

$$\alpha_{di} = 9.20\sqrt[4]{t_{di} - t_g} + \frac{20.40\varepsilon\{[(t_{di} + 273)/100]^4 - [(t_g + 273)/100]^4\}}{t_{di} - t_g} \dots\dots\dots (40)$$

$$\alpha_{ci} = 9.20\sqrt[4]{t_{ci} - t_g} + \frac{20.40\varepsilon\{[(t_{ci} + 273)/100]^4 - [(t_g + 273)/100]^4\}}{t_{ci} - t_g} \dots\dots\dots (41)$$

式中：ε——箱体表面的黑度，一般取 0.8~0.9，各种材料黑度见 QB/T 1493-2019 附录 D 表 D.5。

注：体系内管道表面散热计算将管道表面展开成水平平板或竖直平板计算。

6.2.9 不可预计热损失 Q_{bj} ，单位为千焦每千克绝干坯（kJ/kg 绝干坯），按公式（42）计算：

$$Q_{bj} = Q_{sr} - (Q_{zf} + Q_{gp} + Q_{gm} + Q_{fc} + Q_{xf} + Q_{pf} + Q_{lf} + Q_{bs}) \dots\dots\dots (42)$$

6.2.10 总热支出

按公式（43）计算：

$$Q_{zc} = Q_{zf} + Q_{gp} + Q_{gm} + Q_{fc} + Q_{xf} + Q_{pf} + Q_{lf} + Q_{bs} + Q_{bj} \dots\dots\dots (43)$$

6.3 热平衡计算表

见表 3

表 3 热平衡表

序号	热收入 Q_{sr}			热支出 Q_{zc}		
	项目	kJ/kg 绝干坯	%	项目	kJ/kg 绝干坯	%
1	供入热风带入显热 Q_{gf}			水分蒸发和加热水蒸气到排湿温度时耗热 Q_{zf}		
2	燃料燃烧的化学热 Q_r			干坯体带出显热 Q_{gp}		
3	其它热源带入显热 Q_{qt}			干模带出显热 Q_{gm}		
4	燃料带入的显热 Q_x			辅助材料带出显热 Q_{fc}		
5	助燃空气带入的显热 Q_k			抽出循环风带出显热 Q_{xf}		
6	湿坯体带入显热 Q_{sp}			排湿孔排出热风带出显热 Q_{pf}		
7	湿模带入显热 Q_{sm}			各开口泄漏热风带出显热 Q_{lf}		
8	辅助材料带入显热 Q_{fr}			干燥器箱体及体系内管道表面散热 Q_{bs}		
9	—			不可预计热损失 Q_{bj}		
	总热收入 Q_{sr}			总热支出 Q_{zc}		

7 热效率计算方法

7.1 有效热 Q_{yx} ，单位为千焦每千克绝干坯 (kJ/kg 绝干坯)，按公式 (42) 计算：

$$Q_{yx} = Q_p + Q_{jg} \dots\dots\dots (43)$$

式中： Q_p ——水分蒸发和加热水分到最高温度时所需净耗热，单位为千焦每千克绝干坯 (kJ/kg 绝干坯)，按公式 (44) 计算：

$$Q_p = m_w (2490 + 1.93t_{pf}) - 4.1816(m_{sm}^w \times t_{sp} - m_{sp}^w \times t_{sm}) \dots\dots\dots (44)$$

Q_{jg} ——绝干坯体加热到最高温度时需净耗热，单位为千焦每千克绝干坯 (kJ/kg 绝干坯)，按公式 (45) 计算：

$$Q_{jg} = m_o \times c_p (t_{gf} - t_{gp}) \dots\dots\dots (45)$$

7.2 链式干燥器热效率 η_{rx} ，数值以%表示，按公式 (46) 计算：

$$\eta_{rx} = \frac{Q_{yx}}{Q_{gf} + Q_{qt} + Q_r + Q_x + Q_k - Q_{xf}} \times 100\% \dots\dots\dots (46)$$

7.3 干燥过程小时脱水量 m_{tw} ，单位为千克每小时 (kg/h)，按公式 (47) 计算：

$$m_{tw} = m_w \times m_o \dots\dots\dots (47)$$

7.4 脱千克水耗热 Q_{hr} ，单位为千焦每千克水 (kJ/kg · H₂O)，按公式 (48) 计算：

$$Q_{hr} = \frac{Q_{gf} + Q_{qt} + Q_r + Q_x + Q_k}{m_w} \dots\dots\dots (48)$$

7.5 热效率计算表

见表 4。

表 4 热效率表

序号	项目	数量	单位
1	有效热 Q_{yx}		千焦每千克绝干坯 (kJ/kg 绝干坯)
2	链式干燥器热效率 η_{rx}		
3	干燥过程小时脱水量 m_{tw}		千克每小时 (kg/h)
4	干燥过程脱千克水耗热 Q_{hr}		千焦每千克水 (kJ/kg · H ₂ O)

附录 A

(资料性附录)

符号的说明

表 A.1 符号的说明

序号	符号	说明	单位
1	A_{ci}	干燥器箱体底表面各测区表面积	平方米 (m^2)
2	A_{di}	干燥器箱体顶表面各测区表面积	
3	A_{gf}	供入热风管道测点处截面积	
4	A_i	各测区的表面积	
5	A_{lf}	开口泄漏热风有效面积	
6	A_{pf}	排湿孔测点处截面积	
7	A_{qi}	干燥器箱体侧表面各测区表面积	
8	A_{xf}	抽出循环风测点处截面积	
9	c_r	燃料的比热容	千焦每千克摄氏度 [kJ/($kg \cdot ^\circ C$)]
10	c_i	各种气体成分的比热容	
11	c_k	助燃空气的比热容	
12	c_f	辅助材料的比热容	
13	c_m	绝干模的比热容	
14	c_p	绝干坯体的比热容	
15	m_{fc}	每小时出干燥器辅助材料质量	
16	m_{fr}	每小时入干燥器辅助材料质量	
17	m_o	每小时通过干燥器的绝干坯体质量	
18	m_{tw}	干燥过程小时脱水量	

表 A.1 (续)

序号	符号	说明	单位
19	m'_o	绝干坯质量, 按 1kg 计	千克 (kg)
20	m_{gm}	出干燥器的干模质量	千克每千克绝干坯 (kg/kg 绝干坯)
21	m_{gp}	出干燥器的干坯体质量	
22	m_{sm}	入干燥器的湿模质量	
23	m_{sp}	入干燥器的湿坯体质量	
24	m_{fr}^o	辅助材料平均质量	
25	m_{gm}^o	出干燥器干模平均质量	
26	m_{gp}^o	出干燥器干坯体的平均质量	
27	m_{sm}^o	入干燥器湿模平均质量	
28	m_{sp}^o	入干燥器湿坯体的平均质量	
29	m_{sp}^w	湿坯体中所含水质量	千克每千克绝干坯 (kg/kg 绝干坯)
30	m_{sm}^w	湿模中所含水质量	
31	m_{mo}	绝干模质量	
32	m_w	干燥过程中脱水量	
33	m_{gm}^w	干模中所含水质量	千克每千克绝干坯 (kg/kg 绝干坯)
34	m_{gp}^w	干坯体中所含水质量	
35	m_r	燃料的消耗量	千克每千克产品或立方米每千克 产品 (kg/kg 产品或 m ³ /kg 产品)
36	n	干燥器小时产量	件每小时 (件/h)

表 A.1 (续)

序号	符号	说明	单位
37	p_{gd}	供入热风管测点处平均动压	帕斯卡 (Pa)
38	p_{gj}	供入热风管测点处平均静压头	
39	p_o	实测当地大气压强	
40	p_s	饱和水蒸气分压	
41	p_{xd}	抽出循环风管测点处平均动压	
42	p_{xj}	抽出循环风管测点处平均静压	帕斯卡 (Pa)
43	q_i	各测区的热流密度	瓦每平方米 (w/m^2)
44	Q_{bs}	干燥器箱体及体系内管道表面散热	千焦每千克绝干坯 (kJ/kg 绝干坯)
45	Q_{cs}	干燥器箱体底表面散热	
46	Q_{ds}	干燥器箱体顶表面散热	
47	Q_{fc}	辅助材料带出显热	
48	Q_{fr}	辅助材料带入显热	
49	Q_{gf}	供入热风带入热	
50	Q_{gm}	干模带出显热	
51	Q_{gp}	干坯体带出显热	
52	Q_{pf}	排湿孔排出热风带出显热	
53	Q_{qs}	干燥器箱体外侧表面散热	
54	Q_{qt}	其它热源带入热	
55	Q_{sm}	湿模带入显热	
56	Q_{sp}	湿坯体带入显热	

表 A.1 (续)

序号	符号	说明	单位
57	Q_{sr}	总热收入	千焦每千克绝干坯 (kJ/kg 绝干坯)
58	Q_{xf}	抽出循环风带出显热	
59	Q_{zc}	总热支出	
60	Q_{zf}	水分蒸发和加热水蒸气到排湿温度时耗热	
61	Q_{bj}	不可预计热损失	
62	Q_{jg}	绝干坯加热到最高温度时所需净耗热	
63	Q_{yx}	有效热	
64	Q_p	水分蒸发和加热水分到最高温度时所需净耗热	
65	Q_{lf}	开口处泄漏热风带出显热	
66	Q_{hr}	干燥过程脱千克水耗热	
67	Q_r	燃料燃烧的化学热	千焦每千克产品 (kJ/kg 产品)
68	Q_x	燃料带入的显热	
69	Q_k	助燃空气带入的显热	
70	Q_{DW}^Y	燃料收到基时的低位发热量	千焦每千克燃料或千焦每立方米 燃料 (kJ/kg 燃料或 kJ/m ³ 燃料)
71	t_{di}	干燥器箱体第 i 测区顶表面温度	摄氏度 (°C)
72	t_{du}	干燥器箱体顶表面测区内左测点温度	
73	t_{dy}	干燥器箱体顶表面测区内右测点温度	
74	t_{dz}	干燥器箱体顶表面测区内中测点温度	
75	t_{fc}	出干燥器时辅助材料温度	

表 A.1 (续)

序号	符号	说明	单位
76	t_{fr}	辅助材料入干燥器时的温度	摄氏度 (°C)
77	t_g	周围环境干球温度	
78	t_{gf}	供入热风温度	
79	t_{gm}	干模出干燥器时温度	
80	t_{gp}	干坯体出干燥器时温度	
81	t_{lr}	开口处泄漏热风温度	
82	t_{pf}	排湿孔排出热风温度	
83	t_{qi}	干燥器箱体第 i 测区侧表面温度	
84	t_{qs}	干燥器箱体侧墙测区内上测点温度	
85	t_{qx}	干燥器箱体侧墙测区内下测点温度	
86	t_{qz}	干燥器箱体侧墙测区内中测点温度	
87	t_{sm}	湿模入干燥器时的温度	
88	t_{sp}	湿坯体入干燥器时的温度	
89	t_s	周围环境湿球温度	
90	t_{xf}	抽出循环风温度	
91	t_{tm}	脱模坯温度	
92	t_h	环境温度	
93	t_k	助燃空气入干燥器温度	
94	t	工作状态下热风温度	
95	t_r	燃料入干燥器温度	

表 A.1 (续)

序号	符号	说明	单位
96	t_{ci}	干燥器箱体底表面平均温度	摄氏度 (°C)
97	t_{cu}	干燥器箱体底表面测区内左测点温度	
98	t_{cz}	干燥器箱体底表面测区内中测点温度	
99	t_{cy}	干燥器箱体底表面测区内右测点温度	
100	V_{gf}	供入热风的平均流量	立方米每千克绝干坯 (m ³ /kg 绝干坯)
101	V_{lf}	开口处泄漏热风的平均流量	
102	V_{pf}	排湿孔排出热风平均流量	
103	V_{xf}	抽出循环风的平均流量	
104	V_k	助燃空气量	立方米每千克产品 (m ³ /kg 产品)
105	I_{gf}	供入热风的热含量	千焦每千克干空气 (kJ/kg 干空气)
106	I_{lf}	开口处泄漏热风的热含量	
107	I_{pf}	排湿孔排出热风的热含量	
108	I_{xf}	抽出循环风的热含量	
109	W_{gm}	干模的含水率	
110	W_{gp}	干坯体的含水率	
111	W_{sm}	湿模含水率	
112	W_{sp}	湿坯体的含水率	
113	W_{tm}	脱膜坯含水率	
114	ρ_{gf}	供入热风密度	千克每平方米 (kg/m ²)
115	ρ_{lf}	开口处泄漏热风密度	

表 A.1 (续)

序号	符号	说明	单位
116	ρ_o	标态下气体密度	千克每平方米 (kg/m ²)
117	ρ_{pf}	排湿孔排出热风密度	
118	ρ_t	工作状态下气体密度	
119	ρ_{xf}	抽出循环风管中热风密度	
120	Φ	相对湿度	
121	α_{di}	干燥器箱体顶表面的综合传热系数	千焦每平方米小时摄氏度 [kJ/(m ² ·h·℃)]
122	α_{qi}	干燥器箱体侧表面的综合传热系数	
123	α_{ci}	干燥器箱体底表面的综合传热系数	
124	ε	箱体表面的黑度	
125	η_{rx}	链式干燥器热效率	
126	ω_{lf}	各开口处泄漏风风速	米每秒
127	ω_{pf}	排出风风速	(m/s)
128	X	工作状态下热风湿含量	千克水汽每千克干空气 (kg 水汽/kg 干空气)

附录 B

(资料性附录)

湿空气的相对湿度表

%

干球 温度计 温度 (℃)	干湿球温度计的温度差 (℃)																						
	0.6	1.1	1.7	2.2	2.8	3.3	3.9	4.4	5.0	5.6	6.1	6.7	7.2	7.8	8.3	8.9	9.4	10.0	10.6	11.1	11.7	12.2	12.8
23.9	96	91	87	82	78	74	70	66	63	59	55	51	48	44	41	38	34	31	28	25	22	—	—
24.4	96	91	87	83	78	74	70	67	63	59	55	52	48	45	42	38	35	32	29	26	23	—	—
25.0	96	91	87	83	79	75	71	67	63	60	56	52	49	46	42	39	36	33	30	27	24	—	—
25.6	96	91	87	83	79	75	71	67	64	60	57	53	50	46	43	40	37	34	31	28	25	—	—
26.1	96	91	87	83	79	75	71	68	64	60	57	54	50	47	44	41	37	34	31	29	26	—	—
27.7	96	91	87	83	79	76	72	68	64	61	57	54	51	47	44	41	38	35	32	29	27	24	21
27.8	96	92	88	84	80	76	72	69	65	62	58	55	52	49	46	43	40	37	34	31	28	25	23
28.9	96	92	88	84	80	77	73	70	66	63	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	30	27	25
30.0	96	92	88	85	81	77	73	70	66	63	60	57	54	51	48	45	42	39	37	34	31	29	26
31.1	96	92	88	85	81	78	74	71	68	64	61	58	55	52	48	46	43	41	38	35	33	30	28
32.2	96	92	89	85	81	78	75	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	42	39	37	34	32	29
33.3	96	92	89	85	82	78	75	72	69	65	62	59	57	54	51	48	45	43	40	38	35	33	30
34.4	96	93	89	86	82	79	75	72	69	66	63	60	57	54	52	49	46	44	41	39	36	34	32
35.6	96	93	89	86	82	79	76	73	70	67	64	61	58	55	53	50	47	45	42	40	37	35	33
36.7	96	93	89	86	83	79	76	73	70	67	64	61	59	56	53	51	48	46	43	41	39	36	34
37.8	96	93	90	86	83	80	77	74	71	68	65	62	59	57	54	52	49	47	44	42	40	37	35
38.9	96	93	90	86	83	80	77	74	71	68	66	63	60	57	55	52	50	47	45	43	41	38	36
40.1	96	93	90	86	84	80	77	74	72	69	66	63	61	58	56	53	51	48	46	44	41	39	37
41.1	96	93	90	87	84	81	78	75	72	69	66	64	61	59	56	54	51	49	47	45	42	40	38
42.2	96	93	90	87	84	81	78	75	72	70	67	64	62	59	57	54	52	50	47	45	43	41	39
43.3	97	94	90	87	84	81	78	76	73	70	67	65	62	60	57	55	53	50	48	46	44	42	40
44.4	97	94	90	87	84	82	79	76	73	70	68	66	63	60	58	56	53	51	49	47	45	43	41
45.6	97	94	91	88	85	82	79	76	74	71	68	66	63	61	59	56	54	52	50	48	45	43	41
46.7	97	94	91	88	85	82	79	77	74	71	69	66	64	61	59	57	55	52	50	48	46	44	42
47.8	97	94	91	88	85	82	79	77	74	72	69	67	64	61	60	57	55	53	51	49	47	45	43
48.9	97	94	91	88	85	82	80	77	74	72	69	67	65	62	60	58	56	54	51	49	47	46	44
50.0	97	94	91	88	85	83	80	77	75	72	70	67	65	63	61	58	56	54	52	50	48	46	44
51.1	97	94	91	88	86	83	80	78	75	73	70	68	65	63	61	59	57	55	53	51	49	47	45
52.2	97	94	91	89	86	83	81	78	75	73	71	68	66	64	62	59	57	55	53	51	49	47	46
53.3	97	94	91	89	86	83	81	78	76	73	71	69	66	64	62	60	58	56	54	52	50	48	46
54.4	97	94	92	89	86	84	81	78	76	74	71	69	67	65	62	60	58	56	54	52	50	49	47
55.6	97	94	92	89	86	84	81	79	76	74	72	69	67	65	63	61	59	57	55	53	51	49	47
56.7	97	94	92	89	86	84	81	79	76	74	72	70	67	66	63	61	59	57	55	53	51	50	48
57.8	97	94	92	89	87	84	82	79	77	74	73	70	68	66	64	61	59	58	56	54	52	50	49
58.9	97	94	92	89	87	84	82	79	77	75	73	70	68	66	64	61	60	58	56	54	52	51	49
60.0	97	94	92	89	87	84	82	79	77	75	73	70	68	66	64	62	60	58	56	54	52	51	49

附录 C

(资料性附录)

各类数据表

表 C.1 各温度下饱和水蒸气的密度及饱和水蒸气的分压

温度 ℃	饱和水蒸气密度×10 ³ kg/m ³ 湿空气	饱和水蒸气分压 Pa	温度 ℃	饱和水蒸气密度×10 ³ kg/m ³ 湿空气	饱和水蒸气分压 Pa
-15	1.39	165.1	45	65.42	9577.5
-10	2.14	259.7	50	82.94	12326
-5	3.24	400.9	55	104.28	15727
0	4.84	610.2	60	130.09	19903
5	6.80	871.8	65	161.05	24988
10	9.40	1227.0	70	197.95	31136
15	12.82	1702.1	75	241.65	38520
20	17.29	2826.3	80	292.99	47314
25	23.03	3165.2	85	353.23	57771
30	30.36	4240.2	90	428.07	70050
35	39.59	5919.3	95	504.11	84476
40	51.13	7371.4	100	588.17	101325

表 C.2 常用固体材料的密度及其比热容经验计算方式

名称	密度 kg/m ³	比热容 kJ/(kg·℃)
陶瓷制品	—	0.836+2.63×10 ⁻⁴ t
硅酸铝纤维毡	100~1300	0.8+2.93×10 ⁻⁴ t
矿渣物	300	0.89
普通粘土砖	1700~1800	0.8781
普通混凝土	2000~2200	0.8363
红砖	1800~1900	0.84+2.6×10 ⁻⁴ t
钢材	7700~7900	0.4600
各种木材	100~5600	2.508
橡胶	1300~1800	1.505
石膏	2300~2400	0.85

注：t 为各种材料的使用温度℃。

附录 D

(资料性附录)

管内气体密度计算方法

D.1 工作状态管内气体密度 ρ_t ，单位为千克每立方米 (kg/m^3)

$$\rho_t = 1.293 \times \frac{273}{273+t} \times \frac{p_0 + p_j}{101325} \times (1 + X) \dots\dots\dots (\text{D.1})$$

式中：

 ρ_t ——工作状态下风管内空气密度，单位为千克每立方米 (kg/m^3)； t ——实测风管内空气温度，单位为摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$)；

101325——标准大气压，单位为帕 (Pa)；

 p_0 ——实测当地大气压强，单位为帕 (Pa)； p_j ——工作状态下风管内静压头，单位为帕 (Pa)； X ——工作状态下风管内空气湿含量，单位为千克水汽每千克干空气 (kg 水汽/kg 干空气)；

$$X = 0.622 \times \frac{\varphi \times p_s}{p_0 - \varphi \times p_s} \dots\dots\dots (\text{D.2})$$

式中：

 φ ——在 $t^{\circ}\text{C}$ 时管内空气相对湿度，数值以%表示； p_s ——在 $t^{\circ}\text{C}$ 下饱和水蒸气分压，单位为帕 (Pa)，见附录 C 表 C.1。