



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



李亚斌

内蒙古京能盛乐热电有限公司发电部值长，2013年毕业于沈阳工程学院，参与盛乐热电两台350MW热电联产机组调试；参加京能集团-上海电气集团组织的人才研修班学习；参与了热电机组电储能灵活改造项目的研究。

京能电力首个电储能示范项目介绍

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





内蒙古京能盛乐热电有限公司

京能电力首个电储能示范项目 介绍



日期：2020.01.09



演讲人：李亚斌

主要内容

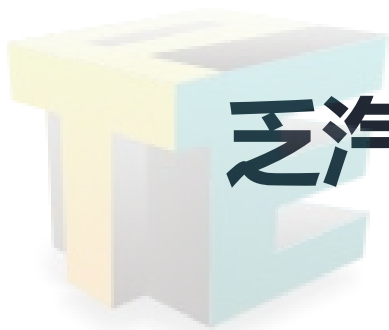
第一部分

- 1 乏汽外引高背压供热改造及历程
- 2 高背压改造项目运行情况

第二部分

- 1 电储能改造项目介绍
- 2 电储能项目对能源多元化发挥和局域能源消纳的意义

第一部分



乏汽外引高背压改造工程



内蒙古京能盛乐热电有限公司

高背压改造的背景与意义



盛乐热电于2013年11月开工建设，两台350MW超临界直流燃煤机组分别于2015年12月21日和2016年1月23日投产发电。是内蒙古自治区首家同步实现超低排放的新建火电项目，是国内350MW机组首次采用“两机一塔、三塔合一”节能环保新技术的机组。

改造前两台机组主要设置6个热网加热器、7台热网循环水泵，通过五抽加热供热用户。额定供热面积约1400万平方米，2019年进行2号机组高背压改造和电蓄热锅炉项目投运，供热能力达到2000万平方米。



增加机组供热能力

以机组最大供热能力作为改造后的设计热负荷，在全年标煤耗量基本相同条件下，全厂供热能力从目前额定1420万m²将提高至1700万m²



降低发电煤耗，提高能源利用效率

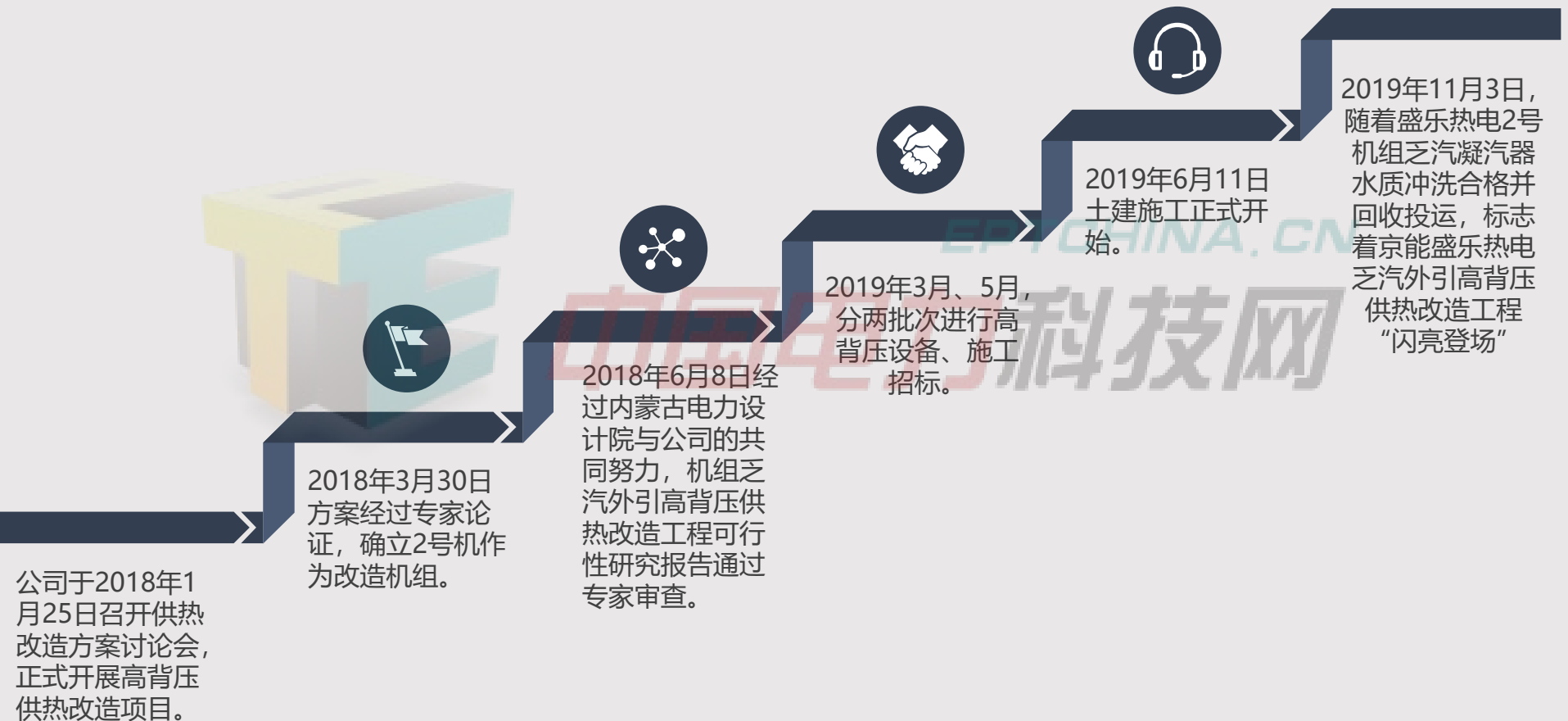
合理利用汽轮机乏汽汽化潜热加热热网循环水，余热利用，减少冷源损失。平均发电标煤耗可降低21g/kWh。



提高了城市集中供热比例

实现城市清洁采暖，提高城市集中供热比例，强化节能减排和环境保护，实现能源综合利用。

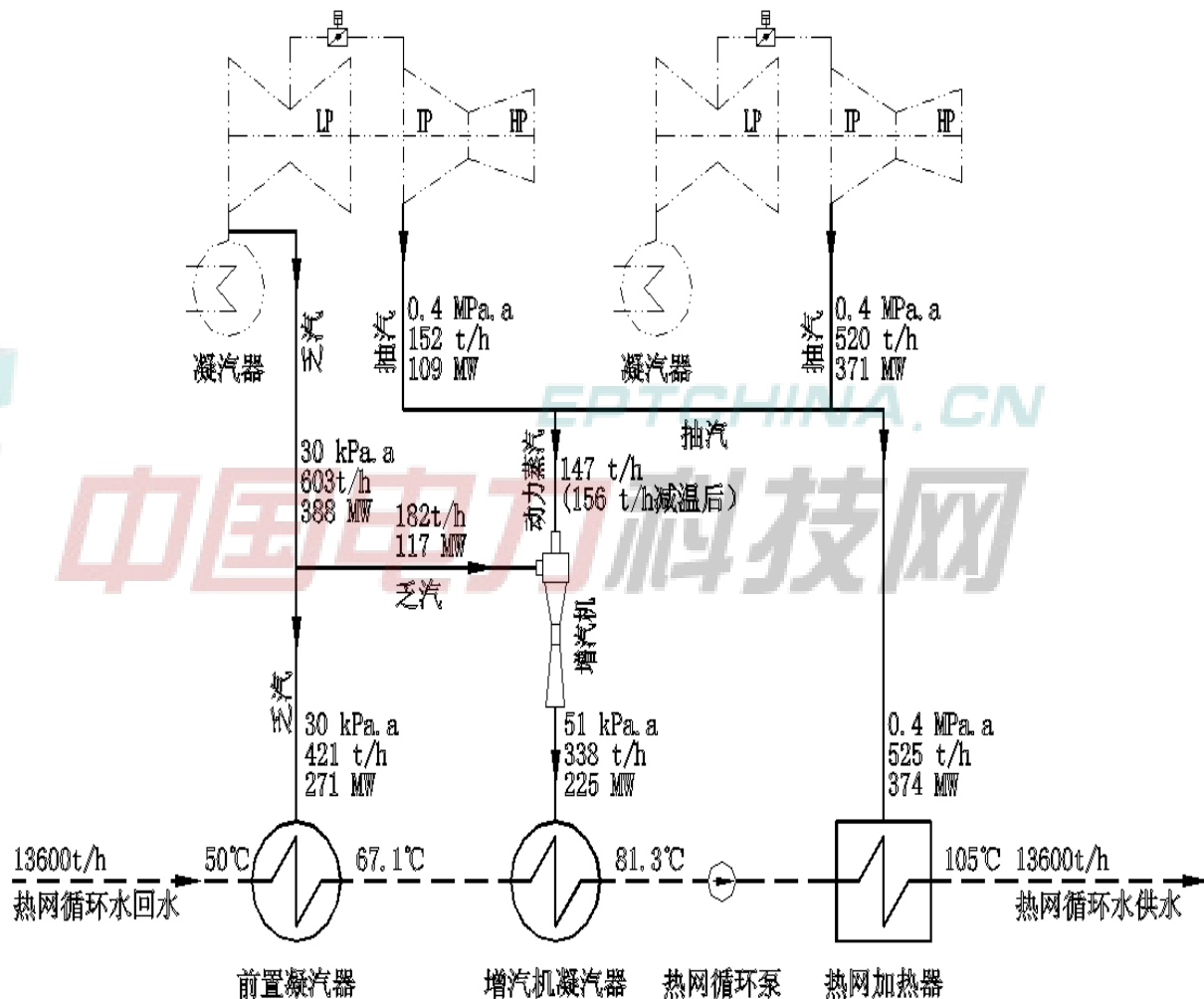
高背压改造历程



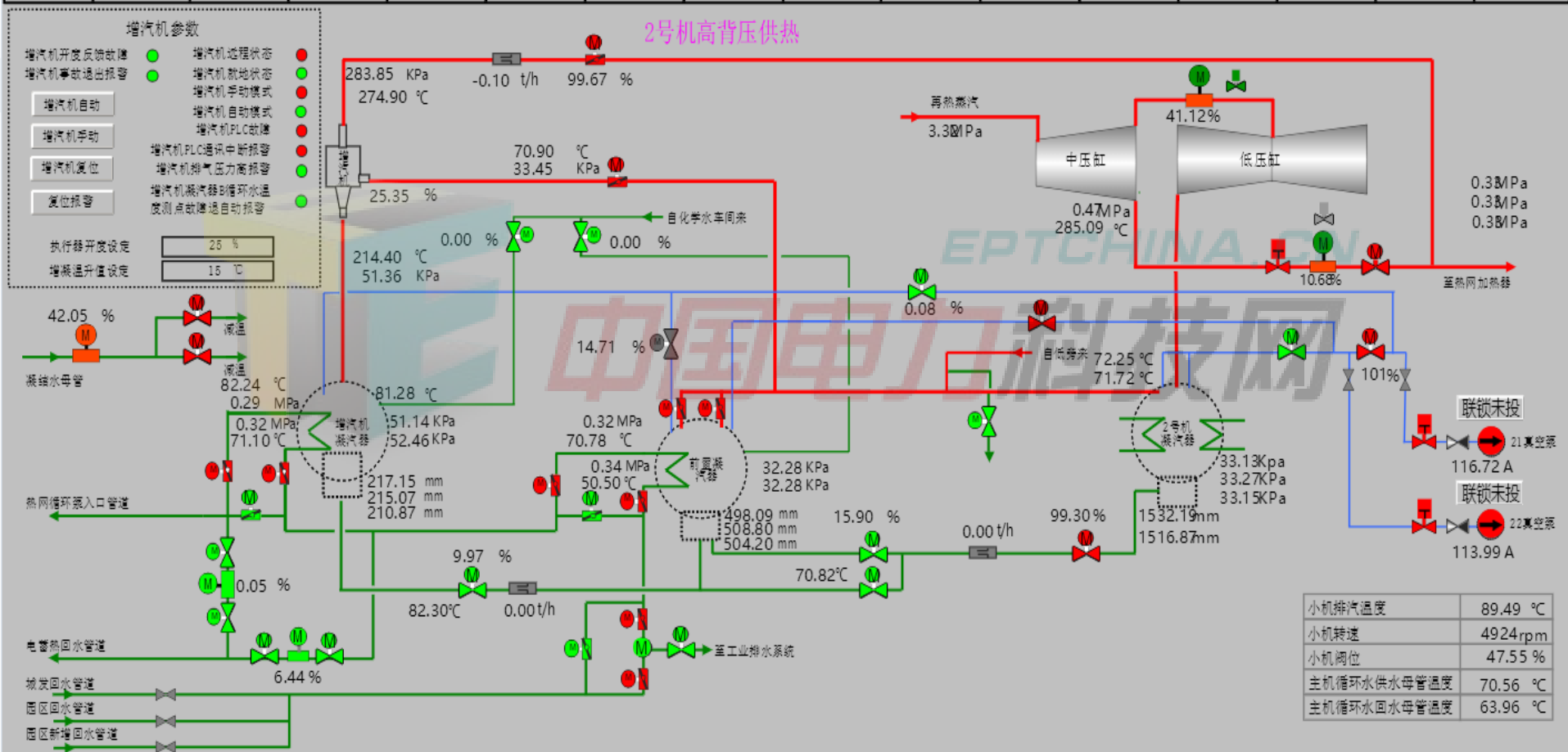
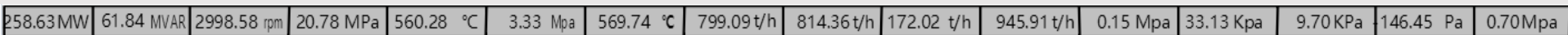
高背压改造工程概况

工程通过改造使机组采用采用前置凝汽器+增汽机凝汽器+热网加热器三级加热工艺。

高背压改造后，在供暖期汽轮机提高排汽参数运行，最高背压为36.5kPa.a；额定供热工况下55℃热网循环水回水作为热网凝汽器的冷却循环水，前置凝汽器A利用2号机组乏汽直接加热热网循环水回水至70.7℃，增汽机热网凝汽器B利用增汽机引射的乏汽继续加热热网循环水回水至85.2℃，之后继续在热网加热器内加热至107℃后供至城市热力供热网。



高背压改造项目运行情况



遇到的问题

乏汽分配

抽真空方式优化

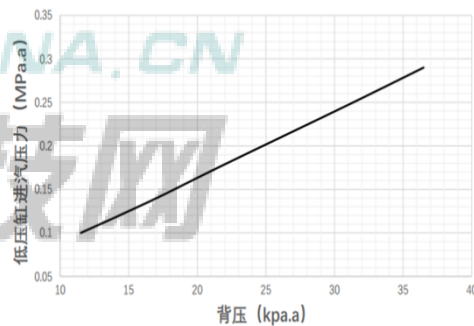
通过抽真空方式优化,使主机凝汽器、A凝汽器、B凝汽器建立背压差,使热负荷得到了合理分配,但当停运1台真空泵后,由于抽吸能力下降,高背压出力下降,目前保持两台真空泵运行。高背压系统运行期间抽真空系统保持该运行方式。

末级叶片超温

控制低压缸最小进汽流量

背压高,低压缸进汽量小,末级叶片易超温。要求:在任何情况下,均不可低于曲线中对应的低压缸进汽压力运行。由于该工况下叶片已进入鼓风发热的负功状态,此状态下,汽流温度将因为鼓风而升高

低压缸最小排汽容积流量下背压-低压缸进汽压力
关系曲线



小机转速限制

负荷区间申请210MW-330MW

目的为更好发挥高背压供热能力。

- 1、高负荷,高背压下,小机出力下降,且有超速风险
- 2、低负荷,高背压下,小机及主机低压缸排汽温度高

#2机组高背压系统乏汽利用不同工况数据

机组 负荷 (MW)	数据 统计 时间	高背压系统供热									主机间冷系统散热				乏汽 利用率
		乏汽凝汽器					增汽机凝汽器			每小时 有效利 用热量 (GJ)					
		供热流量 (t/h)	背压 (KPa)	入口温度 (℃)	出口温度 (℃)	供热量 (GJ)	背压 (KPa)	出口温度 (℃)	供热量 (GJ)						
211.41	11.27 13:52	8500	30.19	48.01	69.16	755.06	42.73	76.99	279.531	1034.59	13000	66.75	70.13	184.55	84.86%
210.2	12.24 10:43	10526	26.35	49.81	61.92	535.37	37.79	74.39	551.289	1086.66	13000	63.26	66.77	191.65	85.01%
224.24	12.24 13:09	10594	28.31	50.31	62.98	563.75	40.28	75.85	572.648	1136.40	13000	64.92	68.47	193.83	85.43%
219.47	12:24 13:56	10530	28.39	50.61	63.44	567.42	40.82	76.33	570.073	1137.49	13000	65	68.42	186.73	85.90%
252.42	11.27 02:30	8500	28.59	49.17	67.89	668.30	40.42	75.61	275.604	943.91	13000	61.01	68.44	405.68	69.94%
279.96	11.28 02:49	8500	30.69	48.47	69.52	751.49	43.53	76.74	257.754	1009.24	13000	59.85	69.95	551.46	64.67%
292.84	11.28 11:13	8500	35.16	47.59	72.64	894.29	54.84	82.92	366.996	1261.28	13000	64.53	73.05	465.19	73.06%
330.97	11.27 20:07	8500	28.9	48.62	68.17	697.94	45.07	77.89	347.004	1044.94	13000	56.82	68.09	615.34	62.94%
330.03	12.23 16:31	9864.6	30.39	50.01	63.34	552.28	43.49	77.81	599.511	1151.79	13000	59.24	69.47	558.56	67.34%
330.16	12.23 16:54	9830.6	30.78	50.02	63.19	543.77	43.53	77.74	600.748	1144.52	13000	59.23	69.66	569.48	66.77%

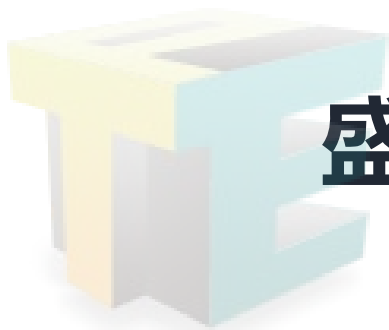
结论及措施：

- 1、当前运行方式下，提高乏汽利用率主要手段是确保机组安全前提下，努力降低主机循环水间冷系统出入口温差，减小热量损失。
- 2、低负荷(210MW以上区间)，保持小机排汽温度不超过120℃工况下，将间冷塔百叶窗全关（注意防冻），尽力提升乏凝背压（设计35KPa）。
- 3、高负荷(330MW以下区域)，注意小机转速不超过5800RPM，增汽机排汽温度不超过200℃前提下，努力提高乏凝及增凝背压，保持较高出水温度（设计85℃）。
- 4、升负荷过程间冷百叶窗保持关闭，观察乏凝及增凝背压上升，防止增汽机排汽温度超限，注意监视提升比并至少保留5KPa以上裕量。
- 5、降负荷随背压下降，先逐渐回关间冷百叶窗，注意监视乏凝及增凝背压，防止提升比保护动作。

结论

- 高背压乏汽供热改造对比改造前抽汽供热，有明显的降低发电标煤耗作用，改造后如能供热达产，全年平均发电标煤耗可降低21g/kWh，节能降耗作用非常明显。
- 高背压供热改造的供热经济性的优劣，与是否遵循优先利用乏汽供热原则以及供热负荷是否达到设计值有着直接关系，乏汽用的越多，经济性越好。
- 高背压系统现处于调试摸索阶段，运行方式及参数调整将会继续优化，争取将增汽机达到额定出力，减少冷源损失，另外高背压供热改造后性能试验即将进行，将进一步为高背压运行调整指导方向。

第二部分



盛乐电储能项目介绍



内蒙古京能盛乐热电有限公司

电储能改造工程概况

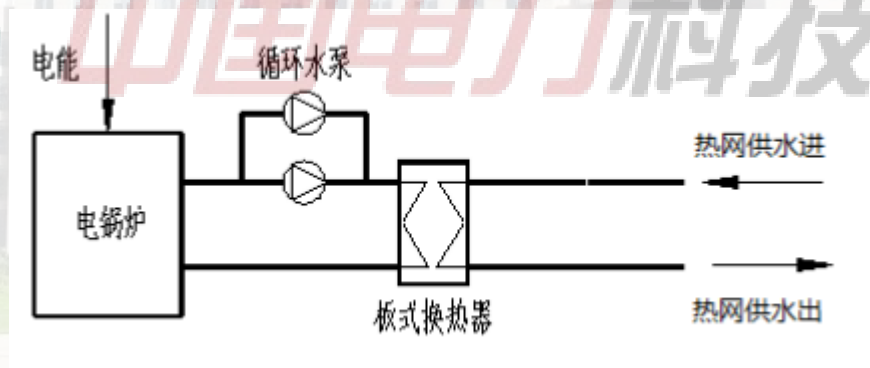
为解决电厂供热能力不足、消纳当地风电资源，与赫普热力发展有限公司合作，新建**160MW**电蓄热系统，兼顾电网调峰和调频。**4×40MW**电极式蓄热锅炉，及其配套的热网水管道、配电、土建等，热水管网已建成，并已进行调试。另外电蓄热系统配置一台**800**立方的蓄热罐，用于在风电需要上网，而供热不需要太大负荷的情况将电能转变成热能储存到储热罐中，供热高峰时段再释放出来，也可以作为供热调峰负荷。

电锅炉设计参数

序号	项目	单位	参数
1	设备规格型号		ZHPI-2800
2	数量	台	4
3	额定功率	MW	40
4	额定电压	kV	10
5	综合效率	%	99.8
6	额定压力	Mpa	0.6
7	设计出水温度	℃	130

电储能系统介绍及工作过程

高压电极锅炉一次侧系统包括加热、换热、水循环、系统稳压、系统加药等环节。水在锅炉中（系统满水运行）通过高压电极加热，管道里的循环水将热量从锅炉中带出，经过换热器将热传递到二次侧，然后再回到锅炉中加热，如此反复，不断地将电能转化为热能传递出去。稳压系统起到系统运行时保持系统循环水压力稳定。加药系统保证系统电导率控制在运行参数范围内。



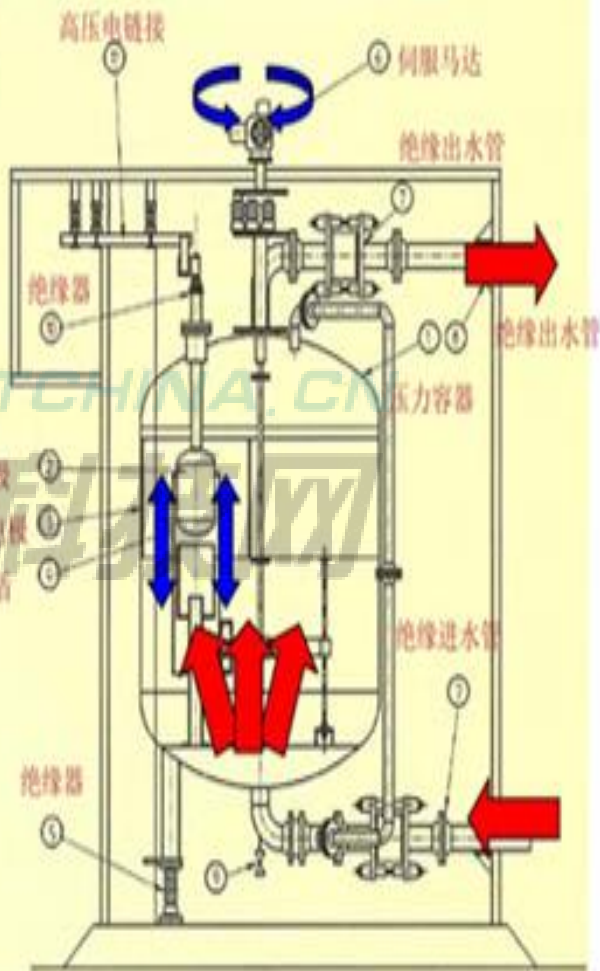
电极式蓄热锅炉工作原理

电极式蓄热电锅炉的工作电压为10kV，电阻仅为1.5-2.5kΩ。

电锅炉加热原理是通过三相电极与零电极在水中放电，利用水的导电性与电阻性从而将电能转化为热能。

通过调节保护盾屏蔽电极与零电极的相对导电面积，改变电流的大小，从而控制负荷的大小。控制盾下降，负荷增加；控制盾上升，负荷减小。

- 1 ELECTRIC HOT WATER BOILER
- 2 PHASE ELECTRODE
- 3 NEUTRAL POINT ELECTRODE
- 4 CONTROL SCREENS
- 5 INSULATORS
- 6 CONTROL MOTOR
- 7 INSULATING TUBE
- 8 SUPPORT POINT
- 9 DRAIN VALVE
- 10 BUSHING INSULATOR
- 11 HIGH VOLTAGE CONNECTION



220kV 高压电缆

220kV 11母

220kV降压变电风冷控制箱1~12号风机

220kV降压变电有载开关

234.44 V
3.08 A
233.46 V
1.51 A
233.80 V

128.15 KV
1.40 A
1.22 A
0.93 A

16.96 °C
24.57 °C
17.40 °C
0.54 MW

220kV降压变电风冷控制箱



0.06 A
6.07 KV
6.08 KV
6.07 KV

-0.05 A
6.07 KV
6.07 KV
6.08 KV

- 10KV 6分支PT保护装置综合故障
- 10KV 6分支母线消谐装置综合报警
- 10KV A段母线PT保护装置综合故障
- 10KV A段母线消谐装置综合报警
- 10KV B分支PT保护装置综合故障
- 10KV B分支母线消谐装置综合报警
- 10KV B段母线PT保护装置综合故障
- 10KV B段母线消谐装置综合报警

10.52 KV
10KV 母线 A段

10.52 KV
10KV 母线 B段

1号电锅炉

2号电锅炉

3号电锅炉

4号电锅炉

热网循环水泵A

热网循环水泵B

热网循环水泵C

电锅炉系统A干变

电锅炉系统B干变

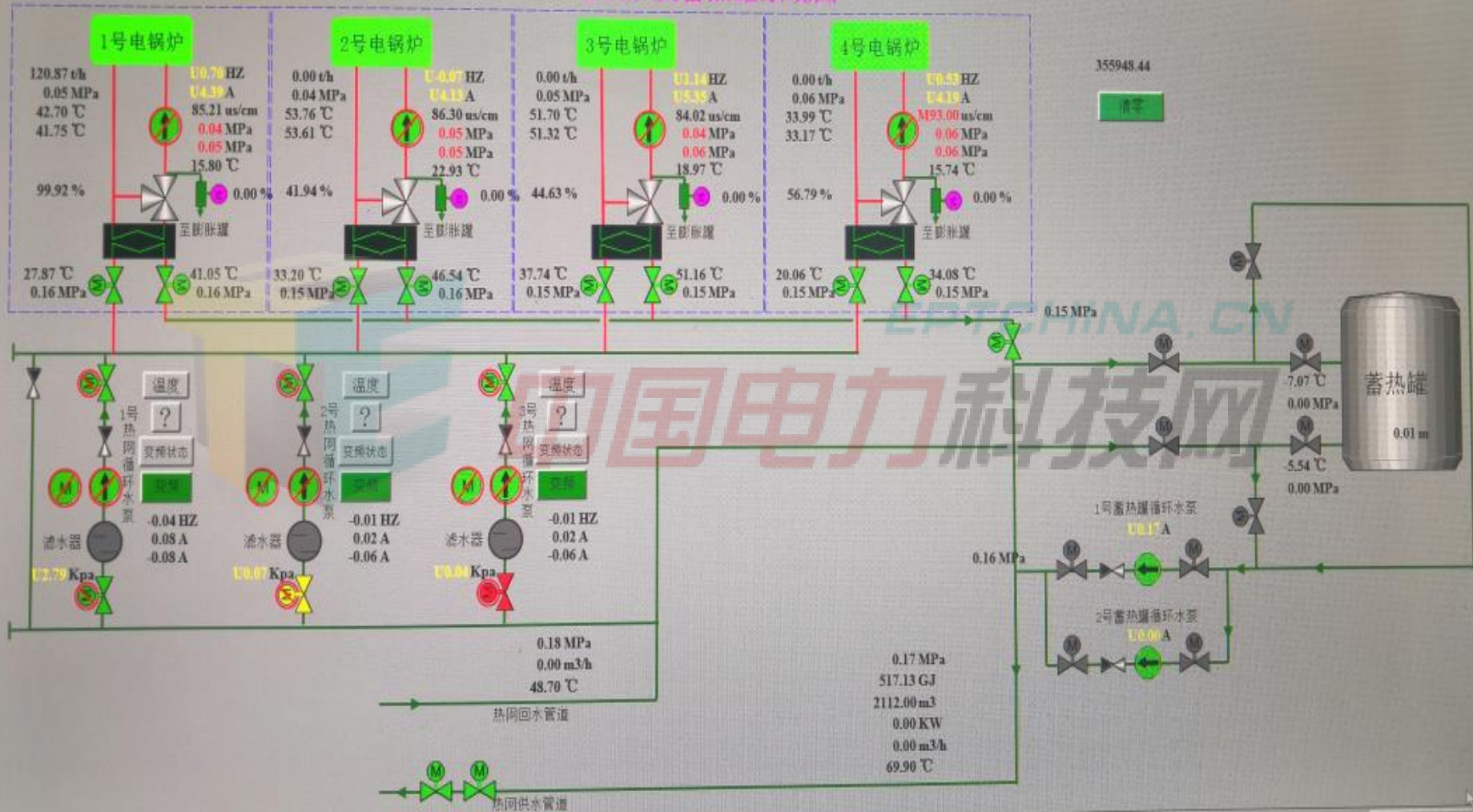
374.95 V
0.45 A
电蓄热PC A段

378.03 V
0.32 A
电蓄热PC B段

0.35 A

0.29 A 0.41 A 1.80 A 0.10 A
0.22 A 0.73 A 0.85 A 0.60 A
0.47 A 1.36 A 0.79 A -0.34 A
0.04 MW 0.02 MW 0.01 MW 0.02 MW
0.01 MW 0.03 MW 0.02 MW 0.02 MW
0.01 MW 0.00 MW 0.04 MW 0.03 MW

电锅炉及蓄热罐系统图



电储能项目实现的功能

风火替代

电锅炉储热系统配置在热电厂，作用是在风力低谷放出蓄热热量，在风力高峰期进行直接供热以或进行储热，以此促进风电消纳。

深度调峰

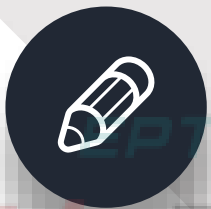
进行电蓄热灵活改造后，本厂则具有双重调峰作用：一方面，电蓄热锅炉作为用电负荷消耗发电量；另一方面，热电机组可以降低部分强迫电出力。

参与AGC调频

以热力发电机组组作为响应AGC调频指令的基础单元，以电蓄热系统作为快速响应AGC指令的补充单元，将机组出力与电锅炉出力合并后作为系统总出力送至电网，改善机组对电网AGC调频指令的执行效果。

热电解耦

电锅炉补偿供热，改变系统内热负荷以及电负荷的比例来达到“热电解耦”，解决热电机组的“以热定电”的运行约束



中国电力



奉献清洁能源 成就美好盛乐

DEDICATED TO CLEAN ENERGY ACHIEVEMENT GOOD SHENGLE

风火替代

- 利用电蓄热锅炉调峰，为新能源提供了上网空间，避免了大量清洁能源浪费，减少了燃煤量，节能减排，使环境空气质量得到改善，具有非常明显的环境效益。
- 电蓄热锅炉容量160MW，电热转换效率99%，板式换热器转换效率99%，那么电蓄热满负荷调峰1小时，则至少可以消纳风电160MW（注:这里忽略电蓄热供热后机组减少的强迫出力）。
- 产生的效益如下：
 - 1、其中的风火交易电量，为我厂直接经济来源。
 - 2、环保效益显著。按电蓄热满负荷计算，那么将电锅炉每小时供热量折算燃烧标煤量，可减少20.5吨/小时的燃料消耗；根据国家发改委提供的数据，每小时可减少CO₂排放量53710kg、减少SO₂排放量174kg、减少NO_x排放量7151kg、减少烟尘排放量54 kg。



奉献清洁能源 成就美好盛乐

DEDICATED TO CLEAN ENERGY ACHIEVEMENT GOOD SHENGLE

深度调峰

- 电锅炉做为用电设备进行调峰，提高了机组调峰深度，在电力市场政策支持下，不仅带来相当可观有偿调峰收益，另外电蓄热将电能转化为热能，为热用户供热，增加了供热收益。
- 需要注意的是，电蓄热改造所带来的收益空间对市场政策依赖程度高，为鼓励热电机组积极调峰，完善市场政策是十分必要的。

EPTCHINA.CN

中国电力科技网



奉献清洁能源 成就美好盛乐

DEDICATED TO CLEAN ENERGY ACHIEVEMENT GOOD SHENGLE

参与AGC调频

EPTCHINA.CN

- 我厂电蓄热介入AGC调频前，调节速率 K_1 平均值为0.823左右，处于被考核点，平均每月考核电量108.85MW，那么按照我厂上网电价计算，每月被考核3.07万元。（2017）
- 火电机组与储能系统联合运行后，AGC 的性能指标有极大提升。机组未进行电蓄热改造前KP值约为1.83左右，改造后可使KP达到3-4，甚至4以上。电蓄热储能系统带来机组调频性能的提升，使得机组在获得AGC补偿的同时，还能免于考核。



奉献清洁能源 成就美好盛乐

DEDICATED TO CLEAN ENERGY ACHIEVEMENT GOOD SHENGLE

热电解耦

投运电极锅炉后，由于电锅炉生产的热量会极大地补充到热网系统，在用热量不变的情况下，电厂原有的供热系统就会减少燃煤锅炉蒸汽的使用量，从而使发电机最大负荷不受供热的影响。同理，当发电机负荷较低时，燃煤锅炉的温度和压力较低，供热水温会同时降低，通过投入电极锅炉以提高供热的水温，从而达到发电机最低负荷不受供热的影响，实现了热电解耦，保证了供热和发电相互独立。

EPTCHINA.CN

电储能对能源发展的意义

关于电储能项目的应用，我们首先考虑的是用这样靠高品质的电能来生产低品质热能在热经济性方面上是否合理？但随着全球能源结构、资源的改变，国家能源政策、环境保护、电力供应政策、电力消费市场及供热方式的发展，我们不能单纯因为能质不匹配，就任由电网因低谷负荷不足造成大量的浪费；另一方面因为供热而弃掉大量风电、水电资源。

因此如何提高供电供热的经济性，如何充分利用新能源成为现在能源发展的重要方向。

对储能系统的研究应用，辅助火电机组灵活性改造，负荷低谷时进行深度调峰蓄热，负荷高峰期储能系统放热为热用户供热，配合用户进行电供热改造，实现电能替代，为新能源消纳提供负荷空间，可以大大改善新能源弃风、弃光等问题。



电储能对能源发展的意义

盛乐热电电储能项目是蒙西电网首个电厂灵活性辅助调峰项目，是蒙西电网深化改革的抓手，实现了集团公司提出的“在储能、储热领域争取率先实现突破，迈出实质性进展”的战略要求。

本期电储能项目设计规模为4台40MW，设备利用率达到80%时，可以实现约5亿千瓦时风电替代上网，能有效解决蒙西地区弃风问题，使电厂具备了“高峰顶得上，低谷压得下”的能力，同时采暖季可增加供热面积约400万平米。

此次电储能灵活改造项目的成功实施，对推动能源多元化发展起到积极的示范作用，对提高同行业供热能力、消纳富集区域风电资源具有里程碑意义，为蒙西电网清洁能源在全区范围内的消纳发挥着重要作用，能够更好地服务周边地区、人民和经济社会，实现可持续发展。

致谢

衷心感谢中国电力科技网、华电宁夏灵武发电有限公司、宁夏华电供热有限公司提供的此次平台！

感谢各位专家的精彩演讲以及技术交流！



内蒙古京能盛乐热电有限公司

感谢各位专家批评指正

Thank you for the criticism of the experts



日期：2020.01.09



主讲人：李亚斌