第25卷 第2期 西安交通大学学报 Vol. 25 №2
1991年 4月 JOURNAL OF XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY Apr. 1991

催裂化装置新型重油雾化器的开发研究*

姚秀平 俞茂铮 毛靖儒 蔡颐年
（能源与动力工程系）

摘 要

本文提出了一种应用于催裂化装置的新型重油原料雾化器．实验和理论分析的结果表明，这种雾化器具有一系列与催化裂化工艺要求相适应的性能特点，其雾化质量也显著地优越于目前国外比较先进的同类型雾化器的雾化质量．

关键词： 雾化器；催化裂化；重油
中国图书资料分类法分类号： T318；V432

0 引 言

现代炼油厂的催裂化工艺普遍采用了原料雾化技术．经过雾化的原料油进入提升管反应器后很快就会全部汽化，并且迅速地在催化剂上发生裂解反应．工业生产的经验表明，如果原料雾化充分，进入提升管后分布合理，不但能够提高催裂化轻油的收率，而且还可以有效地抑制返混，提高产品的质量．

70年代以前，原料雾化的技术措施并未得到重视．其最主要的原因在于当时的催裂化工艺水平尚不是十分高．然而，在近20年石油短缺的刺激下，催裂化技术得到了迅猛的发展，并且日趋完善．在这种情况下，对原料雾化状况的改进已成为一项有效的技术手段．

由于催裂化工艺对雾化器各项性能的要求都比较特殊，一般场合使用的雾化器都很难满足其要求，所以通常需要进行专门设计．据悉，近年来一些发达国家都开展了这方面的研究工作，并且相继发展了一些特殊结构的雾化器．但由于工业技术保密或许也由于其它方面的原因，有关的技术资料很难获得．

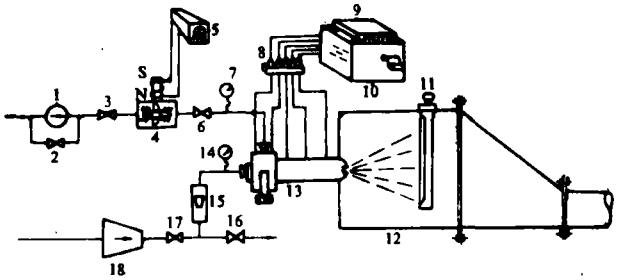
国内的催裂化装置，80年代以前一直都没有采取特殊的原料雾化措施，而只是用普通直管进料．直到近10年间，才逐渐采用了喉管式和Y型雾化器．但是，正如工业实践所表明的那样，这两种雾化器应用在催裂化装置中并不十分合适．针对这种情况，围绕开发新型原料雾化器的目的，我们与洛阳石化公司合作，从1987年以来开展了一系列的研究工作．这里将要叙述的是这些研究的一个部分．

收到日期：1990-04-03
* 国家"七五"科技攻关项目

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1 实验装置简介

图1给出了以水和空气为实验介质，模拟雾化器的真实工作条件而设计建造的喷雾试验台的系统简图。在该系统中，试验用水通过水泵1从储水箱抽出加压到约1.6MPa，然后经



1——水泵；2——调压阀；3——前水阀；4——涡轮变速器；5——流量计算仪；6——后水阀；7——水压表；8——压力传感器；9——毫伏表；10——打印机；11——取样器；12——测量箱；13——雾化器；14——压力表；15——浮子流量计；16——排空阀；17——气阀；18——压缩机

图1 气水模拟喷雾试验台系统图

由水阀3、涡轮流量变速器4和水阀6送入实验段13。其流量由涡轮流量变送器转换为电磁信号，然后由频率积算仪5计算显示。空气由压缩机18加压到约0.7MPa后，经由阀门17和浮子流量计15送入实验段。雾化器用透明的有机玻璃加工制造，安装在实验段13处，其内部各处的压力由压力传感器8转化为电压信号，送入数字毫伏表9显示，并由打印机10直接打出数据。透过与大气环境连通的收集测量箱的透明壁可以直接观察，或者用高速摄影机拍摄雾化器喷口处及其外部的喷雾分布情况。测量雾滴的大小时，首先用取样器11将雾滴样品取出，然后经显微摄像将图像信号送入专门设计的图像自动分析系统进行统计处理[1]。在该实验台上可以实现的喷雾试验参数范围分别为：水压力0.1～1.6MPa，水流量0～6t/h，空气压力0.1～0.7MPa，空气流量0～20m³/min。喷雾环境为大气环境。

2 新型雾化器的构型及其工作原理

为了提出适宜在催裂化装置中采用的雾化器构型，首先需要深入了解这种应用场合对雾化器有哪些基本要求。通过对现代提升管式催裂化工艺过程的分析发现，这些要求可以总结为以下几个方面：

1) 有较大的容量和较宽的容量适用范围。一般要求能在6～65t/h之间的任何一个容量下将雾化器设计成单只，而不是多只的组合；

2) 有较高的抗堵塞和抗结焦能力。这是因为雾化器工作时，其喷口必须处在高温的环境中。同时，原料油不仅粘度高而且杂质多。经验表明，雾化器喷口直径若小于6mm，就有可能被堵塞进而结焦；

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3）喷雾粒度细小均匀，使原料进入提升管后能迅速汽化；

4）能耗较低。工程实践中，一般要求雾化器的蒸汽耗量不能高于原料油流量的7%。对渣油原料，要求将汽/油比控制在7%以下；对腊质原料油，汽/油比要控制在5%以下。同时，雾化器的通流压降不能高于0.3～0.5MPa；

5）有适中的喷射速度。工程实践中一般认为40～70m/s的喷射速度比较合适。高于70m/s有可能造成催化剂粒子的磨损粉碎，低于40m/s则可能因穿透力太低使提升管中部没有油雾；

6）具有合适的喷雾模式（即喷雾形状），使原料进入提升管后能均匀地分布在提升管横截面上，形成薄而均匀的油雾层；

7）有一定的流量弹性。要求当油的流量在设计流量的60%～120%之间变动时，雾化器能正常工作。操作控制灵活简便。

根据以往的经验，国内现有的任何一种雾化器都难以同时满足以上这些要求。

在确定合理的雾化器构型时，我们从雾化的最基本原理着手进行了认真的分析。从中发现，要使液体从整体状态全部过渡到分散的液滴状态必须经历以下两个物理过程：

1）将液体扩展为很薄的液膜或者很细的流束；

2）将液膜（或流束）破碎为各种尺寸的液滴群。

这同时也是现有各种雾化器中发生的两个物理过程和任何雾化器在构造原理上所应遵循的最基本原理。

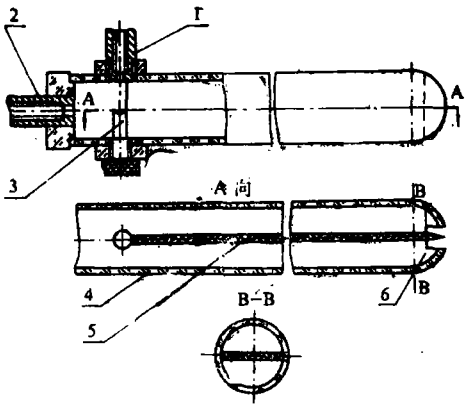
在实现上述第一个物理过程时，以往的雾化器大多采用特定设计的窄缝或者细孔对液体流动加以限制使其扩展，也有些通过流体旋转或者转盘（杯）旋转带动液体扩展[2]。一般来说，这一阶段形成的液膜越薄或者液束越细就越容易得到较细的雾化粒度。但在针对催化裂化应用场合设计雾化器时就会发现，窄缝和细孔的结构都因容易堵塞而不便采纳，旋转的方法虽不存在堵塞问题，但却因其它一些困难而不便采用，所以必须采取一些较为特殊的措施。

在实现第二个物理过程时，常用的几类雾化器（按超声波原理和电磁场原理以及振动原理工作的几种雾化器除外）所采用的方法没有本质性的差别，均是通过造成液体与周围介质之间产生相对运动的办法。所差别的只是能量来源不同。气动式雾化器的能量来源是气体动能。由于这种雾化器可以造成更大的气液相对速度，所以一般情况下雾化质量也较高。在这种雾化器中，关键是要设法保证液体在充分雾化之前既与气流有较大的相对速度，又不会游离出高速气流区。一般总是尽可能把液体置于气流的中心。

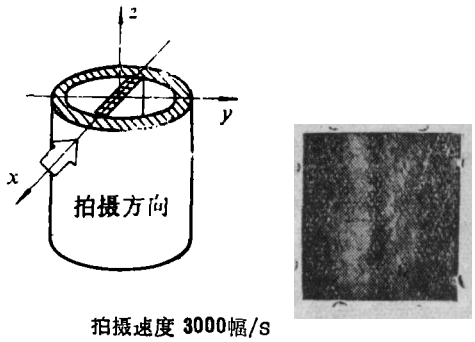
在剖析了国外几种比较先进的雾化器的基础上，经过了多种方案的对比试验和分析，我们设计了如图2所示的一种气动式雾化器。

该雾化器在工作时，被雾化的原料油从喷嘴1注入雾化器，首先冲击在靶3上，沿靶面向两侧扩展，然后与来之喷嘴2的蒸汽射流混合，一起流入由圆管和预膜板构成的双半圆形流道。在向尾喷口流动的过程中，油、汽两相在两个半圆形的流道中可分别形成稳定的环雾状分布。图3给出了用高速摄影机从图示方向以每秒3000幅的速度透过输料管透明管壁拍摄到的管内的真实流动图像。从该图可明显看出管壁和预膜板上的波动液膜．这样在到达尾喷口之

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



1——油入口；2——蒸汽入口；3——靶；
4——输料管；5——预膜板；6——尾喷头
图 2 双环雾流雾化器结构简图



拍摄速度 3000幅/s
图 3 输料管内的双相流图像

前，除了被卷吸在汽流中的少数液滴之外，其余的液体油已全部呈薄膜状展延在输料管内壁和预膜板表面上．在尾喷口处，蒸汽首先随通道面积的收缩加速，然后冲击喷口唇部和预膜板端伸出的油膜使其被逐步撕裂、粉碎．最后，油雾呈扇形喷射分散到喷口外部的环境之中．图4的高速摄影照片给出了这个过程的真实图像．

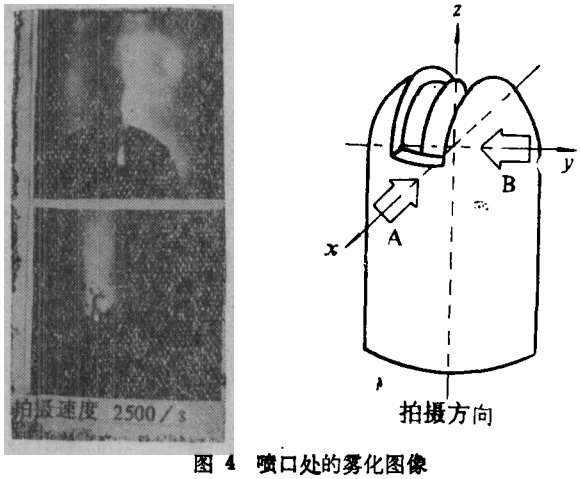


图 4 喷口处的雾化图像

在该雾化器的构造原理上体现了以下两条设计原则：

1） 在保证雾化器有较大喷口面积的前提下，使液体在雾化前扩展成尽可能薄的液膜；

2） 在保证雾化器具有适宜的喷口形状和适中的喷射速度的条件下，使液体雾化时能尽可能地处于汽体射流中心的高速度区．

这两条原则集中体现在环雾型两相流原理和预膜板结构在雾化器中的采用．

3 新型雾化器的性能

根据前节所述的工作原理，在这种按照双相流特点设计的新型雾化器中，液体原料是在流动的过程中自然地而不是在狭缝的限制下扩展为液膜的．这样，雾化器通道和喷口的尺寸就可以完全按照通流量的需要而设计，从而满足宽广容量适应性的要求．

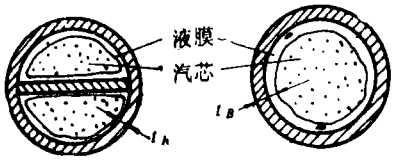
该雾化器采用了单孔喷口，一般情况下喷口的面积都比较大，可以彻底地避免堵塞，同时也把结焦的可能性降到了最低限度．

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

这种雾化器的工作原理本身对汽/油比条件没有过多的要求。分析计算的结果说明，即便把汽/油比参数降低到 1%～2%，也仍然可以使输料管内的流动满足环状流条件。这表明雾化器可以按照各种汽耗率要求设计。同时，雾化器必需的通流压降极小。理论计算和实验测量的结果十分一致地表明，从该雾化器的气液汇交点到其喷口外这段流道内的流动压降一般只有喷口外环境压力的 0.3 倍左右。在现有的催裂化装置提升管中，进料口处的压力一般为 0.3MPa。按照该压力值估算，从雾化器的汽、油汇交点至喷口外所需要的压降只有 0.09MPa 左右。如果再进一步对油、汽两相引入雾化器的方式作些优化，完全可以把雾化器的整体压降控制在 0.1～0.2MPa 之间。

雾化器的喷射速度可以按照催裂化工艺的要求适当选定。在与催裂化装置相适宜的速度(40～70m/s)范围内，毫无问题地可以按照环状流原理设计雾化器。

该雾化器的喷口系从半球状的喷头上开槽形成的扁圆弧形，喷雾呈扇形，分布较为均匀，覆盖面积大，如图 4 所示。喷雾扇形角由喷口几何结构决定，几乎不随流动参数的改变而变化。这样，只要选用合适的雾化器数量和恰当的布置方式，就可以在提升管横截面上形成薄而均匀的喷雾层，从而可有效地防止返混现象，提高催裂化产品的质量。



(a) 本文提出的双环雾流分布结构
(b) 美国 B-2 雾化器中的环雾流分布结构
图 5　输料管内油汽两相分布示意图

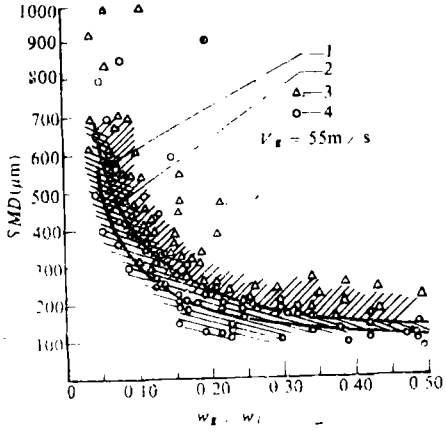
与目前国外比较先进的同类型雾化器相比，在相同的工作条件下，用该雾化器可以获得更细的喷雾粒度。图 5 给出了这种雾化器和美国系统公司的 B-2 型原料雾化器输料管内的油汽分布结构，该分布基本上可代表喷口处的分布情况。由图可见，由于本文提出的雾化器设置的预膜板可大大地增加液膜周边的长度，所以其喷口处液膜的厚度也相对地薄得多。

$$t_R=\frac{\pi D}{\pi D+2D}t_B\approx 0.61t_B \qquad (1)$$

由国外一些研究者实验总结得出的雾化粒度(SMD)与液膜厚度(t)之间的关系为

$$SMD\propto t^{0.55} \qquad (2)$$

据此可估算出本文提出的雾化器的喷雾粒度应比 B-2 型雾化器粒度小 24%。如果再考虑到从液膜板上流出的液体处于气体射流中心这一因素，就可以发现这个数字实际上还只是比较保守的估计。



1——对美国 B-2 型雾化器的理论预测；2——对本文雾化器的理论预测；3——对美国 B-2 型雾化器的实验测量；4——对本文雾化器的实验测量
图 6　雾化器喷雾粒度的理论预测和实验测量

图 6 给出的实验结果在一定程度上证实了上述理论推断的正确性。该实验以水和空气为介质，喷雾环境为大气条件。由图可见，尽管实验测量点具有较大的分散度，但仍然表现出一定的统计规律，在相同的实验条件下，本文

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

提出的雾化器喷雾粒度的测量值明显地小于美国B-2型雾化器的测量值．图中的曲线2是通过下式计算预测的结果

$$SMD=4.19\times10^{-2}\left[\left(\frac{\sigma}{\rho_g v_g^2}\right)^{0.45}D_f^{0.55}+0.1\left(\frac{\mu_l^2}{\rho_l\sigma}\right)^{0.375}D_f^{0.625}\right]\left(1+\frac{w_l}{w_g}\right)^{0.8} \tag{3}$$

式中σ为表面张力，μ为粘性系数，ρ表示粘度，w为流量，v为喷口处的名义速度，下标g和l分别表示气体和液体，D_f为喷口处液膜的名义直径，其定义为

$$D_f=\text{尾喷口周长}/\pi \tag{4}$$

式(3)是在国外许多研究者研究结果[3~9]的基础上，针对本文提出的雾化器，通过广泛的实验测量而建立的经验计算式．考虑到式(1)和式(2)，对美国B-2型雾化器的喷雾平均粒度则采用下式进行预测

$$SMD_B=\frac{1}{0.76}SMD \tag{5}$$

图6中的曲线1即由此式计算得到．

另外还可以看出，这种新型结构的雾化器采用了油、汽分别用压差注入的方式，油、汽汇合点的压力很低，当流量根据需要改变时，该点的压力变化也很小．因此，两种流体流量的改变几乎完全是独立的．这一特点保证了雾化器具有较大的流量弹性，同时也使其运行控制极其灵活方便．

4 结果与讨论

(1) 根据催裂化工艺过程的特点，发展了一种新型结构的重油雾化器．

(2) 理论分析和实验研究的结果表明，这种新型结构的雾化器具有容量范围大、抗堵塞、防结焦、压降低、气耗小、喷射速度适中、喷雾覆盖面积大、分布均匀等特点．在相同的工作条件下，其喷雾粒度可比目前国际上较先进的美国同类型雾化器的雾化粒度小24%．此外，该雾化器还具有结构简单，操作简便的优点．这些特点使雾化器能极大限度地满足催裂化装置的要求．

(3) 建立了雾化器喷雾粒度与各种作用因素之间的定量关系式，为该类型雾化器的工程设计提供了必要的参考．

（责任编辑 蒋慧姝）

参考文献

1 毛靖儒等．两相流中水滴尺寸的测量和一种离线的水滴图象自动分析系统的研制．多相流及传热论文集，北京：原子能出版社出版，1989.230

2 刘子超，赵云惠．液雾及颗粒的激光测量原理．宇航出版社，1988

3 Lapple E. Atomization, in McGraw-Hill Encyclopedia of Science & Technology. Edition 5, 1982, (1): 858～862

（下转第126页）

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

（上接第 118 页）

4 Tanasawa Y, Nakujama N. An Experiment on the Atomization of Liquid by Air Stream. J. Trans. Soc. Mech. Eng., Japan, 1938, 4: 86

5 Tanasawa Y, Nakujama N. An Experiment of the Atomization of Liquid by Air Stream. J. Trans. Soc. Mech. Eng., Japan, 1939, 5: 63

6 Tanaswa Y, Nakujama N. An Experiment on the Atomization of Liquid by Air Stream. J. Trans. Soc. Mech. Eng., Japan, 1940, 6: Ⅱ7～Ⅱ8

7 Rizkalla A A, Lefebvre A H. The Influence of Air and Liquid Properties on Airblast Atomization. ASME, Journal of Fluids Eng. for Power, 1975, 97(3)

8 Jasuja A K. Atomization of Crude and Residual Fuel Oils. ASME, Journal of Eng. for Power, 1975, 101(2)

9 Jasuja A K. Airblast Atomization of Alternative Liquid Petrolleum Fuels Under High Pressure Conditions. ASME, Journal of Eng. for Power, 1981, 103

DEVELOPMENT OF A NEW-TYPE HEAVY-OIL ATOMIZER USED IN CATALYTIC CRACKING SETS

Yao Xiuping *Yu Maozheng* *Mao Jingru* *Cai Yinian*
(Department of Energy and Power Engineering)

Abstract

In this paper, a new-type heavy-oil atomizer, which is designed for being used in catalytic cracking sets, is developed by adopting a new principle of structure. It is shown by means of theoretical analysis and experiments that the performances of the atomizer are quite agreeable to the demands of the technology of catalytic cracking in many aspects, and the atomization quality of the atomizer is notably higher than that of the advanced similar atomizer abroad.

Keywords: *atomizer; catalytic cracking; heavy oil*

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net