

王维超 张明 胡堃 编著

电力系统 运行方式

DIANLI XITONG
YUNXING FANGSHI



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

王维超 张明 胡堃 编著

电力系统 运行方式

DIANLI XITONG
YUNXING FANGSHI



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书根据编著者多年从事运行方式专业的工程实践,针对输电网和配电网的不同特点,从不同侧面、不同层次全面介绍了运行方式的研究方法及研究内容;针对我国特高压电网的建设、可再生能源的利用,以及许多新技术在电力系统中的应用,书中还增加了许多与之相关的内容。

全书共分六章,包括电力系统概述、运行方式中的分析计算、运行方式与电网运行、运行方式中的电网研究、运行方式中的电网控制、电网的发展与运行方式。本书附有4个附录,附录A、B是两个典型算例的基本数据,附录C对目前我国电力系统运行专业常用的几个计算软件进行了简单介绍,附录D是与本书有关的工程研究项目简介。

本书可作为电力系统中从事电网运行管理及电网研究的有关技术人员的参考用书,也可供高等院校电气工程类的本科生、研究生,以及普通高校、成人高校和高等专科学校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统运行方式/王维超,张明,胡堃编著. —北京:中国电力出版社,2009

ISBN 978-7-5083-9076-5

I. 电… II. ①王…②张…③胡… III. 电力系统运行 IV. TM732

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第110253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

*

2009年10月第一版 2009年10月北京第一次印刷

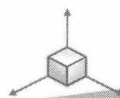
787毫米×1092毫米 16开本 10.5印张 244千字

印数0001—2000册 定价30.00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



前

言

为了适应我国电力工业和电力技术的飞速发展，编著者根据多年从事运行方式专业的工程经验，以近年来完成的多个运行方式类项目为背景，编著了本书。

运行方式是电力调度中的一个传统专业，起着电力调度“参谋本部”的作用，本书以电力系统运行方式的研究和制定为主线，详细介绍了各类、各级电网运行方式的制定及研究方法。本书介绍的处理电网数据的基本方法（“大网+小网”的数据模式）可以让不同电压等级、不同调管范围的电网研究人员基于一套基本的数据，分别对自己调管的电网进行研究；本书使用的工程算例，均来自于近年来的研究实践，涉及上至 750kV 下至 10kV 等多个电压等级，包括网调、省调、地调及县调等不同调管范围的多种类型的电网。希望书中介绍的有关内容及研究方法能够对从事电网研究及运行管理的有关人员有所帮助，对在校的今后有志于从事电力系统运行管理的本科生及研究生有所启发。

本书在编著过程中，引用了近年来编著者完成的大量工程项目中的有关内容，在此谨向支持有关项目的领导及项目参与人员，以及参与本书编著工作并为本书的最后成稿做了大量工作的西安交通大学的王曙鸿、中国电力科学研究院的马世英、陕西省电化教育馆的黎莹、陕西电力职工培训中心的金青和卢文华等表示衷心的感谢！另外，在编著过程中，编著者还参阅了大量的参考文献，在此向有关作者一并表示诚挚的谢意！

由于本书的编写时间仓促，内容广泛，如有疏漏和不妥之处，恳请读者提出宝贵的意见，并批评指正（E-mail: chao_wang168@163.com）。

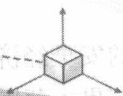
编著者

2009 年 6 月于西安

前言

第一章 电力系统概述	1
第一节 电力系统的发展和组成.....	1
第二节 电力系统的调度.....	5
第三节 电力系统的运行方式.....	6
第四节 运行方式的核心内容	11
第五节 小结	16
第二章 运行方式中的分析计算	17
第一节 数据的准备	17
第二节 方式的确定	25
第三节 分析计算	31
第四节 计算实例	40
第五节 小结	58
第三章 运行方式与电网运行	60
第一节 可靠性分析	60
第二节 安全稳定性分析	65
第三节 经济性分析	76
第四节 小结	79
第四章 运行方式中的电网研究	81
第一节 大机组的接入	81
第二节 变电站的接入	97
第三节 线路变化的研究.....	104
第四节 中期运行方式.....	107
第五节 事故预想.....	109
第六节 小结.....	111
第五章 运行方式中的电网控制	112
第一节 备用电源和备用设备自动投入.....	112
第二节 自动重合闸.....	113
第三节 自动按频率减负荷.....	115
第四节 低压减载.....	115
第五节 自动解列装置.....	116

第六节	水轮发电机组低频自启动	117
第七节	自动切除发电机装置	118
第八节	电气制动控制	118
第九节	电力系统电压控制和无功功率补偿	119
第十节	小结	121
第六章	电网的发展与运行方式	122
第一节	特高压电网	122
第二节	新能源发电	125
第三节	FACTS 设备	132
第四节	高压直流输电 (HVDC)	134
第五节	小结	138
附录 A	配电网基本数据	140
附录 B	输电网基本数据	142
附录 C	常用电网计算分析软件简介	145
附录 D	相关工程项目	152
参考文献		158



电力系统概述

第一节 电力系统的发展和组成

一、电力系统的发展

电力系统的发展是一个从简单到复杂的过程。最开始的电力系统仅仅是由少数的发电机组组成，电压等级较低，电能传送距离较短，且各系统单独运行、互不相连，分别对其所带负荷供电，此时发电机结构多为容量较小的火电或水电机组，负荷结构比较单一，多为电灯或电动机，如图 1-1 所示，这是一个近代电力系统的雏形。

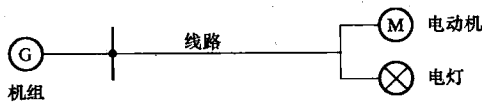


图 1-1 简单系统示意图

由于电压偏低，限制了电能远距离传送，只能在资源集中地区建设电厂，进行生产或通过将资源转移至负荷密集地区，极大阻碍了社会前进的步伐。随着生产力的不断发展，对输送功率和输送距离提出了进一步要求，为了将电能更经济地输送到更远地区，提高整个社会效益，变电设备（主要是升压变压器和降压变压器）在电力系统中逐步获得了广泛应用，提高了功率传送的电压，实现了功率的大范围转移。变压器的广泛应用标志着电力系统的发展取得了重大突破。通过变压器连接，不同电压等级在同一系统中得以共存，并且输电线路的电压等级也越来越高，输电电压的高低是输电技术发展水平的主要标志。到 20 世纪 90 年代，世界各国常用交流输电系统中，电压有 220kV 及以下的高压输电、330~765kV 的超高压输电、1000kV 及以上的特高压输电，使得电网的覆盖区域更广，对于实现整个社会的资源优化起到了积极效果。当前，我国电力系统已存在的输电电压等级包括 1000、750、500、330、220、110kV 等，其中除了 1000kV 尚处于试验阶段外，其他电压等级基本已投入运行。除了输电电压等级快速发展外，输电方式也出现了新的变化，由传统的交流输电扩展至直流输电方式，其将交流电通过换流器变为直流电，然后通过直流线路送至受电端并通过换流器转化为交流电后接入交流系统，其输送灵活、损耗小，能够节约输电走廊并实现快速控制，当前已投运的输电电压等级包括 ± 100 、 ± 500 、 ± 600 kV。

与输电网电压等级的迅速提高相同步的是电源构成、负荷成分的迅速发展。电源方面，从最初单纯利用煤、石油的火电机组及利用水能资源的水电机组已扩展至利用核能的原子能发电机组，利用太阳能、风能、潮汐能、地热能等新能源机组，且单机容量越来越大，最大单机容量已超过 1000MW，极大提高了资源利用效率。负荷方面不仅包括传统的电灯、电动

机,还有较大比重的电热电炉、整流装置等设备,负荷特性越来越复杂,对系统的影响也越来越大,增加了系统分析的难度。

随着电力系统规模的越来越大,为了实现电力系统的安全经济运行,各个地区电网之间实现联网,通过联络线构成一个大区电网,有利于资源在更大范围内有效、合理的分配,同时,也使其互为备用,提高了整个系统的供电可靠性。如我国西北陕西、甘肃、青海、宁夏之间通过 330、750kV 联络线互联为西北电网,实现了水、火电互济,如图 1-2 所示。在夏季黄河来水量较大时,甘肃、青海两省的水电大发,通过联络线对宁夏、陕西大负荷地区供电,而冬季黄河来水量较少时,则宁夏、陕西火电机组大发,对甘肃、青海地区实现功率倒送。随着社会经济的进一步发展,各大区之间也基本实现了互联,如西北电网与华中电网之间通过罗敷—灵宝背靠背直流输变电设备相连,而规划中的特高压电网更是将华北、华中电网等区域电网联为一体。

1000kV 晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程正式投运及顺利运行,标志着我国已基本掌握了远距离、高电压、低损耗的输电技术。特高压输电技术一般是指输电电压为交流 1000kV 或直流 ± 800 、 ± 1000 kV,选择特高压作为我国电网未来发展的重点是基于我国的基本国情的。首先,我国能源、负荷分布的巨大差距,建设特高压有利于提高电能的大范围传送能力,实现全国范围内的资源最优分配;其次,发展特高压输电,加强跨大区电网互联,有利于减少系统备用,获得水火互济、跨流域补偿、错峰避峰等综合效益,有利于促进西部大开发,实现区域经济协调发展;再次,发展特高压有利于突破能源传送的瓶颈,实现可再生能源的大规模开发。可以预见,在不远的将来,我国将形成以特高压电网为核心的国家电网。

经过 100 多年的发展,电力系统从无到有、从小到大、从简单到复杂,最终发展为迄今为止最大的人造系统,下面以我国陕西电网为例说明电力系统几十年来走过的历程。1949 年前,西安电网的最高电压等级是 6kV,有 4 条线路,长 44.78km;80 台配电变压器,容量为 4275kVA 向市内供电。1951 年 4 月,陕西第一条 35kV 西安至咸阳的线路建成投产。1957 年 10 月,户县热电厂至西安枣园变电站和枣园至铜川的 110kV 送变电工程同时建成,使陕西电网的电压等级又提高到一个新的水平。陕西电网出现 330kV 电压等级与国家决定开发黄河上游水电有直接关系。1963 年,西北电力设计院按照水电部的安排,在研究刘家峡水电站供电范围时提出以 330kV 电压等级送电陕西,建设 330kV 刘天关输变电工程。工程于 1970 年 4 月全面开工,1972 年 5 月 10 日,整个系统一次并网成功,1972 年 6 月 16 日正式投入运行。而于 2008 年底建成投运的乾县 750kV 变电站及相应的兰州东—平凉—乾县双回 750kV 线路,标志着陕西电网再上一个台阶。与电网发展的同时,系统的总装机容量也快速增加,从 1952 年的 6595kW 发展至当今的 17 048.269MW,单机最大容量也增大至 660MW (蒲城电厂三期工程),机组类型也从单纯的火电机组发展为水火互济的复杂系统,水电装机容量已达到整个系统装机容量的 11.3%。同时,系统的负荷也急剧增加,截至 2008 年底,全网最大负荷已达 10 110MW,同时负荷也从单纯的照明负荷发展至电灯、电动机、电热电炉、整流装置等。

二、电力系统的组成

现代电力系统是由电源、电力网络、电力负荷及测量、保护、控制装置,乃至能量管理

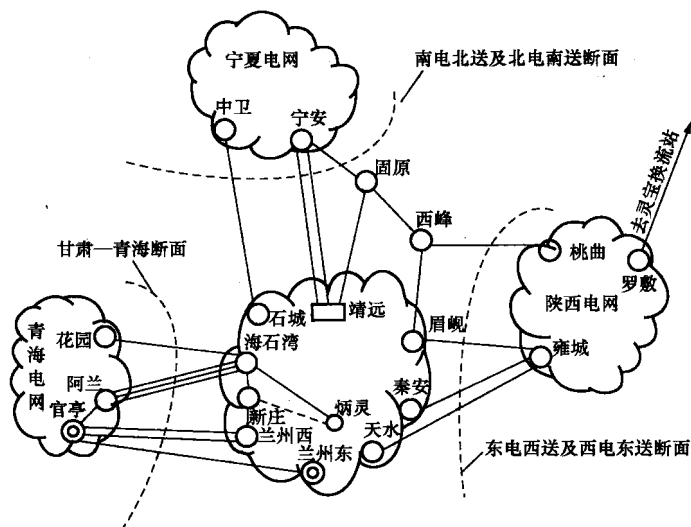


图 1-2 西北地区各省级电网的互联情况

系统所组成的统一整体。其功能是将自然界的一次能源（煤、石油、天然气、核燃料等不可再生资源，风、水、太阳能、潮汐能等可再生资源）通过发电动力装置转化成电能，再经输、变电系统及配电系统将电能供应到各负荷中心，通过各种设备再转换成动力、热、光等不同形式的能量，为地区经济和人民生活服务。由于电源点与负荷中心多数处于不同地区，也无法大量储存，故其生产、输送、分配和消费都在同一时间内完成，并在同一地域内有机地组成一个整体，电能生产必须时刻保持与消费平衡。因此，电能的集中开发与分散使用，以及电能的连续供应与负荷的随机变化，制约了电力系统的结构和运行。据此，电力系统要实现其功能，就需在各个环节和不同层次设置相应的信息与控制系统，以便对电能的生产和输送过程进行测量、调节、控制、保护、通信和调度，确保用户获得安全、经济、优质的电能。

根据具体功能的差别，整个电力系统可划分为一次和二次系统两类，如图 1-3 所示。

- （1）一次系统。它是电能生产、输送、分配和消费所需要的发电机、变压器、电力线路、断路器、母线和用电设备等互相连接而成的系统，也称为电工一次系统，其中所包括的电力设备被称为“一次设备”。该部分是本书研究和分析的重点。
- （2）二次系统。它是由对电工一次系统进行监视、控制、保护和调度所需要的自动监控设备、继电保护装置、远动和通信设备等组成的辅助系统。其中包括的设备装置被称为“二次设备”。

电源包括锅炉、反应堆、汽轮机、水轮机、发电机等设备，主要为系统提供能量。根据所用一次能源的不同，可分为以煤、石油、天然气等化石燃料为能源的火电厂，以水为能源的水电厂，以核能为能量的核电厂，这三

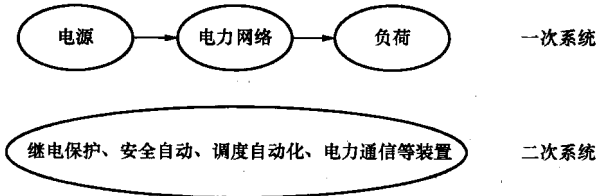


图 1-3 电力系统构成示意图

种电厂由于出力稳定、易控制，在当前系统中处于主体地位，除此之外，还有利用风能、太阳能、潮汐能、地热能等新能源的电厂，由于其所用的一次能源可循环利用，近几年以来得到了迅速发展，以缓解日渐减少的化石能源，尤其是风电，随着风电机组技术的日渐成熟，在全世界范围内得到了迅速发展，总装机容量从 1998 年的 10.2GW 飞速发展到 2007 年底的 94.123GW，年平均增长率大于 28%。

电力网络包括变压器、电力线路等变换、输送、分配电能的设备。变电设备主要用来将电压由低等级转变为高等级（升压）或者由高等级转变为低等级（降压），通过变电设备可以将各个不同电压等级的设备连接为一个整体，提高功率的传送电压，实现功率远距离、大范围传送。

输电线路按结构形式可分为架空输电线路和地下输电线路。前者由线路杆塔、导线、绝缘子等构成，架设在地面上；后者主要用电缆，敷设在地下（或水下）。按所送电流性质可分为直流输电和交流输电。19 世纪 80 年代，首先成功地实现了直流输电，后因受电压提不高的限制（输电容量大体与输电电压的平方成比例），19 世纪末为交流输电所取代。交流输电的成功，迎来了 20 世纪电气化时代。20 世纪 60 年代以来，由于电力电子技术的发展，直流输电又有了新发展，与交流输电相配合，形成交直流混合的电力系统。

电力网络按照功能可以分为输电网络、配电网络和联络线。输电网络一般指电力系统中的主要网络（主网），具有较高等级的电压，起到电力系统骨架的作用。其中一个既有交流输电线路，也有直流线路的输电网络称为交直流混合输电网络。我国常用的交流输电网络电压有 110、220、330、500、750kV，所用的直流输电网络的电压包括 ± 100 、 ± 500 、 ± 600 kV。配电网络指从枢纽变电站到用户的电网，一般电压等级较低，作用是将电力分配到配电变电站后再向用户供电，也可能有部分电力不经过配电变电站，直接输送给大用户，再由大用户的配电装置进行配电，我国常用的配电电压等级为 35~60、3~10kV 等。不过应指出的是，输、配电网的电压等级是相对而言的，随着电网的发展也在不断变化，例如 110kV 电网在部分地区已逐渐由输电网蜕化为配电网。联络线特指用于网络互联的输电线路，一般指连接在不同区域电网的输电线路。可以连接 2 个电力系统、2 个省际电网、2 个变电站，甚至是 2 个配电站，充分发挥双方的发供电能力，促进资源优化配置，如图 1-2 中所示的我国西北电网中各省级电网的联络线。

电力负荷主要包括异步电动机、同步电动机、电热电炉、整流设备、照明设备等耗电能的设备。不同行业中，这些用电设备所占的比重也有所不同，如在钢铁工业中，电热电炉所占比例高达 70%，异步电动机负荷为 20%，同步电动机为 10%。随着电力设备类型的多元化，系统的负荷特性也日益复杂。所谓负荷特性是指用电设备所消耗的功率大小（包括有功功率、无功功率）与其电源的电压及频率之间的关系，对电力系统运行有重要影响。负荷特性可分为静态特性和动态特性两类，前者是指电压或频率变化后进入稳态时负荷功率与电压或频率的关系，后者是指电压或频率急剧变化过程中负荷功率与电压或频率的关系，对于静态特性而言，通常采用多项式或指数函数来表示，具体选择哪种方法，要视系统的具体情况而定。



第二节 电力系统的调度

与其他工业不同,电力系统中的电能生产、输送、消费均是在瞬间完成的,且应时刻保持供求平衡,在实际中应满足以下可靠、优质、经济运行要求,具体来说包括:

(1) 保证系统可靠持续运行。按对供电可靠性的要求可以将负荷分为3级。第一级负荷,对这一级负荷中断供电,将造成人身事故、设备损坏,产生废品,使生产秩序长期不能恢复,人民生活发生混乱。第二级负荷,对这类负荷中断供电,将造成大量减产,使人民生活受到影响。第三级负荷,所有不属于第一、二级的负荷。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。

(2) 保证良好的电能质量。电能质量包括电压质量、频率质量和波形质量三个方面。对于前两者一般以偏移是否超过给定值来衡量,一般来说,对于电压给定的允许偏移为额定值的 $\pm 5\%$,对于频率给定的允许偏移为 $\pm (0.2 \sim 0.5) \text{ Hz}$;波形质量则以畸变率是否超过给定值来衡量,其中畸变率是指系统中各次谐波的有效值平方和的方根值与基波有效值的百分比。

(3) 保证系统运行的经济性。为保证系统运行的经济性,应开展系统经济运行工作,使各发电厂所承担的负荷能合理分配。例如,使水电厂能充分利用水能,避免弃水;使火力发电厂中经济性能好的多发电,并避免频繁开停机;使功率在系统中合理分布,以降低电能输送、分配中的损耗等。

基于上述基本要求,为保证电力系统的安全、稳定、经济运行,需要有一个统一的调度指挥系统,其基本职能在于通过预先分析、实时控制及事故处理等确保整个系统的稳定运行,负责电网的组织、指挥和协调。具体来说,电力调度职能主要包括:①预测用电负荷;②分派发电任务,确定运行方式,安排运行计划;③对全系统进行安全监测和安全分析;④指挥操作、处理事故等。

基于调度机构的基本职能,其通常包括以下几个主要职能部门:

(1) 电网调度。主要实时监督、监测系统中电厂、变电站及各种设备运行情况,并针对系统中出现问题及时采取措施,避免事故扩大,控制系统的运行,是电网运行的执行环节,是管理电网生产运行的指挥系统。

(2) 运行方式。对整个电网进行分析计算,为调度机构的指挥决策提供技术支持,它是整个调度指挥系统的参谋部,同时也为电网公司其他职能部门提供有关电网运行、规划等方面的技术支持,对电网的安全、稳定、经济运行及合理发展起着举足轻重的作用。

(3) 继电保护。主要负责电网中继电保护及安全自动装置的整定计算工作,对全网二次装置进行技术管理,为电网的安全稳定运行提供技术支持。

(4) 通信自动化。主要负责电网中数据采集、传送及显示,为调度机构发布正确系统操作指令提供相应技术支持,也是确保各种二次设备顺利动作的基础,保证系统的安全稳定运行。

当然除了上述常见的几个职能部门,在具体的电力系统中也需要设置其他相关职能部门,比如在水能资源丰富的地区,应成立水电调度机构,负责全网的水库管理,最大限度地

利用可再生的水资源,实现整个社会效益的最大化。电网调度机构及有关职能部门,以电网调度为执行单元,其他机构为其准确发布指令提供支持,成为电网安全稳定运行不可缺少的重要组成部分。各部门专业分工不同,工作目标一致,都为着一个共同目标——保证电网安全、经济、优质运行。

根据所管辖电网的区域及电压等级的不同,可以将我国电网调度机构划分为以下几个层次:国调、网调、省调、地调、县调。其中,国调负责调度对全国系统稳定运行有重大影响的发电厂及枢纽变电站,并负责协调各区域电网之间的能量交换,其面向的对象为全国电网;网调主要面向各大区域电网,如西北电网、华北电网,负责其内部电厂及变电站的稳定运行;省调的调度对象为各省级电网,负责全省范围内电厂、变电站的正常运行,应指出的是,国调、网调、省调所调管的均为高电压等级的变电站和规模较大的电厂,其调管对象具有网架结构复杂、多成环状、潮流流向不确定的特点,主要为高压输电网;而地调、县调机构面向对象为地区电网、县级电网,多为辐射形电网,网架结构简单,电压较低,主要为配电网,直接与用户负荷相连。应指出的是随着电网的发展,地区电网结构越来越简单、明了,县级电网调度机构可能逐渐消失,而由地调统一负责地区电网的调度运行。

电网的调度系统是随着电力系统的发展而产生和发展的。以陕西电网的调度系统为例,随着电网的发展,陕西电网调度机构从小到大,按照“统一调度,分级管理”的原则,调度体制相应发展。20世纪50年代是一级调度体制,1958年后各供电局先后建立地区调度,调度体制成为二级,即省调、地调;1972年,陕西、甘肃、青海三省联网运行,调度体制成为三级,即联调、省调、地调;1980年,西北电管局总调度所(兼陕西省调)成立,调度体制仍为三级,即总调、省调、地调。总调度所对全网实行统一调度,大大促进了全网安全、经济、优质运行。1993年,西北、西南两大跨区电网联网运行,西北总调与西南总调按协议进行调度。1998年底,网省公司分离,西北网调与陕西省调分别独立运行,西北电网开始采用四级调度体制:网调、省调、地调、县调。随着特高压电网的建设,未来全国电网将实现联网运行,相应的调度体制也将形成国调、网调、省调、地调、县调的五级调度方式。其中,国调与目前相比,直接调管的线路、变电器、发电机越多,在全国电网安全、可靠运行中所起作用越大。

① 第三节 电力系统的运行方式

电力系统运行方式是电力系统调度部门编制的电力系统生产和运行的总体技术方案,和电网调度是不可分割的整体。前者负责编制运行方式,是整个调度指挥系统的参谋部,为电网的安全稳定和经济运行起着举足轻重的作用;后者执行运行方式,是管理电网生产运行的指挥系统,两者共同领导电网的运行和操作,保证电网的安全、优质、经济运行。除了与调度之间存在紧密联系外,运行方式与电网的其他职能部门也存在着密切关系,为电网的改造、规划提供参考,如图1-4所示,它们之间的密切合作共同维护着系统的安全、可靠、稳定运行。可以看出,运行方式研究不仅指导现有电网的正常运行,也为其以后整个网架的发展提供技术参考。

一、运行方式的基本职能

运行方式既要为电网调度提供电网运行的技术支持，又要为电网公司的规划、发展及技术改造等提供技术参考，其职能主要包括技术职能和管理职能。前者主要是通过对电网进行分析计算，发现其中存在的问题，为电网运行提供技术保证，为调度、规划、技改等提供技术支持；管理职能主要是指通过运行方式计算管理系统中机组、线路、变电站等设备启动投运，不仅包括网内设备如线路、变压器投运的协调安排，而且也包括厂网之间的协调安排，如机组的投运协调，特别是对系统运行有较大影响的大机组的投运安排。两者相比较而言，技术职能是运行方式的核心和基础，运行方式的基本职能主要包括以下几点：

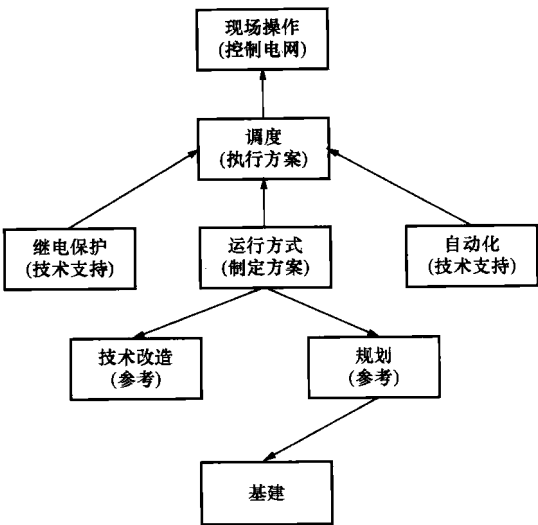


图 1-4 运行方式与其他职能部门关系

- (1) 统计电网中各种设备的投运、退役情况，确定各设备的检修计划。
- (2) 系统运行分析：对电网进行分析计算，发现电网中存在的问题及薄弱环节，并进行各种事故预想。
- (3) 新设备启动管理：规范新（扩、改）建设备并网调试工作，促使并网调试工作有序进行，保证电力系统和并网设备的安全，保证运行中的电网正常对用户供电。
- (4) 电网损耗管理：降低电网的运行损耗，提高电网运行的经济性。
- (5) 无功电压管理：提高电能质量，控制电网电压，提高电网运行经济性和安全性。
- (6) 稳控装置管理：管理系统稳控装置，防止电网发生稳定破坏和大面积停电等事故，以保证电网的安全稳定运行。

通过对整个电网进行运行方式分析，充分发挥本系统内发输变电设备能力，最大限度地满足负荷需求；使整个系统安全运行和连续供电，提高电网稳定水平，防止电网发生稳定破坏事故与大面积停电事故，保证供电可靠性；使系统内供电的质量符合规定标准；降低线路损耗，降低成本，使整个系统在最经济方式下运行。

随着电压等级的不断提高和输电方式的多样化，使得各区域电网乃至全国电网实现了互联，系统运行变得日益复杂，因此应更加重视运行方式的研究，及时发现电网中存在的问题。

二、运行方式分类

系统运行方式按照不同的划分标准可以分为很多类，从调管职责上可以分为国调运行方式、网调运行方式、省调运行方式等，从研究时段上分，有年、月、日方式等；从使用上分，有正常、检修、事故后方式等。它们之间互相渗透、联系紧密。月、日方式是年方式的具体体现和延续过程；年方式中有正常方式，也有检修方式。它们的内容并不完全相同，研究的重点也不同，图 1-5 给出了运行方式的分类情况。

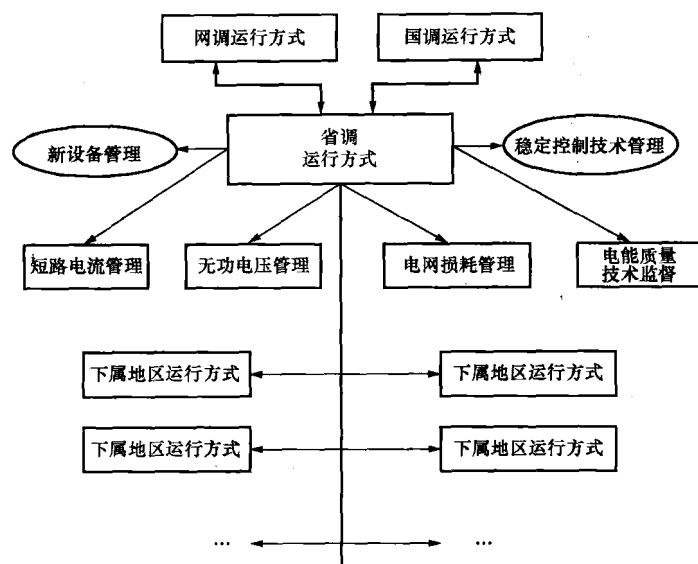


图 1-5 电力系统运行方式示意图

在各级调度机构中，经常用到的是基于本级电网的年、月及日运行方式；其中年运行方式主要根据系统在未来一年内的网架结构变化，针对其运行中可能出现的几种极限情况进行研究，分析其中存在的问题，为电网的正常运行提供理论上的指导；月运行方式主要基于本月的负荷预测水平、由于设备检修或新设备投运所导致的系统结构变化，分析该月内系统运行情况，并给出相应的月度检修方案；日运行方式内容主要包括日负荷曲线的预计、各发电厂负荷的分配、机炉检修的批答、电气设备检修的批准及其倒闸操作程序的拟定、互供电量的统计和核算工作，其工作虽然简单，但实用性很强，指导着电网第二天的运行。年运行方式研究的主要内容有：

- (1) 根据有关部门提供的资料预测出电力系统分月最大负荷。
- (2) 根据新发电、输变电设备的计划投产时间及水文情况，按月编制电力系统最大可调出力。
- (3) 与互联的各个电力系统商定联络线的每月电力、电量交换计划。
- (4) 按月编制电力系统的电力、电量平衡表和备用容量表。
- (5) 编制发电和输变电设备检修计划进度表。
- (6) 编制水库控制运用计划。
- (7) 编制电力系统各厂站母线短路容量表。
- (8) 确定正常与主要设备检修方式下的功率分布图。
- (9) 确定无功功率平衡及调整措施和电压中枢点电压及电压调整措施。
- (10) 确定正常运行与主要设备检修的接线方式。
- (11) 确定有功功率与无功功率的经济调度方案。
- (12) 确定自动低频减负荷装置整定方案。
- (13) 确定主要输电线路的送电极限表、电力系统稳定性分析及提高稳定的措施。
- (14) 确定各级调度机构事故紧急限电序位表。



(15) 确定系统中各安全自动装置整定方案及使用规定。

(16) 规范继电保护配置和整定的要求。

(17) 确定对调度自动化系统功能的要求和对通信信息传输的特殊要求。

电力系统年运行方式的编制从负荷预测和有功功率、无功功率平衡开始, 然后进行短路容量、潮流、稳定、经济调度、过电压、可靠性等分析计算, 在计算分析的基础上, 结合运行经验编制出年运行方式, 其中应对系统正常运行方式、检修运行方式及事故后运行方式分别进行计算分析。

1. 正常运行方式

正常运行方式是保障电力系统在正常状态下(包含发电机组检修)安全经济运行的方式。它是根据有关部门提供的计划资料和电力系统运行记录。经过综合计算分析, 由调度部门编制出来的。正常运行方式体现在年、月、日的运行方式中, 它们的区别在于有效期限不同和内容的侧重点不同。对电力系统正常运行方式的要求主要是: 对用户充分供给质量合格的电能(热能); 电力系统中所有设备不出现过负荷, 不产生超过规定的运行过电压, 所有输电线路的输送功率都在稳定极限以内; 有符合规定的发电有功功率及无功功率备用容量; 电力资源得到合理利用, 系统间联络线送受电力、电量符合协议(合同)规定。继电保护及安全自动装置配置得当且整定正确, 电力系统运行符合经济性要求; 电网结构合理, 有较高的可靠性、稳定性和抗事故能力, 通信畅通, 信息传送正常。

电力系统正常运行方式的基本内容有: 电力系统负荷预测; 电力、电量平衡计划; 各发电厂发电计划, 系统间联络线送受电力、电量计划, 主要设备检修计划, 电力系统运行接线方式; 水库运用计划和抽水蓄能发电厂的运行方式; 电力系统经济调度方案; 输电线路稳定极限表。继电保护与安全自动装置整定方案; 提高电力系统安全稳定性的措施。事故紧急限电序位表, 有关重大倒闸操作的要求和主要步骤; 典型事故处理方案。

2. 检修运行方式

电力系统检修运行方式是电力系统中主要设备检修时的运行方式。编制电力系统检修运行方式的目的在于当设备检修时系统仍能正常运行, 其中主要设备可分为两大类: ①一次设备, 包括发电设备、输变电设备; ②二次设备, 包括仪表、发电厂和变电站内部控制系统、继电保护和安全自动装置等。当主要设备检修时, 会引起电力系统运行情况的较大变化, 如输电线路输送功率大幅度变化、系统稳定性降低、局部地区电压质量下降、局部电网解列单独运行等。当主要设备检修和某些继电保护装置校验时, 必须事先编制好相应的运行方式, 制订提高系统安全稳定的措施。

编制检修运行方式应进行潮流分布计算、稳定极限校验、电力平衡、水库运用计划调整、保障供电可靠性、短路容量检验、校核继电保护整定值、安排通信方式等工作。

(1) 潮流分布计算。大容量发电机组检修或主干线路检修使环路打开, 会引起电网中功率分布有较大变化。功率分布计算是要检验有无设备过负荷, 局部地区电压有无异常(偏高或偏低), 发电厂的出力是否受到限制等。为减轻设备检修对系统运行的影响, 最好将发电设备与输变电设备一起配合检修, 或与大容量用户设备的检修相配合。

(2) 稳定极限校验。进行必要的稳定计算, 确定检修期间的送电极限或临时采取提高稳定的措施。

(3) 电力平衡。当局部系统因输电线路检修而单独运行时,要考虑独立系统的有功功率与无功功率平衡,以及电能质量问题。还要检验独立系统的自动减载装置等安全自动装置所切除的负荷容量是否满足要求,必要时需事先限制用电负荷,并制订事故紧急限电序位表,以防止发生频率或电压崩溃。

(4) 水库运用计划调整。以防洪和保持下游工农业用水为主的水库,不得因水轮发电机组检修而影响下游用水。水轮发电机组检修一般安排在非汛期和下游用水较少的季节,以减少弃水损失。

(5) 保障供电可靠性。主要设备检修时,通常会降低对用户供电的可靠性。为此,除尽量投入备用设备外,还可以适当调配变电站的负荷,改变系统运行接线方式,投入备用电源自动投入装置等。

(6) 短路容量检验。检验是否满足断路器、继电保护装置及直流输电线路或变频设备对短路容量的要求,否则要采取改变系统运行接线方式等措施。

(7) 校核继电保护整定值。对于不常见的特殊检修方式(如多个设备检修等),继电保护装置可能由于灵敏度不够或无选择性而不能正确动作。必要时临时改动继电保护整定值。

(8) 安排通信方式。当输电线路检修时,相应的载波通道也全部中断,此时需倒用其他通道。

3. 事故后运行方式

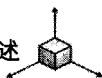
电力系统事故后运行方式是电力系统在发生事故之后可以暂时维持运行所编制的非正常运行方式。事故后运行方式多是针对电力系统运行上的薄弱环节按可能发生的影响较大的事故而编制的。电力系统处于事故后运行方式时,其可靠性下降。作为向正常运行方式过渡的临时运行方式,其持续时间应尽量缩短。这主要取决于:电力系统各级调度人员能否迅速正确处理事故;备用设备投入运行的速度;因故障而损坏设备的修复速度或采取替代措施的速度。

研究电力系统发生事故后的状态并编制出相应的运行方式,可以指导各级调度人员正确处理事故,减少对用户的影响,并可事先采取各种防范措施。

事故后运行方式的主要内容:①制订事故后的电力平衡方案,以维持频率和电压值在允许偏差范围内。确定功率过剩时调整出力的发电厂及迅速停机的机组;确定功率缺额时某些发电机组临时过负荷的数额及时间、紧急调用的备用机组和必要时切除的用电负荷;②确定对已停电的用户尽快恢复供电的措施;③提出应急的接线方式,消除设备过负荷;④经过计算,事先给出事故后主要输电线路的稳定极限,供调度人员应用;⑤提出最优并列方案,使解列的系统尽快恢复并列;⑥减少水电厂弃水的措施;⑦紧急情况下各发电厂保厂用电的措施;⑧事故紧急限电序位表;⑨继电保护与安全自动装置紧急调整方案;⑩防止事故扩大的措施。应将电力系统事故后运行方式编写成文字资料存储于计算机中,便于各级调度人员随时调用。

三、我国运行方式研究的现状及面临的挑战

随着电力体制改革的深化和社会主义市场经济的逐步建立,以及三峡输变电工程、全国联网工程等一批重点工程及特高压示范工程的投运,我国电力工业发生了重大的变化。在当



代电力系统的发展及科技进步的影响下,我国电网结构和运行控制手段不断改善,电网稳定运行水平有了较大的提高。与此同步的,我国电力系统在运行方式专业方面,在技术进步、管理进步等方面均取得了较大的进步,最大程度上确保了全国电网的安全稳定运行。不过,随着全国互联电网的逐渐形成和电网规模的逐步扩大,电网运行中又出现一些新问题亟待解决,主要包括以下几点:

(1) 特高压电网的建设及逐步的投运,增大了电网运行的复杂程度,如何分级分区地分析研究好以特高压电网为核心的国家电网,将是未来电力系统运行方式研究中的重点和难点。

(2) 目前系统的稳定管理体制不适应逐步互联的电网。

(3) 系统计算分析基础数据有待完善。

(4) 应加强全国互联电网的计算分析工作。

(5) 电网运行方式分析尚不能完全满足电力市场逐步形成的要求。

因此,如何在新的形势下确保系统的安全稳定运行、充分发挥电网的输送能力,如何适应电力市场的要求,如何解决新形势、新环境下所出现的问题,将是运行方式专业今后几年所面临的主要任务,应尽量做好以下工作,确保系统的稳定、安全、可靠运行。

(1) 应继续深入贯彻 DL 755—2001《电力系统安全稳定导则》,提高系统稳定运行水平。

(2) 应尽快建立适应全国联网形势的统一的系统稳定管理机制。

(3) 应积极开展电网基础参数的研究工作,建立全国统一的参数库。

(4) 应深入研究电网的运行特性,为电网实际运行提供指导。

(5) 逐步完善电网动态行为监测手段,为系统计算仿真和参数校核工作创造基础。

(6) 根据电力市场化的要求,推进运行方式专业工作的发展。

(7) 进一步推进电力系统新技术的研究和应用。

电力系统新技术是提高系统稳定水平和输送能力的有效手段,可以以较小的投资换来巨大的经济效益。目前,国内对 FACTS 等新技术的应用还较少,对新技术的应用还缺乏必要的经验,这就要求人们及早开展研究分析工作,掌握其运行规律和特性,为新技术的实际应用创造良好的基础条件。

④ 第四节 运行方式的核心内容

一、电力网络的简化

随着电力系统的不断发展,电压等级越来越多,电力网络日趋复杂,与此同时,电力系统调度也分为国调、网调、省调、地调、县调五级。为了减少电力系统运行方式的计算量,提高工作效率,需要首先对电力网络进行简化。每级的调度只需要针对本级所管辖的电力网络进行方式计算。主要有以下两种简化的方法:

(1) 根据调管范围的不同来细化拆分网络,如按照国调、网调、省调、地调的不同,分别对其调管范围的输电网络和电源进行计算,前三者其电压等级较高,且线路连成环状,属于高压输电网络部分,对于电源、负荷、无功补偿装置的等效有以下说明: