

# 基于PI的数字锅炉模型应用

The Applications of A Digital Boiler Model  
based on PI System

华能北方联合电力有限公司上都发电厂  
山东鲁能智能技术有限公司企业信息部

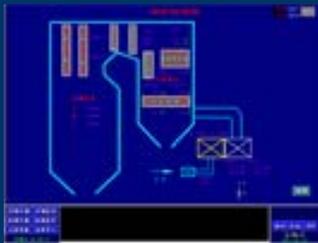
- 现场实际问题
- 数字炉的设想
- 数字锅炉简介
- 现场应用简介
- 在线对比试验
- 经济效益预测

# 现场实际问题

- 静态运行管理指标、测点值、断面平均值的关系问题
- 可靠性评价问题
  - ◆ 新机组锅炉的可靠性评价问题。——固有可靠性（设计、制造）判定
  - ◆ 运行故障、失效的原因分析。
- 动态条件对规范化与经济运行的影响
  - ◆ 如何适应动态运行条件？——煤种、负荷变化与燃烧调整、燃烧优化、煤粉细度、制粉经济运行、燃料量、灰污染、安全预测等问题。
  - ◆ 运行规范化问题。——运行规范化问题是ISO质量体系要求，同时也是岗位培训的最终目标。
  - ◆ 经济运行问题。——性能分析、燃烧优化、状态吹灰、经济性分析。
- 安全预测、分析问题
  - ◆ 安全问题中的状态量与过程量。——安全隐患的预测、统计、分析。
  - ◆ “四管”问题的预测、分析以及基于固有可靠性的故障分析。

# 数字炉的设想

- 实际锅炉为我们提供：锅炉**结构尺寸**与**受热面分配**、**煤种**、**负荷**、**环境条件**等实际条件。—— 初始条件
- 能否利用**实际条件数据**，生成一台数字炉，使数字炉比实际炉超前（或同步）运行，为实际炉运行提供标准，为优化调整提供目标参数？—— 数字炉的可行性
- 能否用设备**单元模型**组成**系统模型**，用**单元可靠性**判断**锅炉系统的可靠性**？—— 系统可靠与单元可靠的关系逻辑
- 能否避免传统热力计算的迭代过程，用公式替代热平衡方程？—— **超前或同步运行的实现**
- 能否将DCS数据代入设备单元模型，进行动态燃烧分析、热力分析？—— 实际炉与数字炉的**公用单元模型**



# 数字锅炉简介

## ■ 定义

- ◆ 利用实际锅炉的结构、煤种、出力、环境温度等参数，而形成的标准热力校核计算炉（标准炉），比实际炉超前（或同步）运行，是实际锅炉运行的动态标准和调整目标。

## ■ 依据

- ◆ 标准热力计算以及以热力计算为基础的空气、水动力、壁温和强度计算
- ◆ GB10184-88 《电站锅炉性能试验规程》
- ◆ DL/T793-2001 《发电设备可靠性评价规程》
- ◆ DL/T861-2004 《电力可靠性基本名词术语》

## ■ 组成

- ◆ 燃烧、热质平衡、热力计算、炉内设备单元、辅机等模型

## ■ 功能

- ◆ 提供可靠性评价基准、提供动态运行标准、提供锅炉运行调整目标
- ◆ 提供安全预测、分析的过程量、提供规范化运行、经济运行的动态指标

# 现场应用简介

- 煤质工业分析与元素分析的转换 ✓
- 炉内设备的可靠性把关 ✓
- 受热面灰污染监视及状态吹灰 ✓
- 动态燃烧优化调整 ✓
- 理论燃烧温度与炉膛出口烟温 ✓
- 设备超温预测、分析 ✓
- 锅炉有效能损失分析（熵平衡分析）

# 工业分析与元素分析

元素分析	$C^y$	$H^y$	$O^y$	$N^y$	$S^y$	$A^y$	W
工业分析	固定C	挥发份				A	W

## ■ 元素分析、燃烧、烟气流程、热量分配

### ◆ 燃烧过程：



### ◆ 燃烧计算：

1kg燃料中C、H、S燃烧需要多少空气？ —— 燃料 与 风

生成多少烟？ —— 烟气

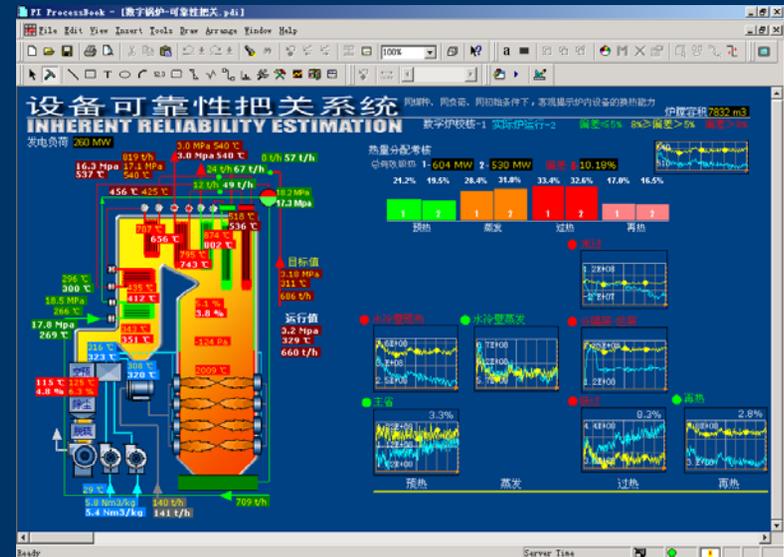
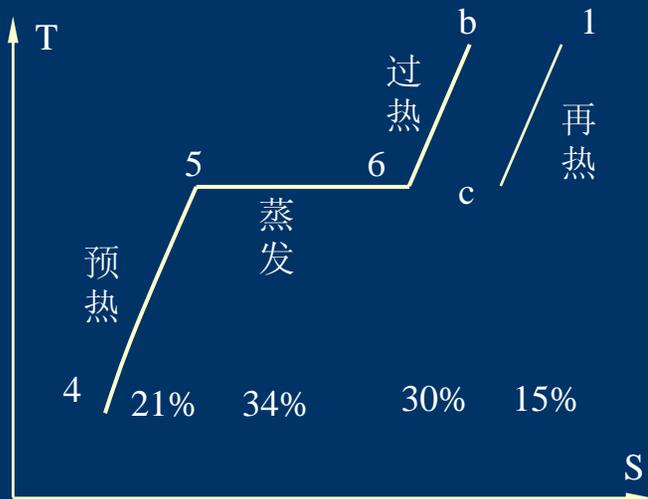
释放多少热？ —— 燃烧

热量在炉内设备上如何分配？ —— 传热

## ■ 烟焓计算与热量传递计算

# 设备可靠性实时评价

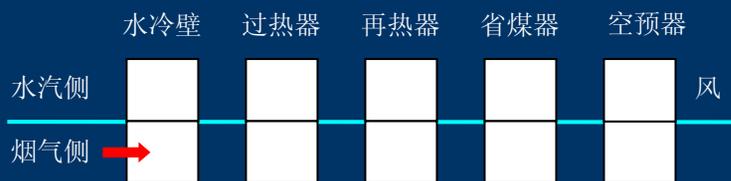
- 设备的可靠性分析
  - ◆ 设备单元与锅炉系统的关系 —— 系统与单元
  - ◆ 固有可靠性（设计、制造）与运行可靠性
    - ★ 固有可靠性 → 热力过程 → 性能评价
    - ★ 设计、制造失效与误操作失效、耗损失效
- 热量分配原则



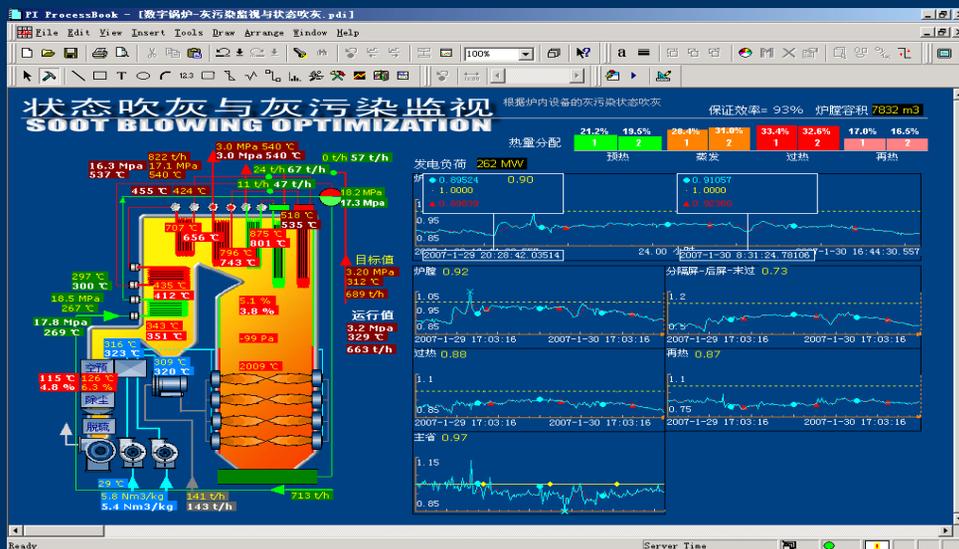


# 灰污染监视及状态吹灰

- 受热面灰污染状况监视 —— 数字炉与实际炉传热系数比较
- 受热面状态吹灰 —— 实时与本值最低传热系数比较

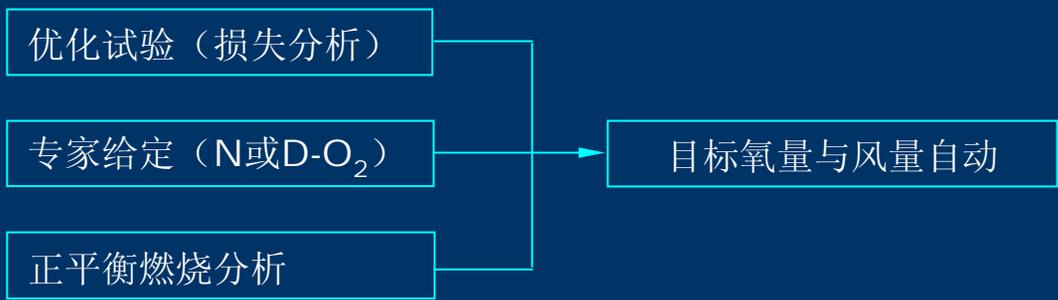


$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \varepsilon + \frac{1}{\alpha_2}}$$



# 动态燃烧优化调整

- 燃烧优化的分类 —— 静态、动态
- 静态燃烧优化调整 —— 基于燃烧结果的反平衡
- 动态燃烧优化调整 —— 基于元素分析的正平衡



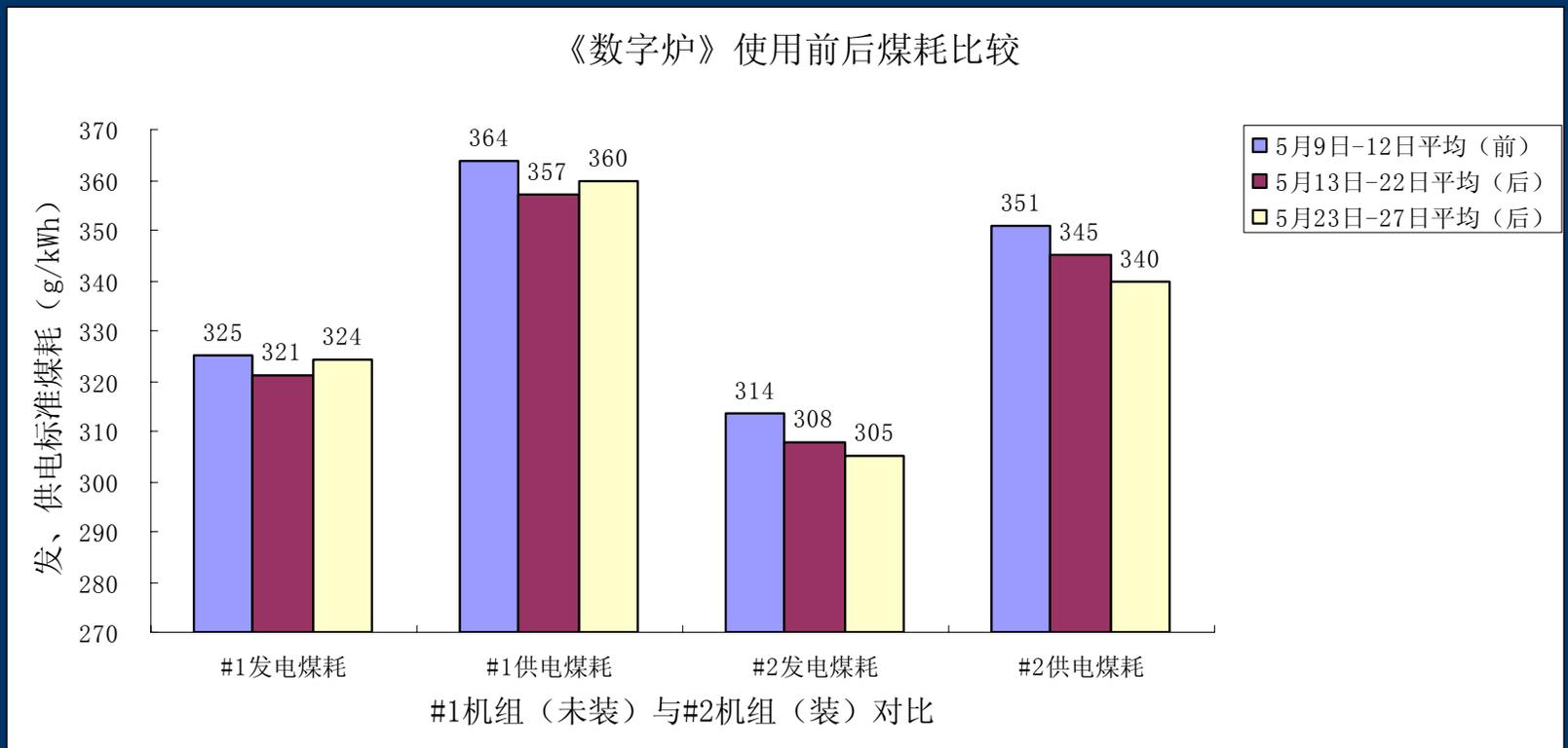


# 数字炉在线对比试验

- 上都电厂#1、#2机组为同型600MW机组，煤种相同，负荷平均分配。
- 试验方案：
  - ◆ 2007年4月28日，#2机组安装《数字锅炉》、《可靠性性把关》、《状态吹灰》，#1机组未安装，两台机组同步运行。
    - 尽可能降低其他因素的影响。
  - ◆ 2007年5月13 - 14日，对运行管理人员培训；14日，由锅炉专工指导#2机组运行人员使用《数字锅炉》；21日，完成1-5值运行人员的应用指导。#1机组不做要求，沿用以前的运行方式。
    - 形成《数字锅炉》应用对比数据
  - ◆ 通过DataLink在线统计试验中发电、供电标准煤耗时均值的变化
    - 保证试验结果的客观性 [安装前后对比试验在线记录表](#)
- 结果对比：
  - ◆ 通过#1、#2机组同期发电、供电标准煤耗变化
    - ★ 说明《数字锅炉》在锅炉运行调整中的作用。
    - ★ 预测《数字锅炉》能带来的经济效益。

# 试验结果分析

	#1发电煤耗	#1供电煤耗	#2发电煤耗	#2供电煤耗
5月9日-12日平均（前）	325	364	314	351
5月13日-22日平均（后）	321	357	308	345
5月23日-27日平均（后）	324	360	305	340



# 《数字锅炉》经济效益预测

- #1机组（未用）试验前后：
  - ◆ 煤耗变化 =  $364 - 360 = 4 \text{ g/kWh}$
  - ◆ 假设：#1机组降低的  $4\text{g/kWh}$ ，来自于运行操作。
- #2机组（使用）试验前后
  - ◆ 煤耗变化 =  $351 - 340 = 11 \text{ g/kWh}$
  - ◆ 假设：#2机组同样有  $4\text{g/kWh}$  的降低，来自于运行操作。
  - ◆ #2机组可能的节煤效益 =  $11 - 4 = 7 \text{ g/kWh}$
- 当地标煤价格 =  $315 \text{ ¥ / t}$
- 两台机组4天发电量 =  $83721 \text{ MWh}$
- 两台机组4天经济效益 =  $7\text{g/kWh} \times 315\text{¥/t} \times 83721\text{MWh} = 18.5 \text{ 万元}$
- 5月份发电量  $628045 \text{ MWh}$
- 月节能预测 =  $7\text{g/kWh} \times 315\text{¥/t} \times 628045\text{MWh} = 138.5 \text{ 万元}$
- 年节能效益 =  $11 \times 138.5 = 1524 \text{ 万元}$