现代电力系统调度自动化

周杰娜　编著

重庆大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

内 容 简 介

本书全面论述了现代电力系统调度自动化的有关问题。全书共分 6 章, 主要包括: 现代电力系统调度自动化的基本内容; 现代电力系统调度自动化系统的构成及原理; 电力系统状态估计理论; 电力系统安全分析和安全控制方法; 电力系统电能质量的控制及经济运行; 能量管理系统简介等。

本书可作为高等院校“电力系统及其自动化”专业本科选修课教材和研究生教材, 也可供从事电力系统研究、设计、运行和管理的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP) 数据

现代电力系统调度自动化 /周杰娜主编. —重庆: 重庆大学出版社, 2002.10

电气工程专业本科系列教材

ISBN 7-5624-2732-1

Ⅰ. 现... Ⅱ. 周... Ⅲ. 电力系统调度—自动化—高等学校—教材 Ⅳ. TM734

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002) 第 070010 号

现代电力系统调度自动化

周杰娜 编著

责任编辑: 彭 宁 版式设计: 彭 宁

责任校对: 何建云 责任印制: 张永洋

*

重庆大学出版社出版发行

出版人: 张鸽盛

社址: 重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A 区) 内

邮编: 400044

电话: (023) 65102378 65105781

传真: (023) 65103686 65105565

网址: http: //www. cqup. com. cn

邮箱: fxk@cqup. com. cn (市场营销部)

全国新华书店经销

自贡新华印刷厂印刷

*

开本: 787× 1092 1 /16 印张: 10.25 字数: 256 千

2002 年 10 月第 1 版 2002 年 10 月第 1 次印刷

印数: 1—5 000

ISBN 7-5624-2732-1/TM· 85 定价: 15.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题, 本社负责调换

版权所有 翻印必究

序言

当代,当谈及电力系统调度自动化时,人们自然会想到作为能量管理系统基础的 SCADA 系统及能量管理系统本身。在这一领域,瑞典的 Torsten Cegrell 教授在他于 1986 年出版的《POWER SYSTEM CONTROL TECHNOLOGY》一书中对 SCADA 及 EMS 作过全面系统深入的介绍。1998 年,于尔铿等的著作《能量管理系统(EMS) 》是在前者的基础上,结合十几年来世界科技的进步与我国的国情,就这一问题向国人进行了论述。

随着生产的发展、科技的进步和社会的变革,经过一百年的历练,目前,各国的电力系统均已成长为巨大的非线性系统,要对它进行控制是非常复杂和困难的,好在电力系统的控制技术也是与时俱进的,能量管理系统的内涵日益丰富,功能日臻完善。从各个侧面和各个层次对 EMS 系统进行不同程度的描述是必要的。

在本书的开篇,作者对 SCADA 系统的各个子系统的特色作了介绍;从完整、准确表征电力系统状态的需要出发,引入电力系统状态估计的必要性,作了简单的分析,并附有若干例题,以增加理论的直观性;电力系统的安全分析、经济运行、安全控制和质量控制是调度值班工程师的日常职责,作者对此给予了应有的关注,进行了比较深入的分析,给出了一些有用的统计数据和必要的例题;本书的最后以对 EMS 的简介作为结尾。

本书有助于读者从不同的角度观察分析电力系统控制这一复杂问题,文字流畅,图文并茂,可读性强,是一本值得一读的好书。

胡国根

2002 年 6 月 26 日

前言

随着国民经济及人民生活对电力需求的不断增长,我国电力系统的规模日益扩大,已形成跨省的区域电力系统,并逐渐向全国联网电力系统发展;电力系统的单机容量也越来越大,最大的单机容量已达 60 万千瓦;系统的最高电压等级已达 750 kV;系统的结构和运行方式也越来越复杂;电力用户对供电可靠性和电能质量的要求越来越高。所有这些都对电力系统的运行提出了更高的要求。原来的调度运行方式已完全不能适应现代电力系统的运行和控制。随着计算机技术的迅猛发展,为了保证电力系统运行的安全性和可靠性,保证电力系统的供电质量,提高电力系统运行的经济性,近十多年来,我国大多数电力系统都已分别建立了规模不同的电力系统调度自动化系统,使得电力系统运行人员能及时而正确地获得电力系统的实时信息,完整地掌握电力系统的实时运行状态,并部分或完全地实现调度自动化。随着电力系统自动化水平的不断提高,在很多省级电力系统中还建立了将 SCADA 系统、自动发电控制和网络分析等功能有机联系为一体的“能量管理系统(EMS)”,使电力系统从经验型调度提高到分析型调度,全面提高了电力系统运行在安全、经济、质量和环境保护方面的水平。

本书的主要内容着重阐述电力系统调度自动化系统的基本要求和构成,以及其基本理论和方法。由于电力系统调度自动化涉及电力系统分析和运行理论、现代控制理论、计算机科学、通信技术等很多领域,本书不可能对所有问题都详细阐述。读者如需对某些问题作进一步了解,请参考有关的专门书籍和资料。“能量管理系统(EMS)”将电力系统调度自动化系统置于“管理系统”的层面,它包含了更高层次的自动化运行管理水平。但本书的宗旨是着重阐述电力系统调度自动化系统的基本要求和构成,以及其基本理论和方法,因此,对“能量管理系统(EMS)”仅作简单介绍,读者如需详细了解,请参考有关的专门书籍。

本书可作为高等院校“电力系统及其自动化”专业的选修课或研究生教材,也可供从事电力系统规划、设计、运行和管理的工程技术人员参考。

胡国根教授审阅了全部书稿,提出了许多宝贵意见,作者在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在缺点和错误,敬请专家、读者指正。

作　者

2002 年 6 月

目录

第 1 章　绪　论 …… 1
1.1　电力系统的运行状态和调度控制的基本内容…… 1
1.2　电力系统监控及调度自动化系统的发展…… 5
1.3　电力系统调度自动化系统的基本结构…… 7
第 2 章　电力系统调度控制自动化系统…… 11
2.1　电力系统的信息收集和执行系统 …… 11
2.2　电力系统的信息传输系统 …… 19
2.3　电力系统的信息处理系统 …… 30
2.4　人机联系系统 …… 36
2.5　SCADA 系统 …… 39
第 3 章　电力系统状态估计 …… 44
3.1　概述 …… 44
3.2　电力系统运行状态的表征与可观察性 …… 46
3.3　最小二乘估计 …… 49
3.4　静态最小二乘估计的改进 …… 54
3.5　支路潮流状态估计法 …… 62
3.6　电力系统的递推状态估计 …… 67
3.7　不良数据的检测 …… 69
3.8　不良数据的残差搜索辨识法 …… 73
3.9　不良数据的估计辨识法 …… 76
3.10　电力系统网络拓扑的实时分析…… 77
3.11　网络结构辨识的基本概念…… 79
第 4 章　电力系统的安全分析和控制 …… 81
4.1　概述 …… 81
4.2　电力系统运行状态的安全分析 …… 85
4.3　电力系统安全控制对策…… 102
4.4　电力系统的安全控制…… 112
第 5 章　电力系统经济运行和电能质量的控制 …… 126
5.1　电力系统自动调频的任务及调整准则…… 126
5.2　电力系统的自动调频方法和自动发电控制…… 129

需要全本请访问 www.ertongbook.com

5.3 电力系统的经济运行 …… 134
5.4 电力系统无功功率及电压的控制 …… 139
第6章 能量管理系统简介 …… 143
6.1 概述 …… 143
6.2 EMS的设计、开发与应用 …… 146
6.3 EMS概貌 …… 149
6.4 能量管理软件 …… 151
6.5 网络分析软件 …… 152
6.6 配电管理系统概述 …… 154
参考文献 …… 156

第 1 章 绪 论

1.1 电力系统的运行状态和调度控制的基本内容

为了调度控制电力系统,需要对电力系统的运行状态进行分类,并了解在不同运行状态下应如何对电力系统实行控制。在讨论电力系统的调度控制功能以前,先来分析一下电力系统运行的各种状态及其条件。

1.1.1 电力系统的运行状态

电力系统的运行条件一般可用三组方程式组来描述。一组微分方程式组用来描述系统元件及其控制的动态规律;两组代数方程式组则分别构成电力系统运行的等式和不等式约束条件。所谓等式约束条件就是系统发出的总的有功和无功功率应在任一时刻都与系统中随机变化着的总的有功和无功负荷(包括线损)相等,这是电力系统正常运行的必要条件,可用下列代数方程表示:

$$\sum_i P_{Gi} - \sum_j P_{Lj} - \sum_s \Delta P_s = 0 \tag{1.1}$$

$$\sum_i Q_{Gi} - \sum_j Q_{Lj} - \sum_s \Delta Q_s = 0 \tag{1.2}$$

式中 P_G, Q_G —— 发电机或其他电源设备发出的有功和无功功率;

P_L, Q_L —— 各种负荷的有功和无功功率;

ΔP_s, ΔQ_s —— 电力系统中各种有功和无功功率的损耗。

所谓不等式约束条件就是在系统正常运行条件下涉及系统安全运行的某些参数(如母线电压,线路潮流等),应处于系统或设备安全运行的允许范围之内(上限及下限)。

例如:

$$\left.\begin{aligned} f_{min} &\le f &&\le f_{max} \\ U_{imin} &\le U_i &&\le U_{imax} \\ P_{Gimin} &\le P_{Gi} &&\le P_{Gimax} \\ Q_{Gimin} &\le Q_{Gi} &&\le Q_{Gimax} \\ S_{ijmin} &\le S_{ij} &&\le S_{ijmax} \end{aligned}\right\} \tag{1.3}$$

式中　f、f_{max}、f_{min} —— 系统频率及上、下限制;

U_i、U_{imax}、U_{imin} —— 母线电压及其上、下限值;

P_{Gi}、P_{Gimax}、P_{Gimin} —— 发电机有功出力及其上、下限值;

Q_{Gi}、Q_{Gimax}、Q_{Gimin} —— 发电机等无功电源的无功出力及其上、下限值;

S_{ij}、S_{ijmax}、S_{ijmin} —— 线路 i - j 的功率潮流及其上、下限值。

目前,电力系统的运行状态尚没有严格的定义,一般将其分为正常运行状态、警戒状态、紧急状态、崩溃状态和恢复状态。图 1.1 表示了电力系统的运行状态及其相应的转换关系。

(1) 正常运行状态

在正常运行状态下,电力系统满足所有上述约束条件,表明电力系统能以质量(电压和频率) 合格的电能满足负荷的用电需求,也就是说,电力系统中总的有功和无功出力能和负荷总的有功和无功功率的需求达到平衡;同时电力系统的各母线电压和频率均在正常运行的允许偏移范围内;各电源设备和输变电设备又均在规定的限额内运行。在这种状态下,发电设备及输变电设备均有足够的备用余量,使系统具有适当的安全水平,能承受正常的干扰(如无故障断开一条线路或发电机),而不致进一步产生有害的后果(如设备过载)。在正常的干扰下,系统能达到一新的正常运行状态。电力系统运行的目的就是尽量维持正常运行状态。

在正常运行状态下,电力系统对每时每刻的不大的负荷变化的反应,可以认为是电力系统从一个正常状态连续变化到另一个正常状态,运行的主要目的就是使发电的出力与负荷(包括线损) 的需要相适应,同时,还应在保证安全的条件下,实现电力系统的经济运行。

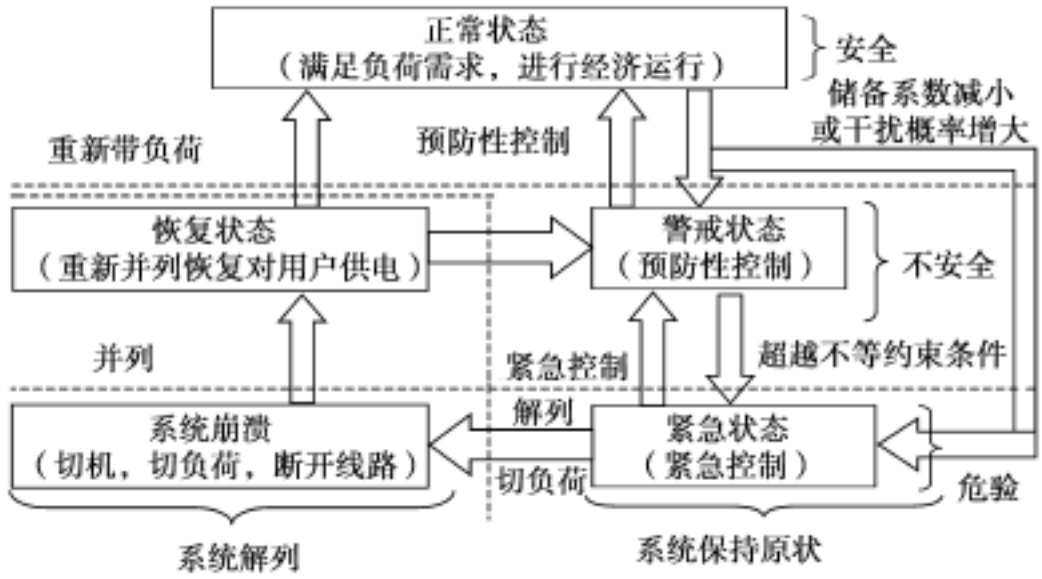


图 1.1　电力系统运行状态示意图

(2) 警戒状态

当负荷增加过多,或发电机组因出现故障不能继续运行而计划外停运,或者因发电机、变压器、输电线路等电力设备的运行环境恶化(如计划外负荷的增加、燃料供应不足、发电机计划外的停运以及外界条件(如循环水温升高) 等原因而使发电机出力降低;由于辅机故障而使发电机出力减少;计划外的输电线或变压器的断开;负荷的不正常分配;由于高温等自然现象而减少送电能力;变更检修计划;风暴、水灾、地震等自然灾害,以及社会治安等因素使电力系统中的某些电力设备的备用容量减少到使电力系统的安全水平不能承受正常干扰的程度时,电力系统就进入了警戒状态。

在警戒状态下,电力系统运行的各种等式和不等式约束条件均能满足,仍能向用户供应质量合格的电能。从用户的角度看电力系统仍处于正常状态,但从电力系统调度控制来看,警戒

状态已经是一种不安全状态。紧急状态与正常状态是有区别的，两者的区别在于：紧急状态下的电能质量指标虽然仍是合格的，但与正常状态相比与不合格更接近了；电力设备的运行参数虽然在允许的上、下限值之内，但与正常状态相比更接近上限值或下限值了。从电力系统调度控制的角度来看，警戒状态下，系统的安全储备系数大大减少了，对外界干扰的抵抗能力削弱了。所以，在随后一个不能预测的干扰或渐进性的负荷增长条件下，就有可能使某些不等式约束条件越限（如某些设备过载、某些母线电压低于下限值等），而使系统的安全运行受到威胁和破坏。因此，在运行中要注意并尽早发现电力系统由正常运行状态向警戒状态的转变，并应及时采取预防性的控制措施，使系统尽快恢复到正常状态。例如，增加和调整发电机出力，调整负荷的配置，切换线路等。

（3）紧急状态

一个处于正常状态或警戒状态的电力系统，如果在受到一个足够严重的干扰（例如短路故障，切除大容量机组等），系统则有可能进入紧急状态。在紧急状态下，某些不等式约束条件将遭到破坏，如线路潮流或系统其他元件的负荷超过极限值，系统电压或频率超过或低于允许值等。这时的等式约束条件仍能得到满足，系统中的发电机仍能继续同步运行，可不切负荷。

紧急状态下的电力系统是危险的，电力系统调度控制应尽快消除故障的影响，及时而正确地采取一系列紧急控制措施，则仍有可能使系统恢复到警戒状态或正常状态。

（4）系统崩溃

在紧急状态下，如果不能及时采取适当的控制措施，或者这些措施不够有效，或者初始的干扰及其所产生的连锁反应十分严重，则系统有可能失去稳定。在这种情况下，为不使事故进一步扩大并保证对部分重要负荷供电，电力系统中的自动解列装置可能动作，调度人员也可以进行调度控制，将一个并联运行的电力系统解列成几个子系统。这时电力系统就进入了崩溃状态。此时，由于各子系统出力和负荷间的不平衡，不得不大量切除负荷及发电机，从而导致全系统的崩溃。图 1.2 是发生故障后系统崩溃过程的例子。

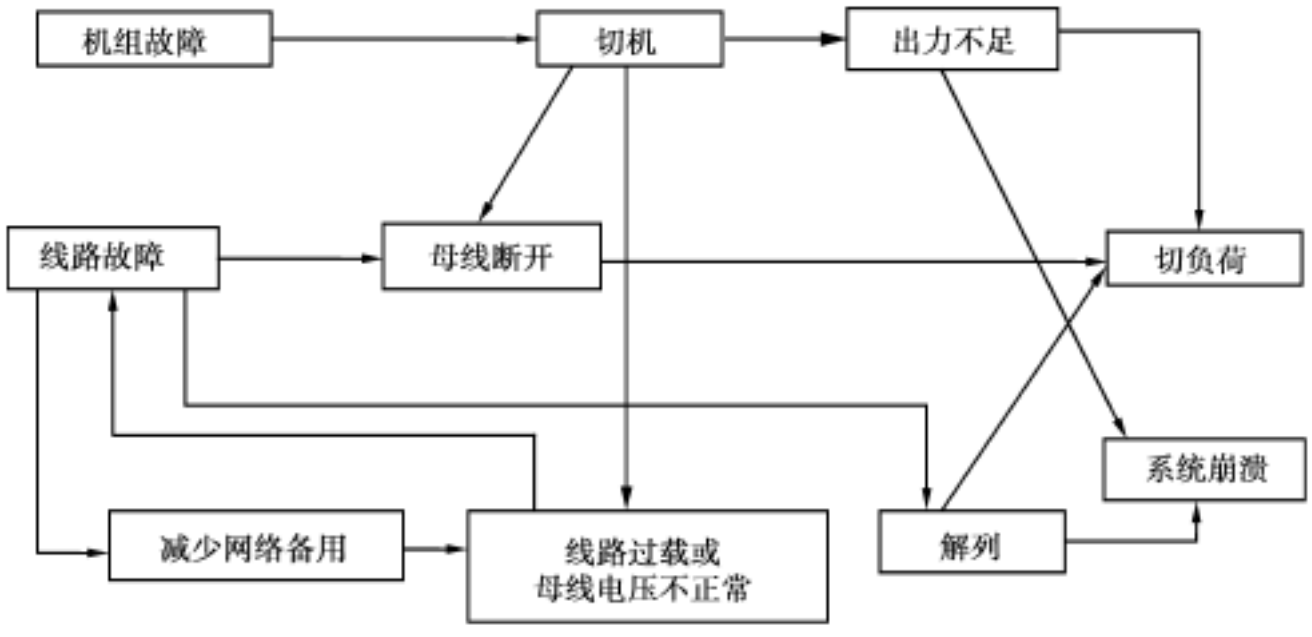


图 1.2　电力系统故障后系统崩溃过程的例子

系统在崩溃状态下，解列成的各子系统中等式及不等式约束条件均遭到破坏。一些子系统由于电源功率不足，不得不大量切除负荷；而另一些子系统则可能由于电源功率大大超过负荷而不得不让部分发电机组解列。

系统崩溃时,电力系统安全控制的功能应尽可能避免连锁性的事故发展,挽救系统各解列部分,使其能维持部分供电,避免系统瓦解。电力系统瓦解是由于不可控制的解列而造成的大面积停电状态。

(5) 恢复状态

在系统崩溃后,借助继电保护和自动装置将故障区隔离,使事故停止扩大。待电力系统大体上稳定下来后,如果仍有部分设备运行于额定能力范围之内,或者若干设备已重新启动,则系统可进入恢复状态。这时,对于仍接在系统中的设备,相等约束条件已能满足,但部分用户停电,或者部分发电机或线路(变压器)处于断开状态,或者电力系统已分解成几个部分。这时,应采取各种恢复出力和送电能力的措施,迅速而平滑地对用户恢复供电,使分开的系统重新并列。根据系统的实际情况,从这种状态可恢复到正常状态或警戒状态。

目前,对电力系统的运行状态没有严格和统一的定义。上面介绍的五种运行状态也只能是一种分类的方法,至于从一种状态转移到另一种状态也有很大的假定性。但是,通过这种电力系统运行状态的分析,可以使我们比较清楚地了解电力系统运行的概念及在各种情况下控制的特点,为下面各部分内容的叙述打下基础。

1.1.2 电力系统调度控制的基本内容

电力系统调度控制的基本任务,就是根据电力系统实时的运行状态和相应的运行目标提出调度控制任务和措施。在上述每种电力系统运行状态下,都将提出不同的调度控制目标。在电力系统运行中,一般有下列几个主要的目标:

1) 满足用户供电需要,包括供电的数量和质量(电压和频率);

2) 系统安全性,保证连续的系统功能;

3) 最小成本(发电和传输);

4) 环境保护(使其对环境和生态的影响最小);

5) 节约燃料和其他资源。

在不同的电力系统运行状态下,对上述各调度控制目标的要求是不同的,所以电力系统调度控制可以看成是一个随电力系统状态变化的多目标优化问题。上述五个目标是不可相比的,有时彼此还是矛盾的,在不同的运行状态下,目标的优先级也是不一样的。

在正常运行状态下,满足用户供电需求是一个硬性的约束条件,但是在紧急状态下,当不能满足供电需要时,要有选择地切除一部分不重要的负荷,以保证重要负荷的供电(如交通、医院、连续生产的工厂)和全系统的安全。

几十年来,以最小成本为目的的经济运行一直是一个重要的运行目标。20 世纪 60 年代后期,由于电力系统的不断增大,出现了前所未见的现象,安全性受到重视。运行人员意识到加在经济运行上的安全性限制,例如在安排出力计划时应保证每一地区的最大出力和避免主要干线的过载。在正常状态下,由于一般有足够的出力,所以主要的目标是受安全约束的最小成本。在实际的正常运行条件下,安全性目标可能是很起作用的,也可能不甚引人注目。但在警戒状态下,安全约束就很重要了。在出力不足时,就需要注意受安全和燃料约束的最大供电负荷。在紧急状态下,需要使全系统得到最大的安全性,而在解列状态,则要保护设备。在这些情况下,最小发电成本将不是主要的目标。

在一些工业发达国家的现代化调度控制中,已提出电力系统运行对环境和生态的影响问

题,这就使问题更加复杂化了。环境影响问题主要应在设计阶段考虑。但在运行过程中对环境也有一定的影响。因为发电厂在生产过程中将产生相当数量的固体和气体废料,导致空气和水的污染,所以要控制诸如:烟(卤)气成分(SO_2、CO_2、NOx、粒子含量)、温度、扩散速度、冷却水的流出温度和流速、噪音等,要注意的是上述量的瞬时水平或速率,或者平均水平。

节约燃料与燃料的供应条件、价格等因素有关,并与国家的能源政策有关,例如由于燃油的限制而改为烧煤等。

上述各种运行目标在各种运行状态中的要求仅仅作为例子,但足以表明电力系统状态及其相应的运行目标的可变性。

电力系统的调度控制就是在电力系统的不同状态下为达到相应的运行目标而进行的工作,其基本内容可分为三个方面。

1)从几个小时到几个月的短期运行计划,是在考虑出力资源的可用性、负荷预测、出力计划和机组开停机计划、交换功率计划、无功功率计划、网络配置和开关操作计划等条件下制订的调度计划,其目的是在保证供电质量及系统安全可靠的前提下,使系统的运行费用为最少。

负荷预测应考虑社会工农业发展趋势及天气预报等。

能源资源的可用性包括燃料的供应条件,价格的变化,水源情况等。

在运行计划中还要考虑:负荷分布及网络的限制,检修计划,机组的可用率及出力容量的限制,在有水电厂的系统中还包括水流来量的预测,环境限制,所需调节容量积聚的快慢等。

2)瞬时运行是为了实现预定的计划,并监视和控制电力系统,使符合实时的需要,包括对出力、负荷、电压的监视(包括上、下限值的校核),以及保护系统的动作、设备的损坏等的监视,通过操作和控制,调整和重新安排出力及网络结构。要保证瞬时的功率供需平衡,使电能保持额定频率,这也叫频率控制,是系统稳定运行的必要条件。

为保证电力系统的电压水平,控制中心要监视电压并调节或操作切换无功功率电源(如发电机励磁系统,并联电容器等)。控制中心的作用除正常监视有功和无功功率负荷外,要准备系统经受可能出现的事故。每一个电力系统均有各自的设计判据和安全运行准则,一般要求系统能承受:①发电机组的断开;②输电线或变压器的断开;③瞬时故障。

在故障情况下,控制中心的运行人员应采取相应的措施,如改变出力,变更网络结构等。在故障消除后,则要迅速恢复系统的正常供电。

3)运行报表及事故处理。前者是为了向运行人员及有关机构提供运行报告和统计资料与数据。事故记录可按事故发生的时间及性质分类,使运行人员能及时确定故障发生的地点及其原因。此外,事故数据的记录(如电压、潮流)有助于事故后的系统恢复,以及事后的分析。

1.2　电力系统监控及调度自动化系统的发展

为了合理监控和协调日益扩大的电力系统的运行方式和处理影响整个系统正常运行的事故和异常情况,人们在形成电力系统的最早阶段,就注意到电力系统的远程监控问题,并提出必须设立电力系统的调度控制中心。在开始阶段,由于通讯设备等技术装备的限制(如只有电话),上行、下行信息都是通过电话传送,调度人员需要花很多时间才能掌握有限的代表电

需要全本请访问 www.ertongbook.com

力系统运行状态的信息。为了保证电力系统运行的可靠性,在事故情况下,除了继电保护装置、电源和负荷的紧急控制装置外,大多依靠调度人员和发电厂、变电所的运行人员根据这些有限的信息和运行经验,作出判断,再进行电力系统的调度和操作。在这一发展阶段,电力系统的很大一部分监视和控制功能是由电力系统的所属发电厂和变电所的运行人员直接来完成的。所以,在这一阶段,电力系统监视和控制的快速性和正确性都受到一定的限制。

随着电力系统的进一步扩大和复杂化,要求调度人员利用原有的技术装备,在很短的时间里掌握这样复杂多变的电力系统运行状态,并作出正确的判断是很困难的,甚至是不可能的。20 世纪 50 年代兴起了远动技术,并很快应用于电力系统。远动技术和通讯技术的发展,使电力系统的实时信息直接进入调度控制中心成为可能,远动技术使远方仪表读数和信号继电器的位置信息及时传送到调度中心,显示在模拟盘上。调度人员可根据这些信息迅速掌握电力系统的运行状态,及时对电力系统运行方式的改变做出决定,并能及时发现和迅速处理所发生的事故。但是,在复杂的事故情况下,要求调度人员能及时地掌握和分析这么多信息,并能迅速地作出正确的判断往往是困难的。在某些情况下,反而由于大量信息的出现,使调度人员不知所措,以致延误事故处理的时间,甚至会做出错误的决定,导致事故的进一步扩大。同时,无人值班的发电厂和变电所的发展也加重了调度控制中心的任务。因此,电力系统的运行实践向人们提出了使电力系统监视和控制进一步自动化的要求。

在 20 世纪 60 年代,开始应用数字式远动设备来代替传统的模拟式远动设备,使信息的收集和传输技术在精度、速度和可靠性上都有了一个很大的提高,使调度控制中心能正确、迅速而经济地得到调度控制用的电力系统实时数据。远动装置从 1 对 1 发展为 1 对 N 的集中控制方式,使统一处理收集到信息成为可能,并为计算机用于信息处理和调度自动化奠定了基础。

20 世纪 70 年代初,计算机直接用于电力系统调度,使电力系统的监控大为改观。在开始阶段,计算机与相应的远动装置及通讯设备组成的系统,主要用来完成电力系统运行状态的监视(包括信息的收集、处理和显示)、远距离开关操作、自动出力控制及经济运行,以及制表、记录和统计等功能,一般称为监视控制和数据收集系统(SCADA—Supervisory Control and Data Acquisition)。20 世纪 60 年代后期,国际上出现许多大面积停电事故以后,电力系统运行的安全性已成为人们注意的中心。解决电力系统运行的安全问题,不仅要从电力系统的结构、设备的质量及其维护、各种保护措施和自动装置等方面进行努力以外,关键在于加强全系统的安全监视、分析和控制,在出现任何局部故障以后,能迅速处理和恢复正常运行,不使任何局部的故障扩大为全系统的事故。同时,应尽可能做到“防患于未然”,即应在计算和分析当前运行状态的基础上估计出各种可能发生的故障,采取预防性措施,以尽可能避免事故的发生和发展。在原有 SCADA 功能的基础上,增加了安全分析与安全控制功能以及其他调度管理和计划管理功能。这个系统被称为能量管理系统(EMS—Energy Management System)。利用这个先进的自动化管理系统,运行人员的工作已从过去监视记录为主转变为较多地进行分析判断和决策,而日常的记录工作则由计算机取代。

目前,世界上已有数百个电力系统应用了以计算机为核心的调度自动化系统。

大容量、高速度的大型计算机和微型计算机及其网络系统在电力系统中的应用,充分显示了计算机存储信息量大、综合能力强、决策迅速等许多优点。日益提高的计算机性能价格比为计算机在电力系统自动化方面的普及应用创造了条件,也为电力系统调度自动化提供了更加优越的物质保证。现在世界上已出现了把电力系统实时运行的能量管理系统(EMS)和配网

调度控制中使用的自动控制系统(配网自动化系统 DAS—Dispatch Automation System)以及在电力工业各有关部门中用于管理和规划的管理信息系统(MIS - Management Information System)结合起来的综合自动化系统,把不同层次的电力系统调度自动控制功能和日常生产的计划管理功能在信息共享和功能互补上很好地结合了起来,使电力系统运行的安全性、经济性提高到了一个新的水平。

1.3　电力系统调度自动化系统的基本结构

1.3.1　电力系统的分层调度

从理论上讲,可以对电力系统实行集中调度控制,也可以实行分层调度控制。所谓集中调度控制就是把电力系统内所有发电厂和变电站的信息都集中在一个调度控制中心,由一个调度控制中心对整个电力系统进行调度控制。从经济上看,由于电力系统的设备在地理位置上分布很广,通过远距离通道把所有的信息传输并集中到一个点,投资和运行费都比较高;从技术上看,把数量很大的信息集中在一个调度中心,调度人员不可能全部顾及和处理,即使使用计算机辅助处理,也会占用计算机大量的内存和处理时间;此外,从数据传输的可靠性看,传输距离越远,受干扰的机会就越大,数据出现错误的机会也就越大。

鉴于集中调度控制的缺点,目前世界各国的大型电力系统都是采用分层调度控制。国际电工委员会标准(IEC870—1—1)提出的典型分层结构就是将电力系统调度中心分为主调度中心(MCC)、区域调度中心(RCC)和地区调度中心(DCC)。这些相当于中国的大区电网调度中心(简称网调)、省调度中心(简称省调)和地区调度所(简称地调)。分层调度控制将全电力系统的监视控制任务分配给属于不同层次的调度中心。下一层调度根据上一层调度中心的命令,结合本层电力系统的实际情况,完成本层次的调度控制任务,同时向上层调度传递所需信息。按照电力系统调度的分层控制管理办法,电力系统调度由各网调、省调、地调对系统的运行进行统一调度指挥,使电力系统的运行能随时满足发、供电要求,保证供电质量,并提高系统运行的安全性和经济性。电力系统调度自动化系统基本上是和调度体制的分层分级结构一致的,即分为网调、省调、地调的调度计算机系统。在技术上这样的分层分级调度控制也是有利的,其优点是:

1)便于协调调度控制　电力系统调度控制的任务有全局性的,亦有局部性的,但大量的则是属于局部性的。分层调度控制将大量的局部性调度控制任务由下层相应的调度机构完成,而全系统性或跨地区的调度控制可以由上层相应的机构完成。这种结构模式便于协调电力系统的调度与控制。同时,电力系统不断扩大,运行信息大量增加,分层调度控制各层次的调度控制中心根据各自分担的调度控制任务采集和处理相应的信息,可以大大地提高信息传输和处理的效能。

这样的分层分级调度自动化系统和电力系统本身的组织结构一致,能适应电能生产的内部特点。一般地,高压电网输送的功率大,对电网的全局的影响较大;而低压网络主要起分配电能的作用,低压网络事故对全局的影响较小。另外,高压网络的结构简单,但调度人员对它却倍加注意;低压网络虽然结构复杂,线路繁多,但相对重要性差得多,分层以后,便于把更大

力量加强到重要层次的调度自动化系统上,以提高系统运行的自动化水平。

2) 便于提高系统运行的可靠性　调度自动化系统是连续工作的,采用分层调度控制方式,每一个调度控制中心或调度所都有一套相应的调度自动化系统收集自己管辖范围内 电力系统运行状态信息,完成所分工的调度任务。当某一调度所自动化系统出现故障或停运时,只影响它分工的那一部分,而其他调度控制中心的调度自动化系统仍然照常工作。这就提高了整个系统的可靠性。

3) 提高实时响应的速度　电力系统调度控制的实时性是很重要的,事故处理、负荷调度、不正常运行状态的改善和消除都必须在一定的时间内完成。电力系统的规模大,结构复杂,分层之后可以把任务分散,每层的调度自动化系统只处理自己所管辖的区域的调度控制任务,同一层次的调度自动化系统可以平行地同时独立工作,每个子系统任务减轻了,实时响应速度可以大大提高。

4) 灵活性增强　调度自动化系统分层分级以后,系统扩大、变更、改变功能都可以分层分散进行,不必牵动全局,系统变更的灵活性增强了。

5) 提高投资效率　下层系统就是上层系统的基础,逐级地建设调度自动化系统不需重复设置;对主电网(如省级电网) 投入多的资金设置性能好、功能强的调度自动化系统,对非主电网(如地区级电网) 不必过分追求高性能的系统。

1.3.2　调度自动化系统的基本结构

以远动系统为基础,以计算机为核心,组成了电力系统调度自动化系统。以计算机为中心的电力系统调度控制自动化系统的基本结构如图 1.3 所示,在这个系统中可根据其完成功能的不同,分为四个子系统:①信息收集和执行子系统;②信息传输子系统;③信息处理子系统;④人机联系子系统。

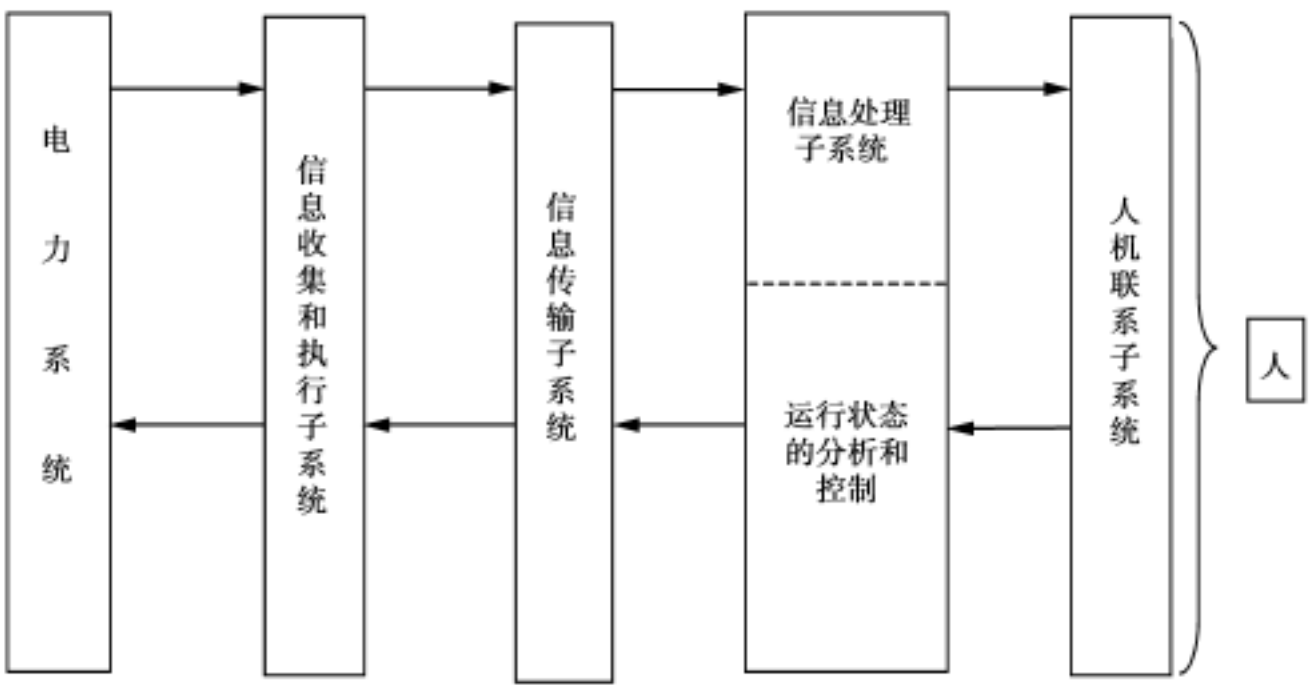


图 1.3　电力系统调度控制自动化系统的基本结构

(1) 信息收集和执行子系统

信息收集和执行子系统的作用是在电力系统中各发电厂、变电所或线路上收集各种表征电力系统运行状态的实时信息,并根据运行需要向调度控制中心提供各种监视、分析和控制电力系统所需要的信息。电力系统的运行状态(如频率、电压、功率潮流、断路器状态等) 将通过

远动装置传送到调度控制中心。在现代化的电力系统调度控制系统中还应包括与电力系统运行有关的周围环境的信息,如温度、湿度、云层覆盖度等。所有这些信息可以是直接由远动装置所在的厂(所)收集的,也可以是下一级控制中心转送来的信息。现在,一般在厂(所)都设有以微机为核心的远方终端(RTU - Remote Terminal Unit),因此所传送的信息都是已经处理和加工过的信息。

该子系统同时接受上级控制中心根据运行的需要而发出的操作、调节或控制命令,例如开关操作、启动机组、发电机功率调整、电压调整、电容器电抗器投切等。在接到命令后,可直接作用于操作机构,也可按一定规律将命令转发给各有关装置的操作和调节机构。

上述功能通常在厂(所)端由综合远动装置实现,或由远方终端 RTU 实现。一般 RTU 具有当地信息处理和显示功能。信息收集和执行子系统属电力系统的厂(所)基础自动化工作,量大面广,最好是在建设发电厂或变电所的过程中加以考虑。该子系统相当于调度控制自动化系统的耳、眼、手和脚,如果该子系统不可靠,任何高级的电力系统的调度控制自动化系统功能都无法实现。

(2)信息传输子系统

信息收集子系统收集到的信息应及时、无误地通过信息传输子系统传送给调度控制中心。现代电力系统中的信息传输系统主要采用电力线载波通讯、数字微波通讯和光纤通讯,光纤通讯为主、数字微波通讯为辅将成为我国电力通信主干网络的发展方向。

信息传输子系统也是调度控制自动化系统的一项基础设施,犹如调度控制自动化系统的神经系统,由于电力系统在地域上分布辽阔,信息传输子系统也分布广,建设的投资量十分大,而且受天气、环境及其他意外事故的影响。因此,既要保证信息传输的可靠性、快速性和准确性,又要尽可能地节省投资,合理布局,这就要合理地做好规划。

(3)信息处理子系统

信息处理子系统是调度自动化系统的核心,以计算机为其主要组成部分。它要完成的基本功能有:

1)实时信息处理　对采集到的信息需要进行加工处理,因为在实时信息中不可避免地包含有误差(测量误差、传输误差、外界干扰等),加上设备条件的限制,不可能收集到所有需要的运行参数,所以要利用收集得到的多余信息,通过状态估计等技术,消除误差,改进原始信息,使其得到精确和完整的运行参数,并将其存储在反映电力系统实时状态的数据库中。数据库将向所有电力系统调度、监视和运行控制计算提供统一的正确数据。在信息处理过程中,还可以根据预先设定的参数上、下限值,校核实时信息,当超出上、下限时,将通过故障显示或报警来引起运行人员的注意,以便及时采取相应的控制措施。

2)离线分析　为了预报电力系统近期和远期的未来运行状态,可以根据数据库中保存的历史记录数据及实时信息,进行未来的负荷预测计算,为未来的经济运行和安全分析提供依据;同时可以编制发电计划、检修维护计划、水库调度计划以及进行各种统计数据的整理分析。

3)电能质量的分析计算　电能质量的分析计算功能包括两部分:一部分是控制发电厂出力的分配,以达到维持系统频率为额定值和联络线的交换功率为给定值。这种过程大约几秒钟要执行一次,计算的结果将对所控制的机组发出增加或降低出力的控制信号。现在这将由自动发电控制(AGC—Automatic Generation Control)来完成。另一部分电能质量分析计算的功能是实现电压和无功功率的自动控制,它是通过调节发电机励磁、变压器分接头和并联电容器

(或电抗器)来调节电压,并使线损为最小。在实际运行中,定期地校验电压,当发现电压偏移超出规定范围时,就去启动控制电压的计算,还可以定期地进行最小线损计算和控制。

4)经济调度计算　一般几分钟进行一次,由计算机确定各发电厂的经济负荷分配,使全系统的发电成本为最小,或由计算机作出决策,如何调整系统中的可调变量,使系统运行在最经济的状态。

5)运行状态安全性的分析和校正　它包括安全监测、安全分析和安全校正三种功能。安全监测是调度员经常要做的工作,它的功能是在线识别和显示电力系统的实际运行状态(正常、警戒、紧急、恢复和崩溃状态)。最一般的监视方法是校核有关运行参数的上、下限,以确定是否临近危险的运行方式。在操作后(操作信号可由运行人员通过人机联系设备直接给出,或者通过下一级调度中心或发电厂、变电所运行人员执行),可以通过安全监视来验证操作的正确性。

安全分析的功能是确定电力系统当前运行状态是否安全。预防性安全分析就是在一组假想事故分析(例如在断开一台发电机后)的基础上,确定电力系统的安全性。在安全分析中可分为静态安全分析和动态安全分析两种。目前一般仅限于静态安全分析,用以校核设备的过负荷及频率和电压水平的偏移,看在预想事故下系统是否仍然处于安全运行状态,如果出现不安全运行状态,由安全校正功能确定使电力系统保持安全的校正措施,以便在发生故障的情况下提出处理的对策,在故障后的恢复期间提出合理的恢复步骤。

(4)人机联系子系统

计算机分析的结果如何以对调度员最为方便的形式显示给调度员,这是通过人机联系子系统来完成的。通过人机联系子系统,为调度员提供完整的电力系统实时状态信息,调度员随时可以了解他所关心的量,随时掌握系统运行情况,通过各种信息作出判断,并以十分方便的方式下达决策命令,实现对系统的实时控制。通过人机联系子系统使调度人员与电力系统及其控制和调度自动化系统构成一个整体,使运行人员在充分利用现代化监控手段的基础上充分发挥其对电力系统的调度和控制作用。

人机联系子系统包括模拟盘、图形显示器、控制台键盘、音响报警系统、记录打印绘图系统。更现代的图形显示系统可以像摄像机一样放大和缩小画面,开窗口,十分方便。

虽然可以将整个电力系统调度控制自动化系统分为上述四个子系统来讨论,但是在实际运行中只有把注意力放在整个系统上,才能充分发挥调度自动化系统的全面作用和其实用性,缺少任何一部分系统就不是完整的,就不能正常运转。例如,如果只注意计算机系统的配置,而忽视了其他子系统的配置,那么,计算机系统所取得的信息,不是数量上不足,就是精度不完全达到标准,因此人机联系子系统所提供的信息就不能作为调度、分析计算或统计工作的依据。

第 2 章
电力系统调度控制自动化系统

2.1 电力系统的信息收集和执行系统

在一个现代化的电力系统中,为了能正确和及时地掌握每时每刻都在变化着的电力系统运行情况,控制和协调电力系统的运行方式,处理影响整个电力系统正常运行的事故和异常情况,保证电力系统的安全和经济运行,必须具备一个完善的电力系统信息收集和执行系统,将分散在几十公里、几百公里以至上千公里以外的各发电厂和变电所的大量表征电力系统运行状态的信息,迅速、正确、可靠地送到调度控制中心,同时将控制中心的控制和调节命令传送到各发电厂和变电所,实现对电力系统的自动监视和控制。

在电力系统发展的初始阶段,由于通讯等技术装备的限制(如只有电话),调度人员只能掌握有限的表征电力系统运行状态的信息。一般来讲,这些信息又是历史性的(不是实时的)和不一致性的(不是同一瞬间所取得的信息)。调度人员只能根据这些有限的非实时的信息,凭着他们的运行经验,做出对电力系统运行状态的判断,再进行调度和操作。在这一发展阶段,电力系统中很大一部分监视和控制的功能是由电力系统中所属发电厂和变电所的运行人员直接就地完成的。在事故情况下,除了继电保护装置、电源和负荷的紧急控制装置外,大多是依靠运行人员的判断和人工操作的。所以,在这阶段,电力系统安全监视和控制的快速性和正确性都受到很大的限制。

电力系统不断扩大的结果是系统结构的日益复杂和运行方式的复杂多变;另一方面,对电能质量和供电安全性及经济性的要求也日益提高。在这种情况下,要求运行人员利用原有的技术装备,在很短的时间里,掌握这样复杂多变的电力系统运行状态的信息,并做出正确的判断,是很困难的,甚至是不可能的,而且往往因延误时机和处理错误,导致事故的扩大。

远动技术和通讯技术的发展使这种要求成为现实和可能。

2.1.1 电力系统实时信息的种类和采集方法

电力系统运行中,有大量的实时数据,它们分别从不同侧面指示了电力系统的运行状况。要实现对电力系统的调度控制,需要及时了解有关的信息。但要了解电力系统的全部信息不

需要全本请访问 www.ertongbook.com