

中华人民共和国能源行业标准

NB/T 10784—2021

太阳能干燥系统节能量和减排量
计算方法

Method for calculating energy saving and emission reduction
from solar drying system

（发布稿）

2021-11-16 发布

2022-02-16 实施

国家能源局 发布

目 次

前言.....II

1 范围.....1

2 规范性引用文件.....1

3 术语和定义.....1

4 符号和单位.....1

5 试验方法.....2

6 节能量计算方法.....4

7 减排量计算方法.....5

附录 A（资料性）节能量和减排量计算的取值和单位6

附录 B（资料性）湿空气饱和蒸气压7

附录 C（资料性）我国典型城市气象参数8

参考文献.....11

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》给出的规则起草。

本文件由中国农村能源行业协会和农业农村部农业生态与资源保护总站提出。

本文件由能源行业农村能源标准化技术委员会（NEA/TC8）归口。

本文件由中国农村能源行业协会太阳能热利用专业委员会负责组织起草。

本文件起草单位：云南师范大学国家太阳能热水器质量监督检验中心（昆明）、安徽春升新能源科技有限公司、芜湖贝斯特新能源开发有限公司、桑夏太阳能股份有限公司、汉诺威智慧能源科技(内蒙古)有限公司、河北道荣新能源科技有限公司、南京科之峰节能技术有限公司、山东阳光博士太阳能工程有限公司、江苏贝德莱特太阳能科技有限公司。

本文件主要起草人：高文峰、肖陶、刘永政、赵峰、栗世杰、薛道荣、方文朝、种阳、张同伟、贾铁鹰、陈昊、刘永岗、魏志敏。

太阳能干燥系统节能量和减排量计算方法

1 范围

本文件规定了太阳能干燥系统的试验方法、节能量计算方法和减排量计算方法。
本文件适用于太阳能干燥系统。

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 12936 太阳能热利用术语

GB/T 14095 农产品干燥技术 术语

GB T 19565 总辐射表

NB/T 10782-2021 太阳能热利用系统节能量和减排量标识规则

3 术语和定义

GB/T 12936、GB/T 14095和NB/T 10782-2021界定的术语和定义适用于本文件。

4 符号和单位

下列符号和单位适用于本文件。

A_c 集热器轮廓采光面积，单位为平方米（ m^2 ）；

D 空气流道直径，单位为米（ m ）；

d_a 环境空气湿含量，单位为千克每千克（ kg/kg ）；

d_e 排风湿含量，单位为千克每千克（ kg/kg ）；

d_h 热风湿含量，单位为千克每千克（ kg/kg ）；

EF_{CO_2} 二氧化碳排放系数，取值及单位参见附录 A；

EF_X 大气污染物 X（ SO_2 、 NO_x 、CO 和 PM）排放系数，取值及单位参见附录 A；

h_a 环境空气热焓量，单位为千焦每千克（ kJ/kg ）；

h_e 排风热焓量，单位为千焦每千克（ kJ/kg ）；

h_h 热风热焓量，单位为千焦每千克（ kJ/kg ）；

i 太阳能干燥系统测试期间数据采样次数， i 取 1,2,...,n；

j 太阳能干燥系统每年干燥次数， j 取 1,2,...,n；

M_{CO_2} 二氧化碳减排量，单位为千克每平方米年（ $kg/m^2 a$ ）；

M_X 大气污染物 X（ SO_2 、 NO_x 、CO 和 PM）减排量，单位为千克每平方米年（ $kg/m^2 a$ ）；

m_e	排风流量, 单位为千克每秒 (kg/s)
m_h	热风流量, 单位为千克每秒 (kg/s)
P_a	大气压力, 单位为千帕 (kPa);
$P_{s,a}$	环境温度下的湿空气饱和蒸汽压, 单位为千帕 (kPa), 取值参见附录 B;
$P_{s,e}$	排风温度下的湿空气饱和蒸汽压, 单位为千帕 (kPa), 取值参见附录 B;
$P_{s,h}$	热风温度下的湿空气饱和蒸汽压, 单位为千帕 (kPa), 取值参见附录 B;
Q_a	太阳能干燥系统单位集热面积年节能量, 单位参见附录 A;
Q_c	测试期间太阳能干燥系统辅助能源设备和系统运行 (如泵、阀、风机及控制系统等), 所使用的常规能源量, 单位为兆焦 (MJ);
Q_d	干燥耗热量, 单位为兆焦 (MJ);
Q_e	排风余热量, 单位为兆焦 (MJ);
Q_h	热风热量, 单位为兆焦 (MJ);
Q_s	太阳能干燥系统每个干燥期间单位面积节能量, 单位参见附录 A;
q	实际节省常规能源的热值, 单位参见附录 A;
Re	雷诺数, 无量纲;
RH_a	环境空气相对湿度, %;
RH_e	排风相对湿度, %;
RH_h	热风相对湿度, %;
t_a	环境温度, 单位为摄氏度 (°C);
t_e	排风温度, 单位为摄氏度 (°C);
t_h	热风温度, 单位为摄氏度 (°C);
η	辅助能源设备的运行效率, %;
ν	空气的运动粘度, 单位为平方米每秒 (m ² /s);
ρ	空气密度, 单位为千克每立方米 (kg/m ³);
v	流道中空气的平均风速, 单位为米每秒 (m/s);
$v_{\max}$	流道中空气的最大风速, 单位为米每秒 (m/s);
$\Delta\tau$	测试期间采样时间间隔, 单位为秒 (s)

5 试验方法

5.1 试验条件

5.1.1 测试期间太阳能干燥系统应正常运行, 干燥系统运行参数应调整到接近所干燥物料不同干燥阶段的典型参数, 且应在连续运行的状态下完成测试。

5.1.2 测试期间, 水平面上实测太阳辐照量日均值应不小于当地日平均太阳辐照量。当地日平均太阳辐照量可根据当地气象数据查得或参见附录 C。环境温度宜保持在 10℃~30℃, 相对湿度应低于 80%。

5.2 仪器设备

所用仪器设备在测量范围内的性能参数, 应符合表 1 的规定。

表1 仪器设备性能参数

参数	最大允许误差/准确度等级	其他
环境空气 热风 and 排风温度	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	响应时间小于5s
空气相对湿度	$\pm 3\%$	—
太阳总辐照度	1级	总辐射表应满足GB/T 19565的要求
电量	1.0级 互感器应不低于0.5级（如有）	—
长度	$\pm 1.0\%$	—
计时	$\pm 0.2\%$	—
质量	$\pm 1.0\%$	—
流量	$\pm 1.0\%$	—
气压	0.02%	—
记录	模拟或数字记录仪的准确度应不小于满量程的 $\pm 0.5\%$	时间常数应不小于1s, 信号的峰值指示应在满量程的50%~100%之间
	数字技术和电子积分器的准确度应等于或好于 测量值的1.0%	记录仪的输入阻抗应大于传感器阻抗的1000倍 或10 M Ω , 二者取其高值
注: “—” 为不适用		

5.3 试验步骤

5.3.1 太阳能干燥系统每个干燥期间，干燥耗热量测试步骤为：

- a) 干燥开始前，分别布置温度、湿度、流量和气压等传感器或设备，完成相应测量设备的调试；
- b) 开始干燥，记录开始时间；
- c) 测量并记录环境温度 t_a 、环境空气相对湿度 RH_a 、大气压力 P_a 、热风温度 t_h 、热风相对湿度 RH_h 、排风温度 t_e 、排风相对湿度 RH_e 、排风流量 m_e 和热风流量 m_h ，计算每个采样期间的平均值。采样间隔应不大于1h；
- d) 排风流量 m_e 和热风流量 m_h 可通过安装流量计直接测得，也可通过5.3.2的方法间接测量计算后得到；
- e) 测量并记录测试期间太阳能干燥系统辅助能源设备和系统运行（如泵、阀、风机及控制系统等），所使用的常规能源量 Q_c ；
- f) 干燥结束时，记录结束时间。

5.3.2 当以测量风速的方式获得流量时，风速传感器应布置于管道中部垂直于气流方向，测得管轴中心的最大风速 v_{max} ，同时还应计算或查得湿空气密度 ρ ，测量空气流道直径 D 。排风流量 m_e 和热风流量 m_h 按公式（1）计算。

$$m_{e,h} = \frac{\pi D^2}{4} \rho v \dots\dots\dots (1)$$

平均流速 v 与测得的最大流速 v_{max} 的比值按表 2 选取。

表 2 v/v_{max} 和雷诺数 Re 的关系

Re	$<4.0 \times 10^3$	$<2.3 \times 10^4$	$<1.1 \times 10^5$	$<1.1 \times 10^6$	$<2.2 \times 10^6$	$<3.2 \times 10^6$
v/v_{max}	0.5	0.7912	0.8073	0.8167	0.8497	0.8658

雷诺数 Re 按公式 (2) 计算。

$$Re = \frac{\nu D}{\nu} \dots\dots\dots(2)$$

6 节能计算方法

6.1 环境空气热焓量

环境空气湿含量按公式 (3) 计算, 环境空气热焓量按公式 (4) 计算。

$$d_a = \frac{622 \times RH_a \times P_{s,a}}{P_a - RH_a \times P_{s,a}} \dots\dots\dots(3)$$

$$h_a = 1.005 \times t_a + d_a \times (2501 + 1.86 \times t_a) \dots\dots\dots(4)$$

6.2 热风热焓量

热风湿含量按公式 (5) 计算, 热风热焓量按公式 (6) 计算。

$$d_h = \frac{622 \times RH_h \times P_{s,h}}{P_a - RH_h \times P_{s,h}} \dots\dots\dots(5)$$

$$h_h = 1.005 \times t_h + d_h \times (2501 + 1.86 \times t_h) \dots\dots\dots(6)$$

6.3 排风热焓量

排风湿含量按公式 (7) 计算, 排风热焓量按公式 (8) 计算。

$$d_e = \frac{622 \times RH_e \times P_{s,e}}{P_a - RH_e \times P_{s,e}} \dots\dots\dots(7)$$

$$h_e = 1.005 \times t_e + d_e \times (2501 + 1.86 \times t_e) \dots\dots\dots(8)$$

6.4 干燥耗热量

太阳能干燥系统干燥期间, 干燥耗热量按公式 (9) 计算。

$$Q_d = \frac{\sum_{i=1}^n (m_{h,i} \times h_{h,i} - m_{h,i} \times h_{a,i} - m_{e,i} \times h_{e,i}) \times \Delta \tau}{1000} \dots\dots\dots(9)$$

6.5 干燥期间单位面积节能量

太阳能干燥系统干燥期间, 单位面积节能量按公式 (10) 计算, 辅助能源设备的运行效率按表 3 选取。

$$Q_s = \frac{Q_d - Q_c}{q \times \eta \times A_c} \dots\dots\dots(10)$$

表 3 辅助能源设备的运行效率

辅助能源类型	运行效率
电	90%
天然气	90%
煤、生物质	70%
注：运行效率可根据实际情况进行修正。	

6.6 单位集热面积年节能量

太阳能干燥系统单位集热面积年节能量按公式（11）计算。

注：煤和生物质的节能量需折算成标煤，标煤低位发热量取29.307 MJ/kgce。

$$Q_a = \sum_{j=1}^n Q_{s,j} \dots\dots\dots(11)$$

7 减排量计算方法

- 7.1 根据实际节省常规能源的种类计算减排量，排放系数的取值和单位参见附录 A，并依据 NB/T 10782-2021 的规定在节能量和减排量标识中注明。
- 7.2 煤的 CO₂排放量按节省的标煤量计算，煤和生物质的大气污染物排放量按实际节省的燃料量计算。
- 7.3 电、天然气、煤的二氧化碳 CO₂减排量按公式（12）计算。

$$M_{CO_2} = Q_a \times EF_{CO_2} \dots\dots\dots(12)$$

- 7.4 煤和生物质的大气污染物（SO₂、NO_x、CO 和 PM）减排量按公式（13）计算。

$$M_x = \frac{Q_a \times EF_x}{1000} \dots\dots\dots(13)$$

附录 A
(资料性)
节能量和减排量计算的取值和单位

A.1 常规能源热值和节能量的单位

常规能源热值和太阳能热利用系统节能量的单位参见表 A.1。

表 A.1 常规能源热值和太阳能热利用系统节能量的单位

实际节省常规能源	q	Q _s	Q _a
电	3.6MJ/kWh	kWh/(m ²)	kWh/(m ² a)
天然气	36MJ/m ³	m ³ /(m ²)	m ³ /(m ² a)
煤	25MJ/kg	kgce/(m ²)	kgce/(m ² a)
生物质	16MJ/kg	kgce/(m ²)	kgce/(m ² a)
注：燃气、煤和生物质的热值可根据实际节省的种类选取。			

A.2 排放系数的单位及取值

二氧化碳及大气污染物排放系数的取值及单位参见表A.2。

表 A.2 二氧化碳及大气污染物排放系数的取值及单位

实际节省常规能源			排放系数					
			CO ₂	SO ₂ kg/t	NO _x kg/t	CO kg/t	PM ₁₀ kg/t	PM _{2.5} kg/t
电			0.75 kg/kWh	—	—	—	—	—
天然气	油田天然气		2.17 kg/m ³	—	(0.6~2.6) g/m ³	—	—	—
	气田天然气		1.98 kg/m ³					
煤	型煤综合		2.64 kg/kgce	6.8S _{t,d}	0.8	72.8	1.1	0.8
	无烟煤原煤			5.0S _{t,d}	1.1	69.9	2.2	1.4
	烟煤原煤			7.4S _{t,d}	1.6	140.1	13.5	10.8
	兰炭			3.8S _{t,d}	0.9	138.7		1.1
生物质	生物质锅炉	生物质燃料	0	0.70	2.79	6.22	1.12	0.95
	户用生物质 炉具	秸秆		1.32	0.62	95.30	7.05	6.56
		薪柴		0.40	0.97	29.00	3.48	3.24
		生物质成型燃料		0.40	1.07	8.25	1.24	0.67
		牲畜粪便		0.28	0.58	19.80	8.84	8.22

注 1：“—”为忽略不计，兰炭的 PM₁₀ 数据暂缺；

注 2：电和煤的 CO₂ 排放系数按《节能低碳技术推广管理暂行办法》附件 5 选取；

注 3：天然气的 CO₂ 排放系数按《节能低碳技术推广管理暂行办法》附件 5 和 GB/T 2589-2003 附录 A 换算；

注 4：煤的主要大气污染物排放系数按《民用煤大气污染物排放清单编制技术指南（试行）》附录 C 选取；

注 5：生物质的主要大气污染物排放系数按《生物质燃烧源大气污染物排放清单编制技术指南》表 5 和表 7 选取。

注 6：天然气的 NO_x 排放系数按 GB 25034-2020 附录 H 的排放等级限值计算得到，共分为 5 级，1 级 2.6g/m³，2 级 2.0 g/m³，3 级 1.5 g/m³，4 级 1.0 g/m³，5 级 0.6 g/m³，可依据燃烧设备的排放等级自行选取计算。

附 录 B
(资料性)
湿空气饱和蒸气压

湿空气饱和蒸气压参见表 B.1。

表 B.1 湿空气饱和蒸气压

t ℃	P _s kPa	t ℃	P _s kPa	t ℃	P _s kPa
-20	0.103	12	1.401	44	9.100
-18	0.125	14	1.597	46	10.085
-16	0.150	16	1.817	48	11.162
-14	0.181	18	2.062	50	12.335
-12	0.217	20	2.337	52	13.613
-10	0.259	22	2.642	54	15.002
-8	0.309	24	2.982	56	16.509
-6	0.368	26	3.360	58	18.146
-4	0.437	28	3.778	60	19.917
-2	0.517	30	4.241	65	25.010
0	0.611	32	4.753	70	31.160
2	0.705	34	5.318	75	38.550
4	0.813	36	5.940	80	47.360
6	0.935	38	6.624	85	57.800
8	1.072	40	7.376	90	70.110
10	1.227	42	8.198	—	—

附 录 C
(资料性)
我国典型城市气象参数

我国典型城市气象参数参见表 C.1。

表 C.1 我国典型城市气象参数表

城市名称	纬度	H_{ha} (MJ/m ² d)	H_{La} (MJ/m ² d)	H_{Lt} (MJ/m ² d)	T_a (°C)	S_y (h)	T_d (°C)	资源区
北 京	39° 56′	14.18	16.014	13.709	12.9	7.5	-2.7	III
上 海	31° 10′	12.3	12.904	11.437	16	5.5	6.2	III
天 津	39° 06′	14.106	15.804	12.61	13	7.2	-1.6	III
重 庆	29° 33′	8.669	8.552	3.531	18.3	3	9.3	IV
万 县	30° 46′	9.653	9.655	4.583	18	3.6	9.1	IV
沈 阳	41° 46′	13.091	14.98	11.437	8.6	7	-8.5	III
长 春	43° 54′	13.663	16.127	13.116	5.8	7.4	-12.8	III
哈尔滨	45° 45′	12.923	15.394	10.522	4.2	7.3	-15.6	III
二连浩特	43° 39′	17.28	21.012	18.15	4.1	9.1	-16.2	II
额济纳旗	41° 57′	17.884	21.501	17.39	8.9	9.6	-9.1	II
佳木斯	46° 49′	12.019	14.689	10.481	3.6	6.9	-15.5	III
伊金霍洛旗	39° 34′	15.438	17.973	16.991	6.3	8.7	-9.6	II
黑 河	50° 15′	12.732	16.253	11.34	0.4	7.6	-20.9	III
漠 河	52° 58′	12.935	17.147	10.361	-4.3	6.7	-28	III
太 原	37° 47′	14.394	15.815	13.701	10	7.1	-4.9	III
大 同	40° 06′	15.202	17.346	14.647	7.2	7.6	-8.9	II
侯 马	35° 39′	13.791	14.816	13.649	12.9	6.7	-2.3	III
济 南	36° 41′	13.167	14.455	13.854	14.9	7.1	1.1	III
烟 台	37° 32′	13.428	14.792	9.752	12.6	7.6	1.5	III
南 京	32° 00′	12.156	12.898	12.047	15.4	5.6	4.4	III
合 肥	31° 52′	11.272	11.873	10.927	15.4	5.4	4.5	IV
杭 州	30° 14′	11.117	11.621	10.425	16.5	5	6.8	IV
慈 溪	30° 16′	12.202	12.804	11.276	16.2	5.5	6.6	III
南 昌	28° 36′	11.792	12.158	10.609	17.5	5.2	7.8	III
赣 州	25° 51′	12.168	12.481	11.425	19.4	5	10.3	III

城市名称	纬度	H_{ha} (MJ/m ² d)	H_{La} (MJ/m ² d)	H_{Lt} (MJ/m ² d)	T_a (°C)	S_y (h)	T_d (°C)	资源区
福州	26° 05′	11.772	12.128	10.86	19.6	4.6	13.2	III
长沙	28° 14′	10.882	11.061	8.712	17.1	4.5	6.7	IV
武汉	30° 37′	11.466	11.869	9.404	16.5	5.5	6	IV
宜昌	30° 42′	10.628	10.852	7.833	16.6	4.4	6.7	IV
郑州	34° 43′	13.482	14.301	12.277	14.3	6.2	1.7	III
广州	23° 08′	11.216	11.513	13.355	22.2	4.6	15.3	IV
韶关	24° 48′	11.677	11.981	11.689	20.3	4.6	12.1	III
汕头	23° 24′	12.921	13.293	14.131	21.5	5.6	15.5	III
南宁	22° 49′	12.69	12.788	11.507	22.1	4.5	14.9	III
桂林	25° 20′	10.756	10.999	9.667	19	4.2	10.5	IV
贵阳	26° 35′	9.548	9.654	6.421	15.4	3.3	7.4	IV
威宁	26° 51′	12.793	13.492	12.293	10.4	5	3.4	III
遵义	27° 41′	8.797	8.685	4.825	15.3	3	6.7	IV
海口	20° 02′	12.912	13.018	10.792	24.1	5.9	19	III
三亚	18° 14′	16.627	16.956	15.36	25.8	7	22.1	II
成都	30° 40′	9.402	9.305	6.302	16.1	3	7.3	IV
乐山	29° 30′	9.448	9.372	4.702	17.2	3	8.7	IV
峨眉山	29° 31′	11.757	12.621	15.584	3.1	3.9	-3.5	III
绵阳	31° 28′	10.049	10.051	5.94	16.2	3.2	6.7	IV
南充	30° 48′	9.946	9.939	4.558	17.3	3.2	8	IV
泸州	28° 53′	8.807	8.77	3.612	17.7	3.2	9.1	IV
昆明	25° 01′	14.633	15.551	15.736	15.1	6.2	8.2	III
蒙自	23° 23′	14.621	15.247	15.23	18.6	6.1	12.3	III
景洪	22° 00′	15.17	15.768	14.356	22.3	6	16.5	II
腾冲	25° 01′	14.96	16.148	19.416	15.1	5.8	9	II
西安	34° 18′	11.878	12.303	10.2	13.5	4.7	0.7	III
银川	38° 29′	16.507	18.465	15.941	8.9	8.3	-6.7	II
兰州	36° 03′	14.322	15.135	10.696	9.8	6.9	-5.5	III
民勤	38° 38′	15.928	17.991	16.272	8.3	8.7	-7.9	II
敦煌	40° 09′	17.48	19.922	15.879	9.5	9.2	-7	II
西宁	36° 37′	15.636	17.336	16.816	6.5	7.6	-6.7	II

城市名称	纬度	H_{ha} (MJ/m ² d)	H_{La} (MJ/m ² d)	H_{Lt} (MJ/m ² d)	T_a (°C)	S_y (h)	T_d (°C)	资源区
玉树	33° 01′	15.797	17.439	19.926	3.2	7.1	-7.2	II
格尔木	36° 25′	19.238	21.785	20.91	5.5	8.7	-9.6	I
乌鲁木齐	43° 47′	13.884	15.726	7.692	6.9	7.3	-9.3	III
奇台	44° 01′	14.927	17.489	10.15	5.2	8.5	-13.2	II
伊宁	43° 57′	15.125	17.733	12.225	9	8.1	-5.8	II
阿勒泰	47° 44′	14.943	18.157	11.03	4.5	8.5	-14.1	II
吐鲁番	42° 56′	15.244	17.114	11.623	14.4	8.3	-7.2	II
哈密	42° 49′	17.229	20.238	16.222	10.1	9	-9	II
若羌	39° 02′	16.674	18.26	13.945	11.7	8.8	-6.2	II
库车	41° 48′	15.77	17.639	14.272	11.3	7.7	-6.1	II
喀什	39° 28′	15.522	16.911	11.957	11.9	7.7	-4.2	II
和田	37° 08′	15.707	17.032	14.512	12.5	7.3	-3.2	II
拉萨	29° 40′	19.843	22.022	25.025	8.2	8.6	-1.7	I
那曲	31° 29′	15.423	17.013	21.486	-1.2	8	-13.2	II
昌都	31° 09′	16.415	18.082	20.092	7.6	6.9	-2	II
注：相关数据来自 GB 50495。 H_{ha} ：水平面年平均日辐照量 (MJ/m ² d)； H_{La} ：当地纬度倾角平面年平均日辐照量 (MJ/m ² d)； H_{Lt} ：当地纬度倾角平面十二月的月平均日辐照量 (MJ/m ² d)； T_a ：年平均环境温度 (°C)； T_d ：十二月的月平均环境温度 (°C)； S_y ：年平均每日的日照小时数 (h)；								

参 考 文 献

- [1] GB 25034-2020 燃气采暖热水炉
 - [2] GB/T 2589-2008 综合能耗计算通则
 - [3] GB/T 26977 太阳能空气集热器热性能试验方法
 - [4] GB 50495 太阳能供热采暖工程技术标准
 - [5] NB/T 10158 空气源热泵果蔬干燥机
 - [6] 马兴灶. 粮食干燥水分在线解析与能效评价研究[D], 华南农业大学, 2016
 - [7] 国家发展改革委(发改环资[2014]19号)节能低碳技术推广管理暂行办法
 - [8] 环境保护部公告(2014年第92号)生物质燃烧源大气污染物排放清单编制技术指南(试行)
 - [9] 环境保护部公告(2016年第66号)民用煤大气污染物排放清单编制技术指南(试行)
 - [10] United States Environmental Protection Agency, Air Emissions Factors and Quantification. AP 42, fifth Edition, Volume 1 Chapter 1: External Combustion Sources
-