



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101619850 B

(45) 授权公告日 2011.04.13

(21) 申请号 200910101435.4

(22) 申请日 2009.08.06

(73) 专利权人 杭州盘古自动化系统有限公司
地址 310023 浙江省杭州市西湖区西溪路
788 号华泰工业区 18 幢

(72) 发明人 郭豪杰 杨捷 徐志华 沈玉富

(74) 专利代理机构 杭州天欣专利事务所 33209
代理人 余木兰

(51) Int. Cl.

F22B 35/00 (2006.01)

F01D 17/00 (2006.01)

F01D 15/10 (2006.01)

G05B 19/04 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 100495272 C, 2009.06.03, 全文.

CN 1292474 A, 2001.04.25, 全文.

WO 2008/014344 A2, 2008.01.31, 全文.

CN 100418028 C, 2008.09.10, 全文.

CN 101419448 A, 2009.04.29, 全文.

US 2004/0261626 A1, 2004.12.30, 全文.

刘晓强等. 钢铁企业 MES 中的计划调度系统. 《冶金自动化》. 2004, (第 1 期), 全文.

审查员 候金伟

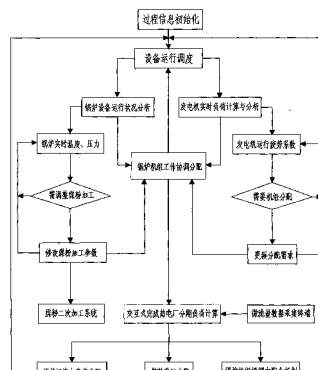
权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 3 页

(54) 发明名称

基于热电系统负荷在线预测的调度方法与系统

(57) 摘要

本发明公开了一种基于热电系统负荷在线预测的调度方法与系统, 该调度方法主要对象是热电生产系统核心设备锅炉和蒸汽发电机组, 调度流程包括: a、数据采集, b、建立实时数据库和历史数据库, c、数据分析与调度决策; 建立决策调度知识库, 得出当前要达到最佳状态以及近期的最佳调度状况下的相应操作决策, 将调度决策的预期效果和实际效果进行比较, 结果作为负荷预测的条件, 最终通过人机交互得到最佳的调度决策。该调度系统包括现场数据采集终端、现场生产层 DCS、管理层 ERP、中心数据服务器和制造执行管理层 MES。本发明克服了现有技术存在的缺陷, 该调度方法与系统基于热电厂的产能及分配预测, 利于提高企业生产运行效率、降低能源消耗、减少污染排放。



CN 101619850 B

1. 一种基于热电系统负荷在线预测的调度方法，其特征在于：该调度方法调度操作的主要对象是热电生产系统的核心设备锅炉和蒸汽发电机组，调度流程包括以下步骤：

a、数据采集，数据采集运行于现场生产层 DCS，参与现场控制，采用现场数据采集终端采集各个流程的常规量数据和微流量数据——锅炉压力设计上限、锅炉实时压力值、蒸汽实时温度、蒸汽实时流量、单台发电机实时发电量；

b、建立实时数据库和历史数据库，根据现场数据采集终端采集的实时数据，构建实时数据库，并分析整理构成历史数据库；

c、数据分析与调度决策，数据分析与调度决策运行于现场生产层 DCS 和管理层 ERP 之间的制造执行管理层 MES，通过监控系统和在线数据分析模块对现场采集的数据进行整理、归类、分析；

——根据收集的煤粉颗粒指数分析计算单位重量煤粉的热值量，

——根据锅炉压力设计上限、锅炉实时压力值、锅炉实时运行额度、蒸汽实时温度进行锅炉运行状况分析，

——根据单台发电机额定容量、单台发电机实时发电量、发电机疲劳系数进行发电机实时负荷计算与分析，

——根据现场数据采集终端所采集的微流量数据进行热电生产系统可靠性、运行效率和能耗分析；

汇总上述分析建立决策调度知识库，对当前运行状态、市场形势、燃料价格、用户变动进行综合分析，进行短期、中期的负荷预测得到特定时段的多个调度决策，并进行过程模拟，对每一种调度的可行性进行在线仿真测试，在线评估多个调度决策的优劣，得出当前要达到最佳状态以及近期内的最佳调度状况下的相应操作决策，并将调度决策的预期效果和实际效果进行比较，比较结果作为负荷预测的条件，最终通过人机交互得到最佳的调度决策，通过锅炉填煤量、锅炉分期工作负荷、发电机剩余工作时间对锅炉和发电机组工作进行协调分配。

2. 根据权利要求 1 所述的基于热电系统负荷在线预测的调度方法，其特征在于：所述的在线数据分析模块由现场生产模型、供应系统关系模型、市场预测模型、能源采购与消耗调度模型、工作状态调整关系模型五大基础数据模型构成，在线数据分析模块具备能源利用率分析、市场效益分析、统计分配及调度功能，所述的在线数据分析模块采用数据模型建立算法、动态调度模拟图 Dynamic Scheduling Simulated Diagram、连续 Petri 网模拟算法、改进粒子群优化算法 Particle Swarm Optimization, PSO 和支持向量机混合算法，根据采集的数据，对生产的负荷进行为期 1 年的预测，每半月做一次负荷预估，根据半月内的负荷预测作系统的调度。

3. 根据权利要求 2 所述的基于热电系统负荷在线预测的调度方法，其特征在于：所述的市场预测模型包含预测燃料消耗最少、机组运行效率最高、能量转换流程最短、电能消耗波动最小、燃料采购与储备成本最小、污染排放最小、余能回收与利用系数最高，所述的市场预测模型的输入参数有燃料价格、储备费用、当前燃料利用率、热网供气总量需求、电网供电量的需求、历史预测误差、实时蒸汽流量，所述的市场预测模型输出的参数有锅炉的运行时间及产能要求的分配、汽轮机组的工作协调机制、余热回收系统的工作调度、电网供应系统的电力分配。

4. 根据权利要求 3 所述的基于热电系统负荷在线预测的调度方法，其特征在于：所述的数据采集将高精度计量与累积偏差有机结合，将现场数据采集终端分为两个工作状态，即常规数据采集状态和微流量数据采集状态，其中微流量采集状态用于分析记录高温热蒸汽零值显示时的泄露状态参数。

5. 根据权利要求 4 所述的基于热电系统负荷在线预测的调度方法，其特征在于：所述的数据采集在输入各个数据时，将生产中的连续过程、间歇过程进行划分，设计数据中间体，作为各个过程间的信息流通道。

6. 一种采取权利要求 1 所述的基于热电系统负荷在线预测的调度方法的调度系统，其特征在于：包括现场数据采集终端、现场生产层 DCS、管理层 ERP、中心数据服务器和制造执行管理层 MES；

a、所述的现场数据采集终端运行于现场生产层 DCS 采集数据，采集数据传送到监控系统，同时传送至中心数据服务器进行数据处理，建立实时数据库和历史数据库；

b、所述的现场生产层采用分布式控制系统 DCS，配置主机计算机和多台调度计算机，管理层 ERP 配置管理交换机，中心数据服务器和管理交换机相连接，管理交换机和主机计算机、多台调度计算机相连接；

c、所述的制造执行管理层 MES 配置监控系统，对连接调度计算机及现场控制器之间的时序互基关系进行设置，制造执行管理层 MES 位于现场生产层 DCS 和管理层 ERP 之间，制造执行管理层 MES 通过监控系统、在线数据分析模块对现场数据采集终端收集的数据进行分析，并通过人机交互决策完成执行锅炉填煤量、锅炉分期工作负荷、发电机剩余工作时间的计算，完成对锅炉和发电机组工作进行协调分配的调度决策。

7. 根据权利要求 6 所述的基于热电系统负荷在线预测的调度系统，其特征在于：所述的现场数据采集终端安装在现场生产层 DCS，进行热电生产系统的核心设备锅炉和蒸汽发电机组的温度、流量、压力和功率采集，所述的现场数据采集终端包括流量检测与判断模块、微流量处理模块、数值显示模块，USB 存储设备接口模块、越限报警模块、总线通信模块，所述的现场数据采集终端分为常规流量采集状态和微流量采集状态两个工作状态，流量检测与判断模块进行微流量测量和常规流量的分程处理，采集现场实时流量。

基于热电系统负荷在线预测的调度方法与系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种调度方法与调度系统，特别是一种基于热电系统负荷在线预测的调度方法与系统，主要应用于属于流程工业的热电厂的负荷预测、生产调度、能源消耗、效益分析等，以提高企业生产运行效率，降低运行成本，尤其是降低能源消耗，减少污染排放。

背景技术

[0002] 公开号 CN1292474A 的中国专利申请《综合利用热电厂蒸汽能量的供热方法和系统》公开了一种通过蒸汽量决定发电量的方法进行热电厂的生产调度方法；和采用热量传输及热泵进行余热回收利用的技术方案。该技术提高了蒸汽的综合利用率，然而，因为其不是根据热能负荷和电能负荷的预测结果，直接对热电厂的核心设备锅炉和发电机进行调度操作，未能统一能量利用率和设备利用系数，不能减少余能回收工作量。

[0003] 公告号 CA100495272C 的中国专利《基于综合数据来源的钢铁能源的自动优化调度系统及方法》公开了包括安装在现场的传感器、PLC、DCS 构成的 PCS 层，现场监控终端 HMI，调度系统数据库服务器，ERP 数据库服务器，应用系统服务器，客户端，防火墙、防病毒服务器，连接各计算机设备、控制器和传感器的计算机网络的调度系统；以及根据特定钢铁企业的具体能源利用状况，分析企业的能源供给、分配的方法；提高钢铁企业的能源有效利用率。公告号 CA1303560C 的中国专利《一种一体化的钢铁企业生产过程在线计划调度系统与方法》公开了一种由安装在现场的传感器、控制器构成的 PCS 层、接口管理服务器、数据库服务器、应用层服务器、Web 服务器、客户端工作站、连接各计算机设备、控制器和传感器的计算机网络构成的计划调度系统；和包括工艺流程的定义、生产订单生成、生产计划编排、仿真模拟、计划局部调整、在线生产调度的计划调度方法；该调度系统与方法将生产计划自动编制与在线实时调度融为一体。上述在先申请专利的调度过程数据全部来自实体数据，不能进行调度过程的顺延模拟，调度时段为固定值，不能进行调度决策模拟，不具有长期、非定长时间的调度效果。热电厂是流程工业中较为典型的能量消耗型企业，随着季节的周期性变化电力消耗也具有一定的规律，生产过程不但需要期限较长的调度，而且需要将中、长期的调度分成更加详细的可操作时间段，应用现有技术调度系统和方法存在不足，影响企业效率。

发明内容

[0004] 本发明所要解决的技术问题是，克服现有技术存在的缺陷，提供一种基于热电厂的产能及分配预测，利于提高企业生产运行效率、降低能源消耗、减少污染排放的基于热电系统负荷在线预测的调度方法与系统。

[0005] 本发明解决上述问题所采用的技术方案是：该基于热电系统负荷在线预测的调度方法，其特点是：该调度方法调度操作的主要对象是热电生产系统的核心设备锅炉和蒸汽发电机组，调度流程包括以下步骤：

[0006] a、数据采集，数据采集运行于现场生产层 DCS，参与现场控制，采用现场数据采集终端采集各个流程的常规量数据和微流量数据——锅炉压力设计上限、锅炉实时压力值、蒸汽实时温度、蒸汽实时流量、单台发电机实时发电量；

[0007] b、建立实时数据库和历史数据库，根据现场数据采集终端采集的实时数据，构建实时数据库，并分析整理构成历史数据库；

[0008] c、数据分析与调度决策，数据分析与调度决策运行于现场生产层 DCS 和管理层 ERP 之间的制造执行管理层 MES，通过监控系统和在线数据分析模块对现场采集的数据进行整理、归类、分析；

[0009] ——根据收集的煤粉颗粒指数分析计算单位重量煤粉的热值量，

[0010] ——根据锅炉压力设计上限、锅炉实时压力值、锅炉实时运行额度、蒸汽实时温度进行锅炉运行状况分析，

[0011] ——根据单台发电机额定容量、单台发电机实时发电量、发电机疲劳系数进行发电机实时负荷计算与分析，

[0012] ——根据现场数据采集终端所采集的微流量数据进行热电生产系统可靠性、运行效率和能耗分析；

[0013] 汇总上述分析建立决策调度知识库，对当前运行状态、市场形势、燃料价格、用户变动进行综合分析，进行短期、中期的负荷预测得到特定时段的多个调度决策，并进行过程模拟，对每一种调度的可行性进行在线仿真测试，在线评估多个调度决策的优劣，得出当前要达到最佳状态以及近期内的最佳调度状况下的相应操作决策，并将调度决策的预期效果和实际效果进行比较，比较结果作为负荷预测的条件，最终通过人机交互得到最佳的调度决策，通过锅炉填煤量、锅炉分期工作负荷、发电机剩余工作时间对锅炉和发电机组工作进行协调分配。

[0014] 本发明基于热电系统负荷在线预测的调度方法，所述的在线数据分析模块由现场生产模型、供应系统关系模型、市场预测模型、能源采购与消耗调度模型、工作状态调整关系模型五大基础数据模型构成，在线数据分析模块具备能源利用率分析、市场效益分析、统计分配及调度功能，所述的在线数据分析模块采用数据模型建立算法、动态调度模拟图 Dynamic Scheduling SimulatedDiagram、连续 Petri 网模拟算法、改进粒子群优化算法 Particle SwarmOptimization，PSO 和支持向量机混合算法，根据采集的数据，对生产的负荷进行为期 1 年的预测，每半月做一次负荷预估，根据半月内的负荷预测作系统的调度。

[0015] 本发明基于热电系统负荷在线预测的调度方法，所述的市场预测模型包含预测燃料消耗最少、机组运行效率最高、能量转换流程最短、电能消耗波动最小、燃料采购与储备成本最小、污染排放最小、余能回收与利用系数最高，所述的市场预测模型的输入参数有燃料价格、储备费用、当前燃料利用率、热网供气总量需求、电网供电量的需求、历史预测误差、实时蒸汽流量等过程信息，所述的市场预测模型输出的参数有锅炉的运行时间及产能要求的分配、汽轮机组的工作协调机制、余热回收系统的工作调度、电网供应系统的电力分配。

[0016] 本发明基于热电系统负荷在线预测的调度方法，所述的数据采集将高精度计量与累积偏差有机结合，将现场数据采集终端的分为两个工作状态，即常规数据采集状态

和微流量数据采集状态，其中微流量采集状态用于分析记录高温热蒸汽零值显示时的泄露状态参数。

[0017] 本发明基于热电系统负荷在线预测的调度方法，所述的数据采集在输入各个数据时，将生产中的连续过程、间歇过程进行划分，设计数据中间体，作为各个过程间的信息流通道。

[0018] 本发明解决上述问题所采用的技术方案还是：该基于热电系统负荷在线预测的调度系统，其结构特点是：包括现场数据采集终端、现场生产层 DCS、管理层 ERP、中心数据服务器和制造执行管理层 MES；

[0019] a、所述的现场数据采集终端运行于现场生产层 DCS 采集数据，采集数据传送到监控系统，同时传送至中心数据服务器进行数据处理，建立实时数据库和历史数据库；

[0020] b、所述的现场生产层采用分布式控制系统 DCS，配置主机计算机和多台调度计算机，管理层 ERP 配置管理交换机，中心数据服务器和管理交换机相连接，管理交换机和主机计算机、多台调度计算机相连接；

[0021] c、所述的制造执行管理层 MES 配置监控系统，对连接调度计算机及现场控制器之间的时序互基关系进行设置，制造执行管理层 MES 位于现场生产层 DCS 和管理层 ERP 之间，制造执行管理层 MES 通过监控系统、在线数据分析模块对现场数据采集终端收集的数据进行分析，并通过人机交互决策完成执行锅炉填煤量、锅炉分期工作负荷、发电机剩余工作时间的计算，完成对锅炉和发电机组工作进行协调分配的调度决策。

[0022] 本发明基于热电系统负荷在线预测的调度系统，所述的现场数据采集终端安装在现场生产层 DCS，进行热电生产系统的核心设备锅炉和蒸汽发电机组的温度、流量、压力和功率采集，所述的现场数据采集终端包括流量检测与判断模块、微流量处理模块、数值显示模块，USB 存储设备接口模块、越限报警模块、总线通信模块，所述的现场数据采集终端分为常规流量采集状态和微流量采集状态两个工作状态，流量检测与判断模块进行微流量测量和常规流量的分程处理，采集现场实时流量。

[0023] 本发明与现有技术相比具有以下优点：1、本发明基于热电厂的产能及分配预测，直接对热电厂的核心设备锅炉和发电机进行调度操作，所有调度流程的信息对应性、针对性、实时性强，预计时间长、预测命中率高，利于提高热电企业生产运行效率、降低能源消耗、减少污染排放。2、调度方式上，现有技术调度系统和方法均是通过实时生产信息和系统模型进行仿真测试获得调度方法的；本发明调度系统和方法是从信息利用上避开模型本身，而是采用数据挖掘方法即支持向量机混合算法、粒子群架构的新型神经网络算法对生产的负荷进行为期 1 年的预测，分为 24 期，即每半月做一次负荷预估，半月内的负荷预测再用作系统的调度，因此调度效率更高，热电生产过程的状态切换会更加平稳，保证设备运行状态最佳。3、对现场数据的采集和利用上，现有技术均采用流量、压力、温度、设计参数等常规量；本发明将煤颗粒指数、锅炉运行的额度、发电机疲劳系数等热电系统中的微小流量一并作为在线调度系统的操作变量，细化操作过程，提高操作执行的力度；因此本发明调度系统和方法较之现有同类调度系统和方法可靠性更高、效果更好。4、现有调度系统和方法调度执行是串行执行，即先进行某一可操作变量的取值，再通过某个流程，然后仿真进行观察调度的效果，或者完全凭借经验进行调度结果的判断；本发明通过广度搜索测量和高度并行优化计算，调度系统内置大

量可并行操作的模块，对每一种调度的可行性进行在线仿真测试，直接给出测试结果，同时完成大量的调度策略及各种情况下的调度比较，方便人机交互式调度决策的确定，减少了经验调度带来的误差。5、现场数据采集终端结构合理，将流量测量单独设计为一个测量通道，而非与其他通道共享分时访问，因此可以对微流量进行实时累积计算，减小了运算误差；数据存储由通用的 USB 存储设备接口代替传统的芯片级存储，从而实现了海量数据存储，便于分析；采集终端自带液晶显示，可以显示实时变量；通讯模块的设计采用 MODBUS RTU 协议，实现了设备与上位机及仪表间的数据通讯。

附图说明

- [0024] 图 1 为实施例基于热电系统负荷在线预测的调度方法信息流图。
[0025] 图 2 为实施例基于热电系统负荷在线预测的调度方法调度流程图。
[0026] 图 3 为实施例基于热电系统负荷在线预测的调度系统示意图。
[0027] 图 4 为实施例基于热电系统负荷在线预测的调度系统中现场数据采集终端功能结构图。

具体实施方式

- [0028] 下面通过实施例，结合附图对本发明作进一步描述。
- [0029] 本发明基于热电系统负荷在线预测的调度方法实施例：
- [0030] 实施例基于热电系统负荷在线预测的调度方法，在分析流程工业生产供应特征的基础上针对热电厂生产过程中的生产安排、调度流程、能源消耗、效益分析等需求进行分析；以经济效益、节能环保、生产供应为主要指标，建立分期生产计划和决策调度模型的总体框架结构。该调度方法调度操作的主要对象的是热电生产系统的核心设备锅炉和蒸汽发电机组，它集生产消耗、能源利用率、产品配送、负荷预测与生产调度于一体，建立生产过程的模型，通过生产过程的数据驱动实时跟踪生产流程，动态监视调度系统。
- [0031] 参见图 1、2，该调度方法流程包括以下步骤：
- [0032] 1、数据采集，数据采集运行于现场生产层 DCS，参与现场控制，精确计量各个流程的数据，特别是面对用户的数据，如电力输送量，热气供应量及其实时温度。该步骤采用现场高精度的数据采集终端采集各个流程的实时常规量数据和微流量数据——锅炉压力设计上限、锅炉实时压力值、蒸汽实时温度、蒸汽实时流量、单台发电机实时发电量，以及锅炉实时运行额度、发电机疲劳系数和煤粉颗粒指数。
- [0033] 传统热电厂调度系统中忽略了细微但却很重要的信息，系统中微流量数据对整个系统的影响，如锅炉的运行额度、发电机组疲劳系数、煤粉的颗粒指数，这些信息都是非常重要过程量，直接影响系统运行结果的准确性。实施例数据采集将高精度计量与累积偏差有机结合，将现场数据采集终端的分为两个工作状态，即常规流量采集状态和微流量采集状态，其中微流量采集状态用于分析记录高温热蒸汽零值显示时的泄露状态参数。
- [0034] 2、建立实时数据库和历史数据库，根据现场数据采集终端采集装置采集记录的常规流量和微流量实时数据，构建实时数据库，并分析整理构成历史数据库。

[0035] 热电厂分布式控制系统 DCS 中有大量的数据存在，而实际生产过程中只利用了用于报表制作部分的数据，浪费了大量具有价值的系统数据，各个点的信息成了孤岛，没有被合理的利用。本发明充分利用过程量信息如蒸汽的压力、煤气的流量等，这些信息具有内在的联系，系统将其进行分类，规划后存入数据库系统，建立过程信息拟实时数据系统，结合推断逻辑和先前的推断结果填充已经具有或新建立专家知识库，供下一步的决策提供必不可少的理论依据，作为数据挖掘技术中的一种应用，此信息融合技术不仅可以自动搜集新的过程信息作为知识库的新息，而且可以对已有的新息进行二次分析，对信息之间的相关度进行在线计算，分析出与系统利用最相关的量，因此可以最大限度的减少系统的信息冗余程度，提高系统进行数据处理的效率，并且能够根据调度的最终结果反馈调整信息融合的机制，使得系统向最佳方向发展。

[0036] 3、数据分析与调度决策，数据分析与调度决策运行于现场生产层 DCS 和管理层 ERP 之间的制造执行管理层 MES，通过监控系统和在线数据分析模块对现场收集的数据进行整理、归类、分析：根据收集的煤粉颗粒指数分析计算单位重量煤粉的热值；根据锅炉压力设计上限、锅炉实时压力值、锅炉实时运行额度、蒸汽实时温度进行锅炉运行状况分析；根据单台发电机额定容量、单台发电机实时发电量、发电机疲劳系数进行发电机实时负荷计算与分析；根据现场数据采集终端所采集的微流量数据进行热电生产系统可靠性、运行效率和能耗分析。

[0037] 汇总上述分析建立决策调度知识库，对当前运行状态、市场形势、燃料价格、用户变动进行综合分析，进行短期、中期的负荷预测得到特定时段的多个调度决策，并进行过程模拟，对每一种调度的可行性进行在线仿真测试，在线评估多个调度决策的优劣，得出当前要达到最佳状态以及近期的最佳调度状况下的相应操作决策，并将调度决策的预期效果和实际效果进行比较，比较结果作为负荷预测的条件，最终通过人机交互得到最佳的调度决策，通过锅炉填煤量、锅炉分期工作负荷、发电机剩余工作时间对锅炉和发电机组工作进行协调分配。

[0038] 实施例的在线数据分析模块由现场生产模型、供应系统关系模型、市场预测模型、能源采购与消耗调度模型、工作状态调整关系模型五大基础数据模型构成，在线数据分析模块具备能源利用率分析、市场效益分析、统计分配及调度功能，所述的在线数据分析模块采用数据模型建立算法、动态调度模拟图 Dynamic Scheduling Simulated Diagram、连续 Petri 网模拟算法、改进粒子群优化算法 Particle Swarm Optimization, PSO 和支持向量机混合算法，根据采集的数据，对生产的负荷进行为期 1 年的预测，每半月做一次负荷预估，根据半月内的负荷预测作系统的调度。

[0039] 本发明采用的算法：

[0040] a、设计最佳的数据模型建立算法，使得软件系统能基于 SVM, NN 等建模算法快速搭建模型框架，并且具有很好的通用性，使得软件系统能够快速适应新的环境，有很好的可移植性；其中 SVM 的核函数选择方法采用变径聚类的方式得到，神经网络采用拓扑结构自适应的更新模式在线建立，容易实施。

[0041] b、动态调度模拟图 Dynamic Scheduling Simulated Diagram，及其模型表示方法，可以供用户自行添加模块结构，有很好的可操作性。

[0042] c、连续 Petri 网模拟算法，建立调度方案验证模型，以核实调度决策的可执行性

及其执行对应的影响。

[0043] d、改进粒子群优化算法 Particle Swarm Optimization, PSO 解决高度非线性系统寻优问题, 对原经典粒子群算法进行改进, 使其更适合大规模、多目标问题的求解。热电厂不仅要满足用户的电量需求而且需要对产能的二次分配回收系统做最佳的调整, 同时兼顾燃料的采购成本及存储维护费用, 整个过程构成了一个多目标系统; 采用具有多目标优化能力的微粒子群算法优化目标函数, 能同时优化多个目标并求得最优解, 能使整个热电厂的各个环节之间协调工作。

[0044] 采用大规模神经网络和支持向量机技术作为建模平台, 对热电厂的各非线性易波动系统进行非参数模型设计, 通过在线迭代优化模型中的可变参数逼近实际过程, 神经网络具有预测能力强, 智能化, 能够实现多变量的输入和输出操作, 通过动态建立网络的拓扑结构并修正其规模, 可以得到泛化能力强, 预测精度高的网络; 采用支持向量机技术弥补神经网络训练时间长、要求样本量大等缺点, 从而可以在线建模并完成输出运算, 建立模型精度高, 不受模型阶次和运行状态的影响, 不同部分直接通过数据交互的关系联系, 不需要大量而复杂的数学运算, 而是通过智能化学习与进化以适应新的运行状况与市场状态, 可以降低由于建模方法不正确造成的运算结果偏差大等影响的程度。

[0045] 市场预测模块包含预测燃料消耗最少、机组运行效率最高、能量转换流程最短、电能消耗波动最小、燃料采购与储备成本最小、污染排放最小、余能回收与利用系数最高。市场预测模型的输入参数有燃料价格、储备费用、当前燃料利用率、热网供气总量需求、电网供电量的需求、历史预测误差、实时蒸汽流量等过程信息; 市场预测模型输出的参数有锅炉的运行时间及产能要求的分配、汽轮机组的工作协调机制、余热回收系统的工作调度、电网供应系统的电力分配。

[0046] 负荷预测要精确描述负荷的各个分配, 对将来一段时间内的负荷分期计算, 预测的依据是生产与分配的历史数据和当前的状态, 预测的目的是通过调整各个工段的工作情况, 使得生产效率最高、能耗最低, 实现最优值生产调度。锅炉与发电机组是热电厂生产的核心, 也是能量转化的主要设备, 负荷预测结果将直接影响它们的运行, 提高能量的利用率和生产过程的工作调度效果就需要分析锅炉与汽轮机、发电机的运行特性, 优化模型根据燃料的类型分为两类即燃油型和燃煤型, 分别建立满足外界所需的热电厂汽轮机总电功率需求和热网总供气量的前提下优化分配各台锅炉的热负荷, 将锅炉和发电机组作为两个优化的目标分别进行优化计算, 使得锅炉的燃料消耗最低。

[0047] 本发明调度使用的软件是基于动态信息和相对静态信息共同作用于集成优化, 以及使调度系统获得期望的调度决策, 软件核心部分包括了过程分类建模、模型求解、调度决策与验证、动态优化调度过程和实时监控等五个方面。

[0048] a、过程分类建模: 软件采用可视化的图像建模方式, 对生产过程以及无法用数学表达式描述的销售、采购模型进行数据建模, 基于模型关系和各个环节的数据关系所建立的负荷预测模型生成调度模型。过程分类建模简单高效、直观、使用方便, 可组态, 具有很好的通用性。

[0049] b、模型求解: 能够快速求解模型的参数, 匹配模型, 获得既快又优的调度方案。模型求解算法成熟稳定、调度结果可靠、运算过程效率高。

[0050] c、调度决策与验证：利用 Petri Net 模拟生产流程进行生产过程调度验证，可以并行验证多种调度方案，进行比较，并给出最佳方案的适应度，且验证过程具有可视化和动态效果，直观方便。调度决策与验证界面直观、判断方便、调度直入现场效果明显。

[0051] d、动态优化调度过程：直接连接数据采集与监控系统 SCADA，分析现场设备的运行状况，对决策分析进一步优化，避免因设备故障、燃料短缺及特殊供应需求等原因造成调度不及时问题，提高对市场变化时的应变能力。动态优化调度过程生产适应能力强、人机交互式调度决策、实时性强。

[0052] e、实时监控。

[0053] 解决如何通过生产数据建立各个生产过程和调度过程的模型，算法是基于目前广为使用的支持向量机 Support Vector Machine, SVM 技术和已经应用成熟的神经网络 Neural Network 算法设计的，具有环境能适应力强、建模速度快，加之本发明结构中数据来源丰富、归类详细，建立在原分布式控制系统 DCS 框架上，能够更加稳定地运行。同时合理的算法设计将通过数据交互技术将最佳控制系统设定值和优化结果通过人机交互方式传输至监控界面，方便与操作人员根据整个企业的实时调度状态进行生产调整，系统由各个基础模块的模型构成，具体模型建立方法和运行方式如下：

[0054] 现场生产模型是通过生产设备的输入输出数据和过程量，如发电机组的机头蒸汽温度压力、蒸汽流量、机轮转速、机尾蒸汽温度和压力、实时发电量等信息建立蒸汽温度、压力、流量与实时发电量的模型；采用非机理方式的数据回归建模，将各个记录仪表的数据调入数据库在线建立模型并不断修正模型结构参数。

[0055] 供应关系模型、市场预测模型、能源采购与消耗调度模型是采用改进的 RBF 神经网络建立，通过历史数据和干扰数据即市场波动的离线训练，实现模型的参数初始化，在初期运行过程中修正一些参数，步步逼近模型的真实结构。

[0056] 工作状态调整关系模型的建立相对较复杂，模型中使用了 PSO 算法对系统进行大范围内的设定值寻优，并在实施操作前进行过程模拟，仿真出当前调度方案情况下的调整效果，因此模型内部由生产实时的过程量、负荷的预测量、实时负荷、设备的疲劳系数作为系统的主要变量建立模型，其中疲劳系数等设备的具体数据来自现场生产模型。

[0057] ①精确采集系统模型的各个输入数据项，将生产中的连续过程、间歇过程进行划分，设计数据中间体，作为各个过程间的信息流通道。

[0058] ②内置建模算法，在非人工干预的情况下自动建模和数学规划，使得使用者在简单的操作下即可完成复杂调度过程的模拟和决策，经由人机交互完成最终决策。

[0059] ③设计基于数据挖掘技术的多类型数据分析软件模块，能准确表述现场数据、经济分析数据、市场前景数据、用户计量数据，并且能够完成数据的完整性与合理性分析。

[0060] ④采用对实时性要求不高的大规模、多目标优化算法，优化能源调度、市场运作、产品质量等多个目标，结合整体数据分析，得出最佳的实施流程。

[0061] ⑤利用模拟异步并操作的工作模型 Petri 网络进行调度决策分析，利用其模拟整个生产过程，结合大规模 BP 神经网络构建的市场预测结果，进行整合分析并验证调度决

策的可执行性。

[0062] 本发明基于热电系统负荷在线预测的调度系统实施例：

[0063] 参见图 3，该基于热电系统负荷在线预测的调度系统，包括现场数据采集终端、现场生产层 DCS、管理层 ERP、中心数据服务器和制造执行管理层 MES。

[0064] 实施例现场数据采集终端包括计量仪表和微流量数据采集装置，现场数据采集终端运行于现场生产层 DCS 采集数据，采集数据传送到监控系统，同时传送至中心数据服务器进行数据处理，建立实时数据库和历史数据库。现场生产层 DCS 采用分布式控制系统，配置主机计算机和多台调度计算机，管理层 ERP 配置管理交换机，中心数据服务器和管理交换机相连接，管理交换机和主机计算机、多台调度计算机相连接。制造执行管理层 MES 位于现场生产层 DCS 和管理层 ERP 之间，制造执行管理层 MES 通过监控系统和在线数据分析模块对现场数据采集终端收集的数据进行数据分析与调度决策，经过人机交互，通过现场控制器执行锅炉填煤量、锅炉分期工作负荷、发电机剩余工作时间对锅炉和发电机组工作进行协调分配的调度决策。

[0065] 参见图 4，实施例现场数据采集终端包括流量检测与判断模块、微小流量处理模块、数值显示模块，USB 存储设备接口模块，越限报警模块、总线通信模块，其中流量检测与判断模块是实现微小量测量的核心，实现了流量的分程处理，对不同大小的量进行处理，得到现场实时流量大小；现场数据采集终端安装在现场生产层 DCS，进行热电生产系统的核心设备锅炉和蒸汽发电机组的温度、流量、压力和功率检测，现场数据采集终端设计中将流量采集通道的工作状态分为两个阶段，即常规流量状态和微小流量状态，设计采用选通开关进行采集送入量的通道选择，当判断为微流量时选择相应通道进行采集，转向为累计量计算为主，同时内部实现量程自动变换，将阈值一下到零流量设计为 5 个分级，保障采集信号的放大处理与限幅约束，当判断为常规量时进入正常记录状态，此时以实时计算信息为主。其中微流量记录状态用于分析记录高温热蒸汽零值显示时的泄露等状态参数；通过将这个阶段细化为多个子过程阶段进行标定，进一步提高微小流量测量的精度，使得测量更加有意义。现场数据采集终端中的微流量数据采集，进行底层微小信息获取，进入热电厂系统的调度系统；该微流量数据采集能高精度的计量，同时支持多种总线连接方式，能够将实时数据采入监控系统，和本申请人编制的数据分析功能 Data Analysis 集成式智能调度与全局优化控制软件 Integrated Intelligent Dispatch And Global Optimization Software With Control Function。实施例现场数据采集终端将流量测量单独设计为一个测量通道，数据存储采用通用的 USB 存储设备接口，配置液晶显示，通讯模块的设计采用 MODBUS RTU 协议，实现了设备与上位机及仪表间的数据通讯。图 4 的四台调度计算机中任选一台作为主机，图中 1 为 PJ45 工业以太网接口、2 为阀门、3 为流量计、4 为电机。

[0066] 实施例整个调度系统由硬件数据采集和两大部分有机结合而成，数据采集部分运行于现场生产层 DCS 参与现场控制和高精度数据记录；数据分析与调度决策软件运行于现场生产层 DCS 和管理层 ERP 之间的制造执行管理层 MES，完成对现场收集数据的整理、归类、分析、建立专家知识库，通过不断丰富知识库系统优化软件中各个基础模块的模型结构，从而为将来更加准确的预测提供必要的条件。将生产现场的设备状况、生产设定值、预期产量等生产信息通过现场生产层 DCS 传输至监控系统，通过网络层传

输相关信息至制造执行管理层 MES 和管理层 ERP，生产调度通过实时的现场信息和外部的市场信息进行综合调度；一方面软件系统为管理层 ERP 和现场生产层 DCS 提供软件接口，保证上层实时了解底层的动态信息；另一方面，通过系统的调度决策直接下达生产命令，减少信息传送过程中的变性和延迟；软件在多方面解决了既不将调度直接用于在线生产，也不将调度脱离生产现场，而是通过现场生产管理、生产执行管理、企业资源管理、生产销售等多个层面统一进行的最佳资源规划。

[0067] 本调度系统采取可视化的调度过程模拟，能够直接观察调度的运作状况，随时调整调度过程中的变量，进行人工干预调度结果，模拟的全部过程和干预结果将存入后台数据库系统。调度系统仿真调度决策，并以图形化的方式组织各个相关环节调整相应的运行状态，实现系统联动，真实化的显现调度过程，可视化的调度过程和动态的过程模拟让操作人员操作、调度管理人员调度更直观。

[0068] 热电厂是一个典型的具有多过程、复杂工艺结构的流程工业，运行过程中受用户量、气候、季节等外部原因的影响非常大，是一个整体运行在具有大扰动环境下的系统。煤是热电厂消耗的主要燃料，面对世界能源危机，对热电厂这样的高能耗工业需要从各个方面提高能源的利用率，减少不必要的能源损失。因此需要从能源的调度、计量、分析、预测等多个方面合理设计各个期间的能源分配，热电供应系统不但包括电力本身，还有随之产生的热气，作为能源的载体之一，必须同时参与调度才能最大程度地降低能量消耗、提高能源利用率。本发明在现有的分布式控制系统 DCS 条件下，实现对各种扰动因素的结果进行预测，分析各种情况下能源的消耗和产品的分配，在既能满足用户的需求，又能最大程度地降低能源消耗，最终实现最合理的生产调度。

[0069] 本发明集成信息技术、自动化、优化调度、决策分配等技术，针对热电厂蒸汽用户需求变化的复杂性，构建了热电厂分期负荷预测模型，模型分为两级进行设计，从而可以完成现场层的产能分配预测模型与调度关系模型之间的协调，为提高生产调度的准确性和有效性提供理论依据；分期负荷预测模型将生产调度过程的定性描述转换为系统子块之间的定量信息描述，实现通过理论计算与迭代优化等方法解决原先由主观意识判断才能完成的决策优化；为高效准确的调度和能量利用率的提高提供技术支撑。采用支持向量机混合算法、粒子群多目标架构的新型神经网络搜索算法、拓扑结构分析算法等算法，分析热电厂生产过程数据，上述算法具有动态拓扑分析、数据滚动分析、信息融合模型自动生成等功能，实现过程关联性解耦和，从而完成以‘点’执行热电厂生产过程，以‘面’分析计算流程中的整体优化目标；结合预测模型进行热电厂运行的整体决策优化，实现发电、供热、余能回收等多流程集成动态优化和智能调度。高精度计量与累积偏差纳入系统，采取微小流量检测方法，解决现场零显示记录时的微小泄露问题；为生产过程的安全可靠运行提供良好的基础；解决长期微小流量损失误差对系统运行可靠性的所造成影响，提高负荷预测的精度。

[0070] 本发明调度方法和系统经热电厂实际应用证明，能有效解决当前热电厂调度中存在的以下问题：1、只通过电力负荷的供应满足要求进行能源供应的调度和产能的分配，忽略了余热等能量的分配存在的调度问题。2、生产现场采用通用组态软件设计的监控软件，信息处理能力弱，生产过程中信息的利用率低，不能完成综合性较强的数据处理算法。3、管理层 ERP 软件系统调度过程中得不到实时的可用信息，调度建立在对纯历

史数据的基础之上，存在一定的相对滞后，因此调度的准确性也有一定程度的降低。4、信息的精确性不够，未考虑累积差，形成的累积差将对生产过程的统计、能源的消耗估计、调度过程的配额计算等都会有不小的影响。5、调度过程无法实时验证，也不能进行可视化的操作，凭借对历史数据的一般分析和调度者的经验进行相关操作，使得调度结果具有一定的不确定性。6、不能对负荷进行准确预测，因此对整个系统的运行的状态不能进行提前调整，不能对资源进行优化配置，耗费了大量可以节约的能源。7、余能回收系统不能很好的参与调度过程的运算，因此调度系统忽略了大量能源系统的信息，不能将整个能量系统综合考虑，作为一个整体进行调度。本发明基于热电系统负荷在线预测的调度方法与系统，应用于属于流程工业的热电厂的负荷预测、生产调度、能源消耗、效益分析等，能提高企业生产运行效率，降低运行成本，尤其是降低能源消耗，减少污染排放。

[0071] 以上实施例对本发明作了较为详细的描述，但是这些描述并非用以限定本发明的保护范围，本行业的技术人员，在不脱离本发明的构思和范围内所作的改动与润饰，均应属于本发明的保护范围。

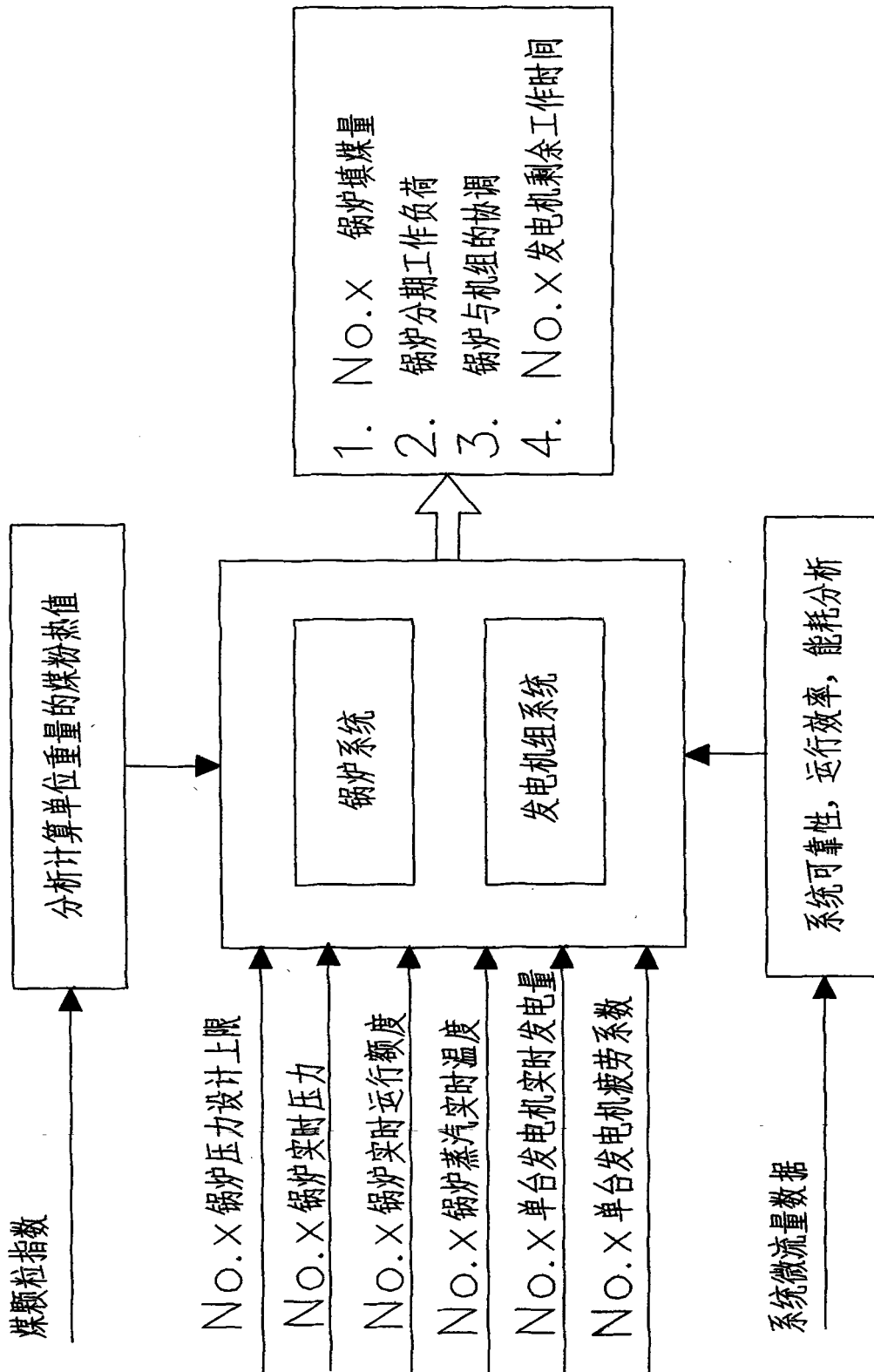


图 1

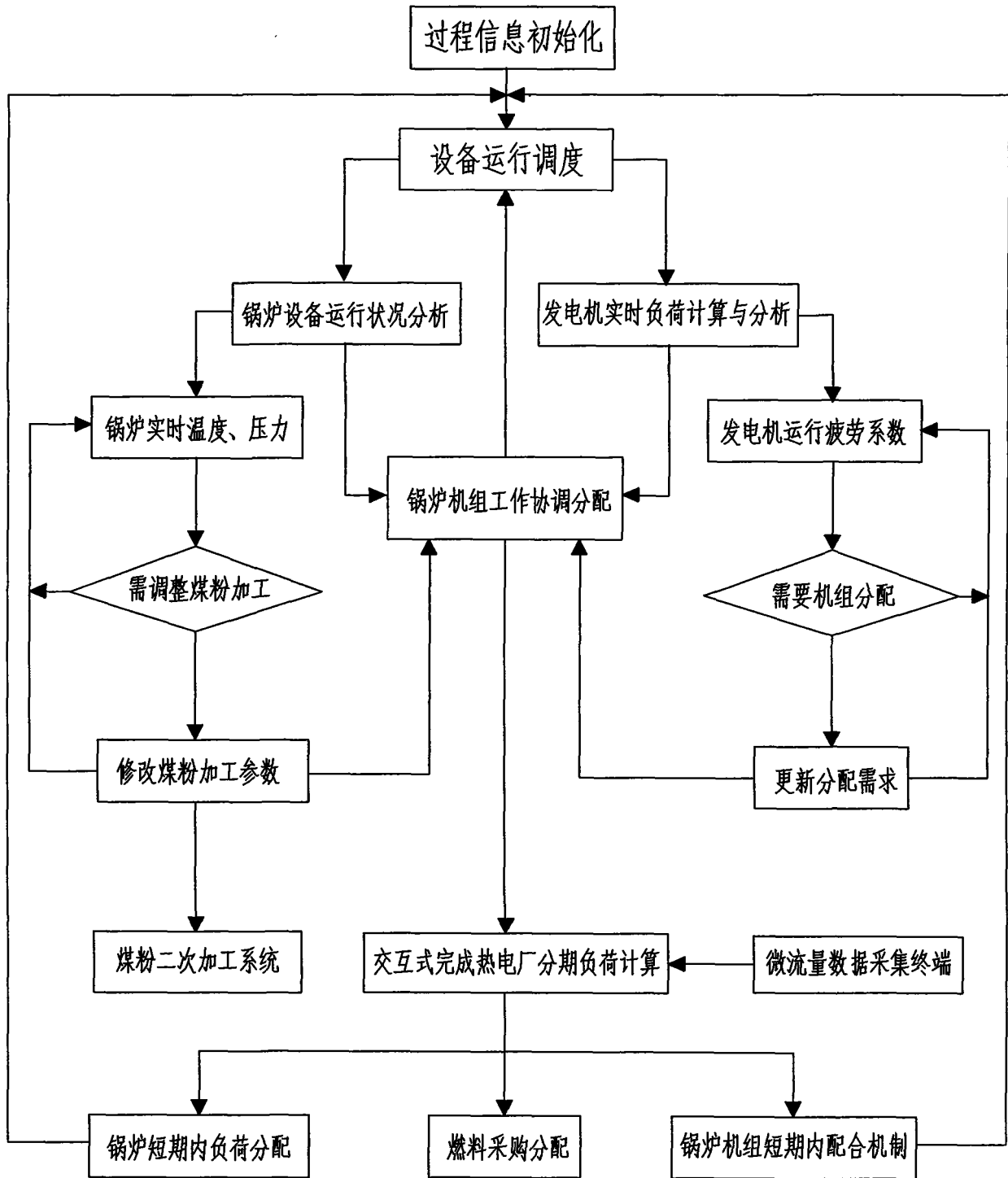


图 2

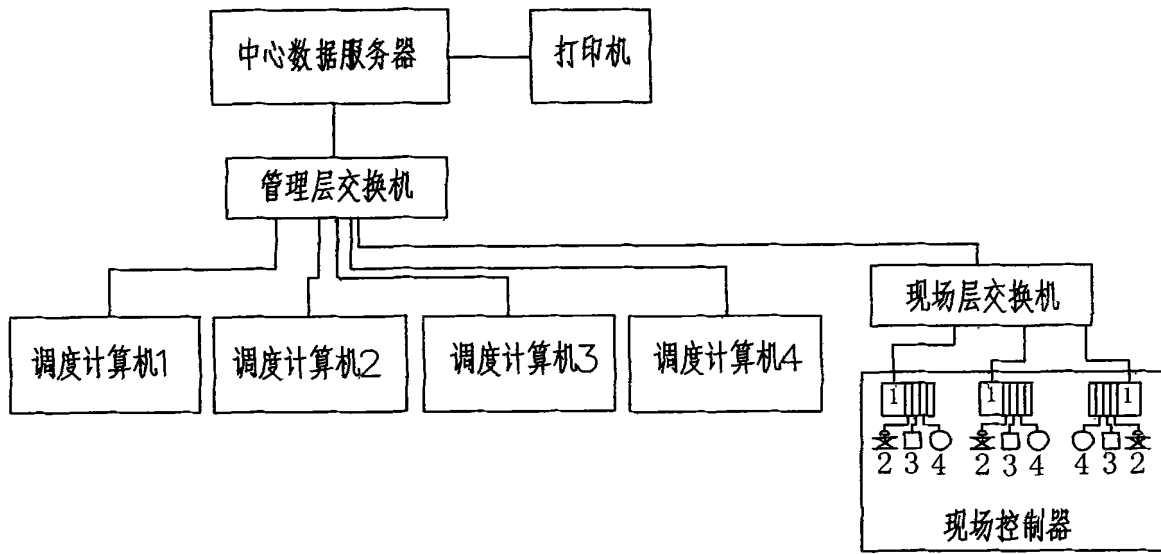


图 3

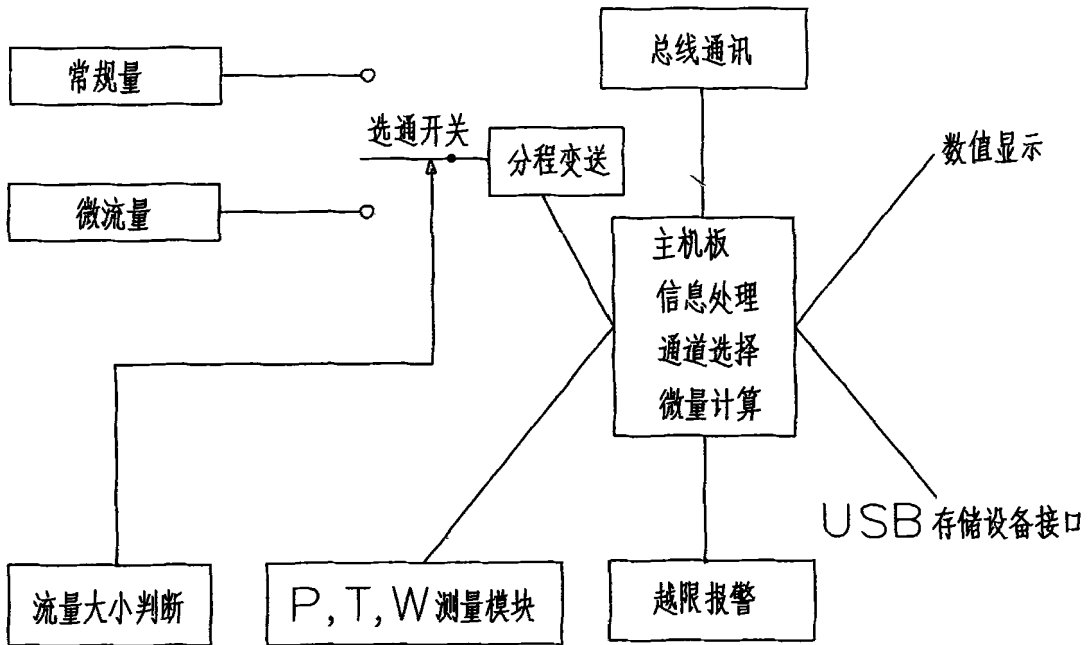


图 4