

Selected Foreign Text Books



电力系统 计算机 辅助分析

[美]G·L·库希克 著

廖培金 朱振青 译

赵登福 王秀丽

王 锡 凡 审校

西安交通大学出版社

· 外 国 教 材 精 选

电力系统计算机辅助分析

[美] G.L.库希克著

廖培金 朱振青
赵登福 王秀丽 译
王锡凡 审校

西安交通大学出版社

内 容 简 介

本书结合美国电力系统数字计算机监控技术的实际应用,介绍了电力系统稳态分析的基本原理和计算机方法。主要包括:电力系统集中控制、系统元件模型、潮流计算、故障计算及静态安全分析、经济调度和系统状态估计。

本书可作为高等学校电力系统专业高年级学生和研究生教材,也可供从事科研和工程实践的有关人员参考。

George L. Kusic

Computer-aided Power Systems Analysis

Prentice Hall, 1986

电力系统计算机辅助分析

[美] G. L. 库希克著

廖培金 朱振青 译

赵登福 王秀丽

王锡凡 审校

*

西安交通大学出版社出版

(西安市咸宁路28号)

西安交通大学出版社印刷厂印装

陕西省新华书店发行 各地新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 17.875 字数: 427 千字

1989年1月第1版 1989年1月第1次印刷

印数: 1—6000册

ISBN 7-5606-0161-3/TM·7 定价: 3.90元

《外国教材精选》总序

近十年来,我国高等学校教材建设在经历了从无到有、巩固提高的过程之后,目前正进入向高质量、高层次、多品种发展的欣欣向荣,百花争艳时期。现在,教材建设仍是高等学校教学改革的重要方面,这里也存在一个改革开放的问题。在这种形势下,精选国外一些有影响、有特色、特别是世界上著名大学现用的优秀教材翻译出版,无疑将对我国当前教材建设起到借鉴、促进和填补某些学科空白的积极作用。为此,西安交通大学出版社决定组织翻译出版一套《外国教材精选》系列书。

外国教材专业面广、类型繁多、层次各异,我们这套系列书在选题时以专业面较广,内容新颖或具有明显特色的教材为目标,具体原则如下:

1. 列选的教材不限国别及语种,以便博采众长。
2. 国外著名经典性教材,多次修订重版经久不衰者。
3. 最新出版,为国外著名大学所采用,有独特风格、体系,能反映国外教育动向,可供借鉴者。
4. 反映最新科技成果,能填补国内某学科教材空缺者。

根据我校具体情况,这套《外国教材精选》系列书将以电类教材(含电力、电子、计算机与信息科学)为主。今后随着形势的发展和需要,再进一步组织其他学科的国外先进教材翻译出版。

我们期望这套系列书,不仅是高等学校的学生和教师的良师益友;而且对已在生产科研第一线的广大科技工作者的知识更新、吸取国外科技新成果方面也大有裨益。

这套《外国教材精选》虽然从搜求原著、遴选、翻译、审校等方面都做了较细致的工作,但从浩如烟海的外国教材中精选少数形成一套系列书,对我们毕竟还是一种尝试。书源还不够充分,经验也感不足,缺点在所难免,诚挚地希望读者予以指正。

西安交通大学《外国教材精选》编委会

1988年6月

译 者 的 话

本书是美国匹兹堡大学 G. L. 库希克教授根据多年教学经验而写成的，作为“电力系统”课程的教材，在美国匹兹堡大学和其它一些大学得到采用。

70 年代以来，工业发达国家中先后采用了数字电子计算机对电力系统的运行进行在线计算和实时控制。据最近统计，全世界已有 250 多家电力公司和电力网采用数字计算机在线控制；我国各大电网也正在积极引进或发展这方面的技术。但是关于电力系统在线控制方面的内容，在已有的国内外教科书中甚少介绍。本书结合美国电力系统实际，阐述了电力系统在线控制的原理和方法。作者在对电力系统进行物理描述的基础上，介绍了各种较为先进的控制算法。每章编排的习题有助于读者深化对算法的理解，学会如何应用这些算法去解决工程实际问题。因此，对于企望系统了解电力系统稳态运行及控制的读者，本书不失为一部较好的教材。

本书序言、第一、七章、附录由廖培金翻译，第二章由朱振青翻译，第三、六章由赵登福翻译，第四、五章由王秀丽翻译。王锡凡教授仔细审阅了译文，并提出了许多宝贵的意见。谨此表示深切地感谢。

对原书中的疏漏和错误作了更正，不一一赘述。由于译者水平有限，错误之处在所难免，敬请读者指正。

译 者

1988 年 5 月

前 言

这本教科书从集中控制的观点阐述了电力系统的基本原理。作为讲授一个学期的大学课程，它的内容稍微多了一些。本书要求读者具有交流电路、控制理论和电机学的基本知识，并具有用科学计算语言编制程序和使用计算机的能力。

下面对本书各章内容作一扼要介绍。

第一章介绍了电力系统调度控制中心数字计算机系统。这种计算机是用来处理运行数据，并将重要信息显示给调度人员，以及帮助调度人员对现场设备进行控制操作。近年来，在所有电力系统中，从最小的农村电气化工程到最大的电力系统，测量和检测仪表的数量日趋增长。这些仪表将生产现场信息输送到调度控制中心的计算机和管理机构。这章重点讨论了多区域互联概念以及区域间功率交换的能力。同时，也讨论了电力系统在没有调度控制中心设施参与时仍然能够维持运行这一性能特点。

第二章推导出了后续各章在电力系统分析中采用的电气设备数学模型。为了简化分析，这些数学模型都表示成为对称分量形式。已经学过电力设备课程的读者，只需大致浏览一下主要内容。

第三章介绍了建立节点阻抗矩阵和节点导纳矩阵及其求逆的计算机方法。讨论了稀疏矩阵的求逆方法和几种高阶矩阵的基本迭代求逆方法。

第四章讨论了故障电流计算和静态安全分析（即事故预想）中采用的线性化网络方程。静态安全是指由于线路开关操作、发电或负荷突变而引起的网络潮流状态的变化。这章介绍了几种利用稀疏矩阵技巧的进行静态安全分析的基本方法。

第五章介绍了网络潮流的迭代计算方法，包括高斯-赛德尔法、牛顿-拉夫逊法以及分解法；同时也讨论了网络无功补偿和运行状态调整。

第六章讨论了系统发电机组费用最低的基本功率分配算法，并利用变换和矩阵简化推导出了近似计算线路损耗的 B 系数。这章同时还介绍了利用潮流计算程序中的雅可比矩阵来计算线路损耗。这章最后讨论了区域间的功率经济交换。

第七章介绍了利用现场量测数据的电力系统状态估计。电力系统中，是利用潮流概念、稀疏矩阵技巧以及概率极限来确定系统状态并检测出量测量中的不良数据。

从本书各章节的阐述可以充分认识到，应用计算机可以更深入地了解电力系统的行为特性。

书中推导出的方法一般都曾用于实际电力网络。在各章末尾安排的习题一般需要应用各章介绍的方法并需借助计算机求解。这样，读者在程序的设计、调试和执行过程中将会深化对算法的理解，学会如何将这些方法应用到电力系统实践中去，以及如何方便地改变系统的参数。建议读者将所有设计好的程序贮存在磁盘文件中。因为这些程序往往可以作为后面几章习题的程序中的一部分。例如，在本书五个不同章节中都用到了有关输电线路参数、节点互联、节点注入功率以及线路潮流等网络说明文件。至于矩阵相乘和求逆，更是经常要遇到的。这些程序一旦设计或修改以后，应立即存入磁盘文件。

除了第一章中需要用到像 CSMP (Continuous System Modeling Program) 之类的连续时间系统仿真专用软件包外, 其它的程序都可以在任何计算机上进行设计。例如企业或大学里的分时计算机就很适合。值得一提的是, 有相当数量的学生只用个人计算机已经毫无困难地完成了全部习题。

电力系统研究领域极其广阔, 有关文献资料浩如烟海, 本书在选材时难免有疏漏之处。鉴于继电保护的整定和配合是由设备的设计容量决定的, 而计算机控制的继电保护涉及到更多的知识领域, 所以本书不打算包括这方面的内容。电力系统暂态过程和稳定性分析, 由于涉及到同步电机、励磁系统、稳定器电路以及断续动作的保护设备的详细数学描述, 也超出了本书的范围。有关系统稳定和暂态仿真, 一些优秀的教科书中已经有详尽的论述。

这本教科书是作者根据多年讲授这门课程的经验以及有关的学术研究成果而写成的。选材过程中, 作者曾经和工业界, 尤其是电力系统中的同事多次讨论, 并参阅了大量 IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) 出版物。有兴趣的读者可通过每章末尾列出的参考文献深入到有关课题中去。在 IEEE 电力工程协会的文献中, 载有大量有关这些课题的研究成果和透彻的论述。但考虑到学生时间有限, 作者只选列了其中一些最重要的资料。电力系统能达到今天的技术水平, 是众多研究人员努力贡献的结果, 作者很难将各种方法的创立者一一列举在参考文献目录中, 在此谨致以歉意。

最后, 作者感谢他的妻子玛霞 (Marcia)、儿子迈克 (Michael) 以及女儿戴拉·玛丽 (Dara Marie) 在成书过程中对作者的鼓励和支持。

目 录

前 言

第一章 电力系统的集中操作和控制

1.1 概述	(1)
1.2 电力系统的控制中心	(1)
1.3 数字计算机系统	(4)
1.4 电力系统自动发电控制 (AGC)	(7)
1.4.1 区域控制误差	(7)
1.5 没有自动发电控制 (AGC) 的系统运行	(10)
1.6 发电机的并列运行	(14)
1.7 区域系统的动态模型	(17)
习题	(20)
参考文献	(24)

第二章 输电系统元件的数学模型

2.1 相量符号法	(26)
2.2 对称分量法	(29)
2.2.1 标么值系统	(34)
2.3 架空输电线路的数学模型	(37)
2.3.1 平衡的三相线路	(44)
2.3.2 确定架空输电线路参数的一般方法	(56)
2.4 变压器的数学模型	(64)
2.4.1 Y/Δ接法变压器及移相变压器	(66)
2.4.2 多绕组变压器	(70)
2.5 同步电机的数学模型	(73)
2.5.1 同步电机的稳态方程	(78)
2.5.2 同步电机的暂态方程	(79)
2.5.3 同步电机的次暂态方程	(80)
习题	(87)
参考文献	(93)

第三章 节点方程式

3.1 注入量及负荷	(95)
3.2 无互感耦合元件的节点阻抗矩阵	(100)
3.2.1 向节点 p 追加一树支	(102)

3.2.2 向参考节点追加一树支	(102)
3.2.3 节点 p 和 q 之间追加链支	(103)
3.2.4 节点 p 与参考节点之间追加链支	(105)
3.3 节点导纳矩阵	(106)
3.3.1 有互感耦合元件的节点阻抗矩阵	(110)
3.4 大系统的 $\mathbf{Y}_{BUS}$ 矩阵的求逆	(112)
3.4.1 Tinney 优化编号的三角分解法	(113)
3.4.2 线性方程组的几种迭代解法	(120)
习题	(125)
参考文献	(128)

第四章 网络故障计算

4.1 用节点阻抗矩阵 $\mathbf{Z}_{BUS}$ 进行故障计算	(130)
4.1.1 短路分析的基本简化假设	(136)
4.2 用节点导纳矩阵因子表进行故障计算	(140)
4.3 电力系统事故预想分析	(142)
4.3.1 用阻抗矩阵和迭加方法进行断线分析	(143)
4.3.2 用阻抗矩阵进行断线分析的第二种方法	(144)
4.4 利用导纳矩阵因子表进行断线分析	(148)
习题	(154)
参考文献	(158)

第五章 电力系统潮流计算

5.1 松弛节点	(160)
5.2 用阻抗矩阵 $\mathbf{Z}_{BUS}$ 计算负荷潮流	(161)
5.3 应用导纳矩阵 $\mathbf{Y}_{BUS}$ 的高斯和高斯-赛德尔迭代法	(166)
5.4 应用导纳矩阵 $\mathbf{Y}_{BUS}$ 的牛顿-拉夫逊迭代法	(168)
5.4.1 雅可比矩阵的近似处理	(180)
5.5 网络运行条件的调整	(184)
5.6 实用潮流程序	(190)
习题	(192)
参考文献	(196)

第六章 电力系统经济运行

6.1 不计网损的经济调度	(198)
6.2 考虑网损时发电机的经济功率分配	(200)
6.3 网损微增率计算的经典法	(204)
6.4 利用 $\mathbf{Y}_{BUS}$ 及稀疏矩阵技术计算 B 系数	(214)
6.5 经济功率分配的实现	(217)

6.6 潮流计算中的雅可比矩阵在经济调度中的应用	(220)
6.7 利用共有机组 (shared generators) 进行经济调度	(225)
6.8 区域之间的经济功率交换	(229)
习题	(234)
参考文献	(239)

第七章 利用在线量测数据的状态估计

7.1 支路潮流状态估计算法	(242)
7.2 状态估计和测量噪声	(248)
7.3 电力系统的监视	(255)
7.4 标准差 Σ 的确定	(257)
7.5 利用增加量测量数目改善状态估计的品质	(262)
习题	(264)
参考文献	(266)

附录 A 导线电阻和额定参数	(267)
----------------------	---------

参考文献	(271)
------------	---------

附录 B 节点方程参考节点的变化	(272)
------------------------	---------

第一章 电力系统的集中操作和控制

1.1 概 述

自从 19 世纪 80 年代第一个电力系统投入运行以来,电力系统在规模上和结构复杂程度上都经历了巨大的发展和变化。与此同时,发电、输电及配电的方法和设备在性能和可靠性方面也得到不断改进和提高。由于社会生产对电力的需求急剧增长,促使电力系统不得不采用各种先进技术。例如,核能发电开辟了人类大规模利用核能的新纪元,汽轮发电机组的模拟控制是模拟控制技术最早的成功应用之一,甚至在线数字控制计算机也较早地被应用于电力系统。

随着电力系统的规模日趋庞大,系统中输电线、变电站、变压器、开关等设备和元件的数量也不断增加。它们的运行操作以及相互之间的影响作用也越来越复杂。因此很有必要在某一地点同时监测全系统的信息。这个地点我们称之为**调度控制中心**。控制中心的设计一方面要考虑提高电力系统运行的可靠性和经济性,另一方面必须保证电力系统在没有控制中心参与时仍能维持运行。这实质上是一种“失效-保险”型的运行系统。例如,电力系统在运行过程中,遥控设备与控制中心之间的通信线路可能发生中断,但这时仍能维持供电。大多数系统的保护开关装置仍然采用“厂站就地”控制,而不是采用“系统集中控制”。它们在发现过负荷后的几个周波内必须动作,而从能量控制角度出发,其动作可以稍慢一些。再如,系统中的发电厂即使在不能接收到控制中心的信号时,仍然能与输电系统同步运行并维持当时的出力水平。

控制中心的作用是协调电力系统在正常状态和紧急状态下各个元件的响应。正常运行时的大量重复性控制和操作是交给计算机完成的,而选择性的监视则由调度人员进行。计算机主要是对不断输入的运行数据进行处理,检测出异常情况并通过灯光、音响信号和 CRT 显示器向调度人员报警。对于许多“级别低”的即不太严重的超限运行,计算机将按常规予以处理。例如,系统总负荷的增量一般应该由系统中全体发电机组分担。但如果某一台发电机已经达到最大出力,计算机将把该机组的份额分配给其它机组。然而当计算机检测出比较严重的异常运行情况时,可能要中断系统正常控制功能。

在极端紧急情况下,如大容量机组突然开断或联络线上相邻区域电力需求过大时,计算机将发出一系列报警信号,系统进入紧急状态。这时,调度人员可能收到大量涌来的未经诊断的信息。在这方面,目前最高的水平是计算机程序可以对一些同时出现的报警的原因进行初步诊断。至于事故处理或校正操作,仍然由调度人员负责完成。

1.2 电力系统的控制中心

图 1.1 是某电力系统的控制中心照片。图中,调度人员正在控制台前对系统进行操作。

调度人员使用的接口设备叫作人机接口，通常由下列设备组成：

1. **彩色 CRT 显示器** 可显示输电系统及变电站的结线图、数据表格和性能指标等。画面检索由专用的画面调取按钮或“光钮”（即屏幕上相应的光敏点）控制。
2. **编辑键盘** 可将字母数字型字符写入计算机软件从而改变运行条件和系统参数。
3. **专用功能键盘** 完成变压器分接头切换和线路电容器切投等操作。
4. **光笔** 利用光笔可直接在 CRT 屏幕上进行断路器及开关的“断开”和“闭合”操作，以及进行数据显示或其它操作（图 1.2 中，调度员正在用光笔操作）。
5. **灯光及音响信号设备**、与本系统内发电厂和变电站联系用的专用电话以及与相邻区域系统联系用的普通电话。

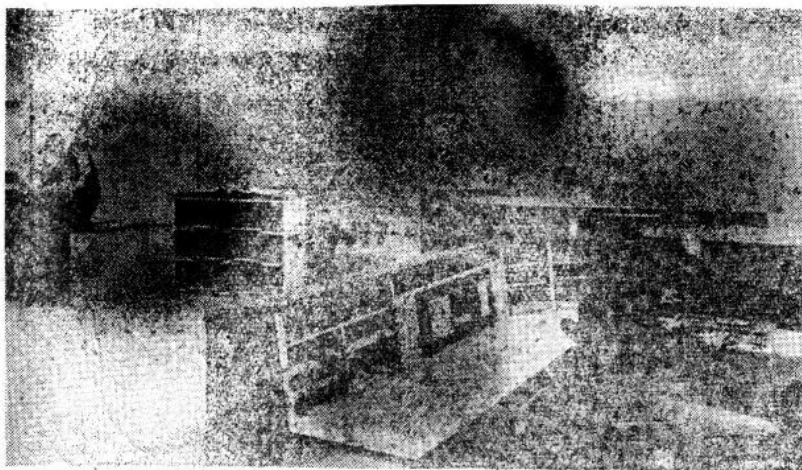


图 1.1 控制中心室内照片
调度员控制台设有 CRT 显示器、输入命令用的键盘、电话等。墙上模拟图上有电力系统单线图 and 报警指示灯

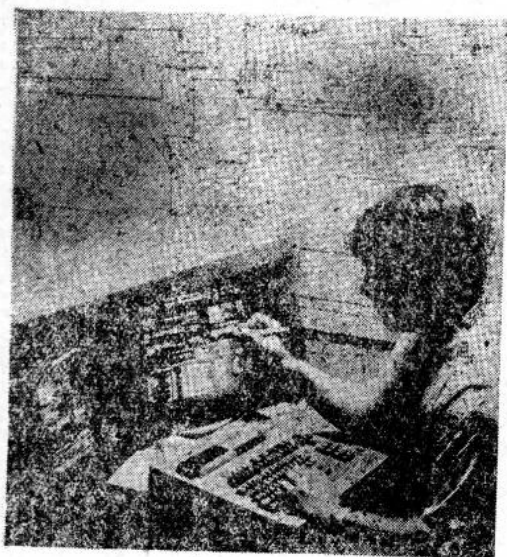


图 1.2 修改数据库数据
调度员用光笔指向光钮后，计算机提示他用键盘输入数据并立即将新数据显示出来
（照片为西屋公司提供）

CRT 显示信息和报警信息都可以有选择地同时呈现在位于控制台前方的系统模拟图上（见图 1.1）。当调度人员向数字计算机发布操作指令时，CRT 显示起到监视和提示的作用。显示具有固定的背景和不断地被量测数据刷新的前景。一旦计算机程序编辑后，显示字段、尺寸及位置将保持不变。此外，还可以编制新的 CRT 显示画面，并将其贮存在计算机系统中。画面色彩、符号、闪光与否均可以在控制台通过“显示编译程序”来选择。

图 1.1 中，CRT 屏幕上显示出输电系统的一部分。画面上还显示出了母线电压和线路潮流数值，以及断路器、变压器等设备的位置。调度人员可以使用键盘上“画面向前检索 PAGE FWD”按钮和“画面向后检索 PAGE BWD”按钮，或者用光笔指向屏幕上相应的光钮来选

择画面。

调度人员可利用光笔进行以下的典型操作：

1. 将光笔指向与系统某设备相关联的光钮时，如果该设备是输电线断路器，则在光钮近旁显示出表示分合状态的符号；如果是具有分接头切换的变压器、光钮近旁则显示出数字。

2. 光标位置传送完毕后，光钮闪光，光标将返回原位，表示“进行操作选择”。如果操作对象是两状态设备，这时只有可进行操作的按钮灯亮。例如，对于正处在闭合状态的断路器，只有跳闸（TRIP）按钮灯亮。而对于有分接头切换的变压器、升压（Raise）和降压（Lower）两个按钮灯都亮（参看图 1.3）。

3. 调度员按下要操作的按钮，这时按钮灯熄灭，光钮停止闪光，系统记录下调度员的操作请求。

4. 当系统确认断路器动作成功后，断路器符号的色彩或符号本身（或两者）将变化。符号和色彩可以分字段选择。如果操作成功，打印机将输出这次操作的书面记录。

电力系统中，集中控制的各类设备都预置有操作时限（通常以计算机的扫描周期为单位）。设备的正常遥控操作应在时限内完成。如果超过时限，计算机将在 CRT 屏幕上显示出操作失败并将这次失败记录下来。

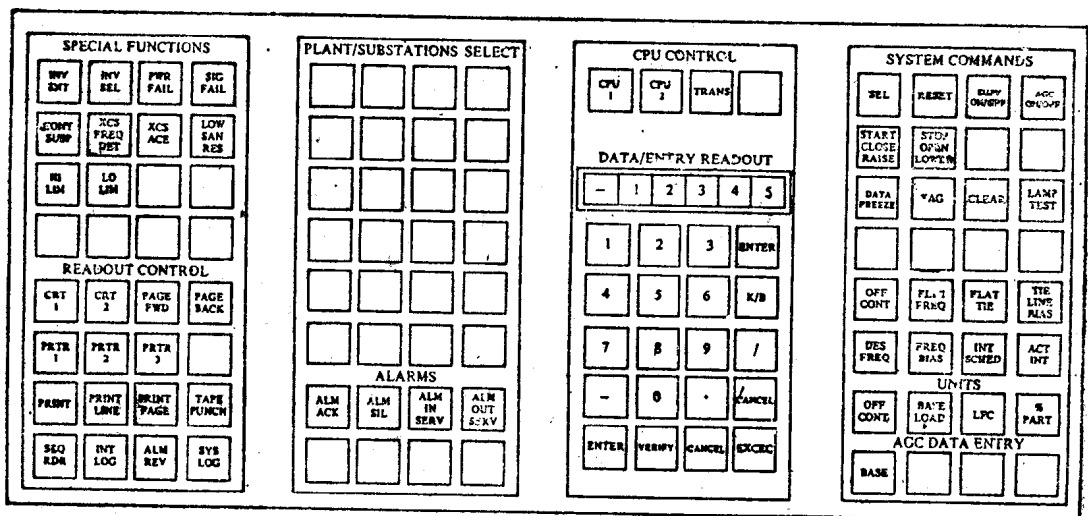


图 1.3 调度专用控制台

调度人员还可以用控制台上的键盘（参看图 1.3）完成以下几种控制操作：

1. 系统命令 (System Commands) 选择数字计算机对整个电力系统的控制模式，见本章第四节；
2. 机组命令 (Units) 选择系统中正在运行的发电机组的运行方式，如手动调节、基荷运行等；
3. 自动发电控制 (AGC) 数据输入 调度人员可用来改变发电机的稳态输出功率；
4. 数据输入/读出 (Data/entry readout) 键盘输入数据，供有关计算机程序应用；
5. 报警 (Alarms) 使调度员能找出系统中报警的原因，以便消除报警的根源；
6. 厂/站选择 (Plant/substation select) 使调度员能有选择地显示发电厂或变电

站功率分配点上的状态;

7. 专用功能(Special functions) 输入或检索控制电力系统的数据;
8. 读出控制(Readout control) 使用不同的CRT显示器或者宽行打印机输出信息;
9. CPU控制(CPU Control) 允许选择两台计算机中的一台在线运行, 另一台作为后备机离线运行。

1.3 数字计算机系统

电力系统调度控制计算机必须满足“可靠性高”和“失效-保险”这两项原则。因此, 各电力公司普遍采用由两台计算机组成的冗余系统来完成远动数据采集控制、电能控制、以及系统安全分析和监视。这两台计算机具有各自的磁芯存贮器(内存贮器), 并配有大量输入输出设备, 如打印机、电传打字机、磁带机、磁盘, 等等。通常, 一台计算机在线运行, 另一台作为后备机。在线机对电力系统进行监测和控制, 而后备机则执行一些离线的批量处理程序, 如负荷预测, 水火电分配等。在线机周期地更新磁盘存贮器, 磁盘信息由这两台计算机公用, 图 1.4 是这种双计算机系统的功能方块图。

一旦故障切换或状态命令切换, 公用磁盘的信息将被引入到后备机的内存贮器。这些信息

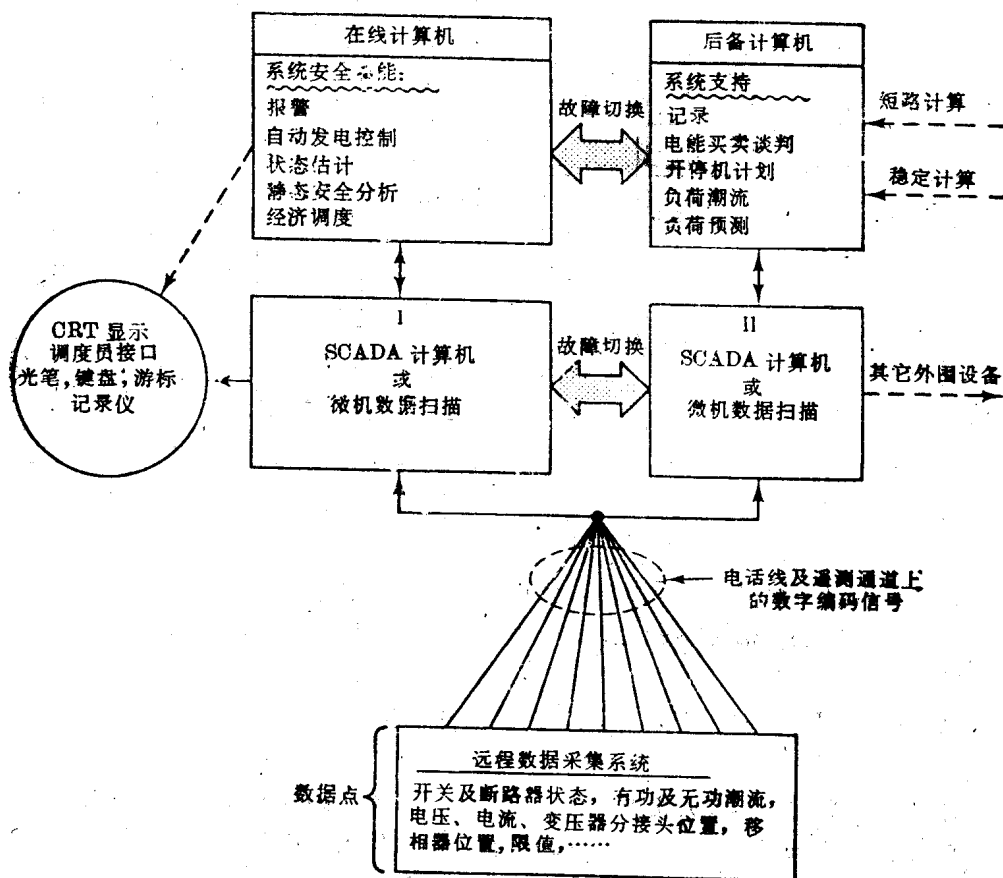


图 1.4 电力系统数字计算机监视和控制
SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition

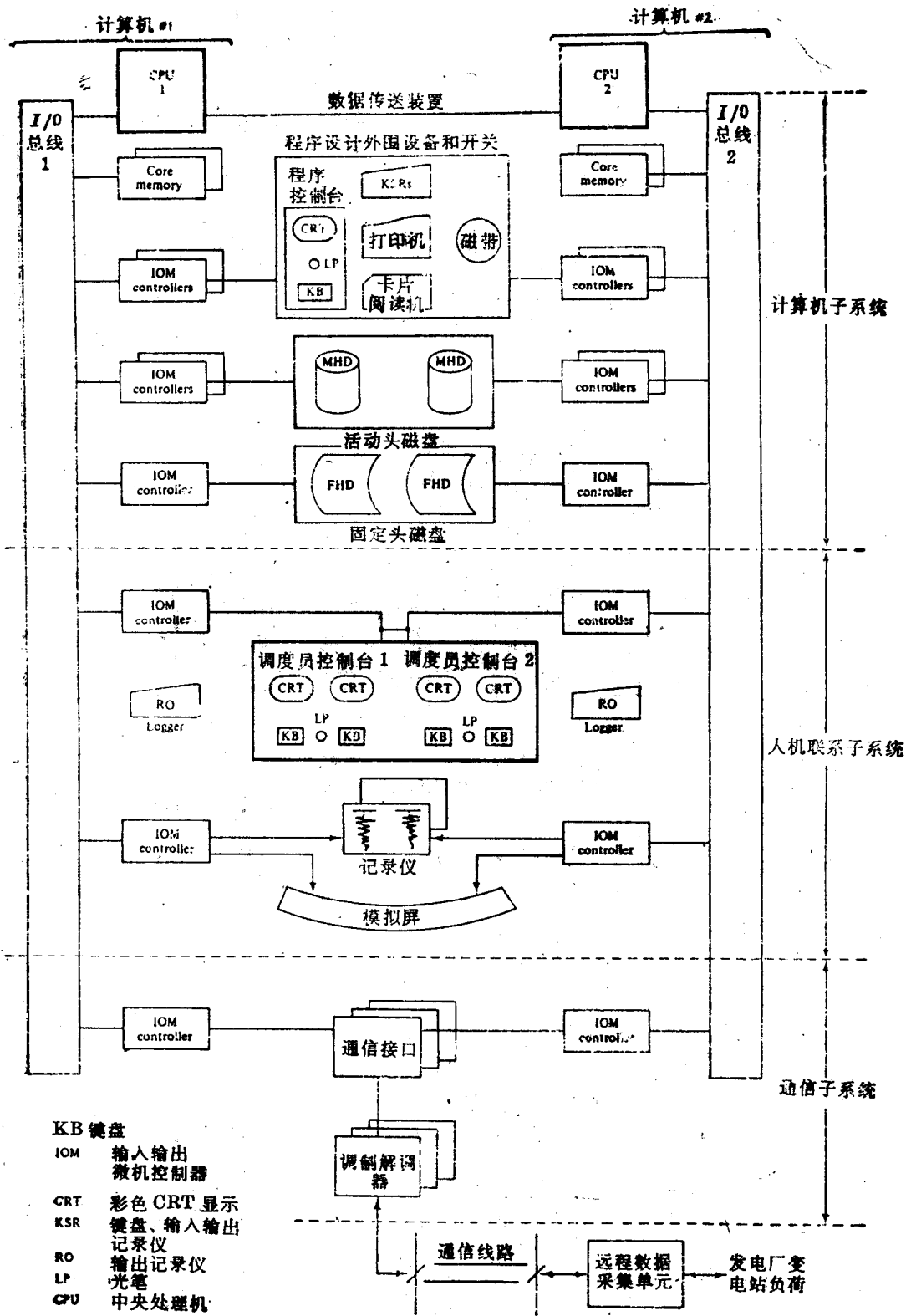


图 1.5 双机控制系统方块图

在在线机中的最大使用寿命为一个数据更新周期(一般为 30 秒)。图 1.5 是双计算机系统的详细方块图。图中,所有的外围设备都是通过“输入-输出控制微处理器”与计算机连接。这些微处理器经过编程可以实现模拟信息的传送和预处理,如越限检查,单位制转换,等等。它们可以在不中断计算机 CPU 的情况下对计算机内存贮器进行数据输入和输出。通常,这些作为接口的微处理器的配置也是冗余的。一旦设备接口发生故障,将自动切换到备用接口。图 1.6 是某调度控制中心的计算机柜照片。

上述预防性措施使所有关键性硬件功能的可利用率保证在 99.8% 以上。同时,软件设计也考虑到了多级硬件故障,以及故障发生时应用程序的初始化问题。这种计算机控制系统还有一个突出的特点,即无论在预防性维修还是故障维修时,电力系统的重要操作仍然能够进行。除了硬件,新的系统控制程序也可以在后备计算机上编译试验,然后转入在线运行状态。

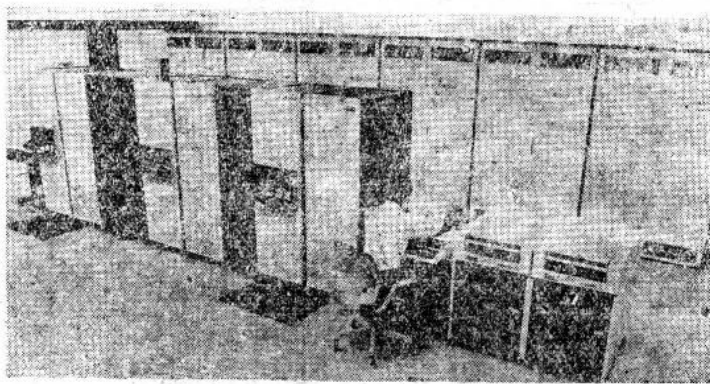


图 1.6 调度中心计算机房
前排是两台计算机、磁盘驱动器、磁带机。
后排是设备以及连接计算机和遥测通道的微处理器机柜
照片为西屋公司提供

电力系统调度控制计算机一般采用具有优先中断的固定周期操作方式,即按周期进行一系列控制操作。显然,对那些最重要的或要求最高的控制操作来说,操作间隔时间(扫描周期)最短。下列几类操作每 2 秒进行一次:

- * 所有的状态数据点扫描,如开关的“分”或“合”、变电站负荷及电压、变压器分接头位置、以及电容器组的投入和退出;
- * 联络线潮流及功率交换计划;
- * 发电机负荷、电压、运行限值及锅炉负载量;
- * 遥测数据的校验,以检测计算机和远程设备之间的通信线路的故障和错误信息。

通常,汽轮发电机组的出力每 4 秒钟按各机组的响应能力(MW/min)调整一次来满足负荷平衡。而各机组的绝对输出功率则由计算机每 5 分钟执行“经济调度程序”来确定基本功率时重新调整一次。其它许多诸如负荷记录、负荷预测、开停机计划等操作则认为是非关键性的,它们的执行间隔时间以小时计。

大多数优先级别较低的程序并不经常运行。通常,当为了进行电力系统分析或状态初始化时,根据调度人员发出请求,计算机才执行这些程序。如果系统参数发生变化,调度人员也可以在程序执行过程中修改相应程序。例如,当把一个节流阀卸下来维修时,发电机组的

响应能力 (MW/min) 将会改变, 这时应修改有关部分的程序以降低该机组所分担的调节功率。因此, 计算机的编译程序 and 数据处理程序必须具有较丰富的功能, 尤其是要能快速接收调度人员输入的信息。

1.4 电力系统自动发电控制 (AGC)

自动发电控制和经济负荷调度是大型互联电力系统中发电控制的两个主要组成部分。它们各自的作用和目的很不相同, 但都是通过对原动机进行发电的调节, 且其变化都比较缓慢。

自动发电控制是一种计算机在线控制。它的功能是对全系统的频率以及网络中各电力公司之间的联络线上的净负荷交换进行调节。通常, 发电控制是按区域分散进行的, 每个区域系统都力图按预先安排好的功率交换计划来运行。

经济负荷调度也是一种计算机在线控制。它可将系统现有的负荷需求量按最经济的方式分配给正在运行的机组, 使燃料费用达到最小。同时, 经济调度运行还必须考虑水电站和火电站的经济效益和综合效益, 考虑互联电力系统的多区域结构特性, 以及象污染控制等众多因素。有关这方面的内容将在第六章详细介绍。

通常, 相邻电力公司之间是通过一条或几条输电线互相联结起来, 这些输电线叫作联络线, 见图 1.7。图中各个电气“区域”都是受各自调度中心计算机控制的“独立电力系统”。区域的“边界”是联络线上的某些点, 相邻电力公司之间对系统的产权、维护以及损耗结算都以这些点为界线。目前, 不和其它系统通过联络线相互联结的“孤立系统”甚为罕见。联络线之所以得到普遍采用是因为它有以下几个优点:

1. 联络线能实现电力公司之间预先安排的地区系统或互联系统的电力交换和买卖;
2. 发生故障的区域可通过联络线得到其它区域的支援;
3. 联络线为远距离电力传输和买卖 (如各区域之间或国际间) 提供了方便。

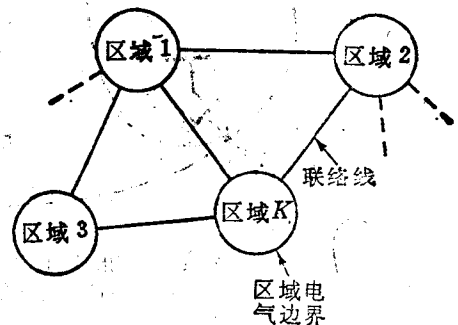


图 1.7 典型互联电力系统

互联系统的总负荷将分配给所有的运行区域。正常状态下, 这种负荷分配是由自动发电控制 (AGC) 按照预定计划进行调节而实现的。但是, 当某区域发生故障而不能满足自己的调节要求时, 在发电机组调速器响应和 AGC 频率调差分配函数强制作用下, 系统将进行非计划负荷分配。这种非计划负荷分配将一直持续到故障区域能够自己维持其电力平衡, 或者重新整定计划负荷分配以将非计划的负荷分配变为计划负荷分配。

1.4.1 区域控制误差

在多区域互联电力系统中, 各区域的自动发电控制 (AGC) 利用本区域所有联络线上的有功潮流与计划交换功率的偏差来控制区域之间的净交换功率。净交换功率再加上频率偏差与偏置系数 $B(\text{MW}/0.1\text{Hz})$ 之积, 定义为区域控制误差 (ACE), 即: