



中华人民共和国国家标准

GB/T 17719—1999

工业锅炉及火焰加热炉烟气余热 资源量计算方法与利用导则

Calculating method and utilization guides for
waste heat resource's quantity of industrial boiler's
and flame heating furnace's waste gas

1999-04-08 发布

1999-10-01 实施

国家质量技术监督局 发布

目 次

前言	I
1 范围	1
2 引用标准	1
3 计算方法	1
4 余热资源管理与合理利用原则	3
附录 A(标准的附录) 平均近似体积定压热容 C_{PY} 与近似烟气体积 V_{PY}	4
附录 B(标准的附录) 排烟温度、空气系数合格指标与烟气余热资源量测算下限温度	5
附录 C(标准的附录) 固体未完全燃烧热损失 $q_4, \%$ 的计算方法	6

前 言

提高能源利用效率、节约能源是我国的一贯方针。余热资源利用是节约能源的重要措施,余热资源中工业锅炉与火焰加热炉烟气余热资源占较大比重。本标准制定,将促进我国工业锅炉及火焰加热炉烟气余热资源的利用。

本标准是GB/T 1028—1989《工业余热术语、分类、等级及余热资源量计算方法》的相关标准。余热分类、等级及术语的定义均按GB/T 1028—1989中的相关规定和定义,本标准不再规定。标准的计算方法参考了上海市地方标准DB/T 31-42—1990《工业锅炉烟气余热资源量与可用余热量的计算方法》。

本标准的附录A、附录B、附录C是标准的附录。

本标准由中国标准化与信息分类编码研究所提出并归口。

本标准由中国标准化与信息分类编码研究所负责起草。

本标准主要起草人:尹锡勋、汤学忠、洪邦俊、贾铁鹰、杨振顺。

本标准首次发布。

中华人民共和国国家标准

工业锅炉及火焰加热炉烟气余热 资源量计算方法与利用导则

GB/T 17719—1999

Calculating method and utilization guides for
waste heat resource's quantity of industrial boiler's
and flame heating furnace's waste gas

1 范围

本标准规定了工业锅炉及火焰加热炉烟气余热量和余热资源量的计算方法及余热资源管理与合理利用原则。

本标准适用于GB/T 1921、GB/T 3166规定的锅炉及GB/T 3486中规定的连续式火焰加热炉的余热利用工程的规划、设计、技术改造与管理。

2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方面应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

- GB/T 1028—1989 工业余热术语、分类、等级及余热资源量计算方法
- GB/T 1921—1988 工业蒸汽锅炉 参数系列
- GB/T 3166—1988 热水锅炉 参数系列
- GB/T 3486—1993 评价企业合理用热技术导则
- GB/T 15317—1994 工业锅炉节能监测方法
- GB/T 15319—1994 火焰加热炉节能监测方法

3 计算方法

3.1 烟气余热量为宏观控制指标,烟气余热资源量为实际应用指标。

3.2 烟气余热量计算的环境温度为20℃,相对湿度为70%,在该条件下的烟气平均体积定压热容为1.359 kJ/(m³·℃)。

3.3 燃煤工业锅炉及火焰加热炉烟气余热量计算方法。

燃煤工业锅炉及火焰加热炉烟气余热量按式(1)计算:

$$Q_{yr} = B_1 \cdot V_{py} (C_{py} \cdot t_{py} - 27.18) \cdot \left(\frac{100 - q_1}{100} \right) \dots\dots\dots (1)$$

式中: Q_{yr} ——年烟气余热量, kJ/a;

B_1 ——年平均耗煤量, kg/a;

C_{py} —— t_{py} 温度下烟气的平均体积定压热容, kJ/(m³·℃);

C_{py} 值按实测烟气成分计算确定, 用作规划时查附录A表A1。

t_{py} ——工业锅炉末级受热面或火焰加热炉炉尾出口处排烟平均温度, ℃;

t_{py} 值由实测确定。用作规划时,工业锅炉参考附录 B 表 B1,火焰加热炉参考附录 B 表 B2,并结合实际情况确定。

q_4 ——燃料的固体未完全燃烧热损失, %。

工业锅炉的 q_4 值按附录 C 计算确定。用作规划时:链条炉排锅炉燃用三类烟煤、贫煤和褐煤时的 q_4 值取 8%~12%;无烟煤和一二类烟煤取 10%~15%。

火焰加热炉的 q_4 值按实测每千克煤所产生的平均灰渣量及灰渣含碳量确定。用作规划时,按 3%~5%计。

V_{py1} ——工业锅炉末级受热面或火焰加热炉炉尾出口处每千克煤烟气体积, m^3/kg ;

V_{py1} 值按式(2)计算,用作规划时查附录 A 表 A2。

$$V_{py1} = 1.87C_{ar} + 0.7S_{ar} + 11.1H_{ar} + 0.8N_{ar} + 1.24M_{ar} + (1.016 1\alpha_{py} - 0.21)V^{01} \dots\dots\dots(2)$$

式中: C_{ar} ——燃料收到基碳元素质量分数;

H_{ar} ——燃料收到基氢元素质量分数;

S_{ar} ——燃料收到基硫元素质量分数;

N_{ar} ——燃料收到基氮元素质量分数;

M_{ar} ——燃料收到基水分质量分数;

α_{py} ——工业锅炉末级受热面或火焰加热炉炉尾出口处烟气的空气系数。

α_{py} 值按 GB/T 15317—1994 的 4.5 条式(1)或 GB/T 15319—1994 的 4.5.2 条计算,用作规划时,工业锅炉参考附录 B 表 B3,火焰加热炉参考附录 B 表 B4,并结合实际情况确定。

V^{01} ——每千克煤燃烧理论空气量, m^3/kg ; V^{01} 值按下式计算:

$$V^{01} = 8.89C_{ar} + 26.5H_{ar} + 3.33S_{ar} - 3.33O_{ar} \dots\dots\dots(3)$$

式中: O_{ar} ——燃料收到基氧元素质量分数。

3.4 燃油或燃气工业锅炉及火焰加热炉烟气余热热量计算方法。

燃油或燃气工业锅炉及火焰加热炉烟气余热热量按式(4)计算:

$$Q_{py} = B_2 \cdot V_{py2}(C_{py} \cdot t_{py} - 27.18) \dots\dots\dots(4)$$

式中: B_2 ——年平均燃料消耗量, kg/a 或 m^3/a ;

V_{py2} ——工业锅炉末级受热面或火焰加热炉炉尾出口处每千克油或每立方米干燃气烟气体积, m^3/kg 或 m^3/m^3 ;

燃油工业锅炉及火焰加热炉的 V_{py2} 值的计算方法同 V_{py1} ,用作规划时查附录 A 表 A3。燃气工业锅炉及火焰加热炉的 V_{py2} 值按式(5)计算。用作规划时查附录 A 表 A4。

$$V_{py2} = CO_2 + CO + H_2 + N_2 + 2H_2S + \Sigma(m + 0.5n)C_mH_n + 0.001 24d_s + (1.016 1\alpha_{py} - 0.21)V^{02} \dots\dots\dots(5)$$

式中: CO_2 ——燃料干燥基二氧化碳体积分数;

CO ——燃料干燥基一氧化碳体积分数;

H_2 ——燃料干燥基氢气体积分数;

N_2 ——燃料干燥基氮气体积分数;

H_2S ——燃料干燥基硫化氢体积分数;

ΣC_mH_n ——燃料干燥基各种碳氢化合物体积分数;

d_s ——每立方米干燃气所带的水量, g/m^3 ;

V^{02} ——每立方米干燃气燃烧理论空气量, m^3/m^3 ; V^{02} 值按下式计算:

$$V^{02} = 4.76[0.5CO + 0.5H_2 + 1.5H_2S + 2CH_4 + \Sigma(m + 0.25n)C_mH_n - O_2] \dots\dots(6)$$

式中: CH_4 ——燃料干燥基甲烷体积分数;

O₂——燃料干燥基氧气体积分数。

3.5 燃煤工业锅炉及火焰加热炉烟气余热资源量计算方法。

燃煤工业锅炉及火焰加热炉烟气余热资源量按式(7)计算：

$$Q_{yz} = B_1 \cdot V_{py1} (C_{py} \cdot t_{py} - C'_{py} \cdot t'_{py}) \cdot \left(\frac{100 - q_4}{100} \right) \dots\dots\dots (7)$$

式中：Q_{yz}——年烟气余热资源量，kJ/a；

t'_{py}——余热资源量的下限温度，℃；

选用 t'_{py} 的原则按 4.1.1、4.1.2、4.1.3。

C'_{py}——t'_{py} 温度下烟气平均体积定压热容，kJ/(m³·℃)。

3.6 燃油或燃气工业锅炉及火焰加热炉余热资源量计算方法。

燃油或燃气工业锅炉及火焰加热炉余热资源量按式(8)计算：

$$Q_{yz} = B_2 \cdot V_{py2} (C_{py} \cdot t_{py} - C'_{py} \cdot t'_{py}) \dots\dots\dots (8)$$

3.7 以上计算方法中的气体体积 m³，均是在标准状况(0.101 325 MPa, 0℃)下的数值。

4 余热资源管理与合理利用原则

4.1 烟气余热资源回收利用与管理

4.1.1 作规划计算时，工业锅炉烟气余热资源量的下限温度按附录 B 表 B5；火焰加热炉烟气余热资源量的下限温度按附录 B 表 B6。

4.1.2 在工业锅炉或火焰加热炉的烟气余热回收利用建设或技术改造工程决策时，应先进行技术经济比较。在作计划时，按 GB/T 1028 规定的余热资源等级判别。

4.1.3 在 4.1.2 技术经济比较中，余热资源量计算公式中的排烟温度 t_{py}，建设工程应采用工业锅炉或火焰加热炉设计值，技术改造工程应采用实测值。余热资源量的下限温度 t'_{py}，应参考附录 B 中表 B5 或表 B6 作经济比较。

4.1.4 应制定工业锅炉及火焰加热炉烟气余热资源回收利用设备定期检修制度，保持设备完好、运转正常、文明生产，并建立检修记录和档案。

4.1.5 应对工业锅炉及火焰加热炉烟气余热资源回收利用设备运行参数进行测量记录，年终要作出经济核算。

4.2 烟气余热资源回收利用设备的设置

4.2.1 应把烟气余热优先用于炉子本系统，例如：预热助燃空气、燃料及物料。当无法用于本系统或后仍有富余时，才用于本系统以外。

4.2.2 烟气余热资源利用在本系统外时，应按照“梯级利用，高质高用”的原则进行利用。例如，把一等余热资源用于作功发电，二等余热资源用于产生蒸汽三等余热资源用于干燥物料、空调、采暖或供应生活用热水等。

4.2.3 根据烟气温度，余热资源等级的高低，合理选用与之相适应的高温辐射换热器、陶瓷换热器、喷流换热器、蓄热式换热器、金属管状换热器、板式换热器、余热锅炉、热管换热器、热轮等余热利用设备或用作热泵的热源等。

4.2.4 根据烟气成分和性质的不同，合理选用余热资源利用设备。对高灰分烟气应采用耐磨和防堵的装置；对含腐蚀性成分的烟气，应有防腐措施。

附录 A

(标准的附录)

平均近似体积定压热容 C_{py} 与近似烟气体积 V_{py} 表 A1 烟气从 0℃ 到 t_{py} ℃ 的平均近似体积定压热容 C_{py}

$t_{py}, ^\circ\text{C}$	$C_{py}, \text{kJ} \cdot (\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$	$t_{py}, ^\circ\text{C}$	$C_{py}, \text{kJ} \cdot (\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$
100	1.372	800	1.500
200	1.388	900	1.518
300	1.405	1 000	1.535
400	1.423	1 100	1.551
500	1.443	1 200	1.565
600	1.462	1 300	1.579
700	1.482	1 400	1.592

注：表中 m^3 是标准状况下的气体体积数。

表 A2 燃烧每千克煤炭的近似烟气体积 V_{py1}

热值, $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$)	14 000 (3 344)	16 000 (3 822)	18 000 (4 299)	20 000 (4 777)	22 000 (5 255)	24 000 (5 732)	26 000 (6 210)	28 000 (6 688)	30 000 (7 165)	
$V^{01}, \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	3.88	4.36	4.84	5.32	5.81	6.29	6.77	7.25	7.73	
与 α 相应的 V_{py1} 值 $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	$\alpha=1.2$	5.41	5.92	6.45	6.96	7.49	8.01	8.53	9.05	9.58
	$\alpha=1.3$	5.79	6.36	6.93	7.50	8.07	8.64	9.21	9.78	10.35
	$\alpha=1.4$	6.18	6.79	7.42	8.03	8.65	9.27	9.89	10.50	11.12
	$\alpha=1.5$	6.57	7.23	7.90	8.56	9.24	9.90	10.57	11.23	11.90
	$\alpha=1.6$	6.96	7.66	8.38	9.09	9.82	10.52	11.24	11.95	12.67
	$\alpha=1.7$	7.35	8.10	8.87	9.62	10.40	11.15	11.92	12.68	13.44
	$\alpha=1.8$	7.73	8.54	9.35	10.16	10.98	11.78	12.60	13.40	14.21

注：表中热值是燃煤的低发热量的数值；表中 m^3 是标准状况下的气体体积数， α 为空气系数；

表 A3 燃烧每千克液体燃料产生的近似烟气体积 V_{py2}

热值, $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$)	30 000 (7 165)	32 000 (7 643)	34 000 (8 121)	36 000 (8 598)	38 000 (9 076)	40 000 (9 554)	42 000 (10 032)	
$V^{02}, \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	8.09	8.50	8.90	9.31	9.71	10.12	10.53	
与 α 相应的 V_{py2} 值 $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	$\alpha=1.05$	8.35	8.91	9.46	10.01	10.56	11.11	11.66
	$\alpha=1.10$	8.76	9.33	9.86	10.47	11.04	11.61	12.18
	$\alpha=1.15$	9.16	9.76	10.35	10.94	11.53	12.12	12.71
	$\alpha=1.20$	9.57	10.18	10.79	11.40	12.01	12.62	13.24
	$\alpha=1.25$	9.97	10.61	11.24	11.87	12.50	13.13	13.76
	$\alpha=1.30$	10.38	11.03	11.68	12.33	12.98	13.64	14.29
	$\alpha=1.40$	11.19	11.88	12.57	13.26	13.95	14.65	15.34

注：表中热值是燃烧液体燃料的低发热量的数值；表中 m^3 是标准状况下的气体体积数， α 为空气系数。

表 A4 燃烧每立方米燃气产生的近似烟气体积 V_{py2}

热值 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-3} (\text{kcal} \cdot \text{m}^{-3})$	3 400 (812)	4 200 (1 003)	5 000 (1 194)	6 000 (1 433)	8 000 (1 911)	10 000 (2 388)	12 000 (2 866)		
$V^{02}, \text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$	0.71	0.88	1.04	1.25	1.67	2.09	2.51		
与 α 相应的 V_{py2} 值 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$	$\alpha=1.02$	1.60	1.75	1.89	2.07	2.42	2.77	3.13	
	$\alpha=1.05$	1.63	1.77	1.92	2.10	2.47	2.83	3.21	
	$\alpha=1.10$	1.66	1.82	1.97	2.17	2.56	2.94	3.33	
	$\alpha=1.15$	1.70	1.86	2.03	2.23	2.64	3.04	3.46	
	$\alpha=1.20$	1.73	1.91	2.08	2.29	2.72	3.15	3.58	
	$\alpha=1.30$	1.80	1.99	2.18	2.42	2.89	3.36	3.83	
热值 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-3} (\text{kcal} \cdot \text{m}^{-3})$	15 000 (3 583)	18 000 (4 299)	21 000 (5 016)	35 000 (8 360)	38 000 (9 076)	41 000 (9 793)	45 000 (10 748)	50 000 (11 942)	
$V^{02}, \text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$	3.91	4.69	5.47	9.11	9.89	10.67	11.72	13.02	
与 α 相应的 V_{py2} 值 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$	$\alpha=1.02$	4.41	5.24	6.08	9.96	10.80	11.62	12.73	14.12
	$\alpha=1.05$	4.53	5.38	6.24	10.24	11.09	11.94	13.09	14.51
	$\alpha=1.10$	4.72	5.62	6.52	10.69	11.59	12.48	13.67	15.16
	$\alpha=1.15$	4.92	5.85	6.79	11.15	12.08	13.01	14.26	15.81
	$\alpha=1.20$	5.11	6.09	7.06	11.60	12.58	13.54	14.84	16.46
	$\alpha=1.30$	5.50	6.56	7.61	12.51	13.57	14.61	16.02	17.77
注：表中热值是燃气的低发热量的数值，表中 m^3 是标准状况下的气体体积数， α 为空气系数。									

附录 B

(标准的附录)

排烟温度、空气系数合格指标与烟气余热资源量测算下限温度

表 B1 工业锅炉排烟温度合格指标

额定蒸发量, $\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$	1	2	4~6	10	≥ 20
额定热功率, MW	0.7	1.4	2.8~4.2	7	≥ 14
额定供热量, $\text{GJ} \cdot \text{h}^{-1}$	2.5	5	10~15	25	≥ 50
排烟温度, $^{\circ}\text{C}$	≤ 250	≤ 220	≤ 200	≤ 180	≤ 160

表 B2 火焰加热炉排烟温度合格指标

炉膛出口温度, $^{\circ}\text{C}$	≤ 500	≤ 600	≤ 700	≤ 800	≤ 900	$\leq 1 000$	$> 1 000$	
排烟 温度	使用低发热量燃料时, $^{\circ}\text{C}$	≤ 350	≤ 460	≤ 560	≤ 530	≤ 580	≤ 670	710~470
	使用高发热量燃料时, $^{\circ}\text{C}$	≤ 340	≤ 380	≤ 440	≤ 510	≤ 560	≤ 650	670~400
注：低发热量燃料是指高炉煤气、发生炉煤气及发热量低于 $8 360 \text{ kJ}/\text{m}^3$ (标准状态) 的混合煤气，高发热量燃料是天然气、焦炉煤气、煤、重油等。								

表 B3 工业锅炉烟气空气系数合格指标

位置	锅炉规格	空气系数	
		燃 煤	燃油、燃气
末级受热面出口处	≤10 t/h	≤2.4	≤1.6
	≥20 t/h	≤1.8	≤1.6

表 B4 火焰加热炉烟气空气系数合格指标

燃料名称	燃烧方式	空气系数
固体燃料	—	≤2.0
液体燃料	高压喷雾	≤1.25
	低压喷雾	≤1.20
气体燃料	有焰燃烧	≤1.25
	无焰燃烧	≤1.05

表 B5 工业锅炉烟气余热资源量测算下限温度

额定蒸发量, t·h ⁻¹	<1	1~6	>6
额定热功率, MW	<0.7	0.7~4.2	>4.2
测算下限温度, C	180	160	150

表 B6 火焰加热炉烟气余热资源量测算下限温度

炉容量类别	A	B	C
测算下限温度, C	200	230	250

注: 炉容量类别以额定炉容量分为: A: >80×10⁶ kJ/h B: (20~80)×10⁶ kJ/h C: (5~19.9)×10⁶ kJ/h

附 录 C

(标准的附录)

固体未完全燃烧热损失 q_4 , % 的计算方法

$$q_4 = \left[a_{1s} \frac{C_{1s}}{100 - C_{1s}} + a_{1m} \frac{C_{1m}}{100 - C_{1m}} + a_{7h} \frac{C_{7h}}{100 - C_{7h}} + a_{y1} \frac{C_{y1}}{100 - C_{y1}} + a_{1h} \frac{C_{1h}}{100 - C_{1h}} + a_{bh} \frac{C_{bh}}{100 - C_{bh}} \right] \times \frac{328.66A^{\gamma}}{Q_r} \dots\dots\dots (C1)$$

式中: q_4 ——固体未完全燃烧热损失, %; a_{1s} ——炉渣含灰量占入炉煤总灰量的重量百分比, %;

$$a_{1s} = \frac{G_{1s}(100 - C_{1s})}{BA^{\gamma}} \times 100$$

式中: C_{1s} ——炉渣可燃物含量, %; B ——燃料消耗量, kg/h; m³/h; A^{γ} ——燃料应用基灰分, %; G_{1s} ——炉渣重量, kg/h。

$$G_{1r} = G_{1s} \left(1 - \frac{W_{1s}}{100} \right)$$

式中: G_{1s}^* ——湿炉渣重量, kg/h;

W_{1s} ——炉渣淋水后含水量, %。

a_{1m} ——漏煤含灰量占入炉煤总灰量的重量百分比, %;

$$a_{1m} = \frac{G_{1m}(100 - C_{1m})}{BA'} \times 100$$

式中: G_{1m} ——漏煤重量, kg/h;

C_{1m} ——漏煤可燃物含量, %。

a_{yh} ——煤道灰含灰量占入炉煤总灰量的重量百分比, %;

$$a_{yh} = \frac{G_{yh}(100 - C_{yh})}{BA'} \times 100$$

式中: G_{yh} ——烟道灰重量, kg/h;

C_{yh} ——烟道灰可燃物含量, %。

a_{y1} ——溢流灰含灰量占入炉煤总灰量的重量百分比, %;

$$a_{y1} = \frac{G_{y1}(100 - C_{y1})}{BA'} \times 100$$

式中: G_{y1} ——溢流灰重量, kg/h;

C_{y1} ——溢流灰可燃物含量, %。

a_{1h} ——冷灰含灰量占入炉煤总灰量的重量百分比, %;

$$a_{1h} = \frac{G_{1h}(100 - C_{1h})}{BA'} \times 100$$

式中: G_{1h} ——冷灰重量, kg/h;

C_{1h} ——冷灰可燃物含量, %。

a_{fh} ——飞灰含灰量占入炉煤总灰量的重量百分比, %;

$$a_{fh} = 100 - (a_{1s} + a_{1m} + a_{yh} + a_{y1} + a_{1h})$$

C_{fh} ——飞灰可燃物含量, %;

Q_i ——输入热量, kJ/kg, kJ/m³。

$$Q_i = Q_{fw} + Q_{wl} + H_{rx} + Q_{sv}$$

式中: Q_{fw} ——燃料应用基低位发热量, kJ/kg, kJ/m³;

Q_{wl} ——用外来热量加热燃料或空气时, 相应于每千克或每标米立方燃料所给的热量, kJ/kg, kJ/Nm³;

H_{rx} ——燃料的物理热, kJ/kg, kJ/m³;

Q_{sv} ——自用蒸汽带入炉内相应于每千克或每标米立方燃料的热量, kJ/kg, kJ/m³。

1] m³ 为标准立方米, 下同。