

中国工业报社

中国工业新纪录申报项目公示

依据《中国工业新纪录申报办法和流程》，经过企业自愿申报、行业初审、专家复审，现将上海申能电力科技有限公司申报的“亚临界机组 600℃升温提效改造关键技术”项目予以公示（申报项目将按照企业上报时间顺序陆续公示）。公示期间如有异议，请向中国工业新纪录办公室反映。

申报项目公示期为 7 天，公示期结束后如无异议将授予申报企业“中国工业新纪录”证书。

公示电话：（010）60516883 （010）67410601

电子邮箱：mgd1688@126.com

传 真：（010）60516883



2023 年 8 月 4 日

中国工业新纪录申报企业和项目

申报单位：上海申能电力科技有限公司

申报项目名称：亚临界机组 600℃升温提效改造关键技术

纪录指标：目前我国仍有约 3.5 亿千瓦装机容量的亚临界机组，与超临界、超超临界机组相比，亚临界机组明显落后，煤耗高，调峰能力同样差，亟待低碳化改造。由上海申能电力科技有限公司冯伟忠教授领衔技术团队研发的“亚临界机组 600℃升温提效改造关键技术”于 2019 年在徐州华润电厂 3 号 32 万千瓦机组上率先成功应用。该技术属世界首创，具有自主知识产权，突破了亚临界机组升温至 600℃改造的技术瓶颈，研发了基于大幅升温的高效化系列技术，具有高度的创新性、集成性和系统性。机组额定工况下供电煤耗平均降幅高达 35g/kWh，达到 285g/kWh，跨代升级至现役超超临界机组煤耗水平。

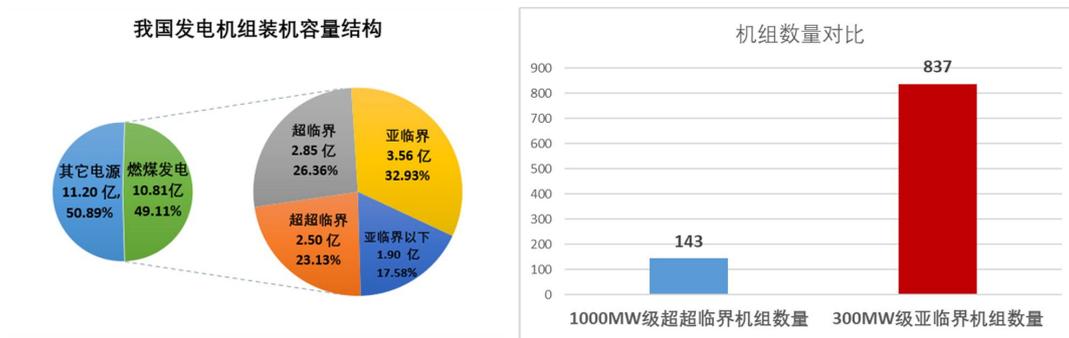
项目介绍：

一、产品背景

在“双碳目标”下，我国基于以煤为主的基本国情，正在推动煤电机组通过“三改联动”（节能降耗改造、灵活性改造、供热改造）实现低碳化发展。

目前我国仍有约 3.5 亿千瓦装机容量的亚临界机组（主要为 30 万千瓦和 60 万千瓦等级），占煤电总装机容量的三分之一；其中 30 万千瓦等级亚临界机组又占亚临界机组总装机容量的 3/4，数量多达约 837 台。然而与超临界、超超临界机组相比，亚临界

机组明显落后，煤耗高，调峰能力同样差，亟待低碳化改造。



近年来行业内涌现出不少亚临界机组节能提效改造的技术路线，然而从应用情况和市场反馈看，大部分方案均存在明显的短板。如常规汽轮机通流改造，节能收益有限，无法达到国家煤耗要求，且往往改造收益很快衰减；跨代升级改造成双轴“准”二次再热超（超）临界机组的改造量和成本过于巨大，几乎相当于重建，最终的性能却差强人意，不具备经济性；升温至 566/566℃ 节能效果有限、性价比不高，等等。

业内迫切需要破局者，以较高的性价比实现亚临界机组的大幅提效。

二、创造水平

“亚临界机组 600℃ 升温提效改造关键技术”由上海申能电力科技有限公司冯伟忠教授领衔技术团队研发，于 2019 年在徐州华润电厂 3 号 32 万千瓦机组上率先成功应用。该技术属世界首创，具有自主知识产权，突破了亚临界机组升温至 600℃ 改造的技术瓶颈，研发了基于大幅升温的高效化系列技术，具有高度的创新性、集成性和系统性。

该技术在徐州华润电厂应用后，经国内和国际试验单位各自

独立测试，在节能降耗方面达到了创造行业新纪录的水平：

机组额定工况下供电煤耗平均降幅高达 35g/kWh，跨代升级至现役超超临界机组煤耗水平，碳减排和经济效益显著。该效率水平，在同等负荷条件下也优于日本效率排名第一的超超临界机组——新矶子 1 号机，以及美国效率排名第一的 John. W. Turk 电厂超超临界机组。

事实上，在申能电力科技取得技术突破之前，300MW 等级亚临界汽包炉，业内公认的升温上限为 566℃。美国的亚临界机组在其煤电板块中占比最高，因此对于亚临界机组提效改造技术非常关注。美国能源部知晓申能电力科技在亚临界机组大幅升温提效改造技术方面取得突破性研究成果后，于 2017 年出资 6500 万美元，委托美国电力研究院（EPRI）研发该项技术。2019 年 6 月，申能电力科技的专家应邀参加国际能源署清洁煤中心主办的第九届国际清洁煤技术大会，在开幕式上专题介绍高温亚临界改造技术及项目后，美国电力研究院与会专家主动与其交流，并坦承其在该领域核心技术，尤其是汽包炉 600℃升温改造方面尚未取得突破。亚临界汽包炉 600℃升温改造技术的难度由此可见一斑。

2021 年 12 月，申能电力科技委托上海科学技术情报研究所进行了“高温亚临界综合升级改造技术研究与应用”（亚临界机组 600℃升温提效改造关键技术属于其中主要组成部分之一）查新，查新结论如下：

综上所述，该委托项目就高温亚临界综合升级改造技术及其应用展开研究，开发形成了一种亚临界机组的改造方法，改造后的高温亚临界机组的主再热蒸汽参数为 16.7MPa/600℃/600℃，其

在额定纯凝工况下（不带供热）的供电煤耗为 285g/kWh，且具备 20%深度调峰能力，除该委托项目单位自己、该委托项目参与人员发表的文献或述及该委托项目研究成果的文献外，国内外未见其他影响该委托项目新颖性的文献报道。

三、行业地位

2020 年 6 月 12 日，中国能源研究会在北京中国科技会堂，组织“亚临界机组 600℃升温改造关键技术”的研究与应用成果评审会。与会院士专家经过讨论、质询后一致认为：

“亚临界机组 600℃升温改造技术”为世界首创，具有自主知识产权。为我国亚临界机组高效、灵活性改造提供了一种可行的技术路径，具有显著的经济社会效益和良好的推广应用前景。

建议加强与国内研发和装备制造企业的合作，尽快推广应用。

2022 年 1 月 25 日，国家能源局根据国务院领导的批示，委托中电联在北京召开了“高温亚临界综合升级改造技术”成果评估会，评估的院士专家一致认为：

该技术总体达到国际领先水平，在华润徐州电厂有限责任公司 3 号机组成功应用、成效显著，对我国电力行业实现“双碳目标”具有重要价值，建议制定计划，尽快推广应用。

2020 年 5 月底，在获知徐州华润 3 号机组实施高温亚临界综合升级改造的第三方检测结果后，作为在清洁煤技术领域具有国际影响力的组织，国际能源署清洁煤中心（IEACCC）负责人 Minchener 博士亲自撰写长文，在 IEACCC 官网上向国际同行专题介绍该项目在亚临界机组大幅节能降耗，提高负荷灵活性，延寿保效等方面的突出成果和示范意义。

TURNING COAL POWER INNOVATION INTO REALITY

28 May 2020 Andrew Minchener



DR ANDREW MINCHENER OBE



Andrew Minchener has overall responsibility for the IEA Clean Coal Centre's activities, with special emphasis on maintaining a strong international profile for all aspects of clean coal utilisation, with a focus on outreach to developing and industrialising countries.

[Read more >](#)

Biography

[Reports](#) | [Blogs](#) | [Webinars](#)

much shorter response time from low load to full operation compared with the 600-1000 MWe SC and USC units, due to the preservation of the previous boiler drum and the adoption of an upgraded turbine control system. Consequently

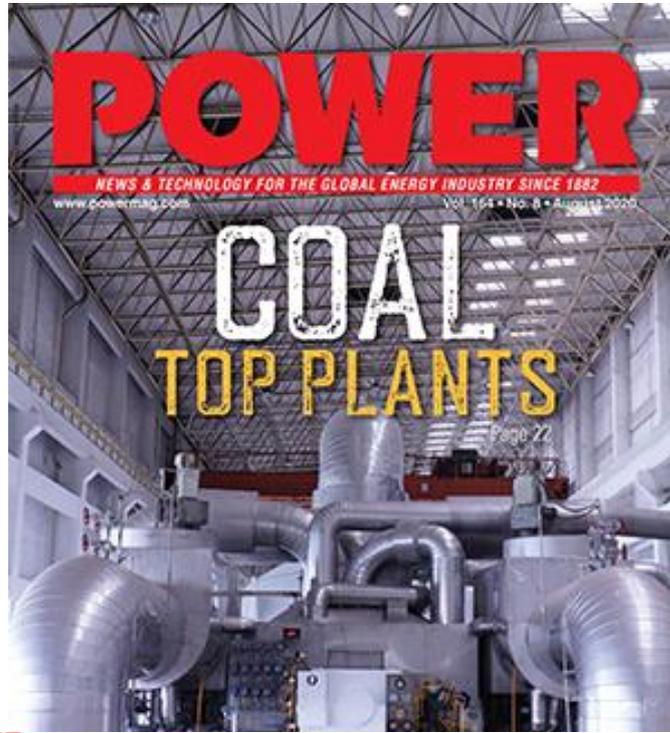
作为总结，(亚临界机组600°C升温提效改造)这一技术创新为占中国煤电总装机容量约32%的300MW-600MW亚临界机组的升级改造提供了基础。这一成就不仅可以实现碳减排，也能保证化石能源的利用对环境更加友好，与联合国可持续发展目标高度一致。

This upgrade offers an excellent return on investment as the cost is about one third of that for building a new unit, while achieving so many advantages.

“ In summary, this innovative approach in China has provided the basis for major upgrade of the 300-600 MWe subcritical coal power plant units, which represent about 32% of the coal power fleet capacity in China. These will achieve not just a reduction in carbon emissions but will also ensure better use of fossil fuels with much improved environmental performance, in line with the aims of UN Sustainable Development Goals.

2020年8月3日，创刊于1882年的国际电力界著名杂志——美国POWER（《电力》）向华润徐州电厂#3机组颁发2020年“顶级电站（Top Plants）”奖项，并以该机组照片作为8月份杂志封面，以突显该机组高温亚临界综合升级改造的巨大价值和意义。在此之前，国内仅有三峡水电站（2012年）与上海外三电厂（2015

年) 获得过该奖项。



Aug 2, 2020
by Sonal Patel

ALSO IN THIS ISSUE
August 3, 2020

Coal | Aug 3, 2020
**Efficiency a Priority at
Caofeidian Coal Power Plant**

 by Aaron Larson

Coal | Aug 3, 2020
**Digitization Drives Efficiency at
Turkish Coal Plant**

 by Darrell Proctor

News | Aug 3, 2020
**Khargone: India's High
Efficiency Leap**

 by Sonal Patel

Coal | Aug 3, 2020
**Success Through Engineered
Upgrades and a Focus on
Behavior**

 by Aaron Larson

Coal

Xuzhou 3 Shows the Future of Subcritical Coal Power Is Sublime

徐州3号机组证明亚临界机组
有着非常光明的未来



A remarkable retrofit at Xuzhou Unit 3 boosted the 320-MW subcritical coal unit's efficiency to beyond 43.56%—higher than all existing Chinese supercritical units, and even many ultrasupercritical units. The groundbreaking demonstration is a POWER

该项目还获得过“2020年中国能源研究会能源创新奖技术创

新一等奖”（排名第一），2022年获中国电力技术市场协会颁发电力科技成果金苹果奖技术成果一等奖。

徐州华润3号机组投产后，蝉联了2020年和2021年中电联颁发的“300MW级亚临界纯凝湿冷机组指标对标供电煤耗指标最优机组”称号。



四、社会经济效益和推广前景

“亚临界机组600℃升温提效改造关键技术”属世界首创，具有自主知识产权，有力地推动了我国煤电机组中占比最大、效率却最低的亚临界机组低碳化改造领域的技术进步。

若在我国现役装机约3.5亿千瓦的亚临界机组中全面推广应用该技术，据测算年可节约超过4700万吨标准煤，减排二氧化碳超1.27亿吨。

亚临界机组在国外也是煤电机组中占比最大的板块，通过“一带一路”等途径推广该技术，可进一步提升我国在先进煤电技术领域的领先优势，成为又一张“中国名片”，为世界碳减排做出中国贡献。

推广该技术，还可以有效拉动电力行业的设计、装备制造和施工建设等全产业链发展，拉动国民经济。

我国煤电机组深度调峰改造之所以进展明显低于预期，在技术层面的主要原因，是超低负荷对于机组的安全、环保和可靠运行提出了巨大的、全方位的挑战，这些挑战可以概括为锅炉水动力特性恶化、稳燃变差、SCR 脱硝烟温过低、空预器冷端腐蚀堵塞、热电解耦、主机寿命折损和煤耗大幅升高等七方面问题。

针对这七个方面的问题，业内目前相当一部分解决方案是“头痛医头、脚痛医脚”，具有较强的局限性。例如，对于锅炉稳燃差问题，运行调整主要从配风方面入手，效果有限；燃烧器改造针对不同燃烧器有不同方案，有局限性；辅助燃烧投油或等离子助燃，高能耗高费用。在深调压力已经到来且会继续增加的压力下，不少机组在没有合适技术方案的无奈下，选择牺牲机组的经济性、设备的安全性来实现深度调峰，例如有些机组通过开旁路来实现锅炉热负荷与汽机电负荷的不匹配。这在某种程度上是得不偿失，也并不低碳。

针对上述问题，上海申能电力科技有限公司（申能科技）经过多年的研究与实践，已经研究出了包括广义回热系列技术、弹性回热技术、安全经济热电解耦系列技术等在内的深度调峰系列技术，能够安全环保可靠地实现机组 20%深度调峰。这些技术具有

如下创新点和优点：

首先是技术具有系统性。不同于常规技术的“头痛医头、脚痛医脚”，申能科技的深度调峰系列技术具有高度的系统性，体现在解决机组深度调峰工况的七方面问题时，把以锅炉和汽轮机为主的热力系统看成一个整体。以广义回热系列技术为例，从传统的以锅炉给水为回热媒介的经典回热循环，拓展为以锅炉输入的水、风、煤等均作为回热媒介的广义回热循环，不仅提高了机组的效率，还有效地提升了锅炉低负荷下稳燃性能。

其次是技术路线具有普适性，具体到某类甚至某台机组时又有定制化的技术方案。以弹性回热技术为例，其核心在于高压缸处选择一个合适的抽汽点，并相应增加一个抽汽可调的给水加热器，在负荷降低时，通过调节门可控制该加热器的入口压力基本不变，从而能使给水温度在一定负荷范围内保持在额定值。这样的技术路线对于各类机组均具有适用性，但是针对不同的机组情况和需求，其具体的技术方案又是不同的，这样能够达到最佳的改造效果。

三是深度调峰系列技术既可以和节能降耗系列技术（如高温亚临界技术）配套使用，在大幅提效的同时实现深度调峰，也可以根据机组需要相对独立地实现深度调峰功能。

2021年12月，申能电力科技委托上海科学技术情报研究所进行了“高温亚临界综合升级改造技术研究与应用”（先进安全环保的煤电机组20%深度调峰系列技术属于其中主要组成部分之一）查新，查新结论如下：

综上所述，该委托项目就高温亚临界综合升级改造技术及其

应用展开研究，开发形成了一种亚临界机组的改造方法，改造后的高温亚临界机组的主再热蒸汽参数为 16.7MPa/600℃/600℃，其在额定纯凝工况下（不带供热）的供电煤耗为 285g/kWh，且具备 20%深度调峰能力，除该委托项目单位自己、该委托项目参与人员发表的文献或述及该委托项目研究成果的文献外，国内外未见其他影响该委托项目新颖性的文献报道。

三、行业地位

“先进安全环保的煤电机组 20%深度调峰系列技术”最早在上海外三电厂就有相关成功应用。早在 2008 年外三机组尚在调试期间，由于部分深调系列技术的加载，外三实现了单台磨不投油助燃带 8.9%负荷（当时氮氧化物排放要求较为宽松，SCR 系统并未投运），随后又解决了低负荷下水动力特性差的问题。

2019 年，由申能科技实施的世界首例高温亚临界综合升级改造项目中，不仅实现了大幅提效，使得 300MW 等级亚临界汽轮机改造后煤耗水平达到现役超超临界机组较为先进水平（纯凝额定工况 285g/kWh），节能量超过 10%，而且同步实现了 20%深度调峰认证。该认证试验由电网授权第三方机构完成，提前 11 年实现了国家科技部拟定的煤电科技发展 2030 年三大目标之一。相关主要指标如下表所示，值得指出的是，改造前受制于脱硝系统，机组能够达到的最低负荷仅为约 55%负荷。

项目	标准	测试性能
最低稳燃负荷	国家能源局提出， 在 2030 年前实现	2019 年 12 月测试中最低 负荷达到 19.39%

20%深调		
从 50%负荷降低至最低稳燃 负荷时间	<1.5 小时	1.28 小时
最低稳燃负荷持续时间	>4 小时	4.08 小时
从最低稳燃负荷升高至 50% 负荷时间	<1 小时	0.67 小时
大气污染物排放指标	粉尘<10mg/m ³	粉尘 0.95mg/m ³
	SO ₂ <35mg/m ³	SO ₂ 3.3mg/m ³
	NO _x <50mg/m ³	NO _x 28.6mg/m ³

2021年5月，全面应用申能科技相关技术的国家煤电示范项目“平二项目”——1350MW 高低位分轴布置二次再热机组，在调试期间成功实现了20%负荷下干态运行（锅炉并未转湿态），此时根据在线数据机组煤耗约为320g/kWh，在尚未进行优化调整的情况下，也仅比额定工况煤耗升高约70g/kWh。在世界上单机容量最大的两次再热机组上成功实现20%深度调峰，尤其是锅炉保持干态运行的深度调峰，难度最大，标志着申能科技的20%深度调峰系列技术对各类容量和参数的煤电机组实现了全覆盖。

此外，由申能科技提供技术方案和改造咨询的申能吴忠电厂也已于2021年完成了机组热电解耦改造，改造后随着机组负荷变化（如AGC），工业供汽的可行汽源实现了无扰切换，既保证了机组连续对外供热，同时也提升了机组对外供热的安全性、灵活性和经济性。针对热电联产机组，申能科技还研发储备了其他安全经济可靠的热电解耦技术。

四、社会经济效益和推广前景

“先进安全环保的煤电机组 20%深度调峰系列技术”具有自主知识产权，可有力提升我国煤电机组的灵活性。

若在我国现役装机约 3.5 亿千瓦的亚临界机组中全面推广应用该技术，可创造出至少 7000 万千瓦调峰容量，可增加风光新能源装机容量高达 3.5 亿千瓦以上（按 5 倍杠杆考虑）；若进一步在我国现役约 11 亿千瓦的煤电机组中全面推广，则可创造出更大的调峰容量。这将大幅提升新能源和煤电的兼容性，进一步降低我国电力行业的碳排放，同时有力保障电网安全和能源安全，助力电力行业高质量实现“双碳目标”。

附：资质证书及荣誉奖项

公示一：附件 1 徐州项目改造前供电煤耗--可研报告（参考外方试验数据）

公示二：徐州项目改造后供电煤耗--外方性能试验报告

公示三：徐州项目改造前供电煤耗--中方性能试验报告 1

公示四：徐州项目改造后供电煤耗--中方性能试验报告

公示五：《高温亚临界综合升级改造技术》成果评估意见附签到表