开发，扩大大型火电基地的规模效益与煤电产业上下游联合协调的联营效益。要继续在山西、陕北、蒙西、宁东、蒙东、呼伦贝尔盟等地区加快煤电联营的建设步伐，扩大建设规模。另外要加快锡林郭勒盟地区褐煤的煤电一体化建设，送电京津冀。对于新疆、哈密等地煤炭及电力的开发也要做出规划上的安排。

(4) 加大煤炭清洁发电的技术开发力度。煤的清洁利用，目前技术上基本成熟的是循环流化床燃烧技术，30 万 kW 及以下已经掌握，60 万 kW 的也正在开发，对于灰、硫含量高的煤炭应争取推广应用。

(5) 要尽可能提高气电的比重，但重点应放在小型分布式发电。

(二) 加快核电发展，提高核电在电源结构中的比重

面对当前日益紧迫的环境和气候问题，调整能源结构，大力发展核电，以核能替代化石燃料是重要的方向，是走向低碳，实现温室气体减排的现实出路。同时也是在经济衰退期用于拉动经济，扩大就业其影响面和带动力都是较大的产业。我国核电的发展差距很大。核能发电量只占全国总电量的 1.9%，而世界核电的比重平均在 15%~16%，发达国家在 20% 以上，高的达 70%~80%。

(三) 继续大力开发水电

2008 年我国水电装机容量达 1.6 亿 kW 左右，开发率为技术可开发 5.4 亿 kW 的 29.6%，与发达国家都在 70% 左右的开发率相比，还是处于比较低的水平，水电开发的潜力还很大。今后水电开发重点仍是黄河上游、金沙江及长江上游和澜沧江等正在开发的河段，同时要做好黄河北干流、黑山峡及怒江开发的前期准备，以及黑龙江的合作开发等。西藏地区“十二五”规划是要加快雅鲁藏布江中游河段干支流的藏嘎、藏木和拉萨河的巴河等中小型电站的开发，以适应西藏地区自身用电的需要。水电开发要高度重视生态保护，实现环境友好，做好移民工作，确保社会和谐。坚持在开发中保护，在保护中开发的原则。另外水电开发中要高度重视中小水电的合理开发，其数量众多，分布广泛，是我

国重要的分布式能源,小水电要纳入统一规划,既要与大型水电统一规划,也要与农村电网发展、新农村小城镇建设统一规划。

(四) 积极发展可再生能源发电

当前除了水电以外的可再生能源,技术成熟、可以大规模开发的是风能发电、太阳能发电与生物质能发电三种,由于其资源具有分散性和能源密度较低特点,因此其利用方式宜以分布或面向终端供电为主。

我国风电发展已进入大型化、规模化发展阶段。2008年一年新增630万kW,达到1220万kW,发电量128亿kW·h,比上年翻了一番以上,因此到2010年可能达到2000万kW,到2015年将达到5000万kW左右。要重视风电的风力资源的勘测与评估,加大对资源可获得性的实证,以提高建设风场的风能利用效率和经济效益。提高对风能的预测、预报能力,适应电力系统经济调度的需要。要做好海上风能发电的前期研究。

太阳能热利用及太阳能发电,对能源发展来说,具有重大而长远的战略意义。太阳能发电与其他可再生能源相比具有不少优势,特别是光伏发电,转换环节少,相对转换效率高,而且占用土地面积少。

我国生物质能源丰富,据有关资料分析,我国生物质资源可转换为能源资源的潜力约为5亿t标煤,随着今后植树造林等的发展,生物质资源中可转为能源的潜力可达10亿t标煤。生物质能源转换方式目前分为燃料乙醇、生物柴油、沼气发电。利用生物质发电与煤电、水电相比不具有优势,与风能、太阳能相比不具有资源优势,但秸秆发电对于增加农民收入、减少农村化石燃料使用是具有一定意义的。然而秸秆收集运输不宜太远,所以生物质发电其规模不宜过大,以分散式直接为终端用户服务为主。为此在生物能源发电规划中要做好秸秆发电、沼气供应与新农村城镇建设统一规划紧密结合起来。

(五) 进一步加强电网建设

从电力行业内部结构来看,处理好电源与电网的关系十分必要。长期以来,电网一直是个薄弱环节。这既是受长期的重发轻供的影响,电网投资不足等所造成的,也由于能源产地越来越远离负荷中心及可再生能源等间歇电源与分布式电源的发展,信息化的发展与工业化的融合的要求等,给电网的规划建设带来新的问题。

首要的问题是要继续加大电网的投入,把加大电网投入作为调整结构,拉动内需,提升经济发展的重要措施。为此要继续调整电力投资比例,长期以来电源与电网投资比例在7:3左右,与国外为4:6完全相反。争取调整电源与电网之比为4.5:5.5,这是调整电力内部结构的重要保证。

加快全国联网建设,实现更大范围内的资源优化配置。要进一步在“西电东送”战略基础上增加“北电南送”的战略内容,即加大我国北部、西部的陕西、山西、宁夏、蒙西、锡林郭勒盟等煤炭及其电力的一体化开发,实现西电东送与北电南送相结合的战略,这对中西部经济社会发展,对东中部地区的经济发展所提供的能源支撑,对于我国电力与电网发展都具有重要的意义。

要重视区域电网的建设。主要为西北750kV电网和各地区500kV电网的建设与完善,为电网的安全、可靠奠定基础,也为扩大各区域电网之间的电力电量交易创造条件。



要特别重视配电网的建设。在配电网建设中要安排好可再生能源接入电网的规划,及其无功配置、谐波治理等技术问题,确保电网安全稳定运行。提高电网的信息化智能化水平,建设智能电网,使配电网更能适应用户自主选择的需要和适应电力市场发展的需要。电网发展规划要与城镇化与新农村建设紧密结合,将输电通道等统一纳入地区规划中。

二、动力系统及电力系统的相关基本概念

(一) 电力系统

发电机把机械能转化为电能,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、电炉和电灯等设备又将电能转化为机械能、热能和光能等。这些生产、变换、输送、分配、消费电能的发电机、变压器、电力线路及各种用电设备等联系在一起组成的统一整体就是电力系统。

与电力系统一词相关的还有电力网和动力系统。

(二) 电力网

电力网指电力系统中除发电机和用电设备外的部分,由变压器和电力线路组成。电力网按其职能分为输电网和配电网。输电网一般是由 220kV 及以上电压等级的输电线路和与之相连的变电所组成,是电力系统的主干部分。它的作用是将电能输送到距离较远的各地区配电网或直接送给大型工厂企业。配电网是由 110kV 及以下电压等级的配电线路(110kV 和 35kV 为高压配电,10kV 为中压配电,380V/220V 为低压配电)和配电变压器组成,其作用是将电能分配到各类用户。变压器按其功能分为升压变压器和降压变压器。前者将电能由一个较低的电压级升高到一个较高的电压级以利于传输,后者将电能由一个较高的电压级降到一个较低的电压级以利于分配或使用。电力线路按其结构分为架空线路和电缆线路。前者由杆塔、绝缘子和金具将导线、避雷线及中性线架设在地面之上,后者则敷设在地下。

(三) 动力系统

动力系统就是电力系统和动力部分的总和。所谓动力部分,指火力发电厂的锅炉、汽轮机、热力网和用热设备,水力发电厂的水库和水轮机,核电厂的反应堆等。所以电力网是电力系统的一个组成部分,而电力系统又是动力系统的一个组成部分。然而,现在习惯上所用的术语不是很严格,动力系统这个概念基本上已不再使用,广义的动力系统是由动力部分、发电机、变压器和用电设备,以及测量、保护、控制装置乃至能量管理系统所组成的统一整体。图 1-2 所示为动力系统、电力系统和电力网示意图。

(四) 电力系统接线图

电力系统接线图有两种:电气接线图和地理接线图。

电气接线图反映电力系统中各个发电机、变压器、母线及线路等元件之间的电气联系,但不能反映各发电厂和变电所的相对地理位置。虽然现代电力系统为三相交流系统,但为简明起见,电力系统的电气接线图一般用单线图表示。图 1-2 就是电气接线图,图中还包含有直流输电网络,它由三相交流变压器、整流器、逆变器及直流输电线路组成。

地理接线图是按一定比例表示各发电厂和变电所的相对地理位置、电力线路的路径以

及它们之间的相互连接关系，但它不能完全显示各电力元件之间的连接情况。因此，两类接线图常常配合使用，互为补充。图 1-3 是地理接线图。

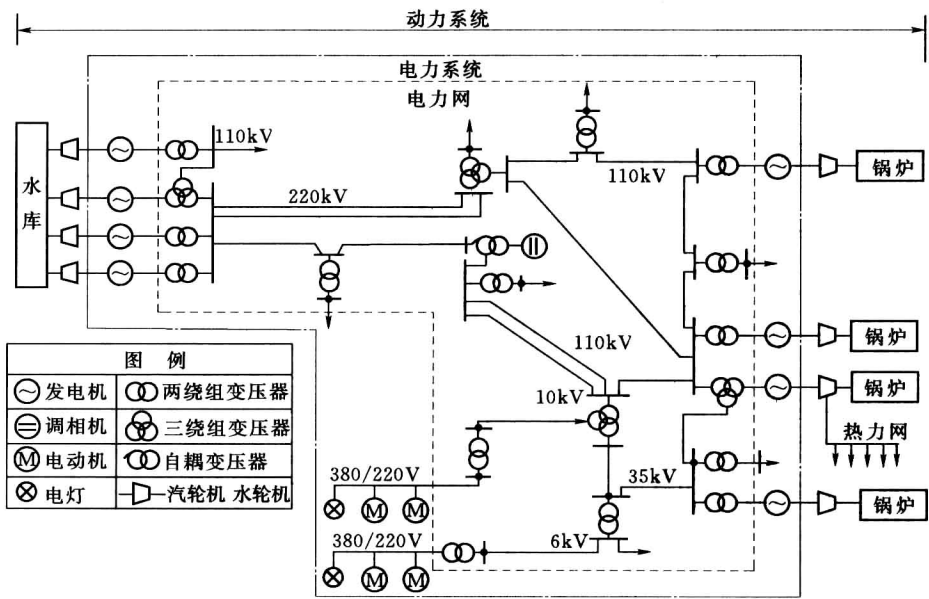


图 1-2 动力系统、电力系统和电力网示意图

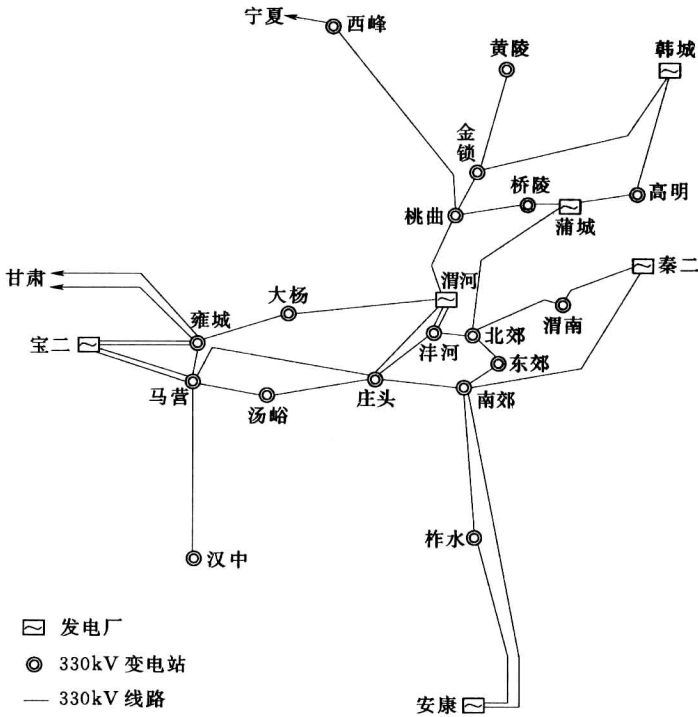


图 1-3 地理接线图



三、电力系统运行的特点及应满足的基本要求

(一) 电力系统运行的特点

与其他工业产品相比,电能的生产、输送、分配和消费有着极明显的特殊性,主要有以下几个特点。

1. 电能与国民经济各个部门的关系都很密切

由于电能与其他能量之间的转换十分方便,而且容易进行大量生产、远距离输送和控制,因此目前各部门都非常广泛地使用电能,电能国民经济和人民生活起着极其重要的作用,电能供应的中断或不足将影响国民经济的各个部门。另外,如果能降低电能的价格,则将有利于降低其他商品的成本。

2. 电能不能大量储存

由于电能不能大量储存,电能的生产、输送、分配和使用实际上是在同一时刻进行的。这就是说,发电设备在任何时刻生产的电能必须与该时刻用电设备所需的电能和输配电过程中电能损耗之总和相平衡。

3. 快速性

由于电能的传播速度接近光速,所以它从一处传至另一处所需的时间极短;电力系统从一种运行方式转变到另一种运行方式的过渡过程非常快;电力系统中的事故从发生到引起严重后果所经历的时间常以秒甚至毫秒计;从发生故障到系统失去稳定性通常也只有几秒的时间;因事故而使系统全面瓦解的过程一般也只以分钟计。所以为了使设备不致因暂态过程的发生而招致损坏,特别是为了防止电力系统失去稳定或发生崩溃,必须在系统中采用相应的快速保护装置和各种自动控制装置。

(二) 电力系统运行应满足的基本要求

根据以上的特点,对电力系统的运行有以下三点基本要求。

1. 保证安全可靠地持续供电

电力系统供电的中断将使生产停顿,生活混乱,甚至危及设备和人身的安全,造成十分严重的后果。所以,电力系统首先必须满足安全可靠地持续供电。

电力系统运行的安全性和可靠性是两个不同的概念。安全性是指要保证系统本身设备的安全,不论在正常运行情况还是在事故情况下均应如此。可靠性是指保证对用户的长时间不间断持续供电的概率指标。为了提高电力系统的安全可靠性,要求系统必须有足够的电源容量和合理的布局;而且电网的结构也必须合理。为此,在输电系统中大都采用环形网络,在配电网中,大都采用“闭环结构开环运行”的方式,即网络本身是环形的,但在正常运行情况下,断开其中的一些线路,使它呈辐射形,而在发生故障后则通过开关操作将失去电源的负荷转移到其他线路上去。

虽然保证对用户的持续供电非常重要,但并不等于说所有的负荷都不能停电。一般,按对供电可靠性的要求将负荷分为三级。

第一级负荷。对这些负荷的中断供电,将可能危及人身安全、设备损坏,破坏生产过程,产品报废,生产秩序长期不能恢复正常,给国民经济造成重大损失,使人民生活发生混乱等。

第二级负荷。对这一级负荷的中断供电,将造成大量减产,人民生活受到影响等。

第三级负荷。所有不属于第一、二级的负荷,如工厂的附属车间、小城镇等负荷属于第三级负荷。

对第一级负荷要保证不间断供电,对第二级负荷,如有可能,也要保证不间断供电。此外,还有极少数特殊重要的负荷要求绝对可靠地不间断供电。对各级负荷可根据具体情况采用适当的技术措施保障对其供电的安全可靠性,如对第一、二级负荷可以采用有备用的接线方式等。

2. 保证良好的电能质量

电能质量主要指频率质量、电压质量和电压波形。在我国,对于频率的容许偏差、电压的容许偏差以及谐波电压和电流的容许含量都有相应的标准,在电力系统设计和运行中都不允许超出这些标准。

(1) 频率。我国电力系统的额定频率规定为 50Hz。对大型电力系统,频率的允许范围为 $50\text{Hz} \pm 0.2\text{Hz}$,对中小电力系统,频率的允许范围为 $50\text{Hz} \pm 0.5\text{Hz}$ 。欧美各国和日本的系统频率变化大体控制在 $\pm 0.1\text{Hz}$ 以内。

频率偏离正常允许范围时,对用户和电力系统本身都会造成很大危害。系统频率变化将引起工业用户的电动机转速的变化,这将影响产品的质量。当频率降低,使电动机有功功率降低,将影响所有转动机械的出力。系统频率的不稳定,将会影响电子设备的准确性。系统频率的变化,对发电厂及电力系统本身也十分有害。发电厂的厂用机械多使用异步电动机带动,系统频率降低使电动机出力降低,若频率降低过多,将使电动机停止运转,会引起严重后果,例如火电厂的给水泵停止运转,将迫使锅炉停炉。汽轮机在低频率运行时,会缩短汽轮机叶片的寿命,严重时会使叶片断裂。系统频率降低时,异步电动机和变压器的励磁电流将大为增加,引起系统所需无功功率的增加,其结果是引起电压的降低,增加电压调整的困难。

(2) 电压。所有的电气设备都是按照额定电压来设计的。当它们运行于额定电压时,具有最好的运行性能、最高的效率并能达到预期的寿命。如果实际运行电压高于或低于它的额定电压,则运行性能和效率将有所下降,并可能影响到使用寿命甚至使设备损坏。

为了避免电压偏移造成很大的影响,各国电网都规定电压偏移的容许范围。我国在《电力系统电压和无功电力技术导则》中对电压的允许偏差也做了规定。

1) 用户受电端的电压允许偏差值。35kV 及以上用户供电电压正负偏差绝对值之和不超过额定电压的 10%;10kV 用户的电压允许偏差值: $\pm 7\%$;380V 用户的电压允许偏差值: $\pm 7\%$;220V 用户的电压允许偏差值: $+5\% \sim -10\%$ 。

2) 发电厂和变电所的母线电压允许偏差值。330kV 和 500kV 母线最高不超过额定电压的 110%;发电厂和 500kV 变电所的 220kV 母线,正常运行方式时: $0 \sim +10\%$,事故运行方式时: $-5\% \sim +10\%$;发电厂和 220(330)kV 变电所的 110~35kV 母线,正常运行方式时: $-3\% \sim +7\%$,事故运行方式时: $\pm 10\%$;发电厂和变电所的 10(6)kV 母线的电压则应使所供给的全部高压和低压用户的电压符合前述用户受电端的电压允许偏差值的要求。

电压产生偏移时,将对用户和电力系统本身造成不良的影响。电压偏高的主要危害是



使电气设备的绝缘性能降低,并影响到使用寿命。如果电压过高,则可能使绝缘击穿,从而使设备损坏。另外,当电压高于额定电压时,变压器和电动机铁芯的饱和程度增大,使铁芯损耗增加;白炽灯的寿命则因电压过高而明显降低,例如,当电压高出10%时,寿命将缩短一半。电压偏低时,对于负荷中占比重较大的感应电动机来说,其转差率将增大,从而使绕组中的电流增加,使绕组电阻中的损耗加大,引起效率降低、温升增加并使寿命缩短。而且由于转差率的增大,其转速下降,使电动机的输出功率减少,影响产品的数量和质量。对于火力发电厂来说,由电动机所驱动的风机和给水泵等厂用机械的出力将因为转速的降低而减少,结果使锅炉和汽轮机的出力降低。更为严重的是,电动机的启动过程将大为增加,电动机可能在启动过程中因温度过高而烧毁。对于白炽灯来说,其发光效率将降低,各种电子设备将不能正常工作,等等。

(3) 波形。电压波形的要求主要指波形中谐波含量的限制,如果因谐波含量过高而使波形严重畸变,同样会影响设备的正常运行,特别是对那些精密的电子设备和仪器。另外,谐波还可能在电力系统中产生局部谐振,以及对通信造成严重的干扰等。波形质量以畸变率是否超过给定值来衡量。所谓畸变率(或正弦波形畸变率),是指各次谐波有效值平方和的方根值与基波有效值的百分比。给定的允许畸变率常因供电电压等级而异,例如,以380V、220V供电时为5%,以10kV供电时为4%,等等。

3. 保证系统运行的经济性

电能生产的规模很大,消耗的一次能源在国民经济一次能源总消耗中占的比重很大,而且电能变换、输送、分配时的损耗绝对值也相当可观。因此,降低每生产 $1\text{kW}\cdot\text{h}$ 电所消耗的能源和降低变换、输送、分配时的损耗,有极重要的意义。在这一方面,又有两个考核电力系统运行经济性的重要指标,即煤耗率和线损率。所谓耗煤率,是指每生产 $1\text{kW}\cdot\text{h}$ 电能所消耗的标准煤重,以 $\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 为单位。所谓线损率或网损率,是指电力网络中损耗的电能与电源发出的总电能的百分比。除此之外,还应设法降低水耗率和厂用电率,尽量提高用电设备的效率等。

为保证系统运行的经济性,应开展系统经济运行工作,充分利用各电厂的特点,使各发电厂所承担的负荷能合理分配。例如,使水力发电厂的水能得到充分利用,避免弃水;使火力发电厂中经济性能好的多发,差的少发,并避免频繁开停机组,以保证全部火力发电厂消耗的燃料最少;使功率在系统中合理分布以降低电能在变换、输送、分配中的损耗等。

环境保护问题日益为人们所关注。在火力发电厂中产生的各种污染物质,包括飞灰、灰渣、废水、氧化硫、氧化氮等排放量的限制,也成为对电力系统运行的基本要求。

以上三个方面的要求是相互联系又相互制约的,对于具体的电力系统和负荷的具体性质,应全面衡量,统筹兼顾,在安全可靠的前提下保证质量,力求经济。

四、电力系统的稳定性

同步运行状态是指所有并联运行的同步电机都有相同的电角速度,即每台发电机都以同步转速运行,这是电力系统正常运行的一个重要标志。在这种运行状态下,表征运行状态的参数具有接近于不变的数值,通常称为稳定运行状态。