



# 火电厂厂界环保岛 节能降耗关键技术解析

求真 务实 专业 纯粹

汇报人: 朱 跃

二〇二〇年八月



中国华电集团有限公司  
CHINA HUADIAN CORPORATION LTD.

华电电力科学研究院有限公司  
HUADIAN ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE Co., LTD.

# 目录

CONTENTS

- 1 火电行业发展现状
- 2 厂界环保岛综合管控技术
- 3 燃烧侧节能降耗技术
- 4 烟气侧节能降耗技术
- 5 废水侧综合治理技术
- 6 火电厂智慧升级探索
- 7 结语

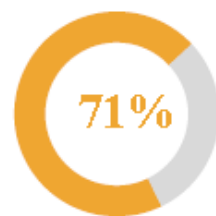
## 煤电超低排放，环保成效显著

- 截止2016年底 4.4亿kW 完成超低排放改造 7亿kW 完成超低排放改造 8.1亿kW 完成超低排放改造

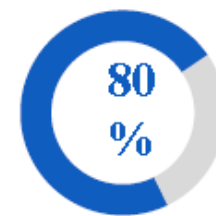
- 截止2017年底



占全国煤电机组容量



占全国煤电机组容量



占全国煤电机组容量

- 截止2018年底

煤电超低排放改造的贡献——大气污染减排

长三角地区占24%

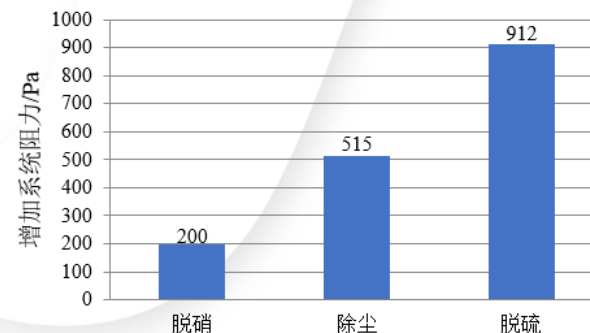
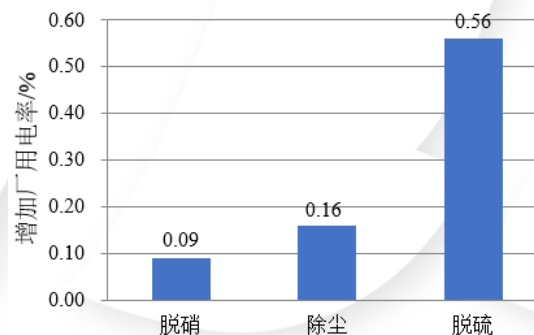
珠三角地区占23%

京津冀地区占10%

## 煤电超低排放，节能降耗现状

环保设备多，阻力电耗增加

**50台机组：**厂用电率增加平均值为**0.81%**，折算成综合供电煤耗约为**2.51g/kWh**



控制指标低，运维管理粗放

SO<sub>2</sub>运行控制指标过低；部分机组NO<sub>x</sub>控制难；过量喷氨控制NO<sub>x</sub>；除尘运行参数调整不及时；环保设施性能衰减过快

.....

## 节能需求突出，减排潜力巨大

300MW  
等级

——132台锅炉中，约54.5%锅炉炉效低于设计值。

600MW  
等级

——42台锅炉中，约45.2%锅炉炉效低于设计值。

1000MW  
等级

——8台锅炉中，37.5%锅炉炉效低于设计值。

CFB锅炉

——6台锅炉中，约66.7%锅炉炉效低于设计值。

W火焰炉

——12台锅炉中，约58.2%锅炉炉效低于设计值。

提效即节能，节能即减排

## 水务管理粗放，优化用水迫切

根据《火力发电厂节水导则》(DL/T 783-2018)，全厂水耗指标优于标准值的火电企业占比32%，达到标准值范围的火电企业占比42%，**未能达到标准值的火电企业占比26%**。大多数空冷、直流冷却型机组耗水率无法达到节水导则标准要求。

| 评价结果     | 优于标准值 | 达到标准值 | 劣于标准值 |
|----------|-------|-------|-------|
| 循环水冷却/%  | 32    | 36    | 4     |
| 海水直流冷却/% | 0     | 4     | 10    |
| 空冷/%     | 0     | 2     | 12    |
| 共计%      | 32    | 42    | 26    |

根据《节水型企业 火力发电行业》(GB/T 26925-2011)，函调发电企业水耗未**能够达到节水型企业评价指标的占80%**。

| 评价结果     | 达标 | 未达标 |
|----------|----|-----|
| 循环水冷却/%  | 18 | 54  |
| 海水直流冷却/% | 0  | 14  |
| 空冷/%     | 2  | 12  |
| 共计%      | 20 | 80  |

### 环境改善 的要求

- 人民日益增长的美好生活需要；
- 坚决打赢**蓝天**保卫战、着力打好**碧水**保卫战、扎实推进**净土**保卫战。

### 火电发展 的要求

- 以煤为主能源结构，以电煤为主消费结构仍将长期是电力发展主流；
- 火电企业提质增效和数字化转型升级的迫切需求。

《国务院关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》（国发〔2015〕40号）、

《国家发展改革委、国家能源局、工业和信息化部关于推进“**互联网+**”**智慧能源**发展的指导意见》（发改能源〔2016〕392号）

### 技术进步 的要求

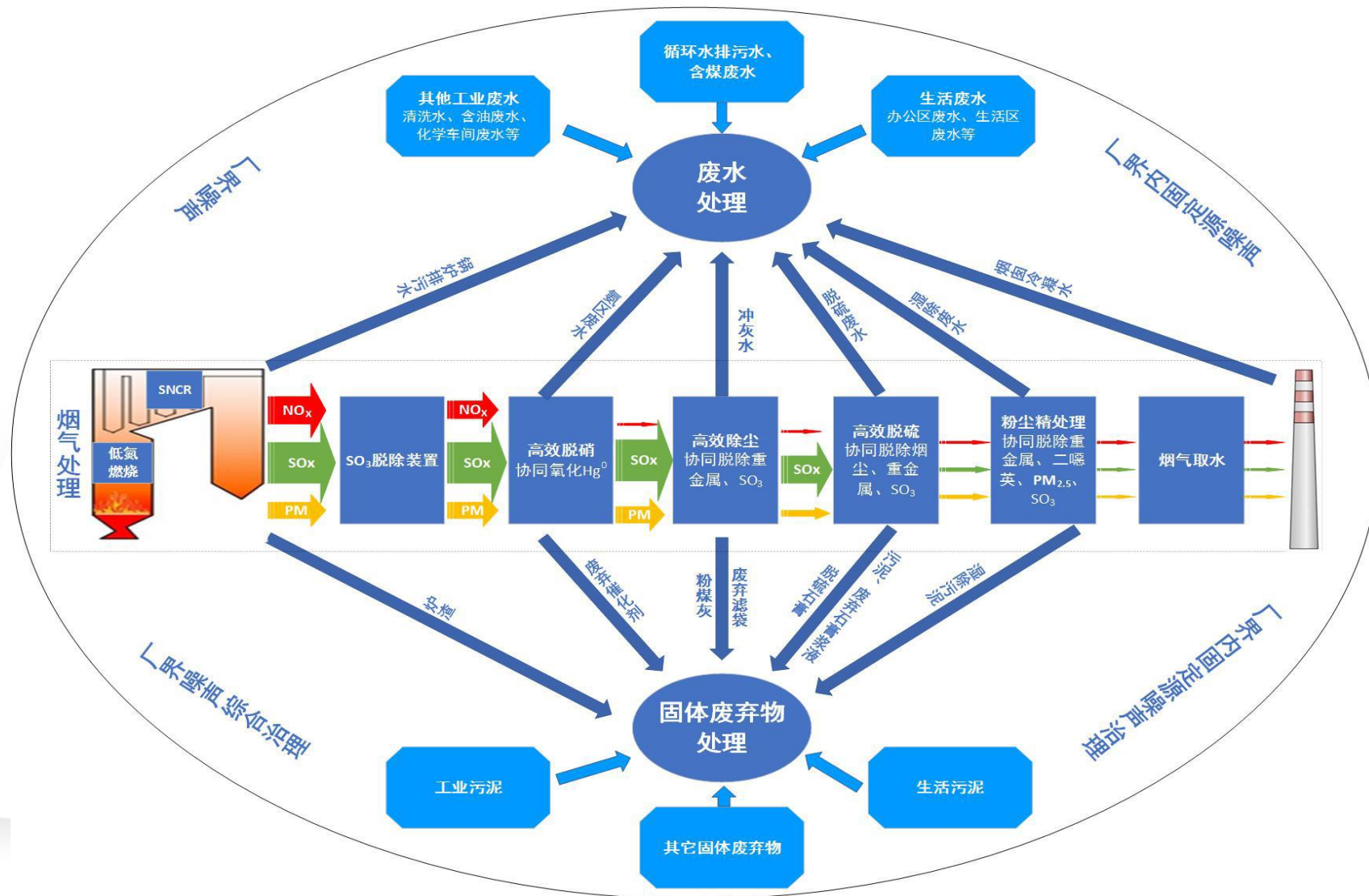
- 烟气侧全面实施超低排放转向兼顾达标和经济性的最佳技术发展；
- 水侧许可排放——零排放；噪声侧降噪；固废侧减量化和无害化。

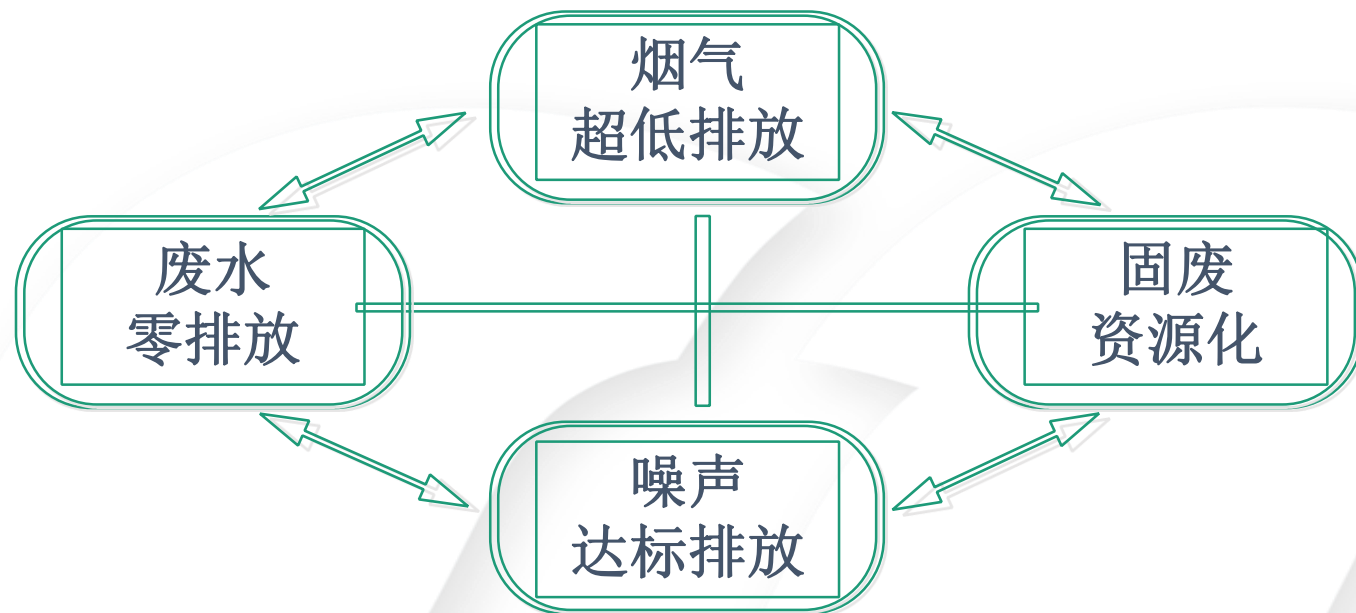
### 环境管理 的要求

- 管理理念转变“浓度控制-总量控制-质量控制”；
- 抽查-监测-排污许可证，多管齐下，提高管理的科学性；
- 从“气-水-固-声”污染链的点源向面源的多维管控拓展。

## 2 厂界环保岛综合管控技术

### 火电厂“厂界环保岛”理念示意图





**站位：**以火电厂厂界为限，从全局性的视角系统化对待

**理念：**全方位、全时空、全流程管控治理

**对象：**厂界内在“气-水-固-声”污染链中所涉及的常规污染物与新型污染物指标

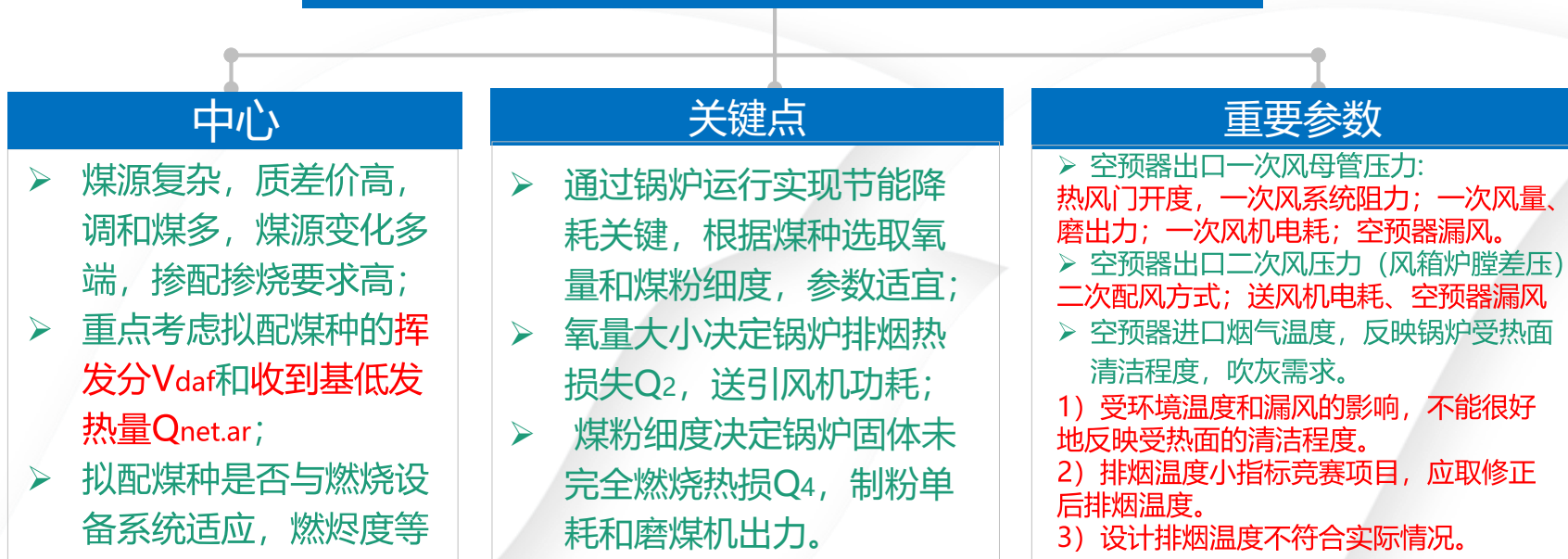
**路径：**“源头控制、末端治理、协同脱除、系统集成、过程管理”

**目标：**火电厂“气-水-固-声”污染链的多维管控，保障火电厂环保设施的安全可靠、环保节能、经济高效运行。

## 锅炉节能因素分析



#### 节能调整管控治理部分



#### 节能理念和方向

- 回归锅炉设计（参数）：设备特性，设计煤质校核煤质，掺配掺烧试验，常规运行参数
- 节能持续改进：节能持续投入技术、人力、物力，持之以恒，节能与安全风险关系。
- 低负荷提效：低负荷氧 $\uparrow$ 、 $Q_2\uparrow$ ，辅机电耗 $\uparrow$ ；替代多余的氧量满足炉内换热需求烟气
- 锅炉燃烧数字化：在线监测入炉热值、煤粉细度、一次风速，燃煤与燃烧调整自适应学习

#### 1) 精细掺配掺烧

##### 精细掺配掺烧

- (1) 煤质主要指标
- (2) 可加成指标计算
- (3) 燃烧调整试验
- (4) 掺配方案经济性
- (5) 必需试验评估  
重点问题

##### 试验评估问题

- (1) 锅炉出力
- (2) 燃烧稳定性
- (3) 炉内结渣和受热面积灰
- (4) 高温腐蚀与低温腐蚀
- (5) 运行经济性

#### 2) 锅炉漏风

##### 磨煤机漏风

运行磨煤机掺冷风  
停运磨漏冷风



##### 炉膛漏风

炉膛漏风，炉底干除渣、  
水封关断门，各段烟行程

中、低负荷下大氧量运行



##### 空预器漏风

一二次风烟气侧、壳体

#### 3) 空预器堵塞治理

预防空预器堵塞的较为有效的技术

- SBS吸收技术
- ABS沉积区下移
- 低低温省煤器联合暖风器
- 热风再循环等
  
- 传统热风再循环
- 热一次风逆流再循环
- 热二次风增压逆流再循环
- 烟气增压逆流再循环

#### 4) 风机优化及烟风道降阻

风机选型裕量过大

烟风道管路阻力增加

系统漏风

叶片磨损等

低负荷运行

#### 5) 制粉系统优化管控



## 6) 低负荷（深度调峰）经济性调整

控制炉膛氧量，送引风机单侧运行，关闭未投运层二次风门，关严停运磨冷风门

采用低氮燃烧器的，尽量减少燃烬风，适当提高磨煤机出口温度

采用烟气再循环技术，提高再热气温，减少送引风量同时保证尾部换热要求。

减少磨机运行台数，储仓式实现临炉送粉，尽量投用较上层燃烧器，降低一次风速、控制旁路烟气量

停止锅炉各段受热面吹灰，小机气源压力许可情况下，优先保持气泵运行

#### 7) 其他

- 二次再热技术应用
- 烟气旁路加热给水
- 连排余热回收技术
- 烟气深度余热利用
- 超高参数700 °C/38MPa锅炉
- 水冷壁高温腐蚀治理
- 炉膛温度测量
- 新型燃烧器

### SCR脱硝节能降耗技术

#### 现象

催化剂磨损

催化剂积灰堵塞

空预器堵塞

排烟温度升高

电除尘极线极板  
粘灰严重

#### 能耗

还原剂耗量

催化剂寿命

风机电耗

#### 措施

流场优化

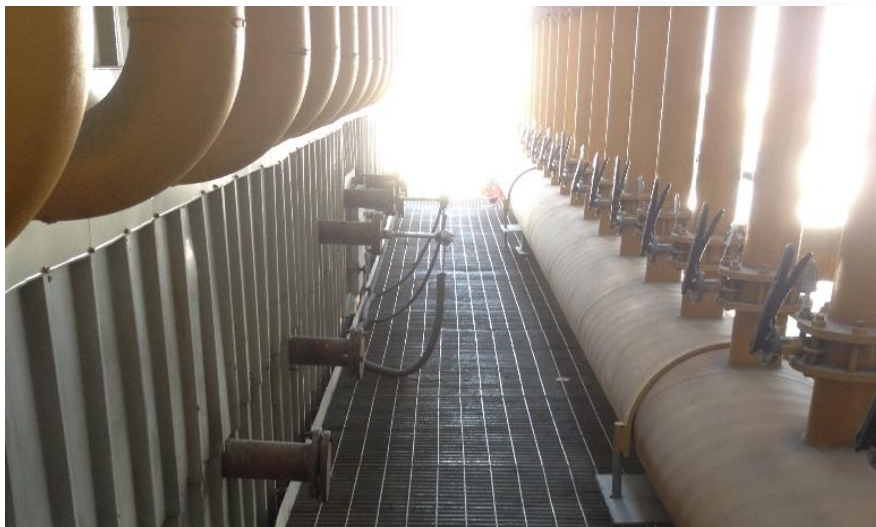
喷氨优化调整

分区智能喷氨

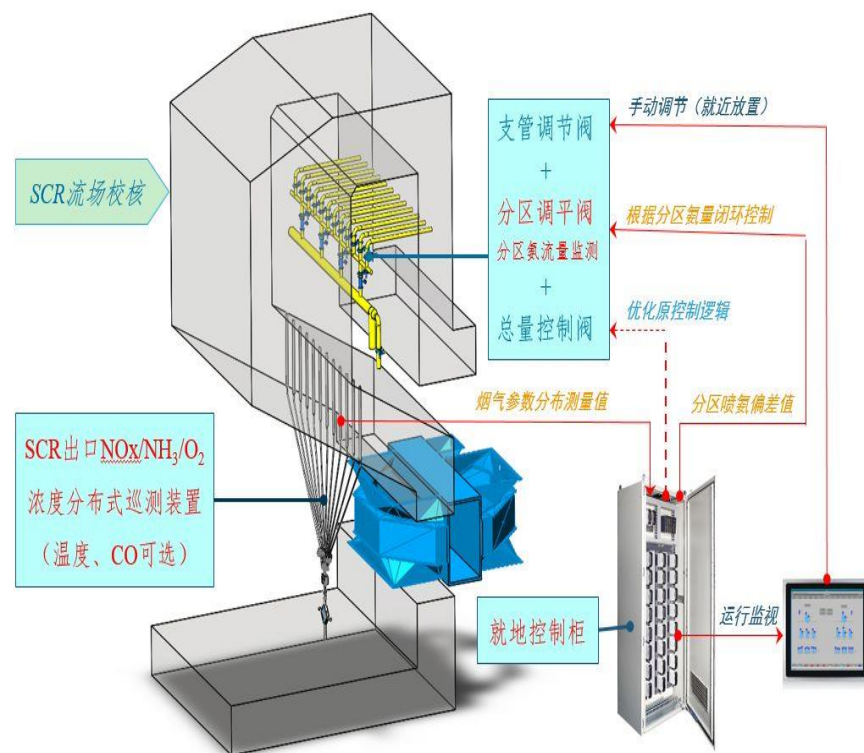
催化剂全寿命管理

## 4 烟气侧节能降耗技术

### 喷氨优化调整



### 分区智能喷氨



### SCR脱硝节能降耗技术——催化剂全寿命管理

华电电科院开发了催化剂等效调控性能检测装置，提出了催化剂综合性能五色评价方法，实现了催化剂检测指标定量分级表征综合性能。

#### 筛选关键性能检测指标

主要化学  
成分

机械性能  
指标

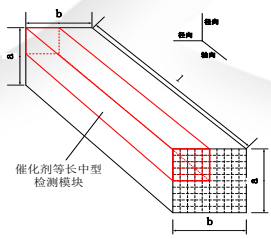
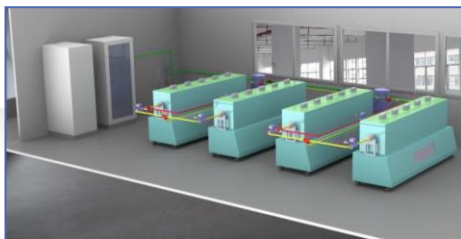
工艺特性  
指标

钒钨  
铝硅等  
氧化物

机械强  
度比表  
面积

脱硝效  
率氨逃  
逸率

#### 量化分析性能检测参数



#### 首创催化剂综合性能评价技术

#### 五色评价方法



绿色



黄色



橙色



紫色



红色

蜂窝式催化剂:  $CP = f(W, T_i, Al, S_i) + f(P, \xi, SA) + f(\eta, NH_3)$

平板式催化剂:  $CP = f(W, T_i, Al, S_i) + f(\lambda, \xi, SA) + f(\eta, NH_3)$

可视化五色评价方法



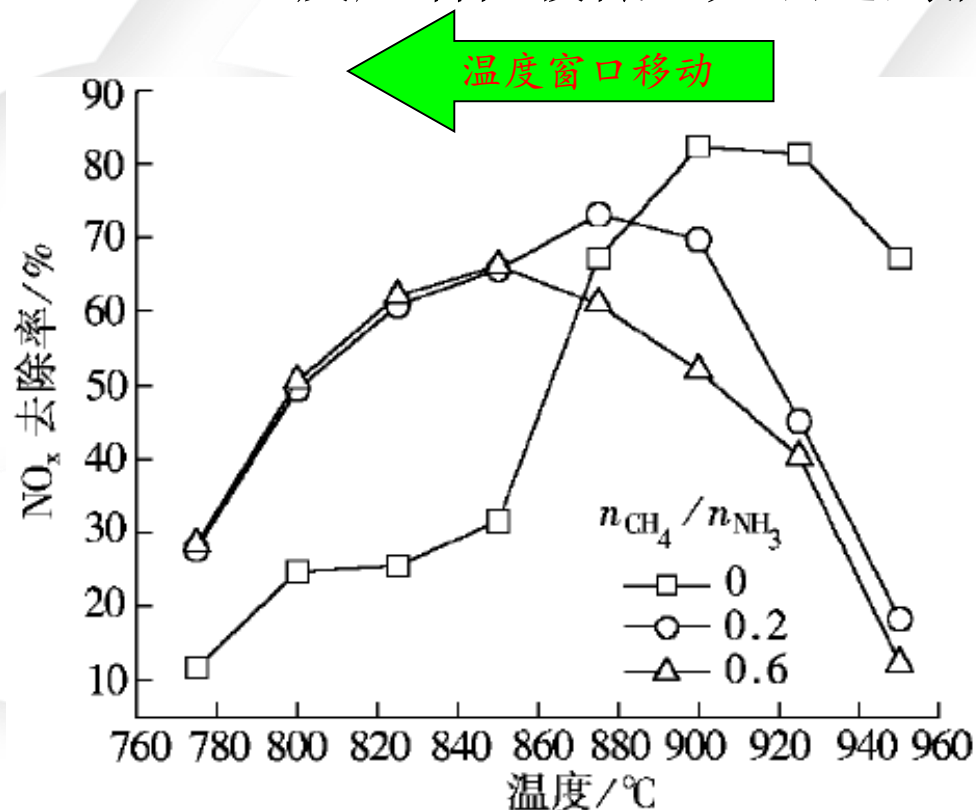
指导实际安装使用

### SNCR节能降耗技术——活性物质添加提效技术

(1) SNCR脱硝反应一般在温度窗口内具有较高的脱硝效率，当反应温度低于温度窗口下限时（小于800℃），反应活性较低，无法达到满足NO<sub>x</sub>排放要求的脱硝效率；

(2) 通过添加活性物质可以使脱硝温度窗口向低温方向移动或拓宽反应温度窗口。

活性物质多为碳氢化合物、金属化合物、氧化性有机化合物等。



### ◆ 石灰石品质评价

取样、分析方法

- 建立石灰石取样及关键指标分析方法

关键指标评价

- 形成石灰石关键指标（如 $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{MgCO}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 、活性等）评价体系

最佳石灰石耗量

- 结合制浆系统，分析石灰石实际耗量与理论耗量偏差分析，确定最佳石灰石耗量。

### ◆ 制浆系统优化-湿磨机

现有制浆系统性能评价

- 确定石灰石品质参数下，通过制浆系统出力试验，评价现有制浆系统（如磨机、旋流器、给料机等）性能。

工艺水/滤液制浆对制浆系统影响

- 开展工艺水/滤液制浆对制浆系统性能影响试验，分析两种制浆方式对制浆系统影响。

建立制浆系统最佳运行方式

- 通过进一步调整磨机给料量、钢球装载量（需厂家协助）、旋流子投运情况（如有备用）以及工艺水/滤液制浆试验，建立制浆系统最佳运行方式。

### ◆ 脱硫系统水平衡优化

- 通过理论计算不同工况下脱硫系统实际用水量，分析理论与实际用水偏差原因，提出脱硫水平衡优化运行解决方案。

### ◆ 浆液体系评价

- 由于石膏品质分析具有滞后性。基于石膏品质要求，通过浆液固相组分、石膏旋流器分离效果测试，直接建立浆液组分与石膏品质对应关系，用于分析石膏品质。通过浆液液相组分测试，建立浆液体系中硫酸钙、亚硫酸钙过饱和度参数，用于石膏、浆液品质分析。

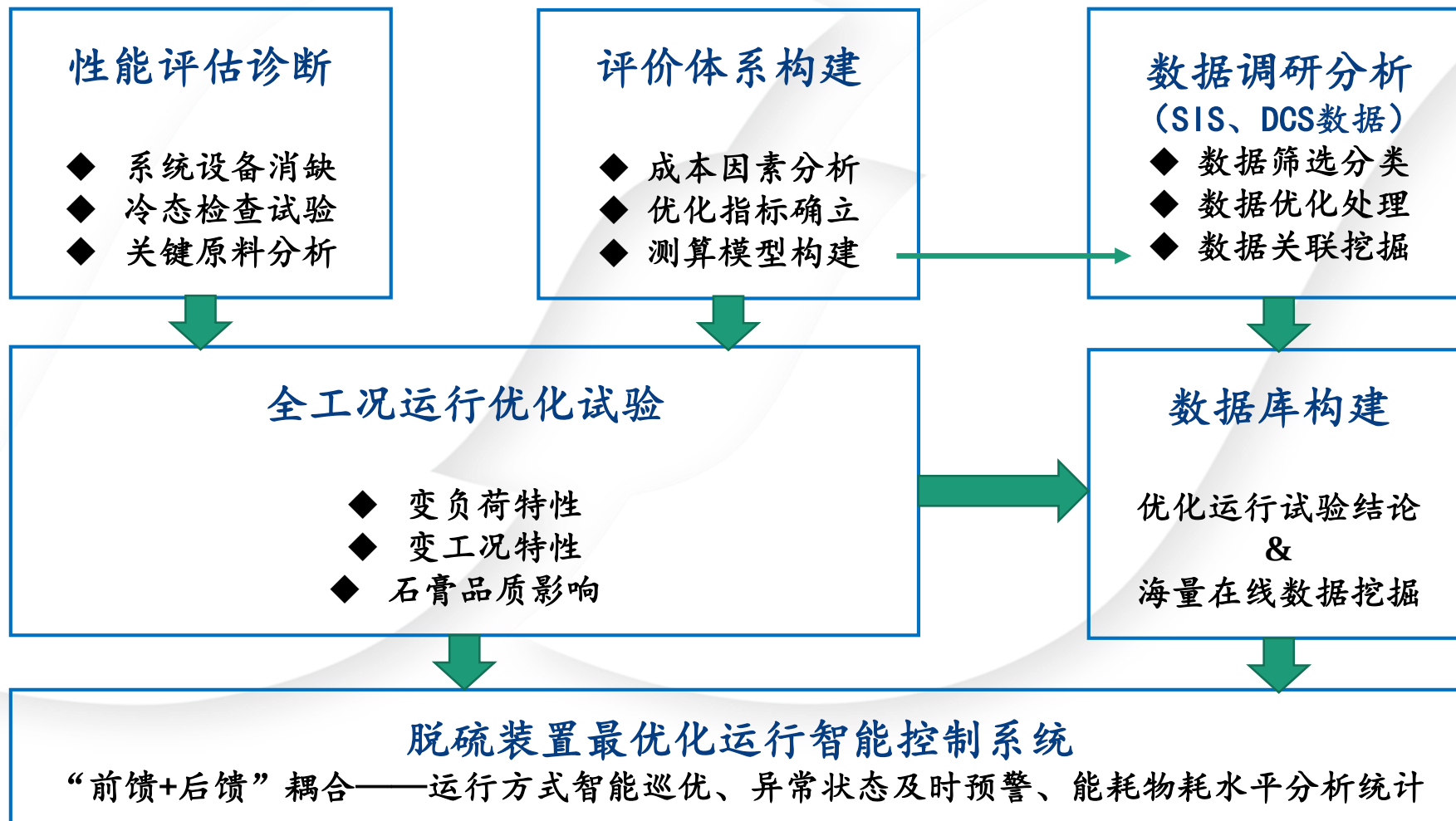
### ◆ 真空皮带机运行优化

- 根据真空皮带脱水机设备参数以及石膏品质参数，得到真空皮带脱水机出力，优化运行方式。

### ◆ 循环泵变频改造节能优化评价

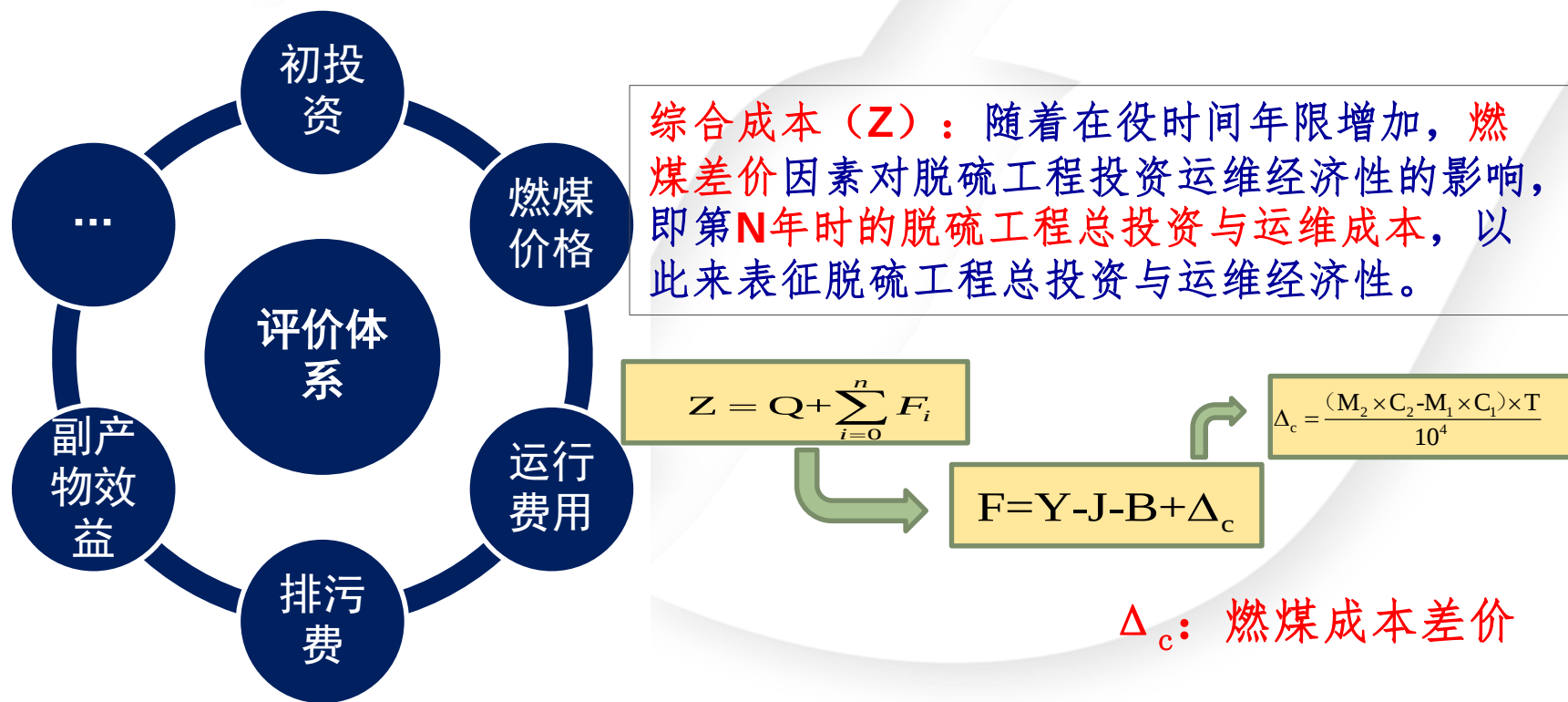
- ◆ 冷态工况喷淋效果及泵体振动测试；
- ◆ 热态工况确定变频循环泵安全转速；
- ◆ 建立不同工况下循环泵转速与净烟气SO<sub>2</sub>浓度关系，确定最优运行方式。
- ◆ 确定改造前后脱硫系统节能效果。

### ◆ 脱硫系统运行优化-全工况优化技术



### ◆ 脱硫工程优化设计与经济运行辅助决策系统

华电电科院在国内首次提出**综合成本测算模型**，将**燃煤成本**作为**关键衡量因素**来评价新建脱硫工程的长期投资经济性。



01

电除尘器电源运行参数节能  
优化调整

04

袋式除尘器喷吹优化控制与  
运维管理

02

电除尘器振打节能控制

05

低低温电除尘器换热器水温  
调节与控制

03

袋式除尘器滤袋寿命周期  
检测与评价

06

干式除尘器与湿式静电除尘  
器协同除尘优化控制

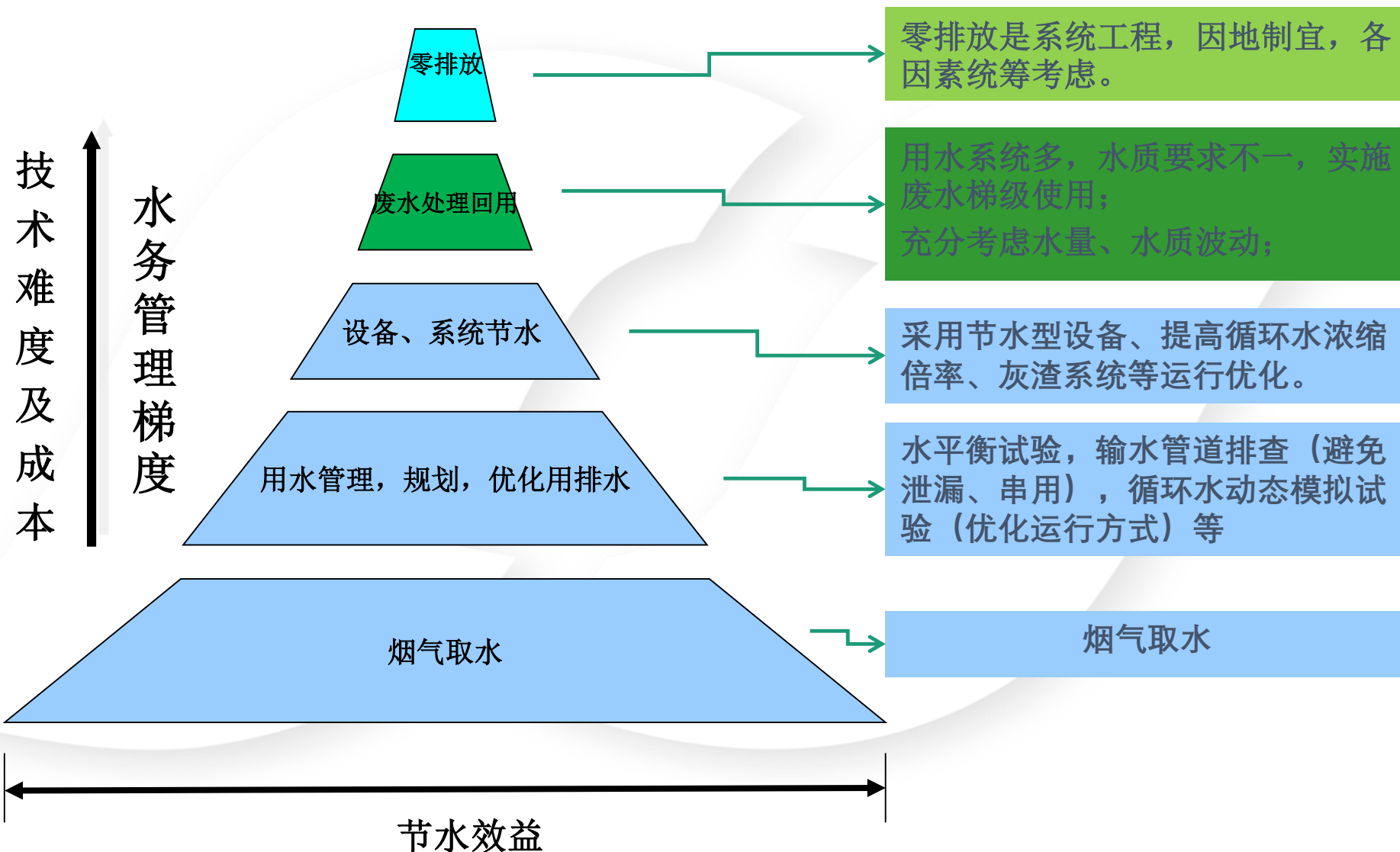
### 滤袋寿命周期检测与评价



#### 检测与评价效果:

基于滤袋性能检测实验室检测滤袋性能参数，规范燃煤电厂滤袋更换周期，延长滤袋使用寿命，降低电厂滤袋更换成本。

## 5 废水侧综合治理技术



### 烟气取水

#### ➤ 燃煤机组烟气：

(1) 脱硫系统入口烟温一般在 $120\sim 160^{\circ}\text{C}$ ，出口烟温一般在 $50^{\circ}\text{C}$ 左右，烟气饱和蒸汽压在 $12\times 10^3\text{Pa}$ 左右。

(2) 对于300MW等级燃煤机组，在满负荷时，排放烟气中所携带的水量在 $120\sim 150\text{t/h}$ 左右。

#### ➤ 燃气机组烟气：

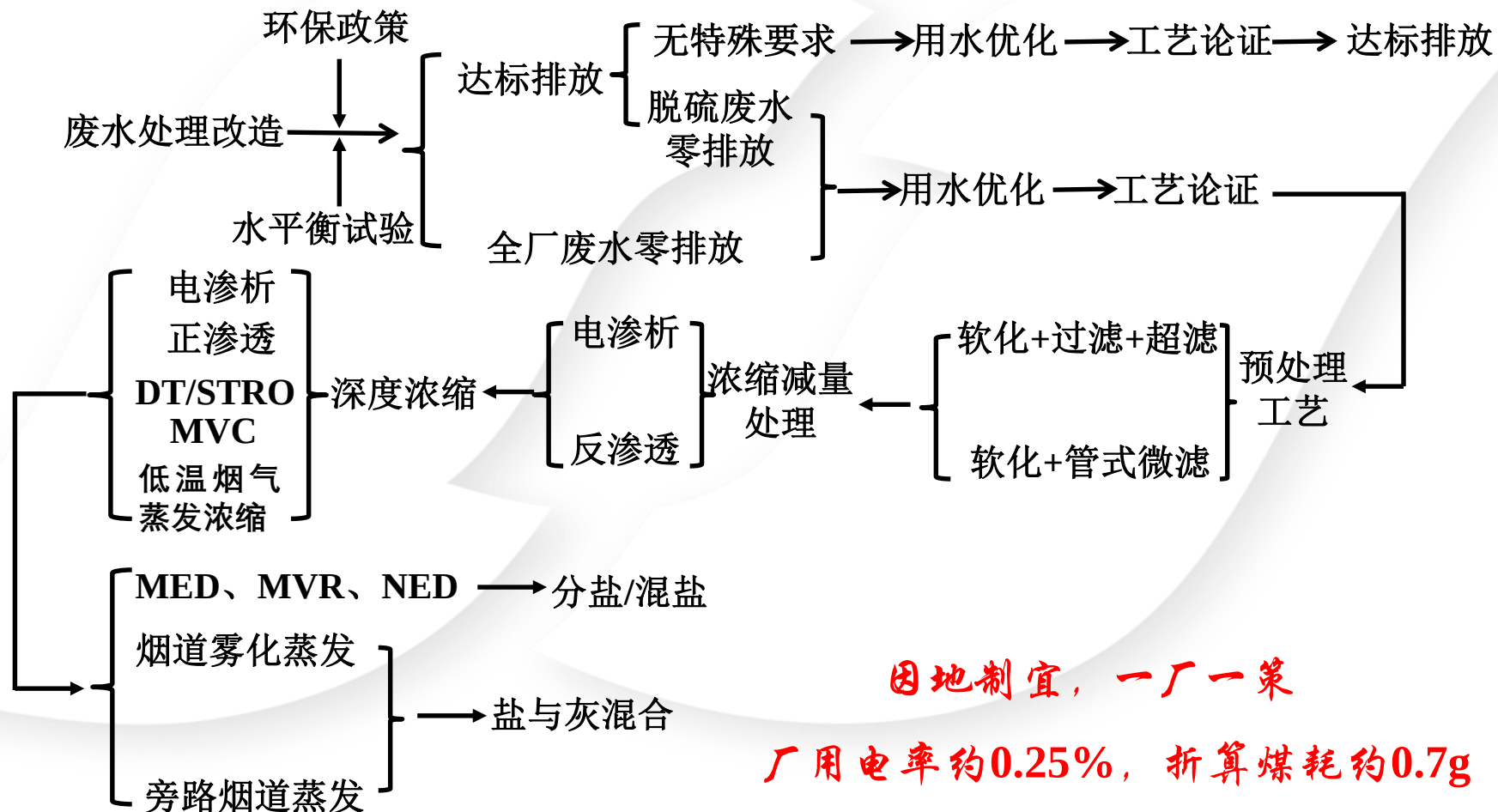
(1) 燃气主要成分为 $\text{CH}_4$ 、 $\text{C}_2\text{H}_6$ 等， $1\text{Nm}^3$ 燃气可以产生大于 $2.1\text{Nm}^3$ 的 $\text{H}_2\text{O}$ 蒸汽，即 $1.75\text{kg}$ 的水；

(2) 随过量空气系数的不同，燃烧后烟气含湿量在 $9\%\sim 18\%$ ，烟气水露点温度为 $44\sim 58^{\circ}\text{C}$ 。

### 用水管理优化

- 1、积极采用非常规水源：采用城市中水（再生水）、矿井水等代替地表水和地下水；
- 2、输排水管路排查，消除跑冒滴漏和管道串接、混接；
- 3、及时进行全厂水平衡试验，消除地下输水管网及封闭空间泄漏现象，并对全厂用水情况进行分析和优化；
- 4、循环水系统运行优化：经循环水动态模拟试验优化系统运行，必要时可增设循环水旁流过滤系统、提高凝汽器等材质等级技术改造，提高循环水浓缩倍率，减少循环水排污水量；
- 5、加装水质水量监控仪表，加强取、用、排水管理。

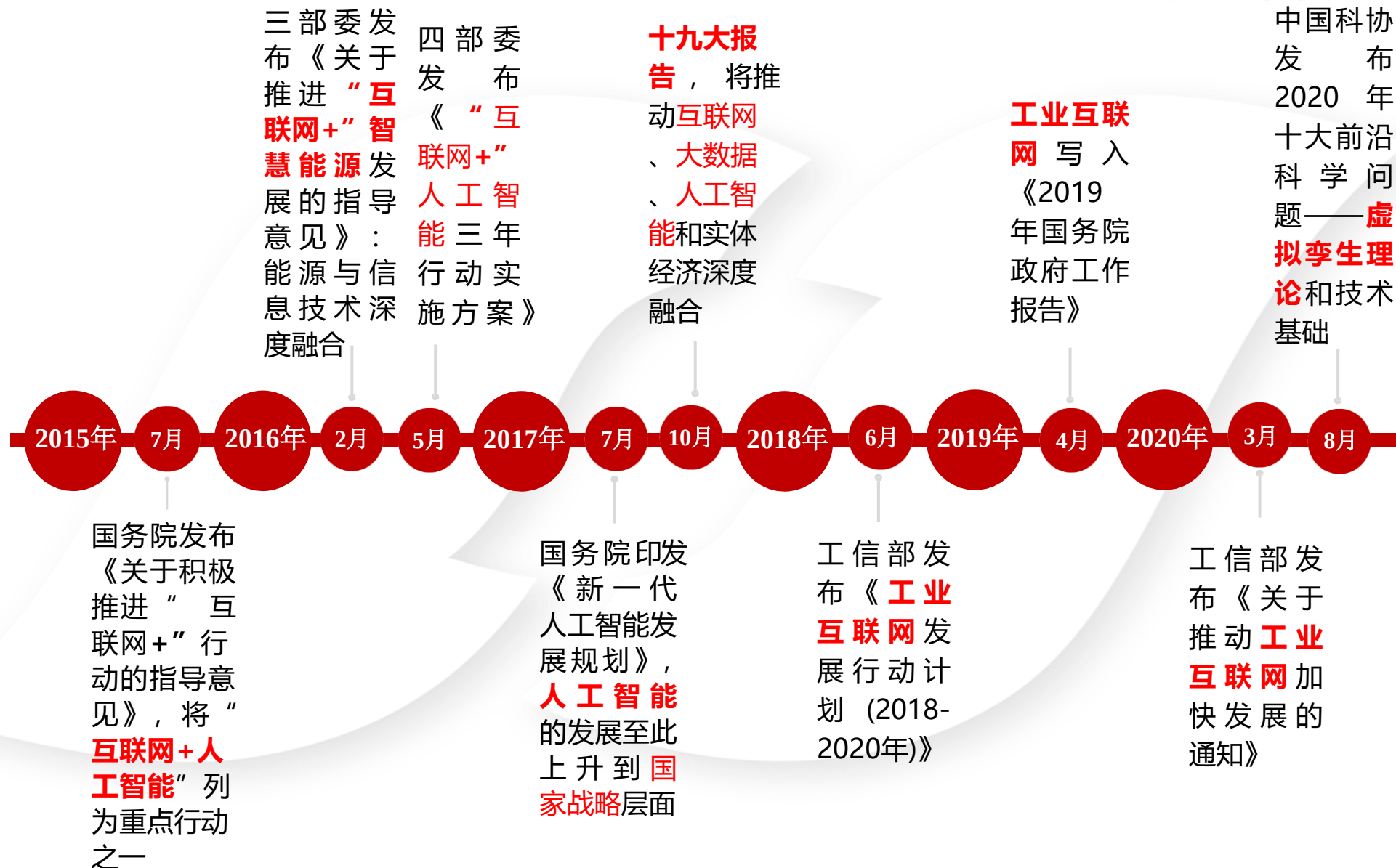
### 零排放-废水处理改造工作技术路线



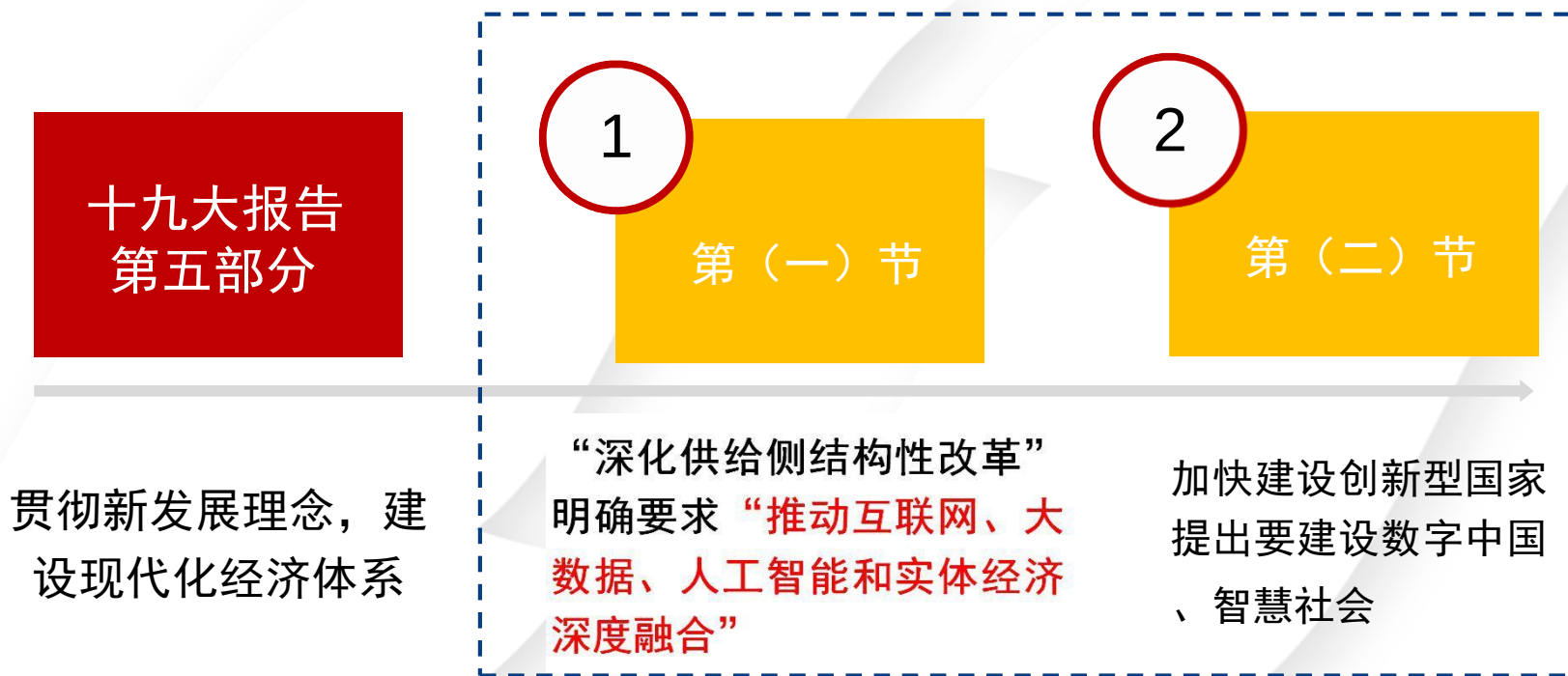
因地制宜，一厂一策

厂用电率约0.25%，折算煤耗约0.7g

## 6 火电厂智慧升级探索

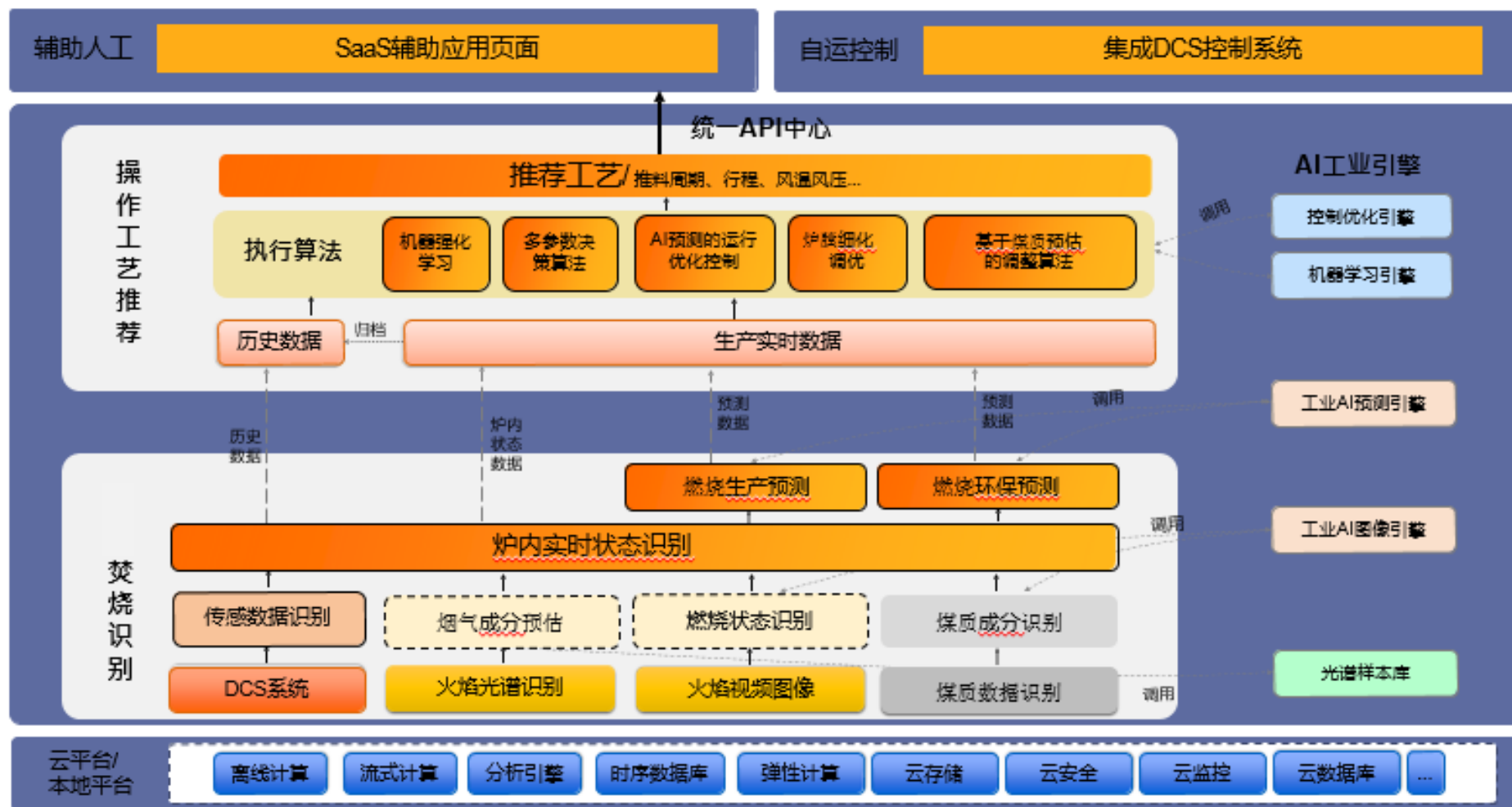


### 工业互联网的超融合——必然趋势



大数据、人工智能等高新技术与**电力环保**行业的深度融合，已成为必然趋势

### 基于数智驱动的燃烧优化诊断技术



### 基于数字孪生的环保治理技术

烟气环保处理优化产品，通过动态寻找环保处理效果&成本之间的平衡，实现控制环保超标并降低环保成本。

整体模型由烟气过程建模和全局参数寻优两部分组成；

利用历史数据，构建出仿真模型，结合焚烧过程和烟气环保处理过程，预测出烟气中的污染物含量；

参数寻优模型，基于仿真模型基础上，通过设定目标国家和地方标准，推荐最优的环保制剂实时加入量、焚烧操作工艺等参数；

烟气污染物实时  
监测：

- 出口SO2含量
- 出口CO含量
- 出口HCL含量
- 出口NOX含量
- 出口烟尘含量
- 出口O2含量
- ...



#### 建模原理

- 建模数据：对焚烧数据+烟气环保处理数据进行打通建模，并进行机器学习与数据训练；
- 预测目标：预测不同焚烧状态，以及烟气状态的污染物在线监测结果；

#### 控制效果

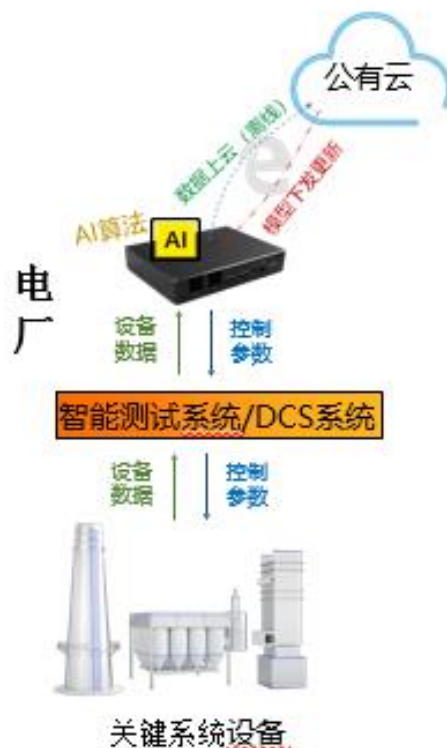
- 在符合国家和地方环保执行标准的最优成本控制方法；
- 在焚烧段预测可能出现的烟气环保超标问题，提前控制焚烧和环保操作，控制出来短期性超标问题；
- 优化焚烧操作，降低烟气环保处理压力

### 基于移动测试云平台的智慧测试技术

#### 采集的关键数据

| 特征变量：     | 烟气环保指标                 |
|-----------|------------------------|
| • 一次风量    | • 烟气HCl含量              |
| • 一次风压    | • 烟气SO <sub>2</sub> 含量 |
| • 二次风压    | • 烟气CO含量               |
| • 炉膛温度    | • 烟气CO <sub>2</sub> 含量 |
| • 空气出口温度  | • 烟气烟尘含量               |
| • 烟气含氧量   | • ...                  |
| • 汽包压力    |                        |
| • 母管压力    | 生产结果：                  |
| • 汽包液位    | • 蒸汽流量                 |
| • 推料及炉排间隔 | • 蒸汽温度                 |
| • .....   | • 蒸汽压力                 |
|           | • ...                  |

#### 本地部署& 云端训练



#### 工业大屏展示/专家在线诊断



# 谢谢！

求真 务实 专业 纯粹

汇报人: 朱 跃

二〇二〇年八月