



煤电机组超低排放整体协调控制技术及应用

石炭火力発電ユニットの極超低排出ガス全体調整制御技術及び応用

2018年11月

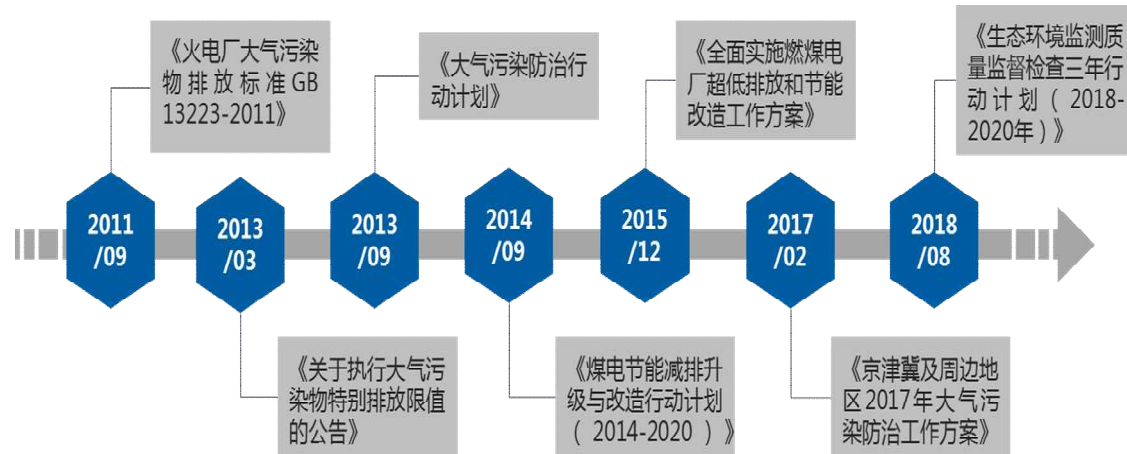
I	超低排放改造背景 極超低排出ガス改造背景
II	超低排放整体协调控制策略 極超低排出ガス全体調整制御策略
III	超低排放整体协调控制技术 極超低排出ガス全体調整制御技術

国家环保政策日趋严苛

国家の環境保護政策が日々厳しくなってきた

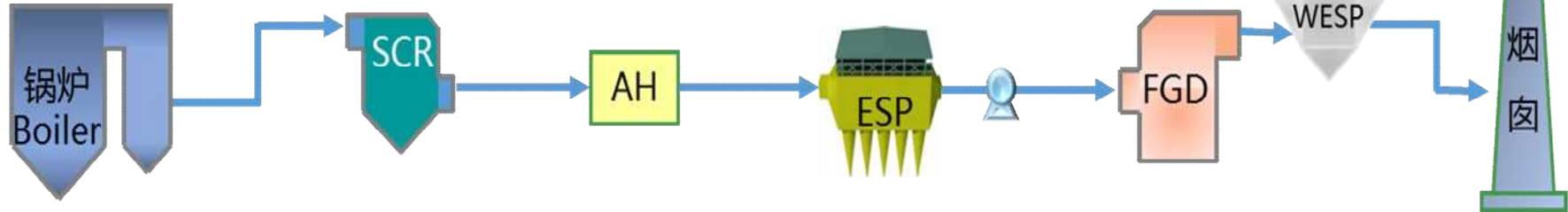
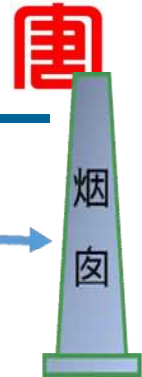


- ◆ 燃煤机组大气污染物排放标准及监管办法日趋严苛。
- ◆ 石炭火力発電ユニットについての大气汚染物排出基準及び監督管理方法が日々厳しくなってきた。
- ◆ 截至2017年底，我国累计完成燃煤电厂超低排放改造7亿千瓦，占全国煤电机组容量比重超过70%，提前完成2020年改造目标任务。
- ◆ 2017年末迄に、我が国では石炭火力発電所の極超低排出ガス改造をトータルで7億KW改造し、中国全体の石炭火力発電ユニットの70%を超え、2020年までの改造目標を前倒しして達成した。
- ◆ 超低排放改造接近尾声，部分省市陆续更新《火电厂大气污染物排放标准》，污染物排放控制标准更加严格。
- ◆ 極超低排出ガス改造も終わりに近づいており、一部の省市では相次いで「火力発電大気汚染排出基準」の汚染物の排出基準を更に厳しく更新してる。



时间	政策文件	政策要求
2017.06	杭州《锅炉大气污染物排放标准》（征求意见稿）	新建燃煤锅炉 二氧化硫 和 氮 的排放限值分别为5和2.5 mg/m ³ ，现有燃煤锅炉 二氧化硫 和 氮 的排放限值分别为10和2.5 mg/m ³ 。
2018.04	《山东省火电厂大气污染物排放标准（征求意见稿）》	增加了 氨逃逸 厂界浓度的控制要求（1mg/m ³ ）。
2018.06	山西《燃煤电厂大气污染物排放标准》	新建煤电锅炉和位于城市规划区的现有煤电锅炉应采取有效措施消除 石膏雨、有色烟羽 等现象。
2018.06	天津《火电厂大气污染物排放标准》	燃煤锅炉应采取相应技术降低烟气排放温度，通过收集烟气中液滴和饱和水蒸气中水分的方式，减少 溶解性盐类和可凝结颗粒物 的排放。
2018.10	浙江《燃煤电厂大气污染物排放标准》	位于环境空气敏感区的燃煤电厂应采取烟温控制或其他有效措施消除 石膏雨、有色烟羽 等现象。

后超低排放时代面临的问题



脱硝	低氮燃烧技术	NOx型燃烧技术	除尘 集塵	布袋除尘	脱硫	单塔增容
	SNCR技术	SNCR技术		織布ろ過集じん技術		シングルタワー容量拡大
脱硝	流场优化	フローフィールド最適化	电源新技术	电源新技术	均流构件	電流共有コンポーネント
	喷氨调整	アンモニアインジェクション調整	低低温技術	低低温技術	串塔	
	シオン調整		低低温技術	低低温技術	脱硫塔	

存在問題
問題点

环保改造投资大
環境保護改造の投資が大きい
设备复杂程度高
設備が複雑

设备运行成本高
設備ランニングコスト高
维护工作量增加
メンテナンス作業量増加

改造副作用显现
改造副作用の表れ

主体设备数量增加2-4个；设备除污能力增加2-4倍；附属系统增加扩容。本体設備台数2～4基増加。設備の汚染除去能力2～4増加。付帯装置の容量拡大。

运行费用（电耗、物耗（液氨、尿素、石灰石）、水耗等）明显增加。運転費用（電力消費、材料消費（液体アンモニア、尿素、石灰石）、工業水の消費）が明らかに増加。

因SO₃浓度升高造成空预器堵塞等问题；排放瞬时超标；湿电废水对脱硫废水排放的影响。

SO₃濃度上昇により、空気予熱器の詰まりになる。排出ガスの瞬時規格外れ。湿式電気集塵機廃水の脱硫廃水排出に対する影響。



I

超低排放改造背景
極超低排出ガス改造背景

II

超低排放整体协调控制策略
極超低排出ガス全体調整制御策略

III

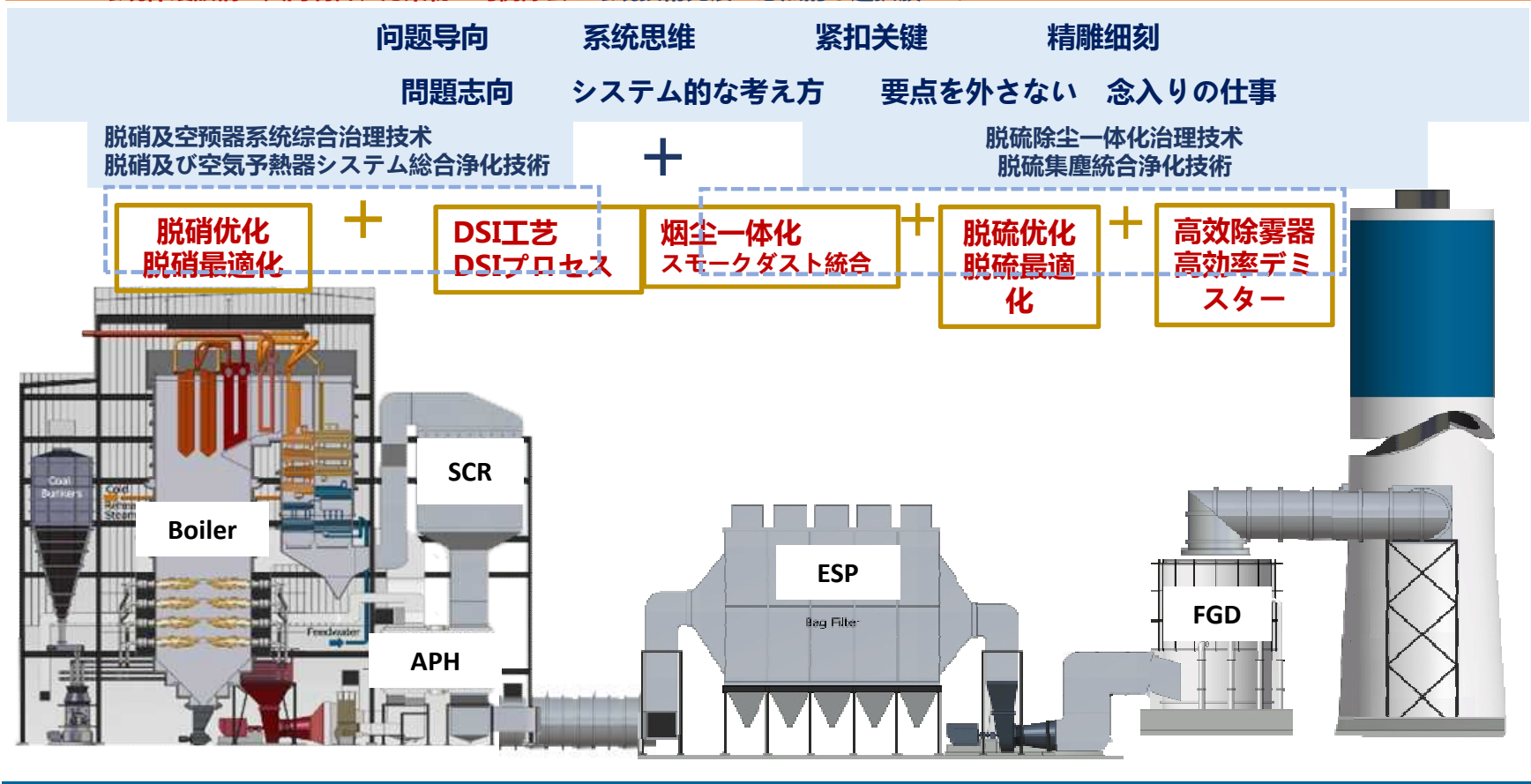
超低排放整体协调控制技术
極超低排出ガス全体調整制御技術

超低排放整体协调控制策略

極超低排出ガス全体調整制御策略



- ◆ 燃煤电厂烟气治理是一个环环相扣的系统工程
- ◆ 石炭火力発電所の煙道ガスの浄化は各部分が緊密に結びついているシステムエンジニアリングである
- ◆ 单项技术问题需要从多污染物一体化脱除的角度才能彻底解决
- ◆ 一つの技術問題でも複数の汚染物統合取り除くの角度から始めて徹底的に解決できる
- ◆ 环保设备协同控制、污染物均衡脱除是环保技术发展的必然选择
- ◆ 環境保護設備の共同制御、汚染物の均衡除去は環境技術発展の必然的な選択肢である



I	超低排放改造背景 極超低排出ガス改造背景
II	超低排放整体协调控制策略 極超低排出ガス全体調整制御策略
III	超低排放整体协调控制技术 極超低排出ガス全体調整制御技術

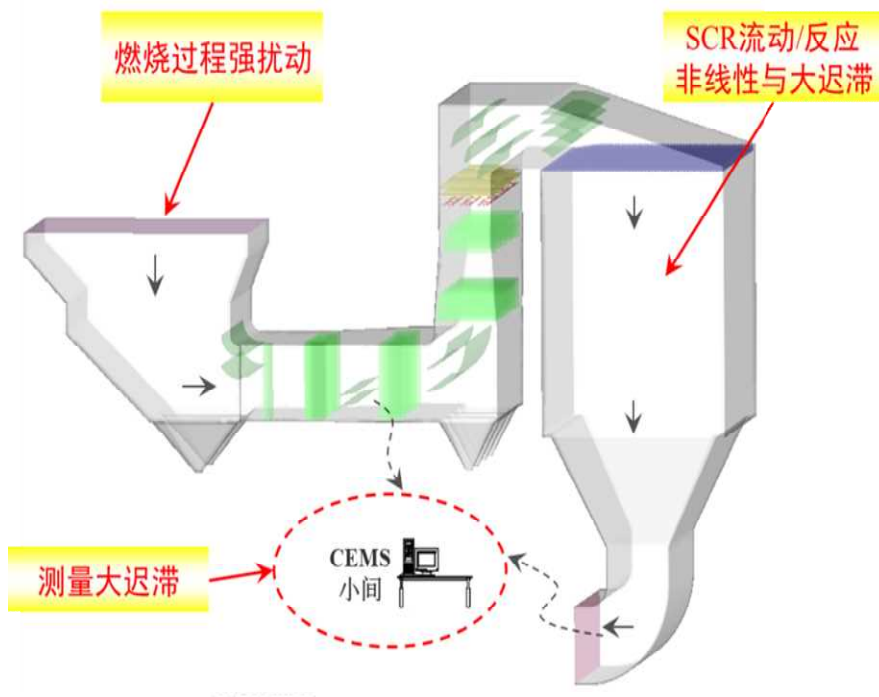
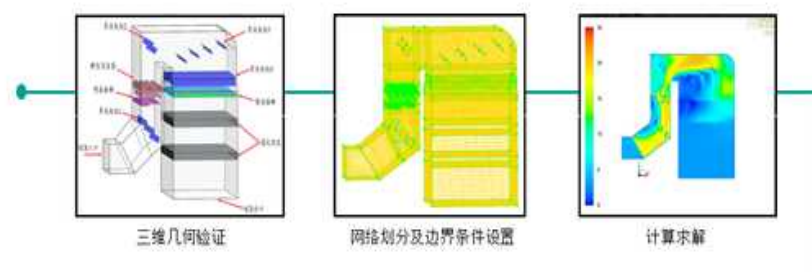


关键技术一 脱硝及空预器系统综合治理技术

キーテクノロジー一 脱硝及び空気予熱器システム総合浄化技術

一. 存在问题 問題点

1. SCR脱硝系统 SCR脱硝システム



测点问题 計測点問題

脱硝出入口NOx测点、烟囱处NOx测点、氨逃逸测点、CEMS仪表标定
 脱硝出入口Nox計測点、煙突個所のNox計測点、アンモニア逸脱計測点、CEMSメータキャリブレーション

系统问题システム問題

脱硝入口NOx峰值高
 脱硝入口Noxピーク値が高い

设备问题 設備問題

催化剂寿命缩短、空预器堵塞
 触媒の寿命が短い、空気予熱器の詰まり

运行问题 運転問題

自动投入率低，喷氨盲目、过量
 自動投入率が低い、アンモニアインジェクションが盲目、過量

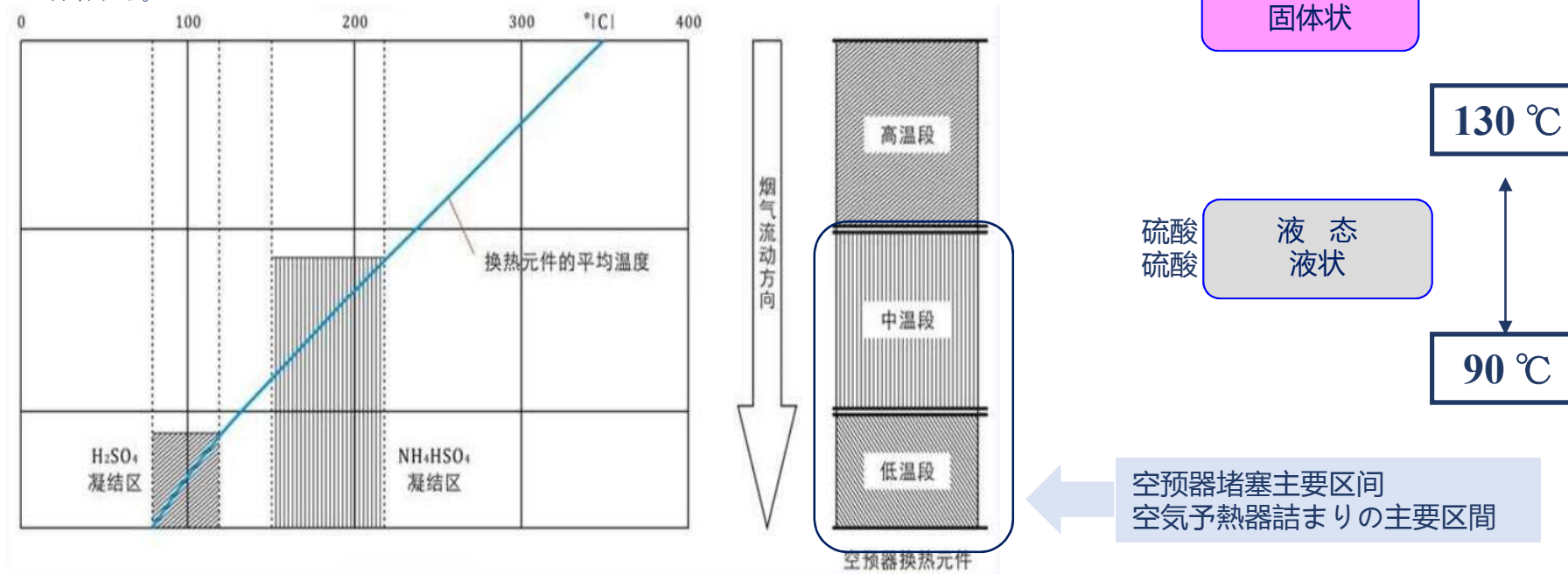
其它问题 その他問題

低负荷投运限制
 低負荷投入運転制限

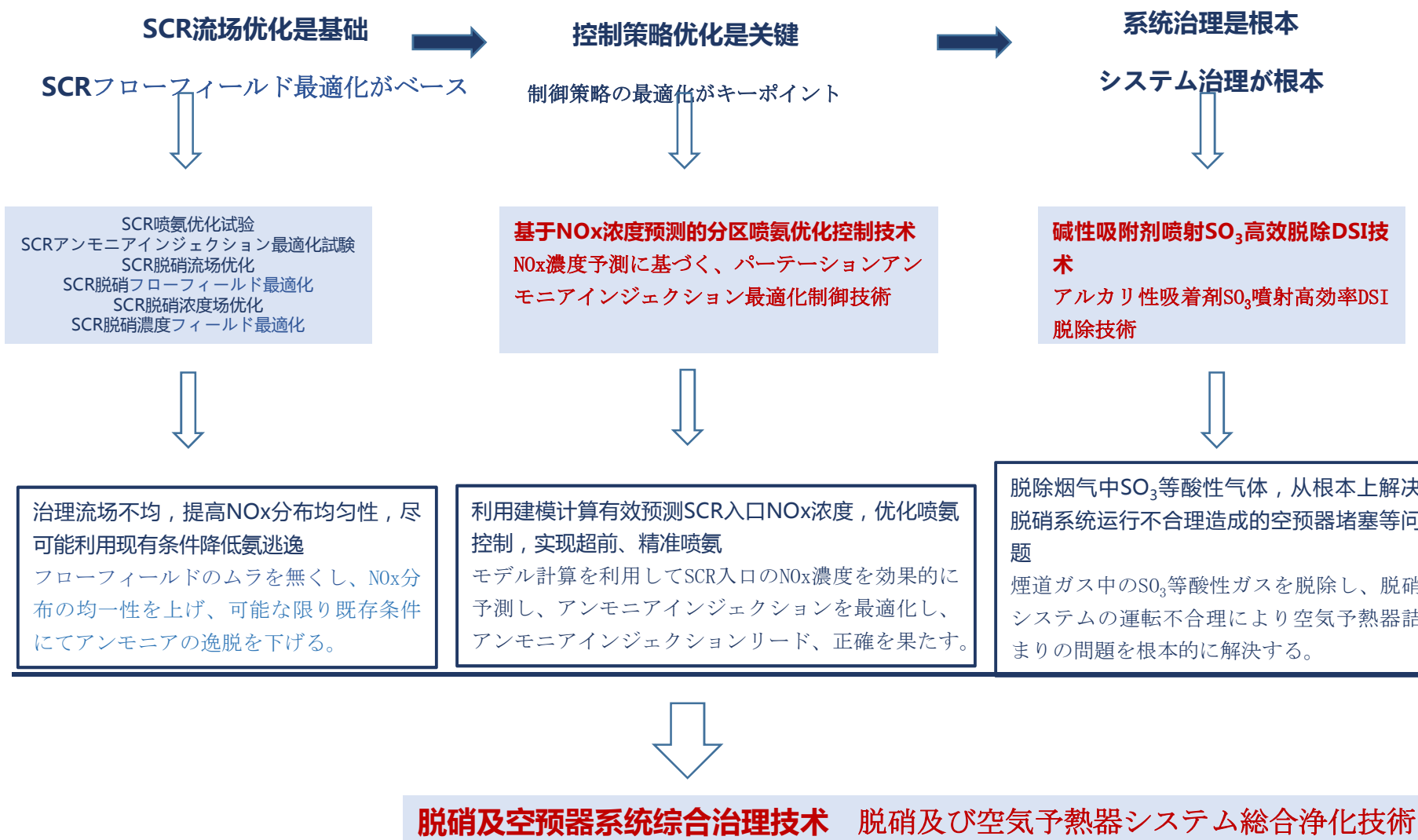
一. 存在问题 問題点

2. 空预器 空気予熱器

- ◆ 烟气中的SO₃与逸脱NH₃反应生成的硫酸氢氨在150°C-230°C温度区间会转变为液态。液态下硫酸氢氨具有粘性。
- ◆ 煙道ガスのSO₃と逸脱NH₃反応により生成の硫酸水素アンモニアが150°C-230°C温度区間で液体に転移する。硫酸水素アンモニアは液状で粘着性が有る。
- ◆ SO₃经过空预器时，浓度下降约67.4%左右，即形成了硫酸氢氨粘附在了空预器之中。
- ◆ SO₃が空気予熱器を通る際に、その濃度が約67.4%下がり、硫酸水素アンモニアが生成され空気予熱器へ付着する。



二. 解決思路 解決の考え方



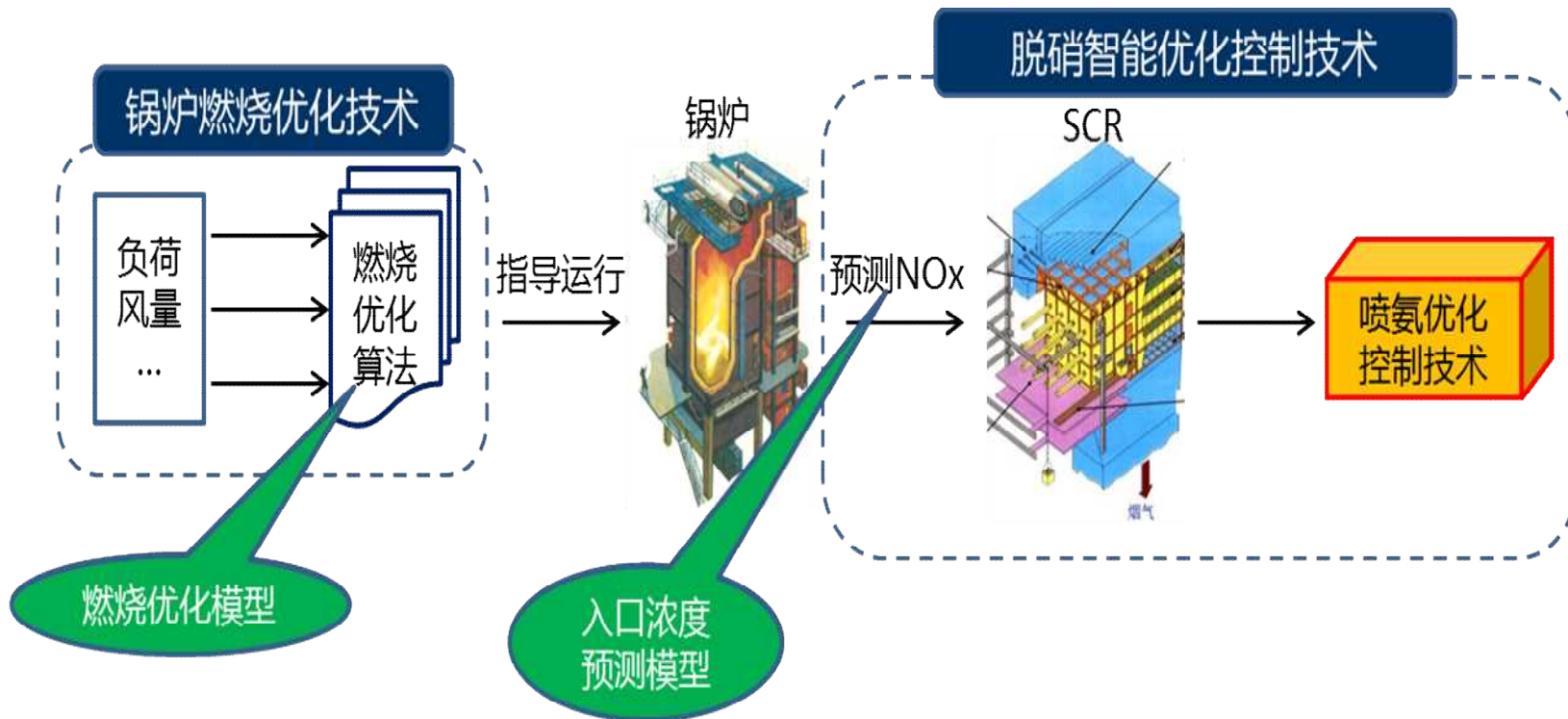
三. 关键技术 キーテクノロジー



1. 基于NOx浓度预测的分区喷氨优化控制技术 NOx濃度予測に基づく、パーティションアンモニアインジェクション最適制御技術

对于具有大滞后特点的控制对象，要想获得良好的控制效果，必须提前预知控制对象的变化趋势，采用先进的控制策略，提前进行干预。这就需要
对历史数据深度分析，挖掘影响NOx的主要影响因素，并采用先进、智能的建模手段确定各影响因素与NOx之间的关系，并建立起反应器入口
NOx的数学模型。

大幅に延滞特徴を有する制御対象として、優れた制御効果を得る為には、制御対象の変化の傾向を事前に予知し、先端な制御策略を取り入れて、
前もって関与する必要が有る。その為には、過去の履歴データを深く分析して、NOxへ影響を及ぼす主な影響要因を掘り出し、先進で、
スマートなモデリング手段を使って、諸影響要因とNox間の相関関係を確定し、反応器入口Noxの数学模型を構築する。



三. 关键技术

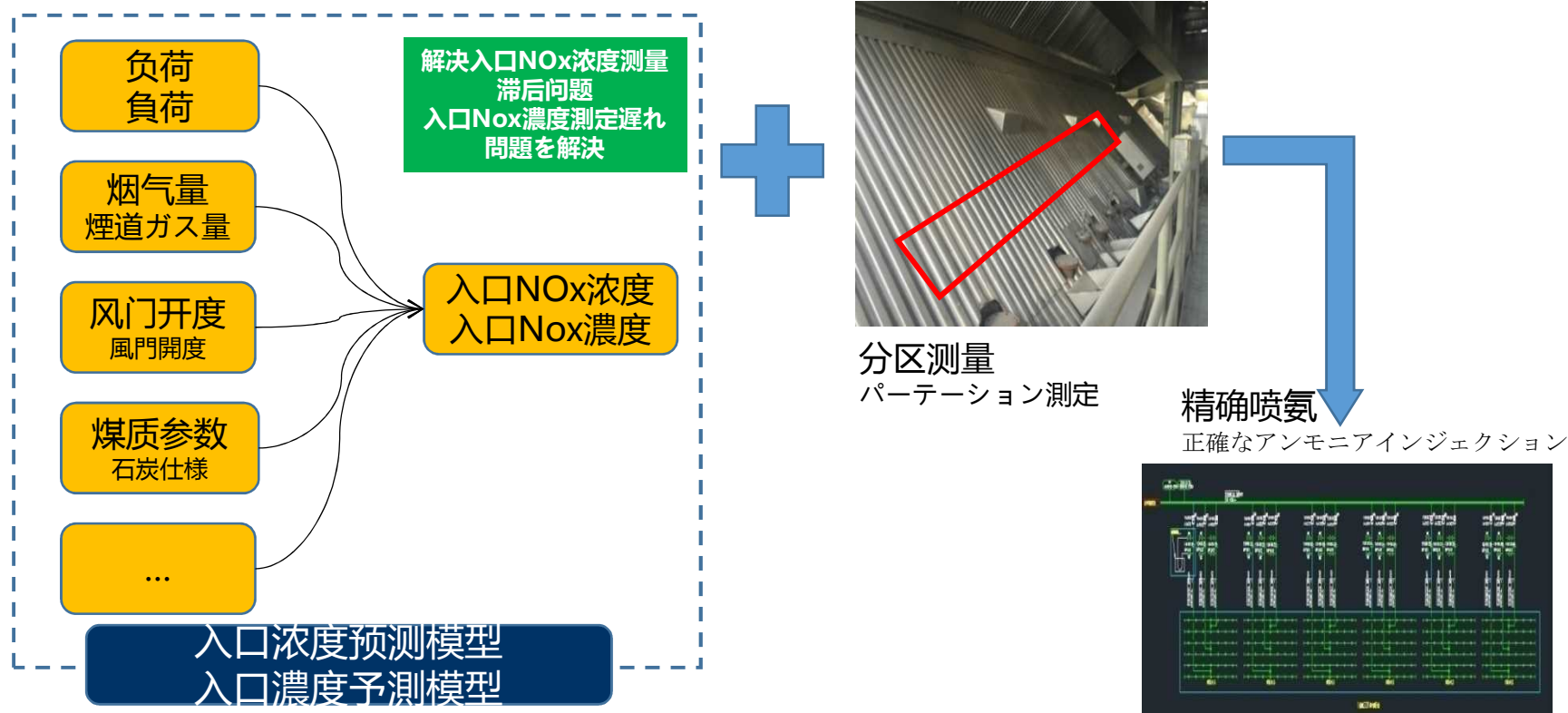
キーテクノロジー



1. 基于NOx浓度预测的分区喷氨优化控制技术 NOx濃度予測に基づく、パーテーションアンモニアインジェクション最適制御技術

根据锅炉运行状态对NOx形成的响应特性以及脱硝系统运行控制的特点，开发了集智能算法、大量的优化试验数据、专家知识于一体的SCR脱硝智能控制系统，解决SCR变工况入口NOx超设计值，入口NOx测量滞后，喷氨控制不合理带来的问题。

ボイラーの運転状態からNox形成の反応特性及び脱硝システム運転制御の特徴から、知能アルゴリズム、大量の最適化試験データ、専門家知識を統合したSCR脱硝知能制御システムを開発して、SCR運転状況変化入口のNox越設計値、入口Nox測定遅れ、アンモニアインジェクション制御部合理による問題をクリアする



三. 关键技术

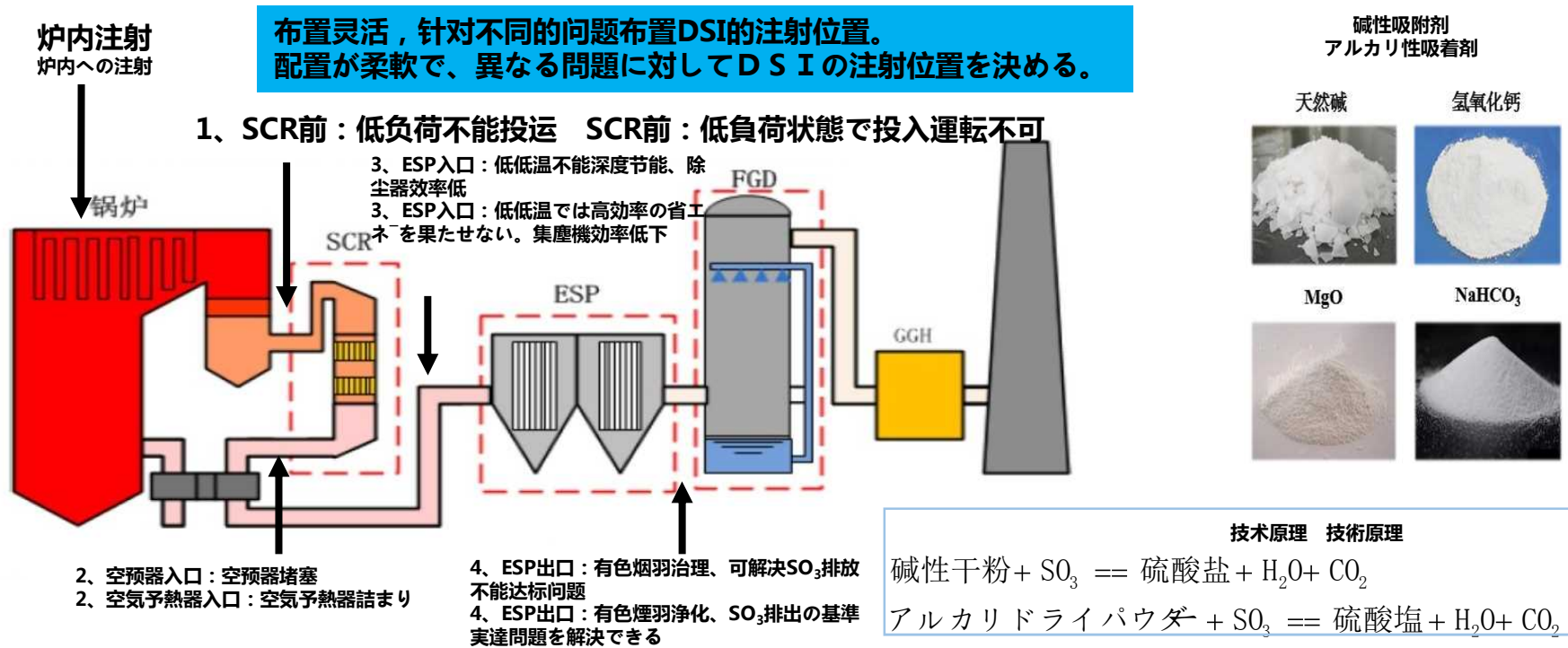
キーテクノロジー



2. 碱性吸附剂喷射SO₃高效脱除DSI技术 アルカリ性吸着剤SO₃噴射、高効率のDSI脱除技術

碱性吸附剂喷射技术是一种脱除烟气中酸性气体的重要技术，原理是向炉内或烟道上合适位置注射碱性吸附剂，吸附剂与烟气中酸性气体SO₃、HCl反应，生成固体盐类颗粒物，从而完成酸性气体脱除，同时可协同脱除烟气中Hg、As等重金属。注射吸附剂范围涵盖Ca系、Mg系、Na系等10余种。

アルカリ性吸着剤を射出技術は、煙道ガス中の酸性ガスを脱除する重要な技術であり、その理屈は、炉内或いは煙道の適切な位置にアルカリ性吸着剤を注射し、吸着剤と煙道ガス中の酸性ガス体SO₃、HClが反応して、固体塩基粒子を生成し、これで酸性ガスの脱除が出来て、同時に煙道ガス中のHg、As等重金属も脱除できる。吸着剤の注射範囲はCa系、Mg系、Na系等10数種類に上る。



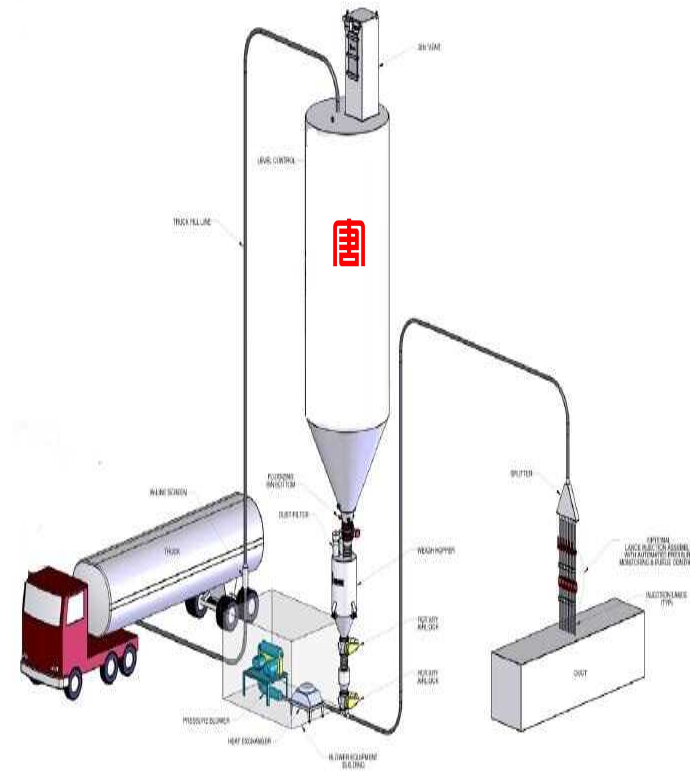
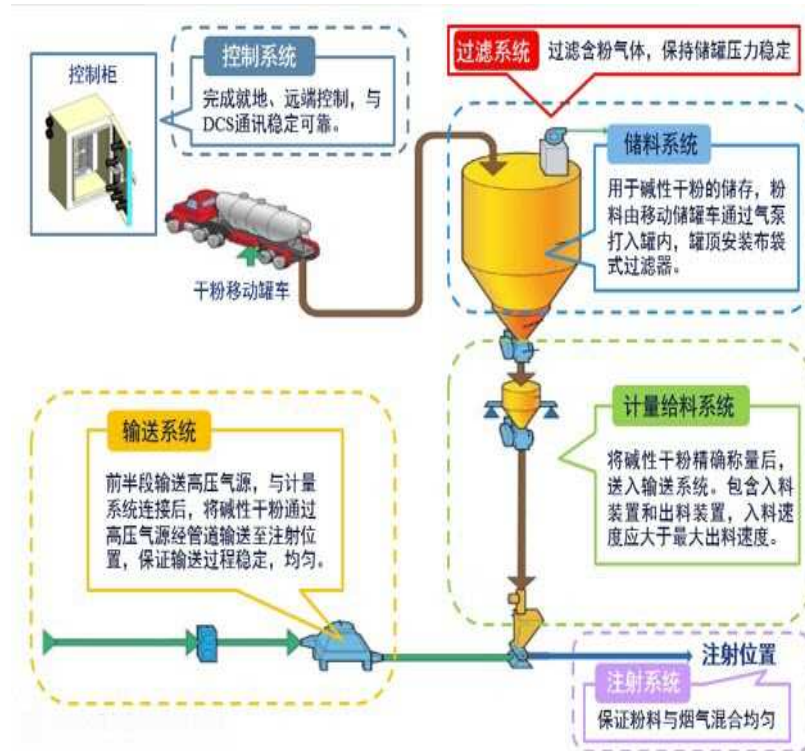
三. 关键技术

キーテクノロジー



2. 碱性吸附剂喷射SO₃高效脱除DSI技术

アルカリ性吸着剤SO₃噴射、高効率のDSI脱除技術



碱性干粉SO₃脱除系统包括：储料系统、计量给料系统、输送系统、过滤系统、控制系统与注射系统。

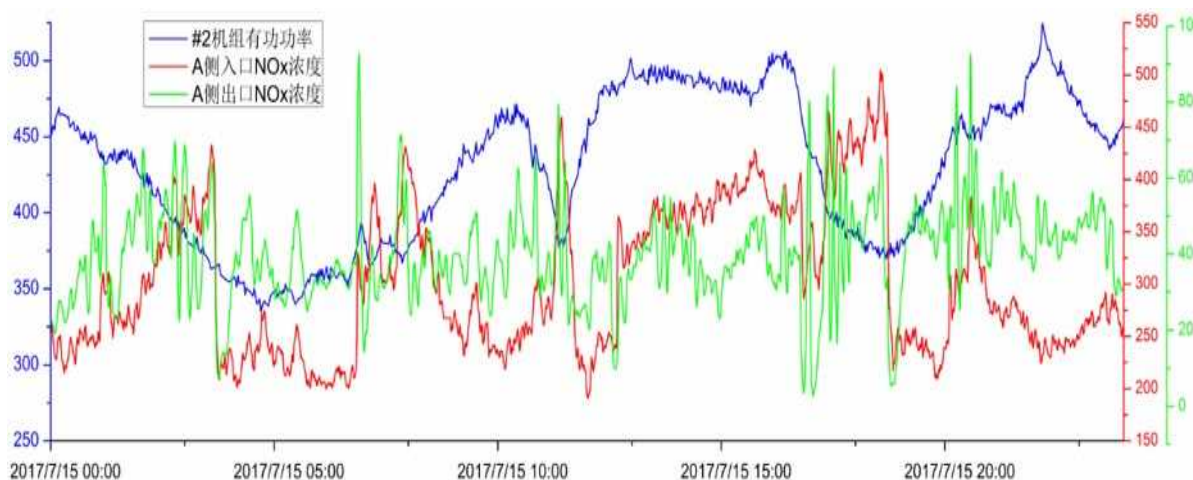
アルカリ性ドライパウダーSO₃脱除システムには、ストレージシステム、計量・フィードシステム、搬送システム、ろ過システム、制御システムと注射システムが含まれる。

四. 应用效果 应用效果



1. 基于NOx浓度预测的分区喷氨优化控制技术

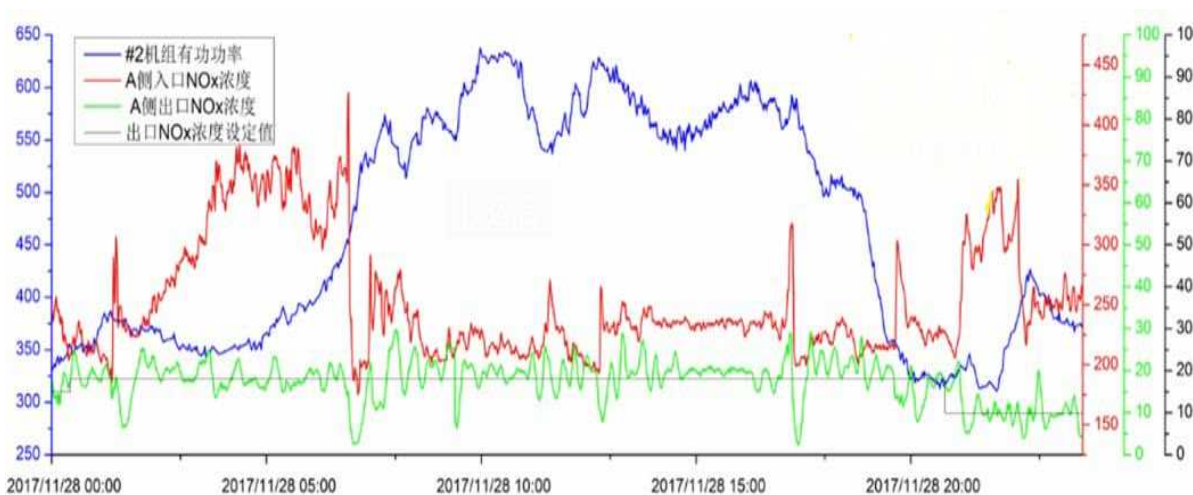
NOx浓度予測に基づく、パーティションアンモニアインジェクション最適制御技術



投运前 運転投入前

出口NOx浓度波动大，瞬时超标显著。

出口Nox濃度のバラツキが大きく、瞬時規格外れが明らかである。



投运后 運転投入後

出口NOx定值控制精度高，出口NOx浓度实测值与设定值的总体平均绝对偏差小

出口NOx値確定制御の精度が高く、出口Nox濃度の実測値と設定値の全体平均の絶対偏差が小さい。

四. 应用效果

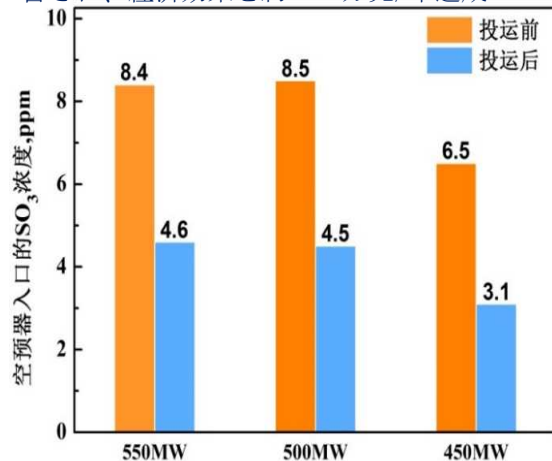
応用効果



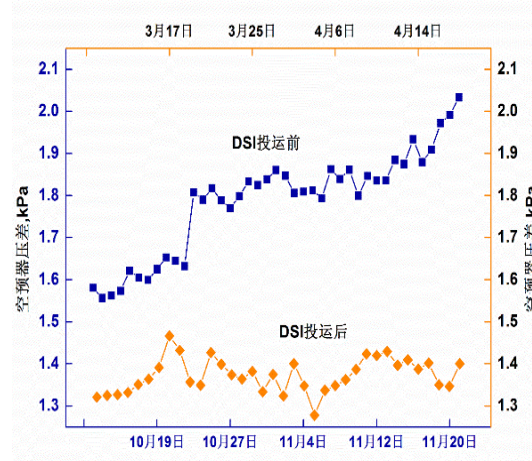
2. 碱性吸附剂喷射SO₃高效脱除DSI技术 アルカリ性吸着剤SO₃噴射、高効率のDSI脱除技術

- ◆ 系统投运后，空预器入口SO₃浓度降低到2.5-5.2ppm，平均值3.85ppm
- ◆ 项目机组(600MW)减少SO₃排放量178吨/年
- ◆ 空预器压差保持在1.5kPa以下
- ◆ 改善了空预器堵塞及因此产生的风机电耗增加、机组限负荷等问题，经济效益约1000万元/年。
- ◆ システム投入運転後、空気予熱器入口のSO₃濃度は2.5-5.2ppmまで下がり、平均値3.85ppm。
- ◆ プロジェクトユニット(600MW)で、SO₃排出量178トン/年低減した。
- ◆ 空気予熱器圧力差の保持は1.5kPa以下。
- ◆ 空気予熱器の詰まり及びこれにより発生するブロー電気消費問題、ユニット負荷制限等問題が改善され、経済効果を約1000万元/年達成

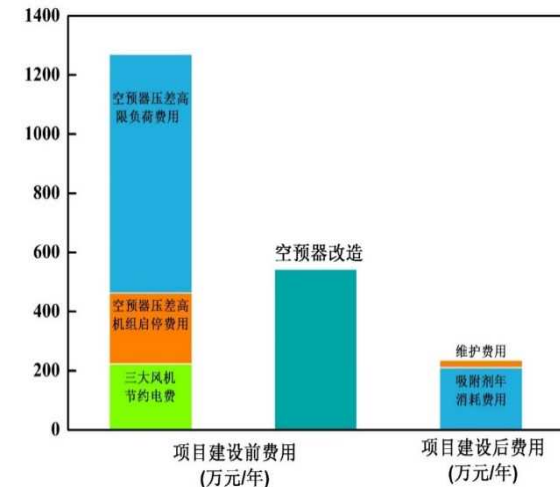
中科院过程所检测报告 中国科学院工程分析測定報告書



系统投运前后SO₃减排效果
システム運転前後のSO₃排出効果



系统投运前后空预器压差变化
システム運転前後の空気予熱器圧力差の変化

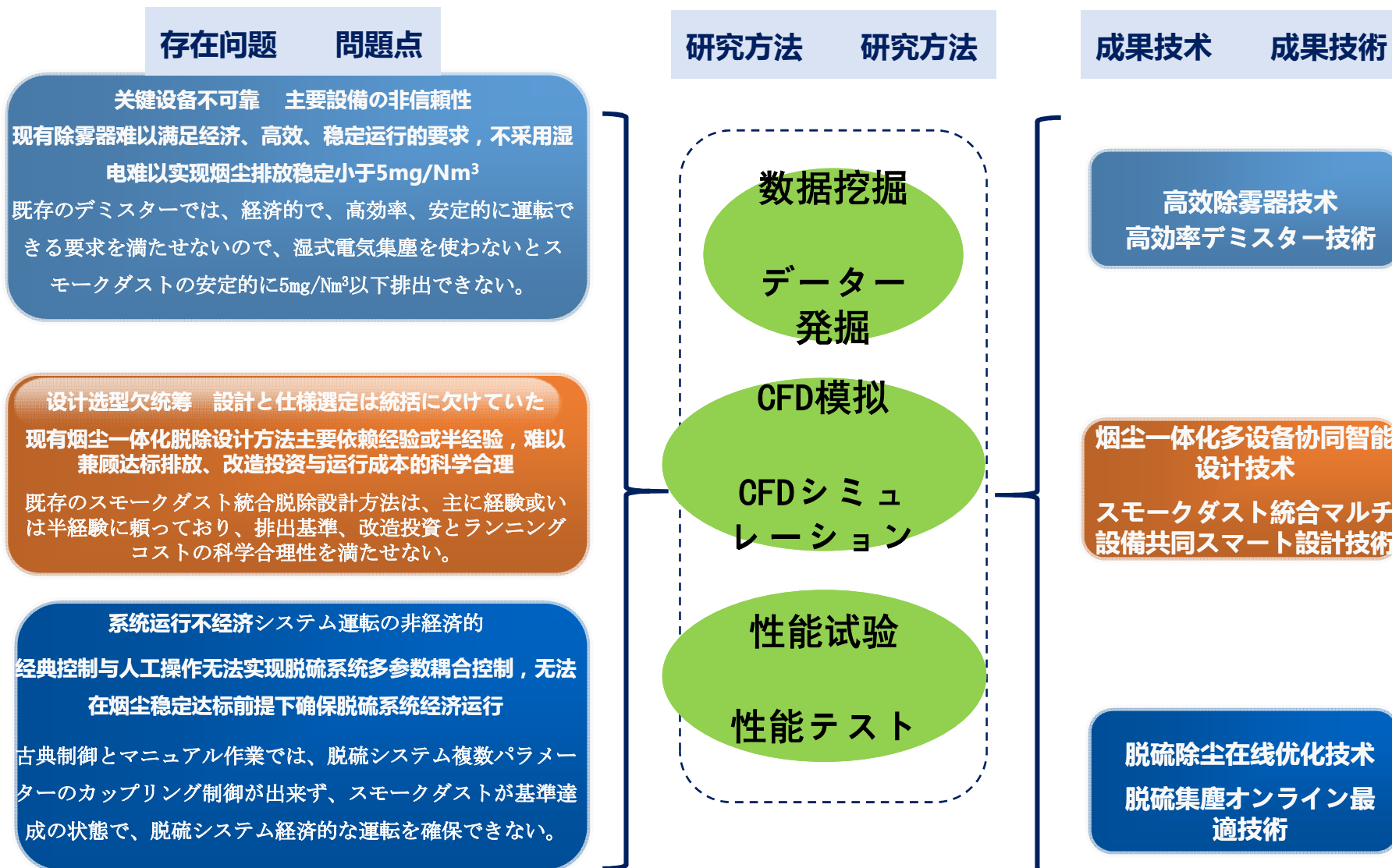


单台600MW机组项目收益
单台600MWユニットのプロジェクト効果

关键技术二 烟尘一体化治理技术

キーテクノロジー二 スモークダスト統合浄化技術

研究思路 研究考え方



二. 关键技术

キーテクノロジー



1. 高效除雾器技术

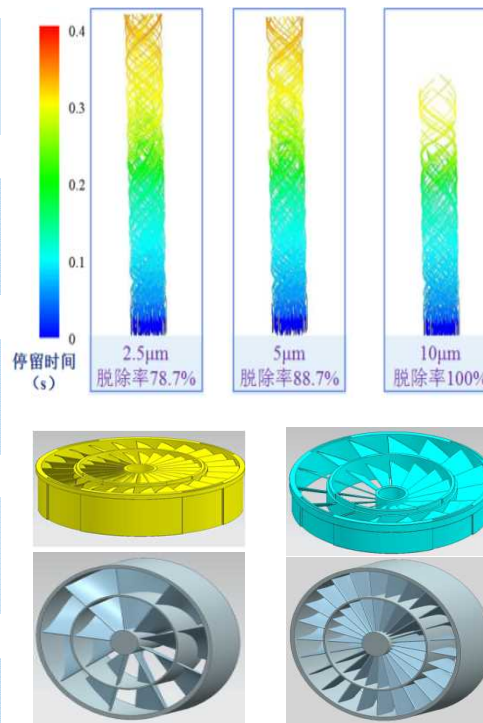
高效率デミスター技術

形成了“流动分区、粒径分级、旋流匹配”的高效除雾器创新设计理论，建立了多目标优化的高效多级旋流除尘流场控制技术，形成了基于多变量自适应的除雾器冲洗技术。为烟尘排放标准 $5\text{mg}/\text{Nm}^3$ 地区提供不采用湿式电除尘器的可靠解决方案。

形成了「流動パーティション、粒径の区分、旋回流マッチング」の高効率のデミスターのイノベーション設計理論が成り立ち、マルチ目標最適化の高効率多段旋回流集塵フローフィールド制御技術構築して、多変量自己適応のデミスター洗浄技術を形成した。スモークダスト排出基準 $5\text{mg}/\text{Nm}^3$ 地区へ湿式電気集塵装置を採用しない事へ信頼できる解決案を提出した。



高效除雾器设计系统框架
高效率デミスター設計システムフレームワーク



高效除雾器数值模拟、3D设计
高效率デミスター数值シミュレーション、3D設計

KYY - DEM高效除雾器性能优势

KYY - DEM高效率デミスター性能のメリット

- ◆ 烟尘脱除效率高
吸收塔入口烟尘浓度 $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，吸收塔出口 $<5\text{mg}/\text{Nm}^3$
- ◆ 宽负荷适应性强
50%-100%的宽负荷，吸收塔出口烟尘浓度 $<5\text{mg}/\text{Nm}^3$
- ◆ 雾滴脱除效果好
吸收塔出口雾滴浓度 $<15\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，消除烟卤“落雨”现象
- ◆ 运行阻力低
运行阻力小于 300Pa ，减少引风机改造投资，降低运行成本
- ◆ 安装高度小
除雾器高 2.3m ，可安装于脱硫塔的现有空间



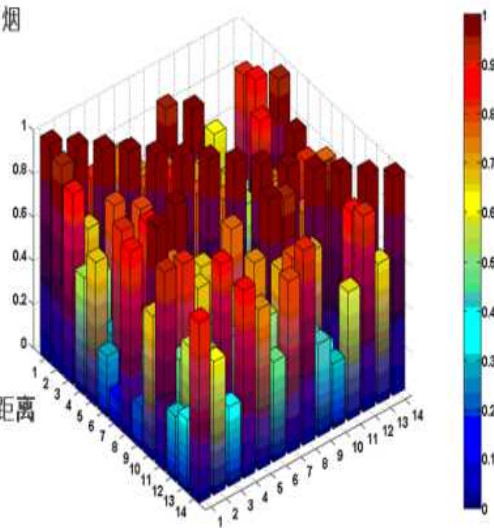
2. 烟尘一体化多设备协同智能设计技术 スモークダスト統合マルチ設備共同スマート設計技術

揭示烟尘一体化协同脱除过程的关键因素影响机理，建立电除尘器与脱硫吸收塔一体化烟尘脱除的智能评估模型，开发数据驱动的烟尘一体化多设备协同设计系统。统筹考虑除尘器、脱硫系统的设计及运行参数对除尘效果的影响，提供最优改造方案。

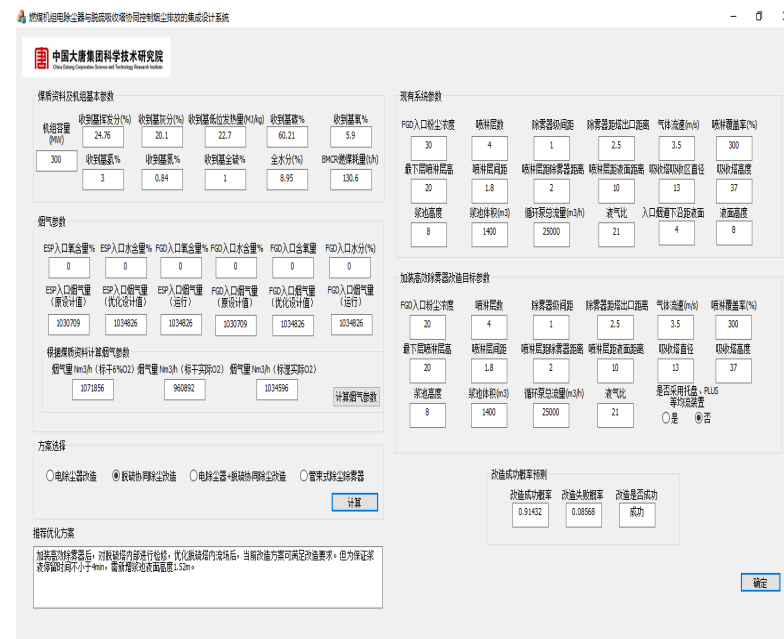
スモークダスト統合共同脱除における重要な要因影響メカニズムを揭示し、電気集塵器と脱硫吸収塔が統合されたスモークダスト脱除のスマート評価モデルを構築し、データ駆動のスモークダスト統合のマルチ設備共同設計システムを開発した。集塵器、脱硫システムの設計及び運転パラメータの集塵効果への影響を統括的に考慮して、最適な改造案を提供する。

影响脱硫吸收塔协同控制烟尘能力的主要因素:

1. 液气比
2. 气体流量
3. 浆池高度
4. 吸收塔高度
5. 循环泵流量
6. 吸收塔直径
7. 除雾器极间距
8. 喷淋层数
9. 喷淋层高度
10. 除雾器距吸收塔出口距离
11. 喷淋覆盖率
12. 入口烟尘浓度
13. 出口SO₂浓度
14. 出口烟尘浓度



影响脱硫塔协同除尘能力主要因素的相关性分析
脱硫塔共同集塵能力に影響する主要要素の相関性分析



烟尘一体化多设备协同设计系统
スモークダストマルチ設備共同設計システム

二. 关键技术 キーテクノロジー

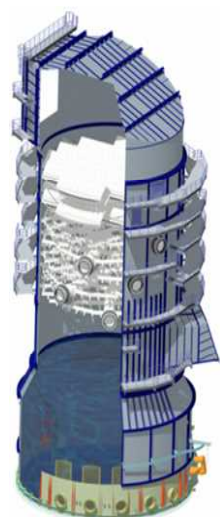


3. 脱硫除尘在线优化技术

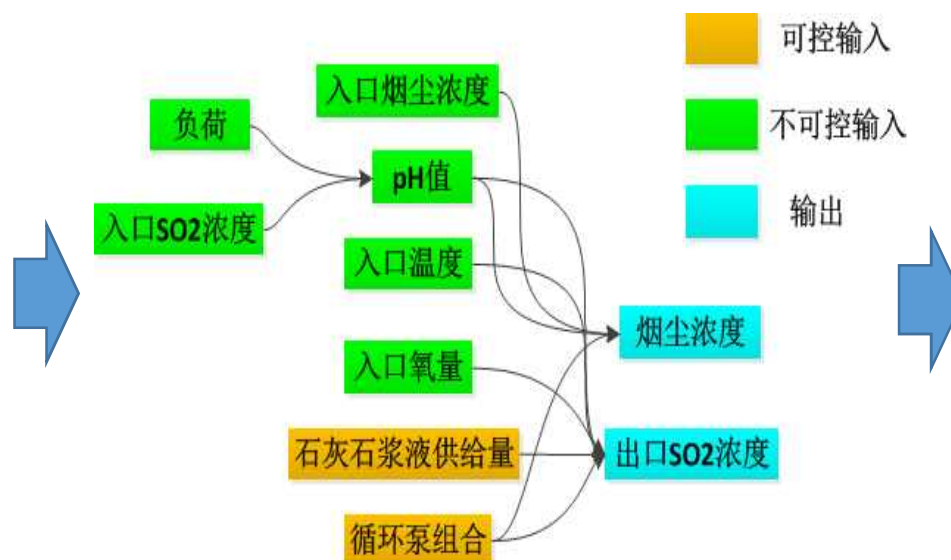
脱硫集塵オンライン最適化技術

创建了基于在线数据挖掘及机器学习方法的脱硫除尘控制策略，提出了可自适应更新、计算准确率高、响应速度快的脱硫除尘动态模型，开发了**脱硫除尘智能在线优化系统**。首次实现了保证烟尘、SO₂稳定达标与经济运行的脱硫系统闭环控制。

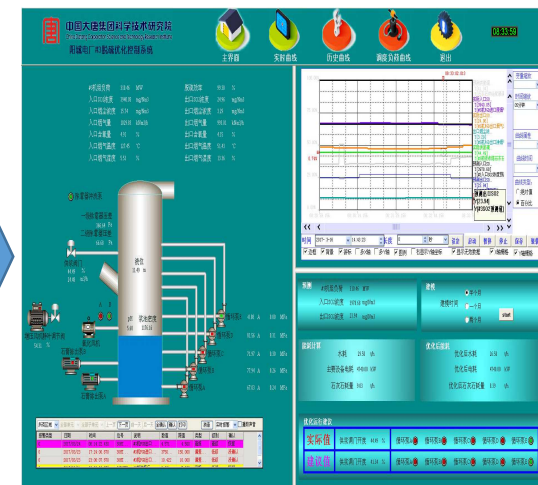
オンラインデータ発掘及び機械学習方法の脱硫集塵制御策略を構築し、自己適応更新、計算正確率の高い、反応速度の速い脱硫集塵ダイナミックモデルを提出し、**脱硫集塵知能オンライン最適化システムを開発した**。初めてスモークダスト、SO₂の安定的な指標達成と経済運転の脱硫システムの閉ループ制御を果たした。



脱硫系统
脱硫システム



脱硫除尘动态模型
脱硫集塵ダイナミック模型



优化系统
最適システム

三. 应用效果 応用効果



1. 高效除雾器技术 高効率デミスター技術

- **环保效果**：宽负荷范围内烟尘<5mg/Nm³，雾滴<15mg/Nm³。
- **環境効果**：広負荷範囲以内のスモークダスト<5mg/Nm³、フォグドロップ<15mg/Nm³。
- **改造投資**：单台机组节约投資1500-2000万元。
- **改造投資費用**：单台ユニットで約投資費用1500-2000万元節約。
- **运维費用**：单台机组降低运行成本230-350万元/年。
- **運轉維持費用**：单台ユニットでランニングコスト230-350万元/年低減した。

采用KYY-DEM除雾器
KYY-DEMデミスター採用

	#1机组	#2机组	#3机组	#4机组	#5机组	#6机组	#7机组	#8机组
SO ₂ (mg/Nm ³)	16.3	13.2	18.3	12.8	113.1	119.3	62.3	103.9
NO _X (mg/Nm ³)	13.3	23.0	38.5	18.0	127.8	116.4	159.4	155.2
烟尘 (mg/Nm ³)	2.6	2.6	2.6	2.8	8.4	8.4	3.9	3.6
负荷 (MW)	309.6	314.9	319.5	300.7	324.9	315.5	572.7	512.2

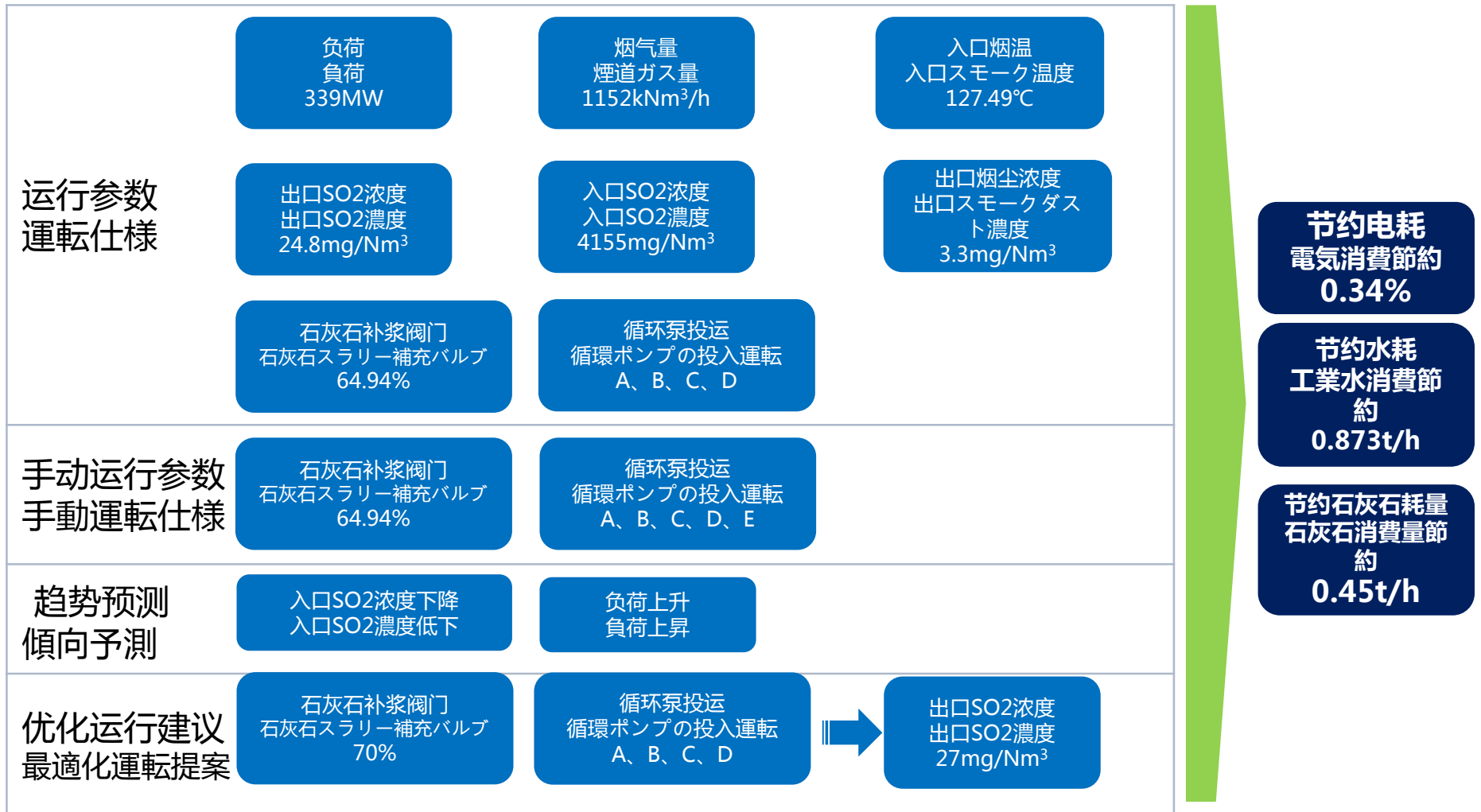
全厂总负荷 2069.3 MW

采用湿式静电除尘器
湿式静電気集塵器の採用

三. 应用效果 応用効果



2. 脱硫除尘在线优化技术 脱硫集塵のオンライン最適化技術



敬请专家批评指正！
ご指摘の程、宜しくおねがい申
し上げます。

