



中华人民共和国城镇建设行业标准

CJ/T 515—2018

燃气锅炉烟气冷凝热能回收装置

Flue gas condensing type heat exchanger units for gas-fired boilers

2018-05-30 发布

2018-12-01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部 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 标记 2

5 一般要求 3

6 要求 4

7 试验方法 7

8 检验规则..... 10

9 标志、包装、运输和贮存..... 11

附录 A（资料性附录） 烟气冷凝热能回收装置结构示意图 13

附录 B（规范性附录） 断面测点布置 15

附录 C（规范性附录） 烟囱抽力和烟囱阻力的计算 17

附录 D（规范性附录） 燃气利用热效率、节能量和燃气锅炉系统总热效率的计算 19

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由住房和城乡建设部标准定额研究所提出。

本标准由住房和城乡建设部供热标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：北京建筑大学、哈尔滨工业大学、大连理工大学、住房和城乡建设部科技发展促进中心、中国建筑科学研究院有限公司、北京市热力集团、北京市煤气热力工程设计院有限公司、碧海舟（北京）节能环保装备有限公司、北京中建建筑科学研究院有限公司、北京市建设工程质量第四检测所、新疆骑马山热力有限公司、新疆维泰热力股份有限公司、北京华远意通热力科技股份有限公司、北京源深节能技术有限责任公司、北京京大深能科技有限公司、北京航空航天大学、山东京博石油化工有限公司、北京市伟业供热设备有限责任公司、天津宝成机械制造股份有限公司、河北昊天能源投资集团有限公司、北京市中科天一环境技术有限公司、江苏双良新能源装备有限公司、清华大学、潍坊联兴新材料科技股份有限公司。

本标准主要起草人：王随林、邹平华、郝斌、刘贵昌、王清勤、陈红兵、张立申、李萍、杨宏斌、邸建军、穆连波、秦波、刘瑾、张彤、张伟、赵长春、赵岩、樊未军、夏亮、韩伟、徐洪亮、郑中胜、贺永强、付林、王佐任。

燃气锅炉烟气冷凝热能回收装置

1 范围

本标准规定了燃气锅炉烟气冷凝热能回收装置(以下简称烟气冷凝热能回收装置)的标记、一般要求、要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。

本标准适用于燃气锅炉烟气冷凝热能回收装置的制造、检验。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 2589 综合能耗计算通则

GB/T 8923.1 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 10180 工业锅炉热工性能试验规程

GB 50264 工业设备及管道绝热工程设计规范

JB/T 4711 压力容器涂敷与运输包装

NB/T 47013.2 承压设备无损检测 第2部分:射线检测

NB/T 47013.3 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

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

燃气锅炉烟气冷凝热能回收装置 flue gas condensing type heat exchanger units for gas-fired boilers

使燃气锅炉烟气中大部分水蒸气冷凝,同时回收利用烟气的显热和潜热的换热设备。

3.2

被加热介质 heated medium

在烟气冷凝热能回收装置中与烟气换热的流体,如水、空气和油等。

3.3

有效输出热量 heat output

同一时间内被加热介质经烟气冷凝热能回收装置向外提供的热量与被加热介质带入烟气冷凝热能回收装置的热量之差。

3.4

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。

3.5

烟气余热回收率 utilization ratio of flue gas residual 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。

3.6

节能量 energy saving

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(按发电平均效率折算为一次能源的能量)之差。

3.7

节能率 energy saving rate

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的燃气低位发热量的比值。

3.8

名义工况 nominal condition

烟气冷凝热能回收装置在燃气锅炉额定负荷下运行的状态。

3.9

名义输出热量 nominal heat output

在名义工况下烟气冷凝热能回收装置的有效输出热量。

3.10

燃气锅炉系统 gas boiler system

由燃气锅炉和烟气冷凝热能回收装置组成的系统。

3.11

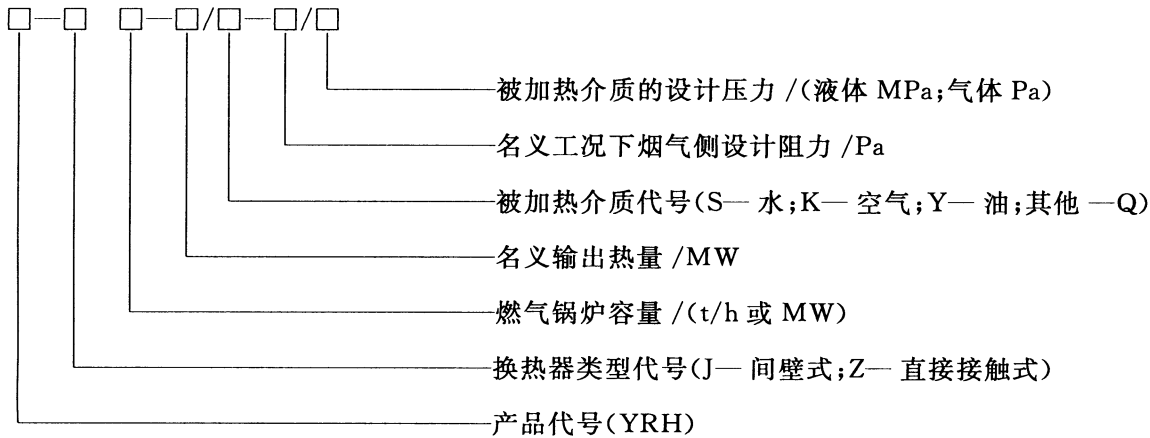
汽化温度 vaporization temperature

被加热介质为液体时,与被加热介质工作压力对应的饱和温度。

4 标记

4.1 标记的构成及含义

标记的构成及含义应符合下列规定:



4.2 标记示例

示例: 燃气锅炉容量为 7 MW 的间壁式烟气冷凝热能回收装置,其名义输出热量为 0.7 MW,被加热介质为水,名义工况下烟气侧设计阻力为 50 Pa,被加热介质的设计压力为 1.6 MPa 的烟气冷凝热能回收装置,标记为:

YRH—J7MW—0.7/S—50/1.6。

5 一般要求

5.1 组成和应用

5.1.1 烟气冷凝热能回收装置分为间壁式烟气冷凝热能回收装置和直接接触式烟气冷凝热能回收装置两种类型。两种类型组成分别如下：

- a) 间壁式烟气冷凝热能回收装置由烟气冷凝换热器主体、烟气进口导流段、烟气出口导流段、烟气冷凝水管以及放气、排污、温度和压力等仪表连接管等组成。
- b) 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、烟气进口导流段、烟气出口导流段以及放气、排污、温度和压力等仪表连接管、排水管和补水管等组成。

5.1.2 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等非可燃液体。

5.1.3 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，并应符合回收烟气潜热和烟气冷凝水、减少雾气排放的要求。

5.1.4 烟气冷凝热能回收装置不应影响燃气锅炉的正常安全运行，并应尽可能不增加风机、水泵等耗能设备。

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

5.1.6 烟气冷凝水宜进行处理和回收利用，烟气冷凝水处理后再利用时的水质应符合国家现行相关标准的规定。制造单位应提供烟气冷凝水的 pH 值、主要成分等。

5.2 结构和部件

5.2.1 烟气冷凝热能回收装置应根据工程安装空间条件及有利于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结构示意图见附录 A。

5.2.2 烟气与被加热介质流动方向宜采用逆向流动。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。

5.2.3 烟气冷凝热能回收装置的底座和支撑结构应满足强度和安全要求。

5.2.4 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。

5.2.5 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安装温度、压力或压差等仪表的连接管。

5.2.6 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存留。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。

5.2.7 烟气冷凝热能回收装置的烟气进出口均应带有烟气导流段。

5.2.8 被加热介质为液体时，烟气冷凝热能回收装置被加热介质的进出口管道上均应预留安装排气、泄水、超温超压报警等装置的连接管，且宜在被加热介质可能积存气体的部件顶部设置排气阀的连接管。

5.2.9 被加热介质为液体时，烟气冷凝热能回收装置的进出水管的管径，宜按设计流量下比摩阻 $30 \text{ Pa/m} \sim 70 \text{ Pa/m}$ 选取。

5.2.10 被加热介质为液体时，烟气冷凝热能回收装置的设计流量不应小于名义工况下燃气热水锅炉额定水流量的 80%。

5.3 加工

5.3.1 烟气冷凝热能回收装置的焊接应符合 NB/T 47015 规定。

5.3.2 烟气冷凝热能回收装置焊接完成后应进行无损检测,并应符合 NB/T 47013.2 或 NB/T 47013.3 的规定。

5.3.3 除密闭检查孔和烟气出口导流段外,烟气冷凝热能回收装置本体和管道均应进行保温,并应符合 GB 50264 的规定。当最低环境温度低于 5℃ 时,烟气出口导流段应进行保温。

5.3.4 底座和支撑材料的预处理应达到 GB/T 8923.1 中 St3 级的规定。外表面应涂敷底漆和面漆各 2 道。

5.4 使用寿命

5.4.1 烟气冷凝热能回收装置的设计寿命应与燃气锅炉的设计寿命一致,且应不小于 15 年。

5.4.2 对在役的燃气锅炉进行改造时,烟气冷凝热能回收装置的设计寿命不应小于燃气锅炉的使用年限,且不应小于 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 烟气导流段接口尺寸

烟气导流段与燃气锅炉烟道的接口尺寸应一致,法兰孔尺寸误差应不超过 ± 2 mm。

6.3 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不大于 5℃,且应比烟气中水蒸气的露点温度低 5℃ 以上。

6.4 耐温性能

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本体的最高排烟温度。

6.5 耐腐蚀性能

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,且焊接处应采取防腐蚀措施。

6.6 烟气阻力

6.6.1 当不对燃气锅炉助燃空气加热时,烟气冷凝热能回收装置的烟气阻力应符合式(1):

$$\Delta P_{zh} \leq P_{gy} - \Delta P_{yd} - \Delta h_{yc} + H_{yc} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

ΔP_{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);

ΔP_{yd} ——烟道的烟气阻力,单位为帕(Pa);

Δh_{yc} ——烟囱阻力,单位为帕(Pa);

H_{yc} ——烟囱抽力,单位为帕(Pa)。

6.6.2 当对燃气锅炉助燃空气加热时,烟气冷凝热能回收装置的烟气阻力应符合式(2):

$$\Delta P_{zh} \leq P_{gy} - \sum P_{ky} - \Delta P_{yd} - \Delta h_{yc} + H_{yc} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- ΔP_{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);
- $\sum P_{ky}$ ——助燃空气系统阻力,单位为帕(Pa);
- ΔP_{yd} ——烟道的烟气阻力,单位为帕(Pa);
- Δh_{yc} ——烟囱阻力,单位为帕(Pa);
- H_{yc} ——烟囱抽力,单位为帕(Pa)。

6.6.3 烟气冷凝热能回收装置的烟气阻力宜按表 1 的规定执行。

表 1 烟气冷凝热能回收装置烟气阻力

锅炉出力		烟气阻力/Pa
蒸汽锅炉 $D/(t/h)$	热水锅炉 Q/MW	
$D \leq 6$	$Q \leq 4.2$	≤ 50
$8 \leq D \leq 10$	$5.6 \leq Q \leq 7.0$	≤ 90
$12 \leq D \leq 20$	$8.4 \leq Q \leq 14$	≤ 120
$25 \leq D \leq 40$	$17.5 \leq Q \leq 29$	≤ 150
$50 \leq D \leq 80$	$35 \leq Q \leq 58$	≤ 200
$90 \leq D \leq 100$	$64 \leq Q \leq 70$	≤ 230
$130 \leq D \leq 160$	$91 \leq Q \leq 116$	≤ 280
注:当使用的锅炉出力表中未列出时,采用直线内插法确定。		

6.7 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。

6.8 被加热介质阻力

6.8.1 烟气冷凝热能回收装置的被加热介质阻力应小于设计流量下的允许富裕压力降。

6.8.2 当烟气冷凝热能回收装置中被加热介质为助燃空气时,被加热介质阻力应符合 6.6 的规定。

6.9 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,不应发生汽化现象,被加热介质的出口温度应比汽化温度低 20 ℃ 以上。

6.10 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

锅炉出力		管径(DN)/mm
蒸汽锅炉 $D/(t/h)$	热水锅炉 Q/MW	
$D \leq 2$	$Q \leq 1.4$	≥ 25
$4 \leq D \leq 6$	$2.8 \leq Q \leq 4.2$	≥ 32
$8 \leq D \leq 10$	$5.6 \leq Q \leq 7.0$	≥ 40
$12 \leq D \leq 15$	$8.4 \leq Q \leq 10.5$	≥ 50
$20 \leq D \leq 25$	$14 \leq Q \leq 17.5$	≥ 70
$30 \leq D \leq 40$	$21 \leq Q \leq 29$	≥ 80
$50 \leq D \leq 100$	$35 \leq Q \leq 70$	≥ 100
$130 \leq D \leq 160$	$91 \leq Q \leq 116$	≥ 125
注：当使用的锅炉出力表中未列出时，烟气冷凝水水管管径由高一级锅炉出力对应的管径确定。		

6.11 燃气利用热效率

名义工况下，燃气利用热效率宜根据烟气冷凝热能回收装置的进口烟温和过剩空气系数确定，当燃气为天然气、过剩空气系数为 1.1 且被加热介质为水时，其值应符合表 3 的规定。

表 3 燃气利用热效率

进口烟温/ $^{\circ}C$	≥ 250	≥ 200	≥ 150	≥ 100
燃气利用热效率/%	≥ 15	≥ 12	≥ 10	≥ 7

6.12 烟气余热回收率

名义工况下，烟气冷凝热能回收装置的烟气余热回收率宜根据烟气冷凝热能回收装置的进口烟温和过剩空气系数确定，当燃气为天然气、过剩空气系数为 1.1 且被加热介质为水时，其值应符合表 4 的规定。

表 4 烟气余热回收率

进口烟温/ $^{\circ}C$	≥ 250	≥ 200	≥ 150	≥ 100
烟气余热回收率/%	≥ 60	≥ 55	≥ 50	≥ 42

6.13 节能量

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能量)应小于烟气冷凝热能回收装置名义输出热量的 5%。

7 试验方法

7.1 外观

外观采用目测的方法。

7.2 烟气导流段接口尺寸

烟气导流段接口尺寸应采用精度为 0.1 mm 的量尺测量。

7.3 排烟温度

7.3.1 烟气温度测量应采用热电偶温度计或热电阻温度计,且准确度均应不小于 0.5 级。

7.3.2 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应不大于 1 m。

7.3.3 断面测点布置应按附录 B 的规定执行。

7.3.4 测试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。

7.3.5 出口排烟温度应每 5 min 记录读数 1 次,共记录 24 次。

7.3.6 应根据断面测得的各测点温度值,按式(3)面积加权平均法确定出口排烟温度:

$$X = \sum_{i=1}^n \frac{X_i A_i}{N A_i} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

X ——出口排烟温度;

X_i ——各点测量值;

A_i ——各点对应面积,各测点对应断面积相等,即 $A_1 = A_2 = \dots = A_i$;

N ——测点总数量。

7.3.7 被加热介质进口温度检测按 7.9 的规定执行。

7.3.8 烟气中水蒸气的露点温度,可根据燃气成分、燃气流量和空气含湿量及过剩空气系数计算烟气的含湿量,近似按常压(0.1 MPa)时的饱和空气状态参数表确定。

7.3.9 测试的 24 次出口排烟温度的算术平均值,与被加热介质进口温度的算术平均值之差应符合要求。

7.4 耐温性能

烟气冷凝热能回收装置在燃气锅炉本体的最高排烟温度条件下,连续运行 30 min,目测所有部件、材料,不应有损坏和变形。

7.5 耐腐蚀性能

烟气冷凝热能回收采用目测方法,表面防护层应无起皮、鼓泡、脱落现象,整个装置无锈蚀现象。

7.6 烟气阻力

7.6.1 烟气阻力采用 U 型管压力计或准确度不低于 0.5 级的压力仪表检测。

7.6.2 压力计或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。

7.6.3 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。

7.6.4 燃气锅炉排烟余压采用 U 型管压力计或准确度不低于 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。

7.6.5 烟囱抽力和烟囱阻力的计算应按附录 C 的规定执行。

7.6.6 助燃空气系统阻力应按式(4)计算:

$$\sum P_{ky} = \Delta P_{ky} + \Delta P_{fd} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$\sum P_{ky}$ ——助燃空气系统阻力,单位为帕(Pa);

ΔP_{ky} ——空气预热器的气侧阻力,单位为帕(Pa);

ΔP_{fd} ——风道的空气阻力,单位为帕(Pa)。

7.6.7 空气预热器的气侧阻力采用 U 型管压力计或准确度不低于 0.5 级的压差仪表检测,测点位置应分别设置在靠近空气预热器的进口和出口 1 m 范围内。

7.6.8 风道的空气阻力采用 U 型管压力计或准确度不低于 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。

7.6.9 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。

7.6.10 压力稳定后,进/出口压力值应每 5 min 记录读数 1 次,共记录 24 次。

7.6.11 测试的 24 次烟气阻力的算术平均值应符合要求。

7.7 承压能力

7.7.1 检测试验液体为洁净的水。

7.7.2 检验可在常温下进行,且水温不低于 5 ℃。

7.7.3 压力表的量程应为 1.5 倍~3 倍的承压能力,宜为 2 倍承压能力。压力表的准确度应不低于 1.5 级,表盘直径应不小于 100 mm。

7.7.4 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 min 以上,然后缓慢降至设计压力,并保压 2 h 进行检查,目测装置不应有变形和泄漏。

7.8 被加热介质阻力

7.8.1 被加热介质为气体时,应采用 U 型管压力计或准确度均不小于 0.5 级的压力仪表,压力计或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 m。

7.8.2 被加热介质为液体时,应采用准确度不小于 1.5 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/出水口应不大于 1 m。

7.8.3 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。

7.8.4 当被加热介质压力稳定后,检测被加热介质进/出口的压力。

7.8.5 进/出口压力值应每 5 min 记录读数 1 次,各记录 24 次。

7.8.6 烟道的烟气阻力、锅炉排烟余压、烟囱抽力、助燃空气系统阻力检测按 7.6 的规定执行。

7.8.7 测试的 24 次被加热介质阻力的算术平均值应符合要求。

7.9 被加热介质温度

7.9.1 烟气冷凝热能回收装置被加热介质进/出侧的温度应采用准确度不小于 0.5 级,分辨率为 0.1 ℃ 的铂电阻温度计测量。测温点应布置在管道中心处,测点位置距离烟气冷凝热能回收装置应不大于 1 m。

7.9.2 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。

7.9.3 进/出口温度值和出口压力应每 5 min 记录读数 1 次,共记录 24 次。

7.9.4 测试的 24 次被加热介质温度的算术平均值应符合要求。

7.10 烟气冷凝水管管径

烟气冷凝水管管径应采用精度为 0.1 mm 的量尺测量。

7.11 燃气利用热效率

7.11.1 采用正平衡和反平衡两种方法对燃气锅炉系统总热效率进行测试。不同时具备正平衡和反平衡测试条件时,宜选用正平衡法测试。

7.11.2 正平衡法测试时,燃气利用热效率的计算应按附录 D 的规定执行。反平衡法测试时,反平衡效率的计算应按 GB/T 10180 的规定执行。

7.11.3 同时进行正平衡法与反平衡法测试时,两种方法测试的燃气锅炉系统总热效率之差应不大于 5%,燃气利用热效率之差应不大于 0.5%。燃气锅炉系统总热效率的计算按附录 D 的规定执行。

7.11.4 仅进行正平衡法或反平衡法测试时,两次测试的燃气锅炉系统总热效率之差应不大于 2%,燃气利用热效率之差应不大于 0.2%。

7.11.5 燃气利用热效率计算用各参数的每次测试时间应大于 2 h,共测试 24 次,按 24 次的算术平均值确定。各参数的测试时间应相同。

7.11.6 为回收烟气冷凝热能所消耗能量,对需要增加风机、水泵等设备的能耗采用电表或功率计计量,其准确度应不低于 0.5 级。

7.12 烟气余热回收率

7.12.1 被测试的烟气应在烟气冷凝热能回收装置烟气进口附近取样。

7.12.2 过剩空气系数采用准确度不小于 1.0 级的烟气分析仪测量,测试前应对烟气分析仪进行校验。

7.12.3 烟气温度检测按 7.3 的规定执行。

7.12.4 燃气流量检测按附录 D 中 D.1.2 的规定执行。

7.12.5 烟气余热量应按式(5)计算:

$$Q_y = C_y V_y t_y \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

Q_y ——烟气余热量,单位为千瓦(kW);

C_y ——烟气冷凝热能回收装置前的烟气平均定压比热,单位为千焦每立方米摄氏度[kJ/(m³·℃)];

V_y ——烟气冷凝热能回收装置前的烟气体积流量,单位为立方米每小时(m³/h);

t_y ——烟气冷凝热能回收装置前的烟气温度,单位为摄氏度(℃)。

7.12.6 正平衡法测试时,有效输出热量的计算应按附录 D 的规定执行。

7.12.7 烟气余热回收率按式(6)计算:

$$\xi = \frac{Q_{y\text{rh}}}{Q_y} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

ξ ——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)。

7.12.8 采用正平衡和反平衡两种方法对烟气余热回收率进行测试。正平衡和反平衡的计算方法应按 7.11.2 的规定执行。不同时具备正平衡和反平衡测试条件时,宜选用正平衡法测试。

7.12.9 前后 2 次测试的烟气冷凝热能回收装置烟气余热回收率之差应不大于 1%。

7.13 节能量

7.13.1 当需要增加风机、水泵等时,风机、水泵等设备的电耗应采用电表或功率计计量,准确度应不低于 0.5 级。

7.13.2 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。

7.13.3 节能量的计算应按附录 D 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试验,检验项目应按表 5 的规定执行。

表 5 检验项目

项目	出厂检验	型式试验	要求	试验方法
外观	√	√	6.1	7.1
烟气导流段接口尺寸	√	√	6.2	7.2
排烟温度 ^a	—	√	6.3	7.3
耐温性能	—	√	6.4	7.4
耐腐蚀性能	—	√	6.5	7.5
烟气阻力	—	√	6.6	7.6
承压能力 ^{a,b}	√	√	6.7	7.7
被加热介质阻力	—	√	6.8	7.8
被加热介质温度 ^b	—	√	6.9	7.9
烟气冷凝水管管径	—	√	6.10	7.10
燃气利用热效率	—	√	6.11	7.11
烟气余热回收率	—	√	6.12	7.12
节能量	—	√	6.13	7.13
注:“√”为检验项目,“—”为非检验项目。				
^a 被加热介质为液体时检验该项目。				
^b 间壁式烟气冷凝热能回收装置检验该项目。				

8.2 出厂检验

8.2.1 产品应按表 5 规定的项目进行检验,检验合格后方可出厂。

8.2.2 当全部检验项目符合要求时,则判定为出厂检验合格,否则判定为不合格。检验不合格的项目,应进行返修并应重新进行检验。

8.3 型式试验

8.3.1 当出现下列情况之一时,应进行型式试验:

- 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试验有较大差异。

8.3.2 检验样品在同一类型的产品中任意抽取2台。

8.3.3 合格判定应符合下列规定:

- a) 所有项目合格时,应判定该批产品为合格;
- 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,应判定该批产品为不合格。

9 标志、包装、运输和贮存

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) 产品名称和型号(标记);
- c) 燃气锅炉容量(t/h 或 MW);
- d) 名义输出热量(MW);
- e) 被加热介质种类;
- f) 被加热介质的设计压力(液体:MPa;气体:Pa);
- g) 名义工况下烟气侧设计阻力(Pa);
- h) 产品净重(kg);
- i) 产品编号;
- j) 生产日期。

9.2 使用说明书

9.2.1 产品应附使用说明书。

9.2.2 使用说明书应至少包括以下内容:

- 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) 燃气锅炉容量(t/h 或 MW);
- e) 名义输出热量(MW);
- f) 被加热介质种类;
- g) 烟气和被加热介质的最高工作温度(℃);
- h) 产品安全运行的被加热介质最小流量(kg/s);
- i) 被加热介质的设计压力[液体(MPa);气体(Pa)];
- j) 被加热介质的设计阻力(kPa);

- k) 名义工况下烟气侧设计阻力(Pa);
- l) 设备外形尺寸(m 或 mm);
- m) 烟气连接管尺寸(mm);
- n) 被加热介质连接口尺寸(m 或 mm);
- o) 产品净重(kg);
- p) 产品编号;
- q) 生产日期;
- r) 安装、使用、维护及保养说明,常见故障及排除方法;
- s) 运行管理要求。

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) 执行标准;
- 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。

9.4 包装

9.4.1 烟气冷凝热能回收装置和附件和备件宜牢固包装,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。运输包装应符合 JB/T 4711 的有关规定。

9.4.2 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。

9.4.3 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(m 或 mm);
- d) 总重量(kg);
- e) 制造单位名称及地址;
- f) 包装日期;
- g) “向上”“防潮”等标记。

9.5 运输

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。

9.6 贮存

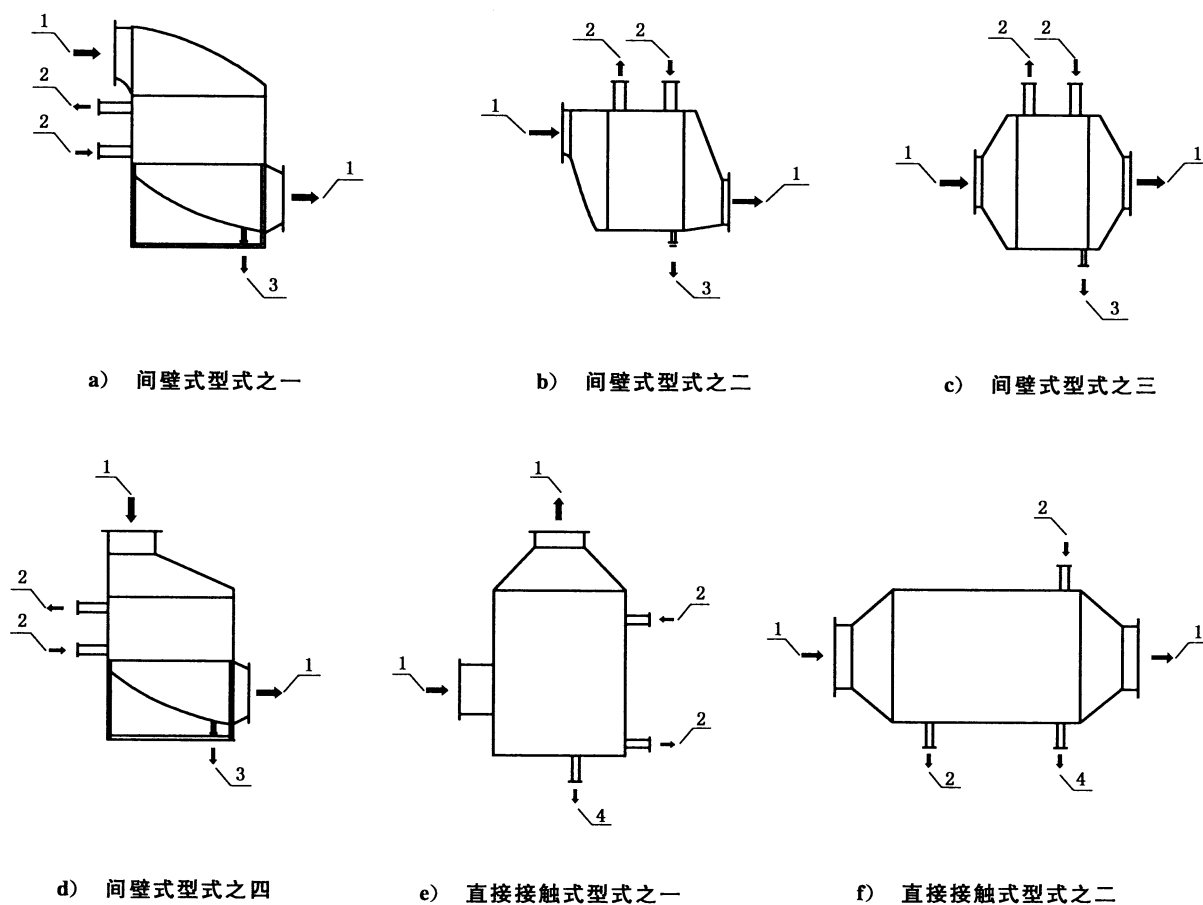
产品应贮存在通风干燥、无易燃烧、无腐蚀性物质的仓库内,露天临时存放应采取防晒、防雨雪及化学物品侵蚀的措施。

附录 A

(资料性附录)

烟气冷凝热能回收装置结构示意图

A.1 被加热介质为水的烟气冷凝热能回收装置结构示意图 A.1。

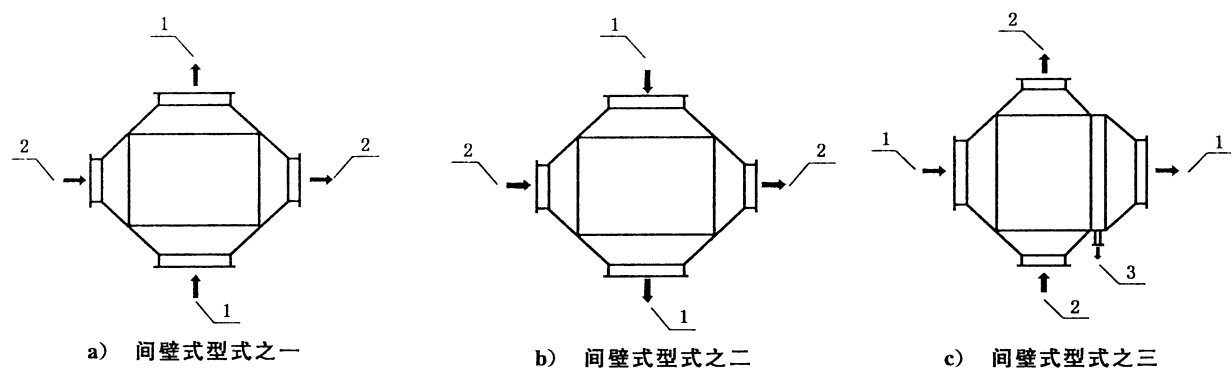


说明：

- 1——烟气；
- 2——被加热水；
- 3——冷凝水；
- 4——排水。

图 A.1 被加热介质为水的烟气冷凝热能回收装置结构示意图

A.2 被加热介质为空气的烟气冷凝热能回收装置结构示意图 A.2。



说明：

1——烟气；

2——空气；

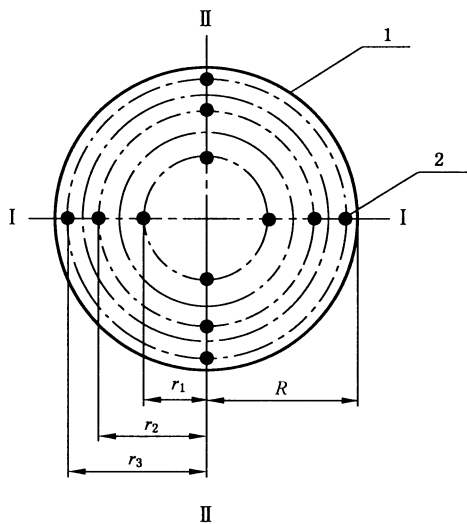
3——冷凝水。

图 A.2 被加热介质为空气的烟气冷凝热能回收装置结构示意图

附录 B
(规范性附录)
断面测点布置

B.1 圆形断面测点布置

B.1.1 圆形断面测点布置示意图 B.1。当断面直径 D 不大于 400 mm 时,可在一条直线上测量(即图 B.1 中的 I-I 或 II-II 直径);当直径 D 大于 400 mm 时,应在相互垂直的两条直径上测量(即同时在图 B.1 中的 I-I 和 II-II 直径上布置测点)。



说明:
1——烟道外壁;
2——测点;
 R ——圆形断面半径(mm)。

图 B.1 圆形断面测点布置示意图

B.1.2 测点距圆形断面中心的距离按式(B.1)确定:

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

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。

B.1.3 圆形断面划分圆环数和测点总数按表 B.1 的规定执行。

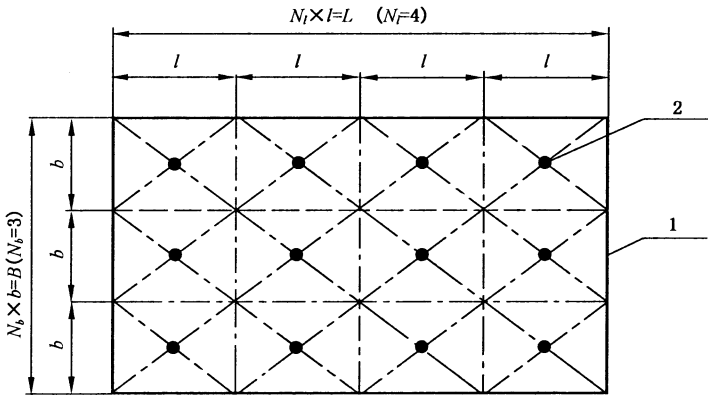
表 B.1 圆形断面划分圆环数和测点总数

管道直径 D/mm	300	400	600	$D>600$ 时, D 每增加 200
等面积圆环数 N	3	4	5	N 增加 1
测点总数	6	8	20	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直径 $D>600\text{ mm}$, 当圆断面为水平断面, 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 $3/4$ 。

B.2 矩形断面测点布置

B.2.1 矩形断面测点布置示意图 B.2。



说明:
1——烟道外壁;
2——测点;
 L ——矩形断面长度(mm);
 B ——矩形断面宽度(mm)。

图 B.2 矩形断面测点布置示意图

B.2.2 矩形断面边长 $L(B)$ 划分排数按表 B.2 的规定执行。

表 B.2 矩形断面边长 $L(B)$ 划分排数

边长 $L(B)/\text{mm}$	$L(B)\leq 500$	$500 < L(B)\leq 1\,000$	$1\,000 < L(B)\leq 1\,500$	$L(B)>1\,500$
测点排数 N	3	4	5	$L(B)$ 每增长 500 mm 测点排数 N 增加 1

对较大的矩形断面, 可适当减少 N 值, 但每个小矩形的最大边长应不大于 1 m。

附 录 C
(规范性附录)
烟囱抽力和烟囱阻力的计算

C.1 烟囱抽力

烟囱抽力应按式(C.1)计算:

$$H_{yc} = H \left(\rho_k^0 \frac{273}{273 + t_k} - \rho_y^0 \frac{273}{273 + \bar{t}_y} \right) \frac{g}{C_p} \dots\dots\dots (C.1)$$

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);

ρ_k^0 ——标准状态下室外空气的密度,取 1.293 kg/m^3 ,单位为千克每立方米(kg/m^3);

ρ_y^0 ——标准状态下烟囱内烟气的密度,取 1.340 kg/m^3 ,单位为千克每立方米(kg/m^3);

g ——重力加速度,取 9.8 m/s^2 ,单位为米每二次方秒(m/s^2);

t_k ——室外空气温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);

$\bar{t}_y$ ——烟囱内烟气的温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);

C_p ——大气压力修正系数 $C_p = \frac{101325}{b}$ [b 为当地大气压力(Pa)]。

C.2 烟囱阻力

C.2.1 烟囱阻力应按式(C.2)计算:

$$\Delta h_{yc} = \Delta h_{yc}^m - \Delta h_{yc}^c \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

Δh_{yc} ——烟囱阻力,单位为帕(Pa);

Δh_{yc}^m ——烟囱的摩擦阻力,单位为帕(Pa);

Δh_{yc}^c ——烟囱的出口阻力,单位为帕(Pa)。

C.2.2 烟囱的摩擦阻力应按式(C.3)计算:

$$\Delta h_{yc}^m = \lambda \frac{L \omega_{pj}^2}{2 d_{yc}^{pj} \rho_{pj}} \dots\dots\dots (C.3)$$

式中:

λ ——烟囱摩擦阻力系数,金属烟囱 $\lambda = 0.03$,砖和混凝土烟囱 $\lambda = 0.04$;

L ——烟囱高度,单位为米(m);

ω_{pj} ——烟囱内烟气平均流速,单位为米每秒(m/s);

d_{yc}^{pj} ——烟囱平均内径,单位为米(m);

ρ_{pj} ——烟囱内烟气平均密度,单位为千克每立方米(kg/m^3),烟气平均密度按式(C.4)计算:

$$\rho_{pj} = \rho_0 \frac{273}{273 + t_{pj}} \dots\dots\dots (C.4)$$

式中:

ρ_0 ——烟气在标准状况下的密度,单位为千克每立方米(kg/m^3), $\rho_0 = 1.34 \text{ kg/m}^3$;

t_{pj} ——烟囱内烟气平均温度,单位为摄氏度(℃),烟气温度测量应符合 7.3 的规定。

C.2.3 烟囱内烟气平均流速可采用准确度不低于 0.5 级热线风速仪测量,每 5 min 记录读数 1 次,共记录 24 次,最后取 24 次测量值的算术平均值。

C.2.4 烟囱平均内径可采用精度为 0.1 mm 的量尺分别测量烟囱外径和烟囱壁厚,在烟囱同一断面上测量 3 次~4 次,烟囱平均内径取烟囱外径与烟囱壁厚差值的算术平均值。

C.2.5 烟囱的出口阻力应按式(C.5)计算:

$$\Delta h_{yc}^c = \xi \frac{\omega_c^2}{2} \rho_c \quad \dots\dots\dots (C.5)$$

式中:

Δh_{yc}^c ——烟囱的出口阻力,单位为帕(Pa);

ξ ——烟囱出口阻力系数, $\xi=1$;

ω_c ——烟囱出口烟气流速,单位为米每方秒(m/s);

ρ_c ——烟囱出口处烟气密度,单位为千克每立方米(kg/m³)。

附 录 D

(规范性附录)

燃气利用热效率、节能量和燃气锅炉系统总热效率的计算

D.1 燃气利用热效率

D.1.1 燃气利用热效率应按式(D.1)计算:

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

式中:

 η_{yrh} —— 烟气冷凝热能回收装置的燃气利用热效率; Q_{yrh} —— 烟气冷凝热能回收装置有效输出热量,单位为千瓦(kW); B_g —— 燃气锅炉的标准状态下燃气流量,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)。

D.1.2 燃气锅炉的标准状态下燃气流量应采用准确度不低于 1.5 级燃气流量表或经过标定的孔板流量计测量。燃气的压力和温度应在燃气流量测点附近测量,宜将实际状态的燃气流量换算到标准状态下的燃气流量。

D.2 烟气冷凝热能回收装置有效输出热量

D.2.1 烟气冷凝热能回收装置有效输出热量的计算应符合下列规定:

- a) 当烟气冷凝热能回收装置直接加热燃气锅炉进水时,烟气冷凝热能回收装置有效输出热量应分别按式(D.2)计算:

$$Q_{\text{yrh}} = G_r (h_{\text{ro}} - h_{\text{ri}}) \quad \dots\dots\dots (D.2)$$

式中:

 Q_{yrh} —— 烟气冷凝热能回收装置有效输出热量,单位为千瓦(kW); G_r —— 被加热介质流量,单位为千克每秒(kg/s); h_{ro} —— 被加热介质出口比焓,单位为千焦每千克(kJ/kg); h_{ri} —— 被加热介质进口比焓,单位为千焦每千克(kJ/kg)。

- b) 当烟气冷凝热能回收装置加热燃气锅炉进水和其他用热介质(含二级网水)时,烟气冷凝热能回收装置有效输出热量应分别按式(D.3)计算:

$$Q_{\text{yrh}} = G_{\text{r0}} (h_{\text{ro0}} - h_{\text{ri0}}) + \sum_{m=1}^n G_{\text{rm}} (h_{\text{rom}} - h_{\text{rim}}) \quad \dots\dots\dots (D.3)$$

式中:

 Q_{yrh} —— 烟气冷凝热能回收装置有效输出热量,单位为千瓦(kW); G_{r0} —— 用于加热锅炉进水流量,单位为千克每秒(kg/s); G_{rm} —— 第 m 种其他被加热介质流量,单位为千克每秒(kg/s); h_{ro0} —— 用于加热锅炉进水的出口比焓,单位为千焦每千克(kJ/kg); h_{ri0} —— 用于加热锅炉进水的进口比焓,单位为千焦每千克(kJ/kg); h_{rom} —— 第 m 种其他被加热介质的出口比焓,单位为千焦每千克(kJ/kg); h_{rim} —— 第 m 种其他被加热介质的进口比焓,单位为千焦每千克(kJ/kg)。

D.2.2 用于加热锅炉进水流量测试可按下列方法进行：

- a) 应采用准确度不低于 1.5 级超声波流量计或涡轮流量计；
- b) 流量计应安装在燃气锅炉的进水管道上，安装直管段距离应保持前 10 倍、后 5 倍的水管管径。

D.2.3 被加热介质流量测试可按下列方法进行：

- a) 应采用准确度不低于 1.5 级超声波流量计或涡轮流量计；
- b) 流量计应安装在烟气冷凝热能回收装置的被加热介质进口侧，安装直管段距离应保持前 10 倍、后 5 倍的水管管径。

D.3 燃气锅炉系统总热效率

按式(D.4)和式(D.5)计算：

$$\eta = \frac{Q_g + Q_{yrh}}{B_g \times q_{dw}} \times 100\% \quad \text{..... (D.4)}$$

$$Q_g = G_g (h_{go} - h_{gi}) \quad \text{..... (D.5)}$$

式中：

η ——燃气锅炉系统总热效率；

Q_g ——燃气锅炉有效输出热量，单位为千瓦(kW)；

Q_{yrh} ——烟气冷凝热能回收装置有效输出热量，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(m³/s)；

q_{dw} ——燃气低位发热量，单位为千焦每立方米(kJ/m³)。

G_g ——热水锅炉循环水流量或蒸汽锅炉给水流量，单位为千克每秒(kg/s)；

h_{go} ——燃气锅炉本体出水比焓或蒸汽比焓，单位为千焦每千克(kJ/kg)；

h_{gi} ——燃气锅炉本体进水比焓或给水比焓，单位为千焦每千克(kJ/kg)。

D.4 节能量

按式(D.6)计算：

$$Q_j = Q_{yrh} - Q_d \quad \text{..... (D.6)}$$

式中：

Q_j ——烟气冷凝热能回收装置的节能量，单位为千瓦(kW)；

Q_{yrh} ——烟气冷凝热能回收装置有效输出热量，单位为千瓦(kW)；

Q_d ——回收烟气冷凝热能所消耗能量(按发电平均效率折算为一次能源的能量)，单位为千瓦(kW)。