

有色金属冶炼厂分布式计算机 能源管理及控制系统^①

吴 敏 沈德耀 桂卫华

(中南工业大学)

王鸿贵

(广东机械学院)

摘 要

该文涉及分布式计算机控制系统理论和技术的实际应用。一个分布式计算机能源管理及控制系统(DCEMCS)已经建立在某有色金属冶炼厂,它由中央计算机系统、区域计算机系统、实时基带局部地区网络、检测和控制机构等组成。DCEMCS实现了该厂能源的在线管理和实时控制。该文论述了系统设计中采用的理论和技术。

关键词: 能源管理 分布式系统 递阶控制 实时数据通信 能源数据库设计

随着生产规模的不断扩大和能源消耗的日益增加,发展一种管理和控制能源的方法极其重要。自动控制理论、管理科学和计算机技术的最近发展,为工业能源的管理和控制提供了有效手段。人们可以利用计算机管理和控制能源。八十年代初,一些工厂和企业已经建立了集中式或分布式计算机能源管理系统,以实现现代化的能源管理^[1,2]。然而,仍然存在一些有待解决的问题,例如对地域分散的大型工厂能源的在线管理和实时控制等。近年来,分布式计算机控制系统(DCCS)已经获得了广泛的研究和应用。应用DCCS的理论和技术的,对工业能源实行科学管理和有效控制是可行的。本文介绍了一个分布式计算机能源管理及控制系统(DCEMCS),它已经用于某有色金属冶炼厂。该厂消耗的能源包括电、煤、油、焦炭、水、蒸汽、压缩空气等,其中电占总能源消耗的50%以上。DCEMCS实现了该厂所有能源的在线管理和供电系统电力负荷的实时控制。在本文中,我们论述了在系统设计中采用的理论和技术。

1 分布式结构和系统功能

分布式结构具有可靠性高、灵活性和可扩展性好等优点^[3]。根据对DCEMCS的要求,DCEMCS使用如图1所示的分布式结构,由中央计算机系统、区域计算机系统、实时基带LAN(局部地区网络)、检测和控制机构等组成。

1.1 硬件结构

中央计算机系统由三台分别用于实时监视计算机(RTMC)、数据管理计算机(DMC)和能源调度计算机(EDC)的IBM PC/XT个人计算机组成。RTMC、DMC和EDC由一个环形LAN连接在一起。RTMC、DMC和EDC的硬件配置是:(1)一个有640KB RAM的IBM PC/XT个人计算机基本模块;(2)一个软盘驱动器及其接口适配器;(3)一个20MB的硬盘及其接口适配器和驱动器;(4)一个IBM键盘(KB);(5)一台彩色/图形监视器(CGM)及其接口适配器;(6)一台行式打印机(LP)及其并行适配器;(7)IBM串行异步通信适配器(SACA)(RTMC

^① 于1992年9月23日收到初稿

四个端口,DMC 和 EDC 均两个端口);(8)一块用于实时数据通信的定时器中断板。

RTMC 可通过一个星形 LAN 与 16 台区域计算机(LAC1、LAC2、…、LAC16)相连接,其中 10 台用于收集能源参数,一台用于控制电力负荷,其余五台备用。10 台用于收集能源参数的区域计算机,每台由 S-100 总线上插各种模块构成,硬件配置为:(1)一块 SC-801C 主板,其中 CPU 是 Z-80 微处理器;(2)一块有 32 个通道的 MS-0801A/D 转换板;(3)一块可达 96 个通道的 MS-3101 A/D 多路扩展块;(4)一块 MS-2102 定时器/串行/并行接口板,包括 Z80-CTC、Z80-SIO 和 Z80-PIO;(5)一个 30 键的微型键盘,带有一个 LED 显示器。控制电力负荷的区域计算机实质上是一台 IBM PC 个人计算机,它具有与 RTMC、DMC 和 EDC 相类似的硬件结构,并且与 10 台工业控制计算机(CPU 是 Z-80 微处理器)构成两级计算机电力负荷控制系统。

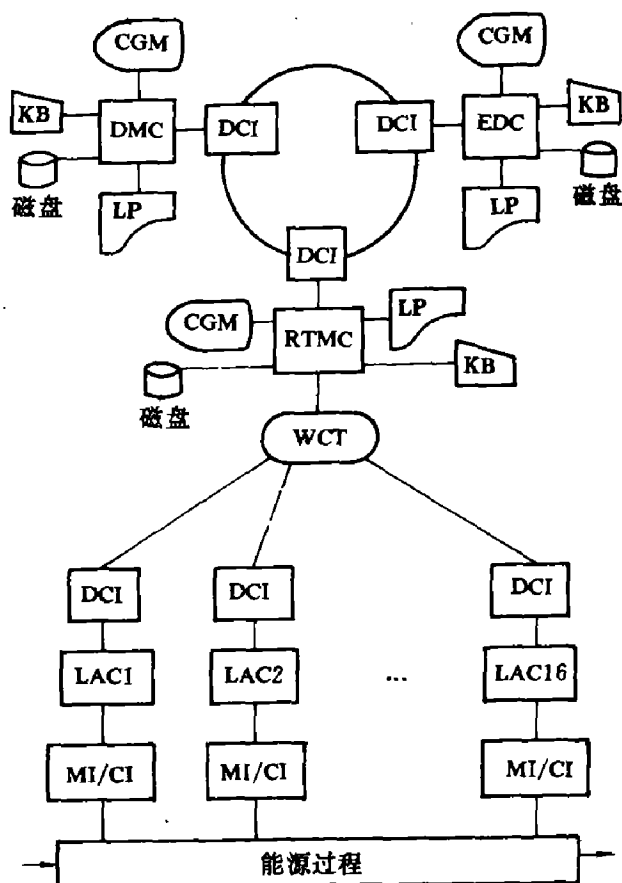


图 1 DCEMCS 总体结构框图

使用 MRDS-1(一点对八点)和 RDS-1(一点对一点)型长线通信适配器,以实现长距离数据传输。数据通信接口(DCI)和线路集中器(WCT)用于计算机之间的数据通信。

检测接口(MI)把各种工程信号转换成 0~5 V 的电压信号,或 0~10 mA/4~20 mA 的电流信号,或数字信号。控制接口(CI)把控制命令由计算机传送到被控对象。

1.2 主要功能

(1) 巡回检测各种类型的能源数据。例如,功率、电压、电流、温度、压力、流量、水位、重量和材料成份等;

(2) 能源参数的实时集中监视。有两种方式,即 2 048 个能源参数的瞬时值显示以及带有 1 200 个在线能源参数的模拟画面显示;

(3) 供电系统电力负荷的自动控制。它使得负荷利用率超过 99%,并可将高峰负荷控制在 100.5%给定负荷以内;

(4) 对 DCEMCS 故障、能源参数越限和大型动力设备故障进行自动报警处理;

(5) 打印汉字报表和负荷曲线,它反映能源消耗的所有统计数据;

(6) 能源信息管理。例如,对所有能源数据进行存贮、统计、分类和查询以及对部分能源进行转换效率和成本估计的分析;

(7) 能源调度决策指导。它为能源调度者提供调度能源的原因依据和策略手段;

(8) 可扩展和可修改功能。

2 电力负荷递阶控制

供电系统为铜、铅、锌三个电解过程以及一些动力设备提供电力。三个电解过程占用该厂总电力负荷的 70%左右,而其它动力设备用电占 30%左右。前者称为可控负荷,可通过 10 台三相桥式晶闸管整流器(SCR1、SCR2、…、SCR10)进行控制,后者是不可控负荷,是随时间变化的。根据铜、铅、锌电解过程的固有特性,当不可控负荷发生变化时,通过调节可控

负荷,可使总电力负荷控制在期望值上^[4]。供电系统有三条独立的功率进线来自于不同的发电厂。控制目标是保证总电力负荷跟随一个给定值,从而使三个电解过程的相应给定功率值能根据不可控负荷的变化而改变。

2.1 递阶结构

为了稳定有效地控制该供电系统,我们采用两级计算机递阶控制结构。一台 IBM PC 个人计算机,通过一个星形实时网络,可与 10 台工业控制计算机相连接。实质上,IBM PC 个人计算机是一个总体协调器,每台工业控制计算机是一个控制三相桥式晶闸管整流器的局部控制单元(LCU)。总体协调器协调十个 LCU 来达到控制目标。

2.2 动态协调算法

我们采用一个动态协调算法,把总电力负荷控制在一个给定值上。三个实际的功率输入可以通过控制每台整流器的输出电流来进行调节。对于一个给定的数 $\mu > 0$, 寻找一个总体协调器的数学模型,使得

$$\|P_{ji} - P_{ji}\| < \mu, \quad i = 1, 2, 3 \quad (1)$$

其中 P_{ji} 和 P_{ji} 为 j 第 i 个功率系统(第 i 条功率进线)的功率给定值和实际值。约束条件是

$$I_{ij} < I_j < I_{kj}, \quad j = 1, 2, \dots, 10 \quad (2)$$

其中 I_{ij} 、 I_{kj} 和 I_j 是第 j 个整流器的最小工作电流、额定电流和实际电流。

可以验证,在第 i 个功率系统的总电流偏差是 $K_{pi}(P_{ji} - P_{ji})$, 其中 K_{pi} 是第 i 个功率系统中由功率到电流的转换系数。因此,第 j 个整流器的电流调节器(即 LCU)输入在第 k 个控制周期的补偿值是

$$\Delta I_j(k) = \frac{I_{kj}}{\sum_{j=1}^n I_{kj}} \left[\sum_{j=1}^n I_j + K_{pi}(P_{ji} - P_{ji}) \right] - I_j \quad (3)$$

其中 n 是第 i 个功率系统供电的整流器数目。第 j 个电流调节器在第 m 个控制周期的补偿值是

$$I_{gj}(m) \approx \sum_{k=0}^m \Delta I_j(k) \quad (4)$$

其中 $\Delta I_j(0) = 0$, 是由协调器设置到第 j 个 LCU 的。对于每个 LCU, 控制目标是 minimized $\|I_{gj} - I_j\|$, 其中 $I_{gj} = I_{gj} + I_j$, 而且 I_j 是

LCU 的一个预置值。实现这个协调算法的框图如图 2 所示, 其中 α_j 是传送到第 j 个整流器的给定值, Σ 是一个内部关联矩阵, $I_{\Delta i}$ 和 $P_{\Delta i}$ 分别反映了第 i 个功率系统的电流扰动和不可控功率。

3 实时基带局部地区网络

借助于过程控制的 LAN 技术可以把 DCEMCS 的数据通信网络设计成实时基带 LAN。在 DCEMCS 中考虑的网络, 其总体结构部份地符合 IEEE 802 标准^[6]。该网络有一个物理层和一个数据链路层, 其中后者包括有网络层的部分功能。数据传输速率为 9 600 bps。在差错控制中, 使用奇偶校验和循环冗余校验(CRC), 并应用等待自动重复要求(ARQ)技术。数据通信是半双工异步串行通信模式, 实时数据通信由中央计算机系统的四个中断服务子程序和区域计算机系统的十一个子程序实现。

3.1 物理连接及数据链路控制过程

在 DCEMCS 中, RTMC、DMC 和 EDC 分别通过 SACA 的 RS-232 接口带有两个 RDS-1, 按 RS-422 标准实现双向环形连接方式, 而 RTMC 通过 SACA 的 RS-232 接口带有两个 MRDS-1, 与 11 台区域计算机所带的 RDS-1 按 RS-422 标准实现星形连接方式。

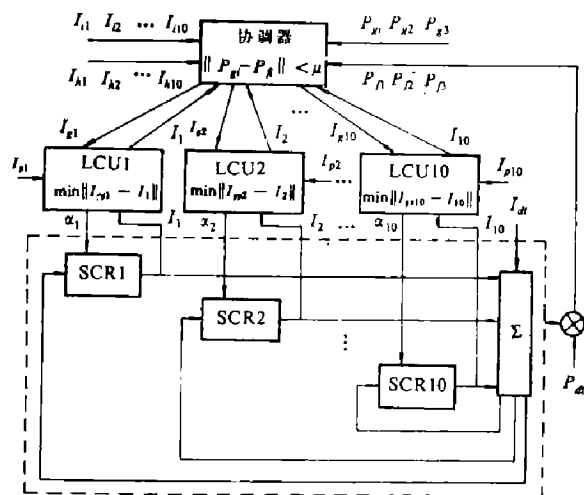


图2 动态协调算法的实现

对于每台计算机,数据链路控制过程通过使用字节装填来保证数据透明性,计算机之间的每个报文一定要符合下面定义的结构

STX	SADR	TADR	CMD/RSP	INF	ETX	HCRC	LCRC
-----	------	------	---------	-----	-----	------	------

其中 STX=正文开始; SADR=源地址字符; TADR=目的地址字符; CMD=命令字符; RSP=响应字符; INF=可选择的信息字节,包括能源信息或给定数据; ETX=正文结束; HCRC=CRC-16 代码的高字节; LCRC=CRC-16 代码的低字节。

每台计算机均被赋予一个地址字符,所有的报文被分成命令、信息和响应报文,其中命令报文指出数据通信要实现的步骤过程,而信息和响应报文则是对命令报文的回答。只有 RTMC、DMC 和 EDC 作为主站时能在任何时刻使用传输介质来发送一组命令报文,但作为从站的各台计算机只有在它被寻址后才能使用传输介质来发送一组响应或信息报文。

为了完成计算机之间的实时数据通信,定义了 POLL 和 SET 报文,其组成如下所述。

(1) 由主站到从站的命令报文:

STX	SADR	TADR	CMD	ETX	HCRC	LCRC
-----	------	------	-----	-----	------	------

↑

POLL 命令代码或 SET 命令代码

STX	SADR	TADR	CMD	INF	ETX	HCRC	LCRC
-----	------	------	-----	-----	-----	------	------

↑

SET 命令代码

(2) 对 POLL 或 SET 命令的响应报文:

STX	SADR	TADR	RSP	ETX	HCRC	LCRC
-----	------	------	-----	-----	------	------

↑

响应代码

(3) 对 POLL 或 SET 命令的信息报文:

STX	SADR	TADR	RSP	INF	ETX	HCRC	LCRC
-----	------	------	-----	-----	-----	------	------

↑

数据区域

在 POLL 报文中,可选择五个 ASCII 代码 31H、32H、33H、34H 和 35H 中的一个作为 CMD,这意味着可以实现下述功能:(1)把一组预先定义好的瞬时的或曾处理过的能源参数

从被寻址的区域计算机传送到 RTMC;(2)检查区域计算机的一些工作状态;(3)把一组预先定义好的瞬时值或累计值能源参数从 RTMC 传送到 DMC 或 EDC。

在 SET 报文中,可选择 ASCII 代码 30H 或 36H。当 CMD=30H 时,SET 命令报文没有 INF 区域,它由 RTMC 发送去启动被寻址的区域计算机,并要求该区域计算机返回一个响应报文。当 CMD=36H 时,SET 命令报文一定具有 INF 区域,它包含有一组给定值,而且由 EDC 发送到电力负荷控制系统,然后等待通过 RTMC 返回的响应报文。

响应报文中的 RSP 是六个 ASCII 字符之一,即 ACK(确认)、NAK(否定)、DC(设备控制)1、DC2、DC3 和 DC4,指出了区域计算机的四种设备故障状态。

在信息报文中,RSP 仅仅是一个 ACK 字符,而且 INF 按预先定义好的格式包含有各种类型的能源参数。INF 区域的总字节数由字节计数器给出,它与 POLL 或 SET 命令报文有关。

DCEMCS 使用奇偶校验和 CRC-16 方法来检测传输错误,其中后者是通过程序设计来实现的。而等待 ARQ 技术则被用于纠正传输错误。

3.2 实时数据通信程序设计

实时数据通信程序设计包括:初始化 SACA 和 MS-2102;设计中断服务程序,并配置在各台计算机中。初始化的内容是传输速率、异步通信格式、定时器控制和中断管理等。

配置在 RTMC 的中断服务子程序有 COMA、COMAB 和 COMAC。在 DMC 和 EDC 上均配置有一个中断服务子程序 COMBC。在各台区域计算机中也配置有一个中断服务子程序 COMLAC。COMA 和 COMBC 由定时器启动去管理 RTMC 与各台区域计算机和 DMC 或 EDC 与 RTMC 之间的实时数据通信,但 COMAB、COMAC 和 COMLAC 则由接收器数据准备就绪信号启动。COMA 和 COMLAC 实现 RTMC 和各台区域计算机之间的实时数据通信,COMBC 和 COMAB 或 COMAC 实现 DMC 或 EDC 与 RTMC

之间的实时数据通信。

4 应用软件和能源数据库

基于模块化程序设计,设计了DCEMCS的应用软件。分布式软件设计技术也用于中央计算机系统的软件组织。能源数据库设计采用关系式数据模式,所有的能源信息均存放在能源数据库中,并分布在由实时基带LAN连接的RTMC、DMC和EDC中。

4.1 中央计算机系统的软件组织

借助于分布式软件设计技术,利用8086汇编语言,独立地设计了三个总控运行文件,并分别装配在RTMC、DMC和EDC中。用IBM PASCAL、编译BASIC和8086汇编语言,根据预先分配好的任务,也设计了一些功能运行文件。这些运行文件可独立地在IBM个人计算机磁盘操作系统(PC-DOS)下运行。每个功能运行文件可由总控运行文件调用,以完成相应的功能。由于只有总控运行文件驻留在RAM中,而所有的功能运行文件均可以相互覆盖,因而有效地解决了中央计算机系统的内存问题。

中央计算机系统的应用软件被设计成为一个具有下述四个层次的同心环状结构:

(1) 第一层是PC-DOS 2.00或向上兼容版,由IBMBIOS、IBMDOS和COMMAND组成,是所有运行文件的最基本环境和核心。总控运行文件通过功能调用INT 21H可以调用所有的功能运行文件,并使之驻留在RAM中。

(2) 第二层是总控运行文件和接口。它常驻内存,并具有处理实时数据通信、管理所有功能运行文件和控制运行文件之间数据交换的功能。

(3) 第三层是功能运行文件及接口,包括一个实现当前任务的功能运行文件以及支持运行文件之间数据交换、计算机之间一般数据通信和人机对话的接口。

(4) 第四层是人机对话语言实现,包括采

用汉字信息的命令输入和结果输出等。

4.2 设计和管理能源数据库的基本思想

存贮在能源数据库中的能源信息,被划分为数据项、记录和文件,数据项是能源数据的最基本单元,一个记录通常包含有一个或多个数据项。相似地,一个文件是由一个或多个记录组成的。

在能源数据库设计中,所有关系的定义和描述均由IBM PASCAL语言的记录结构来实现,所有能源数据库文件分为数据文件、备注文件、索引文件、格式文件和存贮器变量文件等。对能源信息的访问是方便的和快速的,因为这些访问操作是预先定义好的或是单一的。通过监视所有功能运行文件的执行,拒绝或纠正对能源信息的错误操作,以实现能源信息的完整性。当功能运行文件或能源数据库文件发生变化时,它并不要求另一方应该发生变化,因而保证了能源信息的相对独立性。冗余技术被用于能源数据库的故障恢复。

5 结 论

从1990年起,DCEMCS一直在该有色金属冶炼厂运行。运行表明,分布式系统结构满足了该厂能源管理及控制的实际要求,应用于DCEMCS的理论和技术的成功。虽然DCEMCS是针对该厂能源管理及控制而设计的,但由于它具有较好的灵活性,也适合于其它地域分散工厂的分布式计算机控制和管理。

参考文献

- 1 石井温已,武末义记. 省エネルギー, 1982, 34(10): 7-16.
- 2 柏木干男. 省エネルギー, 1982, 34(10): 25-31.
- 3 王众托,杨德礼. 分布式计算机管理与控制系统. 北京:电子工业出版社, 1986.
- 4 沈德耀,吴敏. 冶金自动化, 1990, 14(5): 27-31.
- 5 Bartee T C. Data Communications, Networks, and Systems. Indianapolis, Howard W. Sams & Co., Inc., 1985.