

DB65

新疆维吾尔自治区地方标准

DB 65/T 4242—2019

燃气锅炉间壁式烟气余热回收利用 技术规范

Technical specification for interwall recovery and utilization of waste heat from
gas-fired boiler

2019 - 09 - 12 发布

2019 - 10 - 01 实施

新疆维吾尔自治区市场监督管理局 发布

前 言

本标准根据GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》进行编写。

本标准由新疆维吾尔自治区市场监督管理局提出。

本标准由新疆维吾尔自治区住房和城乡建设厅归口并组织实施。

本标准起草单位：新疆维吾尔自治区标准化研究院、乌鲁木齐华源热力股份有限公司、奥林燃烧器（无锡）有限公司、天津宝成机械制造股份有限公司、新疆维吾尔自治区建筑设计研究院、新疆维吾尔自治区特种设备检验研究院、新疆维吾尔自治区计量测试研究院、新疆城镇供热协会、新疆维吾尔自治区环境保护科学研究院、新疆市政协协会。

本标准主要起草人：宁继荣、韩伟、李晓东、彭军、唐亦兵、张建良、胡小明、金东海、李统中、吴建中、文红梅、朱海涛、王亮、马平、郑赢、康飞、宋军、王永兵、陈伟、马研、薛梁、陆学峰、邓文叶、热娜·艾尔肯、曾长平、霍川、吴磊、哈丽旦·艾比布拉、张洪洲、汪利洪。

本标准实施应用中的疑问，请咨询新疆维吾尔自治区标准化研究院、乌鲁木齐华源热力股份有限公司。

对本标准的修改意见建议，请反馈至新疆维吾尔自治区市场监督管理局（新疆乌鲁木齐市天山区新华南路167号）、新疆维吾尔自治区住房和城乡建设厅（乌鲁木齐市天山区中山路462号）、新疆维吾尔自治区标准化研究院（新疆乌鲁木齐市河北东路188号）。

新疆维吾尔自治区市场监督管理局 联系电话：0991-2817197；传真：0991-2311250；邮编：830004

新疆维吾尔自治区住房和城乡建设厅 联系电话：0991-2824272；传真：0991-2825243；邮编：830000

乌鲁木齐华源热力股份有限公司 联系电话：0991-6641337；传真：0991-6640337；邮编：830000

新疆维吾尔自治区标准化研究院 联系电话：0991-2817441；传真：0991-2817472；邮编：830011

燃气锅炉间壁式烟气余热回收利用技术规范

1 范围

本标准规定了燃气锅炉间壁式烟气余热回收利用技术的术语和定义、余热回收利用工艺流程和要求。

本标准适用于新疆维吾尔自治区新建、扩建、改造的采用高频电阻焊螺旋翅片管技术制造的烟气余热回收装置，且采用二次管网（地板辐射采暖）回水作为二级冷凝器冷源的燃气锅炉。

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，仅所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 1576	工业锅炉水质
GB/T 16507（所有部分）	水管锅炉
GB 50264	工业设备及管道绝热工程设计规范
GB 50041	锅炉房设计规范
CJ/T 515	燃气锅炉烟气冷凝热能回收装置
TSG G0001	锅炉安全技术监察规程
《锅炉设备空气动力计算标准》标准方法 第三版	

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

间壁式换热方式 inter-wall heat transfer mode

两种换热介质在换热壁面两侧流动，进行热量传递的换热形式。

3.2

显热 sensible heat

当此热量加入或移去后，会导致物质温度的变化，而不发生相变。物质的摩尔量、摩尔热容和温差三者的乘积为显热。即物体不发生化学变化或相变化时，温度升高或降低所需要热称为显热。

3.3

潜热 latent heat

相变潜热的简称，指物质在等温等压情况下，从一个相变化到另一个相吸收或放出的热量。这是物体在固、液、气三相之间以及不同的固相之间相互转变时具有的特点之一。固、液之间的潜热称为熔化热（或凝固热），液、气之间的称为汽化热（或凝结热），而固、气之间的称为升华热（或凝华热）。

3.4

烟气余热 residual heat of flue gas

燃气供暖锅炉主机出口烟气温度为100℃以上，烟气中含有大量显热和水蒸气的汽化潜热，占天然气高位发热量的10%~11%。

3.5

烟气余热回收利用 recovery and utilization of waste heat from flue gas

利用低温冷源来完成与烟气的热量传递过程，使燃气锅炉排烟温度下降，并使烟气中水蒸气冷凝，回收利用烟气的显热和潜热，用于供热。

3.6

一级节能器 primary energy saver

采用间壁式换热方式将供热一次管网（锅炉）回水作为冷源来完成与烟气的热量传递设备，回收利用烟气的显热。

3.7

二级冷凝器 secondary condenser

采用间壁式换热方式将地板辐射采暖供热的二次管网低温回水作为冷源来完成与烟气的热量传递设备，回收利用烟气中部分水蒸气冷凝放出的汽化潜热及显热。

3.8

烟风换热装置 flue gas heat exchanger

烟气与室外空气进行热交换的装置。

3.9

冷凝水 condensate water

烟气中含有的水蒸气（即气态水）经过冷凝过程形成的酸性液态水。

3.10

螺旋焊接翅片管 spirally welded finned tube

管子与钢带绕制成形，采用高频电阻焊接的螺旋翅片换热管。

3.11

有效输出热量 effective heat output

单位时间内流经烟气余热回收装置的被加热介质进出口所携带热量之差。

3.12

节能量 energy saving

烟气余热回收装置的有效输出热量与回收该部分烟气热能所消耗能量之差。

3.13

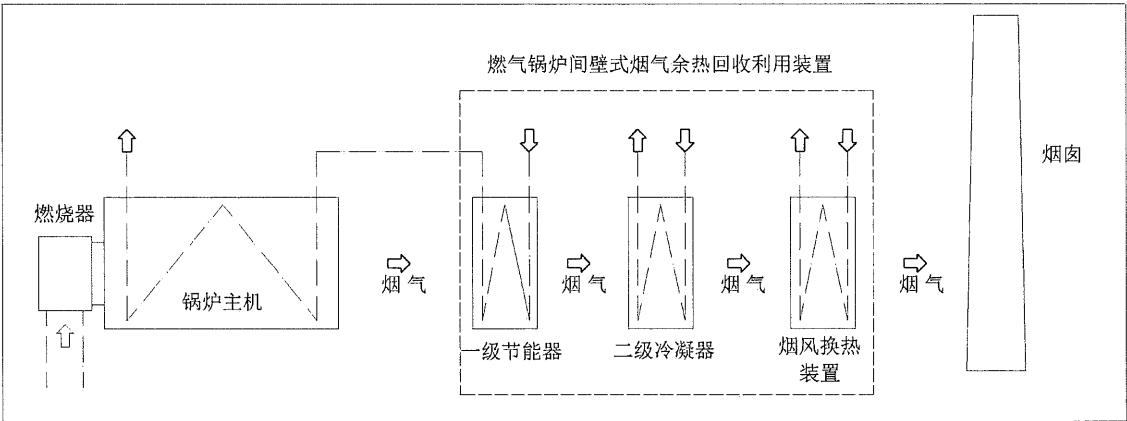
节能率 energy saving rate

单位时间内,烟气余热回收装置的节能量与燃气锅炉所消耗的按燃气低位发热值计算的输入热量的比值。

4 余热回收利用工艺流程

燃气锅炉间壁式余热回收系统包括：第一级为一级节能器，第二级为二级冷凝器，第三级为烟风换热装置（含烟气热交换器、空气热交换器、介质循环泵、闭路循环管道），以及连通烟风道、烟气冷凝水排放管、放气、排污、温度和压力仪表等组成，用于加热一次管网回水、二次管网回水和助燃冷空气。

间壁式烟气余热回收利用工艺流程示意图如图1所示：



- 注1：一级节能器：用 45℃~70℃一次管网回水与 110℃~150℃的锅炉主机出口烟气换热，节能器后烟温降至 55℃~75℃。
- 注2：二级冷凝器：用 30℃~35℃二次管网回水与 55℃~75℃的节能器出口烟气换热，冷凝器后烟温降至 40℃~45℃。
- 注3：烟风换热装置：利用助燃室外冷空气与冷凝器出口 40℃~45℃烟气换热，使最终排烟温度控制在 35℃~40℃以内。

图1 烟气余热回收利用工艺流程示意图

5 要求

5.1 烟气余热回收装置要求

5.1.1 结构

烟气余热回收装置分为三级，主要设备由一级节能器，二级冷凝器，烟风换热装置组成。要求如下：

- a) 烟气余热回收装置中受压设备的设计、制造、检验应遵循 TSG G0001 及 GB/T 16507 中的相关规定;
- b) 换热设备推荐采用高效螺旋焊接翅片管结构形式,采用烟气与介质相互逆流换热方式,管排形式、翅片结构等应保证高的换热系数、较小的设备体积、方便的设备检修需要;
- c) 翅片的设计厚度应考虑使用寿命的要求;
- d) 设备的设计流量应满足工艺流程的要求,尽量降低介质循环阻力;
- e) 设备的设计烟气流速应控制在合理范围内,综合考虑换热效率、烟侧阻力、振动频率等参数;
- f) 连通烟风道要求布置合理,阻力小,噪音低、振动小;
- g) 烟气余热回收装置的最低处应设置烟气冷凝水排放管,防止冷凝水在回收设备中积存;
- h) 烟气余热回收装置和管路的绝热工程应满足 GB 50264 中的相关规定;
- i) 烟气余热回收装置的设备支撑结构应按照 GB 50041 的规定执行,综合考虑设备重量、容水量、管道受力等参数,进行基础及钢架设计。

5.1.2 材料

要求如下:

- a) 耐腐蚀性:与烟气接触的表面和换热面、管应采用防腐蚀表面改性材料或耐腐蚀材料及防腐加工工艺,且焊接处应采取防腐蚀措施;
- b) 制作节能器、冷凝器、烟气热交换器的换热面管及翅片宜使用 304L 或 316L 耐腐蚀不锈钢材料;
- c) 制作空气热交换器的管及翅片宜使用铜和铝等高效换热材料;
- d) 制作烟道的材料应考虑耐酸腐蚀特性,宜采用不锈钢与复合材料;
- e) 耐温性:烟气余热回收装置的最高允许工作温度不应低于设备进口烟气温度加 50℃。

5.1.3 烟风阻力

要求如下:

- a) 烟气余热回收装置的换热设备宜采用顺列管排结构,方便检修,同时可降低设备烟风阻力;
- b) 烟气流速设计宜在 8 m/s~15 m/s 范围内,烟气温度越低相应设计流速越低;
- c) 设备烟风阻力、送风机选型按照《锅炉设备空气动力计算标准》标准方法(第三版)的相关规定执行。

5.1.4 设备承压

要求如下:

- a) 一级节能器应按照锅炉主机定压参数设计;
- b) 二级冷凝器应按照不低于二网循环水最高静压加上管网流阻之和的 1.5 倍设计;
- c) 烟风换热装置根据工艺要求确保密封性。

5.1.5 配套仪表

应配套监测各换热设备的烟气出口压力、出口烟温、及换热介质的压力、温度、流量、热量的就地显示及远传仪表。

5.1.6 使用寿命

烟气余热回收装置的设计寿命应不小于15年。

5.1.7 烟气冷凝水管管径

烟气余热回收装置的烟气冷凝水管管径应符合CJ/T 515的规定。

5.1.8 烟气余热回收技术参数

烟气余热回收相关技术参数换算公式参见附录A。

5.2 烟气余热回收技术要求

5.2.1 排烟温度应低于 40℃，并将回收热能用于供暖和提高锅炉能效。

5.2.2 烟气余热回收装置不应影响燃气锅炉的正常安全运行，应尽量少的增加风机、水泵等耗能，节能率应不低于 10%。

5.2.3 烟气冷凝水宜回收利用，用于锅炉时，水质应符合现行 GB/T 1576 的规定。烟气冷凝水排放应符合国家环保排放标准。

附录 A

(资料性附录)

烟气余热回收技术参数换算公式

A.1 烟气余热回收利用的理论计算

A.1.1 烟气显热回收量的计算

理论空气量的焓值:

$$h_K^O = 2.96143 + 1.27821t + 1.82909 \times 10^{-4}t^2 - 2.59493 \times 10^{-8}t^3 - 1.13129 \times 10^{-12}t^4 \dots\dots (A.1)$$

式中:

t—烟气温度(℃)。

理论烟气量的焓值:

a) 二氧化碳焓值

$$h_{CO_2} = -6.53509 + 1.68067t + 7.7798 \times 10^{-4}t^2 - 2.9419 \times 10^{-7}t^3 + 4.57385 \times 10^{-11}t^4 \dots\dots (A.2)$$

b) 氮气焓值

$$h_{N_2} = 5.37036 + 1.23589t + 1.77044 \times 10^{-4}t^2 - 2.53217 \times 10^{-8}t^3 - 1.13002 \times 10^{-12}t^4 \dots\dots (A.3)$$

c) 水蒸气焓值

$$h_{H_2O} = 4.75735 + 1.446t + 2.5429 \times 10^{-4}t^2 + 3.46706 \times 10^{-8}t^3 - 1.66507 \times 10^{-11}t^4 \dots\dots (A.4)$$

根据以上拟合公式, 可得理论烟气焓值为

$$h_y^O = \sum V_i h_i \dots\dots\dots (A.5)$$

式中:

 h_y^O —标态下理论烟气焓值(kJ/m³); V_i —标态下烟气中各组分的体积(m³/m³); h_i —标态下烟气中各组成成分的焓值(kJ/m³)。

d) 实际烟气的焓值

$$h_y = h_y^O + (\alpha - 1)h_k^O \dots\dots\dots (A.6)$$

式中:

h_y —标态下实际烟气焓值 (kJ/m³);

a —过量空气系数;

h_k^o —标态下理论空气量焓值 (kJ/m³)。

回收烟气显热量

$$Q_s = h_{y1} - h_{y2} \dots\dots\dots (A. 7)$$

式中:

Q_s —标态下回收烟气显热量 (kJ/m³) ;

h_{y1} —标态下烟气进口温度焓值 (kJ/m³);

h_{y2} —标态下烟气出口温度焓值 (kJ/m³)。

A. 1.2 烟气潜热回收量的计算

冷凝的水蒸气容积为:

$$V_{H_2O}^C = \frac{V_{H_2O} - \frac{p_s}{p_y} V_y}{1 - \frac{p_s}{p_y}} \dots\dots\dots (A. 8)$$

式中:

$V_{H_2O}^C$ —标态下冷凝的水蒸气容积 (m³/m³) ;

v_{H_2O} —水蒸气容积 (m³) ;

p_s —对应温度水蒸气饱和压力 (Pa) ;

p_y —烟气压力 (Pa) ;

V_y —烟气容积 (m³) 。

冷凝的水质量为:

$$m_{H_2O}^C = \frac{V_{H_2O} - \frac{p_s}{p_y} V_y}{\left(1 - \frac{p_s}{p_y}\right) \times \frac{18}{22.4}} \dots\dots\dots (A. 9)$$

冷凝率为:

$$\phi = \frac{V_{H_2O}^C}{V_{H_2O}} = \frac{1 - \frac{p_s}{p_y} \frac{V_y}{V_{H_2O}}}{1 - \frac{p_s}{p_y}} \dots\dots\dots (A. 10)$$

水蒸气的潜热计算参照下式:

$$r_{H_2O} = 2501.40526 - 2.33661t - 0.00176t^2 + 6.11591 \times 10^{-5}t^3 - 1.0562 \times 10^{-6}t^4 + 5.38223 \times 10^{-9}t^5 \dots (A. 11)$$

式中:

t —烟气的露点温度与烟气出口的平均值。

$$\text{由上式可得烟气潜热回收量 } Q_l = m_{H_2O}^C r_{H_2O} \dots\dots\dots (A. 12)$$

A. 1.3 烟气余热理论回收总热量

$$Q_r = Q_s + Q_l \dots\dots\dots (A. 13)$$

式中: Q_s —回收显热量的值 (kJ/m³)。

A. 1.4 节能率

烟气冷凝热能回收装置的节能率应按式 A. 14 计算:

$$\eta_{yrh} = \frac{Q_r - Q_d}{B_g \times q_{dw}} \times 100\% \dots\dots\dots (A. 14)$$

式中:

η_{yrh} ——烟气冷凝热能回收装置的节能率;

Q_r ——烟气余热理论回收总热量, 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);

B_g ——燃气锅炉的标准状态下燃气流量, 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)。

A. 2 烟气余热回收技术参数理论计算

见表A. 1。

表A.1 烟气余热回收技术参数理论换算表

烟气温度 °C	显热 kJ/m ³	潜热 kJ/m ³	总焓值 kJ/m ³	理论回收总热量 kJ/m ³	冷凝水量 kg/m ³	冷凝水率 %	理论节能率 %
180	2945.34	0.00	2945.34	0.00	0.00	0	0
170	2779.88	0.00	2779.88	165.46	0.00	0	0.5
160	2614.94	0.00	2614.94	330.40	0.00	0	1
150	2450.53	0.00	2450.53	494.81	0.00	0	1.5
140	2286.66	0.00	2286.66	658.68	0.00	0	2
130	2123.33	0.00	2123.33	822.01	0.00	0	2.4
120	1960.53	0.00	1960.53	984.81	0.00	0	2.9
110	1798.28	0.00	1798.28	1147.06	0.00	0	3.4
100	1636.58	0.00	1636.58	1308.76	0.00	0	3.9
90	1475.42	0.00	1475.42	1469.92	0.00	0	4.4
80	1314.81	0.00	1314.81	1630.53	0.00	0	4.8
70	1154.75	0.00	1154.75	1790.59	0.00	0	5.3
60	995.26	0.00	995.26	1950.08	0.00	0	5.8
55	915.72	450.16	1365.87	2479.78	0.18	7	7.4
54	899.82	768.11	1667.93	2813.62	0.31	12	8.4
53	883.94	1067.81	1951.75	3129.21	0.43	17	9.3
52	868.06	1350.44	2218.50	3427.72	0.54	22	10.2
51	852.18	1617.09	2469.27	3710.25	0.65	26	11
50	836.32	1868.75	2705.07	3977.78	0.75	30	11.8
49	820.45	2106.35	2926.80	4231.23	0.84	34	12.6
48	804.60	2330.73	3135.32	4471.47	0.94	38	13.3
47	788.74	2542.68	3331.43	4699.28	1.02	41	14
46	772.90	2742.95	3515.85	4915.39	1.10	44	14.6
45	757.06	2932.20	3689.26	5120.49	1.18	47	15.2
44	741.22	3111.08	3852.30	5315.20	1.25	50	15.8
43	725.39	3280.16	4005.56	5500.11	1.32	53	16.3
42	709.57	3440.01	4149.58	5675.78	1.38	56	16.9
41	693.75	3591.14	4284.89	5842.73	1.45	58	17.3
40	677.94	3734.01	4411.95	6001.42	1.50	60	17.8
39	662.13	3869.10	4531.23	6152.31	1.56	63	18.3
38	646.33	3996.81	4643.14	6295.82	1.61	65	18.7
37	630.53	4117.55	4748.08	6432.35	1.66	67	19.1
36	614.74	4231.68	4846.43	6562.28	1.71	69	19.5
35	598.96	4339.56	4938.52	6685.94	1.75	70	19.8
34	583.18	4441.52	5024.70	6803.67	1.79	72	20.2
33	567.41	4537.86	5105.27	6915.79	1.83	74	20.5
32	551.64	4628.88	5180.52	7022.57	1.87	75	20.8
31	535.88	4714.85	5250.73	7124.31	1.91	77	21.2

30	520.12	4796.04	5316.16	7221.26	1.94	78	21.4
29	504.37	4872.69	5377.06	7313.66	1.97	79	21.7
28	488.63	4945.04	5433.67	7401.75	2.00	80	22
27	472.89	5013.30	5486.19	7485.75	2.03	82	22.2
26	457.16	5077.69	5534.84	7565.87	2.06	83	22.5
25	441.43	5138.40	5579.83	7642.31	2.08	84	22.7
24	425.71	5195.62	5621.33	7715.25	2.11	85	22.9
23	409.99	5249.53	5659.52	7784.88	2.13	86	23.1
22	394.28	5300.30	5694.58	7851.36	2.15	87	23.3
21	378.58	5348.09	5726.66	7914.85	2.17	87	23.5
20	362.88	5393.04	5755.92	7975.51	2.19	88	23.7

注1: 上表计算中天气低位发热量为 33684 kJ/m³, 高位发热量为 37348 kJ/m³, 过剩空气系数取 1.15。

注2: 饱和水蒸气分压力计算公式采用戈夫·格雷奇公式。

参 考 文 献

- [1] GB/T 10180-2017 工业锅炉热工性能试验规程
 - [2] NB/T 47013.2-2015 承压设备无损检测 第2部分：射线检测
 - [3] NB/T 47013.3-2015 承压设备无损检测 第3部分：超声检测
 - [4] NB/T 47015-2011 压力容器焊接规程（附编制说明）
 - [5] NB/T 47049-2016 管式空气预热器制造技术条件
 - [6] TSG G0002-2010 锅炉节能技术监督管理规程
 - [7] TSG G0003-2010 工业锅炉能效测试与评价规则
 - [8] 《燃油燃气锅炉房设计手册》（第2版）【M】. 北京：机械工业出版社，2012.9
 - [9] 《电站锅炉热力计算标准》（苏联73版）
-