中国工业节能与清洁生产协会

发布

202□-□□-□□实施

202□-□□-□□发布

锅炉燃烧智能优化系统降碳计算单元

设计标准

Design standard of calculation unit for the carbon reduction of boiler combustion intelligent optimization system

（征求意见稿）

**T/CIECCPA □□□**—202**□**

团 体 标 准

**ICS** XX. XXX

**CCS** XXX

目 次

[目次 I](#_Toc20545)

[前言 II](#_Toc31595)

[1　范围 1](#_Toc27934)

[2　规范性引用文件 1](#_Toc20959)

[3　术语和定义 1](#_Toc2364)

[4 总体原则 2](#_Toc28274)

[5 技术要求 2](#_Toc10333)

[5.1 一般要求 2](#_Toc23466)

[5.2 性能要求 3](#_Toc1419)

[6 试验方法 3](#_Toc18365)

[6.1 试验目的 3](#_Toc24600)

[6.2 试验条件 3](#_Toc24292)

[6.3 锅炉热效率计算方法 4](#_Toc7387)

[6.4 发电煤耗计算方法 4](#_Toc15887)

[6.5 二氧化碳减排量计算方法 4](#_Toc27288)

[7 检验规则 4](#_Toc4164)

[7.1 性能检验 4](#_Toc19036)

[7.2 判定规则 5](#_Toc28582)

[附录A（资料性）计算模型输入数据表 6](#_Toc4295)

[A.1 燃烧热力学模型 6](#_Toc30720)

[A.2汽水吸热模型 6](#_Toc8124)

[A.3综合能效转化模型 6](#_Toc2968)

[附录B（规范性）发电煤耗计算方法 8](#_Toc7938)

[附录C（规范性）碳排放计算方法 9](#_Toc23508)

[表1试验项目及要求 5](#_Toc9241)

[表A.1 燃烧热力学模型输入数据表 6](#_Toc14986)

[表A.2 汽水吸热模型输入数据表 6](#_Toc13350)

[表A.3 综合能效转化模型输入数据表 7](#_Toc25893)

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口。

本文件起草单位：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。

本文件为首次发布。

锅炉燃烧智能优化系统降碳计算单元设计标准

# 1　范围

本文件规定了锅炉燃烧智能优化系统降碳计算单元的术语和定义、总体原则、技术要求、试验方法及检验规则。

本文件适用于燃煤电站锅炉燃烧智能优化系统降碳计算单元的设计，燃用其他燃料锅炉的燃烧智能优化系统降碳计算单元的设计可参照执行。

# 2　规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 10184-2015 电站锅炉性能试验规程

GB/T 32151.1 温室气体排放核算与报告要求第1部分发电企业

DL/T 904-2015 火力发电厂技术经济指标计算方法

# 3　术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

锅炉燃烧智能优化系统降碳计算单元 **carbon reduction calculation unit of boiler combustion intelligent optimization system**

采用人工智能技术设计并应用于辅助优化锅炉燃烧，减少煤炭消耗量，降低二氧化碳排放量的工业系统计算单元，简称“降碳计算单元”。

3.2

开环指导  **open loop guidance**

降碳计算单元输出结果不反馈到控制系统，用于控制系统被调量的调节指导。

3.3

闭环控制**closed loop control**

降碳计算单元输出结果反馈到控制系统，且用于控制系统被调量的在线调节。

3.4

渐进式输出 **output by degrees**

降碳计算单元输出值以逐渐增加或逐渐减小的方式输出。

3.5

燃烧热力学模型**thermodynamic model of combustion**

采用锅炉风烟系统的输入、输出量建立的模拟锅炉燃烧过程的计算模型。

3.6

锅炉汽水吸热模型**boiler steam water heat absorption model**

采用锅炉汽水系统的输入、输出量建立的模拟锅炉汽水侧吸热的计算模型。

3.7

综合能效转化模型**comprehensive energy efficiency transformation model**

基于锅炉燃烧平衡和汽水吸热平衡两个平衡之间的关联关系，同时结合汽轮机侧、发电机侧影响因素，建立的仿真模型。

3.8

发电煤耗**standard coal consumption for power generation**

统计期内机组（或电站）每发1千瓦时电能平均耗用的标准煤量，单位为克每千瓦时（g/kWh）。

[来源：DL/T 904-2015，9.4.2]

3.9

锅炉热效率**boiler thermal efficiency**

锅炉输出热量与输入热量百分比。

[来源：GB/T 10184-2015，3.1.14]

# 4 总体原则

4.1 降碳计算单元调用锅炉运行实时数据及历史数据参与计算，其运算结果用于指导或控制锅炉运行中降碳。

4.2 降碳计算单元至少具有开环指导或闭环控制中的一种功能。

4.3 降碳计算单元在煤质或负荷变化时，提前给出调整方向。

4.4 降碳计算单元的接入不影响锅炉现有设备及系统性能。

# 5 技术要求

5.1 一般要求

5.1.1 降碳计算单元的接入应不影响锅炉的安全稳定运行。

5.1.2 降碳计算单元的接入应不降低锅炉气体污染物排放指标。

5.1.3 降碳计算单元应至少建立燃烧热力学模型、汽水吸热模型及综合能效转化模型。

5.1.4 降碳计算单元数据的输入应调用锅炉现有控制系统的1年以上的历史数据和实时数据：

——燃烧热力学模型的输入数据见附录A.1的采集内容；

——锅炉汽水吸热模型的输入数据见附录A.2的采集内容；

——综合能效转化模型的输入数据见附录A.3的采集内容。

5.1.5 降碳计算单元应采用建模算法和优化算法：

——建模算法宜采用支持向量机算法、神经网络算法等；

——优化算法宜采用遗传算法、粒子群算法等。

5.1.6 降碳计算单元的计算应符合以下要求：

——当进行闭环控制时，应采用本地计算；

——当进行开环指导时，可采用云计算。

5.1.7 降碳计算单元的输出频率应符合以下要求：

——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分钟输出一组调整数据；

——负荷稳定判据为当前负荷变化率不大于±5%；

——当进行开环指导时，宜每1小时~2小时输出一组指导调整数据。

5.1.8 降碳计算单元的输出结果应符合以下要求：

——采用偏差值的形式；

——采用渐进式输出的方式；

——具有指导调整一次风量、二次风量、主给水量、给煤量参数调节的作用；

——支持用户可视化自定义编辑。

5.1.9 降碳计算单元可用率应大于99%。

5.1.10 碳排放核算应符合GB/T32151.1的规定。

5.1.11 当锅炉设备性能、煤种等运行条件发生变化时，降碳计算单元应能进行修正。

5.2 性能要求

5.2.1 在选定工况条件下，接入降碳计算单元后，锅炉热效率应比接入降碳计算单元前提高不小于1%或发电煤耗降低不小于3g/kWh。

5.2.2 在选定工况条件下，接入降碳计算单元后，锅炉二氧化碳排放量应比接入降碳计算单元前降低不少于1%。

# 6 试验方法

6.1 试验目的

为评价降碳计算单元的应用效果开展本试验。

6.2 试验条件

6.2.1 降碳计算单元调试结束。

6.2.2 选取试验负荷点，锅炉在试验期内选定的工况下稳定运行，工况选择应符合GB/T 10184-2015表3的规定。

6.2.3 机组达到试验目标负荷30分钟后，稳定运行2小时，记录投入降碳计算单元前数据；投入降碳计算单元后稳定运行2小时，记录投入降碳计算单元后数据。

6.3 锅炉热效率计算方法

降碳计算单元接入锅炉控制系统前后应分别计算锅炉热效率。锅炉热效率宜按照GB/T 10184-2015 式（30）进行计算；当用户要求时，可按GB/T 10184-2015 式（37）进行计算。试验期内锅炉热效率提高量应按式（1）计算。

…………………………………………（1）

式（1）中：

ηf——接入降碳计算单元后锅炉热效率提高量，%；

ηh——接入降碳计算单元后锅炉热效率，%；

ηq——接入降碳计算单元前锅炉热效率，%。

6.4 发电煤耗计算方法

降碳计算单元接入锅炉控制系统前后应分别计算发电煤耗，发电煤耗的计算方法应符合附录B的规定。期内发电煤耗的降低量应按式（2）计算。

…………………………………………（2）

式（2）中：

bff——接入降碳计算单元后发电煤耗减少量，单位为克（g）；

bfq——接入降碳计算单元前发电煤耗，单位为克（g）；

bfh——接入降碳计算单元后发电煤耗，单位为克（g）。

6.5 二氧化碳减排量计算方法

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, 二氧化碳排放核算方法应符合附录C的规定。试验期内二氧化碳减排量的计算方法应按式（3）计算。

…………………………………………（3）

式中：

C——二氧化碳减排量，%；

*M*——接入降碳计算单元前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单位电能二氧化碳排放量，单位为吨二氧化碳（tCO2）。

# 7 检验规则

7.1 性能检验

每台降碳计算单元均应做性能检验，检验项目见表1。

表1试验项目及要求

| 序号 | 项目名称 | “技术要求”的章条号 | “试验方法”  的章条号 | 性能  检验 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 锅炉热效率 | 5.2.1 | 6.3 | √ |
| 2 | 发电煤耗 | 5.2.1 | 6.4 | √ |
| 3 | 二氧化碳减排量 | 5.2.2 | 6.5 | √ |

7.2 判定规则

性能检验项目符合要求，则降碳计算单元判定为合格。有不合格项时，允许对其进行调整、消缺，重新做性能检验。

附 录  **A**

（资料性）

计算模型输入数据表

A.1 燃烧热力学模型

燃烧热力学模型用于输出锅炉燃烧能效系数，建立燃烧热力学模型输入数据项见表A.1。

表A.1 燃烧热力学模型输入数据表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 模型输入数据项 | 输入项 | 可选项 |
| 1 | 负荷 |  | √ |
| 2 | 煤量 | √ |  |
| 3 | 一次风量 | √ |  |
| 4 | 二次风量 | √ |  |
| 5 | 氧量 | √ |  |
| 6 | 各磨煤机出口风粉温度 |  | √ |
| 7 | 各磨煤机进口一次风量 |  | √ |
| 8 | 各磨煤机进口一次热风挡板开度 |  | √ |
| 9 | 省煤器进出口烟气温度 |  | √ |
| 10 | 排烟温度 | √ |  |
| 11 | 炉膛压力 |  | √ |

A.2 汽水吸热模型

锅炉汽水吸热模型用于输出锅炉汽水侧吸热能效系数，建立汽水吸热模型输入数据项见表A.2。

表A.2汽水吸热模型输入数据表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 模型输入数据项 | 输入项 | 可选项 |
| 1 | 负荷 |  | √ |
| 2 | 给水温度 | √ |  |
| 3 | 给水流量 | √ |  |
| 4 | 给水压力 | √ |  |
| 5 | 主蒸汽温度 | √ |  |
| 6 | 主蒸汽压力 | √ |  |
| 7 | 再热蒸汽温度 | √ |  |
| 8 | 再热蒸汽压力 | √ |  |
| 9 | 过热减温水流量 | √ |  |
| 10 | 再热减温水流量 | √ |  |
| 11 | 主蒸汽流量 | √ |  |
| 12 | 再热蒸汽流量 | √ |  |

A.3 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、汽水侧吸热能效系数、汽机侧和发电机侧能效参数，输出降碳计算单元的结果，建立综合能效转化模型输入数据项见表A.3。

表A.3综合能效转化模型输入数据表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 模型输入数据项 | 输入项 | 可选项 |
| 1 | 负荷 |  | √ |
| 2 | 各抽汽温度 |  | √ |
| 3 | 各抽汽压力 |  | √ |
| 4 | 高加进出口温度 |  | √ |
| 5 | 低加进口温度 |  | √ |
| 6 | 除氧器水位 |  | √ |
| 7 | 低压缸排汽温度 |  | √ |
| 8 | 调节级压力 |  | √ |
| 9 | 各主汽调节阀开度 |  | √ |
| 10 | 给水温度 |  | √ |
| 11 | 给水流量 | √ |  |
| 12 | 给水压力 | √ |  |
| 13 | 煤量 | √ |  |
| 14 | 总风量 | √ |  |
| 15 | 凝汽器真空 |  | √ |
| 16 | 氧量 |  | √ |

附 录 **B**

（规范性）

发电煤耗计算方法

标煤量计算应符合DL/T904-2015中式162的规定，试验期内发电煤耗计算应符合式B.1的规定。

式中：

bf——发电煤耗，单位为克每千瓦时（g/kWh）；

By——试验期内耗用标煤量，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）。

附 录 **C**

（规范性）

碳排放计算方法

试验期内碳排放计算应符合式C.1的规定。

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，%。