

# 浸没燃烧蒸发器

丁惠华 楊友麒 卢 瑛編

18  
2

中国工业出版社

統一書號  
15165·2485(化工-219)

定價：0.53 元

# 浸沒燃燒蒸发器

丁惠华 楊友麒 卢 瑛編

中国工业出版社

· 014662

浸沒燃燒蒸发器是使高温气体直接和被蒸发液体接触傳热的一种新型蒸发器。它与具有金属傳热面的蒸发器比較，不仅簡化結構，節約鋼材，且适宜处理腐蝕性強、易結晶及易結垢的物料。

本书討論了浸沒燃燒蒸发器的基本理論，闡述了該蒸发器的結構类型及根据不同物料如何選擇这种蒸发器的結構类型。同时敘述了該蒸发器的設計路綫、設計步驟、生产操作及安全技術；最后还介紹了該蒸发器的經濟评价和它的操作控制与調节。

本书供从事化学工业生产及設計的技术人員参考之用，也可用作大专院校的化工系师生的参考书。

### 浸沒燃燒蒸发器

丁惠华 楊友麒 卢 瑛編

\*

化学工业部图书編輯室編輯（北京安定門外和平北路四号樓）

中国工业出版社出版（北京修羅園路丙10号）

（北京市书刊出版事业許可証出字第110号）

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

\*

开本787×1092 $\frac{1}{2}$ ·印張4·字數85,000

1963年11月北京第一版·1963年11月北京第一次印刷

印數0001—1,785·定价(10-6)0.53元

\*

統一書号：15165·2485(化工-219)

014083

## 序

浸沒燃燒蒸发器是使高温气体直接和被蒸发液体接触傳热的一种新型蒸发器。它与一般具有固定金属加热表面的各种蒸发器比較，不但大大地簡化了結構，取消了傳热面，節約了鋼材，而且特別适合处理强腐蝕性或极易結垢等难处理的物料，因此获得各工业部門的密切注意。

大連工学院化工过程及設備教研室从1959年以来在这方面进行了一些工作，并与一些工厂进行协作，进行了多次中型实验，取得初步結果。虽然我們工作做得很少，数据还不完整，对这一新型設備的研究还仅仅是开始，但我們还是大胆地将国内外已发表的有关資料收集起来，并結合摸索到的初步經驗用文字写出来以供有关厂矿参考。

参加这项工作的有1959年、1960年、1961年各屆化工机械专业毕业班学生：1959年屆：富培、徐敦頤、李继生、楊登奎、刘燕齡；1960年屆：唐尔鈞、梅亮明、赵錫麟、朱振常、陈孝坤、王崇嶽；1961年屆：于鈞鵬、張小明等人，負責指导的教师为丁惠华、楊友麒、卢瑱等同志。

这项工作从始至終得到許多有关协作厂矿的支持和幫助，特在此一并表示感謝。

我們衷心地希望各有关单位对本书內容隨時提出意見，以便再版时修正。来函請寄：大連工学院化工系化工过程与設備教研室。

作 者

一九六一年七月

于大連工学院化工过程与設備教研室

KAE 14/08

014662

参 考 文 献

1. N. Swindin, Trans. Inst. Chem. Eng. 1927, 5, 110.
2. C. F. Hammond, Trans. Inst. Chem. Eng. 1931, 9, 74.
3. K. A. Kobe, E. H. Conrad, I. E. C. 1933, 25, 984.
4. K. A. Kobe, C. W. Hang, I. E. C. 1936, 28, 589.
5. J. H. Waltball, M. Miller & M. M. Striplin, Amer. Inst. Chem. Eng. 1945, 99.
6. E. M. Burdick, C. O. Anderson, C. E. P. 1945, 45, 9.
7. N. Swindin, Trans. of Inst. Chem. Eng. 1949, 27.
8. E. M. Burdick, C. O. Andreson & W. E. Dmean, Chem. Eng. Prog. 1949, 45, 539.
9. Ed. Cronan, Chem. Eng. 1956, 2, 63.
10. J. Austin, Brit. Chem. Eng. 1957, 2, 49.
11. R. P. Fraser, Trans. Inst. Chem. Eng. 1957, 35, 219.
12. G. A. Carpenter, Chem. & Prog. Eng. 1958, 30, 12, 425.
13. 前泽昌武, 小野塚一夫, 化学工学. 1955, 11, 577.
14. 赤松正水, 井上稔, 化学工业. 1959, 2, 135.
15. И. П. Левш, О. В. Балагична Ж. П. Х. 1959, 5, 1029.
16. А. В. 阿尔谢也夫, 煤气的燃烧, 胡彦邦译 (冶金工业出版社).
17. Р. А. Миликян Ж. П. Х. Т. XXXI №4 (1958) Ж. П. Х. вып 1 (1957).
18. Г. И. Микулин Хим. Пром. № 1 (1955).
19. Лазорин Кокс и Хим. №9 (1960).
20. 卡薩特金“化工过程及设备”下册 (1958).
21. 上海化工医药设计院“沉沒燃燒法蒸发实验报告”化机技术报导. 1960, 2.
22. 楊友麒等, “浸沒燃燒蒸发器的初步研究”大連工学院学刊 № 8 (1959).
23. 張洪源著, 化学工业过程及设备 (高等教育出版社).
24. 列文著, 王紹亭译, 新型蒸发器 (冶金工业出版社).
25. 宮子好文著, 蒸发工程及设备.

# 目 录

序

緒論	1
<b>第一章 浸沒燃燒蒸发器的理論基础</b>	8
一、燃料气体与空气的混合	9
二、在燃燒室中的无焰燃燒过程	13
三、傳质、傳热中一些問題的探討	26
四、浸沒燃燒蒸发器的流体力学	46
<b>第二章 浸沒燃燒蒸发器的結構类型及选择</b>	57
<b>第一节 浸沒燃燒蒸发器結構討論</b>	58
一、浸沒燃燒蒸发器的分类	58
二、沒有循环裝置的浸沒燃燒蒸发器	59
三、帶有循环隔板的內热式浸沒燃燒蒸发器	62
四、帶有循环擋环(管)的內热式浸沒燃燒蒸发器	66
五、外热式浸沒燃燒蒸发器	70
<b>第二节 蒸发不同物料时对蒸发器結構的选择</b>	75
一、关于处理强腐蝕性的溶液	75
二、关于处理既有很强腐蝕性又需較高溫度的溶液	79
三、关于处理易結垢、易結晶的溶液	83
四、关于处理易分解、燃燒或爆炸的溶液	84
<b>第三节 燃燒器噴嘴的結構討論</b>	85
<b>第三章 浸沒燃燒蒸发器之設計</b>	90
一、浸沒燃燒蒸发器的設計路綫	90
二、浸沒燃燒蒸发器設計計算步驟	90
三、利用鼓泡体积进行蒸发器設計	102

<b>第四章 生产操作和安全技术</b> .....	104
一、生产操作 .....	104
二、安全技术 .....	111
附录一、关于浸没燃烧蒸发器的经济评价 .....	114
附录二、关于浸没燃烧蒸发器操作的控制与调节 .....	117
参考文献 .....	121



## 緒 論

將氣體或液體燃料預先與空氣混合送至浸沒在液面下的燃燒室中燃燒，由燃燒所產生的熾熱的高溫產物從液面下排出，此過程即為浸沒燃燒過程。我們可以舉一個簡單的例子來說明，如果我們把一個已經點燃的大噴燈倒插在水面下，這樣我們就得到一個與浸沒燃燒相似的裝置。與這個裝置的工作原理相似，浸沒燃燒，從傳熱的角度出發，它是直接的傳熱方式之一，燃燒火焰或者是它的气体產物直接與液體相接觸，氣體以鼓泡的形式通過液體，並產生強烈的攪拌作用而完成傳熱過程，因而它的热效率是很高的，可達90~95%。

圖 0-1 所示的是一個簡單的浸沒燃燒蒸发流程图，此裝

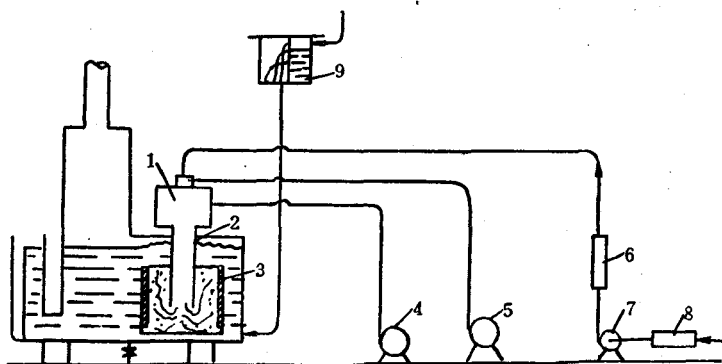


圖 0-1 浸沒燃燒蒸发魚粘液裝置流程图

1—油燃燒爐；2—浸沒管；3—循環管；4—二次空氣鼓風機；5—  
一次空氣鼓風機；6—油加熱器；7—油泵；8—油濾器；9—流量計。

置是应用于蒸发含有固体蛋白质的魚粘液，从这里可以看出，如果除掉那些輔助設備，把浸沒燃燒蒸发器从具体的工艺过程中抽出来，那么，浸沒燃燒蒸发器的基本构成可以分为三个主要部分：一、燃燒装置；二、貯器；三、为了减少带出液沫而装置的分離器(一般是旋风分离器)。当然，随着所应用的場合不同，它們所起的作用也有所区别。例如，作为蒸发器而用于蒸发过程时，燃燒室主要作为热源，貯器作为蒸发室；而作为反应器用于化学反应过程时，如利用燃燒所产生的二氧化碳中和碱性的染料廢液时，燃燒装置除了作为热源外主要是作为气体发生器，而貯器則作为反应室。

蒸发操作是化工生产中极重要的单元过程之一。随着生产的发展，人們在化工生产中所遇到須要蒸发的物料种类日益繁多。由于物料及生产能力不同，用来处理物料的蒸发設備就有所不同。因此在化工生产中就存在着必須依据物料性质及生产能力来設計和选择合适的蒸发設備的問題。

目前，在化工生产中各种类型的蒸发器同时被应用，有的由于应用价值不大，而逐漸被效率更高的蒸发器所代替(如夹套式、蛇管式及水平列管式蒸发器)；有的由于物料性质的限制还不得不在操作条件很坏的情况下，用原始的方法处理工业产品(如用来蒸煮燒碱用的蒸煮鍋)。蒸发技术中存在着如何研究和掌握蒸发过程的机理及設備，以革新现有的蒸发設備与用新的蒸发設備来处理各种用一般蒸发器难以蒸发的物料的問題。

到目前为止，在化工生产中，对于腐蝕性强、易結晶、易結垢、粘稠和泡沫多的物料的蒸发还没有得到完滿的解决。

普通的列管式、蛇管式、夹套式蒸发器，由于循环速度

不大（垂直列管式的最大循环速度只有 1.5 米/秒），对易结晶、特别是易结垢物料的蒸发，容易堵塞。这就降低了传热系数，甚至使操作不能进行。对粘稠的物料，循环速度大大降低了，影响传热效果。膜式蒸发器适用于稠厚和易生泡沫的物料，但由于溶液在入口处流速低（只有 0.05~0.07 米/秒），结垢堵塞严重。用强制循环式蒸发器来处理易结晶、易结垢的物料，在目前看来是较可靠的，但它的缺点是，操作复杂、结构复杂、金属消耗量大，特别是能量消耗大（每平方米加热面为 0.4~0.8 千瓦），在加热面较小和较大时，很难找到合适的泵（如当加热面为 500~1000 平方米时，轴流泵的功率要求达 250~500 千瓦，在技术上是难办到的）。近年来苏联开始采用自然循环的列文式蒸发器，解决了强制循环蒸发器需要循环泵的缺点，但其结构也是复杂、庞大、制造与维护也较复杂、金属消耗量大。应该强调的是，不论强制循环式还是列文式蒸发器，用提高循环速度来改善操作，这仅仅是设备的改良，并没有从根本上解决问题，对处理要引起堵塞的物料，仅是延长了操作时间而已。从根本上解决问题的方法是把固体传热面去掉。

上面谈到的都是有间壁传热的蒸发设备，它们均难以解决处理腐蚀性物料的困难。我们虽然可以采用某些特殊材料来制造蒸发设备，但这常使设备昂贵、复杂，特别是对某些物料（如氯化铵、磷酸等）就连常用的一些特殊金属材料也不能抗腐蚀。

总的来说，遇到上面的物料，上述各种蒸发器有一个根本的缺陷，就是它们必须有固定的传热面。因为有传热面在处理易结晶和易结垢物料时产生堵塞，因为有传热面而使得蒸发器的结构变得复杂，因为传热面而造成处理腐蚀性物料

的困难。于是出現了一些沒有固定傳热面的新型蒸发設備。

浸沒燃燒蒸发器就是沒有固定傳热面的蒸发器，它是一种直接接触傳热的蒸发設備。

自然，直接接触傳热的蒸发設備不只浸沒燃燒蒸发設備一种。在过去濃縮腐蝕性物料时，都是采用塔式濃縮器或鼓泡式濃縮器。但这两种蒸发設備与浸沒燃燒蒸发設備比較起来，却有許多严重的缺点。塔式濃縮器在操作时，塔底一方面既要受到 $1000^{\circ}\text{C}$ 左右高温烟道气的烘烤，另一方面又要受到自塔頂淋下的只有 $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ 的液体的激冷，因而不但要求設備材料既要耐高溫，又要耐腐蝕，同时还要經受得住高度的溫度剧变的严重考驗，所以选用制造塔体和塔板的材料是很困难的。此外結構笨重得很。这就使塔式濃縮器的使用受到限制。至于鼓泡式濃縮器，它要求一个受正压的炉子，这給燃燒操作带来困难，对密封要求严格，同时燃燒强度低、設備龐大，热效率較浸沒燃燒也低。

归納起来，浸沒燃燒蒸发設備具有如下的优点：

1. 沒有固定傳热面，因而不存在傳热面上的結晶、結垢問題。同时，蒸发器全部空間溫度不高，不和直接火焰接触，故設備壳体内壁可衬以非金属衬里、刷上防腐涂料或用非金属材料来制造。由于这个原因，浸沒燃燒蒸发器特别适宜于用来蒸发强腐蝕性的溶液。

2. 由于气泡剧烈攪动，使悬浮物很难沉淀下来；沒有复杂的傳热表面，即使有沉淀清洗也很方便。

3. 燃燒热利用的好，热效率高达95%以上。

4. 不需要加热蒸汽，故可省掉发生蒸汽的鍋炉等动力装置。

5. 由于不需要大量金属加热管，故可节省大量鋼材，設

备投資少。

6. 可以用各种燃料气，如天然气、焦炉气、煤气、氢气和石油气等。

7. 流程简单，设备结构简单，因而施工快。

8. 操作弹性大，操作范围易于调整。

由于上述优点，不难看出，浸没燃烧蒸发设备具有强大的生命力，可以应用于许多企业部门。但浸没燃烧蒸发设备也不是在一切场合下都能适用的，它要求所处理的物料必须是在直接火焰的喷射下不分解、不燃烧、不爆炸、不变质、同时允许料液有一定程度的污染。这种蒸发器按其经济性能来看，只能相当于双效列管蒸发器，尚比不上多效蒸发器。不过众所周知，并非一切物料采用多效蒸发都是经济的，如温度衰颓严重的物料就有所限制了。

浸没燃烧技术的产生和发展是以客观生产的需要和燃烧理论的发展为基础的。

早在上世纪以来，可以在液面下进行燃烧的现象已经被发现，但由于下述原因使得浸没燃烧的发展在开始阶段是比较缓慢，这主要是：

一、燃烧理论还未获得较为完善的发展，因而研究者对于燃烧过程的掌握；特别是燃烧火焰的原理和性质，爆炸和火焰扩散（它影响到回火现象）等各方面的知识掌握得不够，故初期的设备比较粗糙，安全性和效率都不太高。

二、在应用浸没燃烧的过程中，一些关键问题未获得解决，如燃烧室的耐火材料，它不仅要求材料具有一定的严密性，而且能在较高的温度下（超过铂的熔点）不会发生破裂、熔化和能够抵抗某些料液的腐蚀。

三、人们对它的性能掌握得还不够，另一方面客观要求

也不是很迫切。由于上面的原因，所以这项技术在当时没有得到广泛的应用。

随着科学技术的发展，人们对燃烧理论有了进一步的了解。生产的发展要求处理各种物料，有的物料特别粘稠，有的易结晶、结垢，有的腐蚀性特别强，这对蒸发过程提出各种各样的要求。因此有人就采用浸没燃烧的方法来处理具有这些性质的物料，结果很为满意。浸没燃烧技术迅速发展仅是近三十来年的事情。目前这项技术已应用到下面一些场合中去：

1. 化学工业中易结垢、强腐蚀的物料或粘稠、易起泡沫的物料的处理。现已在工业上应用的有：磷酸、硫酸、硫酸钠、磷酸钠、氯化锌、氯化镁、氯化钙、氯化钾、碳酸钠、亚硫酸纸浆、苛性钠等。

2. 食品工业中胶结性物料之浓缩，例如果皮浆浓缩成密酱，鱼胶浓缩制蛋白脂肪。

3. 动力工业用水的处理：用燃烧产物中二氧化碳来加热软化硬水及海水的蒸发制取淡水和盐等。

4. 废液的回收：冶金厂的废酸回收，盐类(如钨酸钠)回收，选矿厂废液中氯化钾的回收等。

5. 其他：加热加压水用于开采硫磺，其他生产周期短、要求固定投资少的场合。

在浸没燃烧技术发展和应用过程中，国外比较重要的工作我们想指出以下几个。1887年柯里尔(Callier)发现浸没燃烧的现象。1901年史密赛斯特(Smethurst)将浸没燃烧应用于化工反应。1923~1925年由于布瑞勒(Brunler)、哈蒙特(Hammond)等人努力，创造出了安全可靠、能正确控制的燃烧喷嘴。1931年以后浸没燃烧技术才在大规模的工业上

应用。1931年哈蒙特 (C.F.Hammond) 首先在磷酸濃縮上应用。后来柯貝(K.A.Kobe)进行了浸沒燃燒蒸发硫酸鈉、氯化鉀、天然碱的实驗研究。史文汀(N.Swindin)在盐类的蒸发方面进行了大量工作,他先后将此法应用于鋼鐵企业中廢酸回收,氯化鋅、磷酸鈉、鎢酸鈉等蒸发濃縮,他将尾气(廢气)速度提高到65米/秒,使傳热系数 $K$ 值达730千卡/米<sup>2</sup>·小时·°C,这样利用預热器来預热蒸发液,使得整个系統热利用率提高70~80%。安德逊(C.O.Andreson)在1945年开始采用液体燃料作为浸沒燃燒蒸发用燃料,提高了燃燒器的强度。1957年法勒賽(R.P.Fraser)在他的論文中提出燃燒設備初步的設計原則。1958年卡平特(G.A.Carpenter)用浸沒燃燒蒸发来濃縮魚胶液。最近的日本杂志也有一些有关的介紹。

在苏联、波兰、捷克斯洛伐克等社会主义国家对浸沒燃燒已进行集中的研究。苏联化学杂志文摘提到,在苏联已用浸沒燃燒蒸发器来处理金属材料的銹和氧化皮的洗液,热效率达95%,燃燒强度达 $6.2 \times 10^7$ 千卡/米<sup>3</sup>·小时。

## 第一章 浸沒燃燒蒸發器的理論基礎

浸沒燃燒蒸發的設備流程如圖 1-1 所示。空氣和煤氣分別由空氣鼓風機 1、煤氣鼓風機 2 經各自的管綫進入混合室 3 (氣體壓力約為 0.4~0.6 表壓, 視系統的阻力而決定), 在此達到充分的混合。經過速度管使混合氣體具有一定的速度 (大於可見火焰擴散速度 5~20 倍), 以防止回火現象的產生。然後進入燃燒室 4 進行燃燒。其點火方法有兩種: 一為

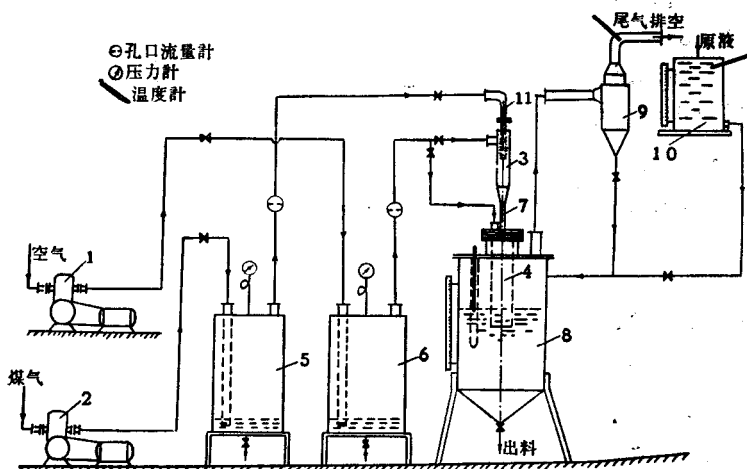


圖 1-1 浸沒燃燒蒸發設備流程

- 1—空氣鼓風機; 2—煤氣鼓風機; 3—混合室; 4—燃燒室;  
5—煤氣緩沖罐; 6—空氣緩沖罐; 7—速度管; 8—蒸發器;  
9—旋風分離器; 10—高位槽; 11—煤氣管。



人工点火，另一为电火花或电热丝点火。因为燃烧室直接浸入被蒸发的液体中，燃烧后的炽热气流立即在液体中进行鼓泡排出，与液体剧烈地进行直接接触的热交换，同时将水分蒸发。被蒸发的水分和燃烧产物一同由尾气管经除雾装置后排入大气。料液从加料管加入，浓液从排出管排出。

仔细分析一下浸没燃烧蒸发器的工作过程，那么基本上可分为下列五个方面问题来讨论：

- (1) 燃料气体与空气之混合；
- (2) 在燃烧室中的无焰燃烧过程；
- (3) 气液两相直接接触的传质和传热过程；
- (4) 流体力学；
- (5) 设备的结构型式。

在本章将分别讨论前四个问题，其中流体力学中液体的自然循环问题，将在设备结构型式的讨论部分，另分章节单独讨论。

### 一、燃料气体与空气的混合

为了在很小的体积内迅速释放出大量的热，通常采用燃料气体与空气预先混合的“无焰燃烧”。要使燃烧完全，必须保证预先将燃料气和空气呈分子状态均匀混合。

研究气流的混合规律，极有助于解决有关燃烧的理论问题，有可能设计出更完善的煤气烧嘴。

对浸没燃烧最有意义的是气流在管内的混合。根据阿尔赛耶夫(A. B. Арсеев)研究的結果，最后可归纳为下面六点结论：

1. 两股平行气流在管子内混合时，流速在5~30米/秒之范围内增加时，混合情况显著恶化，而当继续增加流速时混