

附件二

上海市质量协会团体标准

《火力发电高效清洁利用 亚临界机组综合升级改造规范》

编制说明

一、背景情况

1. 任务来源

依据国家碳达峰、碳中和重大战略决策部署，立足中国能源禀赋以煤为主的基本国情，按照《国家发展改革委国家能源局关于开展全国煤电机组改造升级的通知》提出的煤电节能降碳改造、供热改造和灵活性改造（简称“三改联动”）的要求，为促进煤电机组节能改造技术创新，科学规范有序地推广提高能效且成熟的亚临界机组综合升级改造技术，推动煤炭清洁高效利用，促进绿色低碳发展，助力践行“双碳”目标、助推新型电力系统建设，根据电力行业国内外相关技术标准，上海申能电力科技有限公司总结高温亚临界综合升级改造示范项目的技术路线和典型经验，牵头提出制定《火力发电高效清洁利用 亚临界机组综合升级改造规范》上海市质量协会团体标准。2022年1月，经上海市质量协会组织专家评审、公示，正式通过立项，该项目同步列入上海市技术标准创新基地（绿色低碳能源装备）首批技术标准创新项目。由上海申能电力科技有限公司会同上海电气电站设备有限公司上海汽轮机厂、上海锅炉厂有限公司等单位共同开展《火力发电高效清洁利用 亚临界机组综合升级改造规范》团体标准制定。

2. 目的意义

研究制定《火力发电高效清洁利用 亚临界机组综合升级改造规范》团体标准，可为科学、规范地开展高温亚临界综合升级改造提供技术指导，推动煤炭清洁高效利用，促进绿色低碳发展，助力践行“双碳”目标、助推新型电力系统建设。

二、标准起草过程

本标准的制定工作过程如下：

1) 立项申请

时间：2021年12月-2022年1月

工作：开展工作研讨，确定聚焦“火力发电清洁高效利用”重点领域，开展高温亚临界机组升级改造团体标准研制，编制标准制定工作方案、团标项目建议书、标准草案。

2) 项目立项

时间：2021年1月24日

工作：组织市发改委、市经信委、市市场监督管理局等政府主管部门相关处室，以及有关科研机构、行业协会、标委会和企事业单位的7位专家对标准立项进行评审，根据专家意见对申报材料做出修改调整。

3) 标准制定

时间：2022年1月25日-5月13日

工作：依据前期研究成果、综合升级改造经验，经过起草团队的多轮内部研讨，编制标准草案稿；通过标准起草组的内部沟通，修改完善标准草案稿，形成标准送审稿、编制说明（送审）。

5) 征求意见

时间：2022年5月14日-5月30日

工作：向政府部门、电厂、设备制造厂家、科研院所等标准推进、实施与监管的相关单位征求意见，在此基础上形成送审稿。

三、标准编制原则和内容说明

1. 标准编制原则

《火力发电高效清洁利用 亚临界机组高温综合升级改造规范》团体标准制定，按照《国家发展改革委国家能源局关于开展全国煤电机组改造升级的通知》提出的煤电节能降碳改造、供热改造和灵活性改造（简称“三改联动”）的要求，致力于推动煤炭清洁高效利用，促进绿色低碳发展，助力践行“双碳”目标、助推新型电力系统建设。结合成熟的亚临界机组高温综合升级改造技术的实践与经验，确定了以下标准制定原则：

1) **先进性**。本标准经过广泛的调研，从现有的亚临界机组改造技术路线中选定了国内外最为先进的高温亚临界机组改造方案。

2) **高标准性**。本标准突出强调了亚临界机组的高温及综合性改造，在大幅降低机组供电煤耗、满足“三改联动”要求基础上，同时兼顾全运行负荷高效、长期保效等性能。

3) **可操作性**。本标准基于已成功改造的高温亚临界综合升级改造案例，参考国家和行业标准，充分考虑不同机组运行边界的差异，提出业内可理解、可接受、可执行的规范化要求及差异化的考核标准，确保标准发布后能够落地实施。

2. 主要条款说明

本标准重点聚焦亚临界机组高温综合升级改造技术、指标要求和改造验收相关问题，涉及亚临界机组高温综合升级改造前期准备与策划、改造技术及指标要求、改造实施、改造验收以及高温亚临界机组运行维护等全过程、全周期要求。标准主要条款内容说明如下：

1) 范围

本标准适用于亚临界机组的高温综合升级改造项目。

2) 前期准备和策划

开展改造前期性能诊断，对目标机组改造前的真实性能、能耗、辅机效率、系统缺陷、最低稳燃负荷性能等做全面和详细的诊断，结合性能诊断情况和目标电厂对机组改造后的性能及功能诉求，根据目标电厂选用的设计煤种、校核煤种，运行负荷特征，确定综合升级改造技术路径、改造范围，结合改造前期的机组性能诊断，初步测算改造后的机组能耗水平，确定综合升级改造的期初方案；对综合升级改造项目立项实施开展评估，分析项目立项实施的必要性和可行性。

3) 改造技术及指标要求

(a) 综合升级改造的技术路径包括但不限于：

- 汽轮机主蒸汽和再热蒸汽升温至 600℃等级改造；
- 锅炉主蒸汽和再热蒸汽升温至 600℃等级改造；
- 热力系统配合主蒸汽和再热蒸汽升温至 600℃等级改造；
- 节能技术同步加载改造；

- 深度调峰技术同步加载改造；
- 供热优化及热电解耦同步改造；
- 保效技术同步加载改造。

(b) 综合升级改造应满足高质量改造的要求，总体目标主要涉及：

- 大幅降低机组供电煤耗至国家供电煤耗要求以内；
- 满足“三改联动”要求；
- 机组延寿；
- 全运行负荷高效；
- 长期保效。

(c) 能耗指标

典型湿冷的燃用烟煤的常规燃煤发电机组综合升级改造后机组的供电煤耗（含脱硫脱硝）应满足表 1 要求，其他类型机组按改造后额定工况与表 1 的注 1-注 3 进行必要的修正。

表 1 燃用烟煤的常规燃煤发电机组综合升级改造后的供电煤耗

| 容量等级 | 冷却形式 | 改造后额定工况供电煤耗 (g/kWh) | | |
|------------|------|---------------------|-------|-------|
| | | 合格值 | 推荐值 | 优秀值 |
| 300MW 等级纯凝 | 湿冷 | <291 | < 288 | < 285 |
| 600MW 等级纯凝 | 湿冷 | <288 | < 285 | < 282 |

注1：上述指标针对背压 4.9kPa 的纯凝湿冷机组，其他背压水平的纯凝湿冷机组综合升级改造后额定工况的供电煤耗值按机组设计背压进行科学地修正，形成修正值。

注2：供热机组的综合升级改造后额定工况的供电煤耗，须按照热电比、供热参数对煤耗值进行科学地修正，形成修正值。

注3：燃用无烟煤或 W 型火焰机组、褐煤煤种及采用空气冷却方式等其他因素对供电煤耗的影响的修正，符合 GB 21258 规定与其他规则。

d) 全运行负荷高效

- 汽轮机改造的设计选型，应兼顾以全运行负荷综合经济性最优

为目标，在汽轮机配汽方式、末级叶片选型等方面需进行多方案的分析论证，根据目标机组的负荷率、背压、供热等实际运行情况，制定科学合理的汽轮机改造实施方案。

- 锅炉改造的设计选型，兼顾全运行负荷效率、动态特性和污染物排放。

- 挖掘包括锅炉、汽轮机和主要辅机在内的热力系统低负荷下的节能潜力。

e) 深度调峰能力

- 对于燃用烟煤的煤粉炉，无论其对应纯凝机组还是供热机组，要求其锅炉侧深度调峰能力为 20%-100%（以锅炉热负荷为标准，脱硝、脱硫和除尘设备正常投运），供热机组应同步实现热电解耦。

- 机组从 50%负荷调整至最低负荷用时不超过 1.5h，低负荷保持时间能力不低于 4h，从最低负荷调整至 50%负荷用时不超过 1h。在机组综合升级改造后应进行最低稳燃负荷性能测试。

- 汽轮机的深度调峰能力宜与锅炉相匹配。根据调峰能力的要求，汽轮机应设置合理的低压缸喷水装置等措施，保证机组深度调峰运行的安全稳定性。

- 应采用适当措施确保机组在具备深度调峰能力同时兼备机组的安全性和经济性。

f) 长期保效

- 在设计、施工、调试、运行各阶段，目标电厂与综合升级改造工程项目实施单位应保证汽水品质满足锅炉和汽轮机的运行要求，同

时应采用有效的技术措施减缓甚至根除固体颗粒侵蚀问题，避免因相关问题导致炉管堵塞或超温甚至爆管、汽轮机效率下降、旁路泄漏量增加。

- 汽轮机改造中，不宜通过过度减小汽封间隙来实现效率提升，防止多次启停后，其汽封间隙变大，导致效率降低。

- 机组运行和维护方式按照设计方要求进行，宜定期监测缸效、漏汽率等关键性能参数和指标，对异常的指标变化进行分析检查并采取消除措施，以保障机组寿命期的高效运行。

- 在综合升级改造投产初期项目验收开展的汽轮机性能试验基础上，目标电厂宜在正常生产满 2 年后定期开展汽轮机性能比对试验，对机组的缸效、汽封漏汽及热力系统等作全面核查，与综合升级改造设计值相比对，若出现明显偏差，应进行相关分析，识别影响因素，进行整改。

- 汽轮机进汽参数等相关运行边界条件宜调整到与设计工况无显著差异，以使机组处于高效运行区。

- 汽轮机的运行维护参照汽轮机制造厂家相关说明要求，对机组运行过程中出现的影响机组安全和效率的问题，应及时给予处理。

g) 排放标准

排放控制全运行负荷（包括深调工况）条件下，综合升级改造后机组的污染物排放指标应满足国家超低排放标准。

4) 改造验收

a) 总则

机组改造后，对汽轮机、锅炉本体设备的性能验收，可依据 GB/T 10184、DIN EN 12952、ASME PTC 4、ASME PTC 6、ASME PTC 46、GB/T 8117.1 等相关标准。若对主要辅机如风机、泵、凝汽器等进行了改造，也可依据相应标准对其开展其性能验收。

机组综合升级改造的能效水平验收应以供电煤耗作为指标，宜采用 ASME PTC 46、DIN EN 12952、GB/T 10184 等全厂性能试验规范相关要求和计算方法进行。验收该指标时，除上文提到的主机性能验收标准外，还需依据 DL/T 904 等标准，并遵循以下原则：

- 锅炉和汽轮机应同时进行试验；
- 管道效率应依据 DL/T 904，采用实测确定；
- 对于厂用电相关的统计和计算，环保系统尤其是脱硫、脱硝和电除尘等功率应计入厂用电范围，同时考虑公用设备的合理摊分功率，对于机组改造前、后的厂用电范围应保持一致；
- 在计算机组改造前、后供电煤耗指标时，对汽轮机组热耗率、锅炉效率和厂用电率的相关修正要求和建议详见供电煤耗修正和其他问题。

机组综合升级改造的灵活性能力验收应以相关国家、行业或地方标准为依据。

b) 供电煤耗修正和其他问题

- 为了获得机组的真实供电煤耗，不应以无法正常运行为名义对机组任何系统进行修正。若系统存在异常或缺陷，应恢复系统正常运行，消除相关缺陷后再进行试验。

- 如采用分系统指标计算供电煤耗时，汽轮机组热耗率仅可按 ASME PTC 6 进行背压修正，不应进行其他一、二类修正。试验宜选择环境条件与设计值接近时开展，以减少背压修正幅度，提高试验结果的精确性。若改造中对机组冷端性能进行了优化提升（如实施了冷端改造），或改造降低了排汽热负荷，使得汽轮机设计背压得以合理降低，且有第三方专项试验报告或评估报告作为依据，则按优化后的汽轮机设计背压作为基准，进行相应修正。若改造中对机组冷端性能进行了优化提升且有专门的第三方评估节能量，则改造前、后的总节能量亦可按背压不变，并另单独累加冷端改造的节能量来进行测算。

- 对锅炉效率，仅进行环境温度修正；试验期间燃用煤种应为改造设计煤种，不应进行煤种修正。

- 若机组改造前、后性能试验期间同等工况的循环泵投用台数或转速（针对具有高低速或变频能力的循环泵）不同，则应对循环泵功耗进行相应修正，以保持改造前后循环泵功耗一致。

- 性能试验单位与性能试验对象（电厂）及其上级集团应无隶属关系。

四、与国内外标准相关的情况说明

国内外尚无亚临界机组高温综合升级改造相关标准。本标准编基于上海申能电力科技有限公司的相关专利技术和其已实施的高温亚临界机组改造案例，参考国内外与锅炉性能验收、汽轮机热力性能验收和火力发电厂技术经济指标计算方法等相关的标准，形成本标准。

五、重大分歧意见的处理结果及理由

暂无。

六、实施标准的措施建议

团体标准发布实施后，建议在申能（集团）有限公司、上海电气集团股份有限公司未来的亚临界机组高温综合升级改造项目中实施。

七、其他需要说明的情况

本标准立项题目为《火力发电高效清洁利用 亚临界机组综合升级改造规范》，在本标准编写过程中，考虑到本标准中亚临界机组综合升级改造的主要技术路径是采用高温、综合的升级改造，为更确切的表述本标准中亚临界机组升级改造中高温、综合这两个重要技术特征，并体现出其先进性，特将本标准题目调整为《火力发电高效清洁利用 亚临界机组高温综合升级改造规范》。

另外，现有汽轮机性能试验标准进行背压修正时，未能考虑机组冷端（凝汽器、冷却塔、空冷岛等）性能是否达标，以及主要边界条件（如水温、风温、湿度、循环水流量等）是否达到设计值，因此往往存在着机组实际冷端性能明显不达标，但仍然将背压修正到设计值的问题，该情况不能真实反映出机组实际运行煤耗水平，且容易误导电厂，使其忽视机组冷端性能的重要性。鉴此，条件允许下宜考虑进一步开展对机组冷端实际性能评估工作，形成一套科学、可行、规范的操作办法，在设计环境条件下，对汽轮机冷端实际性能进行准确评估，进而得到汽轮机实际基准背压，为汽轮机热耗的合理修正提供基础，同时为机组冷端性能的恢复或提升提供参考。