

现代电力系统自动化丛书

---

**现代电力系统  
自动化与电子计算机  
的应用与发展**

王平洋

水利电力出版社

现代电力系统自动化丛书  
**现代电力系统自动化与电子计算机  
的应用与发展**

王 平 洋

•

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

•

787×1092毫米 32开本 3.75印张 79千字  
1986年9月第一版 1986年9月北京第一次印刷  
印数0001—4760册 定价0.85元  
书号 15143·5998

# 目 录

## 丛书前言

## 序 言

## 第一章 电力系统自动化的必要性及应用计算机的必然趋势

机的必然趋势 ..... 1

第一节 单个电厂从小到大, 电力系统从简单到复杂,  
越来越需要用计算机实现自动化 ..... 1

第二节 先从经济说起 ..... 4

第三节 联网是发展的必然趋势, 但带来新问题  
须用计算机处理 ..... 6

第四节 从安全方面看 ..... 8

第五节 供电质量也要求自动化 ..... 11

## 第二章 从四十年代到七十年代的自动化水平

第一节 继电保护是电网安全的基本手段 ..... 13

第二节 电力系统故障的大部分是线路故障 ..... 15

第三节 环网的安全问题更为复杂, 稳定破坏问题 ..... 16

第四节 功率盈亏的平衡 ..... 20

第五节 1965年纽约大停电事故及其教训 ..... 23

## 第三章 七十年代的电网调度自动化

第一节 七十年代电网调度控制中心的几个特点 ..... 30

(一) 数据信息收集及显示系统 (SCADA系统) ..... 31

(二) 计算机自动发电控制系统 ..... 34

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| (三)状态估计、识别事故和事件顺序记录 .....     | 36 |
| (四)进行预防性安全校核 .....            | 39 |
| 第二节 几个典型的七十年代电网调度控制中心 .....   | 40 |
| (一)英国中央发电局(CEGB) 国家调度中心 ..... | 40 |
| (二)吉隆坡、关西、斯图加特等调度中心 .....     | 44 |
| (三)美国BPA 迪特茂调度中心 .....        | 46 |

## 第四章 从七十年代到八十年代的电网调度自

### 动化系统 .....

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 第一节 第二次纽约大停电及其教训 .....       | 53 |
| 第二节 八十年代初展望八十年代电网调度自动化 ..... | 57 |
| (一)预防事故是最积极的反事故措施 .....      | 58 |
| (二)第二代计算机系统的特点 .....         | 60 |
| 第三节 几个八十年代调度控制中心的实例 .....    | 62 |
| (一)两个应用VAX-11型计算机的例子 .....   | 63 |
| (二)应用SEL-32型计算机的例子 .....     | 67 |
| (三)应用CDC计算机的系统 .....         | 69 |
| (四)培训模拟 .....                | 70 |

## 第五章 有关的若干问题 .....

|                        |    |
|------------------------|----|
| 第一节 数据收集与传送 .....      | 75 |
| 第二节 实现自动化的几项基础工作 ..... | 77 |
| 第三节 离线计算的支持 .....      | 80 |
| 第四节 培训问题 .....         | 82 |

## 第六章 发展现代控制中心的展望 .....

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 第一节 微型化与计算机系统结构的动向 .....     | 88 |
| 第二节 水电厂、变电所及电力系统自动化的动向 ..... | 91 |
| 第三节 火电厂自动化 .....             | 97 |
| (一)日本八十年代以前发展的过程 .....       | 97 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| (二)国际间 1985年~1990年的发展展望 ..... | 98  |
| (三)可能在九十年代实现的自动化体系 .....      | 99  |
| 第四节 供用电自动化与企业管理 .....         | 101 |
| 第五节 人机联系与数据库问题 .....          | 104 |
| 参考文献 .....                    | 107 |

# 第一章 电力系统自动化的必要性 及应用计算机的必然趋势

## 第一节 单个电厂从小到大，电力系统从 简单到复杂，越来越需要用计算机 实现自动化

电力系统是从小到大逐步发展的。往往先有一个发电厂供给一个孤立的用电系统，形成最简单的电力系统。我们对电力系统的要求，首先要能连续不断地安全供电，然后取得最经济的效果。当电力系统只有单个电厂时，电力系统的安全性和经济性主要是单个发电厂的安全性和经济性。单个电厂的安全保护设施中，有一些单项的保护装置，如发电机的过电压保护、过电流保护、接地保护、功率反向保护或差动保护等，是用继电器自动装置担承这些单项的电气自动保护。还有汽轮机的超速危急保护和锅炉的汽压越限安全阀门等机械式自动装置。有许多参数需要监视，如汽温、汽压、真空度、水位、炉膛压力、燃烧情况以及汽轮发电机的电压、电流、轴承油温等都须由值班员定期监视，用巡视及定期抄表的办法，对每一个参数观察其有无异常情况，如有异常即须及时处理。电厂不大时，可以靠单项自动装置及远方控制，和手动操作来控制汽机的运行和锅炉的燃烧，以得到需要的安全性与经济性。司炉值班员观察锅炉的主蒸汽压力表，能判断锅炉的出汽量是否和炉内燃烧相平衡。出汽量增加而燃烧没有跟上，则汽压下降；出汽量减少而燃烧没有

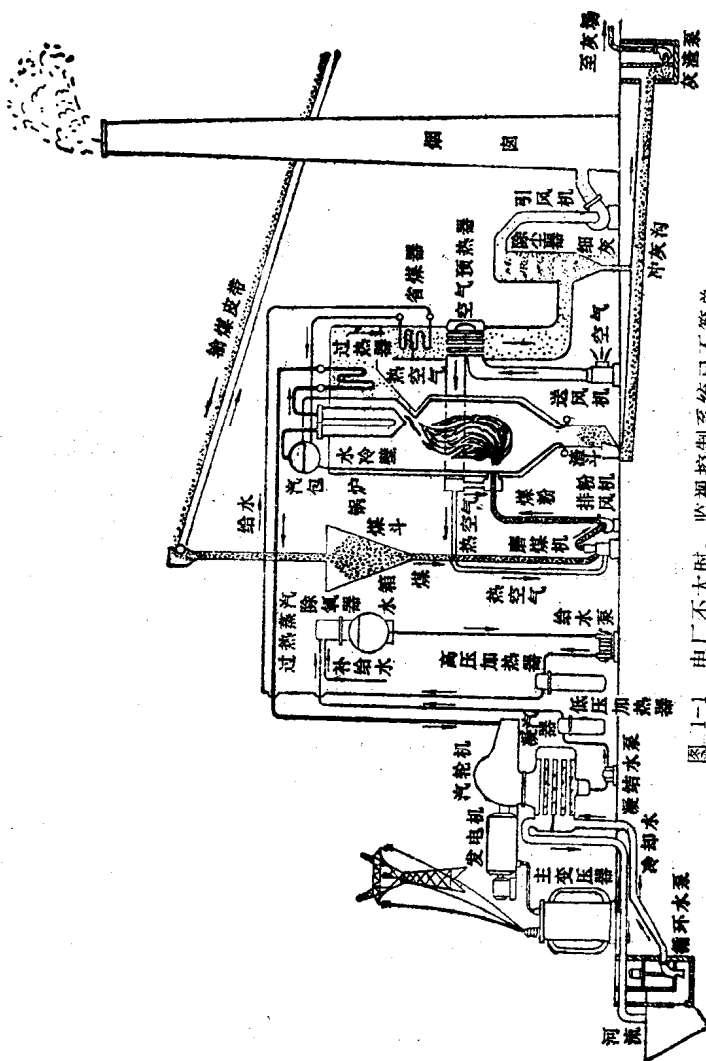


图 1-1 电厂不大时，监视控制系统已不简单

相应减少，则汽压上升。司炉值班员跟踪主蒸汽压力的变化而改变其进煤量和进风量，从而调节燃烧。同时，又观察火焰、处理结焦、定期吹灰以尽可能适应不同的煤种，达到最佳的节煤经济效益。此外，有些对安全至关重要的参数，如锅炉水位，一般设有水位自动调节装置，能自动按汽包内的水位变化调节输送入汽包的补给水量，以保持应有水位。但司炉值班员仍须经常监视水位表以保证锅炉不缺水或满水。在单机容量为1-2万kW时，配置的锅炉一般蒸发量为每小时50t至100t，运行人员安全经济运行的巡视操作，主要活动于称为“八米平台”的运转层上。这运转层已有住宅二层楼那么高（见图1-1），汽包水位表位置更高，要爬几层楼梯才能直接看到。为了方便监视，可以用光或电的方法，把水位的显示引下来，在运转层进行观察，仍必须有自动水位调节装置和报警装置。可见，当单机容量不大时，靠单项自动装置、通过远动装置用手动操作来保证正常出力及安全和经

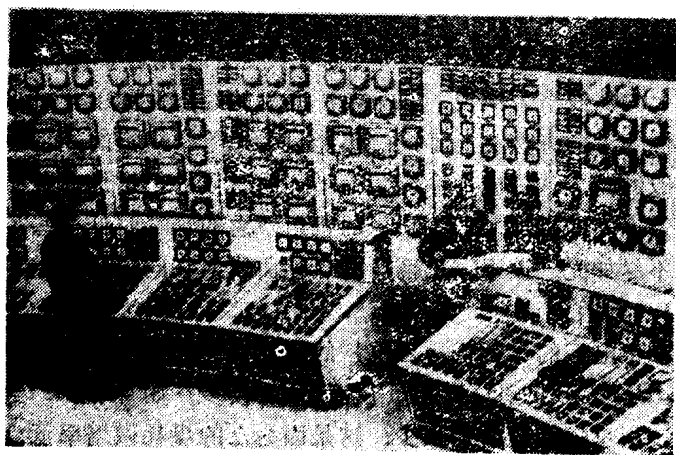


图 1-2 苏联80万kW机控制盘

济，已经不很简单。单机容量大到20~30万kW，配置锅炉蒸发量达700~1000t/h，则虽有单项自动及远动装置，操作仍是十分困难的，综合调节的自动化装置已属必需的手段。此时，机炉控制台上的操作把手数量已经很多，难于眼明手快地进行操作。单机容量大到60万kW或80万kW以上(见图1-2)，则由于信息太多，如果不经过一定的综合分析，不易直观地辨识问题。因此，不用计算机来协助监控是不大可能的了。单元机炉已经如此，多个电厂联合供电的电力系统，更必须用计算机来进行监控。下文详细说明这个问题。

## 第二节 先从经济说起

用电负荷不断增长，供电范围逐渐扩大，就发展为多个电厂联合供电的电力系统，包括远处的矿口电厂或水电厂通过输电线路接入系统。这时，除水、火电厂本身的安全性和经济性外，又有多个电厂间互相影响的安全性和经济性，问题就比较复杂了。

先从经济方面说，几个电厂间总的经济性和单个机组经济性的考虑方法有所不同，不能只考虑单个机组的经济性。一般的概念认为电力系统负荷增加的时候，把增加的负荷分给效率高的机组，即煤耗低的机组，总的煤耗将低一些。其实不尽如此。设甲、乙两厂的煤耗曲线(在同样坐标上)如图1-3所示。

甲电厂的煤耗低，乙电厂的煤耗高。但是，如果增加负荷 $\Delta P$ 给了甲，则总煤耗量反而增加较多。如果把 $\Delta P$ 给了乙，则总煤耗量增加很少，这是因为乙的煤耗微增率低，所以，分配负荷应按煤耗微增率来作经济负荷分配。

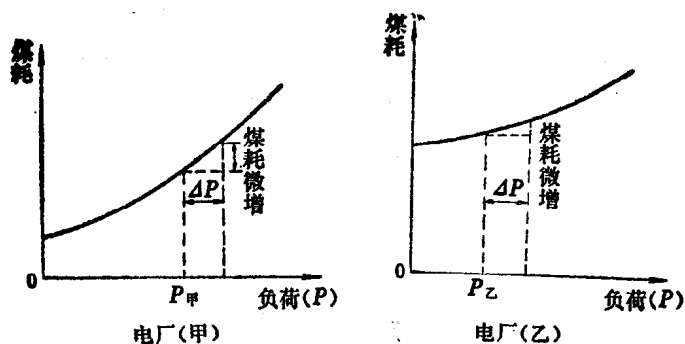


图 1-3 甲、乙厂煤耗曲线的比较

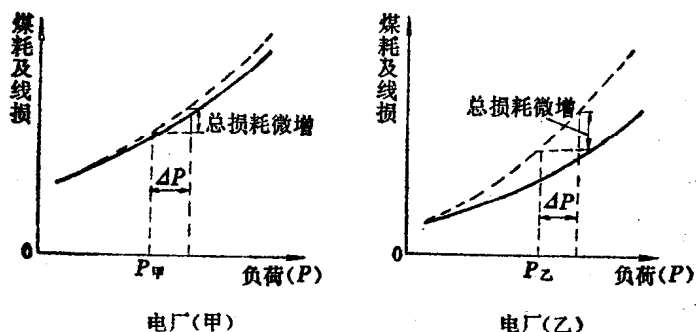


图 1-4 甲、乙厂煤耗和线损曲线的比较

(.....包括线损的总煤耗; ——煤耗曲线)

电力系统发展到具有长距离的输电线路时, 由于线路损耗很大, 如果仍只按煤耗微增率来分配负荷, 可能将要求距离负荷中心较远的电厂承担较多负荷, 而实际上这样分配时, 线损太大并不合算。图1-4为同样坐标上, 甲、乙厂的煤耗和线损曲线。所以, 在考虑煤耗微增率的同时, 要加以线损的修正计算。电力系统形成复杂的联网时, 有多个电厂

向电网输入电力，由于环网之间的出力分配互相影响，成为一个称为多输入多输出的大系统，线损计算比较繁复，但节约煤耗的意义却更重大，有必要用计算机来进行计算。

### 第三节 联网是发展的必然趋势，但带来 新问题须用计算机处理

电力系统形成复杂的联网是一个发展的必然趋势，因为联网的好处很多。几个小电力系统联成一个大电力系统时，可以节省备用发电容量。例如甲、乙两个系统各有最大发电机组单机容量为10万kW。为了避免由于发电机组故障而停电，须有相当于这最大机组容量的备用容量，以使当大机组故障时，可以维持发电。这样，在没有联网以前，两个小系统各须备有一台10万kW机作为后备。联网以后就只需要一台10万kW机，因为两台10万kW机同时故障的机率是很小的（根据概率计算，如果一台机的故障率为1%，则二台机同时故障的机率为0.01%）。两个系统联在一起，互相支援，其安全可靠性的也得到了提高。例如京津唐电力系统和石邯电力系统，没有联网以前，遇有单机容量20万kW的大机组故障时，总要引起系统频率大降，损失很多负荷。自从联网以后，两个系统内各发生过一次20万kW机的事故，由于互相支援，都没有损失负荷，频率也降低甚微，联网的效果十分显著。又如两个系统的负荷特性一般总有差异，一个可能工业负荷多些，白天负荷大些，另一个可能生活用电多些，傍晚上灯时负荷大些。两个负荷合在一起，最大负荷不在同时，其总的最大负荷总要比分别两个系统的最大负荷相加的总数小一些，可以减小总的装机容量，这很大地提高了经济性。又如两个系统处于东西两个地区，暮色来临的时间东区

早于西区，这两个系统联在一起，错开开灯负荷的时间，也可以降低总的负荷。如果两个系统水、火电的比重不同，联在一起，还可以增进水、火电配合的利益。总之，联网的效果可以节省或推迟发电设备的投资，增加电力系统的运行经济性和安全性，好处很多，所以是发展的必然趋势。但电力系统联网容量越来越大，越来越复杂，在经济性和安全性方面都带来了新问题。

电力系统容量发展得越来越大，系统运行中的损耗已是一个不小的数字，除有功功率的线损以外，还有大量无功功率的线损。有功与无功之间有相互的关系，要计算最低的损耗，须考虑有功与无功的全面优化，就是所谓最佳潮流或最佳负荷控制，不用计算机是难于实现的。

电力系统发展得越来越复杂，既有火力发电厂又有水力发电厂，在经济运行中有水、火电配合的经济问题。火力发电厂中有烧油电厂、烧煤电厂和原子能电厂，其经济特性是各不相同的。

水力发电厂中，有径流式发电厂，基本上没有水库，来多少水就发多少电，这也有经济问题。同样一立方米水，能发电多少和其前池水位和尾水水位的水位差有关，因此和上游来水及下游泄水有关。如果一条河上有几个水电厂，形成一个梯级水电厂系统，则上下游水电厂间的相互配合，还须包括从上游流到下游的时间差。与经济用水和电力系统内节省燃料有复杂的关系。不用计算机计算是取不到这项利益的。法国罗纳河上从里昂到地中海的利翁湾，共有12个径流梯级电厂。落差虽不大，但用计算机调节控制后，收到了很好的经济效果，是一个很好的例子。

另一种水电厂是拥有水库的水电厂。水库有不同的容

取，调节水量的能力不同。大容量水库可以在连续几年中，丰水年与枯水年间互相调济水量，称为多年调节水库。有的水库只能在一年之中对不同的丰水枯水季节进行调节，称为年调节水库。也有小的日调节水库，只能调节一日内的用水多少。这种水库型水力发电系统的经济运行须考虑水库的经济用水，须考虑来水量的随机性（即随着机遇不同的偶然性变化），须考虑库容的综合利用，作防洪、灌溉、发电、保持航道水位等多种用途，须用多年水文资料做为背景来计算，涉及的数据量非常庞大。同时还须考虑负荷变化的随机性，须进行负荷预测的计算，有短期（几小时）和长期（1日或1周）的预测。这些计算比较繁复，但对水火电厂间的经济配合却起巨大的作用，都必须用计算机来计算。

可见，经济方面的问题是复杂的，其计算的效果也是巨大的。电力系统从小系统发展成多个电厂联在一起的大系统（即多输入多输出的大系统）其复杂程度使单凭人力的直观或感觉无法取得合理的经济运行效果，而由于电力系统容量甚大，微小的局部节省，即是一大笔能源和资金的节省，必须加以重视。一般经济调度的效果，约可节省全系统有功功率1%左右，则以一个容量为1000万kW，年发电量为500亿kWh的电力系统来估算，则经济调度的收益可每年节电5亿kWh，这可不是一个小的数目。

#### 第四节 从安全方面看

再从安全方面看，也有应用计算机的必要性，尤其是预防事故。几个电厂联在一起以后，电力系统的安全已经不是单个电厂的安全问题。电力系统的输电范围辽阔，大量线路

多是架空线路，既经风吹，又受雷打，还可能有鸟害，是事故较多的环节。往往一处发生故障导致一大片电力系统受影响。线路的安全保护除防雷保护外，一般用过电流继电保护及距离继电保护，还要采取自动重合闸的措施。当雷电击中线路或击中杆塔反击线路而引起闪络时，继电器动作，把线路跳开。雷电闪络过去后，电弧熄灭，把开关自动重新合上，即可维持供电。这种雷击后跳闸的线路故障，虽经自动重合闸处理后可以恢复正常供电，但这一扰动往往引起电力系统振荡失去稳定，仍不能正常供电。若能很快地及时重合，有时可以挽救。因此，一般情况下重合必须快速，才更为有效。我国双回线同架在一路杆塔上的较少，即使雷击双回线杆塔线路往往只击中三相线中的一线，则可以只跳开单相一线，然后快速重合，更易保持稳定，称为单相重合闸。

现在长距离输电线路往往中途有带负荷的变电所或开关站。故障发生在哪一区段内，只须跳开这一段线路，则更有利于保持及恢复电力系统的正常运行。为了辨识故障在哪一区段内，现在多采用距离继电器，阻抗继电器，方向继电器等。这些继电器在大多数情况下，一般能正常动作，起到很好的保护作用。但电力系统复杂以后，就很难确保万无一失。于是需要有各种加强识别故障能力及重叠戒备的各种保护如差动保护、闭锁、及后备保护等。这样，保护设备本身也很复杂，难于协调配合好，就需要用计算机来对复杂的威胁安全的故障作出综合判断。复杂电力系统中威胁安全性的重大问题是稳定问题。

稳定问题是从长距离输电线路开始提出的。水力发电厂或矿口电厂通过长距离线路把电力送给电力系统。线路长，造价高，要求输送的电力容量大，所以对每一条线路要求尽

可能多送电力。长距离线路的阻抗大，它在很大程度上影响了线路的输送能力。因为输电系统阻抗大了容易失去稳定，而线路的输电容量决定于不失去稳定的送电极限。提高稳定极限有许多措施，如快速励磁、串联补偿、快速重合闸、电气制动、切除负荷、切除电机等。这些措施对整个电力系统的稳定性有不同程度的作用。而这些措施在特定情况下是否有效，须进行验算，根据验算结果，作出决策。这是比较复杂的问题。在多输入多输出的情况下，整个复杂电网的稳定问题更为复杂。

电力系统在失去稳定以前有一个振荡的过程。有的振荡非常剧烈，一振就失去稳定；有的缓慢振荡，逐渐衰减，最后回复到稳定的正常运行；也可能缓慢的振荡逐渐加剧，以致最后失去稳定。在缓慢的振荡过程中，稳定措施可能正在起作用，当最后是成功或失败尚未定局时，虽然振荡电流很大，可是暂时希望继电器勿动作，勿切断线路，以期最后仍能保持稳定。这时要求继电器能识别是否将失去稳定，最简单的判据是时间。振荡到一定的时间不平息就要求继电器动作处理。这种简单的处理，难免有时失误。如用计算机，则可以对较为复杂的故障作有效的识别与处理。

电力系统联网范围越来越广泛，网内有些发电机组的励磁系统不协调或由于其他原因，可能产生低频振荡的问题。还有，大机组（单机容量为60~70万kW及以上）和长距离输电线的串联补偿电容，能形成汽轮机和电力系统间的次同期谐振，又须采取特殊的措施来对付，也有复杂的计算问题需要用计算机来分析。

可见，从安全方面看，电力系统联网以后，电力系统越来越复杂，安全保护的措施已不能用单项的自动装置来解决

问题，需要对许多参数作识别，全面配合起来，才能作出综合的判断。当系统范围很大，故障影响面很大时，这种全面综合判断的信息量很大。信息不准或不及时，值班调度人员不能及时掌握实况，搞得不好，将造成大面积停电。因此，电力系统发展到联网的大系统时，虽然有联网的巨大经济价值，安全上也有互相支援的作用，但也带来新的复杂问题和可能大面积停电的威胁。于是掌握实况，预防事故，成为正常运行中最重要的任务，计算机开始发挥优越的作用，就在于这个方面。

## 第五节 供电质量也要求自动化

除了经济性与安全性以外，供电质量方面也对自动化有要求，主要为电压质量和频率质量。

我国电力系统的频率标准为 50Hz(过去常称为每秒50周波)，频率不符合标准，影响风机、水泵、及电子设备等的工作性能，给生产带来严重后果。频率下降时，风机出力减小，锅炉给水泵打不上水，能使发电厂的锅炉不能运行；油泵不能供应轴承润滑油，会使汽轮发电机的轴瓦烧坏。电子设备受频率变化的影响更大。

但频率变化却是电力系统内电力盈亏的标志。因为电力系统内发电出力多于用电时，多余的电力转化为加速了的电机转速动能，频率加快；发电不足时，发电机付出动能来满足用电的需要，频率下降。电力系统运行中，应用自动调频装置来保持电力的正常盈亏平衡。当电力系统电力不足时，如不及时调整出力或限制负荷，则频率质量很难保持。电力系统发生事故时，失去了部分发电容量，频率就下降。利用

这个频率下降的信号，可以用一个频率装置来自动限制一部分用电，称为自动低频减载。

电压质量直接影响到用户的用电质量。电压过高会损害用电的电器，或影响其寿命；电压过低则电灯不亮，荧光灯不能起动，电动机转矩不够会被烧坏。较小的电力系统单靠发电厂内的自动调压装置，可以保持发电机端的电压。较大的电力系统，发电机组的自动励磁调节仍是最基本的电压调节手段，但由于架空输电线路的电抗比电阻大，线路上的电压降大部分是无功电流对电抗造成的电压降，所以在适当的位置设置电容器或静止无功补偿器，减少无功电流，降低线路电抗，减少无功电压降，可以调整电压降。电容器的自动投切和静止无功补偿装置，都是大电力系统内调压的手段。它们的自动化也是电力系统自动化的主要任务之一，现在也用计算机来管理。