《锅炉燃烧智能优化系统降碳计算单元设计标准》编制说明

（征求意见稿）

# 一、工作简况

# 1 任务来源

本项目是根据2022年1月10日“中国工业节能与清洁生产协会团体标准立项的通知”进行制定，项目名称：“锅炉燃烧智能优化系统降碳计算单元设计标准”，本标准由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口，起草牵头单位：武汉世嘉新能源工程有限公司。

# 2 主要工作过程

**起草阶段：**

2022年1月20日，成立标准制定工作组，明确进度安排。

2022年1月21日～2022年4月8日，武汉世嘉新能源工程有限公司完成资料、数据等收集、整理，结合相关政策要求，形成团体标准《锅炉燃烧智能优化系统降碳计算单元设计标准》（初稿）及编制说明。

2022年4月8日~4月20日，对团体标准《锅炉燃烧智能优化系统降碳计算单元设计标准》(初稿)及编制说明进行了标准制定组内部及相关专家函审，共发送征求意见函10家单位。收到7家单位回函，其中3家单位无意见，共23条修改意见。其中，采纳22条，部分采纳1条，未采纳0条。根据各位专家提出的建议，对标准“初稿”进行修改和完善，于4月24日形成团体标准《锅炉燃烧智能优化系统降碳计算单元设计标准》（研讨稿）及编制说明。

2022年4月28日，通过腾讯会议组织召开团体标准《锅炉燃烧智能优化系统降碳计算单元设计标准》（内部征求意见稿）研讨会，根据会议意见，对标准“研讨稿”进行修改和完善，于5月20日形成团体标准《锅炉燃烧智能优化系统降碳计算单元设计标准》（征求意见稿）及编制说明。

**征求意见阶段：**

**审查阶段：**

**报批阶段：**

# 3 主要参加单位和工作组成员及其所做的工作

主要参加单位：武汉世嘉新能源工程有限公司、国能龙源环保有限公司、厦门绿洋环境技术股份有限公司、浙江德创环保科技股份有限公司、国能维真（山东）测试分析有限公司、武汉恒合嘉创环境工程有限公司、武汉凯迪电力环保有限公司、浙江天洁环境科技股份有限公司、浙江菲达环保科技股份有限公司、浙江大学、上海激光电源设备有限责任公司、绍兴市质量技术监督检测院。

本文件主要起草人：程亮平、李力、周统、谢友金、李敬东、张迎冰、丁刚、赵志华、吴敏、陈意、邱金鑫、陈宇渊、陈洪锋、张启玖、郑成航、陈超、白月、朱青、孙淮浦、赵飞、黄翔。

所做的工作：程亮平任标准制定工作组组长，为标准总负责人，全面协调标准的制定工作，负责对各阶段标准的审核。李力、周统、谢友金、李敬东、张迎冰主要参与标准的起草及编写工作。丁刚、赵志华、张启玖、陈超、白月、孙淮浦负责收集国内相关技术文献和资料，吴敏、陈意、邱金鑫、陈宇渊、陈洪锋、郑成航、朱青、赵飞、黄翔负责对标准各阶段意见及建议进行归纳、分析及其他材料的编制。

# 二、标准编制原则、主要内容和解决的主要问题

# 1 标准编制的原则

本文件的制订遵循“面向市场、服务产业、自主制定、适时推出、及时修订、不断完善”的原则，标准的制订与技术创新、试验验证、产业推进、应用推广相结合，统筹推进。并力求标准具有“简洁性、通用性、指导性、引导性和可扩展性”的特点。

# 2 标准主要技术内容

# 2.1 范围

锅炉燃烧智能优化系统降碳计算单元的调节对象主要为一次风、二次风、主给水、减温水，以适合不同煤质、不同负荷时燃料在炉膛内的燃烧，适用于燃煤电站，锅炉燃烧方式包括W型火焰、四角切圆、前后墙对冲及循环流化床，其他燃烧方式锅炉可以参照执行。

# 2.2 规范性引用文件

国内燃煤电站锅炉性能指标的常用标准是GB/T 10184-2015《电站锅炉性能试验规程》、DL/T 904-2015《火力发电厂技术经济指标计算方法》；发电企业温室气体排放核算也有现行的标准GB/T32151.1-2015 《温室气体排放核算与报告要求 第1部分 发电企业》。

本文件注日期引用了上述文件，并考虑了文件引用过程中的适应性，在正文和附录中有细微修改。

# 2.3 术语和定义

由于智能优化方面的现行标准尚不多见，本文件对文件范围所限定的领域内的名词，如“开环指导”、“闭环控制”和“渐进式输出”等进行了定义；而锅炉运行和降碳方面的规范体系已非常全面，为便于理解，本文件中摘录引用文件中必要的术语和定义，如“发电煤耗”和“锅炉热效率”。

# 2.4 总体原则

燃煤电站锅炉系统存在“非线性、强耦合、大延迟、多时变”的特点，使用传统的自动控制技术无法很好解决锅炉系统的控制问题。以锅炉运行机理为背景，采用工业互联网、大数据、人工智能等手段，构建锅炉燃烧优化相关计算模型，以数据驱动锅炉燃烧的智能化升级，为电厂带来稳定燃烧工况、降低煤炭消耗、降低二氧化碳排放等效益。

降碳计算单元的本质是工业智能计算。工业智能计算的设计需要融合IT技术，工业算法，行业机理，产品支撑等多种要素，迄今为止，还未出现成熟的行业标准，各行各业、国内国外都在进行大量的探索与尝试，不断创新技术体系和设计方法。

降碳计算单元的接入可以是闭环控制，计算结果反馈给锅炉控制系统，进行闭环控制；也可以是开环指导，计算结果通过人机界面展示出来，指导运行人员进行运行调整。

降碳计算单元的闭环控制功能可降低人员参与度，降低对运行人员经验的依赖性，减少锅炉运行人员的操作频次，降低劳动强度，提高控制精度。

在稳态情况下，煤质和负荷基本不变化，降碳计算单元可在稳态下优化燃烧；在负荷或煤质变化时，降碳计算单元可以感知煤质或负荷的变化，提前给出调整方向。

降碳计算单元的接入不从根本上改变锅炉设备及其系统的性能，不以降碳为目的而牺牲经济或环保指标。

# 2.5 技术要求

2.5.1 一般要求

降碳计算单元的接入不能影响锅炉的安全稳定运行，不能降低锅炉气体污染物的排放指标。

目前市场上使用的燃烧优化技术有以下三种：第一种是基于锅炉燃烧器改造的锅炉燃烧优化；第二种是基于先进检测技术的锅炉燃烧优化；第三种是基于智能控制算法的锅炉燃烧优化。本文件只针对第三种基于智能控制算法的锅炉燃烧优化的降碳计算单元。

锅炉的燃烧是一个十分复杂的过程，其中涉及燃烧、流动、传热以及化学反应等多个方面，其受诸多因素影响，主要有煤质、负荷、风量、风速、配风方式、煤粉浓度和细度等，而且这些因素又往往互相影响，相互耦合，因此降碳计算单元应采用数学表达式的方式展示，利用建模的方法进行计算。

降碳计算单元模型的建立包括但不限于燃烧热力学模型的建立、汽水吸热模型的建立和综合能效转化模型的建立。

燃烧热力学模型，输入量涵盖锅炉风烟系统相关参数，输出锅炉燃烧能效系数，进入综合能效转化模型。

锅炉汽水吸热模型，输入量涵盖锅炉汽水系统相关参数，输出锅炉汽水吸热侧能效系数，进入综合能效转化模型。

综合能效转化模型通过接收燃烧能效系数、汽水吸热侧能效系数、汽机侧和发电机侧能效参数，输出锅炉调节参数。

燃烧优化系统降碳计算单元的模型是通过特定的学习来建立并完善模型，在实际应用中得到了很好的效果。从目前的认知，基于支持向量机算法在有限样本中仍能得到小误差计算结果以及人工神经网络算法对处理复杂关系的良好效果，锅炉燃烧优化系统降碳计算单元的建立推荐使用支持向量机算法或人工神经网络算法建立模型，再结合基因遗传优化算法，形成一个降碳计算单元。以下对各常用算法进行简要介绍。

* 支持向量机算法

支持向量机是一种二分类模型，它的基本模型是定义在特征空间上的间隔最大的线性分类器，间隔最大使它有别于感知机；支持向量机还包括核技巧，这使它成为实质上的非线性分类器。支持向量机的学习策略就是间隔最大化，可形式化为一个求解凸二次规划的问题，也等价于正则化的合页损失函数的最小化问题。支持向量机的的学习算法就是求解凸二次规划的最优化算法。

该方法在建模方面具有强大的优势。它基于统计学习理论，引入核函数思想解决了线性分类器用于非线性分类、回归的问题，采用结构风险最小原理兼顾训练误差和泛化能力，即由有限的训练样本得到小的误差能够保证对堆里的测试集仍保持小的误差，能较好地解决小样本、非线性、高维数等问题。

* 神经网络算法

一种模仿生物神经网络(动物的中枢神经系统，特别是大脑)的结构和功能的数学模型或计算模型，用于对函数进行估计或近似。

该方法是由大量模拟生物神经元的人工神经元广泛互联而成而成的网络，是一种模拟和延伸人类大脑功能的新型信息处理系统，是一种自适应非线性系统，适合于处理锅炉燃烧这类多因素、复杂关系或关系不清晰的问题，这也是神经网络在燃烧优化方面广泛应用的原因。

* 基因遗传算法

是模拟达尔文生物进化论的自然选择和遗传学机理的生物进化过程的计算模型，是一种通过模拟自然进化过程搜索最优解的方法。

* 粒子群算法

通过模拟鸟群觅食过程中的迁徙和群聚行为而提出的一种基于群体智能的全局随机搜索算法。初始化为一群随机粒子(随机解)。然后通过迭代找到最优解在每一次迭代中，粒子通过跟踪两个"极值"来更新自己。第一个就是粒子本身所找到的最优解，这个解叫做个体极值。另一个极值是整个种群目前找到的最优解，这个极值是全局极值。

降碳计算单元的计算既可以通过本地计算实现，也可以通过云计算实现，从保护锅炉控制系统的数据安全考虑，使用闭环控制的方式输出时应采用本地计算；使用开环指导的方式输出时，数据不作为输入进入锅炉控制系统，既可采用本地计算，也可采用云计算。

考虑到控制系统的稳定性和运行人员的劳动强度，降碳计算单元的输出频率不应太高，依据经验当进行开环指导的方式时宜每1小时~2小时输出一组需调整数据；当进行闭环控制时，应先判断负荷是否稳定，在负荷稳定后每20分钟~30分钟输出一组数据。

考虑到锅炉控制系统的安全性，采用 “渐进式输出”方法输出降碳计算单元结果，每次调节量小，对运行影响小，每次调节后根据降碳计算单元计算结果判断后再进行下次调节。降碳计算单元的数据输出应以偏差值的形式输出，偏差值为实际值与最优值的偏差，偏差值通过通讯将数据传输给锅炉控制系统，从而实现对锅炉控制系统的闭环控制。

作为锅炉控制系统的辅助系统，应考虑降碳计算单元的可用率，依据当前的技术现状，其可用率应达到99%以上。

2.5.2 性能要求

平均发电标煤耗、锅炉效率是锅炉燃烧智能优化系统降碳计算单元效果好坏的直接体现。

之所以两项指标间采用“或”的关系，原因是每台锅炉煤耗不同。当锅炉发电煤耗大于300克/千瓦时，建议采用发电煤耗进行考核；当锅炉发电煤耗小于300克/千瓦时，建议采用锅炉效率进行考核，取较易实现方式进行考核。

在不同工况下，使用锅炉燃烧智能优化系统后平均发电标煤耗或锅炉热效率任一项达到目标即视为降碳计算单元符合性能要求。

单位电能碳排放量减少百分比是降碳计算单元效果好坏的综合体现，标准中对碳排放量的减少量直接提出了要求。

# 2.6 验证方法

按现行合适的标准给出试验方法，并按相应标准执行。

# 2.7 检验规则

《电站锅炉性能试验规程》GB/T 10184-2015中章节7.1.1效率计算有两种方法，考虑到实施难度及经济性，建议使用输入-输出热量法进行计算，若业主有要求可按热损失法进行计算。

锅炉效率的两种方法计算，输入-输出热量法和热损失法，也称正平衡法和反平衡法。采用正平衡法计算锅炉效率见式（1），根据总损失热量采用反平衡法计算锅炉效率见式（2）。

η=$\frac{Q\_{out}}{Q\_{in}}×100$………………………………………………（1）

η**=**$(1-\frac{Q\_{loss}}{Q\_{in}})×100$………………………… ………………（2）

式中：

η——锅炉效率，%；

Qin——输入系统边界的热量综合，单位为千焦每千克（kJ/kg）或千焦每立方米（kJ/m3），其热量包括：输入系统的燃料燃烧释放的热量；燃料的物理显热；脱硫剂的物理显热；进入系统边界的空气带入的热量；系统内辅助设备带入的热量；燃油雾化蒸汽带入的热量；

Qout——输出系统边界的有效热量，单位为千焦每千克（kJ/kg）或千焦每立方米（kJ/m3）,其热量包括：过热蒸汽带走的热量；再热蒸汽带走的热量；辅助用汽带走的热量；排污水带走的热量；冷渣水带走的热量；

Qloss——锅炉总损失热量，单位为千焦每千克（kJ/kg）或千焦每立方米（kJ/m3），其热量包括：排烟损失热量Q2；气体未完全燃烧损失热量Q3；固体未完全燃烧损失热量Q4；锅炉散热损失热量Q5；灰、渣物理显热损失热量Q6；其他损失热量Qoth。

根据热量损失明细采用反平衡法计算锅炉效率见式（3）。

$η=100-q\_{2}-q\_{3}-q\_{4}-q\_{5}-q\_{6}-q\_{oth}…………………………$**……………………………**（3）

式中：

q2——热效率计算排烟损失热量，%；

q3——热效率计算气体未完全燃烧损失热量，%；

q4——热效率计算固体未完全燃烧损失热量，%；

q5——热效率计算锅炉散热损失热量，%；

q6——热效率计算灰、渣物理显热损失热量，%；

qoth——热效率计算其他损失热量，%。

降碳计算单元接入锅炉控制系统前后分别计算锅炉效率，计算出接入降碳计算单元后锅炉效率提高的提高量。

发电煤耗参照DL/T 904-2015中章节9.4.2计算，见式（4）。

$b\_{f}=\frac{B\_{y}×\left(1-\frac{α}{100}\right)}{W\_{f}}×1000………………………………………………$**……………………………**（4）

式中：

bf——发电煤耗，单位为克每千瓦时（g/kWh）；

By——试验期内耗用煤量，单位为千克（kg）；

α——试验期内汽轮机组向外供出的热量与汽轮机组热耗量的百分比，%；

Wf——试验期内发电量，单位为千瓦时（kWh）。

降碳计算单元接入锅炉控制系统前后分别计算发电煤耗，计算出接入降碳计算单元后发电煤耗的降低量。

二氧化碳减排量核算参照GB/T32151.1-2015章节5.2计算，计算方法见式（5）。

$$ E=N\_{c}×F\_{c}×C\_{c}×O \_{f}×\frac{44}{12} ..................... ........................ (5) $$

式中：

E——试验期内燃料燃烧产生的二氧化碳排放量，单位为吨二氧化碳（tCO2）；

Nc——试验期内燃料的低位发热量，单位为吉焦每吨（GJ/t）；

Fc——试验期内燃料的消耗量，单位为吨（t）；

Cc——试验期内燃料的单位热值含碳量，单位为吨碳每吉焦（tC/GJ）；

Of——试验期内燃料中的碳在燃烧过程中被完全氧化的百分比，%。

降碳计算单元接入锅炉控制系统前后应分别进行二氧化碳排放核算，根据上述结果进行二氧化碳减排量计算，计算方法见式（6）。

$C=\frac{M-N}{M}×100………………………………………………$.........................（6）

式中：

C——二氧化碳减排量，%；

M——接入降碳计算单元前统计期内单位电能二氧化碳排放量，单位为吨二氧化碳（tCO2）；

N——接入降碳计算单元后统计期内单位电能二氧化碳排放量，单位为吨二氧化碳（tCO2）。

# 3 标准解决的主要问题

《锅炉燃烧智能优化系统降碳计算单元》制定的目的是为了贯彻节能降碳，规范燃煤电站锅炉燃烧智能优化系统降碳计算单元的设计。

“构建清洁低碳、安全高效的能源体系”是我国现阶段能源体系的发展方向。燃煤电站作为电力市场的主力，运行过程中“降碳”是其清洁低碳转型的一个重要方向。随着人工智能（AI）技术的发展，为锅炉燃烧优化提供了一种新的方法，在不改动现有锅炉设备的情况下，通过锅炉历史和实时数据进行大数据分析，在线计算出控制量优化值，指导参数调节达到“降碳”目的。

锅炉燃烧智能优化系统降碳计算单元以锅炉及其辅助设备为对象，利用神经网络算法、基因遗传算法等人工智能技术，结合锅炉机理及模型间的相互关联关系，建立特征量关联模型及锅炉燃烧系统整体模型。利用锅炉燃烧智能优化系统降碳计算单元，可以实时监测锅炉燃烧状态与理论计算的偏差，通过“在线寻优”算法，给出一次风量、二次风量、主给水、减温水等指标的调节建议，以降低锅炉燃料消耗，提高锅炉效率，实现锅炉运行过程中降碳。

降碳计算单元是锅炉燃烧智能优化系统的核心。当前我国燃煤电站锅炉智能优化系统快速发展中存在无标准可依、实施依据不足的现状，制定对应的团体标准可有效填补空白，有利于推动锅炉燃烧智能优化系统的规范发展，促进燃煤电站锅炉的清洁低碳转型，也为今后行业标准、国家标准的制定提供技术支撑。

# 三、是否有对应的国家标准或行业标准

本文件没有对应的国家标准或行业标准。

# 四、主要试验（或验证）情况分析

# 1 工程应用情况

锅炉热效率提高的多少或发电煤耗降低的多少是评价降碳计算单元效果的标准，不同燃烧方式、不同机组规模、不同运行水平，对锅炉热效率和发电煤耗均有影响。记录数据包含投入降碳计算单元前2小时的锅炉效率、燃料量、燃料低位发热量、计算出的单位电能二氧化碳排放量的平均值，投入降碳计算单元后2小时的锅炉效率、燃料量、燃料低位发热量、计算出的单位电能二氧化碳排放量的平均值。摘选部分实施案例的数据如下表所示：

表1 湖北A电厂数据记录表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 数据项 | 投入降碳计算单元前 | 投入降碳计算单元后 | 优化效果 |
| 机组概况 | 330MW亚临界切圆燃烧方式，湿冷机组 |
| 试验期间机组负荷 | 70%BMCR±2% | 70%BMCR±2% | / |
| 锅炉效率(低位发热量，平均值) | 90.31% | 91.62% | 1.31% |
| 发电煤耗(平均值) | 292.6 g/KWh | 288.5 g/KWh | 4.1g/KWh |
| 二氧化碳排放 | 760.71g/KWh | 750.13g/KWh | 1.39% |

表2 湖南B电厂数据记录表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 数据项 | 投入降碳计算单元前 | 投入降碳计算单元后 | 优化效果 |
| 机组概况 | 600MW超临界W火焰燃烧方式，湿冷机组 |
| 试验期间机组负荷 | 60%BMCR±2% | 60%BMCR±2% | / |
| 锅炉效率(低位发热量，平均值) | 92.10% | 93.15% | 1.05% |
| 发电煤耗(平均值) | 336.2g/KWh | 332.5 g/KWh | 3.7g/KWh |
| 二氧化碳排放 | 874.1 g/KWh | 864.5 g/KWh | 1.10% |

表3 浙江C电厂数据记录表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 数据项 | 投入降碳计算单元前 | 投入降碳计算单元后 | 优化效果 |
| 机组概况 | 1000MW超临界切圆燃烧方式，湿冷机组 |
| 试验期间机组负荷 | 80%BMCR±2% | 80%BMCR±2% | / |
| 锅炉效率(低位发热量，平均值) | 93.41% | 94.42% | 1.01% |
| 发电煤耗(平均值) | 286.1 g/KWh | 283.0 g/KWh | 3.1 g/KWh |
| 二氧化碳排放 | 743.9 g/KWh | 736.3 g/KWh | 1.08% |

表4 陕西D电厂数据记录表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 数据项 | 投入降碳计算单元前 | 投入降碳计算单元后 | 优化效果 |
| 机组概况 | 1000MW超临界对冲燃烧方式，湿冷机组 |
| 试验期间机组负荷 | 90%BMCR±2% | 90%BMCR±2% | / |
| 锅炉效率 | 93.29% | 94.32% | 1.03% |
| 发电煤耗 | 288.3 g/KWh | 285.2 g/KWh | 3.1 g/KWh |
| 二氧化碳排放 | 749.6g/KWh | 741.5 g/KWh | 1.08% |

表5 甘肃E电厂数据记录表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 数据项 | 投入降碳计算单元前 | 投入降碳计算单元后 | 优化效果 |
| 机组概况 | 660MW超临界对冲燃烧方式，直接空冷机组 |
| 试验期间机组负荷 | 65%BMCR±2% | 65%BMCR±2% | / |
| 锅炉效率 | 89.40% | 90.53% | 1.13% |
| 发电煤耗 | 315.6g/KWh | 311.8 g/KWh | 3.8 g/KWh |
| 二氧化碳排放 | 820.6 g/KWh | 810.7 g/KWh | 1.20% |

汇总上述实施案例的测试数据，如表6所示：

表6 实施项目数据汇总表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 案例名称 | 项目规模 | 锅炉燃烧方式 | 热效率提高（%） | 发电煤耗降低（g/kwh） | 二氧化碳减排量（%） | 备注 |
| 湖北A电厂 | 330MW | 四角切圆 | 1.31 | 4.1 | 1.39 |  |
| 湖南B电厂 | 600MW | W型火焰 | 1.05 | 3.8 | 1.10 |  |
| 浙江C电厂 | 1000 MW | 四角切圆 | 1.01 | 3.1 | 1.08 |  |
| 陕西D电厂 | 1000 MW | 前后墙对冲 | 1.03 | 3.1 | 1.08 |  |
| 甘肃E电厂 | 660MW | 前后墙对冲 | 1.13 | 3.8 | 1.20 |  |
| …… |  |  |  |  |  |  |

从测试结果看，投入降碳计算单元后，节煤降碳效果显著。结合运行数据，工作组认为按现阶段技术水平，设定“在各选定工况条件下，使用锅炉燃烧智能优化系统后，锅炉热效率提高不小于1%或发电煤耗降低不小于3克/千瓦时”、“二氧化碳减排量不小于1%”是合理的。

# 2 典型案例

湖北A电厂330MW亚临界燃煤机组锅炉上投入降碳计算单元运行情况见图1。图中给出了降碳计算单元在电厂DCS系统中的显示画面和控制功能投入情况。

图1 DCS画面中显示的锅炉燃烧优化系统降碳计算单元

安装锅炉燃烧智能优化系统降碳计算单元后，经过调试，于2017年9月进行了性能测试。为测试运行过程中降碳计算单元效果，进行了3天+3天的数据统计，统计接入降碳计算单元前3天发电量、 累计原煤量及低位发热量；接入降碳计算单元后3天内发电量、累计原煤量及低位发热量。

于2017年9月11日-17日进行了煤耗对比测试。该项目实施方和应用单位，共同完成了3天+3天煤耗对比，采集了测试期间的煤量及煤样数据，分别进行数据处理和分析。

未投燃烧优化系统时段：9月11日11时-14日11时，投入燃烧优化系统时段：14日14时-17日14时。每个试验时段开始前后，分别上满煤仓，记录粉仓粉位，记录输煤皮带称煤量。煤耗测试主要采集的数据包括：试验期间的发电量、原煤量及低位发热量。测试期间负荷曲线如图 2 所示。

图2 测试期间负荷曲线

测试并未对机组负荷进行人为干预，上图显示：投入燃烧优化工况整体负荷水平略低于未投燃烧优化工况负荷水平。未投燃烧优化工况下电厂日常化验煤质数据及其平均值如表7所示。投燃烧优化工况下电厂日常化验煤质数据及其平均值如表8所示。

表7 未投燃烧优化工况下电厂日常化验煤质数据及其平均值

| 采样日期 | 化验日期 | 编号 | 低位发热量（Kcal/Kg） | 收到基低位发热量（kJ/kg） |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 9/11 | 9/13 | 白班 | 5309 | 22229 |
| 9/11 | 9/13 | 中班 | 5401 | 22611 |
| 9/12 | 9/14 | 白班 | 5379 | 22521 |
| 9/12 | 9/13 | 夜班 | 5329 | 22311 |
| 9/12 | 9/14 | 中班 | 5499 | 23023 |
| 9/13 | 9/15 | 白班 | 5526 | 23136 |
| 9/13 | 9/14 | 夜班 | 5433 | 22746 |
| 9/13 | 9/15 | 中班 | 5466 | 22886 |
| 9/14 | 9/18 | 白班 | 5287 | 22135 |
| 9/14 | 9/15 | 夜班 | 5242 | 21947 |
| 燃烧优化投入前后煤质平均值 | 5387 | 22554 |

表8 投燃烧优化工况下电厂日常化验煤质数据及其平均值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 采样日期 | 化验日期 | 编号 | 低位发热量（Kcal/Kg） | 收到基低位发热量（kJ/kg） |
| 9/14 | 9/18 | 中班 | 5336 | 22342 |
| 9/15 | 9/18 | 白班 | 5425 | 22712 |
| 9/15 | 9/18 | 夜班 | 5401 | 22611 |
| 9/15 | 9/18 | 中班 | 5338 | 22351 |
| 9/16 | 9/18 | 白班 | 5246 | 21965 |
| 9/16 | 9/18 | 夜班 | 5241 | 21943 |
| 9/16 | 9/18 | 中班 | 5259 | 22018 |
| 9/17 | 9/18 | 夜班 | 5475 | 22923 |
| 燃烧优化投入前后煤质平均值 | 5340 | 22358 |

测试过程中，两种工况下分别统计累计电量和煤量，加权平均算出发电煤耗。燃烧优化试验结束后，统计未投燃烧优化工况与投入燃烧优化工况发电煤耗及其节煤情况，结果如表9所示。

表9 降碳计算单元接入前后发电煤耗对比表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 数据项 | 投入前 | 投入后 | 节约煤耗(g/KWh) |
| 累计原煤量（单位：吨） | 6071.49 | 5704.53 | 4.23 |
| 平均低位发热量（单位：大卡） | 5387 | 5340 |
| 累计标煤量(单位：吨) | 4672.44 | 4351.74 |
| 累计发电量（单位：KWh） | 15969780 | 15092100 |
| 发电煤耗（单位：g/KWh） | 292.58 | 288.35 |

结果显示，发电煤耗在运行中降低煤耗达4.23g/KWh，实现了燃烧优化的节煤。

表10 降碳计算单元接入前后二氧化碳排放量对比表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 数据项 | 投入前 | 投入后 | 减排量百分比 |
| 累计原煤量（单位：t） | 6071.49 | 5704.53 | 1.28% |
| 平均低位发热量（单位：GJ/t） | 22.554 | 22.358 |
| 累计发电量（单位：KWh） | 15969780 | 15092100 |
| 单位热值含碳量（单位：t/TJ） | 25.42 | 25.41 |
| 碳氧化率(%) | 97.90 | 98.10 |
| 二氧化碳排放量（单位：tCO2） | 12495.35 | 11657.30 |
| 单位电能二氧化碳排放量（单位：g/ KWh） | 782.44 | 772.41 |

结果显示，发电煤耗在运行中降低煤耗达1.28%，实现了燃烧优化的降碳。

# 五、标准中涉及专利的情况

本文件中不涉及专利。

# 六、预期达到的社会效益、对产业发展的作用等情况

以标准驱动企业自主创新、提效，将提高技术水平，引导和规范行业技术进步，促进我国燃煤电站锅炉燃烧智能优化系统健全发展，使燃烧优化技术在全国燃煤电站得到推广应用，实现显著的社会效益和经济效益。

从社会效益来看：

以单台600MW发电机组为例，按年可利用小时数5000h计，年发电量约30亿千瓦，如燃烧智能优化系统达到实施效果，预期可降低燃煤电站锅炉发电煤耗3克/千瓦时，则每年可节约标煤9000吨。

每年节约的9000吨标煤，按燃烧1吨标煤排放二氧化碳2.6吨（出自发改委2017年2191号文）计算，一年可以减少CO2排放量约2.3万吨。

系统接入降低的煤耗减少了资源浪费及环境污染，减排的CO2有助于温室气体排放控制。根据国家能源局统计，2020年全国燃煤发电装机容量107912万千瓦，年发电量46296亿千瓦时，巨大的发电量基数使其对社会的贡献更加明显。

从经济效益来看：

以单台600MW机组为例，年节约9000t标煤，每吨标煤500元，预计年购煤资金可节约450万元；年减排CO2约2.3万吨，按碳交易每吨50元计，预计每年碳交易收益为115万元。

系统的接入可以给机组带来持续的经济效益，有助于促进行业的健全发展。

从人工智能系统对产业的促进来看：

通过系统可以监测不同工况下锅炉的运行状态，能够实现对锅炉燃烧的在线分析、诊断、纠偏功能。在对机组运行水平进行技术分析过程中，丰富的指标曲线等图形界面可帮助电厂技术人员对设备、控制回路中存在的问题进行分析，为电厂设备及控制系统改造提供数据分析支撑。

系统部署运行后可自动搜集、存储运行数据并进行智能机器学习，将运行人员良好的优化操作经验数据化，提供在线优化指导，提升运行人员的操作水平。此外，通过图形界面对历史数据进行分析便于运行人员开展线下学习、培训，提高运行水平。

# 七、采用国际标准和国外先进标准情况

本文件没有采用国际标准。

本文件在制定过程中未查到同类国际、国外标准。

本文件制定过程中未测试国外的样品和样机。

本文件技术水平为国内先进水平。

# 八、与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性

本文件符合现行的法律法规和强制性（国家、行业、地方）标准要求。

# 九、重大分歧意见的处理经过和依据

无重大分歧意见。

# 十、标准性质的建议说明

建议本文件按推荐性团体标准发布。

# 十一、贯彻标准的要求和措施建议

建议本文件批准发布后1个月内实施。

# 十二、其他应予说明的事项

无其他应予说明的事项。