

771132
1062

电力新技术丛书

面向对象设计的 开放式能量管理系统

王明俊 傅书~~退~~ 吴玉生 编著

中国电力出版社

《电力新技术丛书》出版说明

我国电力工业的发展取得了举世瞩目的成就,从1978年到1997年的19年中装机容量及发电容量连续上两个台阶(1987年装机容量达1亿kW及1995年装机容量达2亿kW),到1996年底已居于世界第2位。电力工业的领导者向我们提出了建“一流电网”的号召,针对当前两个根本性转变的关键时刻,提出要进行由计划经济体制向具有中国特色的社会主义市场经济体制转变的第二次创业。其目标就是要保持电力工业持续、快速、健康地发展和电力供给与需求的平衡,从而保证国民经济的发展和社会的进步以及人民生活水平的日益提高。为达到建成“一流电网”的目的,必须有一流的人才,用一流的技术,并且得到各行业的关心、支持和理解。本套《电力新技术丛书》即是用深入浅出的叙述方法介绍有关一流电网的新技术。希望关心这些问题的有关人员可以用较短的时间理解这些问题的概要,加深对这些问题的关注和支持。

本丛书的作者们都是从事所写专题多年的工作者,并在该专题领域有开拓性的贡献。他们出于“甘为人梯”的想法,把自己的体会及资料尽可能深入浅出地写出,希望读者能用最少的投入,掌握作者的所知所得。

本丛书包括一些具有现实意义和广阔应用前景,并在国际上或国内处于前沿地位的高新技术。例如微机继电保护、电力网中的谐波、电网调度员培训模拟(DTS)、人工神经网络原理及其应用、配电系统自动化及其发展、面向对象设计的

开放式能量管理系统、模糊数学在电力系统中的应用、电力电子学在电力系统中的应用——灵活交流输电系统、直接法稳定分析、无功补偿的矢量控制等，读者可以根据需要与可能选用。

本丛书的宗旨是用读者容易理解的体系和叙述方法，深入浅出、循序渐进地就各专题题目的引出，专题的基本原理和理论及对电力系统的影响进行简要论述，并对专题的应用领域和前景及可能产生的效益作出评述。

本丛书的读者对象为：科研、教学、生产第一线的电力工程技术人员，特别是工作五年左右的年轻工程师及大、中专院校有关专业的学生。由于科学技术的飞速发展以及我们的水平有限，丛书肯定会存在许多不足，丛书的书目和内容也应当不断发展和更新。我们热诚地希望得到社会各界和广大读者的批评指正。

王平洋 周孝信

前 言

新一代的开放式能量管理系统，是在当代两股潮流的推动下逐步形成的。一是计算机的硬软件技术正经历一个跨度较大的更新换代期，另一个是电力系统的应用软件正突破传统的精确解而进入开发知识型应用软件的新领域。

80年代后期，RISC(Reduced Instruction Set Computer)技术出现，并以其极为优异的性能价格比对传统的计算机界产生猛烈冲击。几乎所有的计算机公司，包括一度处于霸主地位的一些大公司（如IBM、DEC等），都不得不调整其传统的封闭式策略，向标准化方向靠拢，从而推动了开放系统（Open System）的进程。尽管在漫长的开放系统进程中，难免出现不同计算机集团之间的开放系统之争，但是，开放系统作为计算机界的发展方向已是不可逆转的了。

差不多在计算机系统取得突破性进展的同时，计算机软件编程技术，继模块化、结构化之后，正悄悄地进行一场意义深远的革命，这就是面向对象OO(Object Oriented)的方法学在软件编程技术中的应用。它有可能将编程技术带到一个可望高速发展的拐点上，就象历经分立元件、厚膜电路漫长发展过程的硬件到达集成电路阶段那样，为解决软件开发长期落后于硬件发展的问题开辟一条新路，并已在图形软件和电子电路的计算机辅助设计（CAD）方面取得了明显的效果。

能量管理系统是一个较复杂的计算机应用系统，因此，上述计算机硬软件技术的变革，势必将推动能量管理系统的发

展。加上传统的能量管理系统都是由集中式的计算机系统所组成，深受中央处理单元（CPU）负载过重以及系统扩充更新不易之苦，因此，开放系统的出现，立即为能量管理系统的广大用户所认同。

此外，当代能量管理系统应用软件的发展，已突破精确解的范畴而进入开发专家系统、模糊数学以及神经网络等知识型软件的新领域。在此以前，大多数传统的能量管理系统，其数据库仅支持到“数据”一级，可以保证数据的共享和数据的一致性，但不支持“方法”，更谈不上知识型软件中的“知识”了。假如说，精确解中的数据库由于不支持“方法”而导致方法不能共享以及方法的冗余（如各个需要使用潮流计算方法的应用程序，配上自己选用的潮流计算方法）还能容忍的话，那么，对于知识型软件来说，由于“知识”的非精确性，就有可能发生因不同专家“知识”相左而无所适从的情况。因此，新一代的能量管理系统必须采用能支持“方法”和“知识”的数据库管理系统，使之象管理“数据”那样，同时管理好“方法”和“知识”，这时，又要涉及到面向对象技术。

本书的目的，就在于从发展的角度，向读者全面系统地介绍新一代能量管理系统的各个方面。

由于本书涉及到的新概念较多，为了叙述方便，第一章能量管理系统的发展，结合计算机技术的发展，深入分析了开放式能量管理系统及其由集中式、开放式发展到面向对象的全过程。第二章的面向对象、C++语言与开放式能量管理系统的面向对象设计，重点介绍了面向对象的基本概念、主要特性和语言工具。此外，从面向对象的特点和问题出发，提出了开放式能量管理系统面向对象设计时所需注意的几个问

题，并由此引申出本书以下各章所讨论的主要课题。第三章介绍面向对象的开放式能量管理系统支撑平台，实际上这是一个对任何过程控制对象都通用的支撑系统。第四章描述电力系统大对象 BOB。不言而喻，如果支撑环境支持的是发电厂或是石油管道系统，则本章的标题和内容，就应该换成发电厂大对象 BOB 或是石油管道大对象 BOB。第五章面向对象设计的开放式能量管理系统应用软件，介绍能量管理系统应用软件的面向对象设计、应用软件接口 API 以及新一代的知识型应用软件。

应该说明，尽管有关文献已经不少，但迄今为止，对新一代开放式的能量管理系统尚无一个确切的定义和公认的标准，甚至连名称也不统一。如散见于文献中的 DEMS (Distributed EMS)、IEMS (Integrated EMS)、OEMS (Open EMS) 等，其内容都是力图描述新一代开放式的能量管理系统。因此，本书所介绍的内容，仅供关心、研究和开发新一代开放式能量管理系统的读者参考。如果由此能够引发一些争议，通过探讨，求得共识，则更是编著者们求之不得的了。

本书的前言和第一、二两章由王明俊编写。傅书遒和吴玉生合写第三章。第四章由吴玉生编写，傅书遒编写第五章和后记。本书由王平洋审阅。

本书在编写过程中得到了电力科学研究院和东北电力集团公司“EMS/DMS 开放系统支撑平台”开发组的大力支持。IEEE 能量控制中心特别工作组副主席 J. Britton 先生正在参与新一代开放式能量管理系统应用软件接口 API 标准的制定工作，本书中有关这方面的资料是由他提供的，在此一并表示感谢。

目 录

前言

1 能量管理系统的发展	1
1.1 能量管理系统 EMS	1
1.2 RISC 技术和开放系统	6
1.3 能量管理系统从集中式到开放式	29
1.4 采用面向对象设计的开放式能量管理系统	45
2 面向对象、C++ 语言与开放式能量	
管理系统的面向对象设计	51
2.1 面向对象的概念及其发展过程	51
2.2 面向对象的主要特性	56
2.3 从 C 到支持面向对象的 C++ 语言	63
2.4 面向对象技术应用的特点和问题	77
2.5 开放式能量管理系统的面向对象设计	82
3 面向对象的开放式能量	
管理系统支撑平台	87
3.1 面向对象开放式支撑平台的特点	87
3.2 数据库管理系统	92
3.3 用户界面系统	112
3.4 分布式系统运行管理环境	129
4 电力系统大对象	135
4.1 电力系统大对象的概念	135
4.2 电力系统数据采集、监控和网络	

拓扑模型的抽象	138
4.3 电力系统大对象的形成	140
4.4 电力系统大对象的运行	141
4.5 电力系统大对象的主要功能	142
4.6 电力系统大对象的主要特点	145
5 面向对象设计的开放式能量	
管理系统应用软件	148
5.1 应用软件的标准接口 (API)	148
5.2 应用软件的面向对象设计	152
5.3 开放式 EMS/DMS 的发展方向	158
5.4 新一代的知识型应用软件	160
后记	178
附录 缩写术语一览	181
参考文献	184

1 能量管理系统的发展

1.1 能量管理系统 EMS

如图 1.1 所示,一个典型的电力系统是由发电、输电、变电、配电和用电 5 个环节所组成。对于分级管理的电网来说,能量管理系统 EMS (Energy Management System) 主要是管理电力系统中的发电、输电和变电 3 个部分。变电及其以下的配电和用电部分则属于配电系统 DMS (Distribution Management System) 的范畴,本丛书中专门有一本《配电系统自动化及其发展》(以下简称《DMS》)对此加以论述。

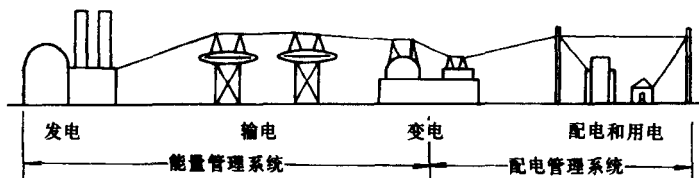


图 1.1 能量管理系统 EMS 与配电管理系统 DMS 示意图

能量管理系统是一个复杂的计算机应用系统,其结构可用图 1.2 表示。

可见,能量管理系统涉及计算机软硬件的各个方面。它最终是通过 EMS 应用软件来实现对电力系统的监视、控制和管理。其中,计算机硬件和系统软件只能选用成熟的计算

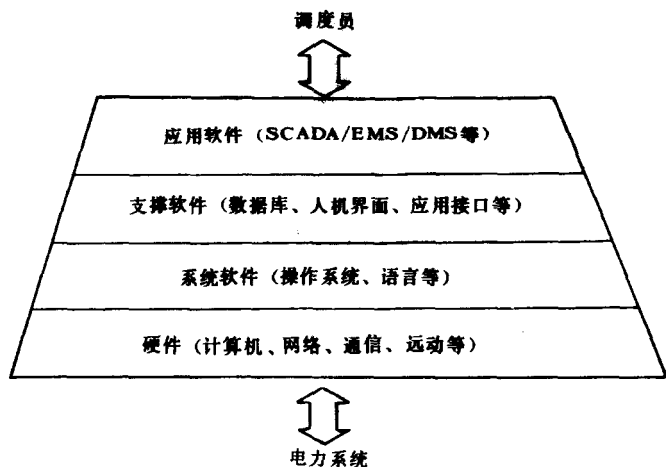


图 1.2 能量管理系统结构图

机厂家产品。而支撑软件和应用软件则属于应用系统的开发范畴。随着计算机产品的不断更新换代和计算机应用技术的发展，有关 EMS 应用软件的研究及其支撑系统的开发也在不断发展中。

电网调度自动化的基础是监视控制和数据采集 SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) 系统，它也是能量管理系统应用软件实时数据的来源和控制操作的执行机构。不同的是，SCADA 系统的控制需要调度员的监视操作，而应用软件的控制，有时（如自动发电控制 AGC）则直接由应用软件驱动。有关当代 SCADA 系统的一些特点，《DMS》一书中有较详细的叙述，有兴趣的读者可参阅该书。

EMS 应用软件的功能繁多，涉及监视、控制、调度与管理电力系统的各个方面。据统计，当前国外 300 多个电力系

统中，已安装的 EMS 应用软件约有 40 种。其中常见的 EMS 应用软件有：

(一) 自动发电控制 AGC (Automatic Generation Control)

AGC 闭环控制电力系统发电机组的出力，其目的是使系统频率和（或）新的交换功率按计划保持在预定值。AGC 根据所期望的发电基点 (Base Points)，在各机组之间协调分配发电控制要求。这些发电基点，由经济调度 ED 或诸如紧急约束调度 ECD 的约束调度方式所决定，或由调度员人工输入。

(二) 经济调度 ED (Economic Dispatch)

一般的经济调度 ED，其目的在于根据输电网络模型的等式约束条件（出力负荷相等）和发电机组的不等式约束条件（小于运行极限），使总的运行费用为最少。由于没有线损和其它不等式约束（发电极限除外），因此 ED 只是表征一个无约束的经济调度软件。

(三) 网络拓扑 NT (Network Topology)

NT 又称为网络状态处理器 NSP (Network Status Processor)，用以辨识电力系统每个独立网络中所有元件的连接情况。根据独立网络中现有电源和接地开关开合（一般为人工输入）的状况，网络状态处理器辨识该网络元件是否带电、无电或接地。

(四) 状态估计 SE (State Estimation)

状态估计从实时网络的冗余测量值中获取一组电力系统的母线电压幅值和相角，而采用统计的估计方法来进行计算。SE 包括下面一些必不可少的功能：网络模型生成器 NMB (Network Model Builder)、可观性程序 OR (Observability Routine)、坏数据检出和辨识、变压器抽头处理和母线负荷预

报。

(五) 调度员潮流 DLF (Dispatcher Load Flow)

DLF 又称为在线潮流 OLF (On-line Load Flow), 可在实时或模拟状态下分析电力系统的运行工况, 用于和调度员会话或供运行规划工程师研究用。此潮流程序还用于建立事故预想 CE 的基本案例, 以及在优化潮流 OPF 中作为子程序使用。

(六) 短期负荷预报 STL F (Short-Term Load Forecast)

STLF 预报电力系统下一个 24h 直到一周内的每小时负荷。

(七) 安全分析 SA (Security Analysis)

安全分析有时又称为事故预想 CE (Contingency Evaluation), 它根据可能导致网络中线路过负荷和 (或) 电压不正常的事故表, 来评估电力系统的静态安全状况。由于在任一给定时间只有某些可能导致过负荷和 (或) 电压不正常的事故发生, 有时甚至没有, 因此, CE 的计算工作量, 可以通过过程扫描或事故选择程序来予以减少。CE 的基本案例, 即其初始状态, 可以是状态估计所给出的当前状态, 或是来自优化潮流 OPF 的几分钟后的状态。

(八) 在线短路 OSC (On-line Short Circuit)

OSC 通常是一个三相短路程序, 在母线频繁例行操作的子输电或配电系统中, 用来确定可能出现的断路器失灵。

(九) 优化潮流 OPF (Optimal Power Flow)

OPF 是一个通用的优化程序或是一组程序, 它根据电力系统的网络状况和任何一组简单的功能不等式约束条件, 来使某个给定的目标函数为最小。视优化问题的性质而定, 优化潮流可能采用线性规划或非线性规划技术。OPF 是一个用

于事故约束调度 CCD、紧急约束调度 ECD、无功/电压计划 VVS 和无功/电压调度 VVD 的通用工具。

(十) 开停机计划 UC (Unit Commitment)

开停机计划确定各热力发电机组的启动和停机时间顺序,使之至少在 24h 或长达一周的时间内,包括启动和停机费用在内的总生产费用为最低。在此期间内,还要计及负荷预报、水电计划、联络线交易、检修计划、发电储备要求以及电力系统的安全。

(十一) 水火电计划 HTS (Hydro-Thermal Scheduling)

HTS 协调水火电机组在 24h 或长达一周期间的发电。在此期间内,还要计及一周的负荷和水文预报、联络线交易、检修计划、发电储备要求、用水约束以及电力系统的安全。

(十二) 交换计划 IS (Interchange Scheduling)

IS 将本公司的发电与合同和剩余发电综合考虑,在满足系统总的要求下,向系统外售电,以使整个系统得到优化。

(十三) A 类电费估价 EAP (Economy A Pricing)

EAP 是一个评估电价的程序。其特点是,在指定的若干发电区域内,当负荷从最小到最大变化时,并不修正原先制定的开停机计划。负责发电的调度员,使用此程序来和邻网电力公司进行 A 类联络线功率交换的交易。

(十四) B 类电费交易 EBT (Economy B Transaction)

EBT 是一个用来评估和邻网电力公司进行预计的联络线功率交换交易时,经济上和运行上是否可行的程序。此时,需对原先制定的开停机计划加以修正。

(十五) 调度员培训模拟 DTS (Dispatcher Training Simulator)

DTS 是一个由电力系统模拟和电力系统控制中心模拟

所组成的培训系统。电力系统模拟提供一个电力系统的实时动态模型，可以模拟电力系统的各种运行方式，并从 RTU 获取各种远动信息。控制中心模拟的设施，应尽可能地做到与实际的控制中心一致，并具有成套的监视、控制、人机界面和应用软件功能。调度员培训模拟应按一对一培训和自学习两种模式来进行设计。

上述由计算机、网络、远动、系统软件、支撑软件和应用软件所组成，而通过各种应用软件来实现其功能的能量管理系统，是一个比较典型而又复杂的计算机应用系统。当前，能量管理系统在计算机技术发展的推动下，正在由传统的集中系统结构向开放系统结构 OSA (Open System Architecture) 过渡。因此，为了弄清能量管理系统结构的变化，我们还得从计算机系统结构的发展说起。

1.2 RISC 技术和开放系统

尽管能量管理系统功能繁多、结构复杂，但它仍不失为一个计算机应用系统，甚至只是一个应用面并不算大的计算机应用系统。而计算机技术的发展是面向整个计算机应用的。因此，能量管理系统必然是随着计算机技术的发展而发展，而不是相反。这一点已被一些能量管理系统开发厂家的兴衰史所证明了：超越计算机技术的发展，孤军奋战，未能享用计算机界性能价格比较好的成熟产品，结果是事倍功半。反之，未紧跟计算机技术的发展，安于现状，结果是后劲不足。那么，计算机技术的发展趋势是什么呢？

近代计算机技术的发展，已经历了 3 次浪潮，即：

1) 60 年代以 IBM 公司和 MVS 操作系统为代表的主机

浪潮；

2) 70 年代以 DEC 公司和 VMS 操作系统为代表的小型机浪潮；

3) 80 年代以 PC、工作站和 DOS、UNIX 操作系统为代表的台式机浪潮。

和以往 3 次浪潮不同，80 年代末期开始掀起的开放系统新浪潮，走的是多厂家系统集成的道路，而推动这次浪潮的原动力就是 RISC 技术。

1.2.1 RISC 技术

RISC 是 Reduced Instruction Set Computer 的缩写，通常译为“精简指令集计算机”，与它相对立的是传统的 CISC (Complex Instruction Set Computer)——复杂指令集计算机技术。由于 RISC 技术将计算机的性能价格比推进到一个新高度，如早期一台处理能力为 18~25MIPS 的 RISC，其价格与一台处理能力仅为 24MIPS 的 CISC 相差无几，性能价格比整整提高了一个数量级，所以被誉为 50 年代以来计算机体系结构取得的最重要的创新成果之一。

RISC 概念是从统计分析软件实际上如何使用计算机资源而得出的，但不能简单地理解为仅对指令系统的精减：保留常用的简单指令，精减掉不常用的复杂指令。它是基于对 CPU 结构、系统结构、操作系统、编译程序以及 VLSI 等硬件、固件和软件之间的复杂性进行综合分析和优化分配而得出的结果，其主要设计原则是：

(一) 简单指令与很少的寻址方式

CISC 中，除了复杂指令系统外，还有大量指向内存的寻址通路，在程序执行过程中需要由处理器根据不同的参数来计算内存的有效地址。因此，复杂指令和寻址方式都要求微

代码或多周期执行，并使得处理器硬件和编译器的设计复杂化。RISC 设计则是用一组量少而简单的指令系统和寻址方式来排除微代码和多周期。

（二）直接用硬件执行指令

RISC 设计不采用微代码只读存储器 ROM，而直接用硬件执行指令系统。由于省去将机器指令转换成原始微代码这一中间步骤，从而减少了执行一条指令所需的周期个数。此外，RISC 还可利用芯片腾出来的空间来增强芯片的功能。

（三）存取采用寄存器到寄存器

当某条指令需要存取内存中的信息时，机器的速度将会降低。CISC 支持那些直接从内存处理信息的指令，这些指令需要多个周期才能完成。RISC 设计对访问内存的指令加以限制，设有大量的寄存器来处理和存储数据，以减少对访问内存的需要。

（四）多重叠指令流水线

多重流水线不是 RISC 的专用技术，但由于 CISC 中含有执行周期不定的指令，多重流水线执行指令时效率低，甚至有时会使执行过程处于短暫停滯状态。RISC 为单周期或超标量设计，具有对指令执行时间的预测能力，因此能使多重叠指令流水线在高效率下运行。

（五）优化编译程序

无论是 CISC 或是 RISC 设计，内存访问和条件转移都可能出现与流水线有关的问题。但传统的 CISC 主要使用复杂而昂贵的硬件来解决这一问题，而 RISC 设计则依赖于优化编译程序，如通过合理利用多寄存器，使访问内存的时间延迟达到最小等。同样，优化编译程序也不是 RISC 的专用技术，但由于 RISC 结构的特点，编译程序较 CISC 易于实现优化。

（六）高性能的内存分层

由于 RISC 设计提高了 CISC 的性能，这就有必要提供一个快速的内存层次与处理器的效率相匹配。这个层次由大量的芯片寄存器、用于分离数据区和指令区的快速静态相关的访问法（RAMs）、写缓冲区以及芯片内存管理等几部分组成。

RISC 技术的巨大成功，除上述处理器本身强大的处理能力外，还归功于采用了标准化的系统设计，几乎所有的 RISC 工作站都选用 UNIX 操作系统。这种用 C 语言编写、占据了计算机分时应用大部分市场的操作系统，具有易于移植的突出特点，从 PC 到大型机都能适用，且已为许多厂家所选用。操作系统的可移植性，正是开放系统所必需的基本条件。作为开放系统基础的一组重要标准 POSIX (Portable Operating System Interface for Computer Environment)，就是以 UNIX 为蓝本来制定的。反过来，POSIX 标准的建立，又巩固了 UNIX 在工作站和整个计算机领域的主导地位。换句话说，以 RISC 技术为基础的计算机产品，从一开始就是力图以开放系统的形式参与市场竞争的，因此，RISC/UNIX 为什么能够有力地推动开放系统的进程就不难理解了。

应该说明，用户购买计算机不仅要看其性能价格比如何，而且还要考虑与现有系统的兼容性以及应用软件的丰富程度等。在这方面，对性能要求不是很高、使用极为普及、应用软件极为丰富的 CISC 个人计算机 PC 就有很大的优势。此外，在 RISC 技术的竞争下，CISC 的性能改进也很快，而且 CISC 也可设计出符合各种标准的接口，并不妨碍其接入开放系统。因此，在相当一段时间内将是 RISC 和 CISC 两者共存的局面，它们将在不同的应用领域各显优势。