

高等学校教学用书

干燥作业

上册

M. Ю. 魯利耶著

高等教育出版社

高等学校教学用书



干 燥 作 業

上 册

M. Ю. 魯利耶著
張 洪 沅 等 譯

高等教育出版社

A thick, dark horizontal line.

高等學校教學用書



干 燥 作 業

下 冊

M. Ю. 魯利耶著
張 洪 沅 等 譯

高等教育出版社



本書系根据苏联國立动力出版社 (Государственное энергетическое издательство) 1948 年出版的 М. Ю. 魯利耶 (М. Ю. Лурье) 教授著“干燥作業” (Сушильное дело) 第三版譯出, 原書經苏联高等教育部批准为高等学校热工專業教学参考書。

本書中譯本分上下兩册出版。上册講述干燥的一般原理及各种干燥方式, 下册講述各种廣泛应用的干燥器及其附屬設备的構造与計算以及干燥某些物料的特殊条件和適宜的干燥器。

本書由成都工学院化工教研組石炎福、周肇义、侯香模、張洪沅、傅炳街、鄧文煜等同志 (以姓氏筆划为序) 合譯。

干 燥 作 業

上 册

М. Ю. 魯利耶著

張洪沅等譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號)

商務印書館上海廠印刷 新華書店總經售

書號 15010-169 開本 850×1168 1/32 印張 77/16 插頁 3 字數 208,000

一九五六年十一月上海第一版

一九五六年十一月上海第一次印刷

印數 1—5,500

定價 (10) 洋 1.70

本書系根据苏联国立动力出版社 (Государственное энергетическое издательство) 1948 年出版的 М. Ю. 魯利耶 (М. Ю. Лurie) 教授著“干燥作業” (Сушильное дело) 第三版譯出, 原書經苏联高等教育部批准为高等学校热工类各專業教学参考書。

本書中譯本分上下兩册出版。上册講述干燥的一般原理及各种干燥方式; 下册講述各种广泛应用的干燥器及其附屬設備的構造与計算以及干燥某些物料的特殊条件和适宜的干燥器。

本書由成都工学院化工教研組石炎福、周肇义、侯香模、張洪沅、傅培街、邓文焜等合譯。書中第十六章的一部分由徐日新教授校閱, 又由孙啓才先生协助解决了一些問題。

干 燥 作 业

下 册

М. Ю. 魯利耶著

張洪沅等譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺 7 号

(北京市书刊出版业营业許可証出字第 054 号)

上海大东集成联合印刷厂印刷 新华书店发行

統一書号 15010·476 开本 850×1168 1/32 印張 16 字數 428,000 印數 2,501—4,000

1957 年 7 月第 1 版 1958 年 8 月上海第 2 次印刷 定价 (10) 2.40

第 三 版 序

近二十五年來我們的工廠和農業方面的干燥設備已經變化得認識不出來了，在解決干燥各種物料的技術問題的方法上也有了變化。全蘇熱工研究所（ВТИ）的研究工作，對於干燥技術方面已獲得的進展發生了很大的影響。

在本書第二版以後的十年中，蘇聯的干燥技術已有飛躍的進展，超過了歐美的成就。

干燥技術是大多數生產過程中的一環，在發電站、化學工廠和汽車工廠、開礦廠和選礦廠、谷倉和食品企業、棉花及亞麻的初步加工、紡織工廠、磚及建築材料的製造、農業及其他方面都用到干燥技術。

在很多工廠中干燥業務是很複雜的，且消耗於干燥技術方面的燃料數量也很大（據粗略估計，蘇聯在 1940 年以前消耗於干燥技術所用的標準燃料就不少於 2—3 百萬噸）。當干燥任何物料時，應用不正確的操作條件或結構不適宜的干燥器，往往引起在生產中產生廢品和導致超過干燥本身費用的損失。因此，遵守干燥技術的正確操作條件和創制最合理的干燥器結構是極為重要的。

此外，我們還應盡力建立能夠提高干燥強度並降低燃料和能量消耗的干燥過程。當在大多數生產中運用着的陳舊而毫無根據的、需要應用低溫干燥介質的那些原則還保留時，干燥機械就會很笨重且耗費大量的金屬。因而要創制對金屬及其他材料耗量少且生產能力強而經濟的新型干燥器，就必須力求掌握新的干燥方法，採用高溫干燥介質，運用煙道氣直接干燥的有效方法。

我國社會主義的經濟條件，為干燥作業的發展和改善以及蘇聯工

業在這方面的豐富經驗的總結創立了一切的先決條件。也只有這樣的條件下才可能建立和發展像全蘇熱工研究所那樣的干燥實驗室。在這個實驗室內集中了蘇聯工業各部門中對物料干燥的知識和經驗，這樣就使它能够將某一些物料的干燥方法運用到另一些物料上，同時在掌握某些干燥器結構時所犯過的錯誤也不致在其他干燥器結構上重犯。

業經確定，同一類型的干燥器可以應用於完全不同的生產，因此，我們應該選擇和創制一些能滿足現代技術要求和適於國民經濟各不同部門應用的干燥器的結構。

同時也已經確定，干燥的理論基礎、干燥設備的計算方法及其操作的原理流程同樣都與干燥器是在那一種工業部門內使用無關。這就使得在解決一系列的科學問題和實際問題時無須考慮個別物料的特性，只須給出適用於各組或各類物料的綜合解決。

除選擇合理的干燥器結構外，干燥過程的強化也是干燥技術的基本問題之一。這種強化與在保證物料的良好攪拌的條件下提高干燥介質的容許溫度有關，也與由於較好的堆置及改善干燥介質對物料的環境的流體力學條件而產生的干燥的高度均勻性等有關。

直接用煙道氣干燥的方法使干燥技術繼續向前發展有很大的可能性，這種方法就是在低溫下也可保證很高的經濟指標，而在只有用這種干燥方法才能達到的高溫下，則可保證最大的效率。

按照全蘇熱工研究所干燥實驗室的設計，制造了一些用煙道氣干燥谷物、成材、茶葉、棉花、纖維素、硝石、白堊、苯胺染料、亞麻及大麻秸等的干燥器，運轉極為良好，在燃燒各種燃料（包括低級燃料）以獲得不損害被干燥物料的工業性質及保證設備安全運轉的干燥介質方面也作了很多工作。由於氣體淨化和消除火星技術的改善，致使能適用這種方法干燥的物料種類數量日益增加。

近年來在關於干燥過程的理論基礎的闡明方面也作了很多工作。

因此,科学和工業的工作者們在修正和摧毀陈旧的技術規程的同时,实现了在干燥介質溫度日益增高下的干燥过程,提高了过程的經濟性,降低了燃料和能量的消耗量,运用了煙道气直接干燥。

如此,理論与实际相互充實,一直地推动干燥技術向前發展,所以不久以前还是先進的,經過一个短的时间就变成落后的了。

廣泛地和正确地利用鍋爐及其他热工裝置的廢气的热量來干燥各种易受污損的物料,也是我們將來的一个重要任务。

还必须注意干燥器和換热設備的設計問題,在这些換热設備中利用廢干燥介質的热量來將水和空气干燥或加热。所有这些,都是進一步提高干燥設備經濟性的道路。

在層瀘时,採用过热蒸汽、紅外線、高頻率电流的新型強化干燥方法,也可应用於本書所述的各种情况。

本書某些章節系技術科学副博士 A. II. 伏洛希諾夫、B. O. 哥尔德什季克、H. M. 米哈依洛夫、H. M. 費多罗夫等参加寫成。

很多干燥器的流程圖为工程师 H. C. 亞斯塔什金所繪制,很多綜合性的表格和公式系工程师 B. A. 巴尔松和工程师 B. C. 格魯什金所編撰。

原稿經 E. K. 費洛甯科教授評閱和 C. E. 伽尔頓格工程师校訂,他們提出了一系列为作者所接受的意見。

作者謹向协助本書消除前版錯誤的同志們致以謝忱。

榮獲劳动紅旗勳章的 Ф. Д. 捷尔任斯基全苏热工研究所教授

M. Ю. 魯利耶

上 册 目 录

第三版序

第一章 基本概念及原理	1
1-1. 湿气体的基本性质及方程式	1
1-2. 物理常数	21
1-3. 给热系数与传热系数	28
1-4. 相似准数	33
1-5. 传热的基本方程式	36
1-6. 液体在气体中气化的基本方程式	53
第二章 空气干燥的热量和物料衡算	64
2-1. 物料衡算	64
2-2. 水分衡算与空气消耗量	69
2-3. 热量衡算	72
第三章 直接烟道气干燥	85
3-1. 燃料的性质	85
3-2. 烟道气的湿含量、热含量以及其他性质	93
第四章 湿空气的 Id - 图和干燥器的热计算	104
4-1. Id - 图的性质	104
4-2. Id - 图上的理论干燥器	106
4-3. 在 Id - 图上绘制过程时大气压的影响	108
4-4. 实际干燥器	109
4-5. Id - 图上的 $Q =$ 常数的线、湿度计	116
4-6. 在 Id - 图上空气与水的相互作用过程	121
第五章 基本空气干燥过程的各种变型	127
5-1. 在干燥室内加热的干燥器	127
5-2. 中间加热空气的干燥器	129
5-3. 废气循环的干燥器	132
5-4. 中间加热和每区段废气循环的干燥器	140
5-5. 封闭循环干燥器	146

5-6. 空气量改变的干燥器	150
5-7. 空气成錯流的干燥器	154
5-8. 在过程進行中空气部分干燥的干燥器	155
第六章 用煙道气干燥时的 Id- 圖和干燥器的热計算	158
6-1. 理論干燥器和实际干燥器	158
6-2. 基本干燥过程的各种变型	162
(1) 廢气循环的干燥器	163
(2) 在干燥室內加热的干燥器	168
(3) 中間升高溫度的干燥器	170
(4) 每区段廢气循环的干燥器	173
第七章 冷却器的計算	177
第八章 干燥过程及影响它的因素	181
8-1. 物料中水分的汽化	182
8-2. 干燥时所容許的空气(气体)溫度	215
8-3. 廢空气飽和程度的选择	217
8-4. 干燥時間	218
8-5. 干燥对物料質量的影响	224
8-6. 干燥器大小或容積的选择	227

下 册 目 录

第九章 干燥器主要型式的分类	231
第十章 連續操作的常压干燥器	234
10-1. 轉筒干燥器	234
10-2. 洞道式(隧道式、通道式)干燥器	254
10-3. 連續操作的厢式干燥器	285
10-4. 列管式干燥器	297
10-5. 刮板干燥器	307
10-6. 帶有攪拌器的干燥器	317
10-7. 鑿式干燥器	322
10-8. 篩板式干燥器	330
10-9. 按照將物料噴洒的原理操作的干燥器	336
10-10. 滾筒式干燥器	352
10-11. 气流式干燥器	363
10-12. 物料成半悬浮状态运动的干燥器、联合干燥器	379
10-13. 圓筒干燥器	386
10-14. 渦輪式干燥器	394
第十一章 間歇操作的常压干燥器	404
11-1. 厢式干燥器和干燥棚	404
11-2. 篩板式干燥器	418
11-3. 底部加热的干燥器、轉筒干燥器、帶攪拌器的干燥器以及其他干燥器	421
第十二章 真空干燥器操作的基本原理	425
第十三章 連續操作的真空干燥器	436
13-1. 圓筒干燥器	436
13-2. 滾筒式干燥器	437
13-3. 帶有攪拌器的干燥器	443
13-4. 帶式真空干燥器	443
第十四章 間歇操作的真空干燥器	445
14-1. 真空干燥厢和真空干燥棚	445

14-2. 物料被搅拌的真空干燥器(机械搅拌).....	446
第十五章 某些新的干燥方法	449
15-1. 用饱和水蒸汽干燥煤.....	449
15-2. 用过热蒸汽的干燥.....	454
15-3. 在高频率电场中的干燥.....	457
15-4. 用红外线的干燥.....	465
15-5. 在一个设备内进行过滤和干燥.....	474
第十六章 各种物料的干燥	478
16-1. 化学产品的干燥.....	478
16-2. 木材的干燥.....	484
16-3. 胶合板和原片的干燥.....	497
16-4. 锯木屑、木粉及刨木片的干燥.....	506
16-5. 绝热板的干燥.....	508
16-6. 火柴的干燥.....	511
16-7. 煤的干燥.....	515
16-8. 粉状泥煤的干燥.....	527
16-9. 谷物的干燥.....	534
16-10. 水果和蔬菜的干燥.....	543
16-11. 饲料产品和啤酒业、酿酒业、葡萄酒酿造业及糖厂等废料的干燥.....	549
16-12. 干面包的干燥.....	553
16-13. 茶叶的干燥.....	554
16-14. 铸型和型芯的干燥.....	560
16-15. 纱束的干燥.....	569
16-16. 布匹的干燥.....	572
16-17. 人造丝的干燥.....	580
16-18. 羊毛、棉花及其他纤维物料的干燥.....	585
16-19. 纸张、纸板和纸浆板的干燥.....	589
16-20. 鞋用纸板(皮革代用品)的干燥.....	599
16-21. 纸罐品的干燥.....	601
16-22. 陶瓷制品的干燥.....	602
16-23. 陶瓷材料的干燥.....	608
16-24. 涂了底漆、清漆和油漆的制品的干燥.....	614
16-25. 亚麻和大麻的麻茎和生麻茎的干燥.....	617
第十七章 除塵器	622
17-1. 概論.....	622
17-2. 旋風分离器.....	626

17-3. 全苏热工研究所型的百叶窗式除塵器.....	632
17-4. 除塵室.....	634
17-5. 湿式除塵器.....	636
17-6. 袋濾机.....	641
17-7. 电除塵器.....	645
第十八章 热源	650
18-1. 燃燒室.....	650
18-2. 烟道气預热器.....	661
18-3. 蒸汽預热器.....	670
18-4. 电預热器.....	678
18-5. 鍋爐及其他热力裝置的廢烟道气.....	679
18-6. 捕热器.....	686
第十九章 干燥器、預热器及空气通道系統的阻力	690
19-1. 空气通道的摩擦阻力.....	690
19-2. 局部阻力.....	691
19-3. 空气通过物料層的阻力(ΔS_1).....	696
19-4. 預热器的阻力(ΔS_2).....	700
19-5. 過濾机与除塵器的阻力(ΔS_3).....	704
第二十章 干燥器的热計算示例	709
20-1. 中間加热和每区段空气循环的干燥器的热計算示例.....	709
20-2. 用烟道气干燥的干燥器的热計算示例.....	727

第九章 干燥器主要型式的分类

干燥器的結構型式極為繁多，似乎应当有一大堆的分类是意料之事。但是，如果撇开干燥过程的各种方案，撇开干燥介質的种类（空气和烟道气），則干燥器的所有主要結構就可以分成不多的几种类型，那就是：

(A)連續操作的常压干燥器。凡是同一种物料的加料和卸料都是均匀而連續的各式干燥器都属于这一类。

这类干燥器可以分成以下几种結構：轉筒式、洞道式、厢式、列管式、帶攪拌器的刮板式、豎式、篩板式、噴霧式、气流式（气流式干燥器）、半气压式（物料成半悬浮状态）、滾筒式、圓筒式、渦輪式等。

在連續操作的干燥器中，物料和干燥介質（这里所指的是自干燥器排出去的那一些气体，在一切干燥过程方案中的循环气流可以有另外的方向）可以以同一的方向流动（并流），或者相反地以相对的方向流动（逆流），或者以相互垂直的方向流动（錯流）。

并流（順流）时高湿度的物料与低湿含量及可容許的高温的干燥介質相遇，自干燥器出来的物料其湿度已降低，而自干燥器出来的干燥介質其湿含量已增高，其温度則随干燥过程的方式而异，或高于干燥介質进干燥器时的温度，或低于干燥介質进干燥器时的温度。干燥推动力在大多数的情况都沿物料移动方向而遞減。并流适用于下列情况：

(1) 物料在潮湿状态較經过干燥后更能承受强烈的干燥，而且物料不致龟裂，在其表面上也不致形成硬皮等等。

(2) 干燥了的物料对高温敏感。

(3) 物料在干燥終了时收湿性小，如此就能够采用較大的 φ_2 值，

就是可以使干燥过程较为经济。

逆流时,干物料与湿含量低和温度高的干燥介质相遇,而湿物料则与湿含量较高的干燥介质相遇。在湿物料进口处干燥推动力较低。

逆流适用于下列情况:

- (1)物料在高湿度的时候不能承受迅速的干燥。
- (2)干燥了的物料对高温不敏感。
- (3)物料有较大的收湿性。
- (4)物料需干燥至很低的湿度。

并流干燥器和逆流干燥器所消耗的热量与所选定的干燥方式和过程的操作范围有关。

在并流逆流联合应用时,高温干燥介质与湿物料相遇,在某一定的区段内与湿物料平行流动。第二部分干燥介质则从干物料出口处进入,并与物料相向流动。废干燥介质则自干燥器的中部排出。

在物料与干燥介质系并流逆流联合操作时,干燥介质也有从干燥器的中部进入,而由湿物料的进口和干物料的出口排出的。

逆流时,当物料尚未受热以前,水蒸汽可能部分冷凝。冷凝增快了受热的速度,但却减低了干燥速度,而且有时还成为产生废品的原因。并流时,对于很多物料,在干产品离开干燥器的地方,干燥介质的湿含量已经达到不能容许的限度(干燥推动力很小)。

采用并流和逆流的联合方式可使冷凝作用减小,同时使干燥介质在干产品离开干燥器的地方其湿含量也不大。

错流时,高温和低温含量的干燥介质以垂直于物料移动的方向穿过物料。

因此,干燥介质在每一区段中都按照干燥过程的基本方式操作。在所有各区段中干燥推动力都很大,在所有各区段中干燥强度也相当高。但在大多数情况里,最末一区段的经济性较低(φ_2 值不大)。

错流适用于下列情况:

(1) 物料在潮湿状态和干燥状态下都同样能承受迅速的干燥, 并对高温不敏感。

(2) 快速干燥比起降低单位热消耗量和干燥介质消耗量更为重要。

(3) 干燥过程所需的干燥介质量由于干燥器的结构特殊或者由于整个系统的阻力很大而不容许采用并流和逆流流动者, 例如, 竖式干燥器、带搅拌器的干燥器等等。

(B) 间歇操作的常压干燥器。凡是物料在干燥器中系静止不动, 或虽被搅动但加料是间歇的这些干燥器, 都属于这一类。干燥情况是不变的或者随时间而改变。物料的湿度沿空气流动的进程改变, 但在干燥器中同一的地段上则随时间改变。这类干燥器分以下几种结构: 干燥橱和干燥厢、筛板式干燥器、带搅拌的干燥器(机械搅拌)。

此类干燥器也像连续操作的干燥器那样, 可以在其中进行各种方式的干燥过程; 厢式干燥器也像连续操作的干燥器那样, 可以用热空气和烟道气来操作。

间歇操作的干燥器较连续操作的干燥器构造简单、价格低廉。在间歇操作的干燥器中易于做到粉尘产生得较少和干燥条件较稳定, 但在间歇操作干燥器中干燥不均匀性则比较大, 此外, 在管理方面也需要额外的劳动力来装卸物料。间歇操作的干燥器需要经常不断地注视过程的进行情况, 在取出物料以前还需将干燥器冷却。

(B) 真空干燥器。这类干燥器, 正如它的名称所指出那样, 系在混合气体的总压十分低的情况下操作的, 而且混合气中的空气量多半很少。在此类干燥器中加热面设置在干燥室的里面。真空干燥器的分类与常压干燥器的分类相似。

(1) 连续操作的真空干燥器。其特点大致与常压干燥器相同。此种干燥器分为: 滚筒式、圆筒式及带搅拌器的干燥器几种。

(2) 间歇操作的真空干燥器。其特点大致也与常压干燥器相同。此种干燥器分为厢式的及能搅拌物料的(机械搅拌的)干燥器等几种。

第十章 連續操作的常压干燥器

10-1. 轉筒干燥器

轉筒干燥器广泛应用于各种散粒物料的干燥。这种干燥器根据所容許的干燥介質溫度而采用热空气或烟道气操作,并且可以具有这一种或那一种内部加热的方式。轉筒干燥器可以分为具有不同特性的三种类型。

(1)直接加热干燥器。在此种干燥器中干燥所需的全部热量都是在物料与干燥介質直接接触的情况下傳遞的。

(2)間接加热干燥器。在此种干燥器中干燥所需的全部热量系经过被烟道气或蒸汽所加热的間壁來傳遞的。

(3)复式加热干燥器。在此种干燥器中干燥所需的一部分热量經間壁傳遞,另一部分热量則在物料与干燥介質直接接触下傳遞的。

下述構造的直接加热干燥器应用得較广。

在一 $\frac{1}{15}$ 到 $\frac{1}{50}$ 的不大的傾斜度的(物料湿度愈低和干燥愈快則傾斜度愈大)焊制轉筒上裝上兩個輪箍,每一个輪箍在兩個或四个(自动調整的)支承輪上滚动(圖 10-1),同时裝上与傳动裝置相联的齒輪圈(在个别情况下系借支承輪和輪箍产生的摩擦來傳动)。为了防止轉筒滑动还裝置了止推輪。湿物料系借專門的流道(圖 10-1)或螺旋輸送器(圖 10-2)送入轉筒內^①。

在轉筒內安裝螺旋形的导料板 13 (圖 10-1),此螺旋形导料板將

① 圖 10-1 的轉筒干燥器有一組傳动机構,而圖 10-2 則是單独的傳动机構。