



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 47394—2026

## 供热燃气锅炉烟气冷凝热能回收装置

Flue gas condensing heat recovery unit for gas-fired heating boilers

2026-03-31 发布

2026-10-01 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 分类与型号 .....	2
5 一般规定 .....	3
6 要求 .....	4
7 试验方法 .....	6
8 检验规则 .....	9
9 标志、使用说明书和产品合格证 .....	10
10 包装、运输和贮存 .....	11
附录 A (规范性) 烟气冷凝热能回收装置基本结构 .....	12
附录 B (规范性) 烟气阻力核算 .....	14
附录 C (规范性) 断面测温点布置 .....	16
附录 D (规范性) 燃气利用热效率计算 .....	19
附录 E (规范性) 节能量与节能率计算 .....	20
附录 F (规范性) 运行与维护 .....	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。

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。

本文件由中华人民共和国住房和城乡建设部提出。

本文件由全国城镇供热标准化技术委员会(SAC/TC 455)归口。

本文件起草单位：北京建筑大学、大连理工大学、清华大学、山东京博石油化工有限公司、西安交通大学、中国特种设备检测研究院、北京市热力集团有限责任公司、新疆绿能环境服务有限公司、北京京能热力股份有限公司、新疆维泰热力股份有限公司、中国建筑科学研究院有限公司、成都杨明双鑫科技有限公司、北京热力装备制造有限公司、双良节能系统股份有限公司、广东捷玛节能科技股份有限公司、浙江力聚热能装备股份有限公司、中投(天津)智能管道股份有限公司、北京市建设工程质量第六检测所有限公司、北京市燃气集团研究院、北京市公用事业科学研究所有限公司、哈尔滨工业大学、宁夏建筑设计研究院有限公司、北京市煤气热力工程设计院有限公司、太原理工大学。

本文件主要起草人：穆连波、刘贵昌、王随林、张扬、鲍学伟、陈红兵、鲁军辉、郝安峰、刘锦程、王清勤、金立文、刘雪敏、王海鸿、李仲博、张彤、吴佳滨、李文化、梅德芳、杨启明、李智、吴臻、冯育周、何俊南、赵荣新、刘建立、任静、吴媛媛、颜谨、王芑、张建中、郑娜、毛祥、雷勇刚。



# 供热燃气锅炉烟气冷凝热能回收装置

## 1 范围

本文件规定了供热燃气锅炉烟气冷凝热能回收装置的分类与型号、一般规定、要求、试验方法、检验规则、标志、使用说明书和产品合格证、包装、运输和贮存。

本文件适用于燃气锅炉烟气冷凝热能回收装置的制造与检验。

## 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 1576 工业锅炉水质
- GB/T 2589 综合能耗计算通则
- GB 3096 声环境质量标准
- GB/T 7306.2 55°密封管螺纹 第2部分:圆锥内螺纹与圆锥外螺纹
- GB/T 8923.1—2011 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分:未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级
- GB/T 9124.1 钢制管法兰 第1部分:PN系列
- GB/T 9969 工业产品使用说明书 总则
- GB/T 10071 城市区域环境振动测量方法
- GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准
- GB/T 13610 天然气的组成分析 气相色谱法
- GB/T 27698.1 热交换器及传热元件性能测试方法 第1部分:通用要求
- GB 50041 锅炉房设计标准
- GB 50264 工业设备及管道绝热工程设计规范
- GB/T 50726 工业设备及管道防腐蚀工程技术标准
- CJJ/T 34 城镇供热管网设计标准
- CJJ/T 247 供热站房噪声与振动控制技术规程
- HG/T 20592 钢制管法兰(PN系列)
- NB/T 47013.2—2015 承压设备无损检测 第2部分:射线检测
- NB/T 47013.3—2023 承压设备无损检测 第3部分:超声检测
- NB/T 47015 压力容器焊接规程
- NB/T 47066 冷凝锅炉热工性能试验方法
- QB/T 4008 螺纹密封用聚四氟乙烯未烧结带(生料带)
- SH/T 3022 石油化工设备和管道涂料防腐蚀设计标准

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

**[供热燃气锅炉]烟气冷凝热能回收装置 flue gas condensing heat recovery unit [ for gas-fired heating boilers ]**

通过供热燃气锅炉烟气中水蒸气冷凝,实现回收烟气显热和潜热的换热设备。

3.2

**被加热介质 heated medium**

烟气冷凝热能回收装置中与烟气换热的介质。

3.3

**名义工况 nominal condition**

在设计和测试烟气冷凝热能回收装置时所采用的额定负荷、设计参数、环境因素等标准条件。

3.4

**有效输出热量 effective heat output**

单位时间内被加热介质在烟气冷凝热能回收装置中吸收的热量。

3.5

**名义输出热量 nominal heat output**

名义工况下,烟气冷凝热能回收装置的有效输出热量。

3.6

**燃气利用热效率 gas utilization thermal efficiency**

同一时间内,烟气冷凝热能回收装置的有效输出热量与燃气锅炉所消耗燃气按低位发热量计算的全部热量的比值。

3.7

**烟气余热回收率 utilization ratio of flue gas waste heat**

同一时间内,烟气冷凝热能回收装置的有效输出热量与烟气冷凝热能回收装置前烟气余热量的比值。

3.8

**节能量 energy saving quantity**

烟气冷凝热能回收装置的有效输出热量与回收烟气冷凝热能所消耗能量之差。

3.9

**节能率 energy saving ratio**

同一时间内,烟气冷凝热能回收装置的节能量与燃气锅炉所消耗燃气按低位发热量计算的全部热量的比值。

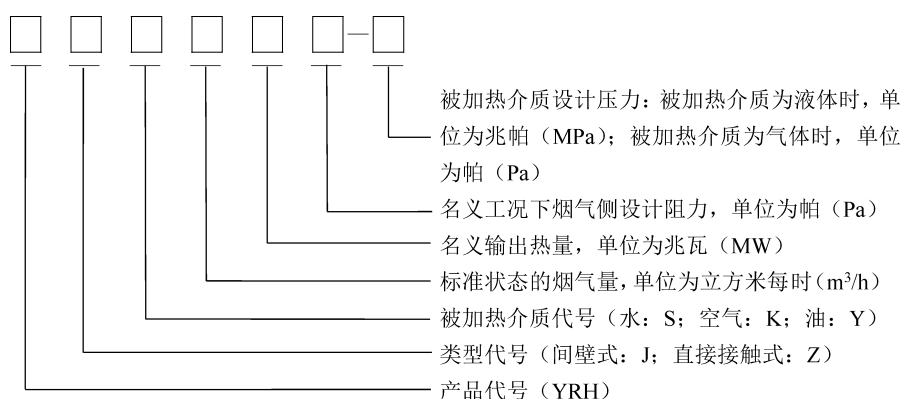
## 4 分类与型号

### 4.1 分类

烟气冷凝热能回收装置类型分为间壁式(J)和直接接触式(Z)。

### 4.2 型号编制

型号编制的构成及含义应符合下列规定:



示例 1：设计压力为 1.6 MPa，名义工况下烟气侧设计阻力为 70 Pa，名义输出热量为 0.75 MW，标准状态的烟气流为 9 000 m<sup>3</sup>/h，被加热介质为水，类型为间壁式的燃气锅炉烟气冷凝热能回收装置标记为

YRH J S 9000 0.75 70—1.6

示例 2：设计压力为 0.6 MPa，名义工况下烟气侧设计阻力为 120 Pa，名义输出热量为 1.5 MW，标准状态的烟气流为 18 000 m<sup>3</sup>/h，被加热介质为水，类型为直接接触式的燃气锅炉烟气冷凝热能回收装置标记为

YRH Z S 18000 1.5 120—0.6

## 5 一般规定

### 5.1 基本规定

5.1.1 烟气冷凝热能回收装置应耐腐蚀、低阻力、高效换热、结构紧凑、便于安装和维护。

5.1.2 烟气冷凝热能回收装置中，与烟气接触的表面和烟气冷凝水管应采用防腐蚀表面改性材料或耐腐蚀材料及防腐蚀加工工艺。

5.1.3 烟气冷凝热能回收装置本体、底座和支撑结构材料表面的预处理应达到 GB/T 8923.1—2011 中 St3 级的规定。涂料选用应符合 SH/T 3022 的规定，涂料涂装应符合 GB/T 50726 的规定。

5.1.4 烟气冷凝热能回收装置的最高允许工作温度不应小于燃气锅炉的最高排烟温度。

5.1.5 间壁式烟气冷凝热能回收装置用于加热液体和气体，直接接触式烟气冷凝热能回收装置用于加热水。

5.1.6 烟气冷凝热能回收装置的设计排烟温度应低于烟气露点温度，并应满足回收烟气潜热和烟气冷凝水、减少雾气排放。

5.1.7 烟气与被加热介质之间宜采用逆向流动。间壁式烟气冷凝热能回收装置中烟气与烟气冷凝水宜采用同向流动。

5.1.8 被加热介质为空气时，间壁式烟气冷凝热能回收装置的烟气与空气侧承压能力不应低于烟气系统的泄爆压力，且与烟风系统的连接应符合 GB 50041 的规定。

5.1.9 烟气冷凝水宜进行处理和回收利用。

### 5.2 结构和部件

5.2.1 烟气冷凝热能回收装置组成如下：

- 间壁式烟气冷凝热能回收装置由烟气冷凝换热器主体和烟气进口导流段、烟气出口导流段、空气导流段、烟气冷凝水管，以及放气、排污、仪表连接管等组成；
- 直接接触式烟气冷凝热能回收装置由烟气冷凝换热器主体和烟气进口导流段、烟气出口导流段、排水管，以及放气、排污、仪表连接管等组成。

5.2.2 烟气冷凝热能回收装置应根据工程安装空间条件及强化传热和减小阻力的要求确定结构型式。烟气冷凝热能回收装置基本结构应符合附录 A 的规定。

5.2.3 烟气冷凝热能回收装置的烟气侧应设置密闭检查孔,并应便于观察和清洁。

5.2.4 烟气冷凝热能回收装置的烟气与被加热介质的进出口均应预留温度、压力或压差等仪表的连接管。

5.2.5 间壁式烟气冷凝热能回收装置的底部最低处应设置烟气冷凝水管,烟气冷凝水不应在烟气冷凝热能回收装置内滞留。直接接触式烟气冷凝热能回收装置的底部最低处应设置排水管。

5.2.6 被加热介质为液体时,被加热介质的进出口管道上均应预留高点排气、低点泄水等装置的连接管。

5.2.7 烟气冷凝热能回收装置的底座或支撑结构应满足强度和安全要求。

### 5.3 加工与接口

5.3.1 烟气冷凝热能回收装置的焊接应符合 NB/T 47015 的规定。

5.3.2 烟气冷凝热能回收装置焊接处应进行无损检测,焊缝无损检测质量应符合下列规定:

- a) 射线检测焊缝质量合格等级不应低于 NB/T 47013.2—2015 中的 II 级;
- b) 超声检测焊缝质量合格等级不应低于 NB/T 47013.3—2023 中的 I 级。

5.3.3 烟气进出口、水或空气等被加热介质进出口、冷凝水管、排水管等接口应采用法兰连接,并应符合下列规定:

- a) 烟气与空气进出口的接口法兰符合 HG/T 20592 的规定;
- b) 被加热水进出口管道、冷凝水管、排水管接口法兰符合 GB/T 9124.1 的规定。

5.3.4 当被加热介质为水且管道公称尺寸不大于 DN32 时,可采用螺纹连接。管螺纹应符合 GB/T 7306.2 的规定,并应使用符合 QB/T 4008 规定的油性聚四氟乙烯生料带进行密封。

### 5.4 保温

烟气冷凝热能回收装置本体应保温,并应符合 GB 50264 的规定。

### 5.5 设计寿命

烟气冷凝热能回收装置主体结构的设计寿命不应小于 10 年。

## 6 要求

### 6.1 外观

6.1.1 烟气冷凝热能回收装置内外表面应整洁,不应有划痕、锈斑等缺陷。

6.1.2 烟气冷凝热能回收装置标志牌、烟气及被加热介质连接管的流向标记等应完整、正确、清晰,安装应牢固,并应置于明显位置。

### 6.2 排烟温度

当被加热介质为液体时,在名义工况下,烟气冷凝热能回收装置的出口烟温与被加热介质进口温度之差应小于 5℃,且应比进口烟气中水蒸气的露点温度低 5℃ 以上。

### 6.3 烟气阻力

烟气冷凝热能回收装置的烟气阻力应符合表 1 的规定。

表 1 烟气阻力

标准状态的烟气流( $D$ ) $\text{m}^3/\text{h}$	烟气阻力 Pa
$D \leq 5\,700$	$\leq 50$
$5\,700 < D \leq 9\,500$	$\leq 90$
$9\,500 < D \leq 19\,000$	$\leq 120$
$19\,000 < D \leq 38\,000$	$\leq 150$
$38\,000 < D \leq 76\,000$	$\leq 200$
$76\,000 < D \leq 95\,000$	$\leq 230$
$95\,000 < D \leq 152\,000$	$\leq 280$

#### 6.4 承压能力



当被加热介质为液体,且为间壁式烟气冷凝热能回收装置时,被加热介质管道的承压能力应大于用热系统的最大工作压力,且不应小于 0.8 MPa。

#### 6.5 被加热介质侧阻力

6.5.1 被加热介质为液体时,烟气冷凝热能回收装置的被加热介质侧阻力应小于 40 kPa。

6.5.2 被加热介质为空气时,烟气冷凝热能回收装置的被加热介质侧阻力应小于按附录 B 核算的值。

#### 6.6 被加热介质温度

当间壁式烟气冷凝热能回收装置的被加热介质为液体时,应保证液体不汽化,液体出口温度应比汽化温度低 20 °C 以上。

#### 6.7 烟气冷凝水管管径

烟气冷凝热能回收装置的烟气冷凝水管管径应符合表 2 的规定。

表 2 烟气冷凝水管管径

标准状态的烟气流( $D$ ) $\text{m}^3/\text{h}$	管道公称尺寸 DN
$D \leq 5\,700$	$\geq 25$
$5\,700 < D \leq 9\,500$	$\geq 32$
$9\,500 < D \leq 19\,000$	$\geq 40$
$19\,000 < D \leq 38\,000$	$\geq 50$
$38\,000 < D \leq 76\,000$	$\geq 70$
$76\,000 < D \leq 95\,000$	$\geq 80$
$95\,000 < D \leq 152\,000$	$\geq 100$

## 6.8 噪声与振动

6.8.1 烟气冷凝热能回收装置的噪声应符合 GB 3096 的规定。

6.8.2 烟气冷凝热能回收装置铅垂向 Z 振级应符合 CJJ/T 247 的规定。

## 6.9 燃气利用热效率

名义工况下,燃气利用热效率应符合表 3 的规定。

表 3 燃气利用热效率

进口烟气温度( $t_y$ ) ℃	燃气利用热效率 %
$t_y \geq 250$	$\geq 15$
$250 > t_y \geq 200$	$\geq 12$
$200 > t_y \geq 150$	$\geq 10$
$150 > t_y \geq 100$	$\geq 7$

注:燃气为天然气,过剩空气系数取 1.1,被加热介质为液体。

## 6.10 烟气余热回收率

名义工况下,烟气余热回收率应符合表 4 的规定。

表 4 烟气余热回收率

进口烟气温度( $t_y$ ) ℃	烟气余热回收率 %
$t_y \geq 250$	$\geq 60$
$250 > t_y \geq 200$	$\geq 55$
$200 > t_y \geq 150$	$\geq 50$
$150 > t_y \geq 100$	$\geq 42$

注:燃气为天然气,过剩空气系数取 1.1,被加热介质为液体。

## 6.11 有效输出热量、节能量与节能率

6.11.1 在名义工况下,有效输出热量的实测值不应小于名义输出热量。

6.11.2 在名义工况下,节能量不应小于名义输出热量的 95%。

6.11.3 在名义工况下,节能率不应小于燃气利用热效率的 95%。

## 7 试验方法

### 7.1 外观

外观检验应在不小于 100 lm 的亮度条件下,进行无放大目测检查。

## 7.2 排烟温度

- 7.2.1 烟气温度测量应采用热电偶温度计或热电阻温度计,且最大允许误差不超过 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- 7.2.2 烟气温度测温点应布置在烟气冷凝热能回收装置的出口侧,且烟道断面介质温度分布较均匀的部位。烟道上布置测点的断面与烟气冷凝热能回收装置出口断面的间距不应大于 $1\text{ m}$ 。
- 7.2.3 断面测温点布置应符合附录 C 的规定。
- 7.2.4 测试应在燃气锅炉热力工况调整到名义工况,且稳定 $1\text{ h}$ 后持续测试时间不少于 $2\text{ h}$ 。
- 7.2.5 出口排烟温度应每 $5\text{ min}$ 记录读数 $1$ 次,连续记录 $24$ 次,取其算术平均值作为实测值。
- 7.2.6 烟气中水蒸气的露点温度根据燃气成分、燃气流量、空气湿度以及过剩空气系数计算烟气含水量,并按常压( $0.1\text{ MPa}$ )下饱和空气状态参数表进行确定。

## 7.3 烟气阻力

烟气阻力试验应按附录 B 的规定执行。

## 7.4 承压能力

间壁式烟气冷凝热能回收装置的被加热液体侧承压能力试验应符合下列规定。

- a) 试验液体为洁净的水。
- b) 检验可在常温下进行,且水温不低于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- c) 压力表的量程为试验压力的 $1.5$ 倍~ $3$ 倍。压力表的准确度不低于 $1.6$ 级,表盘直径不小于 $100\text{ mm}$ 。
- d) 先将间壁式烟气冷凝热能回收装置内充水,并将内部空气排净,然后将压力缓慢升高至设计压力的 $1.5$ 倍,保压 $10\text{ min}$ 以上,然后缓慢降至设计压力,并保压 $2\text{ h}$ 进行检查,目测检查装置是否有变形和泄漏。

## 7.5 被加热介质侧阻力

- 7.5.1 被加热介质为空气时,应采用准确度均不小于 $0.5$ 级的压力仪表,压力仪表的连接管应分别安装在空气进/出口的导流段上,测点位置距离烟气冷凝热能回收装置不应大于 $1\text{ m}$ 。
- 7.5.2 被加热介质为液体时,应采用准确度不小于 $0.2$ 级的压力表,压力表应分别安装在进/出水管上,测点距离烟气冷凝热能回收装置的进/出水口不应大于 $1\text{ m}$ 。
- 7.5.3 被加热介质流量为设计流量时进行检测。
- 7.5.4 被加热水流量测试按下列方法进行:
- a) 应采用准确度不低于 $0.5$ 级超声波流量计或涡轮流量计;
  - b) 流量计应安装在被加热水进口管道上,流量计前、后直管段长度应满足 GB/T 27698.1 及仪表使用说明书的要求。
- 7.5.5 当被加热介质压力稳定后,检测被加热介质进/出口的压力。
- 7.5.6 进/出口压力值应每 $5\text{ min}$ 记录读数 $1$ 次,连续记录 $24$ 次,取其算术平均值作为实测值。

## 7.6 被加热介质温度

- 7.6.1 烟气冷凝热能回收装置被加热介质进/出侧的温度应采用允差等级为 AA 级的铂电阻温度计测量。
- 7.6.2 铂电阻安装方向及插入深度应符合 GB/T 27698.1 的要求,测点位置距离烟气冷凝热能回收装置不应大于 $1\text{ m}$ 。
- 7.6.3 检验应在燃气锅炉热力工况调整到名义工况,被加热介质流量为设计流量时进行检测。

7.6.4 进/出口温度值应每 5 min 记录读数 1 次,连续记录 24 次,取其算术平均值作为实测值。

7.7 烟气冷凝水管管径

烟气冷凝水管管径采用分度值为 0.1 mm 的量尺测量。

7.8 噪声与振动

7.8.1 噪声值检测按 GB 12348 的规定执行。

7.8.2 铅垂向 Z 振级振动检测按 GB 10071 的规定执行。

7.9 燃气利用热效率

7.9.1 燃气流量应采用经检定且在有效期内的燃气仪表测量。燃气流量测量时,应同时测量燃气的压力和温度,并将燃气仪表的读数换算成标准状态下的容积流量。

7.9.2 燃气成分检测应符合 GB/T 13610 的规定。

7.9.3 正平衡法测试时,燃气利用热效率计算应按附录 D 的规定执行。反平衡法测试时,反平衡效率的计算应按 NB/T 47066 的规定执行。

7.9.4 同时采用正平衡法与反平衡法测试时,两种方法测试的燃气利用热效率之差不应大于 0.5%。

7.9.5 仅采用正平衡法或反平衡法时,应测试两次,两次测试的燃气利用热效率之差不应大于 0.2%。

7.9.6 燃气利用热效率计算用各参数的每次测试时间不应短于 2 h,测试时间间隔为 5 min,连续测试 24 次,按 24 次的算术平均值确定。各参数的测试时间应相同。

7.9.7 风机、水泵等设备的电耗采用电能表或功率计计量,其准确度不应低于 1.0 级。

7.10 烟气余热回收率

7.10.1 被测试的烟气应在烟气冷凝热能回收装置烟气进口直接测量。

7.10.2 烟气温度检测应符合 7.2 的规定。

7.10.3 空气湿度宜采用准确度不低于 0.1 级的温湿度计测量。

7.10.4 烟气成分中氧含量应采用准确度不低于 1.0 级的烟气分析仪测量。

7.10.5 烟气含湿量计算应符合 7.2.6 的规定。

7.10.6 烟气量的测量应按 NB/T 47066 的规定执行。

7.10.7 烟气余热量应按公式(1)计算。

$$Q_y = \rho_y \times V_y (c_{p,y} \times t_y + 0.001d_y \times h_v) \dots\dots\dots(1)$$

式中:

- $Q_y$  ——烟气余热量,单位为千瓦(kW);
- $\rho_y$  ——烟气冷凝热能回收装置前的干烟气密度,单位为千克每立方米(kg/m<sup>3</sup>);
- $V_y$  ——烟气冷凝热能回收装置前的干烟气体积流量,单位为立方米每秒(m<sup>3</sup>/s);
- $c_{p,y}$  ——烟气冷凝热能回收装置前的烟气平均定压比热,单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg·℃)];
- $t_y$  ——烟气冷凝热能回收装置前的烟气温度,单位为摄氏度(℃);
- $d_y$  ——烟气含湿量,单位为克每千克(g/kg);
- $h_v$  ——在  $t_y$  温度下水蒸气的比焓,单位为千焦每千克(kJ/kg)。

7.10.8 正平衡法测试时,有效输出热量计算应符合 D.2 的规定。

7.10.9 烟气余热回收率按公式(2)计算。

$$\psi = \frac{Q_{y, rh}}{Q_y} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

式中:

- $\psi$  ——烟气余热回收率；  
 $Q_{y\text{rh}}$  ——有效输出热量,单位为千瓦(kW)；  
 $Q_y$  ——烟气余热量,单位为千瓦(kW)。

7.10.10 烟气余热回收率采用正平衡和反平衡两种方法测试。正平衡和反平衡的计算方法应符合 7.9.3 的规定。不同时具备正平衡和反平衡测试条件时,应采用正平衡法测试。

7.10.11 采用正平衡法和反平衡法进行测试时,烟气余热回收率之差不应大于 2%。

## 7.11 有效输出热量、节能量与节能率

7.11.1 回收烟气冷凝热能所消耗能量应按发电平均效率折算为一次能源的能量,其折算方法应符合 GB/T 2589 的规定。

7.11.2 节能量与节能率计算应按附录 E 的规定执行。

## 8 检验规则

### 8.1 检验类别


 检验分为出厂检验和型式检验,检验项目应符合表 5 的规定。

表 5 检验项目

序号	项目	出厂检验	型式检验	要求	试验方法
1	外观	√	√	6.1	7.1
2	排烟温度 <sup>a</sup>	—	√	6.2	7.2
3	烟气阻力	—	√	6.3	7.3
4	承压能力 <sup>a,b</sup>	√	√	6.4	7.4
5	被加热介质侧阻力	—	√	6.5	7.5
6	被加热介质温度 <sup>b</sup>	—	√	6.6	7.6
7	烟气冷凝水管管径	√	√	6.7	7.7
8	噪声与振动	—	√	6.8	7.8
9	燃气利用热效率	—	√	6.9	7.9
10	烟气余热回收率	—	√	6.10	7.10
11	有效输出热量、节能量与节能率	—	√	6.11	7.11

注：“√”为检验项目，“—”为非检验项目。

<sup>a</sup> 被加热介质为液体时检验该项目。  
<sup>b</sup> 间壁式烟气冷凝热能回收装置检验该项目。

### 8.2 出厂检验

每台烟气冷凝热能回收装置应经制造厂质量检验部门检验合格后方可出厂。

### 8.3 型式检验

8.3.1 有下列情况之一者,应进行型式检验:

- a) 新产品或转厂生产试制产品;
- b) 结构、材料、工艺有较大改变,可能影响产品性能;
- c) 正常生产每 4 年进行 1 次;
- d) 产品停止生产 1 年以上,再恢复生产;
- e) 出厂试验与上次型式检验有较大差异。

8.3.2 检验样品在同一类型的产品中随机抽取 2 台。

8.3.3 合格判定应符合下列规定:

- a) 所有项目合格时,应判定产品型式试验结果为合格;
- b) 当某项目不合格时,应对不合格项目加倍复检,复检项目合格,可判定为合格;复检项目仍不合格时,应判定产品型式试验结果为不合格。

## 9 标志、使用说明书和产品合格证

### 9.1 标志

9.1.1 产品应在明显的位置设置清晰、牢固的耐腐蚀金属材料标牌。

9.1.2 标牌内容应至少包括:

- a) 制造单位名称和商标;
- b) 本文件编号;
- c) 产品名称和型号;
- d) 标准状态的烟气量( $\text{m}^3/\text{h}$ );
- e) 名义输出热量(MW);
- f) 被加热介质种类(S 表示水;K 表示空气;Y 表示油);
- g) 被加热介质设计压力(液体的单位为 MPa;气体的单位为 Pa);
- h) 名义工况下烟气侧设计阻力(Pa);
- i) 产品净重(kg);
- j) 产品编号;
- k) 生产日期。

### 9.2 使用说明书

9.2.1 产品应附安装与使用说明书,应包括常见故障及排除方法、运行与维护注意事项。运行与维护应按附录 F 的规定执行。

9.2.2 使用说明书除应符合 GB/T 9969 的规定外,还应包括以下内容:

- a) 制造单位名称和商标;
- b) 产品名称和型号;
- c) 工作原理和接管标记;
- d) 标准状态的烟气量( $\text{m}^3/\text{h}$ );
- e) 名义输出热量(MW);
- f) 烟气和被加热介质的最高工作温度( $^{\circ}\text{C}$ );
- g) 被加热介质种类;
- h) 产品安全运行的被加热介质最小流量( $\text{kg}/\text{s}$ );

- i) 被加热介质设计压力(液体的单位为 MPa;气体的单位为 Pa);
- j) 被加热介质设计阻力(kPa);
- k) 名义工况下烟气侧设计阻力(Pa);
- l) 设备外形尺寸(mm);
- m) 烟气连接管尺寸(mm);
- n) 被加热介质连接口尺寸(mm);
- o) 产品净重(kg);
- p) 产品编号;
- q) 生产日期。

### 9.3 产品合格证

9.3.1 每台烟气冷凝热能回收装置应附产品合格证。

9.3.2 产品合格证应至少包括以下内容:

- a) 制造单位和出厂日期;
- b) 产品型号;
- c) 本文件编号;
- d) 出厂检验报告;
- e) 产品编号、合格证号、检验日期、检验员标记。

## 10 包装、运输和贮存

### 10.1 包装

10.1.1 烟气冷凝热能回收装置、附件和备件应牢固包装,紧固于包装箱内。技术文件(包括使用说明书、产品合格证、装箱单、产品总装图、出厂检验报告等)应完整附带于包装箱内。

10.1.2 烟气冷凝热能回收装置内应无残余物,所有管道应采取防锈措施,管道端口应用钢板、木材、纤维板等盖板封闭。

10.1.3 包装箱外面应标明以下内容:

- a) 收货单位名称及地址;
- b) 产品名称及型号;
- c) 设备外形尺寸(mm);
- d) 总重量(kg);
- e) 制造单位名称及地址;
- f) 包装日期;
- g) 注意事项,如“重心位置”“向上”“防潮”等,并附相应标记。

### 10.2 运输和贮存

10.2.1 产品及其部件在运输过程中应采取防震、防晒、防雨雪及化学物品侵蚀等措施。

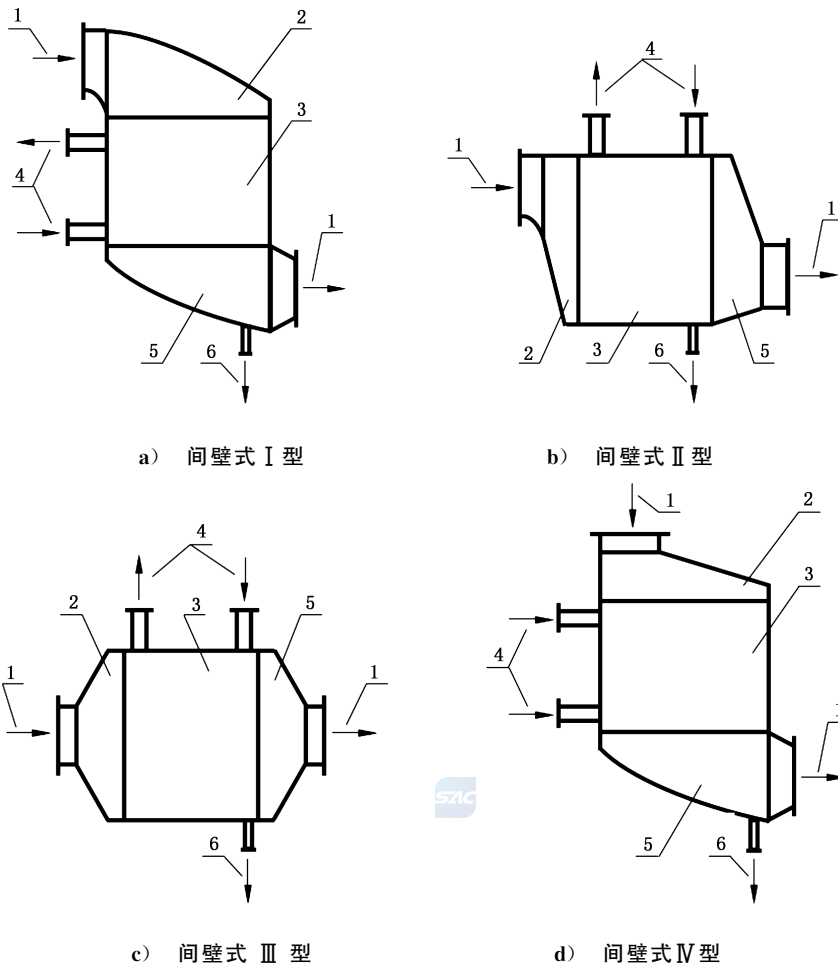
10.2.2 产品应贮存在通风干燥、无易燃烧、无腐蚀性物质的仓库内,露天临时存放应采取防晒、防雨雪及化学物品侵蚀的措施。

附录 A

(规范性)

烟气冷凝热能回收装置基本结构

A.1 被加热介质为水的间壁式烟气冷凝热能回收装置结构示意图见图 A.1。

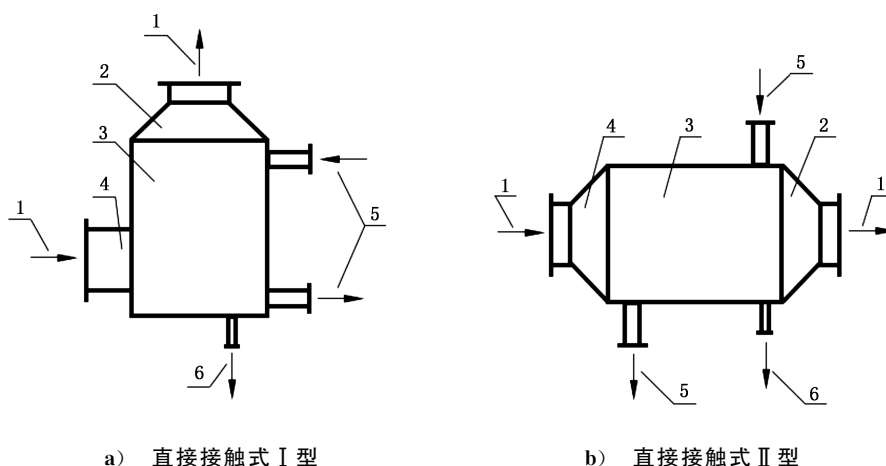


标引序号说明：

- 1——烟气进出；
- 2——烟气进口导流段；
- 3——烟气冷凝换热器主体；
- 4——被加热水进出；
- 5——烟气出口导流段；
- 6——烟气冷凝水。

图 A.1 被加热介质为水的间壁式烟气冷凝热能回收装置结构示意图

A.2 被加热介质为水的直接接触式烟气冷凝热能回收装置结构示意图见图 A.2。

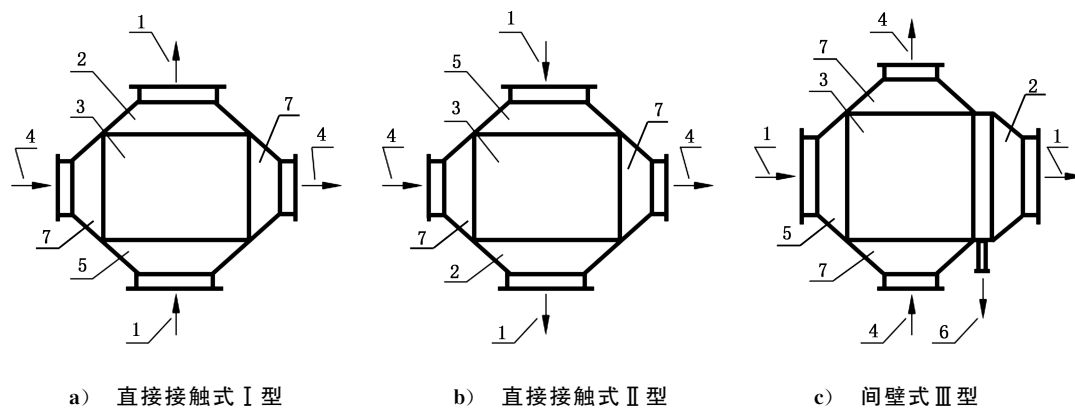


标引序号说明：

- 1——烟气进出；
- 2——烟气出口导流段；
- 3——烟气冷凝换热器主体；
- 4——烟气进口导流段；
- 5——被加热水进出；
- 6——排水。

图 A.2 被加热介质为水的直接接触式烟气冷凝热能回收装置结构示意图

A.3 被加热介质为空气的间壁式烟气冷凝热能回收装置结构示意图见图 A.3。



标引序号说明：

- 1——烟气进出；
- 2——烟气出口导流段；
- 3——烟气冷凝换热器主体；
- 4——被加热空气进出；
- 5——烟气进口导流段；
- 6——烟气冷凝水；
- 7——空气导流段。

图 A.3 被加热介质为空气的间壁式烟气冷凝热能回收装置结构示意图

**附 录 B**  
(规范性)  
**烟气阻力核算**

**B.1 烟气阻力检测**

**B.1.1** 烟气阻力应采用 U 形管测压计或准确度不低于 0.5 级的压力仪表检测。压力仪表的连接管应分别安装在烟气进/出口的导流段上,测点位置应靠近烟气导流段进/出口,并应位于烟气流动稳定段。

**B.1.2** 烟道的烟气阻力包括燃气锅炉烟气出口至烟气进口导流段的烟道、烟气出口导流段至烟囱的烟道两部分阻力之和。

**B.1.3** 燃气锅炉排烟余压采用 U 形管测压计或准确度不低于 0.5 级的压力仪表检测,测点位置应靠近燃气锅炉烟气出口 1 m 范围内。

**B.1.4** 当被加热介质为空气时,应符合下列规定。

- a) 空气侧阻力采用 U 形管测压计或准确度不低于 0.5 级的压差仪表检测,测点位置应分别设置在靠近烟气冷凝热能回收装置的空气进口和出口 1 m 范围内。
- b) 风道的空气侧阻力采用 U 形管测压计或准确度不低于 0.5 级的压差仪表检测,测点位置应分别设置在风道的进出口两端。

**B.1.5** 检验应在燃气锅炉热力工况调整到名义工况,且稳定 1 h 后进行。

**B.1.6** 压力稳定后,进/出口压力值应每 5 min 记录读数 1 次,连续记录 24 次,取其算术平均值作为实测值。

**B.2 烟气阻力**

**B.2.1** 烟气冷凝热能回收装置的烟气阻力按公式(B.1)计算。

$$\Delta P_{zh} < P_{gy} - \Delta P_k - \Delta P_{yd} - \Delta h_{yc} + H_{yc} \dots\dots\dots(B.1)$$

式中:

- $\Delta P_{zh}$  —— 烟气冷凝热能回收装置的烟气阻力,单位为帕(Pa);
- $P_{gy}$  —— 燃气锅炉排烟余压,单位为帕(Pa);
- $\Delta P_k$  —— 烟气冷凝热能回收系统的空气侧阻力,单位为帕(Pa);
- $\Delta P_{yd}$  —— 烟道阻力,单位为帕(Pa);
- $\Delta h_{yc}$  —— 烟囱阻力,单位为帕(Pa);
- $H_{yc}$  —— 烟囱抽力,单位为帕(Pa)。

**B.2.2** 烟气冷凝热能回收系统的空气侧阻力按公式(B.2)计算:

$$\Delta P_k = \Delta P_{ky} + \Delta P_{fd} \dots\dots\dots(B.2)$$

式中:

- $\Delta P_k$  —— 烟气冷凝热能回收系统的空气侧阻力,单位为帕(Pa);
- $\Delta P_{ky}$  —— 烟气冷凝热能回收装置空气侧阻力,单位为帕(Pa);
- $\Delta P_{fd}$  —— 风道阻力,单位为帕(Pa)。



**B.3 烟囱抽力**

烟囱抽力按公式(B.3)、公式(B.4)计算。

$$H_{yc} = \frac{H \times g}{C_p} \left( \rho_k^0 \frac{273}{273 + t_k} - \rho_y^0 \frac{273}{273 + t_y} \right) \dots\dots\dots(B.3)$$

$$C_p = \frac{101\,325}{b} \dots\dots\dots (B.4)$$

式中:

- $H_{yc}$  —— 烟囱抽力,单位为帕(Pa);
- $H$  —— 产生抽力的烟囱高度,单位为米(m);
- $g$  —— 重力加速度,取  $9.8 \text{ m/s}^2$ ;
- $C_p$  —— 大气压力修正系数;
- $\rho_k^0$  —— 标准状态下烟囱外空气的密度,取  $1.293 \text{ kg/m}^3$ ;
- $\rho_y^0$  —— 标准状态下烟囱内烟气的密度,取  $1.340 \text{ kg/m}^3$ ;
- $t_k$  —— 烟囱外空气温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ );
- $\bar{t}_y$  —— 烟囱内烟气平均温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ );
- $b$  —— 当地大气压力,单位为帕(Pa)。

#### B.4 烟囱阻力

烟囱阻力按公式(B.5)~公式(B.8)计算。

$$\Delta h_{yc} = \Delta h_{yc}^m + \Delta h_{yc}^c \dots\dots\dots (B.5)$$

$$\Delta h_{yc}^m = \frac{\lambda \times L \times \omega_{pj}^2 \times \rho_{pj}}{2d_{yc}^{pj}} \dots\dots\dots (B.6)$$

$$\Delta h_{yc}^c = \frac{\xi \times \omega_c^2 \times \rho_c}{2} \dots\dots\dots (B.7)$$

$$\rho_{pj} = \rho_0 \frac{273}{273 + t_{pj}} \dots\dots\dots (B.8)$$

式中:

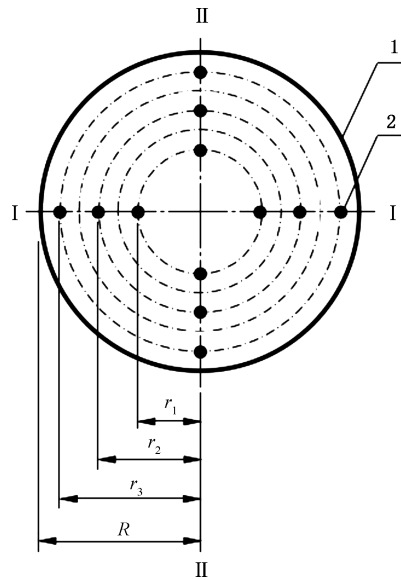
- $\Delta h_{yc}$  —— 烟囱阻力,单位为帕(Pa);
- $\Delta h_{yc}^m$  —— 烟囱的摩擦阻力,单位为帕(Pa);
- $\Delta h_{yc}^c$  —— 烟囱的出口阻力,单位为帕(Pa);
- $\lambda$  —— 烟囱摩擦阻力系数:金属烟囱取 0.03,砖和混凝土烟囱取 0.04;
- $L$  —— 烟囱高度,单位为米(m);
- $\omega_{pj}$  —— 烟囱内烟气平均流速,单位为米每秒(m/s);
- $\rho_{pj}$  —— 烟囱内烟气平均密度,单位为千克每立方米( $\text{kg/m}^3$ );
- $d_{yc}^{pj}$  —— 烟囱平均内径,单位为米(m);
- $\xi$  —— 烟囱出口阻力系数,取 1;
- $\omega_c$  —— 烟囱出口烟气流速,单位为米每秒(m/s);
- $\rho_c$  —— 烟囱出口处烟气密度,单位为千克每立方米( $\text{kg/m}^3$ );
- $\rho_0$  —— 烟气在标准状况下的密度,取  $1.34 \text{ kg/m}^3$ ;
- $t_{pj}$  —— 烟囱内烟气平均温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ )。

附 录 C  
(规范性)  
断面测温点布置

C.1 圆形断面测点布置

C.1.1 圆形断面测点布置示意图 C.1,并符合下列规定:

- a) 当断面半径  $R$  不大于 200 mm 时,可在一条直线上测量(即图 C.1 中的 I-I 或 II-II 直径);
- b) 当断面半径  $R$  大于 200 mm 时,应在相互垂直的 2 条直径上测量(即同时在图 C.1 中的 I-I 和 II-II 直径上布置测点)。



标引说明:

- 1 —— 烟道外壁;
- 2 —— 测点;
- $r_1$  —— 内侧测点半径(mm);
- $r_2$  —— 中间侧测点半径(mm);
- $r_3$  —— 外侧测点半径(mm);
- $R$  —— 圆形断面半径(mm)。

图 C.1 圆形断面测点布置示意

C.1.2 测点距圆形断面中心的距离按公式(C.1)计算:

$$r_i = R \times \sqrt{\frac{2i-1}{2N}} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

- $r_i$  —— 测点距圆形断面中心的距离,单位为毫米(mm);
- $R$  —— 圆形断面半径,单位为毫米(mm);
- $i$  —— 从圆形断面中心起算的测点序号;
- $N$  —— 圆形断面划分环数。

C.1.3 圆形断面划分圆环数和测点总数应符合表 C.1 的规定。

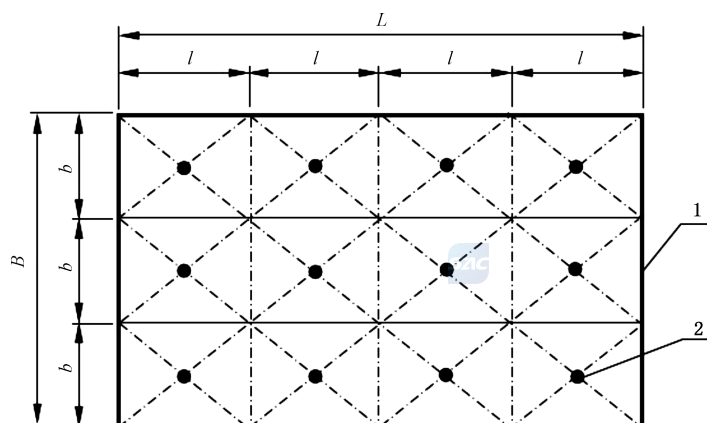
表 C.1 圆形断面划分圆环数和测点总数

管道半径( $R$ ) mm	等面积圆环数( $N$ ) 个	测点总数 个
150	3	6
200	4	8
300	5	20
$R > 300$ 时, $R$ 每增加 100	$N$ 增加 1	测点数加 4

注: 对气流断面温度和速度分布较均匀的部位且管道半径( $R$ )大于 300 mm, 当圆断面为水平断面时, 水平对称测点数可减少一半, 即总测点数减少一半; 当圆断面为垂直断面时, 水平对称测点数可减少一半, 垂直测点数保持不变, 即总测点数减少 3/4。

## C.2 矩形断面测点布置

## C.2.1 矩形断面测点布置示意图 C.2。



标引说明:

1 —— 烟道外壁;

2 —— 测点;

$l$  —— 矩形单元格断面长度(mm);

$b$  —— 矩形单元格断面宽度(mm);

$L$  —— 矩形断面长度(mm);

$B$  —— 矩形断面宽度(mm)。

图 C.2 矩形断面测点布置示意

C.2.2 矩形断面边长( $L$  或  $B$ )划分排或列数应符合表 C.2 的规定。

表 C.2 矩形断面边长( $L$  或  $B$ )划分排数

边长( $L$ 或 $B$ ) mm	测点排或列数 <sup>a</sup> ( $M$ ) 个
$L$ 或 $B \leq 500$	3
$500 < L$ 或 $B \leq 1\ 000$	4
$1\ 000 < L$ 或 $B \leq 1\ 500$	5
$L$ 或 $B > 1\ 500$	$L$ 或 $B$ 每增长 500 mm, 测点排或列数 $M$ 增加 1
<sup>a</sup> 对较大的矩形断面, 可减少 $M$ 值, 但每个小矩形的最大边长不应大于 1 m。	

**附 录 D**  
(规范性)  
燃气利用热效率计算

### D.1 燃气利用热效率

烟气冷凝热能回收装置的燃气利用热效率按公式(D.1)计算：

$$\eta_{\text{yrh}} = \frac{Q_{\text{yrh}}}{B_{\text{g}} \times q_{\text{dw}}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (D.1)$$

式中：

$\eta_{\text{yrh}}$  —— 燃气利用热效率；

$Q_{\text{yrh}}$  —— 有效输出热量,单位为千瓦(kW)；

$B_{\text{g}}$  —— 燃气锅炉的标准状态下燃气流量,单位为立方米每秒( $\text{m}^3/\text{s}$ )；

$q_{\text{dw}}$  —— 燃气低位发热量,单位为千焦每立方米( $\text{kJ}/\text{m}^3$ )。

### D.2 有效输出热量

烟气冷凝热能回收装置的有效输出热量按公式(D.2)计算：

$$Q_{\text{yrh}} = \sum_{m=1}^N G_{\text{r},m} (h_{\text{ro},m} - h_{\text{ri},m}) \quad \dots\dots\dots (D.2)$$

式中：

$Q_{\text{yrh}}$  —— 有效输出热量,单位为千瓦(kW)；

$G_{\text{r},m}$  —— 第  $m$  种被加热介质流量(共  $N$  种),单位为千克每秒( $\text{kg}/\text{s}$ )；

$h_{\text{ro},m}$  —— 第  $m$  种其他被加热介质的出口比焓,单位为千焦每千克( $\text{kJ}/\text{kg}$ )；

$h_{\text{ri},m}$  —— 第  $m$  种其他被加热介质的进口比焓,单位为千焦每千克( $\text{kJ}/\text{kg}$ )。

附 录 E  
(规范性)  
节能量与节能率计算

E.1 烟气冷凝热能回收装置的节能量按公式(E.1)计算。回收烟气冷凝热能所消耗能量按发电平均效率折算为一次能源的量。

$$Q_j = Q_{yrh} - Q_d \quad \dots\dots\dots ( E.1 )$$

式中：

- $Q_j$  ——节能量,单位为千瓦(kW)；
- $Q_{yrh}$  ——有效输出热量,单位为千瓦(kW)；
- $Q_d$  ——回收烟气冷凝热能所消耗能量,单位为千瓦(kW)。

E.2 烟气冷凝热能回收装置的节能率按公式(E.2)计算。

$$\eta_j = \frac{Q_j}{B_g \times q_{dw}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots ( E.2 )$$

式中：

- $\eta_j$  ——节能率；
- $Q_j$  ——节能量,单位为千瓦(kW)；
- $B_g$  ——燃气锅炉的标准状态下燃气耗量,单位为立方米每秒( $m^3/s$ )；
- $q_{dw}$  ——燃气低位发热量,单位为千焦每立方米( $kJ/m^3$ )。



**附 录 F**  
**(规范性)**  
**运行与维护**

## F.1 运行

### F.1.1 烟气冷凝热能回收装置按下列步骤进行调试：

- a) 烟气侧应吹扫,被加热介质侧应冲洗,气液管道应畅通;
- b) 烟气热能回收系统充液后应进行冷态循环,烟气冷凝回收装置的被加热介质流量应达到最低安全值;
- c) 应进行热态调试,锅炉和被加热介质系统的联锁控制应运行正常;启动时,应先开启被加热介质系统,后启动锅炉;
- d) 停炉时,应先停炉,待烟气温度降低后,再停止被加热介质系统;
- e) 单机调试应校对烟道阻力和背压、调节燃烧器、控制燃气和空气的比例、测试烟气成分;烟气冷凝热能回收装置对锅炉燃烧系统、烟风系统的影响应降到最小;
- f) 单机试运行及调试后,应进行联合试运行及调试,并应达到设计要求。

F.1.2 被加热介质为供热管网回水时,其水质应符合 CJJ/T 34 的规定;被加热介质为锅炉回水和补给水时,其水质应符合 GB/T 1576 的规定。

F.1.3 烟气冷凝热能回收装置运行期间,应对流量、温度、压力、热量等运行数据进行日常记录。

F.1.4 烟气冷凝热能回收装置宜配备智能化监控系统。

F.1.5 烟气冷凝热能回收装置运行期间,应实时监测被加热介质(液体)温度和压力,被加热介质(液体)不应汽化和超压。

F.1.6 应定期检查设备,确保运行安全可靠。

F.1.7 烟气冷凝热能回收装置与烟道的连接部位应定期检查,确保烟气冷凝水排出通畅。

## F.2 维护

F.2.1 烟气冷凝热能回收装置在启动前或停机后应对烟气侧换热表面进行吹扫或冲洗。

F.2.2 被加热介质为水的管路上过滤器压降超过初始运行压降的 1.2 倍时,应清洗过滤器。

F.2.3 维护人员对烟气冷凝热能回收装置内部清洗或检修时,严禁损坏换热面及设备部件等。

F.2.4 被加热介质为水的间壁式烟气冷凝热能回收装置,设备停运期间采取充水保养措施。

F.2.5 烟气冷凝热能回收装置设在室外时,应采取防冻措施。

F.2.6 停炉后,应检查烟气冷凝热能回收装置的腐蚀情况,对缺损部位应及时修复,修复部位验收合格后方可投入使用。