



EPTCHINA.CN
中国电力科技网



中国华电
CHD

第三届热电联产远距离低能耗集中供热技术研讨会



黄平平

华电电力科学研究院供热技术部项目经理，主要从事热电联产集中供热相关技术的研发及应用，包括供热机组热电解耦、热力系统优化改造、厂网一体化智能供热及新型凝抽背供热改造等内容，曾负责实施多个智能供热改造项目的技术服务。

热电联产“源-储-网”一体化协同智能供热关键技术开发及应用

主办单位：中国电力科技网

协办单位：华电宁夏灵武发电有限公司 宁夏华电供热有限公司

2020年1月8-10日 中国·银川



热电联产“源-储-网”一体化协同智能供热关键技术开发与应用

汇报单位：华电电力科学研究院有限公司

汇报人：黄平平

2020.01 中国·银川

求真 务实 专业 纯粹

目 录

- 01 项目开展的背景及意义
- 02 主要技术内容
- 03 推广应用与经济效益

01

项目开展的背景及意义

01 项目开展的背景及意义

- 面对新时代，习总书记在十九大报告中强调能源转型目标：建设“清洁低碳、安全高效”的现代能源体系。

能源技术革命创新行动计划
(2016 - 2030 年)

国家发展改革委
国家能源局

2016 年 3 月

利用先进的信息通信技术和互联网平台的优势，实现与传统供热行业的融合，提升供热的现代化水平。

推进能源技术与信息技术的深度融合，构建一体化、智能化的能源技术体系。

国家发展和改革委员会
国家能源局
财政部
环境保护部
住房和城乡建设部
国务院国有资产监督管理委员会
国家质量监督检验检疫总局
中国银行业监督管理委员会
中国证券监督管理委员会
中央军委后勤保障部

文件

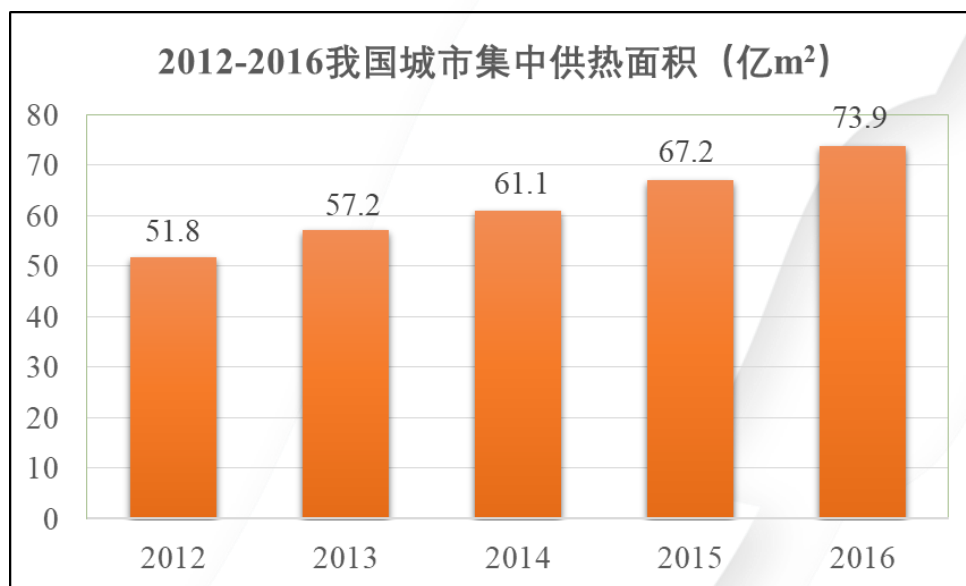
发改能源〔2017〕2100号

关于印发北方地区冬季清洁取暖规划
(2017-2021年)的通知

- 热电联产作为综合能源系统的一种类型，是能源互联网建设中最重要板块之一。大力推进热电联产集中供热的技术创新、商业模式创新，对引领能源转型和构建现代能源体系（智慧综合能源系统），至关重要。

01 项目开展的背景及意义

- 我国城镇供热需求增加迅速，据能源局等十部委印发《北方地区冬季清洁取暖规划（2017-2020）》，截至2016年底，我国北方城乡建筑取暖总面积约206亿平方米，其中城镇建筑取暖面积141亿平方米。



国家发展和改革委员会
国家能源局
国家财政部
环境保护部
住房和城乡建设部
国务院国有资产监督管理委员会
国家质量监督检验检疫总局
中国银行业监督管理委员会
中国证券监督管理委员会
中央军委后勤保障部

文件

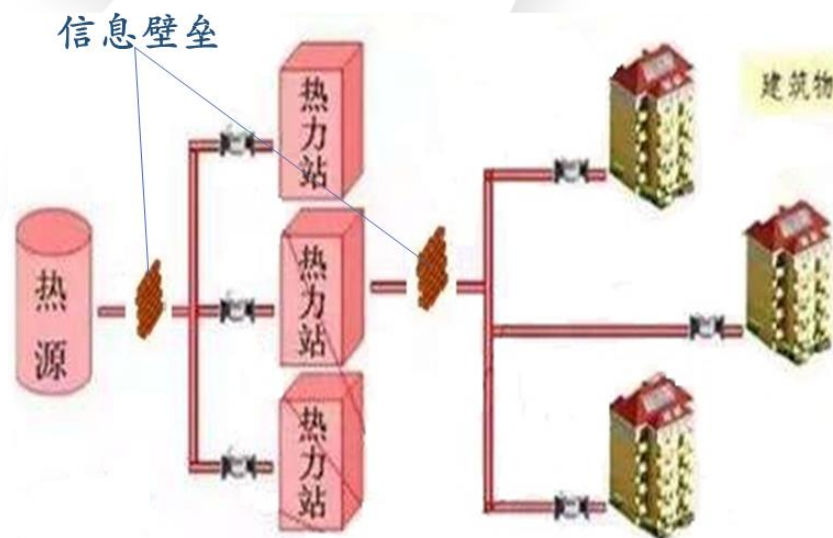
发改能源〔2017〕2100号

关于印发北方地区冬季清洁取暖规划
（2017-2021年）的通知

- 国家十部委印发文件还提出：大力发展清洁燃煤集中供热、天然气供热等清洁供暖方式；到2021年，北方清洁取暖率达到70%，替代散烧煤1.5亿吨，供热系统平均综合能耗降低至15kg标煤/平方米以下。

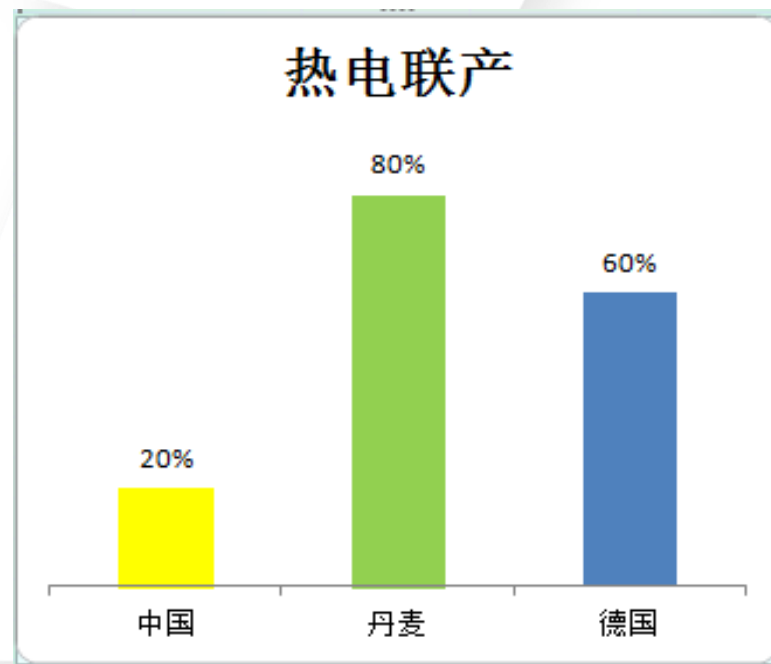
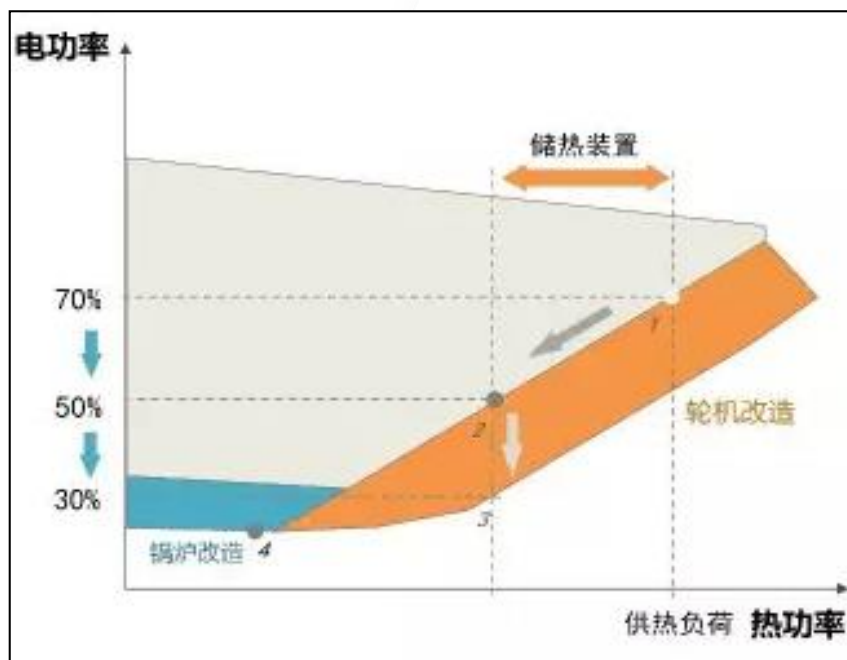
01 项目开展的背景及意义

- 当前我国集中供热系统的一次能源消耗水平，比欧洲同纬度甚至更高纬度国家的能耗高出一倍以上，关键技术难题是：传统单向信息流的粗放调节、厂网间供热信息孤立、热源侧电热矛盾严重。



01 项目开展的背景及意义

- 火电机组调峰能力受限的主要原因是：1) 纯凝机组受锅炉最低稳燃负荷的限制；2) 热电机组还会受“以热定电”的限制。解决弃风问题（采暖季更严重），特别是需要提升热电机组的电力调峰能力。



01 项目开展的背景及意义

由此提出本项目的课题研究工作，并依托以下不同级别的重大项目：

➤ 第一批国家能源局火电灵活性试点项目

国家能源局综合司文件

国能综电力[2016]397号

国家能源局综合司关于下达

火电灵活性改造试点项目的通知

➤ 国家“互联网+”智慧能源（能源互联网）示范项目

国家能源局关于公布首批“互联网+”智慧能源

（能源互联网）示范项目的通知

国能发科技[2017]20号

各省、自治区、直辖市及计划单列市、新疆生产建设兵团发展改革委（能源局）、各有关能源企业：

为落实《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）、《国家能源局关于组织实施“互联网+”智慧能源（能源互联网）示范项目的通知》（国能科技〔2016〕200号）等有关要求，我局组织开展了“互联网+”智慧能源（能源互联网）示范项目的申报和评选工作。经过专家评审、公示等工作程序，确定了首批示范项目。现将有关事项通知如下：

➤ 中国科学技术协会托举工程项目

合同编号：



中国电机工程学会青年人才托举工程

合 同

项目名称： 供热系统综合节能技术研究及应用示范

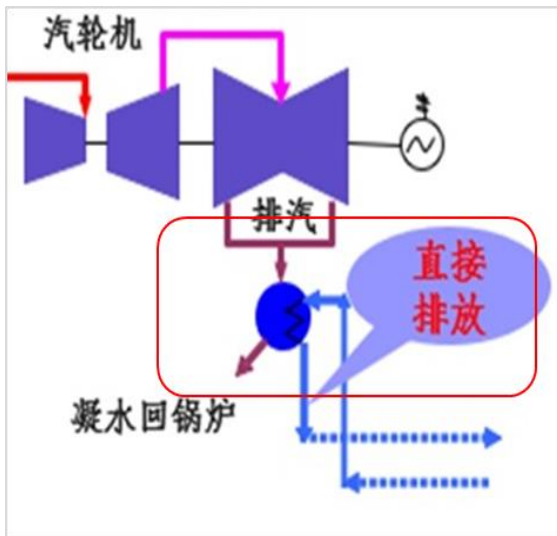
起止时间： 2016年01月至2018年12月

委托单位（甲方）： 中国电机工程学会

➤ 华电集团十大重点科技项目

集团公司2018年十大重点科技项目名单

序号	项目名称	项目牵头部门	总部项目经理	项目单位	项目示范工程
1	数字电厂建设关键技术的研究及应用	生产技术部	谢云	华电科院、国电南自、华电科工	杭州华电半山发电有限公司、华电莱州发电有限公司、东风发电厂、贵州黔源北盘江光照发电厂、福建省古田溪水力发电厂、内蒙古华电蒙东能源有限公司、华电广州增城燃气冷热电三联供工程
2	燃煤电厂新型高效除尘技术及工程示范	基建工程部	段喜民	华电科工、浙江大学、浙江菲达、福建龙净、华中科技大学	湖南华电平江发电有限公司一期2×1000MW新建机组环保岛项目
3	“互联网+”在智能供热系统中的应用研究及工程示范	创新发展部	黄源红	市场营销部、华电电力科学研究院、丹东金山热电有限公司、华电邹城热力有限公司	丹东金山热电有限公司厂网一体化项目



项目从实现热电联产系统中热源、热网与储能等单元一体化协同的角度，以解决当前关键技术难题为目标，开展智能供热关键技术研发及应用。

关键技术难题

01

汽轮机冷端余热损失严重，能效提升受限

02

外界热负荷急剧增加，热电机组供热能力不足

03

热电机组调峰能力低下，热电联产发展受限

04

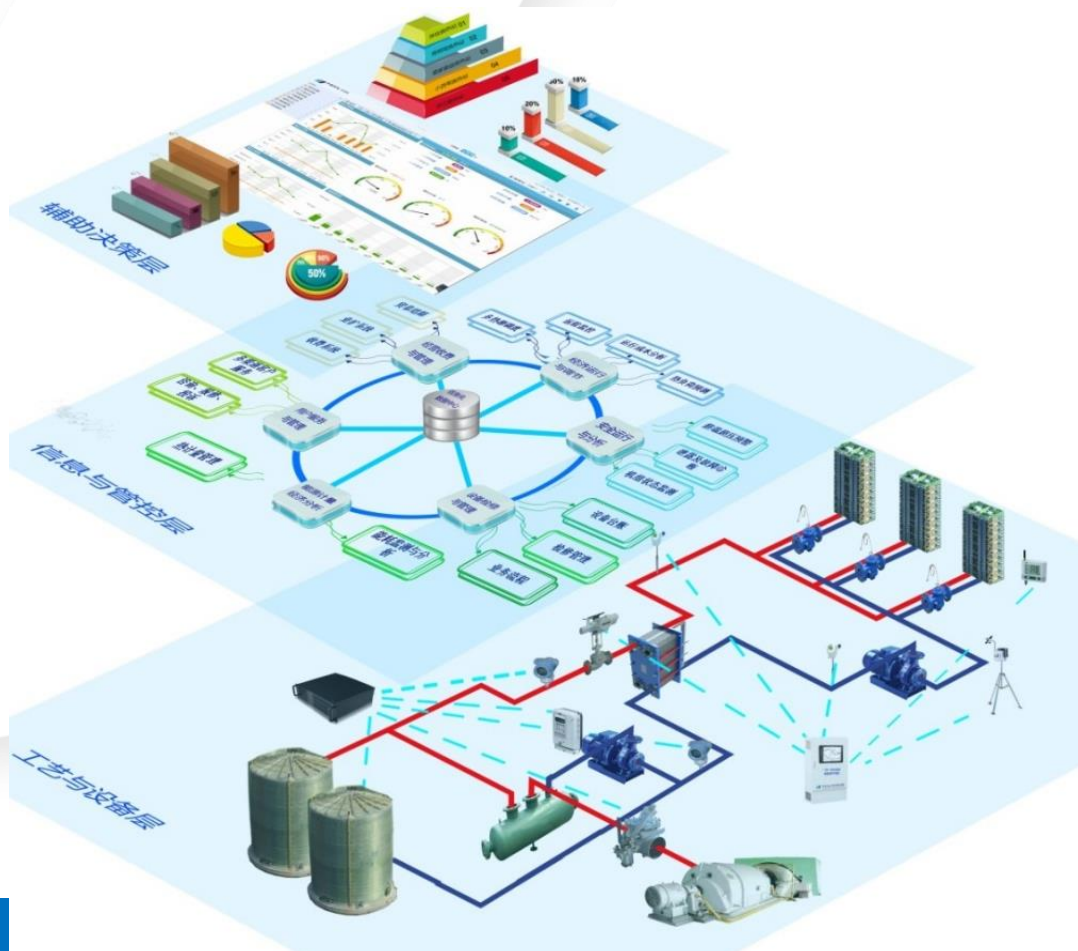
热源与热网孤立存在，无法按需供热

02

主要技术内容

02 项目技术研究及示范建设

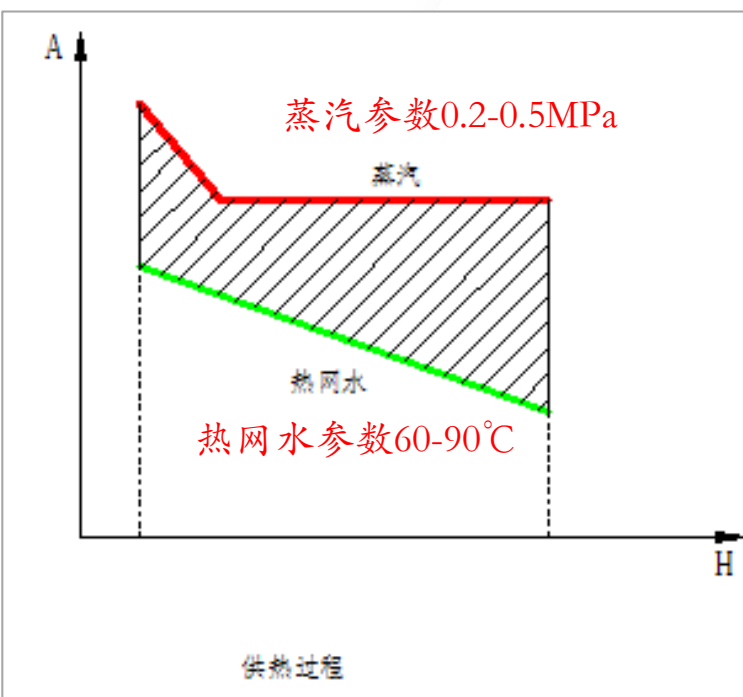
- 基于热力企业生产、运营及管理需求，开展厂侧节能增效技术研发，并将先进节能技术与互联网技术结合，进行供热系统的信息物理耦合，创新生产技术和运营管理模式，实现生产、管理效率的最大化。



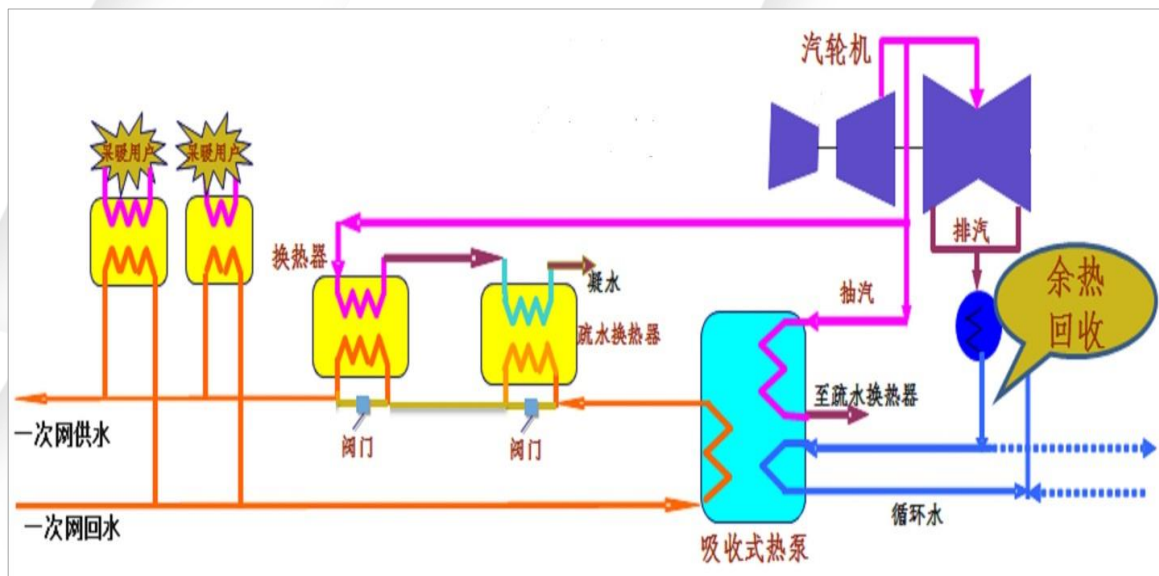
02 项目技术研究及示范建设

■ 厂侧技术研究为开展**热电机组节能增效、火电灵活性提升关键技术开发**，具体如下：

(1) **热电机组冷端近零损失技术**：基于“温度对口，梯级利用”的用能原则，进行**发电与热泵耦合的梯级供热技术**研发，减少高温差换热造成的做功能力损失，实现冷端循环水废热回收利用，提升1#机组的热电比，增加机组的供热能力。



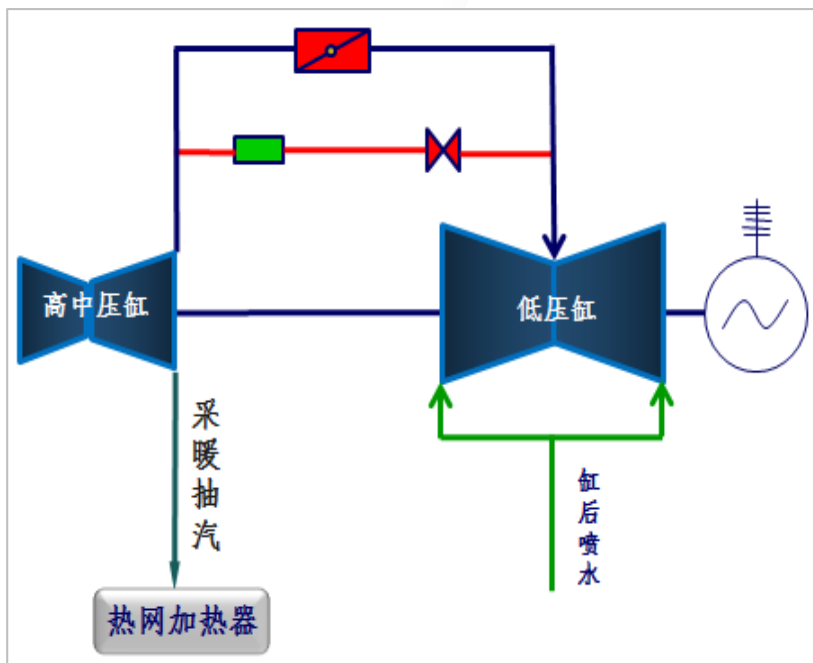
当前供热系统普遍问题



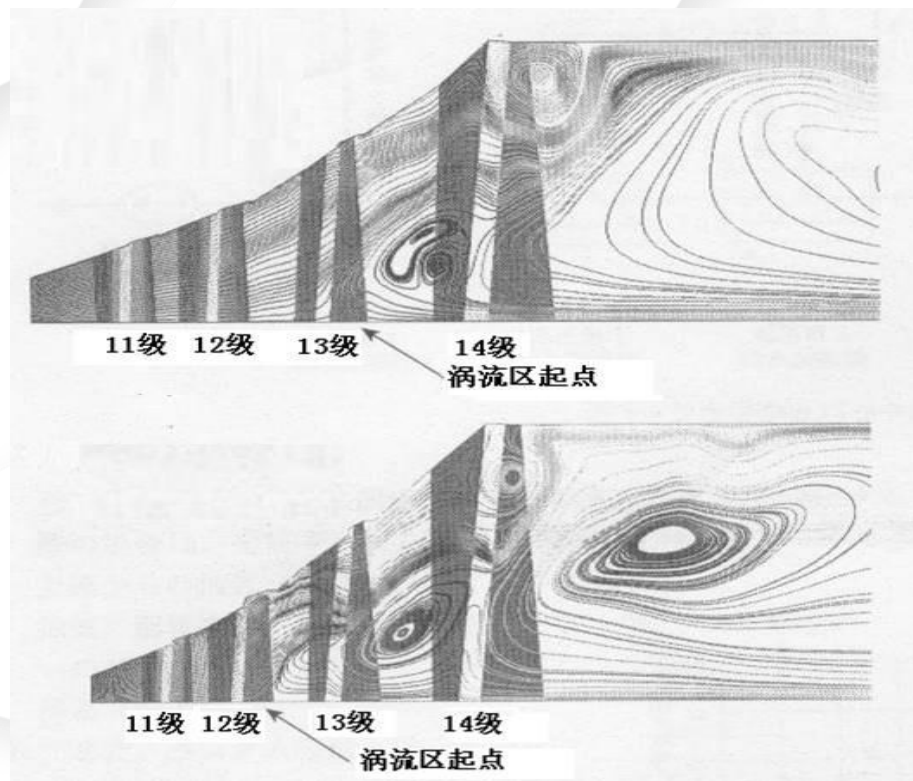
集成热泵的新系统示意图

02 项目技术研究及示范建设

(2) **热电机组冷端近零损失技术**：结合辅助电力调峰需求，开发**新型凝抽背供热技术**，实现机组在凝抽背工况间的在线切换和采暖季稳定运行，在回收机组冷端循环水废热、提升#2机组热电比的同时，使得机组电负荷率降至30%以下，达到机组的热电解耦运行。



新型凝抽背供热系统示意图



小流量下低压缸流场特性模拟

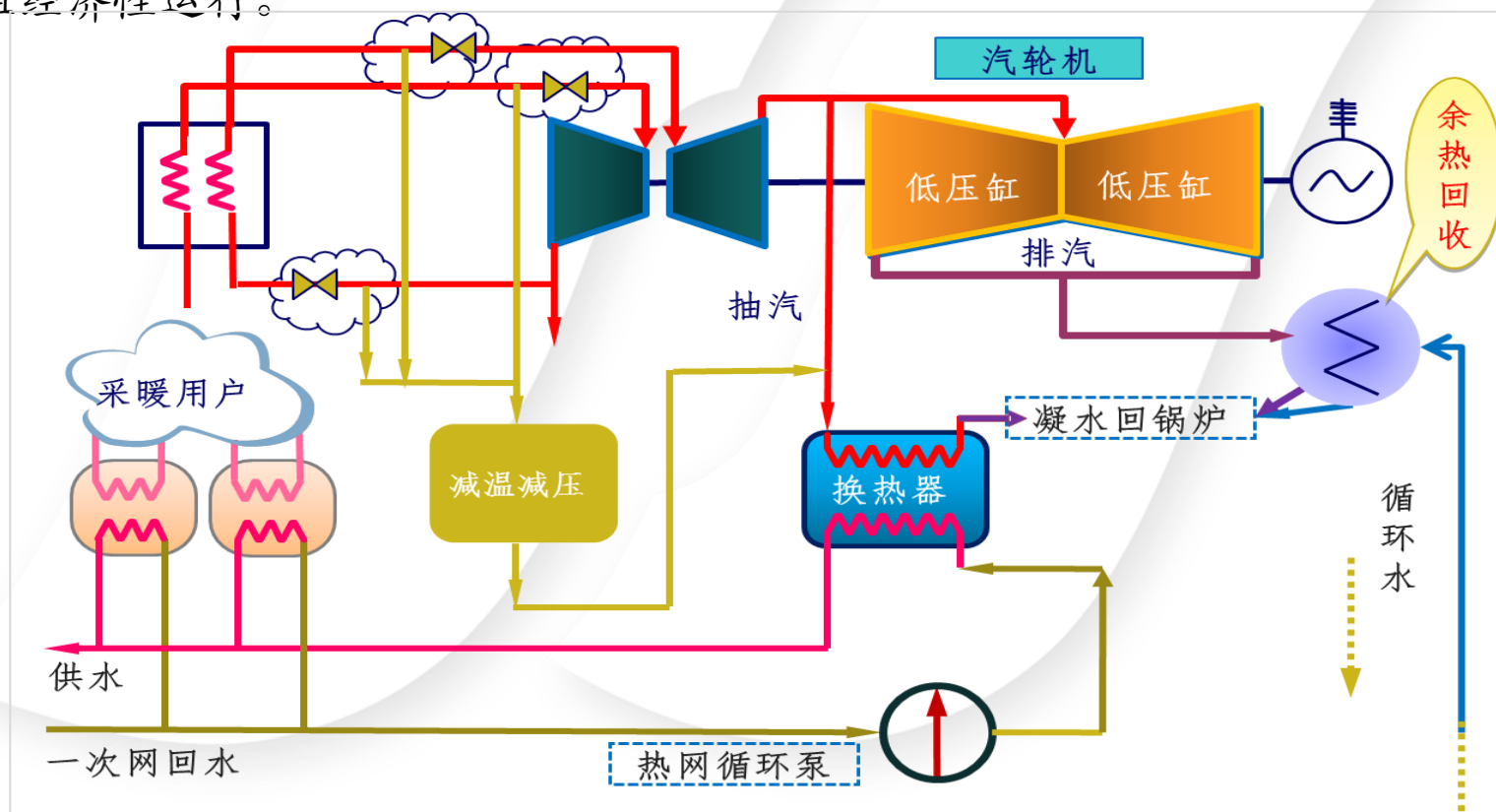
02 项目技术研究及示范建设

序号	专利名称	类型	目前状态	申请号
1	汽轮机抽凝背系统及其调节方法	实用/发明	已授权	201710193938.3
2	汽轮机抽凝背梯级利用系统及其应用	实用/发明	已受理	201710728081.0
3	用于抽凝背系统的低压缸冷却装置及其应用	实用/发明	已受理	201710585067.X
4	一种低压缸冷却蒸汽装置及运行方法	实用/发明	已受理	201710618415.9
5	一种切除低压缸供热的冷却系统及工作方法	实用/发明	已受理	201711165679.X
6	一种提高机组抽凝背供热安全性的系统	实用	已受理	201721603525.X
7	一种过热蒸汽高效减温系统及智能控制方法	实用/发明	已受理	201711210269.2
8	一种用于汽轮机凝抽背供热的冷却塔防冻系统	实用	已受理	201721604137.3
9	一种用于汽轮机凝抽背供热的冷却进汽系统及智能控制方法	实用/发明	已受理	201711203190.7
10	一种汽轮机低压缸后缸喷水系统及调节方法	实用/发明	已受理	201711203739.2
11	一种用于凝抽背供热的热电联产系统及其运行方法	实用/发明	已受理	201711233779.1

目前，电科院已进行技术成果研究与成果转化，目前**已授权/受理各项专利20多项**。

02 项目技术研究及示范建设

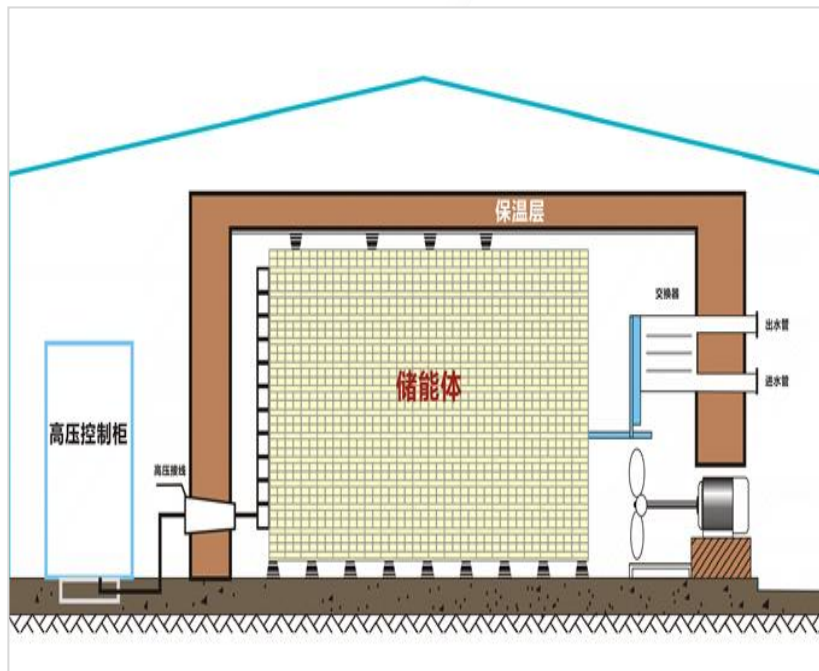
(3) **机组全工况抽汽集成技术**：基于外界热负荷需求及电力调峰要求，开发一种耦合采暖抽汽、工业抽汽、再热蒸汽抽汽等多抽汽方式的全工况抽汽高效集成系统，并结合辅助电力调峰政策，制定供热机组经济性的全工况运行策略，实现梯级高效供热的同时，达到机组经济性运行。



抽汽全工况集成新系统流程图

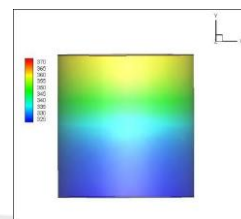
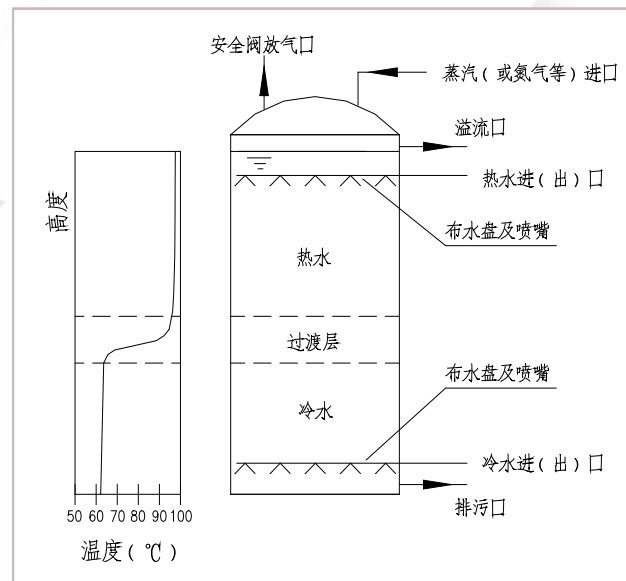
02 项目技术研究及示范建设

(4) 蓄热调峰技术：开发热水蓄热调峰技术，进行蓄热系统与热电机组、热网系统的集成研究，同时实现热网的削峰填谷和机组的热电解耦运行；电蓄热调峰技术，进行电蓄热耦合原有系统研究，实现机组电量的零上网。

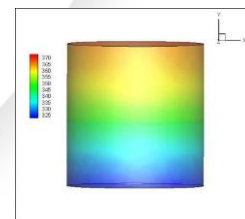


固体蓄热式电锅炉示意图

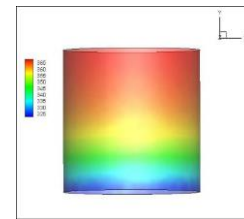
热水蓄热系统图



t=3h



t=5h



t=8h

不同时刻蓄热罐内的温度分布

02 项目技术研究及示范建设

◆ 不同技术路线比选

燃煤机组不同供热方式下的调峰成本

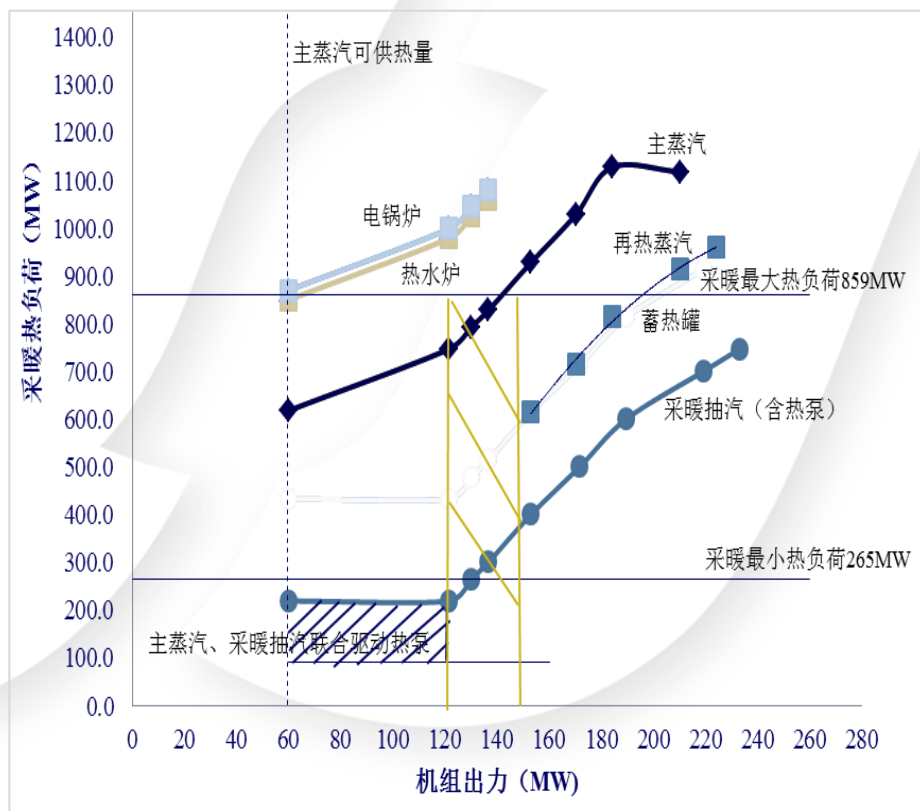
项目	采暖抽汽	再热抽汽	主蒸汽	电锅炉
供热煤耗/ (kg/GJ)	20	30	38	85
调峰成本/ (g/kWh)		100	162	234

联合循环机组与燃气热水炉供热成本

项目	采暖抽汽	主抽汽	燃气热水炉	电锅炉
供热成本/ (Nm ³ /GJ)	7~11	23~27	33	42~63
天然气价格/ (元/Nm ³)	2.51			
供热成本	18~28	58~68	83	105~156

02 项目技术研究及示范建设

(5) **耦合系统经济性运行策略研究**：建立热电机组耦合全工况抽汽集成、吸收式热泵、蓄热系统等技术的新系统，根据电、热负荷匹配进行不同供热方式的组合，并制定耦合系统的经济性运行策略，实现全厂冷端余热的近零损失和零上网的极深度电力调峰，**达到热电机组的电热协同调度**，促进电网对新能源电力的消纳。



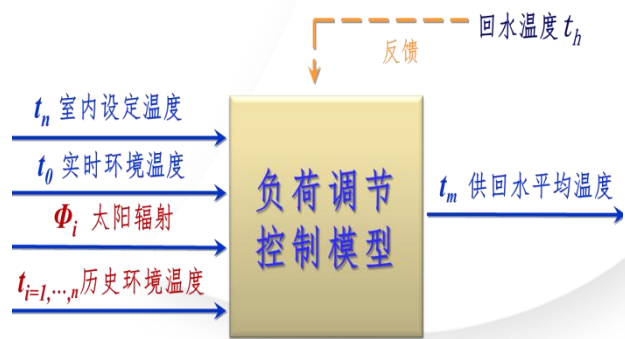
热电机组耦合系统经济性运行策略

■ 厂网一体供热技术研究为网源一体化智能调控技术，具体如下：

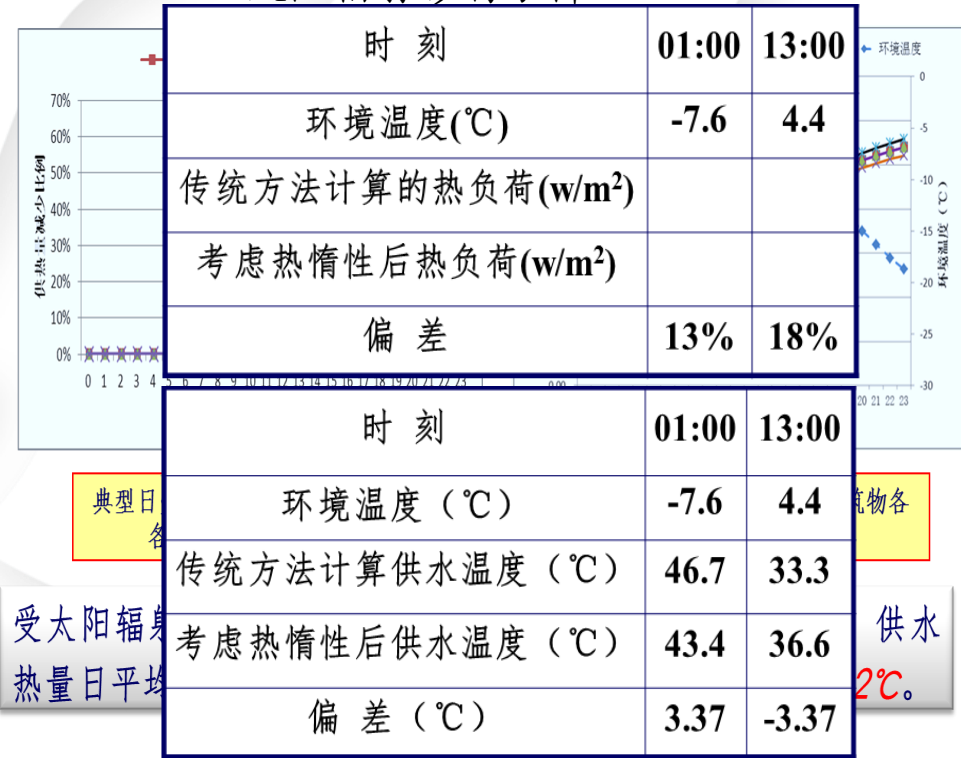
(1) “一站一优化”智能调节技术：结合室外温度、室外风速、太阳辐射、建筑物热惰性等多因素的影响，开发一种“一站一优化曲线”的智能调节新技术，针对每一换热站，通过制定结合多因素的特定调节曲线，实现精准高效供热。

建立建筑物负荷模型：

$$t_m = f(t_n, t_0, \Phi_0, \dots) + f(t_n, t_i, \Phi_i, \dots)$$

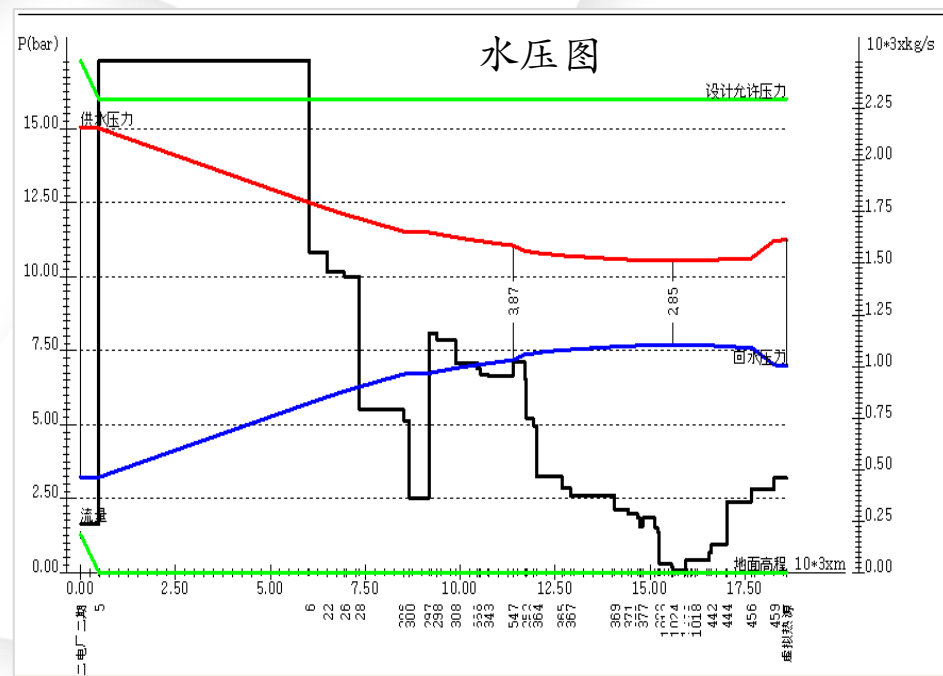
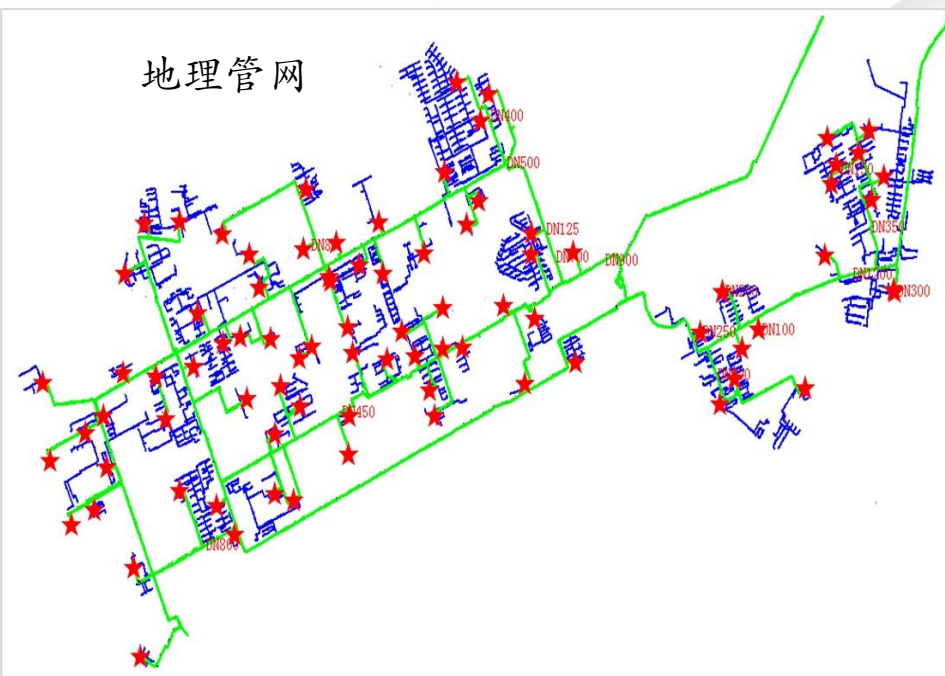


建筑物热惰性影响分析



02 项目技术研究及示范建设

(2) 管网水力平衡技术：针对变流量时引起管网水力工况差、冷热不均现象严重等问题，研究建立基于网源一体的水力计算数学模型，针对不同工况，对水压图、流量等参数分布进行分析，通过研究管网最不利环路，利用水力平衡技术，解决管网水力失调和管网震荡现象。



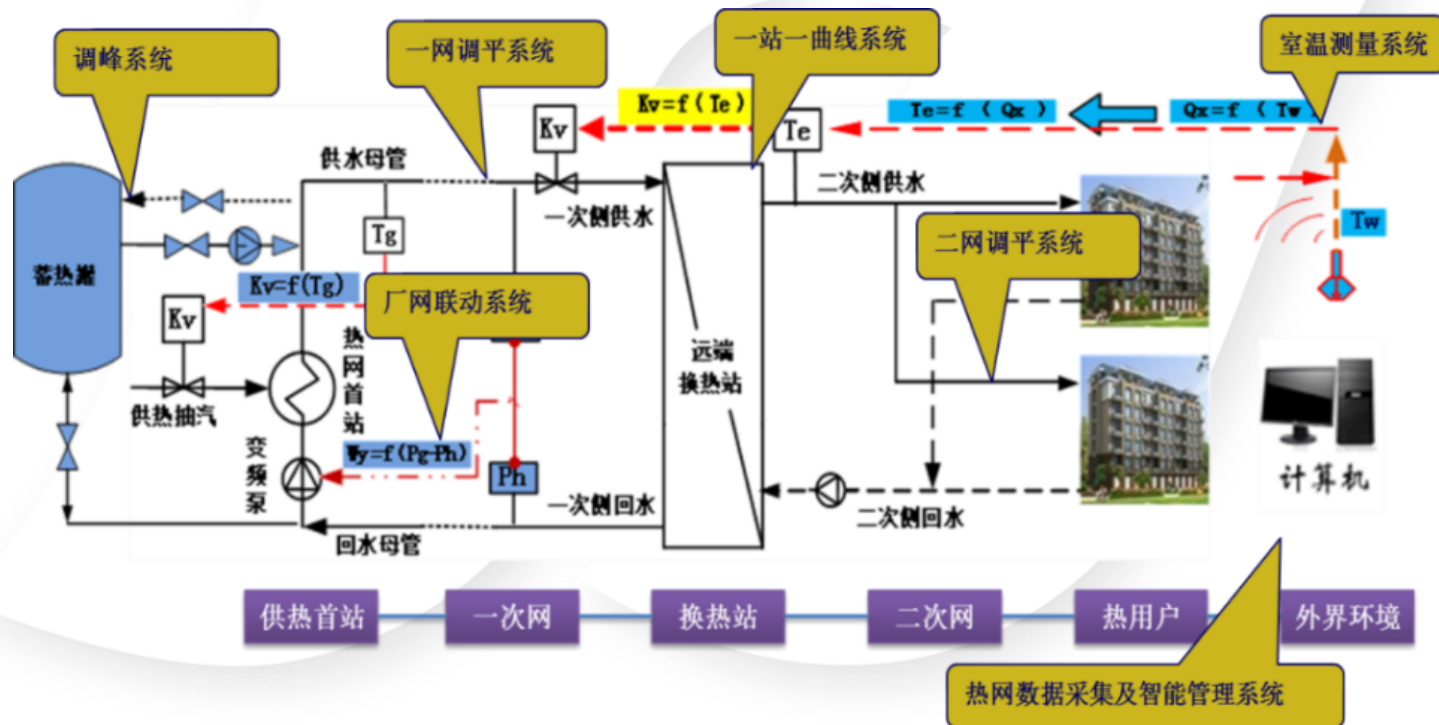
02 项目技术研究及示范建设

(3) 基于数据挖掘的热网运行决策研究：研究建立大型热网的全过程数据智能监控系统，及数据挖掘与处理方法，利用互联网技术，实时采集一次网、二次网与热用户的运行数据，对标能耗优秀指标值，进行数据统计分析，为供热调节提供决策。



02 项目技术研究及示范建设

(4) **厂网一体化预测调节**：根据外界气象参数，拟合综合环境温度，分时段保持一网供水压力固定不变，首站根据预测综合环境温度进行分时调节，二网换热站根据“一站一优化曲线”实时调节，做到按需供热，同时结合分时段温控调节阀进行自动控制，进一步提高调节效率。



网源一体化集中供热模型

02 项目技术研究及示范建设

(5) **监控中心智能化升级：**通过建设统一的数据监控平台进行供热系统的数据资源整合，并基于大数据处理，实现集中调度与监控，充分发挥数据价值。

(1) 生产管理信息系统

(2) 设备管理信息系统

(3) 客户服务子系统

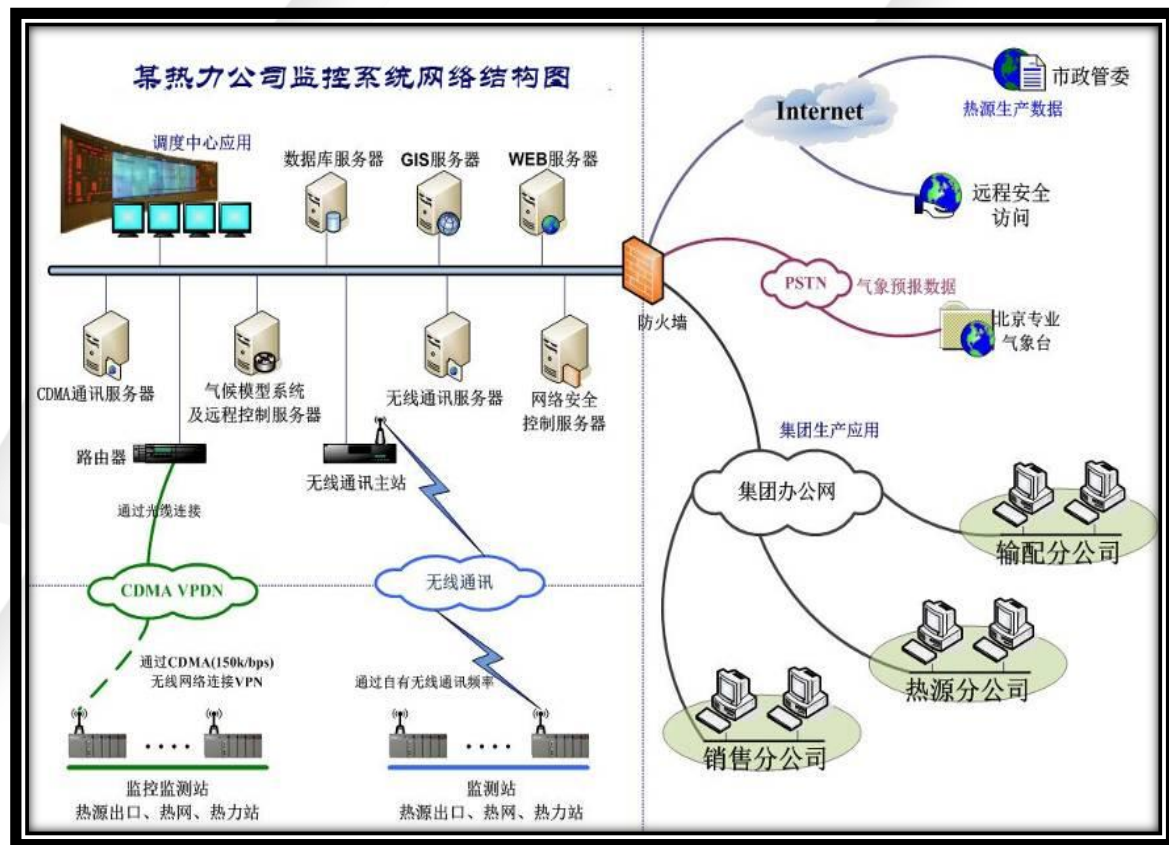
(4) 经营收费管理系统

(5) 能耗分析子系统

(6) 地理信息系统

(7) 电子设备终端监视系统

(·)



02 项目技术研究及示范建设

■ 网源一体化智能调控改造:

(1) 热用户侧室温远程监测和气象参数监测的数据采集系统建设; (2) 楼宇级智能调节系统建设; (3) 基于二次网动态平衡, 在各换热站建设“一站一优化”智能调节曲线; (4) 结合能耗分析的智能调控系统建设; (5) 厂网一体化预测调节策略制定; (6) 远程监控系统建设; (7) 生产管理及地理信息系统建设; (8) 经营收费管理系统和客户服务管理系统建设。



04 取得的科技成果及评价

■ **获得的科技奖项：**示范项目的技术成果相继获得了中国电力创新奖大奖、中国能源研究会能源创新一等奖、浙江省科技进步三等奖、中国华电集团科技进步一等奖等10余项各级别奖项，得到了社会各界的一致认可。

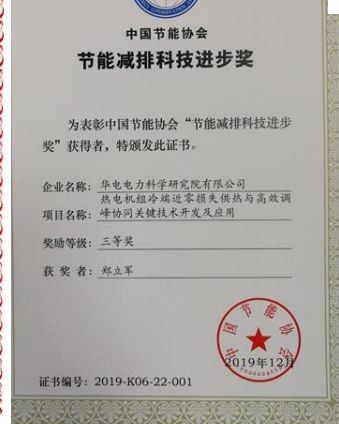
2018年度电力创新奖 证书

项目名称：热电联产网源一体化智慧供热技术研究与应用
项目类别：技术类
奖励等级：一等奖
获奖者：华电电力科学研究院有限公司

2018年度电力创新奖 证书

项目名称：实现热电解耦的汽轮机冷端近零损失供热关键技术研究及应用
项目类别：技术类
奖励等级：创新大奖
获奖者：华电电力科学研究院有限公司

证书号：PIA-2018-J-D02-D01



03

推广应用和经济效益

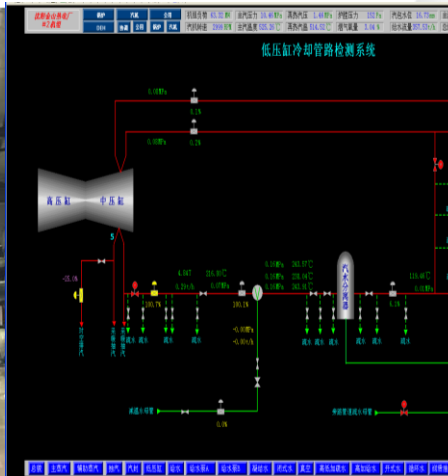
典型工程示范应用情况：

丹东金山热电有限公司

- 在源侧完成了#1机组吸收式热泵、#2机组新型凝抽背供热和电蓄热系统建设，热网侧完成了大型热网智能供热改造，开展了网源一体化智能调控，**成为国内先进供热技术集成度最高的电厂。**
- **热源侧实现两台机组的低温余热全回收**，新增供热面积超600万 m^2 ，全厂实供1650万 m^2 ，挂网面积2400万 m^2 ；**实现全厂电量零上网的极深度调峰**，上个采暖期完成调峰电量1.2亿kWh，**调峰收益约7200万元。**
- 热网侧完成智能化改造，**换热站节热10%以上**，一个采暖季仅**节水、节电效益约440万元。**
- 一个采暖季通过余热回收节煤5.15万吨，通过网侧智能改造节煤2.34万吨，**节煤收益约5800万元。**



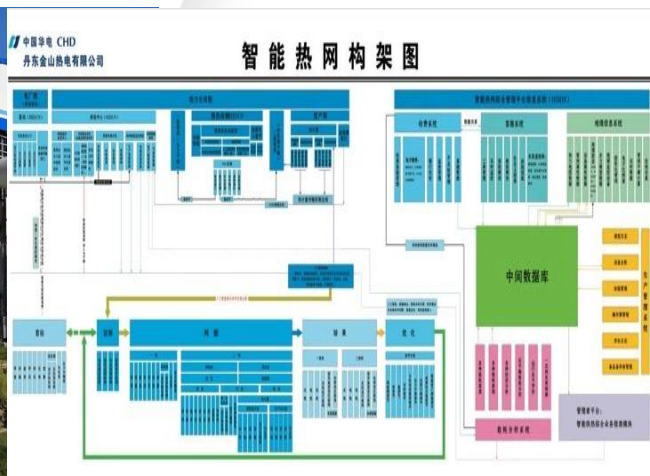
#1机热泵改造现场图



#2机凝抽背改造系统图



电蓄热锅炉房



项目技术成果总体应用情况:

- 本项目成果共在华电包头发电分公司、华电苏家屯、金山铁岭、华电福源热电等20余家热电企业，实现了工程应用，总体效益如下：

直接经济效益总和	间接经济效益		社会效益		
1. 共实现年节煤总量达62.2万吨，按煤价780元/吨，节能收益达4.85亿元。 2. 完成了5家热电厂的极深度改造，可获得显著的调峰收益，仅丹东电厂一个采暖季的调峰收益近1亿元。	通过减少污染物排放，间接减少排污成本达 7682万元 。	不仅极大减少了环保设施的成本投入，还节省设备运营成本达 8234万元 。	每年 减少排放 ： 155万吨CO₂ 、 9974吨NO_x 、 9433吨SO₂ 、 12091吨粉尘 ，减排效益十分显著。	有力提升了机组供热能力， 共新增供热面积达4600万m² ，极大保障了民生采暖需求	通过调峰有力 提升了电网中新能源电力的消纳比例 ，间接产生了良好的减排效益。

全国产业化推广的明显优势：



谢谢！

宁夏·银川

求真 务实 专业 纯粹

汇报人: 黄平平

二〇二〇年一月