

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510039133.0

G05B 19/418 (2006.01)

G05B 19/04 (2006.01)

G05B 13/04 (2006.01)

G05B 15/02 (2006.01)

[45] 授权公告日 2008 年 2 月 13 日

[11] 授权公告号 CN 100368949C

[22] 申请日 2005.4.28

[21] 申请号 200510039133.0

[73] 专利权人 南京科远控制工程有限公司

地址 211100 江苏省南京市江宁经济开发区
西门子路

[72] 发明人 刘国耀 胡歙眉 曹瑞峰

[56] 参考文献

US5398304A 1995.3.14

US5412756A 1995.5.2

CN1482521A 2004.3.17

审查员 杨 彬

[74] 专利代理机构 南京苏高专利事务所

代理人 陈 扬

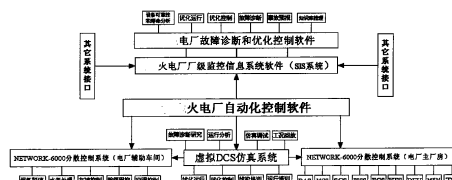
权利要求书 1 页 说明书 13 页 附图 2 页

[54] 发明名称

基于人工智能的火电厂自动控制系统

[57] 摘要

本发明公开了一种基于人工智能的火电厂自动控制系统，它包括分散控制系统、虚拟 DCS 仿真系统、程序控制系统、监控信息系统和故障诊断及优化控制系统；分散控制系统与虚拟 DCS 仿真系统和程序控制系统连接；虚拟 DCS 仿真系统与分散控制系统和程序控制系统连接；程序控制系统将分散控制系统传递来的各机组的运行参数进行处理，同时将数据传递给监控信息系统显示出来，再传递给故障诊断及优化控制系统进行设备状态监控、故障诊断和预警。与现有技术相比，本发明集自动控制、优化运行、安全监测、故障诊断与预测于一体，可提高电厂运行的自动化管理水平，增强企业效益，它在火电厂生产过程自动控制中具有极大的经济价值和实用价值。



1、一种基于人工智能的火电厂自动化控制系统，其特征在于：它包括分散控制系统、虚拟控制仿真系统、程序控制系统、监控信息系统和故障诊断及优化控制系统；设置在机组各控制点的分散控制系统与虚拟控制仿真系统和程序控制系统连接；根据生产模拟状态由用户自行设置各种数据的虚拟控制仿真系统与分散控制系统和程序控制系统连接；程序控制系统将分散控制系统传递来的各机组的运行参数与设置在数据库中的目标值进行比较，并对各机组的运行参数进行修正，使机组在最佳参数和工况条件下运行，同时将数据传递给监控信息系统；监控信息系统将各种数据和信息集成在一起显示出来并传递给故障诊断及优化控制系统；故障诊断及优化控制系统实时监控设备状态，及时进行故障诊断并预警。

2、根据权利要求1所述的基于人工智能的火电厂自动化控制系统，其特征在于：所述分散控制系统包括设置在主厂房和辅助车间的各控制点，主厂房的控制点包括数据采集 DAS、模拟量控制 MCS、顺序控制 SCS、锅炉炉膛安全保护 FSSS、电气控制系统 ECS、汽机跳闸保护系统 ETS 和汽机数字式电液调节系统 DEH；辅助车间的控制点包括烟气脱硫、水务处理、灰渣处理、输煤控制和空调控制。

3、根据权利要求1所述的基于人工智能的火电厂自动化控制系统，其特征在于：所述监控信息系统设有与其它系统传递数据的其它系统接口。

基于人工智能的火电厂自动控制系统

一、技术领域

本发明涉及一种企业生产过程的控制系统，具体地说是一种基于人工智能的火电厂自动控制系统。

二、背景技术

随着我国改革开放和经济的高速发展，用电量需求也迅速增加，电力工业已经成为制约我国经济发展的瓶颈。随着时代的进步，各种新技术日新月异地不断发展和成熟，包括计算机技术、通信技术、控制技术、显示技术、专家系统、知识推理、神经网络、多变量控制和模糊控制理论等，这些新技术在电厂已得到了应用。国内众多电厂在自动控制系统上投入了大量财力，但远远没有能发挥其应有的作用。主要原因在于电厂使用的控制系统（DCS、PLC等）、电厂厂级监控信息系统（SIS）和各种电厂应用软件往往都是由不同厂商提供的，由于技术保密和商业竞争等因素，各产品提供商都不愿意提供自己产品的接口，造成了不同厂商提供的产品无法很好的兼容。目前国内外对于发电生产过程的控制、优化控制与生产状态监控、在线监控、大型机电设备的设备状态监控、故障诊断和电厂优化运行是完全分离的，没有一家进行有机的整合。做控制的只关心生产过程的控制情况，做设备状态监控与诊断的只关心状态监测与诊断，做优化系统的只关心优化的算法。此外，由于电厂普遍存在重硬轻软的现象，先进的硬件系统因缺乏应用软件，很难发挥其应有的效益。即使电厂购买了所需的各种应用软件（系统），由于各系统（软件）的相对独立，各系统间的信息无法相互及时传输，无法真正解决电厂自动化问题。

三、发明内容

本发明的目的是提供一种将计算机技术、现代控制理论和计算机网络通讯技术结合在一起的火电厂生产过程自动控制系统。该自动控制系统集测量、控制、故障应急处理、分析诊断、操作指导、优化运行以及生产管理于一体，有效地满足了火电厂对生产过程的控制要求。

本发明的目的是通过以下技术方案来实现的：

一种基于人工智能的火电厂自动控制系统，其特征在于：它包括分散控制系统、虚拟控制仿真系统（虚拟DCS仿真系统）、程序控制系统、监控信息系统和故障诊断及优化控制系统；设置在机组各控制点的分散控制系统与虚拟DCS仿真系统和程序控制系统连接；根据生产模拟状态由用户自行设置各种数据的虚拟DCS仿真系统与分散控制系统和程序控制系统连接；程序控制系统将分散控制系统传递来的各机组的运行参数与设置在数据库中的目标值进行比较，并对各机组的运行参数进行修正，使机组在

最佳参数和工况条件下运行，同时将数据传递给监控信息系统；信息监控系统将各种数据和信息集成在一起显示出来并传递给故障诊断及优化控制系统；故障诊断及优化控制系统实时监控设备状态，及时进行故障诊断并预警。其中，各机组的运行参数包括：分散控制系统从现场采集的工业过程的实时状态、分散控制系统内部运算的中间变量和结果；虚拟控制仿真系统中仿真出的发电机组各种状态下的参数。信息监控系统传送的各种数据和信息包括：从分散控制系统和虚拟控制仿真系统传送来的数据、由其它系统通过通讯方式传送来的数据。

本发明中，所述分散控制系统包括设置在主厂房和辅助车间的各控制点，主厂房的控制点包括数据采集（DAS）、模拟量控制（MCS）、顺序控制（SCS）、锅炉炉膛安全保护（FSSS）、电气控制系统（ECS）、汽机跳闸保护系统（ETS）和汽机数字式电液调节系统（DEH）；辅助车间的控制点包括烟气脱硫、水务处理、灰渣处理、输煤程制和空调控制。

所述监控信息系统设有与其它系统传递数据的其它系统接口。其它系统包括：除分散控制系统、虚拟控制仿真系统、程序控制系统、监控信息系统和故障诊断及优化控制系统以外的数据采集设备，如：PLC、电气综合自动化。

本发明中程序控制系统采用了火电厂机、电、炉完整的 DCS 控制方案，通过对火电机组运行的集中监视和分散控制，完成数据采集、处理、显示、报警、制表打印和性能分析计算，完成机组的全部自动化调节功能、逻辑控制和联锁保护，实现以 CRT 为中心的监视和控制，确保机组以最佳方式运行，当机组发生异常情况或事故工况时，通过保护、联锁逻辑，自动化切换有关设备，避免工艺设备的损坏，提供完善的事故追忆、操作记录、报警记录和事件记录，分清事故原因，提高运行水平，帮助电厂实现提高安全性和经济性的目的。

本发明在设计时大量采用标准化通用产品，既兼顾了技术上的成熟性，同时也保证了系统的先进性。

通讯网络采用 1000Mbps 的冗余以太高速网络作为信息传递和数据传输的媒体，共享国际先进技术。通讯网络交换机、通讯网卡等网络设备采用标准化的工业级产品，具体在产品的选择上，采用国际先进水平的美国科动和莫沙交换机，在保证可靠性的前提下充分利用现代社会给我们带来的便利，提高产品档次和开发速度。

采用工业 PC 机作为操作和控制的硬件平台，保证硬件平台随技术的发展可以自动化完成升级，保证技术的先进性。

本发明中监控信息系统、虚拟 DCS 仿真系统、故障诊断及优化控制系统均采用英国欧陆公司生产的分散处理单元（DPU）和 I/O 模块，可以是 T940 和 2500 产品，满足了火电厂对自动化化控制和应用软件的全面、系统化的需求。

本发明的关键技术包括：先进的控制系统集成技术、虚拟 DCS 电站仿真技术、电厂控制应用技术、电厂性能分析计算技术、电厂优化运行技术、基于推理知识库的电厂故障诊断技术、多种控制系统互连的 OPC 应用技术等七大关键技术。

1、先进的控制系统集成技术

本发明除了可以实现火电机组的数据采集（DAS）、模拟量控制（MCS）、顺序控制

(SCS)和锅炉炉膛安全保护(FSSS)的四大基本功能外,还将原先独立于DCS之外的辅助车间控制系统、电气控制系统(ECS)、汽机跳闸保护系统(ETS)和汽机数字式电液调节系统(DEH)的功能纳入DCS控制范围,实现了火电厂机、电、炉完整的DCS控制方案,代表了当前国际上火电厂控制系统的先进水平。

系统设计采用控制网络冗余、I/O网络冗余、处理模件冗余、系统电源冗余、驱动电源冗余、查询电源冗余配置和诊断至通道级的自诊断功能,使其具有高度的可靠性。系统内任一组件发生故障,均不影响整个系统的工作。

系统的参数、报警和自诊断功能高度集中在CRT上显示和在打印机上打印,控制系统在功能和物理上高度分散。

(1) 系统网络

系统的系统网络为冗余Ethernet,用于连接工程师站、操作员站等,完成各站的通讯和数据交换,传输速率100Mbps,通讯介质为超五类双绞线,采用TCP/IP协议,基于交换型快速以太网。

(2) 人机接口

分散控制系统采用高配置的工业PC机作为人机接口的硬件。监控系统操作站显示的分辨力为 1280×1024 ,具有32k种颜色,完全汉化显示(包括报警)。

T3500/DS开发软件是在WINDOWS NT工作平台上运行的一组支持通讯、策略组态、数据库生成、系统测试、运行和维护的工具软件。用于显示画面及报表等组态的软件工具,它是支持所见即所得(WYSWYG----What You See is What You Get)方式的全图形化组态工具,系统提供了包括标准ISA-S88图符和大量动态图符的图库,使得流程画面的生成轻便简捷,可完成流程图、趋势图、控制操作面板、报警、报表、总貌、历史记录、诊断画面等的组态。数据库更可自动生成,大大提高了组态效率,并可提供在线帮助、自建文档、标准C语言编程等手段,应用程序的生成简捷而直观,并且易于长期维护,使得编程人员无需具备太高的软件基础既可完成系统组态,从而把主要精力放在控制策略的制定和优化上。

T3500/RT过程监控操作和控制是基于Windows NT平台的完全集成的控制系统组态软件。其核心部分是世界排名第一的工业自动化控制组态软件(FIX),具有强大的控制和监视功能以及优良的人机界面。

用于控制策略组态的LINTools软件组态方式灵活,为图形化、模块化的组态方式,组态工具提供IEC1131-3标准的多种功能及算法模块供用户选用,可完成数据采集、模拟量控制、顺序控制的控制策略组态。

(3) 控制网络

冗余控制网络 ELIN 用于连接分散处理单元、工程师站、操作员站和历史数据站，完成各站的通讯和数据交换，传输速率 100Mbps，通讯介质为双绞线，采用 TCP/IP 协议。

（4）分散处理单元

分散处理单元是现场控制站的中央处理单元，主要承担本站的信号处理、控制运算、与操作站及其它处理单元的通讯等任务，它是一个高性能的工业级中央处理单元，采用模块化结构，分散处理单元可以热备份方式冗余使用。

（5）I/O 网络

系统现场控制站内采用国际上最流行的现场总线 Profibus-DP 来连接分散处理单元和 I/O 单元。Profibus-DP 是专门为自动控制系统与在设备级分散 I/O 之间进行通讯而设计的。既可满足高速传输，又有简单实用、经济性强等特点。

Profibus-DP 符合 EN50170 标准，拓扑结构为总线式，在总线两端有源总线连接器。最大节点数 128，其中每个分段上最多可接 16 个节点，传输速率 9.6Kbps-12Mbps，与每段距离有关。当通讯介质为屏蔽双绞线距离在 100 米内时，可达 12Mbps，当距离在 500 米内时，可达 3Mbps。

（6）I/O 模件

I/O 模件为全密封、模块化结构，可防尘、防潮湿、防盐雾、防电磁干扰等，性能良好，故障诊断可到通道级，可带电插拔。采用表面贴装先进技术，按 FCS 标准设计和制造，可用于远程 I/O 方式。

2、虚拟 DCS 电站仿真技术

虚拟 DCS 电站仿真机在完全不需要 DCS 分散处理单元（DPU）、I/O 模件、控制机柜等硬件，分散处理单元（DPU）的控制策略直接在工作站上运行，通过虚拟端子排与仿真支撑系统下运行的机炉对象相连，构成了虚拟 DCS 仿真系统，虚拟 DCS 仿真系统只有机电炉对象是仿的，而 DCS 系统在控制逻辑、自动调节方案、画面和调度方式、历史数据查询方式、报警查询和确认、设备级驱动块功能和面板等方面与实际 DCS 完全一致。虚拟 DPU 技术是提高控制系统（包括电厂主、辅系统）的出厂质量的有效技术工具，虚拟 DPU 为电厂提高自动化水平提供了真实的、有效的试验和分析平台，成为现代电厂热工自动化的重要组成部分。

3、电厂控制应用技术

采用现代控制理论的电厂优化控制技术，根据电厂各机组间热耗、升降负荷特性、设备寿命损耗和燃料价格等因素，对机组间的负荷进行优化分配（包括启停），使整个电厂可以在最低的成本下运行，如果再附加一些其它的成本因素就可以形成电厂竞价上网的成本核算模块或报价系统。

另一方面,辅机等的优化运行也直接影响机组的控制、煤耗及安全等,如为避免煤粉溢流,给粉机最小转速必须大于某一定值,随着 AGC 的投入,机组负荷的变化不再由运行人员控制,而投用的给粉机数量必须随机组负荷的变化;

具体应用包括自动调节系统品质优化、磨煤机负荷控制、锅炉均衡燃烧、给水泵自动“倒泵”和高加自动“投切”等。

(1) 汽轮机数字电液调节系统 (DEH)

随着单元机组容量的增大和参数的提高,机组的启动和运行变得越来越复杂。汽轮机纯数字电液调节系统具有对汽轮机发电机的启动、升速、并网、负荷增减,抽汽进行监视、操作、控制、保护等功能,以及数字处理和 CRT 显示功能。与传统的液压控制系统相比,数字电液控制系统由于使用数字计算机技术为基础作为调节器来实现回路变量调节和系统静态自整等,控制规律及参数(如解藕系数等)用软件实现,精确度高,能够实现完全静态自整,采用比例积分及微分(PID)调节器,使系统静态和动态性能都得到很大的改善,使得系统过调量下降,稳定性增强,过程时间缩短。

甩负荷是汽轮机最恶劣的工况之一,而抽汽机组甩负荷后的超速情况更为严重,抽汽机组在采用液压牵连调节系统时,甩负荷后转速升高,由于调速系统的作用使高压调节汽阀关下来,但此时抽汽还未切除,汽轮机进汽量的减少会造成抽汽压力降低,通过调压回路又引起高压调节汽阀向打开方向运动,这种作用的结果使得超速有加剧的趋势。为了防止超速,在调速回路控制的错油门上设计了一个 T 形控制窗口,当转速超过一定数值后,控制油路进入到 T 形区,从而加速高压缸调节汽阀的关闭。但这种措施是以机组已升到一个比较高的转速作为代价的,若此时调速系统稍有故障或延迟,则机组将处于比较危险的超速状态。采用数字电液调节系统后,超速保护(OPC)信号直接取自油开关跳闸或 103% n_0 转速信号,通过硬接线接通超速保护电磁阀,使调节汽阀迅速关闭,瞬间切断汽轮机的进汽。同时由于采用了无差调节的解耦措施,甩负荷后随着汽轮机的进汽量减少,抽汽压力降低,抽汽控制回路使各自的调节汽阀(回转隔板)关小,这样更有利于抑制机组的转速飞升。

本发明中的汽轮机纯数字电液调节系统,使 DEH 和 DCS 统一了控制系统平台,DEH 与 DCS 实现了一体化,DEH 与 DCS 之间可通过网络共享所有信息。DEH 与 DCS 之间接口简化,过程控制参数不需要重复送两个系统,省去了以往 DCS 与 DEH 之间进行负荷控制的专用接口,提高了负荷响应速度。DCS 与 DEH 一体化可以在 DCS 系统中实现 DEH 系统的所有操作和监视功能,使 DCS、DEH 的操作员站均成为全功能操作员站,并且可以取消常规的后备手操盘。

(2) 电气系统纳入 DCS

目前大多数火电厂机组的电气控制仍然采用较常规的控制手段,使用盘台上一对一硬手操方式。随着计算机的快速发展和控制技术的不断提高,使得机炉控制与电气控制日益显得不协调,控制水平也逐渐拉大。为了解决这一矛盾,有效的办法就是将电气纳入 DCS 控制之中,实现火电厂机炉电一体化,这样既利用 DCS 已成熟的分散控制技术,又能提高电气控制水平。电气控制纳入 DCS 以后,可充分利用 DCS 的手段,使电气防误操作等功能实现更方便、更完备,并且将相关量的显示报警与电气设备的控制调节有机地结合起来,有效提高整个电气控制的安全性和可靠性。

电气系统纳入 DCS 可以使机组整套启动时从锅炉点火至发电机并网带初始负荷能够实现全过程的自动程序控制。机组正常启动时,当发电机达到额定转速时,DCS 将投入 AVR。当发电机电压达到额定值时,DCS 将投入同期装置。发电机与电网的同期是由同期装置自动实现,在同期过程中通过 DCS 控制 AVR、DEH,当同期条件满足时,向发电机断路器发合闸指令。在同期合闸成功,发电机电负荷达到一定值之后,DCS 将高压厂用电系统快速从启备变切换到高压厂变上。机组正常停机时,DCS 控制降低机组负荷,当机组负荷降到某一定值时,DCS 将高压厂用电系统快速切换到启 / 备变系统供电;当机组负荷继续降到零,跳开主开关,联跳汽轮机(主汽门关闭),发电机灭磁。

(3) 电厂烟气脱硫控制技术

脱硫控制系统包括石灰石-石膏湿法脱硫、炉内喷钙和加氨脱硫三种工艺。石灰石-石膏湿法脱硫装置在国内外应用比较普遍,脱硫效率达 95%以上,其主要工艺系统包括吸收塔、石灰石的供应和制浆系统、烟气系统、石膏制备与抛弃系统、废水处理系统、工艺水系统。整套装置采用一套分散控制系统进行控制,在脱硫控制室内以 CRT 和键盘为核心,并配以少量的紧急后备操作按钮完成脱硫系统的启、停操作、模拟量控制和运行参数的监视,并完成相关辅助设备的顺序控制和联锁保护。

电厂烟气脱硫控制主要完成以下功能:石灰石浆液浓度控制,石膏饼厚度控制,除雾器冲洗水量控制,废水排放量控制,SO₂ 脱除率控制,风机入口压力控制

主要联锁保护:FGD 装置保护动作强切旁路,重要的保护用过程信号、状态采用三取二、三取中测量方式,备用设备启停联锁,箱罐液位联锁,管道设备冲洗联锁

顺序控制系统:FGD 启动、停止顺控、吸收塔顺序控制、除雾器清洗顺控、石灰石浆制备顺控、石膏脱水系统顺控

(4) 电厂辅助车间控制技术

当今大型火电机组炉、机、电的运行和管理水平不断提高,分散控制系统(DCS)以其可靠高效、方便的特点在电厂应用中取得了良好的效果,其极高的可靠性、丰富

的控制功能和对运行操作的简化为减员增效提供了诸多的方便，极大的提高了电厂的运行、管理水平，并且正向电厂的辅助系统全面渗透。人们已越来越重视提高辅助系统的自动化水平，合理的按工艺系统或地理位置设计控制系统或控制点，实现全 CRT 监控，提高系统运行安全性和经济性，增强电厂的市场竞争力。此外，提高辅助系统的自动化水平，在辅助车间采用计算机监控系统，这也为实现全厂监控和管理信息系统网络化提供了条件。

目前许多大型火电厂根据各自的情况，在不同的程度都已考虑和采取了提高辅助车间控制水平的措施，如：除灰、补给水处理、凝结水精处理、废水及污水处理、输煤等较复杂或操作设备较多的辅助系统均采用 PLC+CRT 站的监控方式。循环水泵房设备的控制由机组的 DCS 完成。汽水分析采用计算机（数据采集系统）代替原来的常规二次仪表。但这些并没有充分发挥计算机控制的优势，各控制系统的监控完全相互独立，没有充分的考虑资源的共享，造成浪费。控制系统设备型式多样，生产维护不便。同时，当今辅助车间的控制方式为车间集中控制方式，这也存在许多缺点：各辅助车间都设有控制室，每个车间都需要固定的 2~3 名运行值班员，不仅运行管理不能集中，而且暖通等附属设施设置繁多，从而造成人力、物力资源的浪费。

电厂辅助系统和辅助车间主要有：输煤系统，燃油泵房，气力除灰系统（包括除灰空压机、灰库、气化风机房），水力除渣系统（包括渣泵房、除灰水泵房、石子煤系统），电除尘器，凝结水精处理及再生系统，化学加药系统，汽水取样及分析系统，锅炉补给水系统，废水及污水处理系统，综合水泵房，暖通系统，空压站，循环水泵房。

电厂辅助车间控制技术采用的方案为：取消输煤、化水和除灰控制室，在单元机组集控室设置一面电视墙，安装 4-5 台 21 寸彩色电视监视器，在水、灰、煤处理集中控制点设有闭路电视监视系统，对系统中无人值班而又重要的设备或区域进行辅助监视，在电视墙的前面安装 4 套操作员站，用以监控输煤和出灰系统，并进行闭路电视的切换。

输煤系统考虑到电厂的输煤皮带长度等实际情况，在码头、转运站、原煤仓及运煤配电间等处设置多个远程 I/O 站。

化水系统安装在化水控制室，考虑到电厂水处理系统的物理分布，在综合泵房、汽水取样及分析室、暖通系统、废水及污水处理系统等处设置若干个远程 I/O 站。

每台锅炉的气力除灰系统、水力除渣系统对整个灰渣系统进行集中监控，在空压机房、气力除灰系统、水力除灰系统和电除尘器等处设置若干远程 I/站。

设置远程 I/O 站的目的是可以节省大量电缆、安装材料和施工费用，DPU 通过冗余的通讯网络联结到操作站，使运行人员通过对整个煤系统进行集中监控。在控制点

合并后,一些现场无固定人员值班的车间需要定时巡视,在煤、灰系统设有闭路电视监视系统,对系统中无人值班而又重要的设备或区域进行辅助监视,减少巡检工作量。当电厂设有厂级监控系统时,煤系统、灰系统处理系统与厂级监控系统连接,向电厂高级管理层直接提供有效的实时生产管理信息,实现高效率的生产管理。

4、电厂性能分析计算技术

人工神经网络技术在故障诊断和过程控制等领域的研究非常活跃。神经网络强大的非线性映射、联想、记忆能力对于电厂优化系统中的数据验证也特别适用,如3层BP网络理论上可模拟任何次曲线,利用训练好的神经网络,不仅能验证数据的好坏,而且对于坏数据,可以根据上次好的数据预测出正确数据,其误差甚小。神经网络的自学习功能,可以使验证系统始终和机组实际运行状态相适应。

5、电厂优化运行技术

通过优化运行,使机组的运行参数更稳定,使机组参数压红线运行,使机组运行在最佳参数和最佳工况。火电厂的大型汽轮机、锅炉、风机、泵等主辅设备承担着繁重的生产任务,通过优化运行提高现有机组的运行水平,挖掘节能潜力,达到经济运行、节能降耗的目的是有着十分巨大的经济效益和社会效益的。

随着计算机技术、网络技术和数据库技术的迅速发展,人工智能技术获得迅速的发展。本发明将神经网络技术应用于燃烧过程优化,实现燃烧过程的高效率、低污染目标优化;并应用神经网络技术,解决某些特殊信号(如煤粉细度、风粉浓度等)的软测量问题。本发明可提高锅炉效率2%(满负荷为0.5-1.5%),降低NO_x排放10%(满负荷为3-5%)。本发明以大型燃煤火电机组为对象,通过人工智能技术与仿生优化原理为手段,提供电站锅炉高效率 and 低污染(NO_x排放控制)多目标优化控制的系统解决方案。

本发明的优化运行技术有三个主要特点:1、将传统的锅炉运行效率监测与分析提高到预期实现锅炉高效运行控制;2、在协调锅炉运行效率与NO_x排放的燃烧过程中实现多目标优化;3、对于燃煤锅炉机组解决其基础测量中的许多特殊测量问题和复杂燃烧过程特性的人工智能模型表达。

6、基于推理知识库的电厂故障诊断技术

在发电和电网监控中,各级电厂和电网调度中心配备了许多控制软件,主要用于正常状态下电力系统的监视和控制。在故障、事故状态时,这些自动化系统变成单纯的数据采集系统,将大量的报警信息不加选择地送给调度员,要求调度员在极短的时间内阅读和理解大量报警信息,并采取及时、准确的行动是非常困难的,应该由控制系统将有价值的数据和信息经过分析、筛选、推理后提供给操作人员,使所获得的

量数据和信息的价值得到有效和及时的利用。

基于推理知识库的电厂故障诊断技术有如下特点：

(1) 数学模型与专家系统相结合，基于自然语言的实时在线编程

电厂运行推理知识库提供了建模语言 IML (INTEMOR Modeling Language) 和专家系统开发工具 KB Builder。由于其知识库和推理机的相分离，以及它的并行计算功能，KB Builder 使电厂运行推理知识库容易维护和更新。电厂运行推理知识库开发工具成功地模仿了人类积累知识、更新知识的方式：构建知识库时，编程人员不需要做知识体系的总体设计。当在知识库中增加、删除或修改规则时，或者是重复使用某一变量时，不必考虑规则之间的相互联系和偶合关系。KB Builder 允许带着实时数据进行知识库系统的在线开发。为 KB Builder 专门设计的电厂运行推理知识库开发语言 KBL (Knowledge Base Language)，采用自然语言的编程风格，并配有供调试使用的检验编译器，提供数值计算的函数和历史数据库函数，能帮助用户有效地获取专家知识，开发基于因特网的实时专家系统。KB Builder 的使用操作简单、可靠、容易掌握，适合开发实时在线的专家系统。开放式的人机互动功能，使电厂运行推理知识库开发环境成为使用者手边的知识技术工具。

(2) 管控流程层次论：数据流、信息流和知识流

数据是对客观物体的直接描述或测量（如工业生产中，来自传感器的测量变量）；信息则是错综复杂的耦合数据之间的联系；知识表达了结构化的信息之间的综合关系；而智能是获取知识和使用知识的能力尺度。通常，经验越多，获取、驾驭知识的能力越强。这个经验我们称之为私有知识 (Private knowledge)。它包括经实践所获取和积累的经验、诀窍、灵感、个人形象及联系渠道等。私有知识往往无法用算法表示，并且非常难获取，但在实践中发挥着巨大的作用。与之对应，公有知识 (Common Knowledge) 指通过公有的知识传递方式（如听课，读书）所获取的知识。在当今的知识经济时代，竞争表现为对私有知识的占有和利用程度。企业，尤其是远离城市的企业，养不起也养不住这些专家。目前，私有知识并不是企业的财富，当拥有它的专家辞职或退休，企业便失去了它。如何有效地获取和升华专家知识并用之于实时工业过程，一直是专家系统发展道路上的一道难关。

在各行业中为了有效的防范各种事故的发生，在各种安全事故防范手册的编写过程中总是事无巨细，面面俱到，这必然造成各种安全事故防范手册繁杂、冗长。对于大多数人来说，牢记安全手册十分困难；而那些可能造成重大安全事故的故障一旦出现时，现场工作操作人员很难及时从操作手册找到相关内容。电厂运行推理知识库火电顾问 TPC (Thermal Power Consultant) 提供针对每一条故障在操作手册中相关内容

的链接。同时，当事故报出时，相关手册内容(公有知识)即会显示给操作人员。在多年的研究、应用中，我们总结出了一套有效地获取、存储、升华专家知识并把公有知识和私有知识有效地结合起来的方法。实现了公有知识的有效应用，使管理理念和规章制度实时化、智能化和实用化，可以把充分的知识、信息及时提供给操作人员。

(3) 仿真核准，人机互动，离线实时培训

在历史上，开发、应用实时专家系统都会面临这样的难题：在开发阶段，由于缺乏实时数据和各类事件，无法对实时专家系统进行检验和调试。本发明成功地解决了这一难题。虚拟 DCS 仿真机是一个灵活且使用方便的实时仿真系统，可在单机或网络上运行。其“用户自定义的动态事件”和“实时数据产生器”可由用户自行产生各种实时数据和动态事件，对所开发的专家系统进行调试，也可用来编制各种演示系统。

(4) 实现各种数据、信息和知识的集成，将现有设备与新技术结合，整合各种软件

电厂运行推理知识库已经在电厂成功运用，其软件系统结构可用以下公式来描述：多层结构+单元模块+基成组合的软件框架模式+基于自然语言的实时编程。这样的实时智能监控管理系统的开发工具的体系结构，就是要将一个复杂庞大的系统分解成分工明确的多层结构和松散耦合的模块化的单元组合体系，尽可能把业务与技术分离开来，建立一个能广泛应用的基础技术平台去支持不同的业务模块。同时，在电厂运行推理知识库环境下，各种数据、信息和知识集成在一起，在一个计算机屏幕上用超媒体方式显示出来。电厂运行推理知识库超媒体显示系统是展示和解释这些数据、信息和知识的强有力的工具。电厂运行推理知识库采用超媒体多显示空间的切分窗口技术，将全屏显示划分为四个空间，用有限的空间展示了各种各样的数据、信息和知识。

预报重于报警。如果能提早一分钟，甚至提早一秒钟，许多重大事故就可以防患于未然，从而大大减少伤亡和损失。电厂运行推理知识库具有从外界数据库和实时生产过程读取数据和信息的功能，包括实时数据库(RTDB)和历史数据库(HDB)。在此基础上利用电厂运行推理知识库开发工具开发专家知识库，通过超媒体显示系统进行智能管控。实现“用知识管理信息，用信息管理数据，通过数据控制生产过程和设备”，从而提高生产过程的安全性、高效率性、及经济性。

(5) 电厂运行推理知识库 TPC 解决的火电厂问题

经过多年的知识获取及现场应用实践，我们总结出了火电厂的大部分案例并获取提炼出了相应的知识规则存于知识库中，并编写出了与其相关的私有知识和公有知识并链接在超媒体显示系统中。在实际应用时，电厂运行推理知识库 TPC 可就火电厂大部分事故、故障以及操作运行状态及时地提供相应的知识和讯息给操作人员。通常，

根据各电厂的具体情况，调整和增加新的案例和知识，在较短时间内即可完成。

根据火电厂的运行情况，电厂运行推理知识库 TPC 的知识库可分为四单元：①. 发电厂总体监控；②. 锅炉及附属设备；③. 汽轮机及附属设备；④. 发电、变电、电气部份。

7、多种控制系统互连的 OPC 应用技术

OPC (OLE for Process Control——用于过程控制的 OLE) 是一个工业标准，它是许多世界领先的自动化和软、硬件公司与微软公司合作的结晶。这个标准定义了应用 Microsoft 操作系统在基于 PC 的客户机之间交换自动化实时数据的方法。OLE/COM 是一种客户/服务器模式，具有语言无关性、代码重用性、易于集成性等优点。客户都以统一的方式去访问，从而保证软件对客户的透明性，使得用户完全从低层的开发中脱离出来。

随着软件业和计算机网络的迅猛发展，信息不能再是一个孤岛，人们对信息的复用性，交互性提出了更高的要求。OPC 规范的引入，使得过程控制的硬件和软件的设置变得简单了，硬件制造商只要开发符合 OPC 规范的驱动程序，即 OPC 服务器软件，就可以一劳永逸，因为这个服务器为所有支持 OPC 标准的 OPC 客户软件所用。这样的系统可以很方便的进行升级和修改，增加一个设备（提供了 OPC 服务器组件），所有软件都可以和它进行数据交换。

OPC 规范的引入带来了以下几点好处：1、用户可以不受限制的选择硬件和软件，减少了学习时间和培训费用；2、容易实现对系统的配置优化，节省系统的维护费用；3、软件开发商可以不再费神开发各种硬件的驱动程序，而把时间和精力集中在增加和完善软件的功能上；4、硬件开发商可以节省各种 I/O 驱动程序的开发费用，集中精力生产易于用户使用的、功能完善的硬件。

本发明中用于火电厂多种控制系统互连的 OPC 服务器组件 Keyuan OPC Server，它支持多达数百种 DCS/PLC/SCADA 系统，并以统一数据格式为火电厂其它系统提供数据。它符合火电厂控制系统的实际情况，突破了火电厂自动化的传统框架，使相互没有联系的多种控制系统集成为一体，发展到整合的企业级应用，起到优化企业资源，降低企业成本，提高综合效益的作用。

与现有技术相比，本发明集自动控制、优化运行、安全监测、故障诊断与预测于一体，具有如下优点：

1、提高电厂运行的自动化管理水平，增强企业效益。完善现有电厂控制系统的报警体系，消除和避免现有控制系统存在的大量误报信息，实现只要没有报警就可确保机组运行是正常的，机组运行不正常就一定有报警信息；同时当机组设备故障时，及时

进行主因报警，提供设备故障导致的报警信息，并提供故障处理建议，确保机组安全运行；提供电厂运行优化和操作指导，根据对大量实时数据的分析、整理、挖掘和归纳，采用神经网络理论，在不需要试验和复杂理论计算的情况下得到各种负荷下的最优工况，为电厂运行人员提供优化运行操作指导，提高机组的经济性；为重大操作提供模拟仿真功能，为机组故障提供实时回放功能，提高机组的安全指标。

2、优化设备运行，利于环境保护。本发明可大幅度提高设备的利用率，减少因设备故障导致停产而造成的直接经济损失，减少生产准备时间和非计划停机次数，提高电厂的综合效益，保证电厂的安全经济运行，减少电力污染物的产生。

3、提高能源利用率，促进节能降耗。本发明通过对电力运行进程进行全面适时地监控，有利于电厂生产过程优化和设备运行效率的提高，达到优化生产，减少发电煤量单耗的目的，促进节能降耗。

四、附图说明

图1是本发明的结构框图；

图2是本发明中关键技术结构框图。

五、具体实施方式

一种本发明所述的基于人工智能的火电厂自动控制系统，包括分散控制系统、虚拟DCS仿真系统、程序控制系统、监控信息系统和故障诊断及优化控制系统。设置在机组各控制点的分散控制系统与虚拟DCS仿真系统和程序控制系统连接，分散控制系统包括设置在主厂房和辅助车间的各控制点，根据生产模拟状态由用户自行设置各种数据的虚拟DCS仿真系统与分散控制系统和程序控制系统连接；程序控制系统将分散控制系统传递来的各机组的运行参数与设置在数据库中的目标值进行比较，并对各机组的运行参数进行修正，使机组在最佳参数和工况条件下运行，同时将数据传递给监控信息系统；信息监控系统将各种数据和信息集成在一起显示出来并传递给故障诊断及优化控制系统；故障诊断及优化控制系统实时监控设备状态，及时进行故障诊断并预警。

本发明中，主厂房的控制点包括数据采集（DAS）、模拟量控制（MCS）、顺序控制（SCS）、锅炉炉膛安全保护（FSSS）、电气控制系统（ECS）、汽机跳闸保护系统（ETS）和汽机数字式电液调节系统（DEH）；辅助车间的控制点包括烟气脱硫、水务处理、灰渣处理、输煤程制和空调控制。

虚拟DCS仿真系统包括优化运行模块、优化控制模块、维护培训模块、运行培训模块、故障诊断研究模块、运行分析模块、仿真调试模块和工况回放模块。

监控信息系统设有与其它系统传递数据的其它系统接口。

故障诊断及优化控制系统包括设备可靠性和寿命分析模块、优化运行模块、优化控制模块、故障诊断模块、事故预报模块和知识库推理模块。

本发明可以很好的满足国内外各等级火力发电机组需求，国内火电厂实施后自动化技术达到国际先进水平，有效地降低国内电厂自动化技术对国外的依赖，预计每年可实现节汇约 300 万美元。

仅针对一座电厂而言，在节能降耗方面：优化电厂运行，可降低煤耗约 5 克，一家电厂按照每年 12 亿度电、标煤 350 元/吨计算，一年就可以节约生产成本近 250 万元；在减少非计划停机方面：减少电厂非计划停运次数，一台机组一年减少非计划停运一次，一年可以节约生产成本约 25 万元。

本发明在电厂实施后必将提升火电厂生产和运行管理的自动化水平，减少人为操作故障和停机次数，节省能源，降低发电成本，增加发电企业的收入和利润，在一定程度上缓解中国电力紧张问题。

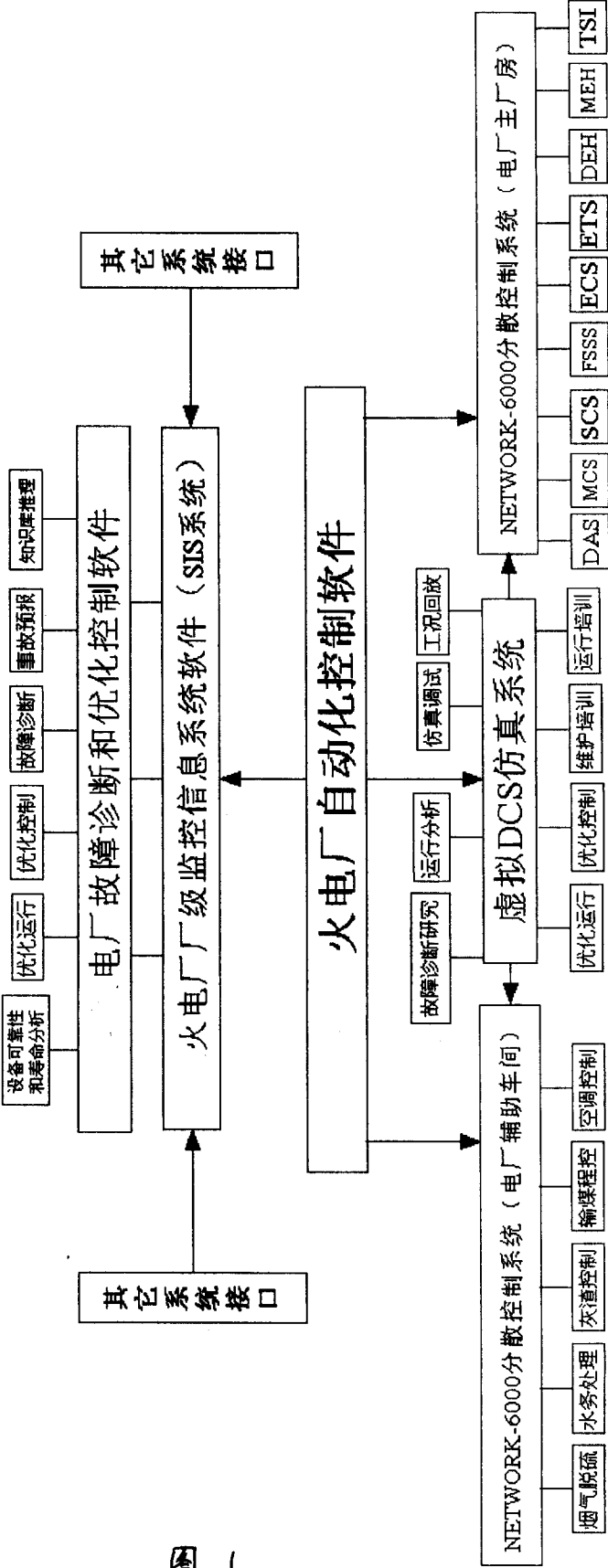


图 1

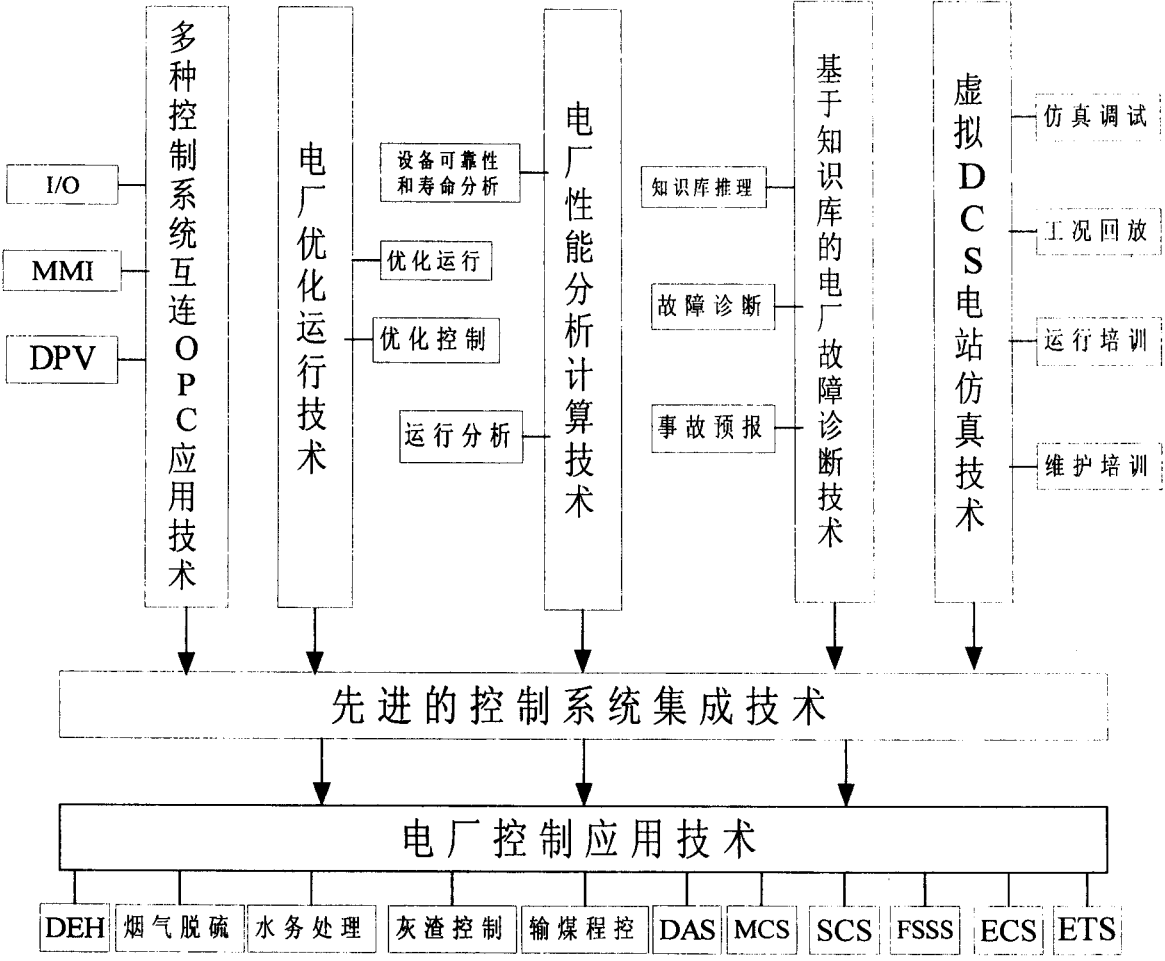


图 2