



国家能源集团  
CHN ENERGY

# 火电机组灵活性改造探索与实践

## 火力発電ユニット柔軟性改造の探索と実践

2018年11月



- ▶ 开展火电灵活性背景
- ▶ 火力发电单元柔性研究的开展背景
- ▶ 国家火电灵活性相关政策
- ▶ 国家火力发电单元柔性的関連政策
- ▶ 火电灵活性改造主要技术及实践
- ▶ 火力发电の柔軟性改造の主要技術と実践
- ▶ 火电机组实施灵活性改造策略
- ▶ 火力发电单元的柔軟性改造ストラテジー

## 1. 开展火电灵活性背景

### 1. 火力発電ユニット柔軟性研究の展開背景

#### ❖ 中国可再生能源高速发展

- 2017年全国风电装机容量1.63亿千瓦，太阳能1.3亿千瓦，占总装机容量的16.5%，均居世界第一位。
- 初步估算，“十三五”风电装机增加1亿千瓦以上，太阳能发电装机增加6000万千瓦以上。
- 2020年以后，风电和光伏装机将进一步增加。

#### ❖ 中国再生可能エネルギーの高速発展

- 2017年の全国風力発電ユニットの供給設備容量が1.63億kW、ソーラエネルギーが1.3億kW。総供給設備容量の16.5%を占め、いずれも世界一である。
- 推算によると、「第十三次五カ年計画」期間中、風力発電設備容量が1億kW以上、ソーラエネルギー発電設備容量が6000万kW以上新設。
- 2020年以降、風力発電設備とソーラ発電設備が更に増える。



## 1. 开展火电灵活性背景

### 1. 火力发电ユニット柔軟性研究の展開背景

#### ❖ 可再生能源的消纳受到限制

- 近年来，风电等新能源持续快速发展的同时，遭遇了严重的弃风、弃光问题。
- 2016年平均弃风率17%，平均弃光率20%左右，其中三北地区的弃风占80%。
- 消纳已成为制约风电发展的关键因素。

#### ❖ 再生可能エネルギーの送電能力不足

- ここ数年、風力発電などの新エネルギーは持続かつ急速な発展を遂げている一方、「棄風」や「棄光」という深刻な問題も発生。
- 2016年の平均棄風率が17%、平均棄光率が約20%、うちに三北地域（東北、華北、西北）の棄風率が80%にも達する。
- 風力発電の発展にとって、送電能力不足が既に制限要因となった。





❖ 国家能源局综合司下达《火电灵活性改造试点项目的通知》（2016年6月28日）

通知要求：加快能源技术创新, 挖掘燃煤机组调峰潜力, 提升我国火电运行灵活性, 全面提高系统调峰和新能源消纳能力, 并确定了16个灵活性改造试点项目。

❖ 国家能源局總合司：『火力発電柔軟性改造の試行的プロジェクトに関する通知』を發表（2016年6月28日）

通知の要求：エネルギーの技術革新を加速させ、ピーク時の石炭ユニットの調整の潜在力を掘り出し、我が国の火力発電の柔軟性を向上。システムのピークシフト力を高め、新エネルギーの送電能力不足問題を解決し、16件の柔軟性改造の試行的プロジェクトを確定。

首次提出开展火电灵活性拉开火电机组改造序幕  
初めて火力発電柔軟性の展開を提起し、火力発電ユニット改造の幕を引き上げた

7月28日, 增加了第二批6个灵活性改造试点项目。

7月28日、第二段階の柔軟性改造試行的プロジェクトを六つ追加。



- ❖ 国家发展改革委、国家能源局印发《关于提升电力系统调节能力的指导意见》（2018年3月23日）
  - “十三五”期间，力争完成2.2亿千瓦火电机组灵活性改造，提升电力系统调节能力4600万千瓦。
  - 改造后纯凝机组最小技术出力达到30%~40%额定容量，热电联产机组最小技术出力达到40%~50%额定容量，部分先进电厂机组不投油稳燃时纯凝工况最小技术出力达到20%~30%。
  - 合理确定火电机组有偿调峰深度，并根据系统调节能力补偿火电机组灵活运行的直接成本和机会成本。
  
- ❖ 国家发展改革委员会、国家能源局が『電力システム調整能力の向上に関する指導意見』を印刷、発表（2018年3月23日）
  - 「第十三次五ヵ年計画」期間中、2.2億kWの火力発電ユニット柔軟性改造に取り組み、電力システム調整能力を4600kWほど向上。
  - 改造後の純凝ユニット最小技術出力が定格容量の30%~40%、熱電併給ユニット最小技術出力が定格容量の40%~50%に達した。一部の先進な発電所ユニットにて、石油を使用せずに燃える際の純凝工程状況下での最小技術出力も20%~30%に達した。
  - 火力発電ユニットのピークシフトの基本範囲を超えた際の調整枠を確定し、システムの調整能力に基づいて火力発電ユニットの柔軟性運行による直接コストや機会コストを補う。



### 3. 火电灵活性改造主要技术及实践

### 3. 火力発電の柔軟性改造の主要技術と実践

#### ❖ 纯凝机组深度调峰技术（锅炉侧改造）

通过对锅炉燃烧系统优化升级改造，保证锅炉在超低负荷下能够燃烧稳定，排放达标，提高机组灵活性调峰的能力。

#### ❖ 純凝ユニット深度調整技術（ボイラー側改造）

ボイラーの燃焼システムの最適化・グレードアップによって、ボイラーが超低負荷範囲で安定燃焼と環境保全基準に達する排出を保証する。ユニットのピークシフトの柔軟性を向上させる。

#### ❖ 供热机组热电解耦技术（汽轮机侧改造）

采用多种技术改造方式，保证冬季在同等电负荷下提高供热能力。（在不影响供热的情况下降低发电负荷）

#### ❖ 熱供給ユニット熱電変換技術（蒸気タービン側の改造）

さまざまな技術改造方式を採用し、冬に同等の電気負荷の下で熱供給能力を高めることを保証する。（熱供給に影響を与えずに発電の負荷を下げる）

#### ❖ 低负荷协调控制优化技术（热控系统改造）

对常规机组的AGC及协调控制系统进行优化，保证在50%以下负荷能够满足机组调节要求。

#### ❖ 低負荷の調整制御最適化技術（熱制御システムの改造）

通常ユニットのAGCおよび調整制御システムを最適化し、50%以下の負荷でプラントの調整要件を満たすことを保証する。



国家能源集团  
CHN ENERGY

### 3. 火电灵活性改造主要技术及实践 3. 火力発電の柔軟性改造の主要技術と実践

锅炉侧改造技术  
ボイラー側の改造技術

- 制粉系统动态分离器  
製粉システムのダイナミックセパレーター
- 增加微油点火系统  
マイクロオイル点火システムの増加
- 增加水冷壁壁温监测  
水冷壁の温度監視の増加
- 富氧燃烧技术  
酸素富化燃焼技術
- 提升脱硝入口烟温技术  
脱硝入り口の排煙温度技術の向上

汽轮机改造技术  
蒸気タービンの改造技術

- 低真空改造技术  
低真空改造技術
- 储热罐技术  
蓄熱槽改造技術
- 汽轮机旁路供热技术  
蒸気タービンのバイパス熱供給技術
- 低压缸切除供热技术  
低圧シリンダ切除熱供給技術

热控系统改造技术  
熱制御システムの改造技術

- 给水泵小流量控制  
給水ポンプの小流量制御
- 汽动给水泵汽源切换  
蒸気タービン駆動給水ポンプ蒸気源スイッチ
- 协调控制系统优化  
調整制御システム最適化

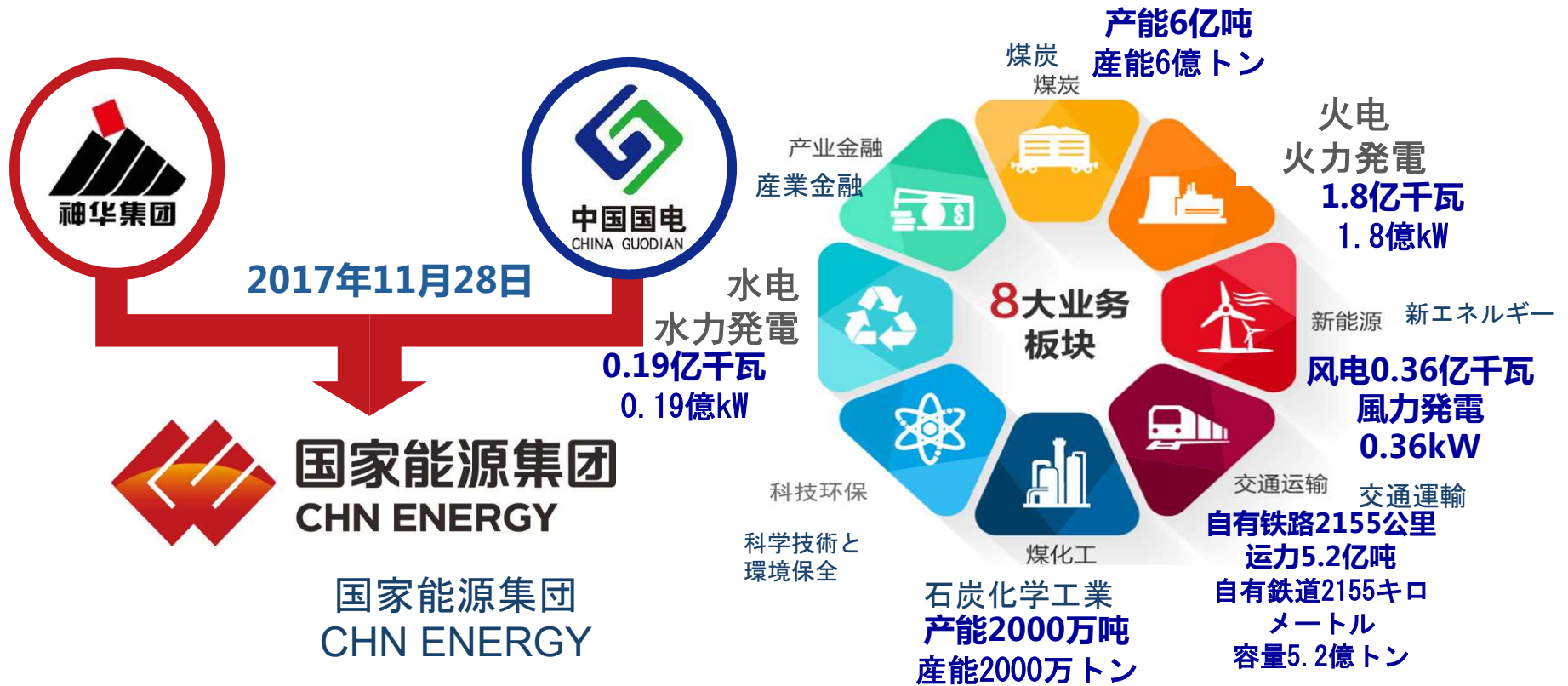
国家能源集团火  
电厂灵活性改造  
采用技术  
国家能源集团的  
火力発電所の柔  
軟性改造技術





国家能源集团  
CHN ENERGY

### 3. 火电灵活性改造主要技术及实践 3. 火力発電の柔軟性改造の主要技術と実践



**2017年11月28日，国家能源集团正式挂牌成立**

2017年11月28日、国家能源集团（国家エネルギーグループ）

は正式的に開業成立



### 3. 火电灵活性改造主要技术及实践 3. 火力発電の柔軟性改造の主要技術と実践

#### 重点火电厂的灵活性改造 重点の火力発電所の柔軟性改造

- 截至2018年10月底，电力总装机2.35亿千瓦。
- 火力发电总装机1.797亿千瓦，占全国的15%左右，是全球最大的火力发电公司。
- 成立火电产业运营管理中心，统一管理集团火电企业生产。
- **东北区域**是集团公司实施火电灵活性改造的重点区域。
- 2018年10月の末まで、発電総容量は2.35億kW
- 火力発電総容量1.797億kWで、全国の15%を占め、世界最大の火力発電会社である。
- **火力発電産業運営管理センター**を成立し、グループの火力発電企業の生産を管理する。
- **東北地方**はグループの火力発電の柔軟性改造に重点を置く区域である。





### 3. 火电灵活性改造主要技术及实践

### 3. 火力発電の柔軟性改造の主要技術と実践

单位名称 発電所名	机组容量 発電ユニット容 量	改造前调峰深 度 改造前のピー クシフト深度	改造后调峰深 度 改造後のピー クシフト深度	采用的主要技术 採用した主要技術	备注 備考
庄河发电厂 莊河発電所	600MW×2	50%ECR	30%ECR	省煤器给水旁路、燃烧优化、增加壁温测点、 协调控制优化 エコノマイザ給水バイパス、燃焼最適化、 壁温測定ポイントの増加、調整制御の最適 化	纯凝机组 蒸気凝縮 ユニット
大连开发区热电厂 大連開発区火力発電 所	350MW×2	50%ECR	20%ECR	汽轮机低真空改造、旁路供热系统 蒸気タービン低真空改造、バイパス熱供 給システム	供热季负荷 熱供給季節の負 荷
江南热电厂 江南火力発電所	330MW×2	60%ECR	40%ECR	储热罐、汽轮机旁路供热系统 蓄熱槽、蒸気タービンバイパス熱供給シ ステム	供热季负荷 熱供給季節の負 荷
石嘴山发电厂 石嘴山火力発電所	330MW×2	50%ECR	25%ECR	富氧燃烧 酸素富化燃焼	纯凝工况 蒸気凝縮 ユニット 稼働状況
延吉热电厂 延吉火力発電所	200MW×2	60%ECR	33%ECR	汽轮机切除低压缸改造 蒸気タービン切除低圧シリンダ改造	供热季负荷 熱供給季節の負 荷
双辽发电厂 双遼火力発電所	330MW×4	50%ECR	30%ECR	增加微油点火、启停调峰优化 マイクロオイル点火増加、起動作業と停 止作業でピークシフトの最適化	进行启停调峰 起動作業と停止 作業でピークシ フトする
	600MW×1	50%ECR	40%ECR	燃烧优化、协调控制优化 燃焼最適化、調整制御最適化	

国家能源集团重点火电厂灵活性改造情况  
国家能源集团の重点の火力発電所の柔軟性改造状況



国家能源集团  
CHN ENERGY

## 3. 火电灵活性改造主要技术及实践

### 3. 火力発電の柔軟性改造の主要技術と実践

#### (1) 庄河发电厂

#### 莊河発電所

- 2016年6月28日，国家能源局确定为第一批火电灵活性试点单位  
2016年6月28日、国家能源局に初めての火力発電柔軟性試行機構の一つと定めた
- 2017年，机组深度调峰（30%额定负荷）超过1000小时。  
2017年、ユニット深度ピークシフト（30%定格負荷）は1000時間超え。
- 2016年、2017年连续两年调峰补偿收益超过1亿元。  
2016年、2017年連続でピークシフトの補償収益1億元超え。



#### 设备简介：

- 2×600MW超临界纯凝发电机组。
- 锅炉为哈锅制造，前后墙对冲旋流燃烧器布置。
- 设计燃用烟煤。
- 設備紹介
- 2x600MW超臨界蒸気凝縮発電ユニット
- ボイラーはハルビンボイラー工場製造で、前後スクリーン壁対向サイクロンバーナー型
- 燃烧用瀝青炭の設計



国家能源集团  
CHN ENERGY

## 3. 火电灵活性改造主要技术及实践

### 3. 火力発電の柔軟性改造の主要技術と実践

#### (1) 庄河发电厂 莊河発電所

#### 锅炉側 ボイラー側

##### ➤ 燃烧优化、增加壁温测点

在屏过、末过、高再以及省煤器悬吊管等处增加壁温测点，确保高温管段每屏至少一个测点，监督锅炉受热及水动力情况。

改造前的深调工况下，水冷壁超温频繁，部分垂直水冷壁超温达到50~100℃，同时水冷壁超温时温升速率最高达到27℃/min（标准为不超过5℃/min），改造后水冷壁超温现象大幅度减少。

##### ➤ 燃烧の最適化、壁温のセンサーを増加

板形過熱器、最終過熱器、高温再熱器及びエコノマイザサスペンションチューブなどで壁温センサーを増加し、高温管部分ごとに少なくとも測定ポイント一つを保証し、ボイラーの伝熱と水動力の状況を監視する。

改造前の深度調整の稼働状況のもとで、水冷壁の過熱状況が頻繁になり、一部の垂直水冷壁の過熱は50~100℃まで達すると同時に、温度の上昇率は最大27℃/min（標準は5℃/分間に超えない）に達した。改造後の水冷壁の過熱現象が大幅に減少した。

##### ➤ 省煤器给水旁路

锅炉2016年前已经进行了烟气旁路的改造，使机组负荷成功降至200MW。2017年又增加了省煤器给水旁路，深调工况下脱销入口烟温提高8~10℃，最终成功将机组负荷降至180MW。

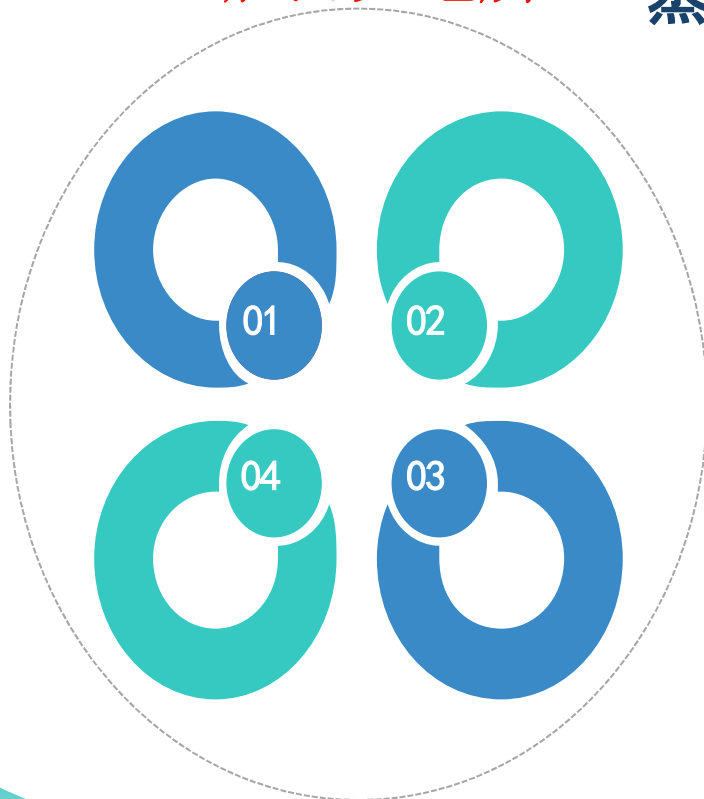
##### ➤ エコノマイザ給水バイパス

2016年前すでにボイラーの排煙バイパスの改造を行った。ユニットの負荷を200MWに低下し、2017年、エコノマイザ給水バイパスを増加した。深度調整の稼働状況で、脱硝入り口の排煙温度を8℃~10℃に高め、最終的にユニットの負荷を180MWまで低下した。



### 3. 火电灵活性改造主要技术及实践 3. 火力発電の柔軟性改造の主要技術と実践

#### (1) 庄河发电厂 莊河発電所



#### 汽轮机侧 蒸気タービン

1

征询汽轮机制造厂意见，确认汽轮机主机可满足180MW负荷下长期运行需求。

- 蒸気タービン工場の意見を聞き、蒸気タービンの本体が180MWの負荷で長期稼働することを確保する

2

循环水泵变频运行控制循环水量，确保最佳真空，避免低压胀差超过限值。

- 循環ポンプのインバータ運行で循環の水量をコントロールし、最適な真空環境を確保し、低気圧の膨張差が限界を超えることを避ける

3

监视辅汽联箱压力，确保低负荷期间轴封供汽压力、温度正常。

- 補助蒸気ボックスの気圧を監視し、低負荷期間中シール蒸気の気圧と温度の正常を確保する

4

机组停运后对末级叶片进行检查，验证汽轮机长时间低负荷运行安全性。

- ユニット稼働停止後、ファイナルブレードを検査し、蒸気タービンの長時間・低負荷稼働の安全を検証する



# 3. 火电灵活性改造主要技术及实践

## 3. 火力発電の柔軟性改造の主要技術と実践

### (1) 庄河发电厂

### (1) 庄河発電所

### 辅助设备 補助設備

汽泵、汽动引风机汽源  
スチームポンプ、スチーム誘引  
送風機の蒸気源

01

汽动给水泵、汽动引风机备用汽源增设疏水阀，确保备用汽源的可靠，能够实现随时投运。

スチーム誘引給水ポンプとスチーム誘引送風機のスペア蒸気源にトラップを増設し、スペア蒸気源が頼りになるよう確保し、随時に投入運営を実現する。

给水泵  
給水ポンプ

02

深度调峰时，为保证两台汽泵不发生抢水，开启再循环门。注意开再循环调整门时要缓慢，每次调1%。同时严密监视小机转速不低于3100rpm，避免跳出遥控给水自动失灵。

深度のピークシフトの時は、二台のスチームポンプが水を奪い取らないよう、再循環調整扉をオープンする。その都度1%ごとにゆっくりとオープンするよう注意すると同時に、小型機械の回転速度を3100rpm以上にモニタリングし、リモコン給水に外れて動かなくなることを避ける。

凝泵  
凝縮液ポンプ

03

在低负荷阶段对凝结泵变频转速、除氧器水位等加强监视，必要时适当关小除氧器上水辅调门控制除氧器水位。确保凝泵出口压力在1.1MPa左右，给水泵密封水压力正常。

低負荷段階に凝縮液ポンプのインバーター回転速度、脱酸素機械の水位などへのモニタリングを強化し、必要な時は、脱酸素機械の給水補助調整扉を調整し、水位をコントロールする。凝縮液ポンプの出口圧力は1.1MPa前後に確保し、給水ポンプの封水圧力を正常値に確保する。

小机轴封  
小型機械シャフトシール

04

调峰时注意监视汽动引风机轴封供汽压力，轴封供汽压力正常为10kPa，轴封供汽调整门应有20-30%的开度余量，必要时开启辅汽供引风机调整门，投入辅汽供引风机汽源。

ピークシフトの時は、スチーム誘引送風機のシャフトシール蒸気供給の圧力をモニタリングし、その正常値は10kPaであり、シャフトシール蒸気供給の調整扉は20-30%の調整幅を確保すべきである。必要な時は、補助蒸気誘引送風機の調整扉をオープンし、補助蒸気誘引送風機の蒸気源を投入する。

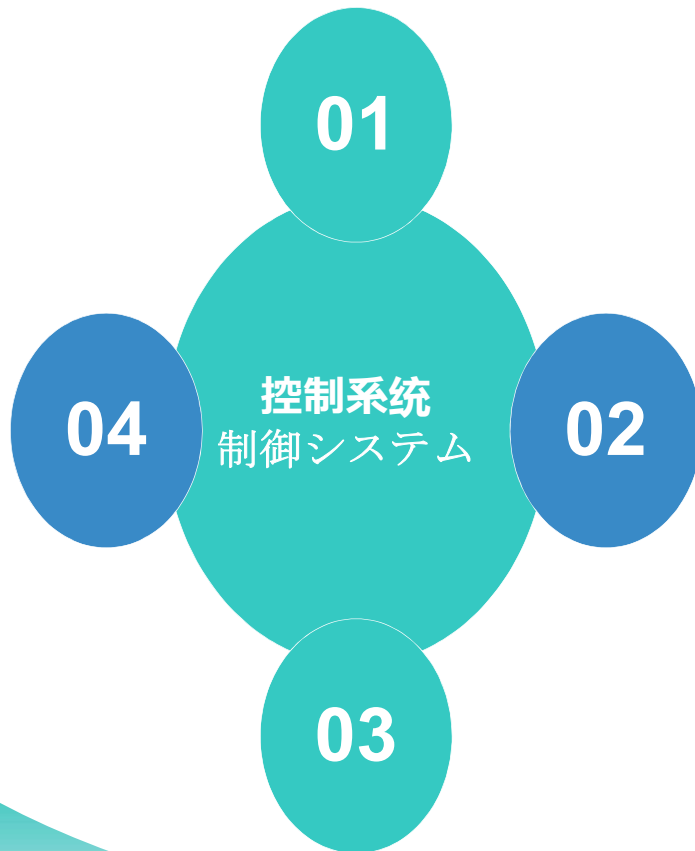


## 3. 火电灵活性改造主要技术及实践

### 3. 火力発電の柔軟性改造の主要技術と実践

(1) 庄河发电厂

(1) 莊河発電所



#### 协调控制优化 協調制御の最適化

1. 扩展协调系统下限，确保锅炉主控、给水自动在30%负荷深度调峰期间无调节限制。  
協調システムの最低限を広げ、30%の深度ピークシフト期間中、ボイラーマスターと自動給水の制限なし調整を確保する。
2. 自主研发锅炉能量动态变化自动检测系统。提前3-4分钟发现能量变化需求，提前调整，保证协调控制的及时性。  
ボイラーのエネルギーの動的変化を自動検出システムを独立研究開発を行う。エネルギー変化の需要を3 - 4min繰り上げて検出し、調整し、協調制御の適時性を確保する。
3. 应用热量平衡原理控制方案，解决全烧设计煤种、掺烧褐煤、全烧褐煤控制的统一性、适应性问题。  
熱収支の原理制御提案を活かし、完全燃焼型石炭、ブレンド亜炭、完全燃焼型亜炭の制御の統一性と適応性を対応する。
4. 自主完成省煤器水旁路控制逻辑设计，针对30%负荷工况特点，设立完整在线监控及安全保护。  
エコノマイザの水バイパス制御ロジック設計を独立完成し、30%負荷の作業条件という特徴に応じて、完全なオンラインモニタリング及びセキュリティ確保を設立する。



# 3. 火电灵活性改造主要技术及实践

## 3. 火力発電の柔軟性改造の主要技術と実践

### (1) 庄河发电厂

#### (1) 莊河発電所

##### ➤ 实施效果

机组可长时间在180MW（30%额定负荷）下稳定运行

四年间累计为新能源腾让发电空间近10亿千瓦时，减少标煤消耗约30万吨。减少CO<sub>2</sub>排放80万吨，烟尘5万吨，SO<sub>2</sub> 800余吨；NO<sub>x</sub>500余吨。

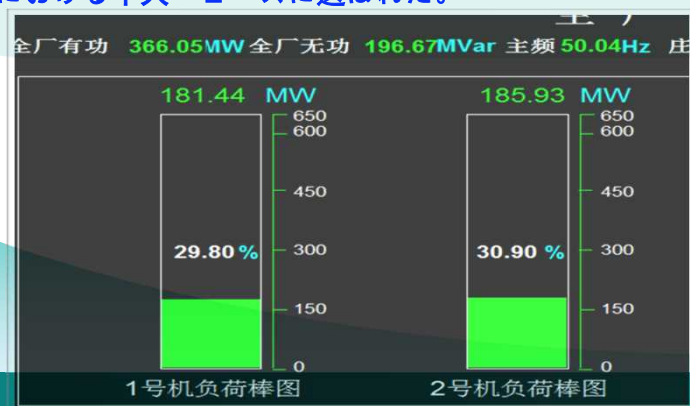
2017年至今已陆续接待190余家发电单位，430多人次的参观学习，灵活改造、灵活调峰、灵活发展的调峰经验已经走向全国。庄电公司灵活性改造“技术与经济齐飞”入选2017年火电行业十大新闻。

##### ➤ 实施效果

ユニットは180MW（30%定格負荷）で長時間にわたって安定稼働可能。

四年間で新エネルギーに累計10億kWほどの発電量の幅を創出し、標準石炭の消費量は約30万トン減少した。CO<sub>2</sub>、煙とほこり、SO<sub>2</sub>、No<sub>x</sub>それぞれの排出量は80万トン、5万トン、800トン、500トン減少した。

2017年から今まで、190あまりの発電所を招待し、430人もの見学活動を組織してきた。改造、ピークシフト、発展に柔軟性のあるピークシフト経験を持ち、更に全国に広げていく。莊電会社の柔軟性改造「技術と経済の両立」は2017年火力発電業界における十大ニュースに選ばれた。



## 3. 火电灵活性改造主要技术及实践

### 3. 火力発電の柔軟性改造の主要技術と実践

#### (2) 大连开发区热电厂

#### (2) 大連開発区火力発電所

- 2016年11月，#1机组完成低真空供热改造。
- 2017年11月，#2机组完成高低压旁路供热改造。
- 2017年12月23日，#2机组在旁路供热160t/h工况下，机组负荷将至70MW。
- 2016年11月、#1ユニットは低真空熱供給改造を完成済み。
- 2017年11月、#2ユバイパスの熱供給改造を完成済み。
- 2017年12月23日、#2ユニットはバイパス熱供給160 t/hの作業条件で、ユニットの負荷は70MWになった。

#### 设备简介：

- 2×350MW超临界供热机组。
- 锅炉是哈尔滨锅炉厂制造的HG-1125/25.4-HM2 型超临界锅炉。
- 汽轮机是北重汽轮机有限责任公司设计制造的NC350-24.2/566/566型超临界、一次中间再热、单轴、双缸双排汽、湿冷、双抽汽凝汽式汽轮机。

#### 設備について：

- 2×350MW超クリティカル熱供給ユニット。
- ボイラーはハルビンボイラーメーカーによって製造したHG-1125/25.4-HM2型の超クリティカルボイラーである。
- タービンは北重汽輪電機有限責任公司によって設計製造されたNC350-24.2/566/566型超クリティカル、一回中間再熱、単一軸、ダブルシリンダー・二重蒸気排出、湿式冷却、二重蒸気抽出・二重蒸気凝縮などの特性を持つタービンである。





### 3. 火电灵活性改造主要技术及实践 3. 火力発電の柔軟性改造の主要技術と実践

(2) 大连开发区热电厂

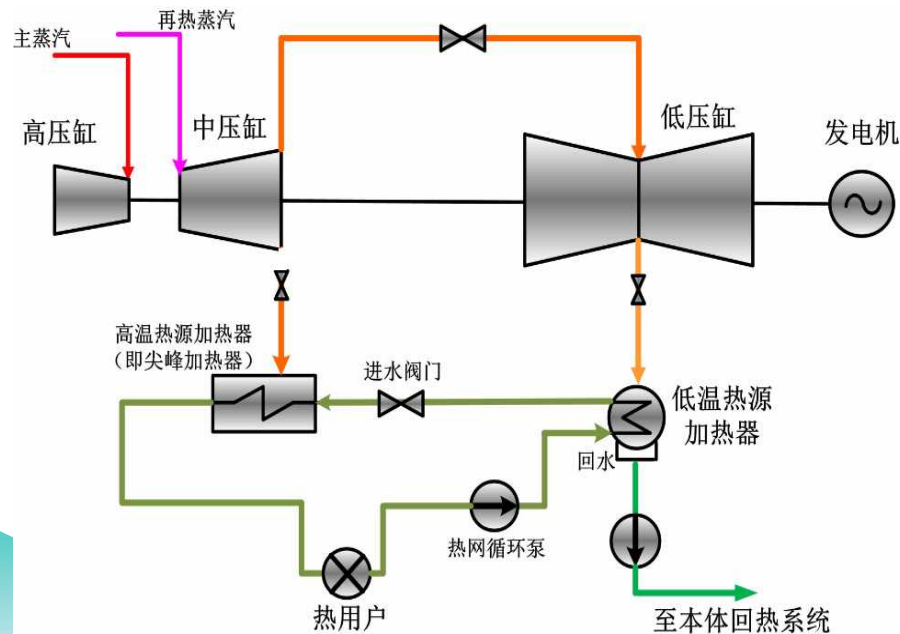
(2) 大连开发区火力発電所

#### 汽轮机低真空供热改造

更换全新低压缸转子，并对凝汽器、凝结水精处理系统、循环水系统进行改造，热网加热器进行扩容改造。

#### タービン低真空の熱供給改造

新しい低压シリンダーローターに変更した上、更に蒸気凝縮器、凝縮水の仕上げ処理システム、循環水システム向けの改造を行い、加熱ワークのヒーター向けの容量拡張改造を行った。



低真空改造可使机组在保证供热量不变的情况下降低机组电负荷。

#1机组低真空改造后，机组供热量范围658GJ/h~1050GJ/h，机组负荷调整范围150MW~250MW，机组供电煤耗降低至145g/kWh。

低真空改造を通じ、熱供給の量を確保する上で、ユニットの電気負荷を低減できる

#1ユニット低真空改造後、ユニットの熱供給の量は658GJ/h~1050GJ/hとなり、ユニット負荷の調整範囲は150MW~250MWとなり、ユニットの熱供給の石炭消費は145g/kWhに低下した。

# 3. 火电灵活性改造主要技术及实践

## 3. 火力発電の柔軟性改造の主要技術と実践

### (2) 大连开发区热电厂

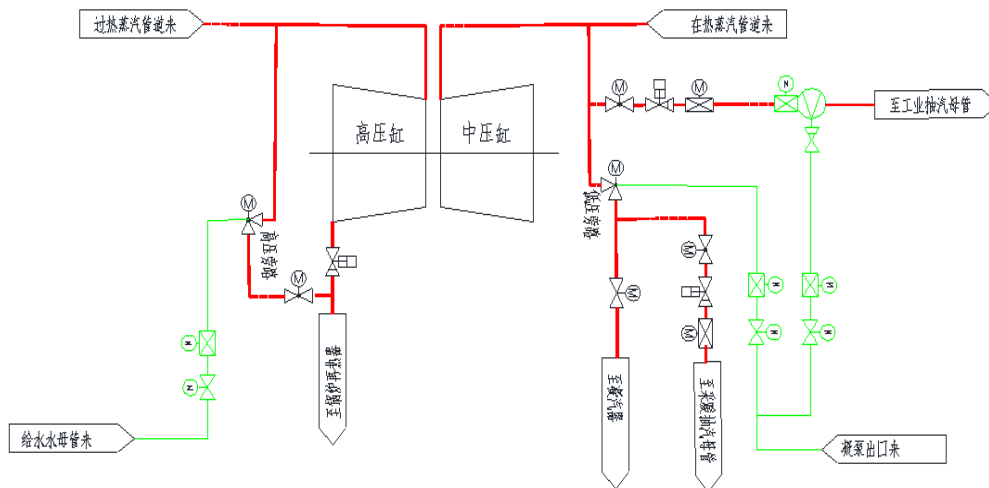
### (2) 大連開發區火力發電所

#### ➢ 汽轮机旁路供热改造

利用原高压旁路和低压旁路以使其满足供热抽汽需求，并在高压旁路前、低压旁路后设置电动截止阀(电动球阀)。供热抽汽取自低压旁路阀后的旁路管道。

#### ➢ タービンのバイパス熱供給改造

元の高压バイパスと低压バイパスを利用し、それを熱供給の蒸気抽出需要に満たさせる同時に、高压バイパスの前と低压バイパスの後ろに電気遮断弁(電動ボールバルブ)を設置する。熱供給の蒸気抽出は低压バイパスバルブの後ろのバイパスパイプから取ることになる。



在深度调峰情况下，为了保证该机组正常采暖用汽，可通过汽机高、低压旁路将高温高压蒸汽逐级减温减压后，供给热网加热器，提高供热能力。

需对深度调峰与高低旁路逻辑进行改造优化，兼顾汽轮机安全运行与火电调峰。

深度ピークシフトの場合では、当ユニットが正常な暖房獲得と蒸気消費を確保するために、蒸気タービンの高低圧バイパスを利用し、高温高压蒸気への段階的な冷却と減圧を通じて熱網ヒーターに供給し、熱供給能力を向上する。

深度ピークシフトと高低圧バイパスロジックに対し改造と最適化を行い、タービンの安全稼働と火力発電ピークシフトを両立する。

旁路供热特点  
バイパス熱供給の特徴



国家能源集团  
CHN ENERGY

### 3. 火电灵活性改造主要技术及实践 3. 火力発電の柔軟性改造の主要技術と実践

(2) 大连开发区热电厂

(2) 大連開發区火力発電所

改造效果  
改造效果

- #2机组改造后采用旁路供热工况下，机组负荷可以降低至70MW（20%额定负荷）。
- 机组在70MW热电解耦工况，汽轮机推力轴瓦及机组膨胀满足运行安全限值；汽轮机回热系统运行正常；锅炉燃烧稳定，环保参数超低达标排放。
- 在满足1300万m<sup>2</sup>供热需求的情况下，两台机组的总负荷可以调整至320MW（负荷率45.7%）。
- # 2ユニット改造後、バイパス熱供給の作業条件で、ユニットの負荷は70MWに低下した。（20%定格負荷）
- ユニットは70MW熱電解カップリングの作業条件で、タービンのスラストベアリング及びユニット拡張は稼働安全制限に満たす。タービンの熱再生システムの正常稼働、ボイラーの安定燃焼、環境保護パラメータの超低コンプライアンス排出などができる。
- 1300万m<sup>2</sup>の熱供給需要に満たす上で、二台ユニットの総負荷は320MWに調整できる（負荷率45.7%）





国家能源集团  
CHN ENERGY

## 3. 火电灵活性改造主要技术及实践

### 3. 火力発電の柔軟性改造の主要技術と実践

#### (3) 吉林江南热电厂

#### (3) 吉林江南火力発電所

- 2016年6月28日，国家能源局确定为第一批火电灵活性试点单位。
- 2017年11月，#2机组完成储热罐系统改造。
- 2017年11月，#2机组完成高低压旁路供热改造。
- 2016年6月28日、国家能源局によって第一陣火力発電柔軟性のパイロット発電所に認定された。
- 2017年11月、#2ユニットは熱貯蔵タンクのシステム改造を完成済み。
- 2017年11月、#2ユニットは高低圧バイパスの熱供給システムを完成済み。

#### 设备简介：

2×300MW亚临界供热机组，分别于2010年、2011年投产。

➢汽轮机为哈尔滨汽轮机厂生产的亚临界、一次中间再热、两缸两排汽、抽凝式汽轮机，型号为G256/N300-16.7/538/538。

➢锅炉为哈尔滨锅炉厂制造，亚临界、自然循环单炉膛、一次中间再热、摆动燃烧器调温、平衡通风，四角喷燃、紧身封闭，固态排渣、全钢架悬吊结构，型号为HG-1100/17.5-HM。

#### 設備について：

➢2×300MW亜クリティカル熱供給ユニットはそれぞれ2010年、2011年に生産投入を開始した。

➢タービンはハルピンタービンメーカー製のG256/N300-16.7/538/538型の亜クリティカル、一回中間再熱、ダブルシリンダー・二重蒸気排出、蒸気抽出・蒸気凝縮式のタービンである。

➢ボイラーはハルピンボイラーメーカーによって製造されたHG-1100/17.5-HM型ボイラーであり、亜クリティカル、自然循環単一火袋、一回中間再熱、スイングバーナーサーモスタット、バランスのとれた換気、四隅スピットファイア、タイトクローズド、個体スラグ排出、全体スチールフレームサスペンション構造などの特徴を持つ。



### (3) 吉林江南热电厂 吉林江南火力発電所

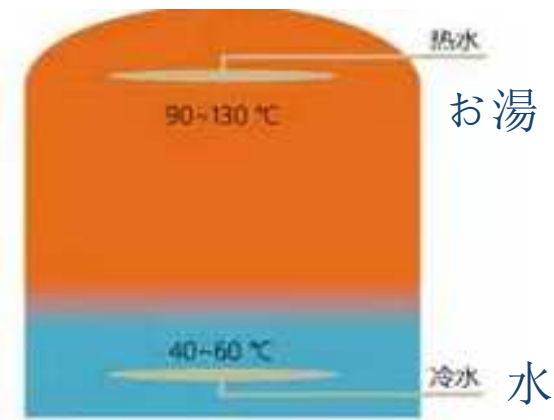
#### ➤ 储热罐系统改造

#### ➤ 蓄熱器システム改造

增加一个有效容积为22000m<sup>3</sup>的常压储热罐，并对热网循环水系统进行改造。在储热阶段，储热罐相当于一个热用户，存储富余热量。放热阶段时，储热罐相当于一个热源，弥补不足的供热负荷。

有効容積22000m<sup>3</sup>の常圧蓄熱器を増加し、熱供給網循環水システムを改造する。蓄熱段階では、蓄熱器は熱ユーザーに相当して余裕の熱量を貯蓄する。放熱段階の時、蓄熱器は熱源に相当して不足の加熱負荷を補足する。

常压热水储热罐主要设计参数  
常圧お湯蓄電器のデザイン仕様書

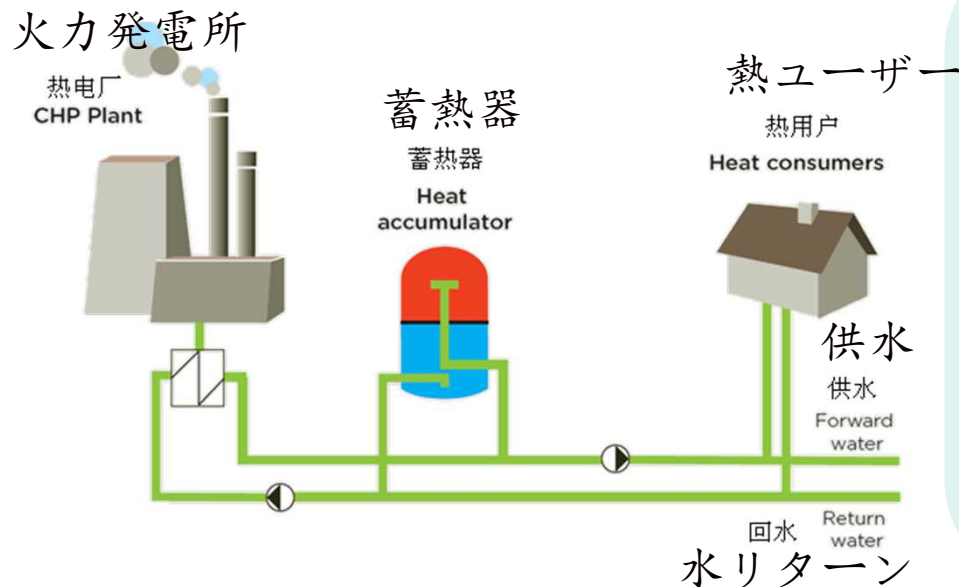


序号 番号	项目 項目	单位 単位	数值 数値
1	罐体设计温度 タンクの設計温度	°C	98
2	罐体设计压力 タンクの設計圧力	kPa	1.5
3	设计真空度 設計真空度	kPa	-0.49
5	介质有效容积 媒質有効容積	m <sup>3</sup>	22000
6	罐直径 タンク直径	m	26
7	罐壁总高 タンク壁の高さ	m	44
8	罐体总高 タンクの高さ	m	45.838
10	顶部形式 上部の形	-	拱形 アーチ型

## 3. 火电灵活性改造主要技术及实践

### 3. 火力発電の柔軟性改造の主要技術と実践

#### (3) 吉林江南热电厂 吉林江南火力発電所



#### 蓄熱器特徴

当热电机组降低出力时，储热罐输出热量补齐热力缺额；当热电机组增加出力时，向储热罐储存富裕热量，实现“热电解耦”运行。储热罐技术利用水的显热将热量存储到储热罐内，通常采用常压或承压式。

火力発電ユニットの出力が下がる時、蓄熱器は熱量を輸出して熱力の不足を補足する。火力発電ユニットの出力が上がる時、蓄熱器で余裕の熱量を貯蓄して「熱電変換」の運行を実現する。蓄熱器技術は水の顯熱を利用し熱量を蓄熱器に貯蓄する。通常は常圧またプレッシャー式を採用する。

- 在储热罐满水的况下可以对外热6h，机组负荷降低60MW。
- 蓄熱器は満水の場合対外加熱6h、ユニットの負荷は60MWを減少する。

#### 改造效果 改造效果

- 有足够的富余供热量和储热时间来对储热罐进行储热。
- 与原供热热网压力的匹配。
- 蓄熱器の蓄熱には十分の余剰加熱量と時間がある。
- 元の熱供給網の圧力とマッチングする。

#### 注意事项 注意事項





### 3. 火电灵活性改造主要技术及实践

### 3. 火力発電の柔軟性改造の主要技術と実践

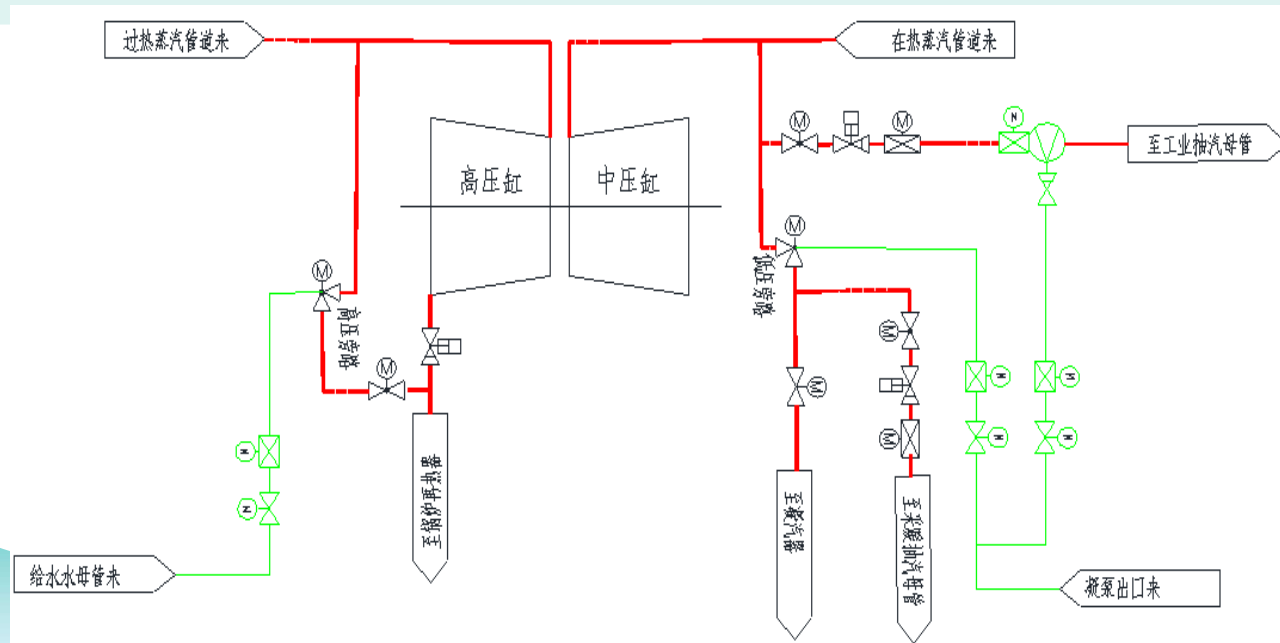
#### (3) 吉林江南热电厂 吉林江南火力発電所

##### ➤ 汽轮机旁路供热改造

##### ➤ 蒸気タービンバイパス熱供給改造

增加一组高压旁路和低压旁路以使其满足供热抽汽需求，一组再热热段蒸汽经过减温减压后作为热网加热蒸汽，另外一组再热热段蒸汽经过减温减压后作为工业蒸汽供。

一組の高圧バイパスと低圧バイパスを増加して熱供給抽気的需求を満足する。一組の再熱熱段蒸気は温度と圧力の減少によって熱供給網として蒸気を加熱する。他の一組は再熱熱段蒸気は温度と圧力の減少によって工業蒸気を提供する。

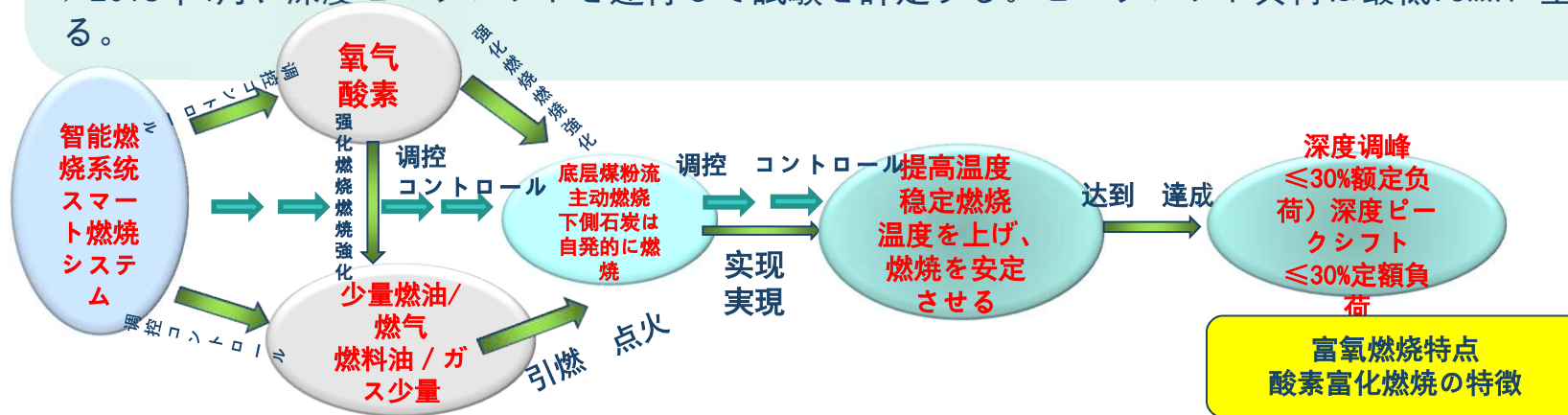




### 3. 火电灵活性改造主要技术及实践 3. 火力発電の柔軟性改造の主要技術と実践

#### (4) 石嘴山发电厂 石嘴山火力発電所

- 2018年2月，#1机组完成富氧燃烧技术改造。
- 2018年4月进行深度调峰运行鉴定试验，调峰负荷最低至75MW。
- 2018年2月、#1ユニットは酸素富化燃焼の技術改造を完成した。
- 2018年4月、深度ピークシフトを運行して試験を評定する。ピークシフト負荷は最低75MWに至る。



- 用高纯度的氧气代替助燃空气，提高煤粉的燃烧效率。
- 具有煤种适应性强、燃烧效率高、低NO<sub>x</sub>排放等特点。
- 可作为助燃系统在深度调峰工况实现锅炉稳燃，有效控制氮氧化物的生成，也可作为启动点火系统实现锅炉高效启停。
- 燃焼を助ける空気の代わりに高純度の酸素を使用し、石炭の燃焼効率を高める。
- 石炭は適応性が強い、燃焼効率が高い、NO<sub>x</sub>排が低いなどの特徴。
- 助燃システムとして深度ピークシフトの中でボイラーの安定燃焼を実現し、酸化窒素物の形成を有効的制御する。また点火システムとしてボイラーの高効率の稼働を実現する。



国家能源集团  
CHN ENERGY

## 3. 火电灵活性改造主要技术及实践

### 3. 火力発電の柔軟性改造の主要技術と実践

#### (4) 石嘴山发电厂 石嘴山火力発電所

設備简介

- 2×300MW级亚临界机组。
- 自然循环锅炉、中速磨直吹系统、单面墙旋流燃烧器

設備紹介:

- 2×300MW級亜臨界ユニット。
- 自然循環ボイラー、中速磨直吹システム、単側壁サイクロンバーナー

#### ➤ 富氧燃烧技术改造

在#1锅炉A层和D层12台燃烧器应用富氧燃烧技术。

#### ➤ 酸素富化燃焼技術の改造

#1ボイラーA階とD階12台の燃焼器に酸素富化燃焼技術を応用する。

- #1机组负荷可保持在75MW (25%EGR) 工况连续稳定运行。
- 75MW负荷投入富氧燃烧系统时两侧NO<sub>x</sub>分别为254.93mg/Nm<sup>3</sup>和263.68mg/Nm<sup>3</sup> (干基、6% O<sub>2</sub>)。
- #1ユニット負荷は75MW (25%EGR) で連続的に安定に運行することを維持する。
- 75MW負荷は酸素富化燃焼システムに投入する時両側のNO<sub>x</sub>はそれぞれ254.93mg/Nm<sup>3</sup>和263.68mg/Nm<sup>3</sup> (無水ベース、6% O<sub>2</sub>) である。

### (5) 龙华延吉热电厂 龍華延吉火力発電所

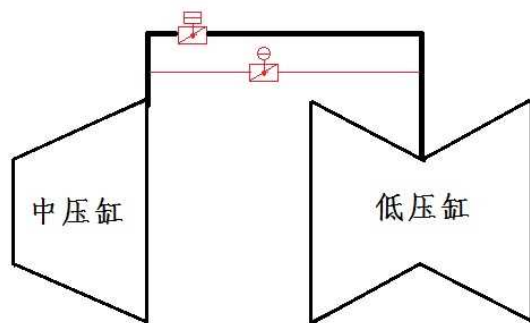
- 2017年6月，#2号机组完成切除低压缸运行论证。
- 2017年10月，#2机组完成切除低压缸进汽运行改造。
- 2017年10月29日，#2机组完成首次切除低压缸运行试验。
- 2017年6月，#2号ユニットは低压気筒運行の切除の論証を完成した。
- 2017年10月，#2ユニットは低压気筒運行の切除の改造を完成した。
- 2017年10月29日、#2ユニットは初回の低压気筒運行の切除の試験を完成した。

#### 设备简介

- 2×200MW超高压供热机组。
- 汽轮机为哈汽厂制造超高压、一次中间再热、单轴、两缸两排汽、采暖供热汽轮机

#### 設備紹介:

- 2×200MW超高压熱供給ユニット。
- 蒸気タービンはハルビン・タービン廠が製造する超高压、一回中間再熱、単軸、両気筒両排気管、暖房タービン



#### 切除低压缸技术特点 低压気筒の切除の技術特徴

在低压缸高真空运行条件下，采用可液压蝶阀切除低压缸原进汽管道进汽，通过新增旁路管道通入少量的冷却蒸汽，用于带走低压缸零出力供热后低压转子转动产生的鼓风热量。

低压気筒は真空運行の場合、水圧バタフライ弁によって低压気筒を切除し、元気筒から蒸気が入る。新規追加のバイパスから少量の冷却蒸気が入ることによって低压気筒が零出力加熱した後低压回転子は回転する時発生した風熱量を減少する。



# 3. 火电灵活性改造主要技术及实践

## 3. 火力発電の柔軟性改造の主要技術と実践

### (5) 龙华延吉热电厂 龍華延吉火力発電所

改造内容 改造内容

#### ➤ 切除低压缸运行改造

将低压缸进汽蝶阀更换为可完全关闭带密封面的液控蝶阀，同时加装低压缸冷却蒸汽系统，设计冷却蒸汽流量为0~30t/h，对低压缸次末级和末级叶片加装温度测点；同时对配套供热系统、抽空气系统、凝结水系统改造。

#### ➤ 低压汽筒の切除運行の改造

低压汽筒のバタフライ弁を完全に閉める密封の水圧バタフライ弁に変更する同時に、低压汽筒の冷却蒸気システムを装入し、冷却蒸気の量は0~30t/hに設定する。低压汽筒のネクストファイナルブレードとファイナルブレードに温度のセンサーを装入する。また、熱供給システム、抽気システム、復水システムを改造する。

➤ 汽轮机低压缸叶片安全性。

➤ タービン低压汽筒のブレードの安全性

注意事項  
注意事項

➤ 机组改造后可在电负荷在66MW~100MW（33%~50%额定负荷）之间稳定运行，供热抽汽流量230t/h~320t/h之间灵活变化调节。

➤ ユニット改造した後、電負荷は66MW~100MW（33%~50%定額負荷）の間で安定に運行することができる。熱供給抽気量は230t/h~320t/hの間に柔軟に調整できる。

改造效果  
改造效果



## ❖ 选择合适目标 相应目标选择

### (1) 基本目标：达到调峰基准负荷

保证火电机组任何时段最低运行负荷可以不高于基准调峰负荷。（改造工作量少、投入费用低）

**基本目标：**ピークシフトの基準負荷に達成する

火力発電ユニットはどんな時間帯でも最低運行負荷がピークシフトの基準負荷の以下であることを保証する。（改造の仕事量は少ない、費用は低い）

### (2) 经济目标：深度调峰获得补偿费用

保证火电机组任何时段最低运行负荷可以低于其他调峰机组。（改造工作量大、投入费用高）

**经济目标：**深度ピークシフトは補償金をもらえる

火力発電ユニットはどんな時間帯でも最低運行負荷が他のピークシフトユニットの以下であることを保証する。（改造の仕事量が多い、費用は高い）



## ❖ 确定改造方案的原则 改造方案的原则确定

- (1) 未来火电机组的区域定位 以调峰、供热为主。  
火力发电单元的未来的区域位置 峰转移、热供应为主。
- (2) 重视改造效益 高投入≠高回报  
改造效果重视 高投入≠高收益
- (3) 解决制约调峰幅度的瓶颈问题  
各类机组有不同的制约灵活性瓶颈，注重解决核心问题。  
峰转移的幅度的制约解决的困境解决  
各单元是不同的柔性制约解决的困境，核心问题的解决重视。
- (4) 关注调峰补偿政策  
调峰基准负荷未来变化趋势；调峰补偿收益未来的变化  
峰转移的补偿政策注目  
峰转移基准负荷的未来变化倾向、峰转移的补偿收益的未来变化



谢谢

ご清聴ありがとうございました