

基于 C# 与组态软件的锅炉优化控制系统设计

于永茂¹,高德欣¹,杜厚朋²

(1. 青岛科技大学 自动化与电子工程学院,青岛 266042;2. 枣庄职业学院 电气工程系,枣庄 277800)

摘要:该文针对负荷波动较大供热锅炉能耗严重的情况,采用C#与力控设计了一种新型锅炉燃烧优化控制系统。该系统采用力控与PLC作为上/下位机实现锅炉的常规监控功能,采用C#设计燃烧优化算法与力控通信,实现锅炉的优化控制,详细介绍了优化系统的设计过程。该系统能够使供热锅炉运行时做到“恶劣时保稳定,稳定时求最优”,最大限度地实现自动控制和优化控制,经现场运行表明实现了节能。

关键词:力控;监控系统;动态数据交换;优化控制

中图分类号:TP273 **文献标志码:**B

Optimal Control System of the Boiler Based on C# and Configuration Software

YU Yong-mao¹,GAO De-xin¹,DU Hou-peng²

(1. College of Automation and Electronic Engineering,Qingdao University of Science and Technology,Qingdao 266042, China;2. Department of Electrical Engineering,Zaozhuang Vocational College,Zaozhuang 277800,China)

Abstract:This paper against the serious situation of load fluctuations and heating boiler energy consumption,using C# and force control to design a new type of boiler combustion optimization system. The system uses the force control and PLC as upper/lower computer to realize that the regular monitoring function,using the C# design combustion optimization algorithms and communication with force control,to achieving optimal control of the boiler and detailed introducing the design process of the optimization system. The system enables the heating boiler running,and to achieve “when it is bad,we maintain stability,when it is stable,we pursuit of the best”,realizing the automatic control and optimization control maximum,and the field operation shows that can save energy.

Key words:force control;supervisory system;dynamic data exchange;optimal control

我国供暖系统中大部分采用燃煤热水链条锅炉,运行中采用仪表或DCS实现手动/自动控制。近年来越来越多的DCS系统采用通用组态软件来替代传统的DCS专用操作站软件,其中力控组态软件凭借其简单方便、通用性强等特点,在炼油、化工、化肥、冶金、热电等行业有着广泛应用^[1],而在实际

生产中,PLC也随着冗余、通讯网络的加强被用于充当DCS控制站^[2-3],其代表便是西门子、三菱等企业的PLC,这样使得在锅炉控制系统的选型上,控制站与组态软件的组合显得不再单一化。针对青岛某热电厂两台40t的链条式热水锅炉在实际运行中存在不稳定等问题,开发设计了一套基于C#与力控

收稿日期:2012-07-31;修订日期:2012-08-10

基金项目:山东省自然科学基金项目(ZR2011FQ006);青岛市科技发展计划项目(12-1-4-3-(17)-jch)

作者简介:于永茂(1988—)男,硕士研究生,研究方向为计算机控制等;高德欣(1978—)男,博士后,副教授,硕士生导师,研究方向为优化控制、计算机控制等。

的锅炉优化控制系统,系统能够使供热锅炉运行时做到“恶劣时,保稳定,稳定时,求最优”,最大限度地实现自动控制和优化控制。该锅炉原来采用西门子 PLC400 系列作为下位机,选用力控组态软件做上位机,结合现场实际情况,利用力控实时数据库提供的 dbcom 接口,在 C# 平台上设计优化控制算法,二者实现数据交互,C# 的引入方便了面向对象的编程,方便设计先进算法,实现优化控制。

1 DBCOM 控件

OLE 控件,也被称为 ActiveX 控件或 ocx,是一种完成特定功能的独立的标准软件组件。OLE 控件定义了可重用组件的标准接口,但 OLE 控件不是独立的程序,它是置入控件容器的服务器。

力控为用户提供了多种数据交换平台,这其中就有力控的实时数据库^[4-5]。力控的实时数据库是一个开放的数据平台。用户可以利用数据库提供的接口,在该平台上进行二次开发,创建自己开发的应用程序。实时数据库提供的控件 DBCOM 就是一种方便、高效的接口方式。DBCOM 是一个标准 OLE 控件,用户在各种常用开发环境(如 VC++、VB、VS 等)下都可以调用 DBCOM 来访问数据库中的数据。在安装力控时,安装程序自动完成 DBCOM 的安装与注册。表 1 给出通过 DBCOM 控件访问力控数据库的两个常用函数的说明: GetRealData()、SetStringData()。

表 1 DBCOM 常用方法说明

Tab.1 Frequently used methods instructions of DBCOM

	long GetRealData	long SetRealData
语法	(long count, LPCTSTR strNames, double TAR * data)	(long count, LPCTSTR strNames, double TAR * data)
说明	读取多点数据	批量设置数据
参数	count: 个数。 strNames: 位号名字字符串, 字符型变量。 data: 返回的数据数组	count: 个数。 strNames: 位号名字字符串, 字符型变量。 data: 返回的数据数组
返回值	长整形, 0 成功, -1 失败	长整形, 0 成功, -1 失败
备注	用于批量得到数值型数据	用于批量设置数值型数据

2 锅炉优化控制系统设计及实现

传统的锅炉控制多采用常规 PID 调节器,被控变量较易出现波动,并且易导致煤燃烧不充分,从而使锅炉的热效率大大降低,造成了能源的浪费。

为了解决传统控制系统存在的问题,最大程度

地实现节能,本文设计了一种新型的锅炉燃烧优化控制系统,该系统采用比较先进的动态寻优算法^[6-7],它能在锅炉燃烧过程中动态寻找最佳风煤比,使煤在炉膛内充分燃烧,从而使得锅炉能够稳定、经济的运行。需要注意的是,该优化控制只针对锅炉燃烧环节,补水控制还是采用常规的 PID 调节器。

系统结构框图如图 1 所示,系统以 C# 为编程语言编写优化算法,嵌入到用力控编写的锅炉监控软件中,最终将控制数据下置到 PLC 中控制锅炉优化燃烧、稳定运行。

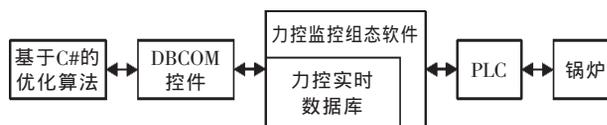


图 1 优化控制系统结构图

Fig.1 Optimal control system structure

2.1 优化控制算法设计

链条式热水锅炉燃烧系统调节的主要任务是保证水温稳定的同时保证锅炉的安全运行、经济燃烧。因此优化控制算法的设计显得尤为重要。目前锅炉燃烧系统多采用静态搜索法进行,由于静态寻优没有考虑到锅炉的静态特性,致使搜索时间较长,易产生震荡,因此本文采用动态寻优算法。动态寻优算法采用热量信号为寻优的目标函数。热量信号 D_Q 表示为

$$D_Q = D + C_b \frac{dP_b}{dt} \quad (1)$$

式中: D_Q 为热量信号; D 为出口流量; C_b 为蓄热系数; P_b 为出口水压。

由送风量 F 与热量信号构成的 $F-D_Q$ 通道动态特性,可用一个具有极值特性的静特性环节与具有传递函数为 $[1/(T_1s+1)e^{-\tau_c s}]$ 的动态特性环节串联组成,如图 2 所示, T_1 为时间常数, τ_c 为滞后时间。在锅炉工况和给煤量一定的条件下,存在最佳送风量 F_m 使热量信号 D_Q 达到极值。

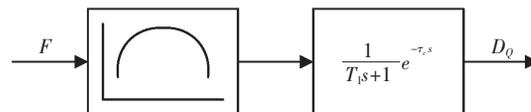


图 2 $F-D_Q$ 通道

Fig.2 $F-D_Q$ channel

设寻优步长为 ΔF , 步进周期为 T_0 , 则在 n 个阶跃后输出为

$$Q(\bar{i}) = \sum_{k=0}^n [q(k) - q(k-1)]h(\bar{i}-k) \quad (2)$$

式中： $Q(\bar{i})$ 为线性环节的输出值； $q(k)$ 为线性环节输入值（即非线性环节输入值）； $\bar{i}=t/T_0$ 为相对时间。

根据式(2)，在 $n-1$ 步时，假定加入阶跃输入和不加入阶跃输入的热量信号分别为 $Q(n)$ 和 $Q'(n)$ ，两者之差为 $Q(n)-Q'(n)$ 。

$$\Delta Q(n) = [q(n-1) - q(n-2)]h(1) \quad (3)$$

由于 $h(\bar{i})$ 的单调性，上式表明 $\Delta Q(n)$ 与 $[q(n-1)-q(n-2)]$ 的符号相同，即根据 $\Delta Q(n)$ 的符号可判断非线性环节输出的增量符号，因此决定第 n 步搜索方向的逻辑判别式为

$$\text{sign}\Delta F(n) = \text{sign}[Q(n) - Q'(n)]\Delta F(n-1) \quad (4)$$

由式(2)可知在 $n-1$ 步加入阶跃输入应和不加入阶跃输入， $\bar{i}=n$ 时的系统输出分别为

$$Q(n) = \sum_{k=0}^{n-1} [q(k) - q(k-1)] \cdot [1 - e^{-a(n-\varepsilon-k)}] \quad (5)$$

$$Q'(n) = \sum_{k=0}^{n-2} [q(k) - q(k-1)] \cdot [1 - e^{-a(n-\varepsilon-k)}] \quad (6)$$

式中： $a=1/T_1$ ； $\varepsilon=\tau_c/T_0$ 。

为计算 $Q'(n)$ 值，可将式(6)化为

$$Q'(n) = Q(n-2+\varepsilon) + [Q(n-1) - Q(n-2+\varepsilon)] \cdot \frac{1 - e^{-a(2-\varepsilon)}}{1 - e^{-a(1-\varepsilon)}} \quad (7)$$

由上式可见， $Q(n)$ 可由式(1)通过检测相应的参数经计算得到， $Q(n-2+\varepsilon)$ 的值可在采样周期中另插入一次采样而获得，从而通过式(7)计算出 $Q'(n)$ ，最后通过式(4)决定第 n 步的搜索方向。系统的燃烧系统控制结构图如图 3 所示。

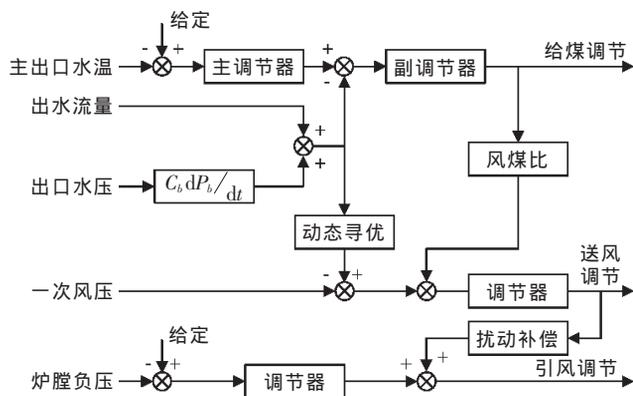


图 3 锅炉燃烧系统控制结构图

Fig.3 Boiler combustion system control structure

2.2 优化控制算法实现

本文设计的动态寻优算法主要由 C# 编写的优化程序来实现，而优化计算所需要的实时数据以及计算出的控制数据则是通过 dbcom.ocx 接口控件与力控数据库之间进行实时数据交互来实现，从而使得锅炉优化运行。C# 是近年来在工控行业发展较迅速的一门编程语言，它拥有 C/C++ 的强大功能及 Visual Basic 简易使用的特性，所以本文选择以 C# 为编程语言实现优化算法。集成开发环境是微软公司推出的开发环境 Visual Studio，由于原 dbcom.ocx 控件在 Visual Studio 环境下使用时，读取数据的方法会存在兼容性问题，所以在使用 dbcom.ocx 控件前重新对其封装为 MyDBCom.ocx。然后将 MyDBCom.ocx 复制到 C:\WINDOWS\system32 目录下，点击 Windows 的“开始→运行”菜单，在对话框中输入以下命令：`regsvr32 C:\WINDOWS\system32\MyDBCom.ocx`，控件注册成功。

打开 Visual Studio 开发环境，新建一个应用程序，在工具箱下右键选择“选择项”，弹出选择工具箱项，在 COM 组件选项卡中，点击“浏览”，添加 MyDBCom.ocx 控件，点击确定（如图 4 所示），最后会在工具箱栏出现 MyDbcom. MyDbcomOcx，将其托到 Form 窗体上便可以利用该控件与力控的实时数据库进行数据的交互。

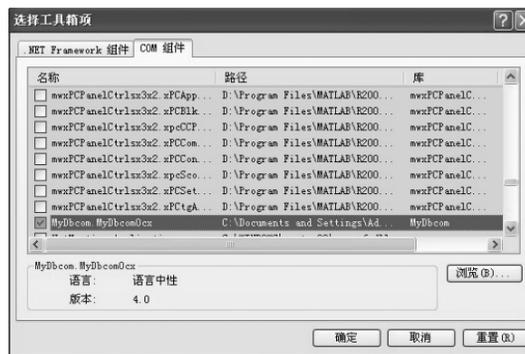


图 4 添加 MyDbcom 控件

Fig.4 Add MyDbcom control

以下程序为上位机通讯程序读写力控实时数据库的两种常用方法的示例。

```
//-----读取力控数据库中的变量
string SetStr = "WDSsetValue_1.PV,FYSetValue_1.PV"; //读取力控数据库当中温度、负压设定值
nCount = 2;
ReadDataBuf = new double[nCount];
ReadDataBufArray =(Array)ReadDataBuf;
```

```

myDbcom.GetRealData (ref nCount,ref SetStr_1,ref
ReadDataBufArray);
wdSetValue =(double)ReadDataBufArray.GetValue (0);//例子程
序中温度设定值
fySetValue =(double)ReadDataBufArray.GetValue(1);//例子程序
中负压设定值
//-----赋值力控数据库中的变量
string CtrDataStr = "LPctrValue.PV,GFctrValue.PV,
YFctrValue.PV";//赋值力控数据库中炉排、送风、引风控制变量的值
nCount = 3;
WriteDataBuf = new double[] {lpCtrValue,gfCtrValue,yfCtrValue };
WriteDataBufArray =(Array)ReadDataBuf;
myDbcom.SetRealData (ref nCount,ref CtrDataStr,ref
WriteDataBufArray);
myDbcom.Commit ();//完成对例子程序中计算出的变量赋值给
力控数据库中对应的变量
    
```

详细算法程序在这里就不再赘述。

2.3 优化控制软件实现

锅炉燃烧优化控制系统主界面如图 5 所示。在恶劣工况条件制约下,一味追求“最优”反而使得最终效果出现偏差。因为优化的先决条件必须是“稳定”,当优化控制系统在恶劣工况下已无法保证“连续稳定的运行”时,采取“恶劣时,保稳定;稳定中,求最优”的策略。率先确保司炉工依据经验手动操作使锅炉运行保持相对稳定;而如果锅炉本身负荷就已经比较平稳时,则采用本系统的“最优控制”对

燃煤配风进行控制。这样看似牺牲了部分“优化量”,但其实却更符合热电行业实际的生产现状。

通过理论测算核实,在使用本锅炉燃烧优化控制系统的条件下链条炉热效率比不用该系统要高 5.2%以上,节能率在 7.3%以上。表 2 是使用该系统前后锅炉燃烧系统热效率的测算表。

表 2 锅炉节能率测算表

Tab.2 Estimated table of the boiler energy saving rate

锅炉型号	数量/ (台)	使用前 热效率	使用后 热效率	使用后热 效率提高	计算 节能率
(40t/h)DHL29-1.25/130/ 70-AII	2	71.42%	77.37%	5.95%	7.7%

3 结语

基于 C# 与力控所设计的锅炉优化控制系统,利用了力控实时数据库提供的 OLE 控件接口,将力控组态软件强大的功能与 C# 自行开发程序的灵活性结合起来,实现了比较先进的算法,更好地满足了控制系统对先进算法的需求,经青岛某热电企业应用取得良好节能效果,具有一定的实用价值。

参考文献:

- [1] 李文,白焰,梁庚.力控组态软件及其在现场总线锅炉控制系统中的应用[J].工业控制计算机,2004,17(7):60-61.
- [2] 张世臣.西门子 S7-400H 在热电厂自动控制系统中的应用[J].自动化仪表,2004,25(6):41-42.
- [3] 唐文军,樊石,国思茗.基于西门子 S7-300 的锅炉厂自动化改造[J].自动化技术与应用,2011,30(2):103-104.
- [4] 周旭.基于力控组态软件的新型 DCS 监控软件设计[J].工控机与集散控制系统,2006,23(7):51-54.
- [5] 高德欣,张文武,杨清.基于 VB 的 OPC 客户端设计在电机实验监控系统中应用[J].工业控制计算机,2005,18(9):34-36.
- [6] 刘寿之,王天宝.锅炉燃烧系统的动态自寻最优控制[J].信息与控制,1991(6):43-48.
- [7] 宋清昆,满春涛,吕宁.链条炉排锅炉燃烧系统动态自寻优控制[J].哈尔滨理工大学学报,1998,3(1):56-59.

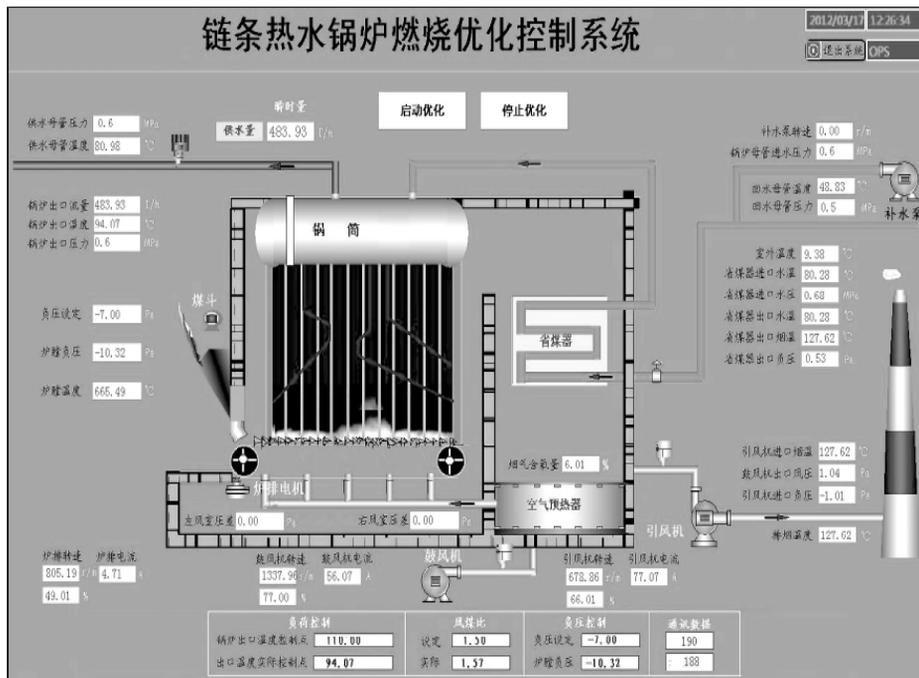


图 5 优化控制系统主界面

Fig.5 Main interface of optimal control system