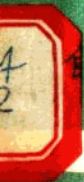


食品工業中 二次蒸汽的利用

[蘇]烏·恩·斯大布尼科夫著

輕工業出版社



食品工業中二次蒸汽的利用

〔蘇〕烏·恩·斯大布尼科夫著

葉 茲 譯

內 容 介 紹

在本書中研究了食品工業中二次蒸汽利用的各種方式。

書中指出了在酒精生產、釀造工業及其他食品工業中利用二次蒸汽的合理性與可能性。

本書供食品工業的工程技術人員參考之用。

В. Н. СТАВНИКОВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНОГО ПАРА

В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ГИЗЛЕГПИЩЕПРОМ, 1953.

根據蘇聯國家輕工業食品工業出版社一九五三年版譯出

食品工業中二次蒸汽的利用

[蘇] 烏·恩·斯大布尼科夫著

葉 茲 譯

*

輕工業出版社出版

(北京西單區皮庫胡同 52 號)

北京市書刊出版業營業許可證出字第 062 號

機械工業出版社印刷廠排版

北京市印刷二廠印刷

新華書店發行

*

書號：44·食4·787×1092 耗 $\frac{1}{32}$ · $3\frac{1}{8}$ 印張·58 千字

一九五五年十一月北京第一版

一九五五年十一月北京第一次印刷

印數：1—1,100 定價：(九) 0.66 元

目 錄

作者序	4
二次能的資源	5
食品工業中的二次蒸汽	6
蒸汽的熱含量	7
溶液蒸發過程中二次蒸汽的利用	10
多效蒸發裝置的流程	10
多效蒸發裝置的熱的節約	13
有效的與無效的溫度差	15
多效蒸發裝置中的自動蒸發	17
熱泵及其在溶液蒸發時的應用	27
熱泵的操作原理	27
具有蒸汽噴射壓縮機的蒸發罐	32
蒸汽噴射壓縮機的結構及操作	41
機械的熱壓縮機	45
在啤酒工業中二次蒸汽的利用	49
自動蒸發的蒸汽利用	53
在酒精生產的蒸餾及精餾中二次蒸汽的利用	58
蒸餾及精餾中的熱消耗	58
具有熱的多次利用的精餾裝置	59
食品工業中低壓蒸汽的利用方法	85
乾燥裝置的二次蒸汽及其應用	95

作者序

每年消耗幾百萬噸煤、泥炭及幾百萬立方公尺的木柴的食品企業乃是很大的燃料消耗部門，因此，從動員內部資源的觀點來說，廢熱的合理利用，是有很大大意義的。

在蘇聯的食品工業中進行了許多節省燃料的工作，但仍有很大的可能性來改進企業中的熱管理，利用企業中的廢熱而減少無謂的消耗。

本書的目的，就是要促成這件重要的工作。書中闡明了現有的經驗並企圖擬定利用二次蒸汽的方法。這種二次蒸汽的熱到現在還沒有被利用至應有的程度或被拋棄而未作任何的利用。

二次能的資源

利用二次能的資源是在工業中為節省燃料而鬥爭的最重要道路之一。

二次能的資源，乃是由工藝過程的廢料或者工藝過程的副產品所得到的能力資源。

這類能的資源是含於生產廢料或者產品和半成品中的某種形式的能（熱能、機械能或電能）的貯藏。當生產組織得不合理時，這種能不能回收而損失。熱管理的任務就是要最完善地利用這種「廢熱」。

食品工業企業的二次能的資源是各種各樣的。採用現行的分類法，可以將它們分為下列四類：

1. 跟物理狀態無關的熱的產品和生產廢料的熱。屬於這一類的為水、煙道氣及工藝過程中所放出的蒸汽（二次蒸汽）的物理熱^①，以及在生產廢料（例如酒精廠的酒精）所含的熱。屬於這一類的還有在鍋爐的爐渣中、在製糖廠的熱甜菜廢絲中，及最後在熱的最終產品中所含的熱。

2. 在用蒸汽操作的機械的廢汽中所含的熱。屬於這一類的有泵、壓縮機及汽錘的廢汽。

3. 生產的副產品及廢料的化學結合熱。當副產品及廢料燃燒時可以得到它。

4. 工藝過程中所得到的機械能及電能，它們可以供生產

① 物理熱（Физическое Тепло）係指物質的物理性質變化所產生的熱（潛熱及顯熱）而非由化學作用所產生的熱——譯者。

上用。

上列各類在食品工業中起着各種不同的作用：第3及第4類在大部分食品企業中很不重要，而屬於第一類的却具有很大的意義。

同時這類資源的利用還遠不夠。但在本書中不討論關於二次熱資源的全部利用的問題，而只說明比較狹窄的問題：即食品工業中二次蒸汽的利用問題。

在文獻中有關於二次能的資源利用方面的文章，但是作者們在這些文章裏面主要是研究在冶金學中、矽酸鹽工藝中、煉焦化學工業中及機械製造中的熱的資源利用的問題；在那些方面，二次蒸汽不像在食品工業中佔有如此大的比重。

食品工業中的二次蒸汽

在食品工業企業中發生的熱過程是各式各樣的。它們中的大部分聯系到蒸汽的放出。屬於這些過程的有：蒸發及沸騰，蒸餾及精餾，乾燥，酒精工業中的原料蒸煮及許多其他的操作。

在生產工藝過程中生成的任何蒸汽，不管過程的特徵及蒸汽的組成如何，都叫做二次蒸汽。二次蒸汽根據它的發生過程，可以有不同的組成：當水溶液蒸發時它將成為水蒸汽；當含酒精的溶液蒸餾時——得出水與酒精的蒸汽；在乾燥過程中放出與空氣混合或與煙道氣混合的水蒸汽。不管二次蒸汽的組成如何，它的特徵是每單位重量具有很高的熱含量。

二次蒸汽的高的熱含量使人們有可能將它利用來作為帶

熱體。但是也有很大的不便，因為在大多數情況下，二次蒸汽的參數（壓力及溫度）是很低的。因此，二次蒸汽的利用是相當複雜的，只有在蒸發過程中才被普遍地利用。

甜菜製糖工業在這方面具有很大的成就。近幾年來由於酒精工業採用了三段蒸餾操作法及軟水劑的熱化學回收法，也在這方面達到巨大的成就。但是對於食品工業的許多過程，利用二次蒸汽的問題仍未解決。

蒸汽的熱含量

乾的飽和蒸汽的總熱含量 i'' 由兩個數值構成：在一定壓力下將一公斤液體加熱至沸點而轉變為乾的飽和蒸汽時所需的液體顯熱 i' 及蒸發潛熱 r 。

在表 1 中列出乾的飽和二次蒸汽的某些數據 [根據烏卡羅維奇 (М.П.Букалович)]。列出的數據是遠離臨界狀況 ($t_k = 374.15^\circ$ 及 $P_k = 225.65$ 公斤/平方厘米) 的壓力與溫度。

在食品工業中，我們同它打交道的二次蒸汽，通常具有 0.5~2 絕對大氣壓的範圍內的壓力。除了這個壓力範圍外，表 1 也列出了較大的及較小的壓力數據。我們來比較在不同壓力下飽和蒸汽的總熱含量之值。當壓力為 10 絕對大氣壓時：

$$i''_{10} = 663.3 \text{ 仟卡/公斤}$$

而當壓力為 0.01 絕對大氣壓時：

$$i''_{0.01} = 600.2 \text{ 仟卡/公斤}$$

因此，當壓力改變至 1000 倍時，總熱含量的變化約為 10%，而汽化熱——變化 20% (表 1)。

假如所取壓力之間的範圍較小，那麼 (在所研究的壓力

表1

飽和水蒸汽(按壓力計)特性

P 公斤/平方厘米	t °C*	i 仟卡/公斤	r 仟卡/公	i'' 仟卡/公斤
0.01	6.698	6.73	593.5	600.2
0.025	20.776	20.82	585.6	606.4
0.050	32.55	32.57	578.9	611.5
0.10	45.45	45.45	571.6	617.0
0.2	59.67	59.65	563.4	623.1
0.3	68.68	68.66	558.1	626.8
0.4	75.42	75.41	554.1	629.5
0.5	80.86	80.86	550.7	631.6
0.6	85.45	85.47	548.0	633.5
0.7	89.45	89.49	545.6	635.1
0.8	92.99	93.05	543.3	636.4
0.9	96.18	96.26	541.3	637.6
1.0	99.09	99.19	539.6	638.8
1.2	104.25	104.33	536.3	640.7
1.4	108.74	108.92	533.4	642.3
1.6	112.73	112.95	530.8	643.8
1.8	116.33	116.60	528.5	645.1
2	119.62	119.94	526.4	646.3
3	132.88	133.4	517.3	649.7
4	142.92	143.7	510.2	651.9
5	151.11	152.1	504.2	653.3
6	158.08	159.3	498.9	654.3
7	164.17	165.7	494.2	654.9
8	169.61	171.4	489.8	654.2
9	174.53	176.5	485.8	653.2
10	179.04	181.3	482.1	651.8

遠離臨界壓力的條件下) 在 i'' 與 r 值之間的差別顯得還要小些。

例如，我們取 $P = 2$ 公斤/平方厘米 及 $P = 0.5$ 公斤/平方厘米，相應地 i'' 及 r 之值將為：

* 在以後的敘述中，溫度均以攝氏度數 (°C) 表示。

$$i_2 = 647.3 \text{ 仟卡/公斤}$$

$$i_{0.5} = 631.6 \text{ 仟卡/公斤}$$

$$r_2 = 527.4 \text{ 仟卡/公斤}$$

$$r_{0.5} = 550.7 \text{ 仟卡/公斤}$$

總熱含量及汽化熱之值彼此很少區別。

在所研究的這個壓力範圍內，在用蒸汽鍋爐發生的蒸汽加熱的設備所生成的二次蒸汽，在熱含量方面差不多與加熱的蒸汽相等。

但是在壓力及溫度方面，二次蒸汽是遠不能和初次蒸汽有同等價值。它的壓力及溫度是低的，因而，利用它所含的熱量將是很困難的。

在食品工業中除了水蒸汽以外還利用其他液體的蒸汽。其中對乙醇及它的水溶液的利用具有很大的意義。它們是否具有與水蒸汽相似的特性呢？在表 2 中按最可靠的數據列出在不同壓力下的蒸汽熱含量的比較。

由表 2 很明顯地看出：當壓力變大時，乙醇及它的水溶液混合物的汽化熱變化得小。同樣也可以看到水——酒精蒸汽的總熱含量。

表 2 無水酒精及水-酒精蒸汽的蒸發熱 (仟卡/公斤)

濃度 (%)	壓力(絕對大氣壓)							
	5	4	3	2	1.03	0.517	0.259	0.129
100	180	184	189	196	204	210	—	—
90	213	217	222	227	236.5	243	248	253
80	241	246	252	259	270	278	283	289
70	273	278	286	294	305	315	318	324
60	304	310	317	326	338	348	353	360
50	335	342	350	359	371	381	388	396
40	370	376	383	392	404	414	424	433
30	404	409	416	425	438	448	459	468
20	436	443	450	459	471	482	494	502
10	470	476	483	492	505	514	527	536

含有水及酒精的複合蒸汽，也服從於單一蒸汽所遵守的

規律，亦即不同壓力的蒸汽在熱含量方面差別不大（表 2）。因而，在放出的蒸汽為含有幾個成分的複合蒸汽的那些過程中，熱的二次利用是可能的。在食品工業中大多數的蒸餾及精餾操作屬於這些過程，當進行這些操作時二次蒸汽的利用至今還沒有得到普遍推廣。

溶液蒸發過程中二次蒸汽的利用

二次蒸汽在食品工業的蒸發過程中被應用最廣。僅在蘇聯的製糖工業一個部門中每年約蒸發出 15,000,000 立方公尺的水分。除了製糖工業以外，在啤酒、酒精、罐頭、糖食及其他工業部門都採用這種蒸汽進行蒸發。

當蒸發時，多效蒸發裝置是二次蒸汽的利用極完善的形式。

現在詳細地來談談這種裝置，因為它的操作所根據的同一原理，可以利用來提高其他過程的熱的效果。

多效蒸發裝置的流程

具有冷凝器及真空泵以造成真空的三效蒸發裝置的流程如圖 1 所示。蒸發裝置由具有管式加熱表面的單種蒸發器構成。每一蒸發器具有泡沫分離器、蒸汽導入管及汽凝水排出管，蒸發液的導入及排出管與蒸發液的蒸汽排出管。加熱蒸汽的汽凝水經過汽凝水自動排除裝置排出並用來作為鍋爐的給水並供工藝上的需要。

流程圖中所示的冷凝器，具有一些擋板，保證蒸汽能與冷却水很好地混合，汽凝水與冷却水一起沿着長的氣壓管流下，未凝縮的氣體用真空泵從冷凝器中抽出，設備的操作

方式如下述。

稀溶液進入第Ⅰ效蒸發罐及依次經過所有的蒸發罐。濃縮了的溶液自最後一效蒸發罐排出。蒸汽的通路與溶液的通路平行。加熱的外部蒸汽通入第Ⅰ效蒸發罐。在該處它在熱交換器的管羣空間中冷凝而將本身的熱傳給沸騰的溶液。在第Ⅰ效蒸發罐中生成的二次蒸汽，導入第Ⅱ效蒸發罐的加熱表面。第Ⅱ效蒸發罐的二次蒸汽進入第Ⅲ效蒸發罐。自蒸發裝置的最後蒸發罐出來的二次蒸汽導入冷凝器。爲了要有可能在第 n 效蒸發罐中利用前一效 $(n-1)$ 蒸發罐的二次蒸汽，必須使在第 n 個蒸發罐中發生沸騰時的壓力，小於在第 $(n-1)$ 個蒸發罐中發生沸騰時的壓力。這個壓力及溫度差，應當大到能保證在第 n 效蒸發罐中的加熱蒸汽與沸騰液體之間有足够的溫度差，用冷凝器及真空泵來達到圖1所示

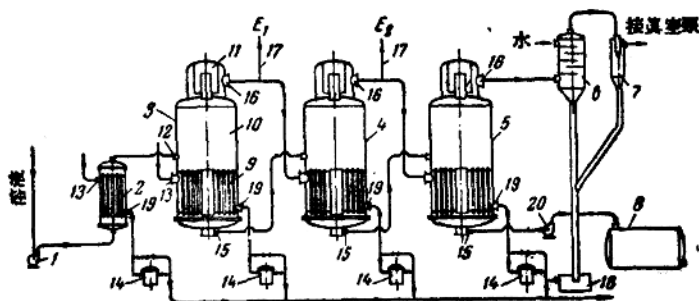


圖 1 多效蒸發裝置流程圖

- 1—離心泵；2—蒸發液預熱器；3—第Ⅰ效蒸發罐；4—第Ⅱ效蒸發罐；5—第Ⅲ效蒸發罐；6—大氣壓冷凝器；7—飛沫回收器；8—被蒸發溶液的聚集槽；9—具有循環管的蒸發器加熱室；10—蒸發器的蒸汽室；11—泡沫分離器；12—蒸發液導入管；13—加熱蒸汽導入管；14—自動分水器；15—蒸發液導出管；16—二次蒸汽導出管；17—二次蒸汽取樣管；18—大氣壓冷凝器的水儲槽；19—汽凝水導出管；20—離心泵。

的蒸發器中的必需壓力差。由於它們的工作，在與冷凝器直接相連的蒸發罐中產生真空。第Ⅲ效蒸發罐的加熱表面作為第Ⅱ效蒸發罐的蒸汽的表面冷凝器。第Ⅱ效蒸發罐的加熱表面也作為第Ⅰ效蒸發罐的二次蒸汽的表面冷凝器。因此，在多效蒸發罐中具有由蒸發—冷凝器組成的一個系統。

在大氣壓冷凝器中真空度的增大引起第Ⅲ效蒸發罐中真空度的增加，這樣在此器中也引起激烈的沸騰，因而，增強第Ⅲ效蒸發罐的冷凝—蒸發器中的熱流。第Ⅱ效蒸發罐的溶液蒸汽的凝縮加強引起第Ⅱ效蒸發罐中真空度的增加等等。因而，在大氣壓冷凝器中真空度的增加推廣到蒸發—冷凝器的整個系統。通常各效蒸發罐的二次蒸汽不僅在蒸發站內被利用，而且也用來加熱其他設備。在這種情況下蒸發成為專門的熱的變壓器，用不同壓力的蒸汽供給工廠的各個用熱站。

上述的流程不是唯一的，也有採用其他方法來聯接各效蒸發罐的。例如，有蒸汽與溶液逆流的多效蒸發裝置，將溶液等單獨加入每一蒸發罐中。在圖2及圖3中表示出不同的蒸發流程。

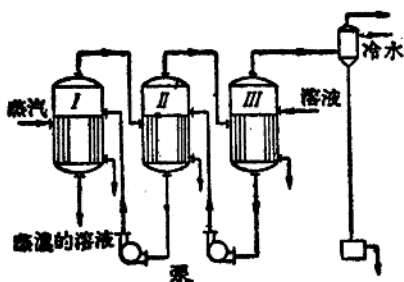


圖2 按逆流原理操作的三效蒸發裝置流程圖

蒸發流程。

蒸發罐也按照二次蒸汽的壓力來區分。在製糖工業中普遍採用所有蒸發罐都在壓力下操作的蒸發站。在它們中生成的二次蒸汽比較利用在真空下操作的蒸發站中得到的二次蒸汽可

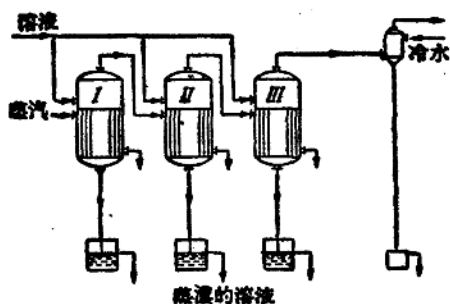


圖 3 在每一蒸發罐中加入最初溶液的三效蒸發裝置流程圖
以有較大的效果。

也有那樣的蒸發裝置，在其中一部分蒸發罐在壓力下操作，而另一部分在真空下操作。

當額外蒸汽^①及汽凝水供工藝上及熱能的需要而正確利用時，蒸發可以是決定全部企業的熱利用效果的主要熱設備。蒸發站熱管理的合理組織可解決下列問題。

- ① 溶液在一定範圍內的濃縮；
- ② 工廠熱設備的蒸汽的供應；
- ③ 蒸汽鍋爐及工藝方面需要的熱的汽凝水的供應。

在甜菜製糖工廠中，這些問題可全部得到解決。

多效蒸發裝置的熱的節約

蒸發裝置中由 $(n - 1)$ 效蒸發罐進入第 n 效蒸發罐的 1 公斤蒸汽，約在前者中蒸發 1 公斤的水分。

-
- ① 在多效蒸發裝置中，有時並不完全將某一效蒸發罐產生的二次蒸汽引到次一效蒸發罐去加熱；而是一部分用以預熱進入蒸發裝置第一效蒸發罐的溶液或用以加熱與蒸發設備本身毫無關係的其他設備。這種引出的二次蒸汽，叫做額外蒸汽（Экстра пар）——譯者。

容易使人相信，這種情形與實際接近。

在表3中列出製糖廠的五效蒸發裝置中的溫度分佈情形，它的最後一效蒸發罐在真空中操作。

表3 多效蒸發裝置的溫度分佈

名 稱	符號	蒸 發 罐				
		I 效	II 效	III 效	IV 效	V 效
加熱蒸汽的溫度	T''	142.9	114.8	105.8	96.8	82.8
二次蒸汽的溫度	t''	116.0	107.0	98.0	84.0	55.9
溶液的沸點	t	116.3	107.7	99.2	86.5	58.5
汽凝水的溫度	Θ	133.0	112.0	104.0	93.0	76.0
加熱蒸汽的熱含量	i''	652.5	643.9	640.6	636.1	631.9

利用表3可以計算：由第III效蒸發罐中進入第IV效蒸發罐中的每一公斤蒸汽將第IV效中蒸發出多少水分。加熱的蒸汽攜帶熱量為636.1仟卡/公斤。汽凝水從蒸發器中帶走的熱量為 $\Theta \times c$ ，

此處： c ——汽凝水的熱含量；

Θ ——汽凝水的溫度。

汽凝水的溫度等於93°，取熱含量等於1，則可求得：

$$i'' - c \times \Theta = 636.1 - 93 = 543.1 \text{ 仟卡/公斤}$$

在第IV效蒸發罐中蒸發1公斤的水時需要熱量為：

$$631.9 - c \times t$$

式中 $c = 1$ ，而 $t = 86.5^\circ$

$$631.9 - 86.5 = 545.4 \text{ 仟卡/公斤}$$

求出的比為543.1:545.4，即得到近於1的數值。

我們暫時不研究在多效蒸發裝置中進行的其他過程，這些是可以使每個蒸發罐的蒸發水量的比例有所改變的。

假如忽視這些過程，那麼就可以近似地算出：自外面進入有 n 個蒸發罐的蒸發站的每公斤蒸汽，能蒸發去 n 公斤的水分。

此時蒸汽的節約程度應該與蒸發裝置的效數成正比：例如，在五效蒸發裝置中，蒸發 1 公斤的水較在單效蒸發裝置中所消耗的蒸汽量減少四倍。

多效蒸發裝置的經濟效果是十分顯著的，因此在蒸發大量水分的一切生產部門中，它是被普遍採用的。從理論上看，要增加經濟效果時就應當增加蒸發裝置的效數。但是實際上蒸發裝置的效數不能大於五。這種情形對於今後的問題研究非常重要。因此我們更詳細地來談談要限制蒸發效數的原因。

有效的與無效的溫度差

表 3 中列出，每個蒸發罐中在溶液沸點與二次蒸汽溫度之間規定有溫度差。這種溫度差從第 I 效蒸發罐到最後一效蒸發罐逐漸增加，沸騰的溶液濃度亦相應地增加。

溫度差 ($t_a - t_a'$) 即物理化學的溫度降。這種溫度降的損失，在蒸發裝置中是不可避免的。

具有這種溫度差，是由於在蒸發裝置中沸騰的不是純溶劑而是溶液，它的沸點高於純溶劑的沸點。溫度差之值可以按為此目的而導出的實驗式之一來計算。這些實驗式或者直接決定溫度差的值，或者決定沸點與濃度的關係。在任何情況下，可假定由溶液中放出的蒸汽溫度，等於在所研究的蒸發罐中規定的壓力下的飽和蒸汽的溫度。

這是不完全準確的，因為實際上蒸汽在溶液之上經常是稍微過熱的，但食品工業中的通常蒸發條件，過熱是很輕微

的，可以忽略不計。 $(t_n - t'_n)$ 之值不僅由物理化學的差異來決定，而且由於沸騰液體的下層受到在它上面的液柱的液體靜壓力，也發生某些溫度差。因此，溶液的沸點平均將略高於在溶液上面的蒸汽空間中的壓力下的飽和蒸汽溫度。

溫度降減少的情形也是有的，這是由於克服蒸發罐之間的連接管道中的摩擦力與局部阻力而發生的。由於溫度降的結果，第 $(n-1)$ 效蒸發罐的二次蒸汽到達第 n 效蒸發罐時具有較在 $(n-1)$ 效蒸發罐中為低的溫度。

假如利用表 3 中的數據，那麼可以計算出：在五效蒸發中總的溫度降為 $142.9 - 55.9 = 87^\circ$ 。這個溫度降等於 $T_1 - t'_5$ ，亦即等於第 I 效蒸發罐的加熱蒸汽與第 V 蒸發罐的二次蒸汽的溫度差。假如我們繼續計算五個蒸發罐中的加熱蒸汽與沸騰液體之間的溫度差，那就得到：

$$\sum_1^5 (T - t) = 26.6 + 7.1 + 6.6 + 10.3 + 24.3 = 74.9^\circ.$$

溫度差 $87 - 74.9 = 12.1^\circ$ 為無效的溫度差，等於物理化學的溫度降、流體靜力學溫度降及連結管道的壓力損失的總和。

從所研究的例子可看出：我們在多效蒸發裝置中規定有不大的有效溫度差。假如我們不改變總的溫度差而增加蒸發罐的效數時，那麼就會同時增加無效溫度差。

因而，現在減小了的有效溫度差可分配到較多數的效。當然，這樣蒸發站的總加熱面積就要增加。

由此得出，每一效蒸發罐的加熱面積可按下式來決定：

$$F_n = \frac{Q_n}{\Delta t_n \cdot K_n},$$

式中： Q_n ——加熱面積的傳熱量，仟卡/時；

Δt_n ——加熱蒸汽與沸騰溶液之間的溫度差， $^\circ\text{C}$ ；