



中华人民共和国国家标准

GB/T 45862—2025

锅炉碳排放测试与计算方法

Boiler carbon emission testing and calculation method

2025-08-01 发布

2026-02-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号和单位 2

5 测试边界和排放源 7

6 测试要求 10

7 测量项目、仪器仪表及测量方法 11

8 碳排放计算 12

9 测试报告 21

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。

本文件由全国锅炉压力容器标准化技术委员会(SAC/TC 262)提出并归口。

本文件起草单位：中国特种设备检测研究院、怀柔实验室山西研究院、博瑞特热能设备股份有限公司、清华大学山西清洁能源研究院、华中科技大学、绿源能源环境科技集团有限公司、华北电力科学研究院有限责任公司、上海发电设备成套设计研究院有限责任公司、辽宁省安全科学研究院、克雷登热能设备(浙江)有限公司、山东大学、上海理工大学、湖南省特种设备检验检测研究院、招商新疆特种设备检验技术研究院有限公司、哈尔滨锅炉厂有限责任公司、无锡华光碳中和科技有限公司、天津市特种设备监督检验技术研究院、哈尔滨工业大学、国能龙源环保有限公司、广东省特种设备检测研究院、方快锅炉有限公司。

本文件主要起草人：笪耀东、刘雪敏、肖显斌、董凯、黄中、姚洪、郭强、刘高军、何翔、于在海、杨斌、董勇、徐洪涛、龚思璠、赵振宁、王振川、常勇强、别尔兰·贾纳依汗、宋宝军、钱军、陈志刚、杜谦、松鹏、钟洪玲、侯娜娜、潘晴川、张启礼、卢海刚。

锅炉碳排放测试与计算方法

1 范围

本文件规定了锅炉碳排放测试边界、排放源、测试和测试报告的要求,描述了测量项目、仪器仪表以及测量和计算的方法。

本文件适用于燃用化石燃料、掺烧/纯烧非化石燃料的锅炉以及电加热锅炉。

本文件不适用于垃圾焚烧锅炉、余热锅炉的碳排放测试与计算。

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 2900.48 电工名词术语 锅炉
- GB/T 10180 工业锅炉热工性能试验规程
- GB/T 10184 电站锅炉性能试验规程
- GB/T 16157 固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法
- DL/T 2376 火电厂烟气二氧化碳排放连续监测技术规范
- NB/T 47066 冷凝锅炉热工性能试验方法

3 术语和定义

GB/T 2900.48 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

锅炉系统 boiler system

由锅炉本体、风机、泵、水处理系统、燃料制备装置、燃料供给装置、除灰渣装置、烟气净化装置、监控装置等构成的总和。

3.2

直接碳排放 direct carbon dioxide emission

燃料燃烧及其烟气处理过程(脱硫、脱硝等)产生的二氧化碳排放。

3.3

间接碳排放 indirect carbon dioxide emission

使用电力产生的二氧化碳排放。

3.4

碳排放总量 total carbon dioxide emission

直接碳排放量与间接碳排放量的总和。

3.5

碳排放强度 carbon dioxide emission intensity

输出单位热量对应的碳排放总量。

注：根据测试边界的不同，分为锅炉碳排放强度和锅炉系统碳排放强度。

3.6

直接碳排放强度 **direct carbon dioxide emission intensity**

输出单位热量对应的直接碳排放量。

注：根据测试边界的不同，分为锅炉直接碳排放强度和锅炉系统直接碳排放强度。

3.7

排放因子法 **emission factor method**

通过测量燃料、脱硫剂、脱硝剂消耗量，以及燃料燃烧和脱硫脱硝过程的碳排放因子，计算得到直接碳排放量的方法。

3.8

测量法 **measurement method**

通过测量烟气中的 CO₂ 体积分数和烟气流量，计算得到直接碳排放量的方法。

4 符号和单位

表 1 中所列符号和单位适用于本文件。除另有规定外，本文件中所采用的立方米(m³)，均为标准状态(0 °C ,101 325 Pa)。

表 1 符号和单位

序号	符号	名称	单位
1	A	烟道边长	m
2	AD_e	测试边界内的电力消耗总量	kW · h
3	AD_{ef}	克服测试边界内烟风阻力的电力消耗量	kW · h
4	AD_{ep}	克服测试边界内工质流动阻力的电力消耗量	kW · h
5	AD_f	各风机电力消耗量	kW · h
6	AD_m	燃料制备装置电力消耗量	kW · h
7	AD_o	测试边界内其他电力消耗量	kW · h
8	AD_p	各泵电力消耗量	kW · h
9	B	烟道边长	m
10	B_{den}	测试周期内每小时脱硝剂消耗量	kg/h
11	B_{des}	测试周期内每小时脱硫剂消耗量	kg/h
12	B_f	测试周期内每小时燃料消耗量	kg/h 或 m ³ /h
13	C_{pc}	煤粉总消耗量	kg
14	D	当量直径	m
15	D_{fw}	给水流量	kg/h
16	D_{out}	输出蒸汽量	kg/h
17	D_{pu}	自用蒸汽量	kg/h

表 1 符号和单位 (续)

序号	符号	名称	单位
18	E	测试边界内的碳排放总量	kgCO ₂ /h
19	E_a	锅炉碳排放强度	kgCO ₂ /GJ
20	E_{ad}	锅炉直接碳排放强度	kgCO ₂ /GJ
21	$E_{ad,c}$	修正的锅炉直接碳排放强度	kgCO ₂ /GJ
22	$E_{ad,s}$	锅炉系统直接碳排放强度	kgCO ₂ /GJ
23	$E_{a,s}$	锅炉系统碳排放强度	kgCO ₂ /GJ
24	E_d	测试边界内的直接碳排放量	kgCO ₂ /h
25	E_{dc}	采用排放因子法得到的直接碳排放量	kgCO ₂ /h
26	E_{den}	脱硝过程产生的直接碳排放量	kgCO ₂ /h
27	E_{des}	脱硫过程产生的直接碳排放量	kgCO ₂ /h
28	E_{dm}	采用测量法得到的直接碳排放量	kgCO ₂ /h
29	$E_{dm,b}$	采用测量法得到的化石燃料与生物质掺混 燃烧锅炉直接碳排放量	kgCO ₂ /h
30	E_f	燃料燃烧产生的直接碳排放量	kgCO ₂ /h
31	E_{id}	测试边界内的间接碳排放量	kgCO ₂ /h
32	EF	燃料燃烧的排放因子	kgCO ₂ /kg 或 kgCO ₂ /m ³
33	EF _c	化石燃料与生物质燃料掺混燃烧的排放因子	kgCO ₂ /kg 或 kgCO ₂ /m ³
34	EF _{den}	脱硝过程脱硝剂的排放因子	kgCO ₂ /kg
35	EF _{des}	脱硫过程脱硫剂的排放因子	kgCO ₂ /kg
36	EF _e	电力碳排放因子	kgCO ₂ /(kW·h)
37	G	热水(有机热载体)锅炉工质循环流量	kg/h
38	G_{Hum}	测定蒸汽湿度时的锅水取样量	kg/h
39	G_s	测定过热蒸汽含盐量时的蒸汽取样量	kg/h
40	$H_{cw,SC,en}$	冷渣器进口冷却水焓	kJ/kg
41	$H_{cw,SC,lv}$	冷渣器出口冷却水焓	kJ/kg
42	$H_{fw,ECO,en}$	省煤器进口给水焓	kJ/kg
43	$H_{sp,dRH}$	再热器减温水焓	kJ/kg
44	$H_{sp,dSH}$	过热器减温水焓	kJ/kg
45	$H_{st,aux}$	辅助用蒸汽焓	kJ/kg
46	$H_{st,RH,en}$	再热器进口蒸汽焓	kJ/kg
47	$H_{st,RH,lv}$	再热器出口蒸汽焓	kJ/kg
48	$H_{st,SH,lv}$	过热器出口蒸汽焓	kJ/kg
49	$H_{w,sat}$	饱和水焓	kJ/kg
50	h_{fw}	给水焓	kJ/kg

表 1 符号和单位 (续)

序号	符号	名称	单位
51	$h_{fw,h}$	热水(有机热载体)锅炉进口工质焓	kJ/kg
52	h_{ow}	热水(有机热载体)锅炉出口工质焓	kJ/kg
53	h_{pu}	自用蒸汽焓	kJ/kg
54	$h_{sat,st}$	饱和蒸汽焓	kJ/kg
55	$h_{st,sh,lv}$	过热蒸汽焓	kJ/kg
56	I_{CO_3}	脱硫剂中碳酸盐的含量	—
57	M_{CO_3}	碳酸盐的相对分子质量	—
58	m	碳氢化合物中碳原子数	—
59	n	碳氢化合物中氢原子数	—
60	OF	燃料的碳氧化率	—
61	OF _c	混合燃料中化石燃料的碳氧化率	—
62	Q	锅炉输出热量	kJ/h
63	Q_{bd}	排污水带走的热量	kJ/h
64	$Q_{net, ar}$	入炉燃料(收到基)低位发热量	kJ/kg 或 kJ/m ³
65	$Q_{net, ar,d}$	设计燃料(收到基)低位发热量	kJ/kg 或 kJ/m ³
66	Q_{sc}	冷渣器带走的热量	kJ/h
67	$Q_{st, aux}$	辅助用汽带走的热量	kJ/h
68	$Q_{st, RH}$	再热蒸汽带走的热量	kJ/h
69	$Q_{st, SH}$	过热蒸汽带走的热量	kJ/h
70	$q_{m, bd}$	排污水质量流量	kg/h
71	$q_{m, cw, SC}$	冷渣器冷却水质量流量	kg/h
72	$q_{m, fw, ECO, en}$	省煤器进口给水质量流量	kg/h
73	$q_{m, sp, dRH}$	再热器减温水质量流量	kg/h
74	$q_{m, sp, dSH}$	过热器减温水质量流量	kg/h
75	$q_{m, st, aux}$	辅助用蒸汽质量流量	kg/h
76	$q_{m, st, RH, en}$	再热器进口蒸汽质量流量	kg/h
77	$q_{m, st, RH, lv}$	再热器出口蒸汽质量流量	kg/h
78	$q_{m, st, SH, lv}$	过热器出口蒸汽质量流量	kg/h
79	T	测试工况时长	h
80	$V_{a, d, th}$	理论干空气量	m ³ /kg 或 m ³ /m ³
81	V'_{fg}	烟气体积流量	m ³ /h

表 1 符号和单位（续）

序号	符号	名称	单位
82	$V_{\text{fg,d}}$	每千克或每立方米燃料燃烧生成的干烟气体积	m^3/kg 或 m^3/m^3
83	$V'_{\text{fg,d}}$	干烟气体积流量	m^3/h
84	$V_{\text{fg,d,th}}$	理论干烟气体积	m^3/kg 或 m^3/m^3
85	α	排烟处过量空气系数	—
86	β	单位质量煤粉制粉耗电量	$\text{kW} \cdot \text{h}/\text{kg}$
87	γ	汽化潜热	kJ/kg
88	Δ	排放因子法与测量法差值	—
89	ΔP_{f}	风机压力	kPa
90	ΔP_{g}	测试边界内的烟风阻力	kPa
91	ΔP_{p}	泵进出口压升	kPa
92	ΔP_{w}	测试边界内的工质流动阻力	kPa
93	η	锅炉实测效率	—
94	η_{c}	修正的锅炉效率	—
95	$\eta_{\text{CO}_3,\text{dec}}$	脱硫剂中碳酸盐的分解率	—
96	$\eta_{\text{ur,dec}}$	尿素的分解率	—
97	$\rho_{\text{CO}_2,\text{d}}$	二氧化碳密度	kg/m^3
98	ρ_{f}	风机进出口空气或烟气平均密度	kg/m^3
99	ρ_{g}	测试边界内空气或烟气平均密度	kg/m^3
100	φ_{b}	生物质在入炉混合燃料中的质量占比	—
101	$\varphi_{\text{CH}_4,\text{fg,d}}$	干烟气中 CH_4 的体积分数	—
102	$\varphi_{\text{C}_m\text{H}_n,\text{fg,d}}$	干烟气中 C_mH_n 的体积分数	—
103	$\varphi_{\text{C}_m\text{H}_n,\text{g}}$	气体燃料中 C_mH_n 的体积分数	—
104	$\varphi_{\text{C}_m\text{H}_n,\text{gb}}$	生物质衍生气中 C_mH_n 的体积分数	—
105	$\varphi_{\text{C}_m\text{H}_n,\text{gf}}$	化石燃料气中 C_mH_n 的体积分数	—
106	$\varphi_{\text{C}_m\text{H}_n,\text{gfd}}$	化石燃料气中 C_mH_n 的体积分数(设计数据)	—
107	$\varphi_{\text{C}_m\text{H}_n,\text{gd}}$	设计气体燃料中 C_mH_n 的体积分数	—
108	$\varphi_{\text{CO,fg,d}}$	干烟气中 CO 的体积分数	—
109	$\varphi_{\text{CO,g}}$	气体燃料中 CO 的体积分数	—
110	$\varphi_{\text{CO,gb}}$	生物质衍生气中 CO 的体积分数	—
111	$\varphi_{\text{CO,gf}}$	化石燃料气中 CO 的体积分数	—
112	$\varphi_{\text{CO,gfd}}$	化石燃料气中 CO 的体积分数(设计数据)	—

表 1 符号和单位 (续)

序号	符号	名称	单位
113	$\varphi_{\text{CO,g,d}}$	设计气体燃料中 CO 的体积分数	—
114	$\varphi_{\text{CO}_2,\text{fg,d}}$	干烟气中 CO ₂ 的体积分数	—
115	$\varphi_{\text{CO}_2,\text{g}}$	气体燃料中 CO ₂ 的体积分数	—
116	$\varphi_{\text{CO}_2,\text{gb}}$	生物质衍生气中 CO ₂ 的体积分数	—
117	$\varphi_{\text{CO}_2,\text{gf}}$	化石燃料气中 CO ₂ 的体积分数	—
118	$\varphi_{\text{CO}_2,\text{gf,d}}$	化石燃料气中 CO ₂ 的体积分数(设计数据)	—
119	$\varphi_{\text{CO}_2,\text{g,d}}$	设计气体燃料中 CO ₂ 的体积分数	—
120	φ_{c}	化石燃料在入炉混合燃料中的质量占比	—
121	$\varphi_{\text{c,d}}$	化石燃料在混合燃料中的质量占比(设计数据)	—
122	φ_{gb}	生物质衍生气在气体混合燃料中的体积分数占比	—
123	φ_{gf}	化石燃料气在气体混合燃料中的体积分数占比	—
124	$\varphi_{\text{gf,d}}$	化石燃料气在气体混合燃料中的体积分数占比(设计数据)	—
125	$\varphi_{\text{H}_2,\text{fg,d}}$	干烟气中 H ₂ 的体积分数	—
126	$\varphi_{\text{H}_2,\text{g}}$	气体燃料中 H ₂ 的体积分数	—
127	$\varphi_{\text{H}_2\text{O,fg}}$	烟气中 H ₂ O 的体积分数	—
128	$\varphi_{\text{H}_2\text{S,g}}$	气体燃料中 H ₂ S 的体积分数	—
129	$\varphi_{\text{H}_2\text{S,g,d}}$	设计气体燃料中 H ₂ S 的体积分数	—
130	$\varphi_{\text{N}_2,\text{fg,d}}$	干烟气中 N ₂ 的体积分数	—
131	$\varphi_{\text{N}_2,\text{g}}$	气体燃料中 N ₂ 的体积分数	—
132	$\varphi_{\text{O}_2,\text{fg,d}}$	干烟气中 O ₂ 的体积分数	—
133	$\varphi_{\text{O}_2,\text{g}}$	气体燃料中 O ₂ 的体积分数	—
134	$\varphi_{\text{SO}_2,\text{fg,d}}$	干烟气中 SO ₂ 的体积分数	—
135	ψ_{C}	基于燃料中碳的修正系数	—
136	ψ_{S}	基于燃料中硫的修正系数	—
137	ω	饱和蒸汽湿度	—
138	ω_{as}	飞灰占燃料总灰量的质量分数	—
139	$\omega_{\text{as,ar}}$	入炉燃料(收到基)中灰分的质量分数	—
140	$\omega_{\text{as,ar,b}}$	生物质燃料(收到基)灰分的质量分数	—
141	$\omega_{\text{as,ar,c}}$	固体化石燃料(收到基)灰分的质量分数	—
142	$\omega_{\text{C,ar}}$	入炉燃料(收到基)中元素碳的质量分数	—
143	$\omega_{\text{C,ar,b}}$	生物质燃料(收到基)中元素碳的质量分数	—

表 1 符号和单位（续）

序号	符号	名称	单位
144	$\omega_{C,ar,c}$	化石燃料(收到基)中元素碳的质量分数	—
145	$\omega_{C,ar,c,d}$	化石燃料(收到基)中元素碳的质量分数(设计数据)	—
146	$\omega_{C,ar,d}$	设计燃料(收到基)中元素碳的质量分数	—
147	ω_{cl}	漏煤(或沉降灰)占燃料总灰量的质量分数	—
148	$\omega_{c,as}$	飞灰中可燃物的质量分数	—
149	$\omega_{c,b}$	实际燃烧掉的碳占入炉燃料的质量分数	—
150	$\omega_{c,cl}$	漏煤(或沉降灰)中可燃物的质量分数	—
151	$\omega_{c,rs,m}$	灰渣平均可燃物的质量分数	—
152	$\omega_{c,s}$	炉渣中可燃物的质量分数	—
153	$\omega_{H,ar}$	入炉燃料(收到基)中元素氢的质量分数	—
154	$\omega_{N,ar}$	入炉燃料(收到基)中元素氮的质量分数	—
155	$\omega_{O,ar}$	入炉燃料(收到基)中元素氧的质量分数	—
156	ω_s	炉渣占燃料总灰量的质量分数	—
157	$\omega_{S,ar}$	入炉燃料(收到基)中元素硫的质量分数	—

5 测试边界和排放源

5.1 测试边界

锅炉碳排放测试的测试边界示意图见图 1～图 4。根据测试目的不同,测试边界分为以下 2 类:

- a) 锅炉边界,与锅炉能效测试时的热平衡系统边界一致;
- b) 锅炉系统边界,包括锅炉本体及风机、泵、燃料制备装置、燃料供给装置、除灰渣装置、烟气净化装置、监控装置等各类辅机设备,其中工质侧边界采用锅炉边界。

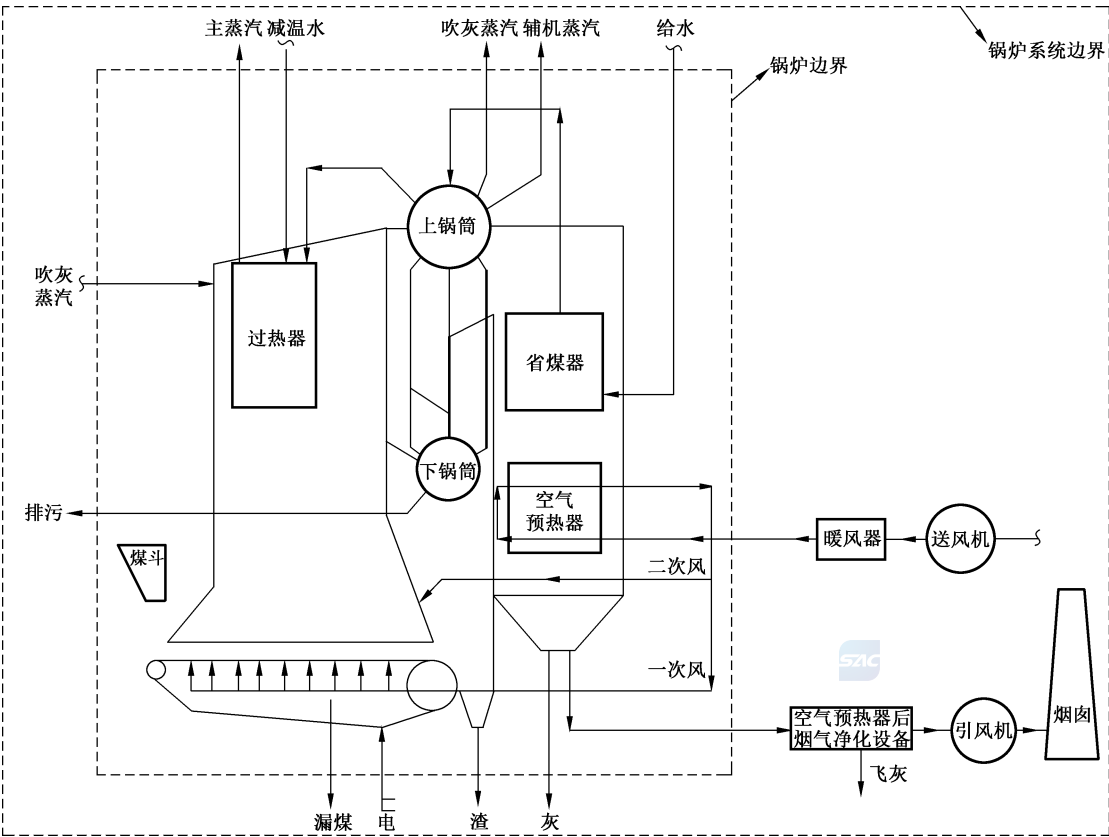


图 1 典型的火床(链条)锅炉碳排放测试边界示意图

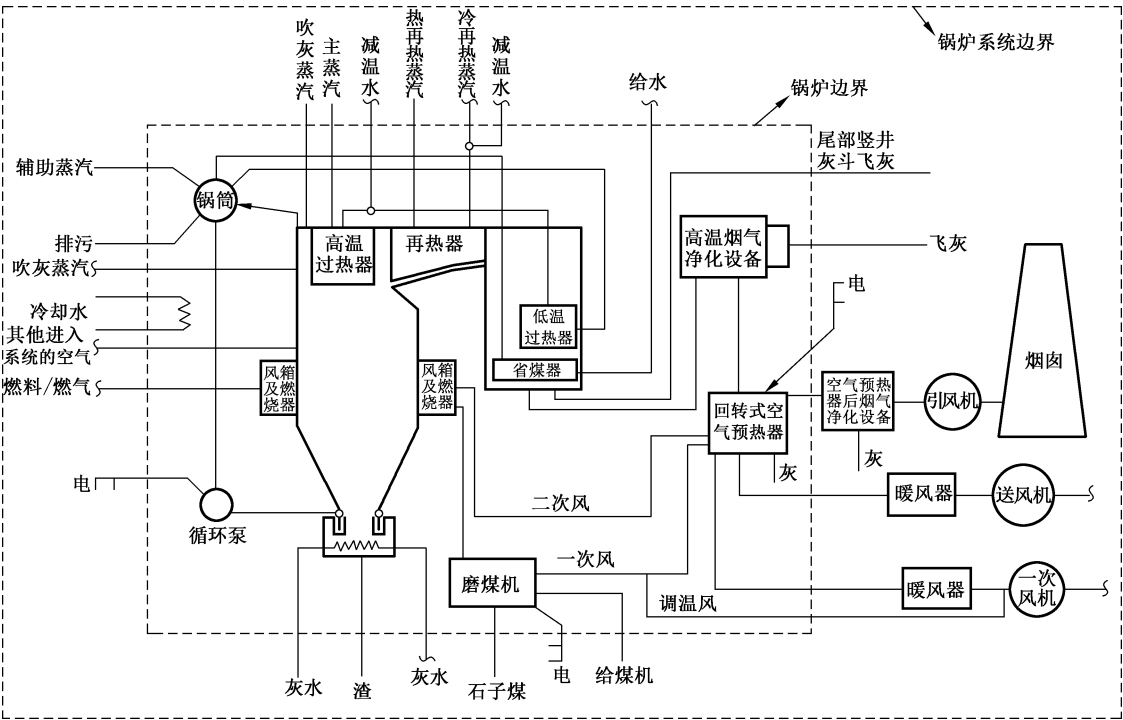


图 2 典型的煤粉锅炉碳排放测试边界示意图

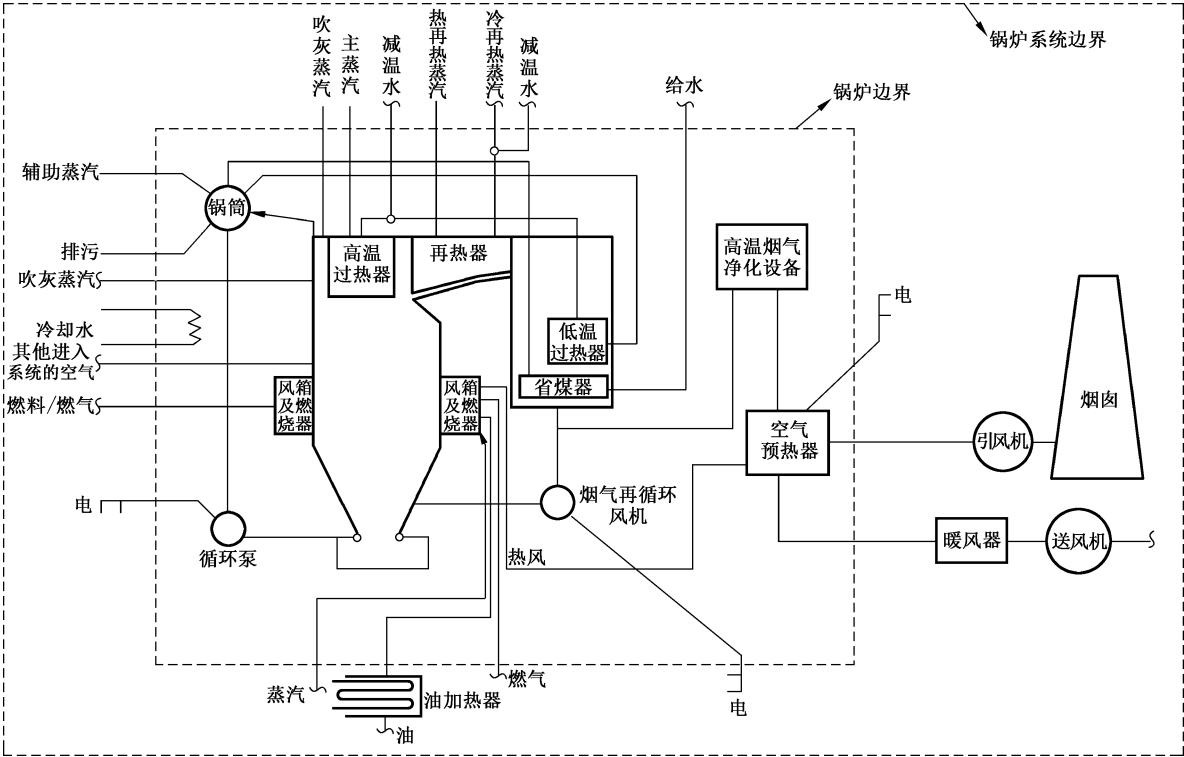


图 3 典型的燃油、燃气锅炉碳排放测试边界示意图

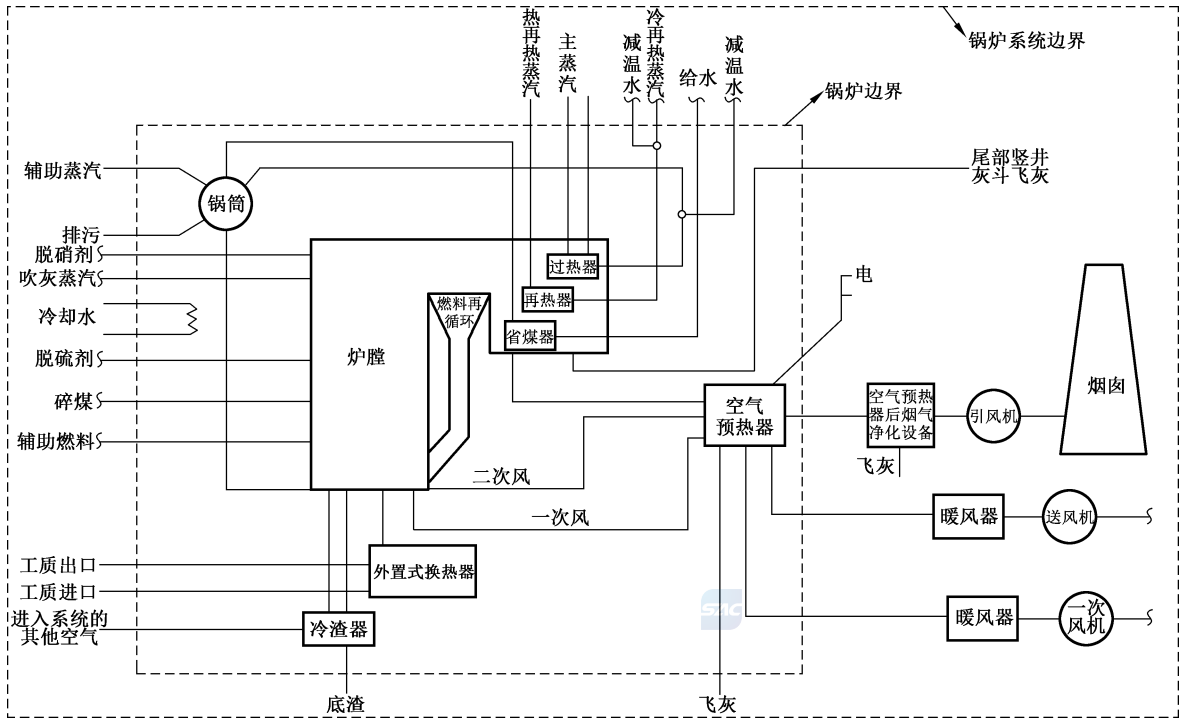


图 4 典型的循环流化床锅炉碳排放测试边界示意图

5.2 排放源

5.2.1 根据测试边界,确定相应的排放源。

- a) 测试边界为锅炉边界时,排放源包括:锅炉热平衡系统边界内燃料燃烧及其烟气处理过程产生的直接碳排放和电加热设备、辅机设备耗电产生的间接碳排放,以及克服锅炉热平衡系统边界内烟风、汽水流动阻力所需边界外辅机设备耗电相应的间接碳排放。也可仅包括锅炉热平衡系统边界内燃料燃烧及其烟气处理过程产生的直接碳排放,此时应予以说明。
- b) 测试边界为锅炉系统边界时,排放源包括:锅炉系统边界内燃料燃烧及其烟气处理过程产生的直接碳排放和电加热设备、辅机设备耗电产生的间接碳排放。也可仅包括锅炉系统边界内燃料燃烧及其烟气处理过程产生的直接碳排放,此时应予以说明。

5.2.2 生物质及其衍生燃料(简称生物质燃料)为碳中性燃料,燃烧产生的二氧化碳排放不计入锅炉碳排放量,但应在测试报告中予以说明。

5.2.3 锅炉使用外购煤粉时,应由煤粉供应商提供单位质量煤粉制粉耗电量,无法提供该数据时,可采用推荐值。

6 测试要求



6.1 锅炉碳排放测试应与锅炉能效测试同时进行。手烧锅炉、下饲式锅炉、电加热锅炉能效测试采用输入-输出法(正平衡法),其他锅炉能效测试采用能量平衡法(反平衡法)。

6.2 根据测试目的不同,一般分为锅炉产品碳排放测试、锅炉运行碳排放测试以及锅炉验收碳排放测试等。锅炉产品碳排放测试的测试边界为锅炉边界,锅炉运行和验收碳排放测试的测试边界由测试相关方协商确定。对于锅炉产品碳排放测试,每个工况锅炉平均(折算)负荷应在额定负荷的 97%~105%;锅炉运行碳排放测试应在锅炉设计安全运行范围内按实际运行负荷进行;锅炉验收碳排放测试应由验收相关方协商确定有关测试要求。不同锅炉碳排放连续测试时长和测试次数应符合表 2 的规定。燃固体与液体或固体与气体混合燃料的锅炉,连续测试时长和测试次数按照燃固体燃料锅炉执行。

表 2 连续测试时长和测试次数

燃烧方式		锅炉产品和验收碳排放测试	锅炉运行碳排放测试
		测试时长和次数	测试时长和次数
室燃锅炉	固体燃料	4 h,≥2 次	4 h,≥1 次
	液体燃料	2 h,≥2 次	2 h,≥1 次
	气体燃料	2 h,≥2 次	2 h,≥1 次
层燃锅炉	手烧或者下饲	≥5 h(至少一个完整出渣周期), ≥2 次	≥5 h(至少一个完整出渣周期),≥1 次
	其他	4 h,≥2 次	4 h,≥1 次
流化床锅炉	固体燃料	4 h,≥2 次	4 h,≥1 次
	其他燃料	4 h,≥2 次	4 h,≥1 次
电加热锅炉	—	1 h,≥2 次	1 h,≥1 次

6.3 锅炉碳排放测试次数不少于 2 次时,各工况测得的碳排放强度之间的相对偏差应不大于 3%,锅炉碳排放测试结果为各工况测试结果的算术平均值。

6.4 锅炉采用不同燃料混烧时,应根据各燃料的消耗量、元素分析值、工业分析值、低位发热量、气体燃料成分等数据按 GB/T 10184 的规定计算出混合燃料相应的加权平均值。固体与液体或气体燃料混烧、液体与气体燃料混烧时,混合燃料分别按固体燃料和液体燃料进行数据处理和计算。

6.5 测试应在锅炉主要热力参数(工质出口温度、压力、流量等)调整到允许范围且工况稳定一段时间后进行。冷凝锅炉测试过程主要热力参数允许波动范围和测试要求应符合 NB/T 47066 的规定。除冷凝锅炉以外的其他工业锅炉测试过程主要热力参数允许波动范围和测试要求应符合 GB/T 10180 的规定。除冷凝锅炉以外的其他电站锅炉测试过程主要热力参数允许波动范围和测试要求应符合 GB/T 10184 的规定。

6.6 凡出现下列情况之一时,该测试工况应作废:

- a) 试验燃料特性或吸收剂特性超出事先规定的变化范围;
- b) 测试工况中主要热力参数波动超出测试允许的波动范围;
- c) 主要测量项目的测试数据有 1/3 以上出现异常或矛盾。

7 测量项目、仪器仪表及测量方法

7.1 主要测量项目

锅炉能效测试主要测量项目按照 GB/T 10180、GB/T 10184 或 NB/T 47066 确定,除能效测试测量项目外,碳排放测试还应进行如下项目的测量:

- 1) 烟气流量,当采用直接测量法确定干烟气体积流量时,可通过测量烟气流速与烟道截面积获得;
- 2) 烟风道静压,用于计算风烟系统压降;
- 3) 辅机用电量,用于计算由于辅机设备耗电产生的间接碳排放。

7.2 仪器仪表

7.2.1 测试时所用的仪器仪表应在检定或校准的合格有效期内。

7.2.2 冷凝锅炉碳排放测试所用仪器仪表应符合 NB/T 47066 的量程及精度要求。工业锅炉(除冷凝锅炉外)碳排放测试所用仪器仪表应符合 GB/T 10180 的量程及精度要求。电站锅炉(除冷凝锅炉外)碳排放测试所用仪器仪表应符合 GB/T 10184 的量程及精度要求。

7.2.3 仪器仪表的安装及使用应符合测试要求及仪器仪表的使用要求。

7.3 测试方法

7.3.1 冷凝锅炉测量项目按 NB/T 47066 规定的方法进行测量。工业锅炉(除冷凝锅炉外)测量项目按 GB/T 10180 的方法进行测量。电站锅炉(除冷凝锅炉外)测量项目按 GB/T 10184 的方法进行测量。

7.3.2 烟气流速按 GB/T 16157 规定的方法进行测量。当流速测量断面与下游方向弯头、阀门、变径管的距离小于 2 倍烟道直径,或与上游方向弯头、阀门、变径管的距离小于 4 倍烟道直径时,宜根据 DL/T 2376 或其他国家、行业发布的三维皮托管流速测量方法进行测量。对于矩形烟道,应以当量直径计,其当量直径按公式(1)计算。

$$D = \frac{2AB}{A + B} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- D —— 当量直径,单位为米(m);
- A、B —— 烟道边长,单位为米(m)。

7.3.3 烟风道静压按 GB/T 16157 的方法进行测量。

7.3.4 辅机电用量按 GB/T 10180 的方法进行测量。

8 碳排放计算

8.1 碳排放总量

碳排放总量按公式(2)计算：

$$E = E_d + E_{id} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

E ——测试边界内的碳排放总量,单位为千克二氧化碳每小时(kgCO_2/h)；

E_d ——测试边界内的直接碳排放量,单位为千克二氧化碳每小时(kgCO_2/h)；

E_{id} ——测试边界内的间接碳排放量,单位为千克二氧化碳每小时(kgCO_2/h)。

8.2 直接碳排放量

8.2.1 直接碳排放量确定方法

直接碳排放量采用排放因子法确定,由测量法校验。排放因子法与测量法差值按公式(3)计算：

$$\Delta = \frac{|E_{dm} - E_{dc}|}{E_{dc}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

Δ ——排放因子法与测量法差值；

E_{dm} ——采用测量法得到的直接碳排放量,单位为千克二氧化碳每小时(kgCO_2/h)；

E_{dc} ——采用排放因子法得到的直接碳排放量,单位为千克二氧化碳每小时(kgCO_2/h)。

若二者差值 Δ 大于 5%,工况作废,重新测试。

注：手烧锅炉、下饲式锅炉直接碳排放量由测量法确定,电加热锅炉无直接碳排放。

8.2.2 排放因子法

8.2.2.1 采用排放因子法时,直接碳排放量按公式(4)计算：

$$E_{dc} = E_f + E_{des} + E_{den} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

E_f ——燃料燃烧产生的直接碳排放量,单位为千克二氧化碳每小时(kgCO_2/h)；

E_{des} ——脱硫过程产生的直接碳排放量,单位为千克二氧化碳每小时(kgCO_2/h)；

E_{den} ——脱硝过程产生的直接碳排放量,单位为千克二氧化碳每小时(kgCO_2/h)。

8.2.2.2 燃料燃烧产生的直接碳排放量按公式(5)计算：

$$E_f = B_f \cdot EF \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

B_f ——测试周期内每小时燃料消耗量,单位为千克每小时(kg/h)或立方米每小时(m^3/h),推荐通过能效测试计算得到,也可通过直接测量得到；

EF ——燃料燃烧的排放因子,单位为千克二氧化碳每千克(kgCO_2/kg)或千克二氧化碳每立方米(kgCO_2/m^3)。

对于固体燃料、液体燃料,燃料燃烧的排放因子按公式(6)计算：

$$EF = \frac{\omega_{C,ar}}{100} \cdot \frac{OF}{100} \cdot \frac{44}{12} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$\omega_{C,ar}$ ——入炉燃料(收到基)中元素碳的质量分数，%；

OF——燃料的碳氧化率，%。

对于含有生物质燃料的固体或液体混合燃料，燃料燃烧的排放因子按公式(7)计算：

$$EF_c = \frac{\varphi_c}{100} \cdot \frac{\omega_{C,ar,c}}{100} \cdot \frac{OF_c}{100} \cdot \frac{44}{12} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中：

EF_c ——化石燃料与生物质燃料掺混燃烧的排放因子，单位为千克二氧化碳每千克(kgCO_2/kg)；

φ_c ——化石燃料在入炉混合燃料中的质量占比，%；

$\omega_{C,ar,c}$ ——化石燃料(收到基)中元素碳的质量分数，%；

OF_c ——混合燃料中化石燃料的碳氧化率，%。

对于气体燃料，燃料燃烧的排放因子按公式(8)计算：

$$EF = \rho_{\text{CO}_2,d} \cdot \frac{\varphi_{\text{CO},g} + \varphi_{\text{CO}_2,g} + \sum m \varphi_{C_m H_n,g}}{100} \cdot \frac{OF}{100} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：

$\rho_{\text{CO}_2,d}$ ——二氧化碳密度，单位为千克每立方米(kg/m^3)，可取 1.963 8；

$\varphi_{\text{CO},g}$ 、 $\varphi_{\text{CO}_2,g}$ 、 $\varphi_{C_m H_n,g}$ ——气体燃料中 CO 、 CO_2 、 $C_m H_n$ 的体积分数，%；

m ——碳氢化合物中碳原子数。

对于含有生物质燃料的气体混合燃料，燃料燃烧的排放因子按公式(9)计算：

$$EF_c = \rho_{\text{CO}_2,d} \cdot \frac{\varphi_{gf}}{100} \cdot \frac{\varphi_{\text{CO},gf} + \varphi_{\text{CO}_2,gf} + \sum m \varphi_{C_m H_n,gf}}{100} \cdot \frac{OF}{100} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中：

EF_c ——化石燃料与生物质燃料掺混燃烧的排放因子，单位为千克二氧化碳每立方米(kgCO_2/m^3)；

φ_{gf} ——化石燃料气在气体混合燃料中的体积分数占比，%；

$\varphi_{\text{CO},gf}$ 、 $\varphi_{C_m H_n,gf}$ 、 $\varphi_{\text{CO}_2,gf}$ ——化石燃料气中 CO 、 $C_m H_n$ 、 CO_2 的体积分数，%。

对于固体燃料，燃料的碳氧化率按公式(10)计算：

$$OF = 100 - \frac{\omega_{as,ar}}{\omega_{C,ar}} \cdot \omega_{c,rs,m} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中：

$\omega_{as,ar}$ ——入炉燃料(收到基)中灰分的质量分数，%；

$\omega_{c,rs,m}$ ——灰渣平均可燃物的质量分数，%，按公式(11)计算：

$$\omega_{c,rs,m} = \frac{\omega_s \omega_{c,s}}{100 - \omega_{c,s}} + \frac{\omega_{cl} \omega_{c,cl}}{100 - \omega_{c,cl}} + \frac{\omega_{as} \omega_{c,as}}{100 - \omega_{c,as}} \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中：

ω_s 、 ω_{cl} 、 ω_{as} ——炉渣、漏煤(或沉降灰)、飞灰占燃料总灰量的质量分数，%；

$\omega_{c,s}$ 、 $\omega_{c,cl}$ 、 $\omega_{c,as}$ ——炉渣、漏煤(或沉降灰)、飞灰中可燃物的质量分数，%。

对于含有生物质燃料的固体混合燃料，化石燃料的碳氧化率按公式(12)计算：

$$OF_c = 100 - \frac{\omega_{as,ar,c}}{\omega_{C,ar,c}} \cdot \omega_{c,rs,m} \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中：

$\omega_{as,ar,c}$ ——固体化石燃料(收到基)灰分的质量分数，%。

对于液体和气体燃料,燃料的碳氧化率按公式(13)计算:

$$OF = \frac{100\varphi_{CO_2,fg,d}}{\varphi_{CO,fg,d} + \varphi_{CO_2,fg,d} + \sum m\varphi_{C_mH_n,fg,d}} \dots\dots\dots (13)$$

式中:

$\varphi_{CO_2,fg,d}$ 、 $\varphi_{CO,fg,d}$ 、 $\varphi_{C_mH_n,fg,d}$ ——干烟气中 CO_2 、 CO 、 C_mH_n 的体积分数, %。

对于燃烧含生物质燃料的液体混合燃料和气体混合燃料的锅炉,化石燃料的碳氧化率均按公式(13)计算。

8.2.2.3 脱硫过程产生的直接碳排放量按公式(14)计算:

$$E_{des} = B_{des} \cdot EF_{des} \dots\dots\dots (14)$$

式中:

B_{des} ——测试周期内每小时脱硫剂消耗量,单位为千克每小时(kg/h);

EF_{des} ——脱硫过程脱硫剂的排放因子,单位为千克二氧化碳每千克(kg CO_2 /kg)。

采用碳酸盐脱硫时,脱硫过程脱硫剂的排放因子按公式(15)计算:

$$EF_{des} = \frac{44}{10\,000} \cdot \frac{I_{CO_3} \cdot \eta_{CO_3,dec}}{M_{CO_3}} \dots\dots\dots (15)$$

式中:

I_{CO_3} ——脱硫剂中碳酸盐的含量, %;

$\eta_{CO_3,dec}$ ——脱硫剂中碳酸盐的分解率, %;一般采用碳酸钙脱硫,对于正常运行的锅炉可取 98,也可根据灰、渣中氧化钙和碳酸钙的含量确定;

M_{CO_3} ——碳酸盐的分子量。

8.2.2.4 脱硝过程产生的直接碳排放量按公式(16)计算:

$$E_{den} = B_{den} \cdot EF_{den} \dots\dots\dots (16)$$

式中:

B_{den} ——测试周期内每小时脱硝剂消耗量,单位为千克每小时(kg/h);

EF_{den} ——脱硝过程脱硝剂的排放因子,单位为千克二氧化碳每千克(kg CO_2 /kg)。

采用尿素脱硝时,脱硝过程脱硝剂的排放因子按公式(17)计算:

$$EF_{den} = \frac{44}{60} \cdot \frac{\eta_{ur,dec}}{100} \dots\dots\dots (17)$$

式中:

$\eta_{ur,dec}$ ——尿素的分解率, %,一般取 99。

8.2.3 测量法

8.2.3.1 采用测量法时,直接碳排放量按公式(18)计算:

$$E_{dm} = \frac{\rho_{CO_2,d} \cdot \varphi_{CO_2,fg,d} \cdot V'_{fg,d}}{100} \dots\dots\dots (18)$$

式中:

$V'_{fg,d}$ ——干烟气体积流量,单位为立方米每小时(m^3 /h)。

对于含有生物质燃料的固体混合燃料锅炉,直接碳排放量按公式(19)计算:

$$E_{dm,b} = \frac{\rho_{CO_2,d} \cdot \varphi_{CO_2,fg,d} \cdot V'_{fg,d}}{100} \cdot \frac{\varphi_c \left(\omega_{C,ar,c} - \omega_{as,ar,c} \frac{\omega_{c,rs,m}}{100} \right)}{\varphi_b \left(\omega_{C,ar,b} - \omega_{as,ar,b} \frac{\omega_{c,rs,m}}{100} \right) + \varphi_c \left(\omega_{C,ar,c} - \omega_{as,ar,c} \frac{\omega_{c,rs,m}}{100} \right)} \dots\dots\dots (19)$$

式中:

$E_{\text{dm},b}$ ——采用测量法得到的化石燃料与生物质掺混燃烧锅炉直接碳排放量,单位为千克二氧化碳每小时(kgCO_2/h);

φ_b ——生物质在入炉混合燃料中的质量占比, %;

$\omega_{\text{C},\text{ar},b}$ ——生物质燃料(收到基)中元素碳的质量分数, %;

$\omega_{\text{as},\text{ar},b}$ ——生物质燃料(收到基)灰分的质量分数, %。

对于含有生物质燃料的液体混合燃料锅炉,直接碳排放量按公式(20)计算:

$$E_{\text{dm},b} = \frac{\rho_{\text{CO}_2,\text{d}} \cdot \varphi_{\text{CO}_2,\text{fg},\text{d}} \cdot V'_{\text{fg},\text{d}}}{100} \cdot \frac{\varphi_{\text{c}} \omega_{\text{C},\text{ar},\text{c}}}{\varphi_b \omega_{\text{C},\text{ar},b} + \varphi_{\text{c}} \omega_{\text{C},\text{ar},\text{c}}} \dots\dots\dots (20)$$

对于含有生物质燃料的气体混合燃料锅炉,直接碳排放量按公式(21)计算:

$$E_{\text{dm},b} = \frac{\rho_{\text{CO}_2,\text{d}} \cdot \varphi_{\text{CO}_2,\text{fg},\text{d}} \cdot V'_{\text{fg},\text{d}}}{100} \cdot \frac{\varphi_{\text{gf}}(\varphi_{\text{CO},\text{gf}} + \varphi_{\text{CO}_2,\text{gf}} + \sum m \varphi_{\text{C}_m \text{H}_n,\text{gf}})}{\varphi_{\text{gf}}(\varphi_{\text{CO},\text{gf}} + \varphi_{\text{CO}_2,\text{gf}} + \sum m \varphi_{\text{C}_m \text{H}_n,\text{gf}}) + \varphi_{\text{gb}}(\varphi_{\text{CO},\text{gb}} + \varphi_{\text{CO}_2,\text{gb}} + \sum m \varphi_{\text{C}_m \text{H}_n,\text{gb}})} \dots\dots\dots (21)$$

式中:

φ_{gb} ——生物质衍生气在气体混合燃料中的体积分数占比, %;

$\varphi_{\text{CO},\text{gb}}$ 、 $\varphi_{\text{C}_m \text{H}_n,\text{gb}}$ 、 $\varphi_{\text{CO}_2,\text{gb}}$ ——生物质衍生气中 CO 、 $\text{C}_m \text{H}_n$ 、 CO_2 的体积分数, %。

8.2.3.2 干烟气体积流量可直接测量确定,也可结合能效测试间接计算得出:

a) 直接测量时,干烟气体积流量由公式(22)计算:

$$V'_{\text{fg},\text{d}} = \frac{V'_{\text{fg}}(100 - \varphi_{\text{H}_2\text{O},\text{fg}})}{100} \dots\dots\dots (22)$$

式中:

$\varphi_{\text{H}_2\text{O},\text{fg}}$ ——烟气中 H_2O 的体积分数, %;

V'_{fg} ——烟气体积流量,单位为立方米每小时(m^3/h)。

b) 间接计算时,干烟气体积流量由公式(23)计算:

$$V'_{\text{fg},\text{d}} = B \cdot V_{\text{fg},\text{d}} \dots\dots\dots (23)$$

式中:

$V_{\text{fg},\text{d}}$ ——每千克或每立方米燃料燃烧生成的干烟气体积,单位为立方米每千克(m^3/kg)或立方米每立方米(m^3/m^3),按公式(24)计算:

$$V_{\text{fg},\text{d}} = V_{\text{fg},\text{d},\text{th}} + (\alpha - 1)V_{\text{a},\text{d},\text{th}} \dots\dots\dots (24)$$

式中:

$V_{\text{fg},\text{d},\text{th}}$ ——理论干烟气体积,单位为立方米每千克(m^3/kg)或立方米每立方米(m^3/m^3);

$V_{\text{a},\text{d},\text{th}}$ ——理论干空气量,单位为立方米每千克(m^3/kg)或立方米每立方米(m^3/m^3);

α ——排烟处过量空气系数。

对于固体和液体燃料,理论干空气量和理论干烟气体积由实际燃烧的碳计算,按公式(25)和公式(26)计算,添加脱硫剂后的理论干空气量和理论干烟气体积按照 GB/T 10184 的规定计算:

$$V_{\text{a},\text{d},\text{th}} = 0.0888 \omega_{\text{c},b} + 0.0333 \omega_{\text{S},\text{ar}} + 0.2647 \omega_{\text{H},\text{ar}} - 0.0334 \omega_{\text{O},\text{ar}} \dots\dots\dots (25)$$

$$V_{\text{fg},\text{d},\text{th}} = 1.8658 \frac{\omega_{\text{c},b}}{100} + 0.6989 \frac{\omega_{\text{S},\text{ar}}}{100} + 0.79V_{\text{a},\text{d},\text{th}} + 0.80 \frac{\omega_{\text{N},\text{ar}}}{100} \dots\dots\dots (26)$$

式中:

$\omega_{\text{c},b}$ ——实际燃烧掉的碳占入炉燃料的质量分数, %,按公式(27)计算:

$$\omega_{\text{c},b} = \omega_{\text{C},\text{ar}} - \frac{\omega_{\text{as},\text{ar}}}{100} \omega_{\text{c},\text{rs},\text{m}} \dots\dots\dots (27)$$

$\omega_{S, ar}$ 、 $\omega_{H, ar}$ 、 $\omega_{O, ar}$ 、 $\omega_{N, ar}$ ——分别为入炉燃料(收到基)中元素硫、氢、氧、氮的质量分数, %。

对于气体燃料, 理论干空气量和理论干烟气量按公式(28)和公式(29)计算:

$$V_{a, d, th} = \frac{1}{21} \left[0.5\varphi_{CO, g} + 0.5\varphi_{H_2, g} + 1.5\varphi_{H_2S, g} + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) \varphi_{C_m H_n, g} - \varphi_{O_2, g} \right] \dots\dots\dots (28)$$

$$V_{fg, d, th} = \frac{\varphi_{CO_2, g} + \varphi_{CO, g} + \varphi_{H_2S, g} + \sum m\varphi_{C_m H_n, g}}{100} + 0.79V_{a, d, th} + \frac{\varphi_{N_2, g}}{100} \dots\dots\dots (29)$$

式中:

$\varphi_{H_2, g}$ 、 $\varphi_{H_2S, g}$ 、 $\varphi_{O_2, g}$ 、 $\varphi_{N_2, g}$ ——气体燃料中 H_2 、 H_2S 、 O_2 、 N_2 的体积分数, %;

n ——碳氢化合物中氢原子数。

对于固体燃料、液体燃料, 排烟处过量空气系数按公式(30)计算:

$$\alpha = \frac{21}{21 - 79 \frac{\varphi_{O_2, fg, d} - (0.5\varphi_{CO, fg, d} + 0.5\varphi_{H_2, fg, d} + 2\varphi_{C_m H_n, fg, d})}{100 - (\varphi_{CO_2, fg, d} + \varphi_{SO_2, fg, d} + \varphi_{O_2, fg, d} + \varphi_{CO, fg, d} + \varphi_{H_2, fg, d} + \varphi_{C_m H_n, fg, d})}} \dots\dots\dots (30)$$

式中:

$\varphi_{O_2, fg, d}$ 、 $\varphi_{H_2, fg, d}$ 、 $\varphi_{SO_2, fg, d}$ ——干烟气中 O_2 、 H_2 、 SO_2 的体积分数, %。

对于气体燃料, 排烟处过量空气系数按公式(31)计算:

$$\alpha_{ds} = \frac{21}{21 - 79 \frac{\varphi_{O_2, fg, d} - (0.5\varphi_{CO, fg, d} + 0.5\varphi_{H_2, fg, d} + 2\varphi_{CH_4, fg, d})}{\varphi_{N_2, fg, d} - \frac{\varphi_{N_2, g}(\varphi_{CO_2, fg, d} + \varphi_{SO_2, fg, d} + \varphi_{CO, fg, d} + \varphi_{CH_4, fg, d})}{\varphi_{CO_2, g} + \varphi_{CO, g} + \varphi_{H_2S, g} + \sum m\varphi_{C_m H_n, g}}}} \dots\dots\dots (31)$$

式中:

$\varphi_{CH_4, fg, d}$ 、 $\varphi_{N_2, fg, d}$ ——干烟气中 CH_4 、 N_2 的体积分数, %。

8.3 间接碳排放量

8.3.1 间接碳排放量按公式(32)计算:

$$E_{id} = \frac{AD_e \cdot EF_e}{T} \dots\dots\dots (32)$$

式中:

AD_e ——测试边界内的电力消耗总量, 单位为千瓦时($kW \cdot h$); 对于验收和运行碳排放测试, 如企业外购绿色电力电量, 且可精确计量时, 该部分电量可从外购电量中扣除。

EF_e ——电力碳排放因子, 单位为千克二氧化碳每千瓦时 [$kgCO_2/(kW \cdot h)$]; 对于购入电力, 应采用国家主管部门发布的最新数据, 产品碳排放测试应采用全国电力平均二氧化碳排放因子, 验收和运行碳排放测试可采用区域或省级电力平均二氧化碳排放因子; 对于厂用电力, 为机组发电碳排放因子。

T ——测试工况时长, 单位为小时(h)。

8.3.2 测试边界内的电力消耗总量按公式(33)计算:

$$AD_e = AD_{ef} + AD_{ep} + AD_m + AD_o \dots\dots\dots (33)$$

式中:

AD_{ef} ——克服测试边界内烟风阻力的电力消耗量, 单位为千瓦时($kW \cdot h$);

AD_{ep} ——克服测试边界内工质流动阻力的电力消耗量, 单位为千瓦时($kW \cdot h$);

AD_m ——燃料制备装置电力消耗量, 单位为千瓦时($kW \cdot h$);

AD_o ——测试边界内其他电力消耗量, 单位为千瓦时($kW \cdot h$)。

8.3.3 克服测试边界内烟风阻力的电力消耗量按公式(34)计算:

$$AD_{ef} = \sum \frac{\Delta P_g}{\Delta P_f} \cdot \frac{\rho_f}{\rho_g} \cdot AD_f \quad \dots\dots\dots (34)$$

式中:

AD_f ——各风机电力消耗量,单位为千瓦时(kW·h);

ΔP_g ——测试边界内的烟风阻力,单位为千帕(kPa);

ΔP_f ——风机压力,单位为千帕(kPa);

ρ_f ——风机进出口空气或烟气平均密度,单位为千克每立方米(kg/m³);

ρ_g ——测试边界内空气或烟气平均密度,单位为千克每立方米(kg/m³)。

8.3.4 克服测试边界内工质流动阻力的电力消耗量按公式(35)计算:

$$AD_{ep} = \sum \frac{\Delta P_w}{\Delta P_p} \cdot AD_p \quad \dots\dots\dots (35)$$

式中:

AD_p ——各泵电力消耗量,单位为千瓦时(kW·h);

ΔP_w ——测试边界内的工质流动阻力,单位为千帕(kPa);

ΔP_p ——泵进出口压升,单位为千帕(kPa)。

8.3.5 当煤粉锅炉用煤粉为外购时,燃料制备装置电力消耗量按公式(36)确定:

$$AD_m = \beta \cdot C_{pc} \quad \dots\dots\dots (36)$$

式中:

β ——单位质量煤粉制粉耗电量,单位为千瓦时每千克(kW·h/kg)(当制粉厂家无法提供时,可取 $\beta=0.0085$ kW·h/kg);

C_{pc} ——煤粉总消耗量,单位为千克(kg)。

8.4 碳排放强度

8.4.1 碳排放强度分别按公式(37)和公式(38)计算:

$$E_a = \frac{E}{Q} \times 10^6 \quad \dots\dots\dots (37)$$

$$E_{a,s} = \frac{E}{Q} \times 10^6 \quad \dots\dots\dots (38)$$

式中:

E_a ——锅炉碳排放强度(采用锅炉边界时),单位为千克二氧化碳每吉焦(kgCO₂/GJ);

$E_{a,s}$ ——锅炉系统碳排放强度(采用锅炉系统边界时),单位为千克二氧化碳每吉焦(kgCO₂/GJ);

Q ——锅炉输出热量,单位为千焦每小时(kJ/h)(对于使用汽动给水泵的情况,消耗热量应从 Q 中扣除)。

8.4.2 直接碳排放强度分别按公式(39)和公式(40)计算:

$$E_{ad} = \frac{E_d}{Q} \times 10^6 \quad \dots\dots\dots (39)$$

$$E_{ad,s} = \frac{E_d}{Q} \times 10^6 \quad \dots\dots\dots (40)$$

式中:

E_{ad} ——锅炉直接碳排放强度(采用锅炉边界时),单位为千克二氧化碳每吉焦(kgCO₂/GJ);

$E_{ad,s}$ ——锅炉系统直接碳排放强度(采用锅炉系统边界时),单位为千克二氧化碳每吉焦(kgCO₂/GJ)。

8.4.3 热水(有机热载体)锅炉输出热量按公式(41)计算:

$$Q = G(h_{ow} - h_{fw,h}) \quad \dots\dots\dots (41)$$

式中:

G ——热水(有机热载体)锅炉工质循环流量,单位为千克每小时(kg/h);

h_{ow} ——热水(有机热载体)锅炉出口工质焓,单位为千焦每千克(kJ/kg);

$h_{fw,h}$ ——热水(有机热载体)锅炉进口工质焓,单位为千焦每千克(kJ/kg)。

8.4.4 饱和蒸汽锅炉输出热量按公式(42)计算:

$$Q = D_{fw} \left(h_{sat,st} - h_{fw} - \frac{\gamma\omega}{100} \right) - G_{Hum} \gamma \quad \dots\dots\dots (42)$$

式中:

D_{fw} ——给水流量,单位为千克每小时(kg/h);

$h_{sat,st}$ ——饱和蒸汽焓,单位为千焦每千克(kJ/kg);

h_{fw} ——给水焓,单位为千焦每千克(kJ/kg);

γ ——汽化潜热,单位为千焦每千克(kJ/kg);

ω ——饱和蒸汽湿度,%;

G_{Hum} ——测定蒸汽湿度时的锅水取样量,单位为千克每小时(kg/h)。

8.4.5 过热蒸汽工业锅炉输出热量计算如下所示。

a) 测量给水流量时,按公式(43)计算:

$$Q = D_{fw} (h_{st,sh,lv} - h_{fw}) - G_{Hum} (h_{st,sh,lv} - h_{sat,st} + \gamma) \quad \dots\dots\dots (43)$$

式中:

$h_{st,sh,lv}$ ——过热蒸汽焓,单位为千焦每千克(kJ/kg)。

b) 测量过热蒸汽流量时,按公式(44)计算:

$$Q = (D_{out} + G_s)(h_{st,sh,lv} - h_{fw}) + D_{pu} \left(h_{sat,st} - h_{fw} - \frac{\gamma\omega}{100} \right) + G_{Hum} (h_{sat,st} - \gamma - h_{fw}) \quad \dots\dots\dots (44)$$

式中:

D_{out} ——输出蒸汽量(即锅炉实测蒸发量),单位为千克每小时(kg/h);

G_s ——测定过热蒸汽含盐量时的蒸汽取样量,单位为千克每小时(kg/h);

D_{pu} ——自用蒸汽量,单位为千克每小时(kg/h)。

当锅炉自用蒸汽为过热蒸汽时,按公式(45)计算:

$$Q = (D_{out} + G_s)(h_{st,sh,lv} - h_{fw}) + D_{pu} (h_{pu} - h_{fw}) + G_{Hum} (h_{sat,st} - \gamma - h_{fw}) \quad \dots\dots\dots (45)$$

式中:

h_{pu} ——自用蒸汽焓,单位为千焦每千克(kJ/kg)。

8.4.6 电站锅炉输出热量计算如下所示。

a) 电站锅炉输出热量按公式(46)计算:

$$Q = Q_{st,SH} + Q_{st,RH} + Q_{st,aux} + Q_{bd} + Q_{SC} \quad \dots\dots\dots (46)$$

式中:

$Q_{st,SH}$ ——过热蒸汽带走的热量,单位为千焦每小时(kJ/h);

$Q_{st,RH}$ ——再热蒸汽带走的热量,单位为千焦每小时(kJ/h);

$Q_{st,aux}$ ——辅助用汽带走的热量,单位为千焦每小时(kJ/h);

Q_{bd} ——排污水带走的热量,单位为千焦每小时(kJ/h);

Q_{SC} ——冷渣器带走的热量,单位为千焦每小时(kJ/h)。

b) 过热蒸汽带走的热量按公式(47)计算:

$$Q_{st,SH} = q_{m,st,SH,lv} H_{st,SH,lv} - q_{m,fw,ECO,en} H_{fw,ECO,en} - \sum q_{m,sp,dSH} H_{sp,dSH} \quad \dots\dots\dots (47)$$

式中:

$q_{m,st,SH,lv}$ ——过热器出口蒸汽质量流量,单位为千克每小时(kg/h);

$H_{st,SH,lv}$ ——过热器出口蒸汽焓,单位为千焦每千克(kJ/kg);

$q_{m,fw,ECO,en}$ ——省煤器进口给水质量流量(扣除辅助蒸汽流量及排污流量),单位为千克每小时(kg/h);

$H_{fw,ECO,en}$ ——省煤器进口给水焓,单位为千焦每千克(kJ/kg);

$q_{m,sp,dSH}$ ——过热器减温水质量流量(减温水来自于省煤器进口给水流量前),单位为千克每小时(kg/h);

$H_{sp,dSH}$ ——过热器减温水焓,单位为千焦每千克(kJ/kg)。

c) 再热蒸汽带走的热量按公式(48)计算:

$$Q_{st,RH} = q_{m,st,RH,lv} H_{st,RH,lv} - q_{m,st,RH,en} H_{st,RH,en} - \sum q_{m,sp,dRH} H_{sp,dRH} \dots\dots\dots (48)$$

式中:

$q_{m,st,RH,lv}$ ——再热器出口蒸汽质量流量,等于再热器进口蒸汽流量与各级再热器减温水流量之和,单位为千克每小时(kg/h);

$H_{st,RH,lv}$ ——再热器出口蒸汽焓,单位为千焦每千克(kJ/kg);

$q_{m,st,RH,en}$ ——再热器进口蒸汽质量流量,单位为千克每小时(kg/h),汽轮机热平衡试验计算值;

$H_{st,RH,en}$ ——再热器进口蒸汽焓,单位为千焦每千克(kJ/kg);

$q_{m,sp,dRH}$ ——再热器减温水质量流量,单位为千克每小时(kg/h);

$H_{sp,dRH}$ ——再热器减温水焓,单位为千焦每千克(kJ/kg)。

公式(48)适用于一次再热机组,对于多次再热机组,应加入其余各级再热器带走的热量。

d) 从锅炉机组系统边界内锅筒、过热器或再热器抽出的离开锅炉系统边界作为其他用途的辅助用汽带走的热量按公式(49)计算:

$$Q_{st,aux} = q_{m,st,aux} (H_{st,aux} - H_{fw,ECO,en}) \dots\dots\dots (49)$$

式中:

$q_{m,st,aux}$ ——辅助用蒸汽质量流量,单位为千克每小时(kg/h);

$H_{st,aux}$ ——辅助用蒸汽焓,单位为千焦每千克(kJ/kg)。

公式(49)适用于一次辅助抽汽机组,对于多次辅助抽汽机组,应根据公式(49)计算方法加入其余各级抽汽带走的热量。在锅炉性能试验中,如果辅助用汽能够被隔离或采用锅炉系统边界外其他辅助汽源,则该项热量为0。

e) 排污水带走的热量按公式(50)计算:

$$Q_{bd} = q_{m,bd} (H_{w,sat} - H_{fw,ECO,en}) \dots\dots\dots (50)$$

式中:

$q_{m,bd}$ ——排污水质量流量,单位为千克每小时(kg/h);

$H_{w,sat}$ ——饱和水焓,单位为千焦每千克(kJ/kg)。

在锅炉试验中,如果锅炉连续排污和定期排污能够关闭,该项热量为0。

f) 冷渣器带走的热量按公式(51)计算:

$$Q_{SC} = q_{m,cw,SC} (H_{cw,SC,lv} - H_{cw,SC,en}) \dots\dots\dots (51)$$

式中:

$q_{m,cw,SC}$ ——冷渣器冷却水质量流量,单位为千克每小时(kg/h);

$H_{cw,SC,en}$ ——冷渣器进口冷却水焓,单位为千焦每千克(kJ/kg);

$H_{cw,SC,lv}$ ——冷渣器出口冷却水焓,单位为千焦每千克(kJ/kg)。

对于循环流化床锅炉,如果冷渣器带走的热量未被利用,该项热量计入热损失;对于煤粉锅炉,一般来说,该项热量不被利用。

8.5 直接碳排放强度的修正

锅炉产品碳排放测试应将测得的直接碳排放强度修正到设计条件,对于验收和运行碳排放测试可

由测试相关方协商确定。

对于测试边界内不涉及脱硫、脱硝过程的锅炉,修正的直接碳排放强度按公式(52)计算:

$$E_{\text{ad,c}} = \psi_{\text{C}} \cdot E_{\text{ad}} \frac{Q_{\text{net, ar}}}{Q_{\text{net, ar,d}}} \cdot \frac{\eta}{\eta_{\text{c}}} \quad \dots\dots\dots (52)$$

式中:

$E_{\text{ad,c}}$ ——修正的锅炉直接碳排放强度,单位为千克二氧化碳每吉焦(kgCO_2/GJ);

$Q_{\text{net, ar}}$ ——入炉燃料(收到基)低位发热量,单位为千焦每千克(kJ/kg)或千焦每立方米(kJ/m^3);

$Q_{\text{net, ar,d}}$ ——设计燃料(收到基)低位发热量,单位为千焦每千克(kJ/kg)或千焦每立方米(kJ/m^3);

η ——锅炉实测效率,%;

η_{c} ——修正的锅炉效率,%;

ψ_{C} ——基于燃料中碳的修正系数,按公式(53)~公式(56)计算。

对于固体燃料、液体燃料,基于燃料中碳的修正系数按公式(53)计算:

$$\psi_{\text{C}} = \frac{\omega_{\text{C, ar,d}}}{\omega_{\text{C, ar}}} \quad \dots\dots\dots (53)$$

式中:

$\omega_{\text{C, ar,d}}$ ——设计燃料(收到基)中元素碳的质量分数,%。

对于含有生物质燃料的固体或液体混合燃料,基于燃料中碳的修正系数按公式(54)计算:

$$\psi_{\text{C}} = \frac{\varphi_{\text{c,d}}}{\varphi_{\text{c}}} \cdot \frac{\omega_{\text{C, ar,c,d}}}{\omega_{\text{C, ar,c}}} \quad \dots\dots\dots (54)$$

式中:

$\varphi_{\text{c,d}}$ ——化石燃料在混合燃料中的质量占比(设计数据),%;

$\omega_{\text{C, ar,c,d}}$ ——化石燃料(收到基)中元素碳的质量分数(设计数据),%。

对于气体燃料,基于燃料中碳的修正系数按公式(55)计算:

$$\psi_{\text{C}} = \frac{\varphi_{\text{CO,g,d}} + \varphi_{\text{CO}_2 \cdot \text{g,d}} + \sum m \varphi_{\text{C}_m \text{H}_n \cdot \text{g,d}}}{\varphi_{\text{CO,g}} + \varphi_{\text{CO}_2 \cdot \text{g}} + \sum m \varphi_{\text{C}_m \text{H}_n \cdot \text{g}}} \quad \dots\dots\dots (55)$$

式中:

$\varphi_{\text{CO,g,d}}$ 、 $\varphi_{\text{CO}_2 \cdot \text{g,d}}$ 、 $\varphi_{\text{C}_m \text{H}_n \cdot \text{g,d}}$ ——设计气体燃料中 CO 、 CO_2 、 $\text{C}_m \text{H}_n$ 的体积分数,%。

对于含有生物质燃料的气体混合燃料,基于燃料中碳的修正系数按公式(56)计算:

$$\psi_{\text{C}} = \frac{\varphi_{\text{gf,d}}}{\varphi_{\text{gf}}} \cdot \frac{\varphi_{\text{CO,gf,d}} + \varphi_{\text{CO}_2 \cdot \text{gf,d}} + \sum m \varphi_{\text{C}_m \text{H}_n \cdot \text{gf,d}}}{\varphi_{\text{CO,gf}} + \varphi_{\text{CO}_2 \cdot \text{gf}} + \sum m \varphi_{\text{C}_m \text{H}_n \cdot \text{gf}}} \quad \dots\dots\dots (56)$$

式中:

$\varphi_{\text{gf,d}}$ ——化石燃料气在气体混合燃料中的体积分数占比(设计数据),%;

$\varphi_{\text{CO,gf,d}}$ 、 $\varphi_{\text{C}_m \text{H}_n \cdot \text{gf,d}}$ 、 $\varphi_{\text{CO}_2 \cdot \text{gf,d}}$ ——化石燃料气中 CO 、 $\text{C}_m \text{H}_n$ 、 CO_2 的体积分数(设计数据),%。

对于测试边界内涉及脱硫、脱硝过程的锅炉,修正的直接碳排放强度按公式(57)计算:

$$E_{\text{ad,c}} = \left(\frac{\psi_{\text{C}} E_{\text{f}} + \psi_{\text{S}} E_{\text{des}}}{Q} \cdot \frac{Q_{\text{net, ar}}}{Q_{\text{net, ar,d}}} \cdot \frac{\eta}{\eta_{\text{c}}} + \frac{E_{\text{den}}}{Q} \right) \times 10^6 \quad \dots\dots\dots (57)$$

式中:

ψ_{S} ——基于燃料中硫的修正系数,按公式(58)或公式(59)计算。

对于固体燃料、液体燃料,基于燃料中硫的修正系数按公式(58)计算:

$$\psi_{\text{S}} = \frac{\omega_{\text{S, ar,d}}}{\omega_{\text{S, ar}}} \quad \dots\dots\dots (58)$$

式中：

$\omega_{S, ar, d}$ ——设计入炉燃料(收到基)中元素硫的质量分数，%；

$\omega_{S, ar}$ ——入炉燃料(收到基)中元素硫的质量分数，%。

对于气体燃料，基于燃料中硫的修正系数按公式(59)计算：

$$\psi_S = \frac{\varphi_{H_2S, g, d}}{\varphi_{H_2S, g}} \dots\dots\dots (59)$$

式中：

$\varphi_{H_2S, g, d}$ ——设计气体燃料中 H_2S 的体积分数，%。

9 测试报告

- 9.1 测试报告封面应至少包括测试锅炉型号或编号、测试委托单位、测试地点、测试日期、测试单位、测试报告编号。
- 9.2 测试报告正文应至少包括测试目的和要求、测试负责人、参加人员、测试边界及测点布置示意图、测试项目及测试用仪器仪表说明、测试工况说明和结果分析。
- 9.3 测试报告、测试原始数据应由测试单位存档备查，存档时间不少于 4 年。

