

中华人民共和国国家标准

GB/T ××××—××××

自动化系统与集成 制造系统先进控制与优化软件集成 第2部分：架构和功能

Automation systems and integration—
Integration of advanced process control and optimization software for
manufacturing systems
Part2: Framework and functions

(征求意见稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	2
5 APC-O 系统架构	2
5.1 概述	2
5.2 内部架构	3
5.3 外部架构	3
6 APC-O 模块的架构和功能	4
6.1 概述	4
6.2 软测量模块的架构和功能	错误! 未定义书签。
6.3 优化模块的架构和功能	5
6.4 先进控制模块的架构和功能	7
6.5 性能评估模块的架构和功能	8
6.6 先进控制平台的架构和功能	9
附录 A (资料性附录) 循环流化床锅炉先进过程控制的应用案例	12
参考文献	15

前 言

GB/T xxxx 《自动化系统与集成 制造系统先进控制与优化软件集成》分为四个部分：

——第 1 部分：总述、概念及术语（Overview, concepts and terminologies）

——第 2 部分：架构和功能（Framework and functions）

——第 3 部分：活动模型和工作流（Activity models and workflows）

——第 4 部分：信息交互和使用（Information exchange and usage）

本部分为 GB/T xxxx 的第 2 部分。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国自动化系统与集成标准化技术委员会（SAC/TC159）归口。

本标准主要起草单位：浙江大学智能系统与控制研究所、浙江中控软件技术有限公司、北京机械工业自动化研究所。

本标准主要起草人：

自动化系统与集成

制造系统先进控制与优化软件集成

第2部分：架构和功能

1 范围

本标准针对企业制造系统先进控制与优化领域的软件集成问题，给出了先进控制与优化软件的功能集成架构，以及信息交互方式。

GB/T xxxx的本部分定义了先进控制与优化系统的架构，以及系统内部和外部的架构关系。本部分还定义了先进控制与优化系统内部软测量模块、优化模块、先进控制模块、性能评估模块和先进控制平台的架构，并规定了它们的组成和功能要求。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用时必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。本是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 20720.1 企业控制系统集成 第1部分：模型和术语（GB/T 20720.1-2006,IEC 62264-1:2003,IDT）

GB/T 20720.3 企业控制系统集成 第3部分：制造运行管理的活动模型（GB/T 20720.3-2010,IEC 62264-1:2007,IDT）

3 术语和定义

本标准采用以下的定义。

3.1 辅助设计 Aided Design

利用已知的数据、经验或规则，协助用户进行设计。

3.2 外部架构 External Framework

系统与其外部组件之间的架构关系。

3.3 内部架构 Internal Framework

系统内部各个模块之间的架构关系。

3.4 关键性能指标 Key Performance Indicator

系统或组件的一些关键部分性能的衡量。

注1：KPIs的选定主要依据任务、运行计划和改进程序的特定准则。

注2：本部分涉及的KPIs位于GB/T 20720-1和GB/T 20720-2中定义的第2层和第3层。

注3：源于ISO DIS 22400-1:2013，经修改。

3.5 化验室校正 Laboratory Correction

运用化验室检测数据，对软测量输出结果进行调整，实现稳态偏差的偏移校正。

3.6 先验知识 Prior Knowledge

无需经验或先于经验获得的知识。

示例：机理模型等。

3.7 过程稳定性 Process Stability

描述动态过程中变量当前所处的相对稳定状态。

3.8 二次校正 Second-order Correction

通过积累的历史数据，优化模型参数，校正预测模型与实际模型之间的偏差。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

APC-O 先进控制与优化 (Advanced Process Control and Optimization)

DCS 分布式控制系统 (Distributed Control System)

KPIs 关键性能指标 (Key Performance Indicators)

LIMS 实验室信息管理系统 (Laboratory Information Management System)

PCS 过程控制系统 (Process Control System)

PLC 可编程逻辑控制器 (Programmable Logical Controller)

MOM 制造运行管理 (Manufacturing Operations Management)

5 APC-O 系统架构

5.1 概述

APC-O系统架构需要从不同角度对组成APC-O系统的各个部分进行组织和安排，并形成系统内部和外部的多个结构。APC-O系统架构的基本组成部分，除了软测量模块、优化模块和先进控制模块和性能评估模块，还应具有先进控制平台。先进控制平台为APC-O系统提供运行环境，并支撑其他功能模块。

注：先进控制平台具备其他模块共有的一些功能。

示例1：系统的内部结构可以是软测量模块和先进控制模块之间的组织；性能评估模块和先进控制平台之间的交互关系等。

示例2：系统的外部结构可以是先进控制平台和过程控制系统之间的交互关系等。

APC-O系统的基本架构如图1所示，根据APC-O系统的集成划分为内部架构和外部架构。

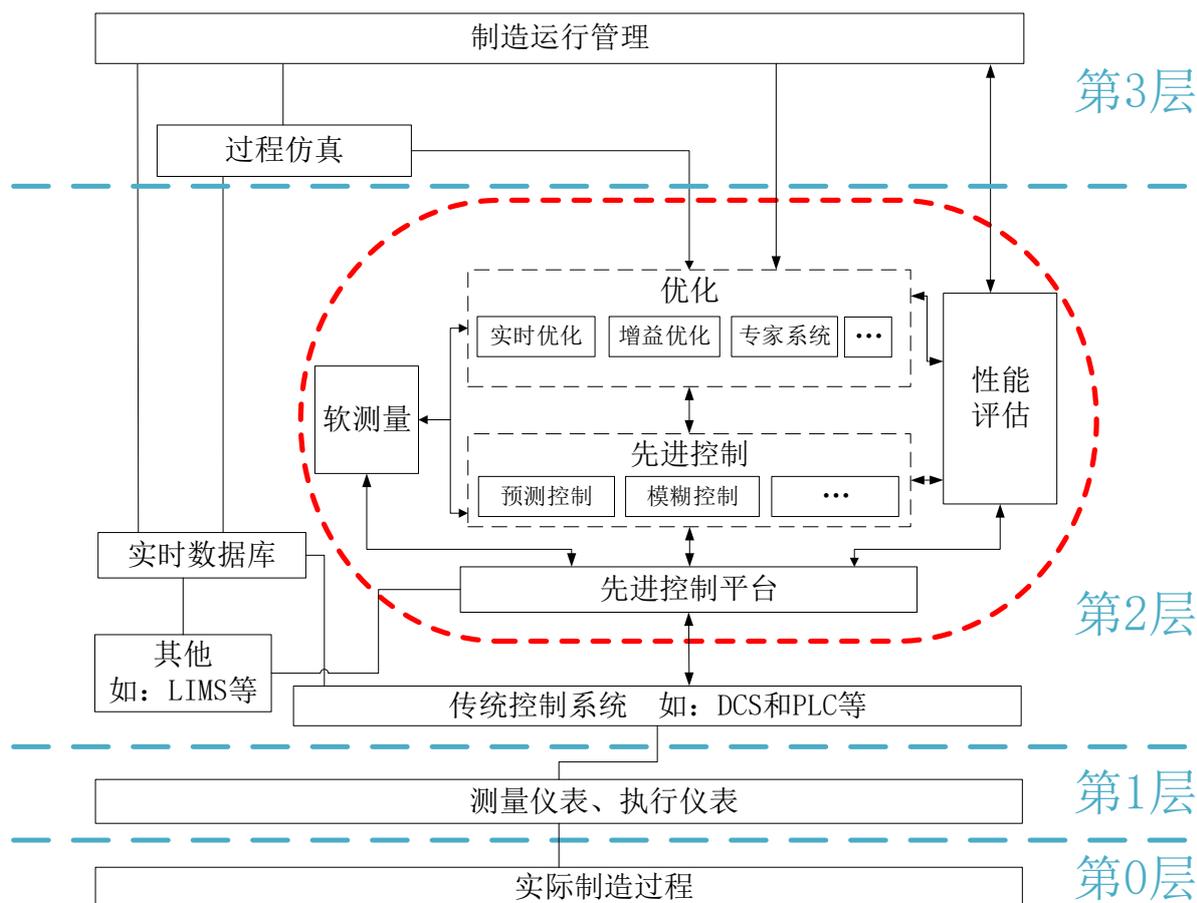


图1 APC-O系统的基本架构

5.2 内部架构

APC-O系统架构的内部架构需要表示APC-O系统各个模块的功能以及相互之间的架构关系。

-软测量模块采集输入数据并进行计算，软测量模块的输出可以代替实验室分析或在线分析数据，作为先进控制和优化模块的输入。

-先进控制模块从其他所有模块采集输入数据，其输出作为第2层中优化模块、性能评估模块和先进控制平台的输入。

-优化模块从其他所有模块采集输入数据，优化模块的输出作为先进控制模块、性能评估模块和先进控制平台的输入。

-性能评估模块通过分析先进控制系统的其它模块运行数据（软测量模块除外），评估计算给出系统的运行状态和建议，并作为先进控制模块、优化模块和先进控制平台的输入。

-先进控制平台实现先进控制与优化系统和第2层之间的实时信息交互，并具备四个模块的通用辅助功能，如数据采集、权限管理和日志。

5.3 外部架构

APC-O系统架构的外部架构需要表示APC-O系统或系统模块与功能层次中第2层或第3层之间的逻辑关系。

-APC-O系统从过程仿真获取先验知识，如：装置的工艺过程特性、装置变量之间的逻辑关系、工况分析以及工艺参数指导等；

-从制造运行系统（MOM）系统获取调度指令，如：生产指令、设备维护状态等；

-制造运行系统（MOM）通过性能评估模块了解APC-O的运行状态，并发起对APC-O系统进行维护指令，保持系统处于良好的运行状态；

- APC-O系统通过先进控制平台获取与过程相关的数据，如：装置测量值、装置阀门阈值、LIMS系统中的化验数据等。

6 APC-O 模块的架构和功能

6.1 软测量模块的架构和功能

6.1.1 概述

软测量模块的基本架构如图2所示。

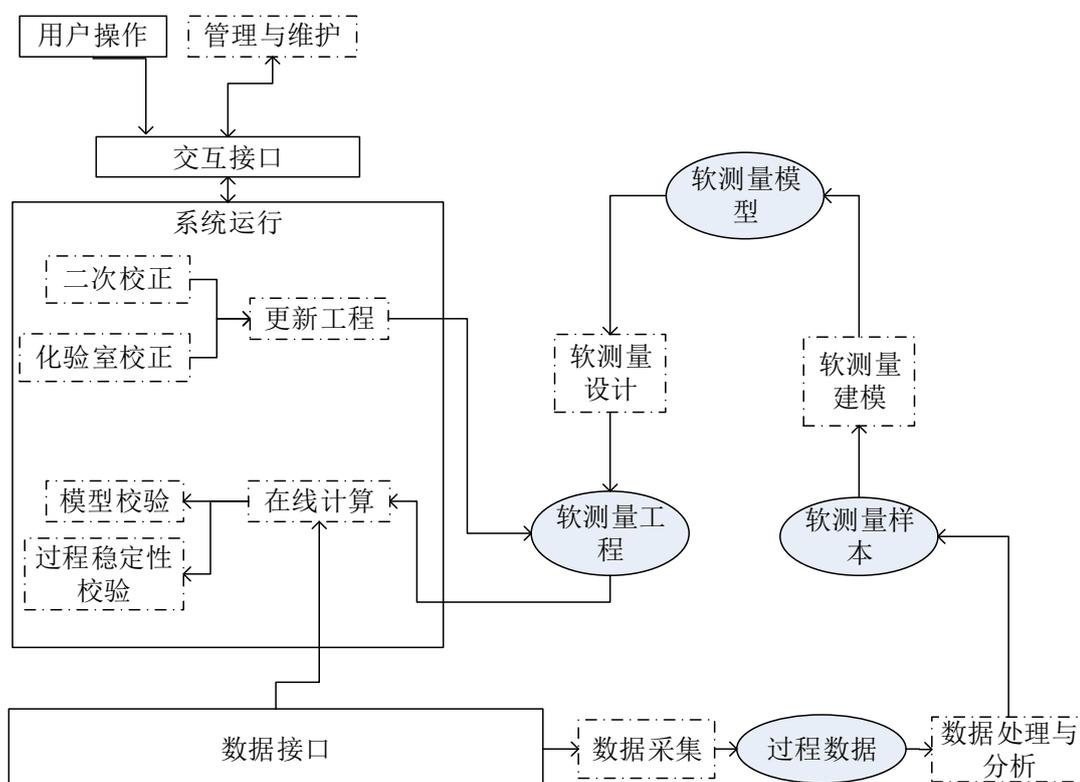


图2 软测量模块的基本架构

软测量模块应具备6.1.2-6.1.9的功能。

6.1.2 软测量建模

通过分析软测量样本数据，采用最小二乘等建模方法，建立软测量模型。

6.1.3 软测量设计

按照工程方案设计软测量，组态工程文件，配置操作界面等。设计过程中需要考虑软测量的工程应用需求，变量滤波的处理方式等问题。

6.1.4 模型校验

实际应用中，软测量建模会存在偏差，模型校验模块则辅助分析模型的置信区间等相关信息，为工程人员在建模过程中提供决策支持。

6.1.5 在线计算

软测量在线投运后，系统自动根据工程文件的组态信息执行在线运行计算，输出计算结果。

6.1.6 过程稳定性校验

当过程出现异常波动时，过程稳定性校验给出软测量计算前提条件的参考参数。

6.1.7 更新工程

更新软测量应用工程。软测量在线工程应用过程中，根据现象具体情况，工程人员将会调整软测量参数信息，此类信息将通过更新工程文件保存。

6.1.8 偏差校正

消除生产过程中在线分析仪表的输出或化验室结果与软测量输出存在的偏差。由于扰动等原因，软测量模型与实际过程存在偏差，采用在线分析仪表输出或者化验室结果进行校正来消除偏差。

6.1.9 二次校正

在软测量模型偏差逐渐增加或者工程人员获得有效数据时，修正模型，提高模型的有效性。二次校正是工程人员的辅助工具，在系统维护过程中，支持快速的模型修正。

6.2 优化模块的架构和功能

6.2.1 概述

优化模块的基本架构如图3所示。

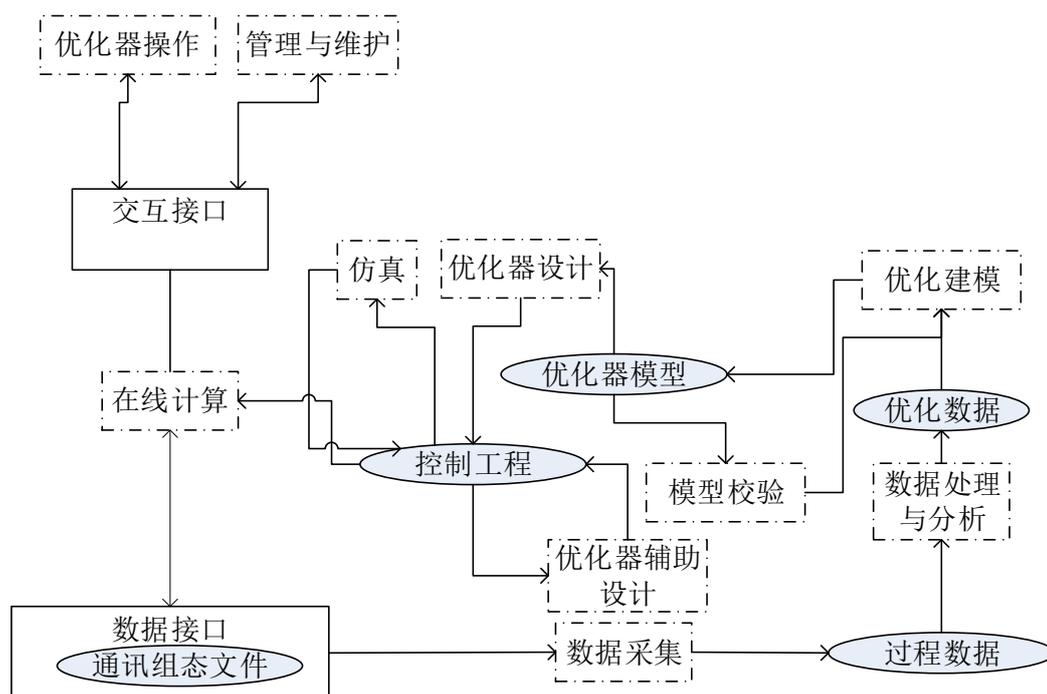


图3 优化模块的基本架构

优化模块应具备6.2.2-6.2.8的功能。

6.2.2 优化建模

参考工程方案，建立优化模型，模型参数可以辨识计算也可以从先进控制模块获取。如：基于增益的优化器，其模型采用与先进控制对应的稳态模型；但是基于机理的优化器，则需要建模过程的机理模型。

6.2.3 优化器设计

选择能够实现优化目标的变量，确定为优化变量；根据工艺、过程的要求，确定优化器的约束条件；参考工程方案和目标，设定优化目标，制定方法。

6.2.4 优化器辅助设计

优化器设计的辅助模块，协助工程人员分析优化器的鲁棒性，提供初始参数，检查优化器是否存在奇异等缺陷，提高工程效率。

6.2.5 仿真

基于仿真过程条件下，验证优化器是否符合工程方案设计需求。优化器仿真是系统运行前的关键步骤，主要功能是验证优化器是否按照设计要求实现。

6.2.6 模型校验

辅助模块，协助分析模型的有效性，如置信区间等。在实际应用过程中，模型与装置过程存在偏差，模型校验辅助工程人员对偏差进行量化分析。

6.2.7 在线计算

优化器投运后，完成在线运行。在线计算包括以下功能：读取生产数据、优化计算、发出操作指令、为监控与操作提供优化过程信息。

6.2.8 优化器操作

用户对优化器进行操作。通常情况下，优化器操作是通过监控界面完成，监控界面的设计是否优良直接影响到系统的应用体验，甚至影响到安全使用。

6.3 先进控制模块的架构和功能

6.3.1 概述

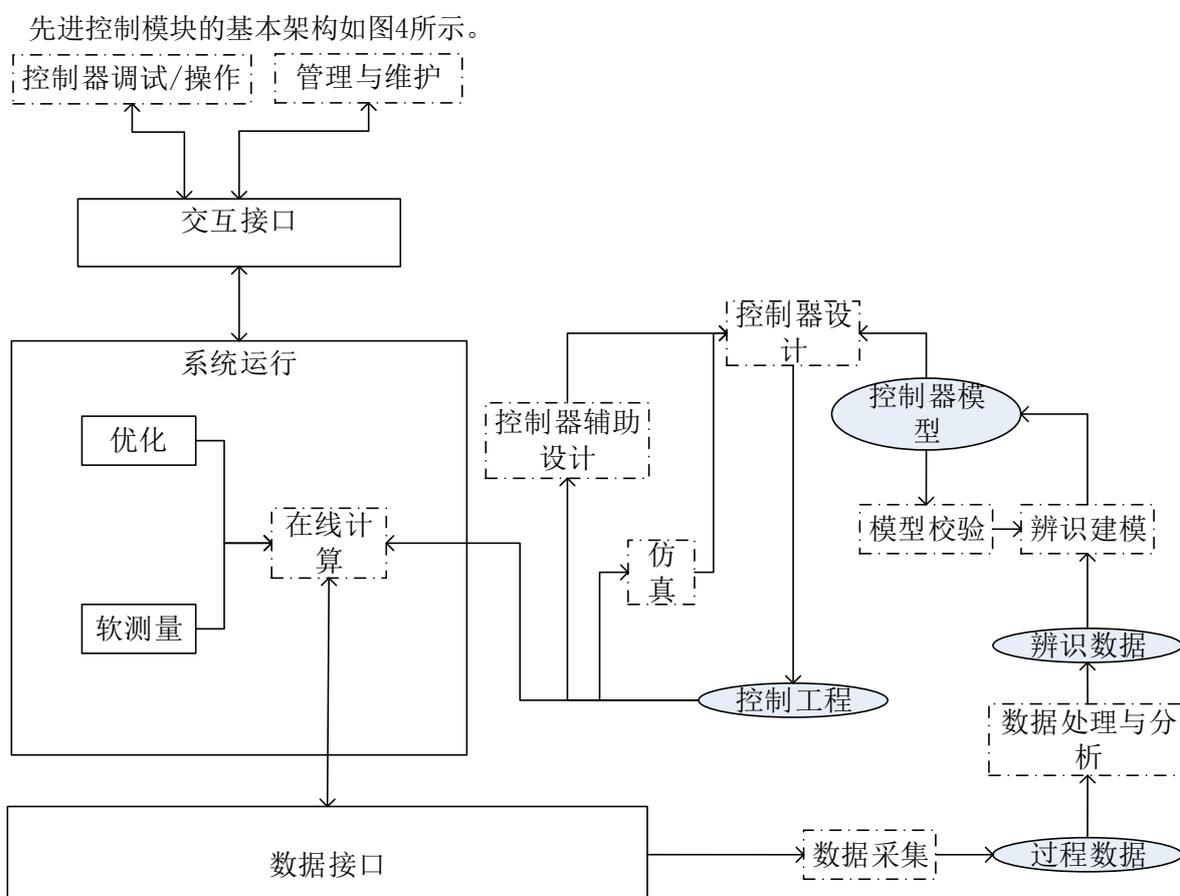


图4 先进控制模块的基本架构

先进控制模块应具备6.3.2–6.3.8的功能。

6.3.2 辨识建模

根据控制器需要，模型辨识软件辨识出需要模型的参数，并根据仿真结果验证模型的效果。

6.3.3 模型校验

协助分析模型的有效性，如置信区间等。

6.3.4 控制器设计

参考工程方案设计控制器，基于常规控制系统完成逻辑切换、安全保护等；基于先进控制软件，完成变量组态、控制策略设计、位号组态等。

6.3.5 控制器辅助设计

协助工程人员分析控制器，根据模型提供控制器初始参数，分析控制器是否存在不稳定状态，如模型奇异等。。

6.3.6 仿真

在设计条件下，验证控制器是否符合工程方案设计需求。一般采用两步法进行仿真，一步是理想模型状态下，验证控制器是否符合设计要求；另一步是模型有偏情况下的仿真，分析控制器的鲁棒性和适应性。

6.3.7 在线计算

先进控制器投运后，完成在线运行。类似优化器在线计算，控制器在线计算包括以下功能：读取生产数据、控制器计算、发出操作指令、为监控与操作提供优化过程信息。

6.3.8 控制器调试/操作

用户对控制器进行调试或操作。在系统使用过程中，存在两个不同角色的使用：项目实施的工程人员主要进行控制器调试，需要调整模型和控制器参数；用户的操作人员，主要发出开关切换、设定值、上下限等操作指令。

6.4 性能评估模块的架构和功能

6.4.1 概述

性能评估的基本架构如图5所示。

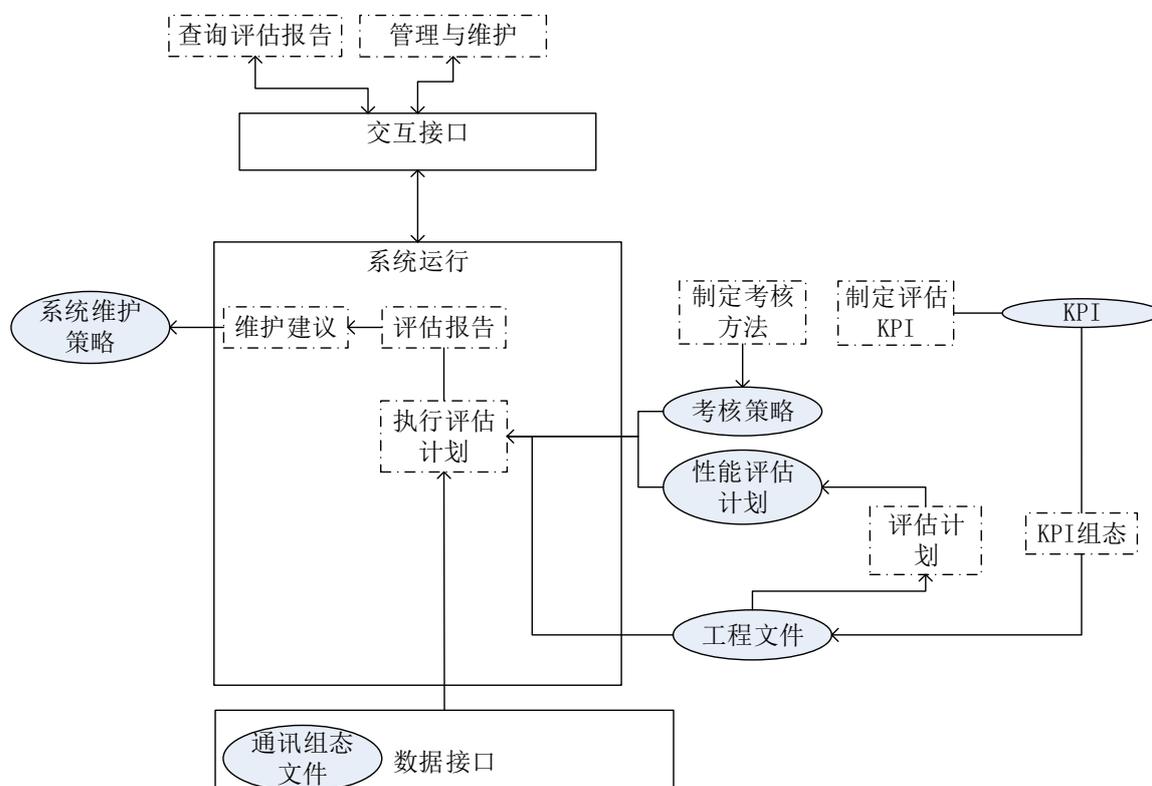


图5 性能评估模块的基本架构

性能评估模块应具备6.4.2-6.4.9的功能。

6.4.2 制定评估 KPI

工程人员分析生产过程，了解控制与优化系统，设计评估指标。工程人员需要根据不同的过程和生产需求，制定不一样的KPI，同时也要考虑KPI实现的可能性。

如：被控变量的平稳率；控制器的投运率等。

6.4.3 制定考核方法

根据工程方案和实际生产状况，制定考核方法，设定评估指标阈值。

如：控制器投运率的优良中差评级。

6.4.4 KPI 组态

安装部署先进控制与优化系统软件，实现评估指标的软件组态，包括位号和参数等。

如：控制器投运率 = 控制器投运时间 / 装置正常生产时间。

6.4.5 评估计划

根据工程方案和生产过程，制定评估计划。性能评估计划在实际制定过程中，需要同时兼顾生产过程的需求以及资源的限制。

6.4.6 维护建议

经过一定时间运行，性能评估系统将提供系统的维护建议。工程人员参考维护建议，并根据实际管理需求，更新工程方案或者工程方案中的考核策略部分。

6.4.7 执行评估计划

先进控制软件自动执行评估计划，采集数据、进行评估计算。评估计划由先进控制软件以后台服务的形式自动执行完成。

6.4.8 评估报告

根据评估结果，生成评估报告。评估报告自动保存到后台数据服务器，用户可以随时查看评估报告。通常情况下，评估报告由以下信息构成：报告说明信息、生产报表、关键趋势图以及维护建议。

6.4.9 查询评估报告

用户查看评估报告。

6.5 先进控制平台的架构和功能

6.5.1 概述

先进控制平台的基本架构如图6所示。

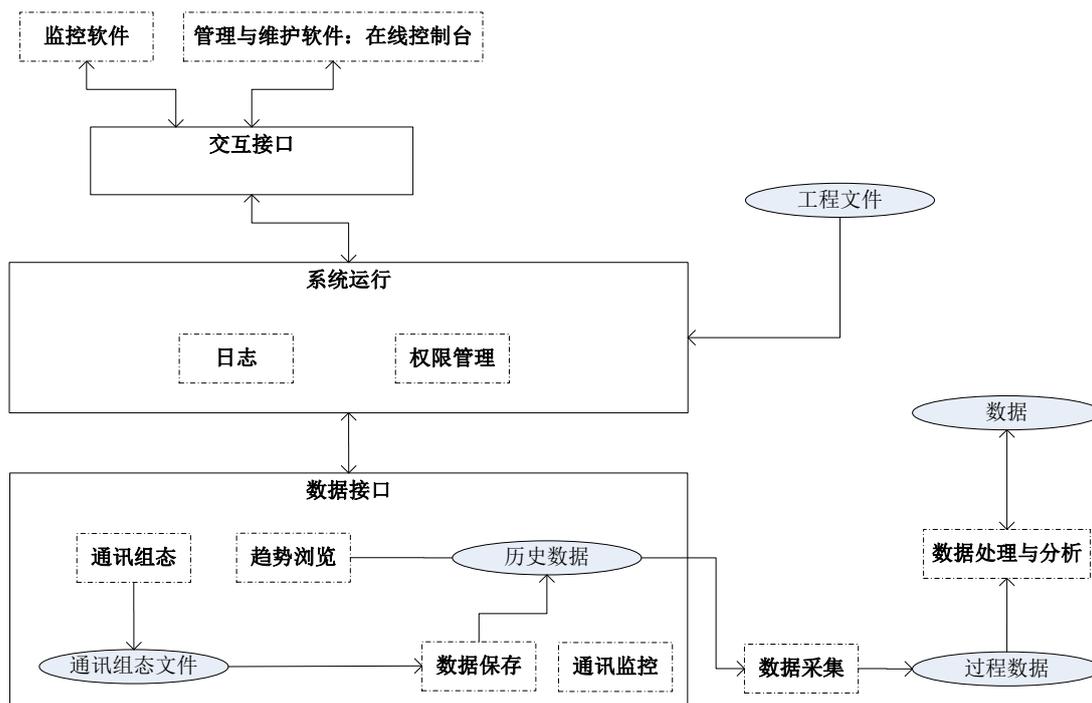


图6 先进控制平台的基本架构

先进控制平台应具备6.5.2-6.5.14的功能。

6.5.2 数据接口

为先进控制系统与生产过程数据提供通讯接口。过程控制中应用最为广泛的通讯协议：OPC和Modbus协议。统一的通讯规范，为先进控制系统的研发和应用提供了极大的便利性，先进控制软件的适应性也更强。

6.5.3 数据采集

测试完成后，按照测试记录，收集历史数据，并采集过程数据。

6.5.4 数据处理与分析

按照方案或者建模需求，处理和分析获取的数据。工程人员需要对原始数据进行处理和分析，如：剔除异常数据、测量值滤波等。

6.5.5 通讯组态

对通讯接口、位号等进行组态，保存配置文件。先进控制与优化系统部署过程中，通讯组态是关键环节。

6.5.6 趋势浏览

查看数据的趋势图。工程人员通过趋势图了解装置的运行状态：查看历史数据趋势图，分析和了解装置运行特性；实时查看趋势图，掌握装置运行状态，及时调试控制器参数。

6.5.7 数据保存

实时保存生产过程的数据。装置的运行数据可以通过系统自动存储。

6.5.8 通讯监控

实时监控先进控制系统的通讯状态。

6.5.9 日志

保存系统日志，方便查看。日志是系统运行过程中的另外一种形式的数 据，如操作指令、运行异常等。日志查询可以辅助用户追溯历史工况。

6.5.10 权限管理

根据不同岗位和不同人员，配置用户角色和权限。

6.5.11 系统运行

为先进控制系统在线运行提供基础环境。针对软测量、优化、先进控制、性能评估不同模块，存在相同的在线运行环境需求，先进控制平台提供的在线运行环境应同时满足四个模块的需求。

6.5.12 交互接口

为先进控制系统提供调试和操作的接口。先进控制系统需要不同人员的协同工作，如管理、工程、操作等，规范的交互接口应同时满足不同操作端的需求。

6.5.13 监控软件

查看运行情况并进行操作。先进控制系统在线运行过程中，需要监控软件为用户提供系统运行信息，同时接受用户的操作指令。监控软件是系统与人的交互媒介。

6.5.14 管理与维护

管理和维护先进控制系统。用户需要管理与维护先进控制系统，参考如下：装载控制器、卸载控制器、开启/停止先进控制系统等。

附录 A

(资料性附录)

循环流化床锅炉先进过程控制的应用案例

A.1 锅炉工艺流程简介

工业锅炉是一种主要以煤为燃料生产蒸汽的机械设备，通过燃烧将燃料中的化学能转换为热能，是目前工业企业热电联产的主要动力设备。其中，循环流化床锅炉、煤粉锅炉、链条炉等应用较为普遍。

循环流化床锅炉主要由给料装置、布风装置、流化床燃烧室（炉膛）、循环灰分离器、飞灰回送装置、排渣装置、过热器、尾部受热面、烟道和辅助设备等组成。

典型的循环流化床锅炉结构见图 A.1 所示。

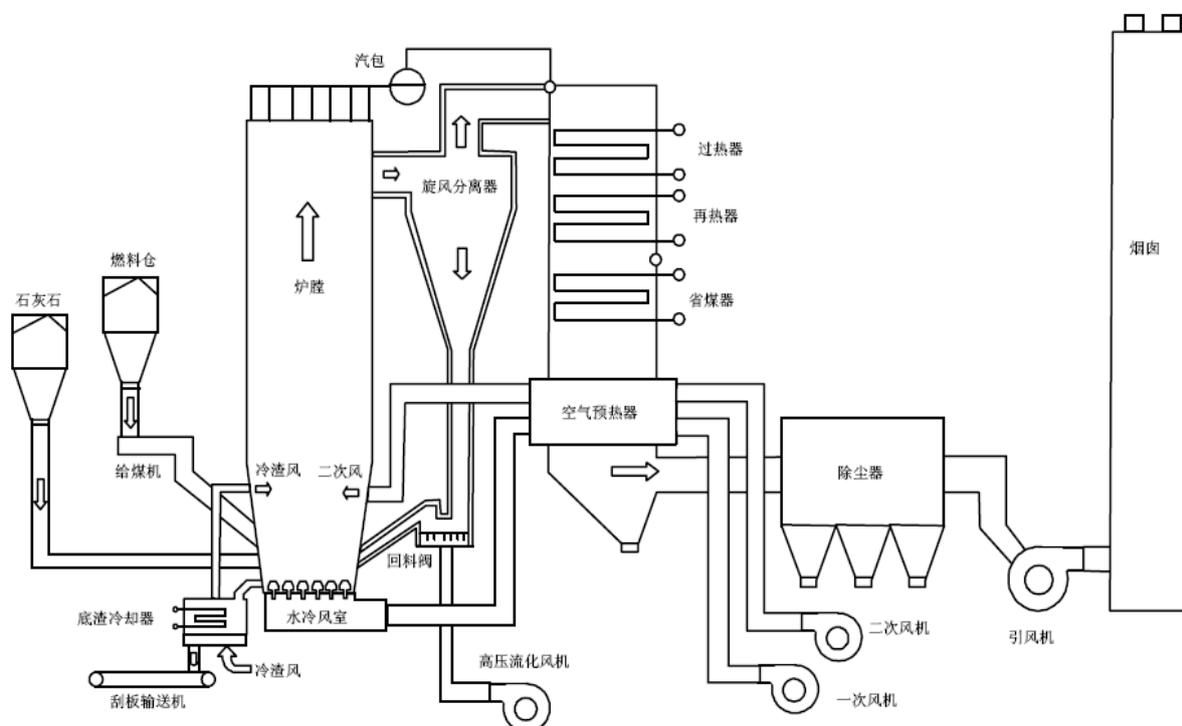


图 A.1 循环流化床锅炉结构示意图

A.2 先进控制策略

在 DCS 常规控制的基础上应用 APC-Suite 先进控制软件的多变量预测控制、智能控制、软测量等先进控制技术建立符合锅炉工艺特点和过程控制需求的先进控制系统，克服各种干扰因素，优化操作，实现对锅炉的安全、平稳控制，保证蒸汽品质，同时针对并联多台锅炉母管制运行过程实施负荷协调优化，快速响应外界对蒸汽需求的变化，提高锅炉整体自动化水平，降低操作劳动强度，并在此基础上通过燃烧优化和“卡边”控制，提高锅炉热效率，实现节能降耗。图 A.2 是循环流化床锅炉先进控制系统总体结构。

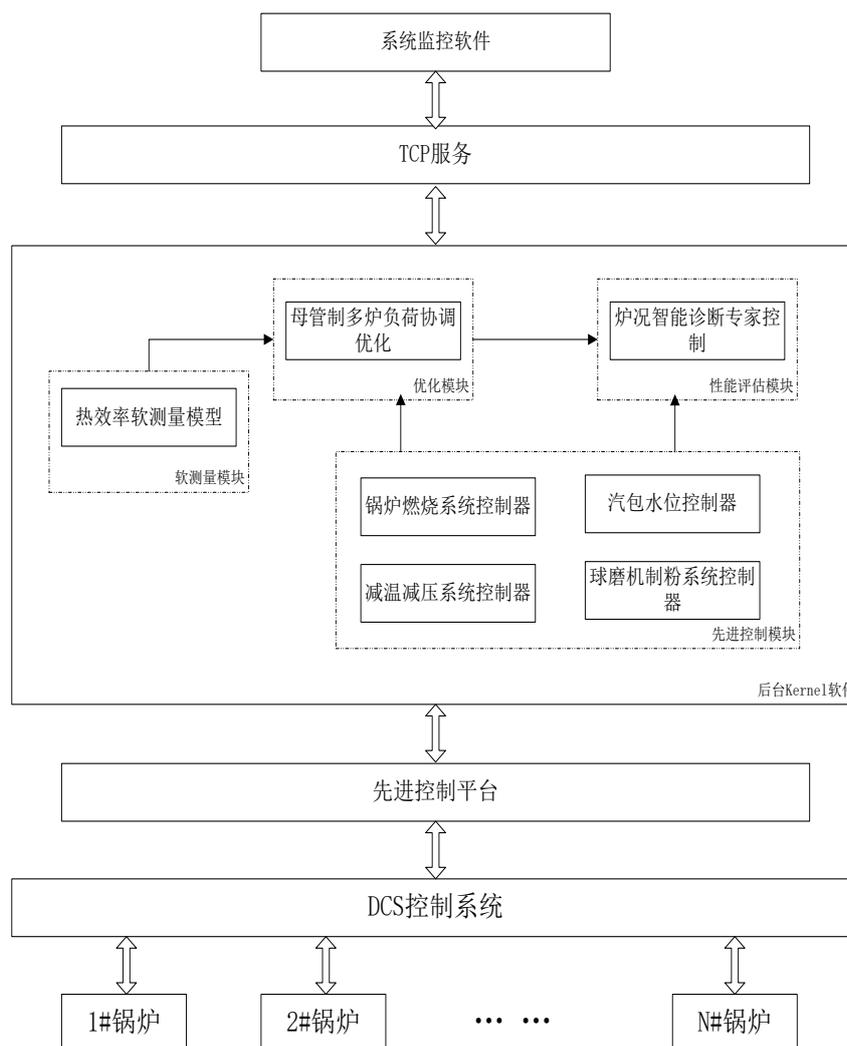


图 A.2 工业锅炉先进控制系统总体结构

1、热效率软测量模型

根据锅炉工艺特点，通过工艺计算和回归分析，建立锅炉热效率软测量模型，在线计算锅炉热效率，准确判断各台锅炉的运行工况，从而为各台锅炉的负荷分配和燃烧优化提供参考依据，实现经济运行。

2、母管制多炉负荷协调优化

设置负荷调节炉和运行炉便捷切换模式，建立以负荷调节炉主蒸汽压力目标值为操纵变量，以蒸汽母管压力为被控变量的模型预测控制器，根据母管蒸汽压力目标值与实际值的偏差及变化趋势实时调节各负荷调节炉主蒸汽压力目标值，并平衡各炉运行工况和运行负荷，实现对各炉运行负荷的合理分配和协调优化控制，同时结合锅炉燃烧优化控制实现对锅炉运行负荷的快速调整，稳定蒸汽母管压力，快速满足外界对蒸汽的需求。

3、锅炉燃烧系统控制器

建立锅炉燃烧多变量模型约束控制器，通过优化调节各台锅炉给煤量、一次风量、二次风量、引风量等操作手段，维持合适的风煤比，分级优化控制炉膛温度、烟气含氧量、炉膛负压、主蒸汽压力、主蒸汽流量等工艺参数，实现锅炉安全、稳定燃烧，快速满足负荷变化需求，提高锅炉热效率，稳定蒸汽

品质，降低煤耗。

4、汽包水位控制器

根据锅炉实际运行特点，采用模型预测控制算法建立给水调节阀开度与给水流量、汽包水位串级控制器，并引入蒸汽流量作为前馈，有效克服汽包“假水位”事件，自动调节给水流量，跟踪锅炉的蒸发量，实现汽包水位的平稳控制。

5、减温减压系统控制器

根据减温器（表面式/混合式）的工艺特点，采用模型预测控制建立一级、二级减温水调节阀开度与过热蒸汽温度、过热蒸汽压力多变量约束控制器，克服负荷变化、炉况波动和减温水温度变化的影响，实现过热蒸汽温度和压力的平稳控制，满足用户对蒸汽品质的需求。

6、球磨机制粉系统控制器

针对煤粉锅炉的球磨机制粉系统，采用预测控制和智能控制建立多变量解耦双层优化控制器，通过实时调节给煤机变频、热风量、再循环风量、冷风量等操纵变量实现对球磨机出口温度、入口负压、进出口差压的平稳控制，保证设备运行安全，在此基础上建立球磨机稳态优化策略，增大球磨机出力，降低消耗。

7、炉况智能诊断专家控制

建立锅炉运行过程实时监控和智能诊断系统，通过监控关键工艺指标的变化、设备异常事件等，及时发现并给出报警信息或紧急自动处理，避免炉况恶化，为锅炉的安全、平稳运行提供保障。

此外，针对锅炉检测仪表可能出现的数据异常突变或偏差较大等问题，采用智能监控与诊断功能，采取滤波剔除或解除先进控制等措施，保证锅炉运行安全。

参考文献

- [1] 王树青等. 先进控制技术的应用. 北京: 化学工业出版社, 2001.
- [2] 金以慧. 过程控制. 北京: 清华大学出版社, 1993.
- [3] 诸静等. 智能预测控制及其应用. 杭州: 浙江大学出版社, 2002.
- [4] 王树青等. 工业过程控制工程. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [5] J. Richalet, A. Rault, J.L. Testud, and J. Papon. Model predictive heuristic control: Application to industrial processes. *Automatica*, 14(2): 413-428, 1978
- [6] J. Richalet. *Pratique de la commande predictive*. Hermes, 1992.
- [7] Eduardo F. Camacho and Carlos Bordons. *Model predictive control*. Springer-Verlag, 1999.
- [8] S. Joe Qin, Thomas A. Badgwell. An overview of nonlinear model predictive control applications. *Nonlinear model predictive control* 26 (2000): 369-392.
- [9] S. Joe Qin, Thomas A. Badgwell. A survey of industrial model predictive control technology. *Control Engineering Practice* 11 (2003): 733-764
- [10] IEC 62264-1 企业控制系统集成 第 1 部分: 模型和术语(Enterprise-control system integration -- Part 1: Models and terminology)
- [11] IEC 62264-3 企业控制系统集成 第 3 部分: 制造运行管理的活动模型(Enterprise-control system integration -- Part 3: Activity models of manufacturing operations management)
- [12] GB/T 2900.56-2002 电工术语 自动控制 (Electrotechnical terminology - Automatic control)
- [13] GB/T 16642-2008 企业集成 企业建模框架 (Enterprise integration - Framework for enterprise modelling)
-