繊維工業に於ける

電熱乾燥の實際的計算 (2)*

会 員 井 本 二 郎**

目 次

1. 概 論	(第6号所載)
2. 電 熱 乾 燥	(")
3. 標準状態に於ける乾燥	(本号)
4. 實際の状態に稍近き乾燥	(")
5. 實際の状態に於ける乾燥	(")

(3) 標準状態に於ける乾燥

標準状態とは乾燥機の入口及び出口にて空氣が水蒸氣を以て完全に飽和された場合であつて、大氣が水蒸氣を以て完全に飽和されていることは甚だ稀であるから實際の場合には此等を考慮に入れて計算する必要がある。然し計算の順序と原理の概念を得るために乾燥機の入口及び出口に於て空氣が水蒸氣を以て完全に飽和されたものとして計算を進めるのが好都合である。

第 1 図

第1図は簡単な空氣乾燥装置を示すもので t_a なる溫度を有する空氣は送風機Fの吸氣管 R_1 から吸入せられ、加熱器は(茲では主として電熱器)にて加熱されて t_n なる溫度に上り、從て容積も V_{la} から V_{ln} に膨張して乾燥室Dに入り、乾燥

空の中で空氣の目方の水を吸収して溫度は t_n まで冷却され、從て容積も V_{ln} に收縮し、次に室外に排氣されるか又は送風機Fの吸氣側に接続されて循環するかの方法が取られる。此の時の空氣の重量は $1 + l_{da}$ 即ち w と $1 + l_{da}$ との和である。

以上の事から吾々は乾燥に於て次の條件を満たさねばならないことがわかる。

(1) 重量が1で含有水分 l_{da} の空氣が乾燥室の中で入口の溫度 t_h から出口の溫度 t_n 迄冷却する間に乾燥室に與える熱量は乾燥物の最初の溫度 t_n から t_s 迄に熱するから充分な熱及び水分 w を蒸發するに要する熱の合計に等しくなければならない。

(2) 空氣は出口の溫度 t_n では w の水と最初から有する l_{da} の水分を蒸氣の形で含有し得る溫度でなければならぬ。

今空氣の比熱を $r = 0.2375$

水蒸氣の比熱を $S = 0.475$

乾燥室で利用される熱量を珎カロリーで示したものを C_n とすると

$$(l_r + l_{da}S)(t_h - t_n) = C_n \dots\dots\dots (1)$$

$$l(d_n - d_a) = W \dots\dots\dots (2)$$

後者は又

$$l = \frac{W}{d_n - d_a} \dots\dots\dots (3)$$

脚註 * Practical calculation of electric air heating at textile factory (2)

** Niro Imoto, member 共立電機株式会社々長

これを(1)式に代入し r 及び S の値を入れると

$$\frac{t_1 - t_n}{d_1 - d_1} = W(0.237.5 + d_1 0.475) \quad (4)$$

この式中下のものは既知である。

W = 蒸発すべき水の量

t_n = 物品の堪へ得る限り昇すべき加熱空中の最高温度

d_a = 外氣 1 kg 中に含まれる水蒸氣の量

次に C_n は乾燥機で空氣の放出すべき熱量を珓加里で表したものでこれが水を蒸発するに必要な熱量である。即ち乾燥機の有効熱量である。これは乾燥物を t_n から t_a の温度に上昇するに必要な熱量と W の水をこの物体から蒸発するに要する熱量との和である。然し乾燥物自身の温度を上げるに要する熱量の多くの場合計算せずとも差支へはない。

さて蒸発さるべき水は初温 t_u (後の計算及び例は凡でて 15° としてある) 出口温度 t_n に熱せられる可きであつてこれに要する熱量は

$W(t_u - t_n)$ 珓カリリーである。

温度 t_n の水 1 kg を蒸発するには

$640 - t_u$ 珓カリリーを潜熱(潜熱の値は精密に云えば多少相違している。

Griffith の式では $L = 696.73 - 0.601t$

Begnault の式では $L = 606.5 - 0.695t$

で示されているが本計算では簡單にこの値を取る)として與えねばならぬ。故に結局水を蒸発するに必要な熱量は

$$C_n = w(t_u - t_n) + W(640 - t_u) \dots\dots\dots (5)$$

$$C_n = W(640 - t_u)$$

である。

さて(4)式を見ると未知量は t_n と d_n 即ち出口の温度と乾燥機より排出される空氣中の水の割合との二つである。

出口に於ける空氣が水蒸氣で飽和されたと假定すると t_n と d_n の間には一定の関係がある、即ち種々の温度 t_n に対する水の量は第2表にて見出すことが出来る。

(4)式中の未知量 t_n と d_1 とを見出すためには既知量を数字で置き代へ試算で求める。即ちある t_n を定めると第2表からこれに相当する d_n が知れる。この値を式に代入して式の両辺が等しくなる迄繰返す。

この方法で空氣の出口に於ける温度 t_n 從て合

第 二 表

氣立方米の压力及重量及空氣中の含水重量表
飽和蒸氣一及乾燥室 (10°C に於ける)

列の 番号	事 項		單位	数 量	
1	溫度	t	度(C)	10	
2	飽和蒸氣一立方 米の重量	Kd	珓	0.00951	
3	飽和蒸氣の压力	qd	耗	9.16	
4	蒸氣压力を除き たる後の空氣の みの部分の压力	ql	1140	耗	1130.84
5			780	〃	770.84
6			760	〃	750.84
7			740	〃	730.84
8			500	〃	490.84
9			250	〃	240.84
10	乾燥空氣一立方 米の重量	Kl	1140	珓	1.854
11			780	〃	1.2642
12			760	〃	1.2333
13			740	〃	1.1987
14			500	〃	0.805
15			250	〃	0.395
16	乾燥空氣一珓中 に含み得る飽和 蒸氣の重量	d	1140	〃	0.00513
17			780	〃	0.00752
18			760	〃	0.00771
19			740	〃	0.00795
20			500	〃	0.0118
21			250	〃	0.0240

有水量 d_n が決定すると W の水を蒸発するに要する空氣の重量 1 は(3)式から求めることが出来る。

重量 1 なる空氣とその中に含まれる濕氣を其初温 t_a より最高温度 t_n 迄熱するに要する熱量 C_g は

$$C_g = 1(0.2375 + d_a 0.475)(t_n - t_a) \dots\dots (6)$$

W を毎時間の水分蒸発量にとれば C_n 及 C_g を 860 で割つたものは $K.W.$ で示した出力及び入力である。これを夫々 P_u , P_g とせば

$$P = \frac{C_n}{860} \dots\dots\dots (7)$$

$$P_g = \frac{C_g}{860} \dots\dots\dots (8)$$

理論能率は

$$\eta = \frac{P_n}{P_g} = \frac{C_n}{C_g} \dots\dots\dots (9)$$

である。

次に種々の温度に於ける空氣の容積を見出さねばならぬ。乾燥室に入る空氣の量が出る空氣の量に等し、而もこの場合大氣温度 t_a のとき及出口

第3表 飽和水蒸気及乾燥空氣一立方米ノ圧力及重量及空氣一疋中ニ含有シ得ル水ノ重量表

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
溫	飽一ノ 和立重 蒸方置 氣米	飽ノ 和圧力 蒸力 氣	蒸氣 ヲ除 後ノ 氣ノ 部分 圧力 ql						乾 一 立 方 米 ノ 重 量 kl						乾 一 立 方 米 中 ニ 含 有 シ 得 ル 水 ノ 重 量 dl						溫
度	kd	qd	1140	780	760	740	500	250	1140	780	760	740	500	250	1140	780	760	740	500	250	度
°C	疋	耗	耗	耗	耗	耗	耗	耗	疋	疋	疋	耗	疋	疋	疋	疋	疋	疋		疋	°C
-20	0.00106	0.927	1139.00	779.00	759.00	739.00	499.07	249.07	2.084	1.4256	1.3646	0.9100	1.3524	0.4550	0.00050	0.007743	0.000763	0.000788	0.03165	0.00233	-20
-15	0.00157	1.400	1138.60	778.60	758.60	738.60	498.60	248.60	2.049	1.4015	1.3668	0.8974	1.3294	0.4470	0.00076	0.001120	0.001150	0.001180	0.03175	0.00351	-15
-10	0.00230	2.093	1138.38	778.00	758.00	738.00	497.90	247.90	2.008	1.3739	1.3398	0.8770	1.3033	0.4380	0.00115	0.001670	0.001720	0.001760	0.03262	0.00525	-10
-5	0.00330	3.113	1136.90	776.90	756.90	736.90	496.88	246.89	1.978	1.3318	1.3128	0.8620	1.2823	0.4290	0.00169	0.002480	0.002540	0.002610	0.00386	0.00780	-5
0	0.00496	4.600	1135.40	775.40	755.40	735.40	495.40	245.40	1.930	1.3181	1.2862	0.8420	1.2502	0.4170	0.00257	0.003760	0.003670	0.003960	0.00584	0.01190	0
5	0.00696	6.530	1133.47	773.47	753.47	733.47	498.47	243.47	1.894	1.2925	1.2599	0.8225	1.2257	0.4070	0.00367	0.005380	0.005530	0.005660	0.00846	0.01710	5
10	0.00950	9.160	1130.84	770.84	750.84	730.84	490.84	240.84	1.854	1.2642	1.2333	0.8030	1.1687	0.3950	0.00513	0.007520	0.007710	0.007950	0.01180	0.02400	10
15	0.01298	12.700	1127.03	767.00	747.30	727.30	487.30	237.30	1.815	1.2354	1.2061	0.7850	1.1709	0.3820	0.00709	0.010500	0.010800	0.011000	0.01650	0.03400	15
20	0.01753	17.390	1122.60	762.61	742.67	722.61	482.61	232.60	1.779	1.2087	1.1178	0.7650	1.1543	0.3780	0.00931	0.014500	0.014800	0.015300	0.02250	0.04640	20
25	0.02312	23.550	1116.50	756.49	736.46	716.46	476.45	226.45	1.735	1.1755	1.1487	0.7400	1.1134	0.3520	0.01340	0.019700	0.020200	0.020700	0.03120	0.06560	25
30	0.03000	31.550	1108.50	748.45	728.45	708.45	468.45	218.45	1.699	1.1423	1.1174	0.7180	1.0861	0.3350	0.01810	0.026960	0.027500	0.028300	0.04250	0.09190	30
35	0.03970	41.830	1098.20	738.17	718.17	698.17	458.17	208.17	1.658	1.1146	1.0838	0.6920	1.0543	0.3140	0.02390	0.035600	0.036600	0.037000	0.05730	0.12640	35
40	0.05120	54.910	1085.10	725.09	705.09	685.09	445.09	195.09	1.610	1.0760	1.0471	0.6600	1.0207	0.2870	0.03180	0.047600	0.048900	0.050100	0.07760	0.17840	40
45	0.09570	71.400	1068.60	708.60	688.60	668.60	428.60	178.60	1.560	1.0346	1.0065	0.6260	0.9751	0.2610	0.04210	0.063500	0.065300	0.067300	0.10190	0.25170	45
50	0.08340	91.980	1049.00	688.02	668.02	648.02	408.02	158.02	1.508	0.9394	0.9613	0.5860	0.9318	0.2270	0.05530	0.084300	0.086800	0.089500	0.14230	0.36740	50
55	0.10450	117.980	1022.50	662.52	642.52	622.52	382.52	102.52	1.444	0.9355	0.9150	0.5390	0.8797	0.1870	0.07230	0.111700	0.115200	0.118500	0.19390	0.55880	55
60	0.13110	148.790	991.20	631.21	611.21	591.21	351.21	101.21	1.378	0.8774	0.8530	0.4880	0.8219	0.1410	0.09150	0.149500	0.154000	0.159000	0.26850	0.93000	60
65	0.16230	186.940	953.10	593.06	570.35	553.06	313.06	163.06	1.311	0.8156	0.7880	0.4300	0.7605	0.0867	0.12390	0.198900	0.206000	0.213000	0.37740	1.87700	65
70	0.19920	233.090	897.00	546.91	526.91	506.91	266.91	16.91	1.211	0.7383	0.7140	0.3600	0.6844	0.0228	1.06140	0.269600	0.275900	0.291500	0.53300	8.73700	70
75	0.24400	298.500	851.50	491.50	471.50	451.50	211.50	—	1.133	0.6562	0.6297	0.8220	0.6027	—	0.21530	0.371800	0.387000	0.405000	0.86500	—	75
80	0.29580	354.640	785.40	425.56	405.56	385.56	145.39	—	1.033	0.5600	0.5340	0.1910	0.5018	—	0.28600	0.528210	0.554000	0.589000	1.54800	—	80
85	0.35470	433.040	707.00	346.96	326.96	306.96	66.96	—	0.919	0.4510	0.4243	0.0870	0.3991	—	0.38800	0.792400	0.840000	0.894000	4.10800	—	85
90	0.42800	525.450	614.50	254.55	234.55	214.55	—	—	0.784	0.3248	0.3003	—	0.2747	—	0.54600	1.317700	1.430000	1.557000	—	—	90
95	0.51100	633.750	506.25	146.25	126.52	106.25	—	—	0.638	0.1846	0.1595	—	0.1340	—	0.80090	2.768100	3.211000	3.813000	—	—	95
100	0.60600	760.000	380.00	20.00	0	—	—	—	0.473	0.0249	0	—	—	—	1.28100	24.337300	—	—	—	—	100

t_n のとき常に蒸気で飽和されている。然し二つの場合には空気の圧力に差がある。この差は大気圧と空気中の飽和蒸気の圧力の差に相当する。

故に重量 1 の空気容積 V_{1a} 及 V_{1n} を見出すにはこの温度及び圧力（大気圧より蒸気圧を引いたもの）に於ける乾燥空気 1 m³ の重量（第 3 表）を以て 1 を割ればよい

$$V_{1a} = \frac{1}{k_a} \quad V_{1n} = \frac{1}{k_n} \dots \dots \dots (10)$$

加熱空を出る時の状態に於ける容積は稍異なる方による。此の熱氣中では水蒸気は最早飽和でないから他の法則に従ふ。高温度では過熱蒸気は飽和の時より圧力が低い、即ち永久瓦斯の性質に近づく、然し其の凝縮点の附近即ち今考へて居る問題の範囲では其の方則は未だ明かでない。然し実際問題としては所謂永久瓦斯として取扱つて大なる誤差がない。

蒸気は空中に於て拡散するものである。今拡散の状態を考へて見ると各々の瓦斯が重量、圧力及容積を同一として相隣れる空間に薄膜で仕切られて別々に存在するものとす。この場合各々空間の容積の和は拡散後即ち混合後に占める容積に等しい、これを換言すれば別々の場合に氣圧が 760 mm であれば、混合瓦斯になつた後にも容積が前二者の和で温度も変らない限り 760 mm である。だから空気と蒸気との混合物の容積を見出すには單に二つの容積を加えればよい。

或温度及び圧力の下に於ける乾燥空気及過熱蒸気のある重量に対する容積は Mariott の式から見出すことが出来る。

$$\frac{V_1 P_1}{273+t} = R \text{ 及 } \frac{V_d P_d}{273+t} = R \dots \dots \dots (11)$$

V_1, V_d は空気及蒸気 1 kg の容積

R は種々の瓦斯の種類によりて定つた常数である。

空氣に対しては 29.27

過熱蒸氣に対しては 46.83 (G, Schmidt) による。

結局温度 t_h に於て熱空氣と蒸気と混合物の容積を計算するには下記の公式を用いる。

$$V_{1h} = 1 \left[\frac{273+t_h}{P} (29.27 + d_a 46.83) \right]$$

これらの値を計算して第 1 表に示した。(計算实例)

水 100 kg を空氣中で乾燥するに最高温度 t_h が

100° 迄許さるゝとし大氣及出口に於ける空氣が共に水蒸氣にて飽和せるものとす。但し大氣圧 760 mm 大氣温度 20°C

○ t_n 及 d_n

$$(7) \text{ 式 } \frac{t_h - t_n}{d_n - d_a} = \frac{C_n}{W(0.2375 + d_a 0.475)}$$

に於て

$$t_h = 100^\circ \quad t_a = 20^\circ \quad W = 100$$

$$t_u \text{ (乾燥すべき物体及水の温度)} = 15^\circ$$

$$\therefore C_n = (640 - 15)100 = 62500 \text{ kcal}$$

この値を前式に入れて

$$\frac{100 - t_n}{d_n - 0.0148} = \frac{62500}{100(0.2375 + 0.0148 \times 0.475)}$$

又は

$$\frac{100 - t_n}{d_n - 0.0148} = 2556.2$$

第 2 表により種々の温度 t_n とそれに対する d_n の値を式に代入し両辺の等しくなる迄やつてみると

$$t_n = 36.4^\circ \text{C 及 } d_n = 0.0396 \text{ を得}$$

即ち

$$\frac{100 - 36.40}{0.0396 - 0.0148} = 2560 \text{ (第 1 表)}$$

○ 1 (空氣重量)

第 3 式より

$$1 = \frac{W}{d_n - d_a} = \frac{100}{0.0396 - 0.0148} = 4030 \text{ Kg}$$

(第 1 表)

○ l_{da}

1 kg の空氣中には最初 d_a 即ち 0.0148 kg の蒸氣があるから 4030 kg の空氣中には

$$l_{da} = 4030 \times 0.0148 = 60 \text{ kg の水蒸氣がある。}$$

(第 1 表)

○ 空氣の諸量

V_{1a} 及 V_{1n} は所要空氣重量 1 を 20° 及 36.4° に於ける乾燥空氣 1 m³ の重量(第 3 表)で割ればよい。

$$20^\circ \text{C では } V_{1a} = \frac{4030}{1.177} = 3420 \text{ m}^3$$

$$36.25^\circ \text{C では } V_{1n} = \frac{4030}{1.071} = 3750 \text{ m}^3$$

V_{1h} なる加熱空氣の容積は第 (11) 式から

$$V_{1h} = 1 \left[\frac{273+t_h}{P} (29.27 + 46.83 \times d_a) \right]$$

式中 $P = 10.336 \text{ kg}$

$$t_h = 100^\circ$$

$$l=4030\text{kg}$$

$$l_{da}=60.0\text{kg}$$

$$V_{lh} = \frac{273+100}{10.336} (29.27 \times 4030 + 60.0 \times 46.83) = 4350\text{m}^3$$

○ C_g

第(9)式 $C_g = (0.2375l + l_{da}0.475)(t_{li} - t_a)$ にて

$$l=4030\text{kg}$$

$$l_{da}=60.0$$

$$t_n=100^\circ$$

$$t_a=20^\circ$$

$$\dot{C}_g = (4030 \times 0.2375 + 60 \times 0.475)$$

$$(100-20) = 78600\text{kcal} \text{ (第1表)}$$

電力量は

(第8)式より

$$P_g = \frac{C_g}{860} = \frac{78600}{860} = 91\text{ KWH} \text{ (第1表)}$$

もし蒸発量が 1 kg に蒸発するものとせばこの電力量の数字をこのまゝキロワットとすれば電熱器の容量となる。

○ η

C_r C_g との比であるから

$$\eta = \frac{62500}{78600} = 79.5\%$$

最も理論的で 79.5% にすぎないことが分る (第1表)

第1表は外気が -20° から 30° 迄計算してあるから普通の状態はこの範囲内に含まれて居るこの計算及今後の凡ての計算では乾燥物の初温をすべて 15° に取つて計算してあるが乾燥物の種類と状態により外気温度 t_a に等しく取つた方がよい事がある。但し零度以下の場合は普通水として存立しないから零度以下の場合 $t_u=0$ としそれ以上では $t_u=a$ とし計算するのが至当であらう。

100kg の水を 1hr に蒸発するものとして計算した電熱器容量及能率の値を図示したものは第1図である。

第1表及第3図を見て次の事柄を知る。

1 空気を加熱すべき温度 t_h を昇すに従つて空気加熱に要する電熱器の容量が急激に減少する加熱が極めて僅かの場合には 100kg の水を乾燥するに要する熱量 C_g (又は容量) は非常に大きく実際水を蒸発するに要する理論的熱量 C_n の二倍乃至三倍となる。

2 外部温度が低くなれば所要熱量(又は容量)は激増せなければならぬ。空気の寒冷程 100 度の水を蒸発するに要する電熱器の容量は増して来る。

又乾燥室に送り込むべき空気の量は温度の上るに随つて増加する。

3 乾燥器中の最大温度を同一にし大気が常に蒸気で飽和されて居るとすれば外気の温度が低い程空気が少くてよい。然し冷却した空気の少量は熱した空気の多量よりも多くの熱量が入要である。

以上の事によつて次の重要な乾燥の法則を得る。

1 熱空気に乾燥室に入る前に乾燥すべき物体の性質上堪へ得る丈け高温にして置かねばならぬ。

2 加熱面又は(電熱器の容量)は最も寒い日にも不足ならざる様な太さを與へて置かねばならぬ。

3 空気を循環させる爲の送風機及通風路は最も暑い日に要する多量の空気を運ぶに充分な丈け大きくなければならぬ。

第 3 図

故に寒い日に加熱面が充分あれば送風機は大に過ぎるからその全容量以下で運転せねばならぬし暑い日には送風機が充分で加熱面又は(電熱容量)が大すぎるから一部分のみを働かさねばならぬ。

空氣の所要重量に対する容積は随分変化する。而して入口で最小であり加熱室を出た所で最大である。而して乾燥室を出たときが中間の値を有して居る。

乾燥機中どの部分でも空氣の速度があまり大きくならない爲に通風路も機械の断面積も各々の空氣の容積によつて一定速度のにするがよい。空氣を機械で動かす場合には少容量の空氣を動かすのが一番便利である。だから加熱室の前に送風機を置くのがよい。もしそれが都合悪ければ出口に置くがよい、加熱室の出口に置くのは最も拙劣な方法である。

海面では氣圧は 740mm からの間で変化する第 1 表は水銀柱 760mm の時のみ計算してあるが、これは水銀柱で 20mm と云ふ様な比較的大きな変化でも所要空氣の重量及容積には大した影響を及ぼさず従つて表中の数字には殆ど現れないからである。併し、更に高い圧力では幾分の影響はある。即ち他の状態が同一でも圧力が高ければ空氣の量は少く従つて乾燥費は小額にて済む。圧力が低ければ一定の水を蒸発するに空氣も多量を要することになる。然し何れの場合もそれに基因する利害は極めて僅少である。

次に乾燥室内の圧力が大氣圧と著しく異なる時は上の結果と反対になる。即ち圧力の低い方が利益である。

(4) 實際の状態に稍近き乾燥

(乾燥機の入口に於ては空氣が水蒸氣を以て完全に飽和せるも出口に於て飽和せざる場合)

今迄は空氣が入口及出口に於て水蒸氣により完全に飽和されて居る場合を考へたが、本節では實際の状態に稍近き場合即ち出口に於て完全に飽和せざる場合を考へて見やう。

先づ空氣が含有し得る水分量の 4 分ノ 3, 2 分ノ 1, 又は 4 分ノ 1 なる場合の値は第 3 表から容易に求めることが出来る。

空氣の飽和度が減少すれば空氣中の水蒸氣の圧力が減少する。而して氣圧計の指度は空氣と蒸氣

圧力の和であるから單位容積中の空氣の量は増加する。

第 4 表は本節の計算を便にせんために造つたものである。

表の説明

○本表には 4 分ノ 3, 2 分ノ 1, 4 分ノ 1 飽和に対する空氣 1m³ 中の水分の重量が與えてある。

○是等の数字は氣圧の変化による差が僅少であるから 760mm のものを與へてある。

○第 2 列, 第 7 列, 第 12 列は各 4 分ノ 3, 2 分ノ 1, 4 分ノ 1 飽和に於ける水蒸氣 1m³ の重量が與えてある。是等は第 3 表第 2 列にある数字の 4 分ノ 3, 2 分ノ 1 又は 4 分ノ 1 である。

○第 3 列, 第 8 列, 第 13 列は此の蒸氣の圧力が與へてある。

不完全飽和の蒸氣は過熱蒸氣と見做してよいから (14) 式

$$\frac{V_d P_d}{273+t} = R$$

を用ひて算出してある、こゝで R=46.83 この中 V_d 1kg ではの容積であるから

$$V_d = \frac{1}{K_d}$$

の関係がある。

又水銀柱で測つた絶対圧力 q_d に於ける圧力を q_d kg/m² とすると

$$P_d' = \frac{P_{qd}}{760} \frac{10336}{760} q_d$$

式中 P 即ち大氣圧は毎平方 m 10336kg である。

故に (11) 式は

$$\frac{\frac{1}{K_d} \frac{10336}{760} q_d}{273+t} = R$$

故に空氣中の不飽和蒸氣の圧力は

$$q_d = \frac{46.83(373+t)k_d}{10336} \quad \dots\dots\dots (12)$$

(例) -20°C 50% 飽和の場合水銀柱で表した水蒸氣の圧力は

$$q_d = \frac{46.83(273-20)0.00053 \times 760}{10336} = 0.462\text{mm}$$

○第 4 列, 第 9 列, 第 14 列は大氣圧に於ける大氣圧 760mm と蒸氣圧 q_d との差即ち空氣の圧力である。

(例) 前項の例で空氣の圧力は

第4表 3/4 1/2 1/4 飽和ニ於ケル不飽和蒸氣及コレニ附随シ來ル乾燥空氣ノ圧力及重單及空氣 1 kg 中に含マルル飽和水蒸氣ノ重單表

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
溫 度 t	一ノ重 立水蒸 方米氣 中ノ	蒸 氣 ノ 圧 力	空 氣 ノ 出 力	一ノノ 立乾重 方米燥 中空氣	空米氣 中一ノ 立水蒸	一ノ重 立水蒸 方米氣 中ノ	蒸 氣 ノ 圧 力	空 氣 の 圧 力	一ノノ 立乾重 方米燥 中空氣	空米氣 中一ノ 立水蒸	一ノ重 立水蒸 方米氣 中ノ	蒸 氣 ノ 圧 力	空 氣 ノ 圧 力	一ノノ 立乾重 方米燥 中空氣	空米氣 中一ノ 立水蒸
°C	kg	mm	mm	kg	kg	kg	mm	mm	kg	kg	kg	mm	mm	kg	kg
-20	0.00080	0.697	759.3	1.390	0.000576	0.00053	0.462	759.5	1.392	0.000381	0.00207	0.235	759.8	1.393	0.000194
-15	0.00118	1.048	758.95	1.364	0.000365	0.00079	0.702	759.3	1.367	0.000578	0.00039	0.346	759.7	1.367	0.000285
-10	0.00173	1.567	758.43	1.339	0.001293	0.00115	1.042	758.9	1.340	0.000858	0.00058	6.525	759.5	1.340	0.000433
-5	0.00263	2.427	757.57	1.320	0.001993	0.00175	1.615	758.9	1.313	0.001332	0.00088	0.812	759.2	1.314	0.000669
0	0.00372	3.497	756.50	1.286	0.002192	0.00248	2.331	757.7	1.288	0.001925	0.00124	1.166	758.8	1.290	0.000693
5	0.00522	4.994	755.00	1.261	0.004135	0.00348	3.331	756.6	1.265	0.002750	0.00174	1.665	758.3	1.267	0.001373
10	0.00713	6.948	753.05	1.237	0.005700	0.00476	4.638	755.4	1.240	0.003840	0.00238	2.319	757.7	1.247	0.001914
15	0.00974	9.659	750.34	1.211	0.008025	0.00649	6.430	753.6	1.214	0.005340	0.00325	3.223	756.8	1.220	0.002663
20	0.01315	13.26	746.74	1.185	0.011100	0.00877	8.848	751.2	1.190	0.007370	0.00440	4.439	755.6	1.198	0.003710
25	0.01734	17.82	742.20	1.156	0.015000	0.01156	11.863	748.1	1.165	0.009920	0.00580	5.952	754.0	1.175	0.004950
30	0.0231	24.31	737.90	1.127	0.020480	0.0154	16.067	743.9	1.139	0.013500	0.00770	8.034	752.0	1.152	0.006680
35	0.0298	31.64	728.40	1.097	0.027150	0.0199	21.105	738.9	1.113	0.017850	0.00990	10.500	749.5	1.129	0.008780
40	0.0384	41.33	718.60	1.065	0.036060	0.0256	27.602	732.4	1.086	0.024360	0.01280	13.796	746.2	1.106	0.011540
45	0.0498	53.82	706.20	1.031	0.047800	0.0329	36.025	724.0	1.057	0.031100	0.01640	17.958	742.1	1.082	0.015150
50	0.0626	69.63	690.37	0.993	0.060000	0.0417	46.379	713.7	1.025	0.040700	0.02090	23.245	736.8	1.058	0.019770
55	0.0784	88.5	671.50	0.950	0.082550	0.0523	59.068	700.9	0.992	0.052750	0.02610	29.478	730.5	1.033	0.025250
60	0.0983	112.6	640.40	0.903	0.108850	0.0656	75.221	684.8	0.955	0.068750	0.03280	37.610	722.4	1.007	0.032580
65	0.1217	141.7	618.30	0.849	0.143350	0.0812	94.508	665.5	0.914	0.088800	0.04060	47.253	712.7	0.980	0.041400
70	0.1494	176.4	583.60	0.790	0.189250	0.0996	117.637	642.4	0.870	0.114300	0.04980	58.818	701.2	0.948	0.052600
75	0.1830	219.2	540.80	0.721	0.253700	0.12200	146.193	613.8	0.819	0.148850	0.06100	73.066	686.9	0.915	0.066700
80	0.2219	269.5	490.50	0.645	0.344000	0.1479	179.773	580.2	0.763	0.193700	0.07400	89.948	670.1	0.880	0.084150
85	0.2681	330.1	429.90	0.558	0.481500	0.1787	220.292	539.4	0.700	0.255300	0.08940	110.207	649.1	0.842	0.106200
90	0.3210	401.7	358.30	0.458	0.708000	0.2140	267.490	492.5	0.630	0.340000	0.10700	133.745	626.3	0.802	0.133500
95	0.3833	485.0	275.00	0.347	1.103500	0.2560	324.396	435.6	0.549	0.466500	0.12800	162.198	597.8	0.754	0.169500
100	0.4545	583.5	176.50	0.220	2.065000	0.3030	389.170	370.8	0.462	0.656000	0.15150	194.587	565.4	0.704	0.215300

第 5 表 ノ 1

水 100kg を蒸発スル空氣の重量容積及熱ノ所要量及能率表

氣圧 760mm ニ於ケル

(外氣4/4飽和 排氣3/4飽和)

(1) ……Cノ計算ハ (640-tu100)ニ依ル 但シ tu=15

(2) ……本計算ハ凡テ理論上ノモノヲ示スモノナリ

1	2.	3	4	5	6	7	8	9	10	11
最高溫度 th	外氣ノ溫度 ta	空溫氣度ノ出口ノ tn	乾量 乾燥空氣ノ重 l	空重 氣中濕氣ノ l.da	空氣ノ容積			空スル 氣加熱ニ要 Cg	空スル 氣電力ニ要 Pg	理論能率 η
°C	°C	°C	kg	kg	入ケ 口ル ニ於 vla	加 於 熱 後 ル ニ vih	出ケ 口ル ニ於 vln	Kcal	KWH	%
35	-20	15.39	13390	10.21	9590	11700	11090	175200	204.0	35.68
	0	18.59	15930	61.70	12390	13990	13360	133400	155.1	46.80
	15	24.76	25170	271.80	20850	22280	21750	122080	124.2	51.20
	20	27.67	34900	517.00	29680	31180	30600	127900	148.8	48.90
	25	31.06	64500	1302.00	56190	57250	57500	159180	85.25	39.30
50	-20	21.00	9050	6.91	6483	8285	7675	150731	175.0	41.50
	0	23.73	9696	37.46	7535	8835	8322	116390	135.5	53.70
	15	28.78	12100	130.80	10025	11260	10690	102729	119.5	60.80
	20	31.34	13730	203.20	11670	12875	12275	100752	117.3	62.05
	30	38.08	20800	572.00	18625	19885	19312	104240	121.5	59.90
70	-20	27.05	6110	4.66	4374	5911	5272	130800	152.0	47.80
	0	29.20	6385	24.70	4938	6166	5588	106500	124.3	58.50
	15	33.50	7060	76.25	5950	7028	6493	94300	109.6	66.30
	30	41.35	8720	240.00	7719	8749	8164	87500	101.7	71.50
100	-20	34.10	3990	3.04	2853	4193	3608	114000	132.8	54.90
	0	35.84	4070	15.76	3176	4334	3726	97548	113.5	64.10
	15	39.20	4230	45.65	3540	4561	4000	87200	101.4	71.75
	30	45.58	4580	125.90	4034	4968	4383	80250	93.4	77.80
130	-20	39.56	2909	2.22	2085	3265	2716	103807	120.8	60.15
	0	40.90	2932	11.33	2260	3322	2741	91140	106.1	68.60
	15	43.64	2983	32.23	2500	3483	2960	83300	96.9	75.10
	30	49.10	3035	84.85	2684	3570	3033	77300	89.9	84.60

(計算事例)

大氣圧 760mm にて W=100kg の水を空氣中に乾燥する空氣を $t_h=100^\circ$ 迄熱するとす。此の場合外氣溫度 $t_a=0^\circ$ とす

但し外氣は完全に水蒸氣を以て飽和され放出空氣は 4分ノ 3飽和で乾燥すべき物体の溫度 t_u を 15とす。

○ t_n 出口の溫度 (第5表第3列)

第(4)式により

$$\frac{t_n - t_a}{d_u - d_a} = \frac{C_n}{W(0.2375 + 0.475d_a)}$$

に於て

$$t_h = 100 \quad W = 100 \quad C_n = 62500$$

$$d_a = 0.0387 \text{ (第3表第18列)}$$

であるから

$$\frac{100 - t_n}{d_n - 0.00387} = \frac{62500}{100(0.2375 + 0.475 \times 0.00387)} = 2616$$

この式で t_n 種々の値及これに相当する d_n 値を第4表から求めて代入して見ると

$$t_n = 35.84, d_n = 0.028443$$

第 5 表 ノ 2

水 100kg ヲ蒸發スルニ要ス空氣ノ重量、容及熱ノ所要量及能率表
氣圧 760mm ニ於ケル

(外氣4/4 飽和排氣1/2飽和)

備考 { (1) ……Cノ計算ハ(640—tu) 100ニ依ル 但シtu=15
(2) ……本計算ハ凡テ理論上ノモノヲ示スモノナリ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
最 高 溫 度	外 氣 ノ 溫	空 氣 度 ノ 出 口 ノ	乾 量 換 空 氣 ノ 重	空 重 量 中 濕 氣 ノ	空 氣 ノ 容 積			空 ス 氣 加 熱 重 ニ 要	空 ス 氣 加 電 力 ニ 要	理 論 能 率
					入 ケ ル ニ 於	加 熱 後 ル ニ	出 ケ ル ニ 於			
th	ta	tn	l	l _{da}	V _{la}	V _{lh}	V _{ln}	C _g	pg	η
°C	°C	°C	kg	kg	m ³	m ³	m ³	Kcal	KWH	%
35	-20	18.90	16350	12.48	11720	14280	13680	213780	248 5	29 28
	0	22.60	21120	81.65	16200	18530	17960	176778	205 4	35 35
	12.5	27.86	36100	329 50	28820	31990	31390	196454	231.2	31.80
	17 5	30 98	63700	808 50	53400	5660	56100	271408	315 6	23.03
50	-20	25.32	10690	8.15	7660	9760	91700	177730	206.5	35.20
	0	28 25	12010	46 50	9350	11090	10480	143854	167.2	43.45
	30	44.21	43200	1188.00	38720	41050	40700	216880	252.4	28.83
70	-20	32.06	6940	5 30	5033	6801	6100	148650	178.0	42.10
	0	34.56	7375	28 53	5832	7297	6711	123600	143.6	50 60
	30	47.84	11281	310 30	9628	10906	10329	113000	131.4	55.30
100	-20	39.78	4380	3 34	3144	4619	4010	125000	145.4	50.00
	0	41.08	4500	17 41	3468	4724	4260	107700	125.1	58.10
	30	52.57	5260	144.80	4616	5687	5099	92330	107.4	67.75
130	-20	45 92	3130	2.39	2250	3173	2975	111600	129.8	56 00
	0	47.42	3167	12.25	2443	3592	3006	98400	114.4	63.50
	30	56.50	3396	93.40	2963	3923	3358	85040	98.9	73 50

が式の左辺を丁度2612に等しくする、即ち出口の
溫度は35.84°である。

○ l 空氣の重量 (第5表)

第(6)式から

$$l = \frac{W}{d_n - d_a} = \frac{100}{0.028443 - 0.003871} = 4070 \text{ kg}$$

○ l_{da} 空氣中の濕氣 (第5表)

$$l_{da} = 4.070 \times 0.00387 = 15.76 \text{ kg}$$

○ V_{la} 空氣の入口に於ける容積 (第5表)

0° に於ける 4070kg の容積を求めるには第3表
から 1m の重量を求めてこれで割ればよい

$$V_{la} = \frac{4070}{1.2862} = 3176 \text{ m}^3$$

○ V_{lh} 加熱後の空氣容積 (第5表)

(11) 式より

$$V_{lh} = \frac{273 + t_h}{P} [29.27 \times l + 46.83 l_{da} \times l]$$

に於て

$$t = 100 \quad l = 4070 \quad 15.70 l_{da} =$$

を代入し

$$V_{lh} = \frac{273 + 100}{10336} (29.27 \times 4070 + 46.83 \times 15.76) = 4334 \text{ m}^3$$

○ V_{ln} 出口に於ける空氣容積 (第5表)

出口溫度 t_n = 35.84 で4分ノ3飽和の状態では
4070の kg 空氣容積 V_{ln} は第5表から挿入法に
よつて

$$V_{ln} = \frac{4070}{1.094} = 3726 \text{ m}^3$$

○ C_g 空氣加熱に要する熱量

第(6)式から

第 5 表 ノ 3

水 100kgヲ蒸発スルニ要ス空氣ノ重量、容及熱ノ所要量及能率表
氣圧 760mm ニ於ケル
(外氣4/4飽和 排氣1/2飽和)

備考 { (1) ……Cノ計算ハ (640—tu) 100ニ依ル 但シ tu=15
(2) ……本計算ハ凡テ理論上ノモノヲ示スモノナリ

1	2	3	4	5	6 7 8			9	10	11
最高 溫度 ht	外氣ノ 溫度 ta	空溫 度ノ 出口ノ tn	乾量 燥空氣ノ 重 l	空重 量中濕 氣ノ l da	空氣ノ容積			空ス 氣ル 加熱 熱重 ニ要 Cg	空ス 氣ル 加電力 熱ニ要 pg	理 論 能 率 η
					入ケ ロル ニ於 Vla	加於 熱後 ニ Vlh	出ケ ロル ニ於 Vln			
°C	°C	°C	kg	kg	m³	m³	m³	Kcal	KWH	%
35	−20	24.39	24800	18.91	17780	21650	21050	324000	376 8	19.28
	0	28.82	42320	163 80	32925	37160	36580	354800	413 0	17 61
	7.5	32.30	96100	629 00	77100	84800	84110	529000	731 5	9 95
	10	83.73	200500	1549 00	162500	177000	176760	1208000	1404 0	5 18
50	−20	43.20	14760	11.26	10575	13520	12910	246750	287 0	25 30
	0	35 95	18600	72.00	14460	17250	16525	222200	258 8	28.10
	10	40 02	16000	200.50	21060	24075	23500	250600	291 5	24 93
70	−20	40.64	8960	6 843	6400	8633	8067	193590	225 2	32 30
	0	43 55	9950	8 506	7678	9333	9034	166600	193 8	37.50
	30	59.46	23600	50.00	24167	27371	26865	236540	279 0	26.40
100	−20	50.00	5260	4 02	3789	5568	4990	150240	174 8	41 60
	0	52.28	5480	21 20	4255	5805	5185	131000	152 3	47 70
	30	65.05	7150	196 80	6144	7527	6850	125440	145 9	49 80
130	−20	57.30	3615	2 76	2620	4104	3575	128850	148 0	48.60
	0	59.00	3684	14.28	2886	4243	3692	114790	133 3	54 60
	30	69.65	4132	113.65	3809	5057	4364	103500	120 4	60 40

$C_g = 1(0.2375 + d_a 0.475)(t_h - t_a)$
 $= (4070 \times 0.2375 + 15.76 \times 0.475)(100 - 0)$
 $= 97548 \text{ kcal}$

○P_g 空氣加熱に要する電力量 (第5表)
(11)

$P_g = \frac{97548}{860} = 113.5 \text{ KWH}$

○η 理論能率 (第5表)

(9) 式により

$\eta = \frac{C_n}{C_g} = \frac{62500}{97548} = 64.1\%$

第1表第5表或は第3図を比較して見ると次の事が詔る。

- 1 空氣及熱の所要量は放出空氣の飽和度の下るに従つて可なり大なる増加を來たす。
- 2 其の増加の様子は空氣の最高溫度が高いと

き最小で低い時程大きい。
3 外部溫度が非常に高くて最高溫度の低い場合は乾燥しない例えば表中 t_h = 35° 及 50° で外部溫度 t_a = 30° の如きである。

(5) 實際の狀態に於ける乾燥

(乾燥室の入口出口に於て水蒸氣が不完全飽和の場合)
乾燥室に入る前に空氣が完全に飽和して居る、即ち濕度が 100 % である事は極く稀な場合である本章では此の飽和せざる場合を考へて見よう。
今或る溫度に於て最大の水蒸氣を含んでゐない時は、この水蒸氣を以て飽和狀態になる溫度 (即ち露点) は上の濕度より低い事は明白な事實である。此の關係を示すものは第6表である。これを

曲線にしたものは第5図である。例えば 25° で2分ノ1飽和の場合は同じ水蒸気で飽和の温度は 14° である。

不完全飽和の温度と同一蒸氣を以て完全に飽和する温度（露点）との関係

第 5 図

今外氣が完全に飽和されて居ないとすれば所要熱量が如何に変化するかと云ふ事を考へて見やう
一定量の水を蒸発するに T_a の飽和せる空氣 x kg を要する、但しこの空氣は完全飽和の場合より少い y しか含有して居ないとする。

第6表 不完全飽和の温度と同一蒸氣にて完全に飽和する温度露点との関係

完全飽和セル時ノ温度 (露点)			-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30
同氣 一ラ 量以 ノテ 水蒸	3/4	飽和	-16.3	-11.5	-9.4	-1.3	4	9.3	14.5	19.7	24.8	30	35.2
	1/2	"	-11	-6.7	-1.6	4.2	10	15.5	21	26.3	31.7	37.3	42.8
	1/4	"	-3	2.5	8.5	14.5	20.6	26.7	32.8	38.8	44.6	50.3	55.8

加熱空氣の容積 V_{1h} 及び放出空氣の容積 V_{1n} はその重量を温度から計算することが出来る。而於共に各場合に等しい即ち 25° で半分飽和されてゐても 15° で飽和されてゐても、その容積は等しい。

空氣を加熱する爲の熱量 C_g は第(5)式から求む事が出来る。その式には外部温度 t_a の項が這入る。第(4)式から求めた結果即ち空氣が或る温度に於て飽和されて居ない時の出口の温度重量及容積は第1表及第5表から求めた低温に於て完全に飽和された場合の結果に殆んど等しい。

熱の消費量 C_u に就て多少変化がある。空氣を

そうするとこの x kg の空氣は y kg の水蒸氣で不飽和状態にある t_a より低い温度 T_a の空氣を加熱して t_a 迄昇したものであると考える事が出来る。故に始めの不飽和状態の温度 t_a を飽和状態の温度 T_a に直して計算を行へば前述の通り空氣を T_a から t_a 迄加熱するに要する熱量だけを余分に算出した事になる。

次に外氣が飽和されて居ない時(3)(4)及(7)式が如何に変わるかを考へて見よう。

(4)式から出口に於ける空氣温度を一定とすると入口に於ける空氣 1 kg 中の水蒸氣の重量は少く、完全飽和の時に僅かに4分ノ3, 2分ノ1, 4分ノ1しかない。又空氣が實際の温度でなく d_a の水蒸氣で飽和される様な低温であるとする、此の温度は第6表から求める事が出来る。

空氣の初温は(4)式に影響しないから、その空氣状態の露点に対する d_a を代入して放出空氣の温度 t_n 及含有水分 d_n を外部の温度に係らず正確に求める事が出来る。空氣の重量 1 は第6式に d_a の値を代入して得られる。 15° で飽和された外氣 1 なる正確な重量に対する容積 V_{1a} は 25° で半分飽和されたよりも稍大い。然し乾燥機ではその出口で吸出され入口では送風機をかける事は比較的少ないから其の差は小さくて殆んど考へるに及ばぬ。

飽和した時の低温(その空氣の露点)から飽和されない實際の温度 t_a 迄熱するに必要な熱量は少い。斯の如く消費熱量 C_g は飽和状態の(低)温度で必要な熱量より小になる。

乾燥機の大さを予め計算するには第1表及第5の場合に表仮定即ち空氣加熱室に入る前に完全に飽和されてゐるとしたものは直ちに採る事は出来ない。即ち失以下の飽和度を仮定せねばならない而して其の飽和度は50%以下のものよりものよりも75%位を標準にしたがよい。

計算の方法

1 空氣が其の實際温度 t_a である時、その空

氣4分ノ3, 2分ノ1, 4分ノ1飽和なるかに應じ其の露点 T_a 第6表から求める。

2 放出空氣の飽和度が完全か或は4分ノ3, 2分ノ1, 4分ノ1なるかにより失々第1表又は第5表の1, 2, 3を用ひて前に求めた T_n の溫度から計算する。出口の溫度 t_n は第3列から重量1は第4列から, 外部空氣の容積 V_{1a} (稍過小ではあるが) は第6列から, 加熱後及乾燥機を出る時の容積 V_{1h} 及 V_{1h} の正確な値は第6列及第7列から求める事が出来る。次に消費熱量は第6図から知れる如く同量の含有蒸氣では大体に於て

第 6 図

5°高い時は4分ノ3飽和となり
10°高い時は2分ノ1飽和となり
20°高い時は4分ノ1飽和となる
故に消費熱量の減少は大体に於て

$\frac{3}{4}$ 飽和なる空氣を5° 高める熱量 $1 \times 5 \times 0.2375$
 $\frac{1}{2}$ " 10° " $1 \times 10 \times 0.2375$
 $\frac{1}{4}$ " 20° " $1 \times 20 \times 0.2375$
となる, 斯くして得た結果は僅かに實際精密に計算したものと0.55%の違に過ぎない。だから殆んど總ての場合に於て, この更正は無視してよい。外に含有水蒸氣を溫める熱量を計算せねばならぬ故に第2表第5表に於て仮定した如く空氣が乾燥室に入る前に濕氣で充分飽和せずして僅かに4分ノ3飽和であるとすれば, それに対する外部空氣の溫度は第6表に示した通りである。又熱の實際の消費量も第6表に計算してである。

(計算実例)

外部溫度 30° で4分ノ3飽和であるとき最高溫度 $t_h = 50^\circ$ 排氣は完全に飽和されてある場合に 100 を蒸發せんとする時の諸量を求む。

第8図より4分ノ3飽和の 30° に於ける空氣は

第 7 表 の 1

25° に於て完全に飽和されることを知る。

第1表の2に於て最高溫度 $t_h = 50^\circ$ するとき $t_d = 25^\circ$ に於ける諸量を求むれば 30° 4分ノ3飽

第 7 表 の 2

和の外氣に等しい。即ち

出口溫度

$t_n = 30.3$

空気の重量

$$l=12870\text{kg}$$

湿気の重量

$$l_{da}=260\text{kg}$$

送入空気の容積

$$V_{la}=11200\text{m}^3$$

加熱空気の容積

$$V_{lh}=12100\text{m}^3$$

第 7 表 の 3

出口空気の容積

$$V_{ln}=11525\text{m}^3$$

熱消費量

$$C_g=63385\text{kal}$$

$$\begin{aligned} & \backslash \quad 79250 - l(0.2375 + d_a 0.475) \times 5 \\ & = 79250 - (12870 \times 0.2375 + 260.0) \end{aligned}$$

$$\times 0.475) \times 5 = 79250 - 15892 = 63358$$

電熱量容量 (1hr に乾燥するとして) 73.7KW

(第 7 図参照)

熱の有効量 640—150 (100=62500)

能 率 98.7%

(注意) 排気が不完全飽和なる時は夫々第 5 表の 1.2.3. を使用すべし

第 7 表 の 4