

石油化工 应用技术

2002年

刘俊泉 李光松 主编

中国石化出版社

石油化工应用技术

2002 年

刘俊泉 李光松 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书结合石油化工企业实际,全面介绍了石油化工科研、设计、生产、管理中有关石油化工工艺、高分子材料合成与加工应用、精细化工、安全与环保、分析测试、化工机械与设备、动力、计算机与仪表自动化等方面的应用技术,有较强的实用性。

本书可供石油化工各类科技人员、管理人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

石油化工应用技术.2002年/刘俊泉,李光松主编.
—北京:中国石化出版社,2002
ISBN 7-80164-238-4

I.石… II.①刘… ②李… III.石油化工-工业
技术 IV.TE65

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 083769 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

河北省徐水县印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 16 开本 45.5 印张 1162 千字
2002 年 11 月第 1 版 2002 年 11 月第 1 次印刷
定价:98.00 元

目 录

一、石油化工工艺

第二汽提塔釜液泵汽蚀的理论分析及解决措施·····	秦绪光(1)
催化精馏法干气制乙苯中试研究·····	耿晓棉 范金钢 曹 钢(7)
α -甲基苯乙烯加氢工艺改进·····	陈书果(13)
燕化 GPB 法抽提丁二烯装置的技术进步·····	符永刚(18)
丁基橡胶装置生产工艺的难点及解决办法·····	崔立群(24)
国产分子筛液相法异丙苯生产技术的工业化应用·····	曲 波 吕文玉(29)
间甲酚装置(苯酚丙酮生产)扩能改造方案的优化·····	戴百章(34)
苯酚丙酮装置烃化系统原料脱水工艺的优化·····	王 英 申发祥(40)
高抗冲聚苯乙烯 HIPS492J 工艺条件摸索·····	宋临爱(45)
固相聚酯装置反应器系统的改造·····	冀德强(50)
制苯装置预分馏系统结垢机理及预防对策探讨·····	王庆莽 党 钢(56)
低频声波除灰技术在乙烯装置裂解炉中的应用·····	于 芳(60)
聚苯乙烯黑色杂质的成因及对策·····	焦凤鸣(68)
我国环氧乙烷/乙二醇行业生产现状及技术进展展望·····	刘传喜(75)
二元制冷技术在燕化乙烯装置上的应用·····	孙国臣(82)
燕化重质原料裂解结焦情况分析及结焦抑制建议·····	金宗贤(86)
LDPE 1150A 生产工艺研究·····	张彦京(92)
HDPE 装置“湿粒子”问题设备原因分析·····	李震先(96)
袋式过滤器运行周期短的原因分析及对策·····	陈 钊(103)
应用 SMART 技术改造燕化 60kt/a 苯乙烯装置·····	顾建宁 张彩丽(109)
环氧乙烷再吸收塔瓶颈分析及处理·····	陈 昱(114)
200kt/a 聚丙烯装置氧杀死及产率控制系统改造·····	杨雪峰(120)
丙烯栈台卸车和球罐倒空工艺改进·····	李文松(124)
重整 C ₉ 芳烃制备电绝缘油·····	刘 滢 刘国文(130)

二、精细化工

丁苯嵌段共聚物 SBS 加氢中试反应器试验研究·····	段晓兵 李 伟 梁爱民(135)
乙烯低聚制备线性 α -烯烃研究·····	隋军龙(140)

三、高分子材料合成与加工应用

SBS 颜色变化原因及其预防·····	刘 伟(145)
---------------------	----------

光稳定剂在 SBS-4452 中的应用	牟奇军 骆献辉 李立新(151)
固体酸催化苯与长链烯烃烷基化反应过程研究	焦新亭(157)
杂多酸催化剂上间甲基异丙苯合成工艺研究	闫子璇 范金钢 曹 钢(163)
β 沸石催化苯酚-异丁烯烷基化反应研究	陈晓冬(169)
银催化剂作用下乙烯环氧化反应动力学研究	陈建设 谷彦丽 高 政 代武军(174)
YS-6G 型银催化剂在燕化环氧乙烷/乙二醇装置上的工业应用	曲宏亮(181)

四、化工机械与设备

汽轮机调速系统故障分析及处理对策	修克庆(190)
M7132B 型平面磨床磨头的故障分析与修理	高金山(195)
离心式压缩机的防喘振控制	周利民 沈 刚(198)
丙烯球罐工程监理中的过程控制	沈承松(205)
陈化釜的设计与应用	张朝霞(211)
运用液压胀管技术解决高压加热器的泄漏问题	孟少玉(217)
非标准圆弧齿蜗轮滚刀的设计和制造	王 斌 李兴旺(221)
进一步完善超高压管自增强处理的设想	郭晓卉(228)
丁基橡胶装置低温压力容器制造	唐德菊(231)
关于复合玻纤风管应用的探讨	安四新(237)
产品储罐破坏原因分析及解决措施	岳永红(242)
增加凝液泵抗汽蚀能力的探讨	褚 京(246)
转子不对中故障特征及机组找正	赵明岩 王 军(250)
HDPE 装置扩容后回转干燥机主要部件强度校核	赵文字(256)
氢气循环压缩机气阀改进	刘步宇 王玉刚 李京辉(263)
堵漏技术在化工生产中的应用	邹士诚(266)
新建 LDPE 装置高压超高压国产化管托应用	崔林远(270)
调整压缩机排气量 提高聚乙烯产量	柳先友(275)
高压聚乙烯装置热挤压机螺杆的修复	杜春艳(280)
一乙二醇塔再沸器管束振动计算	戴 澄(285)
乙二醇装置气-气换热器失效原因分析	陈诗勇 刘 辉(291)
裂解炉管切割脆裂原因分析及损伤程度评估	邓 毅(296)
C-110 循环气压缩机润滑油温升原因分析	安永明(301)
加氢反应器出口换热器检验及缺陷分析	李 江(305)
熔融物齿轮泵轴瓦损坏的原因分析	包 琴 相 斌(309)
C-8 系列离心压缩机冷却器的失效原因及对策	付永胜(314)
裂解炉炉管的损伤机理及残余寿命分析	赵海力(319)
空分装置启动后期换热器过冷及预防措施	张 立(322)
解吸塔塔体裂纹原因分析及对策	肖 涤(325)

五、动力

直流电动机的故障检测与诊断问题研究·····	段 略(330)
燕化供电系统安全问题探讨·····	董华路(335)
应用微机型先进装置 提高电网供电可靠性·····	袁勤德(339)
除氧器补给水系统缺陷、改造和运行安全校核·····	黄玉生(343)
生活水深度处理装置运行状况分析·····	杨 望(347)
动力事业部三电站保护配置与整定·····	阮友荣(353)
BKL-G10励磁装置技术指标分析及完善对策·····	李战通(361)
电能计量的精度补偿·····	孟力军(368)
B12-3.43/0.98-1型汽轮机前汽封改造探讨·····	杨立新(373)
蒸汽雾化燃烧器在中压燃油锅炉中的应用·····	朱 定(377)
低温段空气预热器存在的问题及对策·····	官向黎(381)
220t/h水煤浆锅炉的化学清洗·····	张永林(386)
燕化220t/h水煤浆锅炉燃烧器与燃烧研究·····	陈立国(390)
电力变压器故障检测及诊断·····	霍爱彬(394)
选用微机型同期装置提高并网操作安全可靠·····	汪承先(398)
蒸汽钠(Na^+)含量超标原因分析及降低方法·····	孙占东(401)
框架式动力机器基础的动力计算·····	张 昱(405)
锂系聚合物装置改扩建电气设计分析·····	赵凌智(411)
采用并联电容器补偿无功功率之浅析·····	杨冬平(416)
燃油锅炉燃天然气改造·····	王振伟(421)
机泵电动机超电流原因分析及解决措施·····	耿世勇 王 军 刘步宇(425)
漏电保护器的选用及误动作原因分析·····	齐晓飞(430)
直流电动机换向问题分析·····	刘志清 陈 伟(434)
造粒系统滑差电机原理及过载原因分析·····	林宏卫(440)
燕化的“水荒”与对策·····	张 晗(445)

六、计算机与仪表自动化

Lonworks 控制网络技术在新风系统中的应用·····	陈晓民(452)
MS Proxy 2.0 防火墙在分支机构网中的应用·····	曹 雁(457)
小型集散控制系统在苯酚丙酮精制单元的应用·····	刘瑞卿(463)
千兆快速以太网技术在网络系统改造中的应用·····	竺 勇 马永玲(471)
设计项目过程管理系统初探·····	李宇晖(477)
企业网站的动态设计与实现·····	王宓琳 刁家宏(481)
HDPE 装置先进控制策略及实施·····	许显文(486)
应用 DCS 实现裂解炉出口温度控制·····	张洪伟 王 新(493)
企业电子商务浅谈·····	马永玲 竺 勇(501)

积极开展电子商务 全面提升企业的竞争能力·····	曾建永(507)
模型流量计在制苯装置改造中的应用·····	饶明彦(511)
循环冷却水运行系统自动控制设计·····	王东明(515)
生产数据实时监测系统在燕化聚丙烯事业部的应用·····	于建明(521)
现场总线控制系统的优势·····	杨文彬(526)
TPS 系统在异丙苯装置中的应用·····	王焕耀 党 力(529)

七、安全与环保

接触氧化法处理高浓度废水工艺参数的确定·····	祝子强(536)
影响间甲酚污水处理效果因素分析·····	程文红(541)
烟气脱硫技术探讨·····	杨海霞(546)
高效节能部分回流加压溶气气浮技术在炼油污水中的应用·····	王振军(551)
浮选刮渣机故障简析·····	汪群芳(555)
轻油装车油气回收可行性浅析·····	任玉兰(558)
聚丙烯事业部清洁生产实践·····	徐向东(563)
改造浮选溶气、释放系统 提高出水水质·····	常 凯(568)

八、分析检测

SBS 中防老剂含量的测定·····	于洪光(572)
改造 3400 色谱仪测定防老剂 168 和 1076 纯度·····	俞培富(577)
橡胶中溶剂油含量的测定·····	俞培富 张晓玲(581)
无转子硫化仪在 SBR 硫化特性评价中的应用·····	孟祥峰(587)
分光光度法测定污水中苯酚含量的研究·····	周艾芳 王玉刚 李京辉(592)
气相色谱在快速选择精馏萃取剂中的应用·····	崔广洪 毕晓霞(596)
在线色谱分析仪样品处理系统初探·····	关 力(603)
苯甲酸铝中铝含量的测定·····	时安敏 徐德珍(610)
影响里氏硬度计测试结果的几种常见因素·····	邹海云(613)

九、土建

某 110kV 配电楼桩基质量事故分析及处理·····	李锦涛(617)
建筑工程温度裂缝分析与防治·····	魏 澍(624)
摩擦桩设计及施工中若干问题的讨论·····	周海滨(629)
空军住宅设计新技术的应用·····	霍永国(634)
半刚性基层沥青路面抗裂措施·····	李海东(636)
关于某控制室空调改造存在问题的分析与改进·····	田海燕(642)
水泥粉喷桩复合地基探讨及应用·····	田惠群 杨 卫(647)
钢筋混凝土水池的设计·····	范伟华(653)

十、其他

品牌定位——营销工作的灵魂·····	米学勤(659)
入世后我国反倾销对策研究·····	苏永军(663)
贯彻 ISO 9000 标准 “递进式”开展企业质量管理工作 ·····	段宏伟 于庆明(669)
项目动态管理法是施工企业管理与项目管理的有机结合·····	金 辉(673)
苯酚市场研究及化学品事业部发展方向探索·····	邵芙蓉(682)
从科研开发角度浅谈避免专利侵权·····	张军艳(686)
石油产业重组中的规模经济·····	张 锐(689)
教师素质与素质教育·····	王玉霞(696)
迈好企业人力资源开发与管理的第 一 步·····	王莉莉(700)
国企人力资源低成本开发战略研究·····	于长征(705)
如何做好基层企业档案的编研工作·····	柳耀霞(710)
200kt/a 新高压聚乙烯装置工艺介绍及产品市场定位分析 ·····	杨校领 吴 双(713)

第二汽提塔釜液泵汽蚀的理论分析及解决措施

秦绪光

(北京燕山石油化工股份有限公司橡胶事业部, 北京 102503)

摘 要 主要对 DMF 抽提丁二烯装置第二汽提塔釜液泵汽蚀, 从汽蚀产生的机理进行分析, 找到影响汽蚀的主要原因, 研究对策消除汽蚀对生产的危害。实现不停车改造, 经济可行地解决问题。

关键词 离心泵 汽蚀 NPSH

1 问题的提出

1.1 二甲基甲酰胺抽提丁二烯装置简介

丁二烯抽提装置是以二甲基甲酰胺(DMF)为溶剂, 用于从裂解 C_4 组分中分离聚合级丁二烯, 由它向下游的聚合装置和 SBS 车间供应原料, 并将副产 C_4 供异丁烯车间深加工。丁二烯抽提技术由日本瑞翁公司开发, 是目前世界上先进的丁二烯抽提方法之一。合成橡胶事业部 45 kt/a 1,3-丁二烯抽提装置, 经过 20 多年的生产实践和有关的科学试验, 对原工艺进行了 100 多项技术改进, 使这一工艺不但能按原设计长期稳定正常生产, 而且使原装置的生产能力较设计提高了 20% 以上, 1999 年达到年产 71 kt, 产品丁二烯质量有了显著提高, 能耗明显降低, 安全环保条件得到很大改善; 在技术上, 建立了我国自己的 DMF 溶剂中丁二烯萃取精馏的设计核算体系、丁二烯螺杆压缩机装配检修技术、丁二烯防自聚技术及新的分析技术, 对引进技术实现了较好的消化吸收改造, 形成了具有燕化特色的丁二烯抽提技术。

1.2 第二汽提塔釜液泵汽蚀流程简述

第二汽提塔(DA-105)为常压塔, 其作用是, 将溶于溶剂中的炔烃、丁二烯、 C_5 及烃类从塔顶完全汽提出来。塔釜操作压力为小于等于 0.04MPa, 在此压力下必须将塔釜温度维持在 DMF 沸点即 151~163℃ 时, 才能将溶剂中溶解的烃类汽提出来, 如果塔釜温度低于 DMF 沸点, 就会产生使再沸器结胶之类的有害作用。塔釜溶剂由釜液泵(GA-109A/B)加压后与第二汽提塔釜液泵(GA-105A/B)出口热溶剂汇合去第一萃取精馏塔再沸器(EA-103A/B)进行溶剂热利用。

1.3 第二汽提塔釜液泵(GA-109A/B)汽蚀现象

(1) 气泡破裂时, 液体质点互相冲击产生的噪声与振动互相激励, 使泵产生强烈振动, 即发生汽蚀共振现象。导致机封工况恶化, 直至失效泄漏, 联轴节、轴承寿命大大缩短。

(2) 由于汽蚀造成的冲击, 机泵进出口、叶轮、泵壳表面产生大量坑状腐蚀。由于腐蚀严重, 叶轮与泵壳间隙逐渐变大, 叶轮有效直径变小, 导致流量减小, 扬程下降, 甚至出现腐蚀泄漏。

(3) 汽蚀严重时, 泵性能急剧大幅下降既产生性能断裂, 导致第二汽提塔塔釜物料无法

排出，液位不断上涨，产品炔烃含量增高，超出合格范围，造成生产循环，经济损失巨大。

所以，解决该泵汽蚀问题势在必行。第二汽提塔釜液泵(GA-109A/B)工艺流程如图1所示。

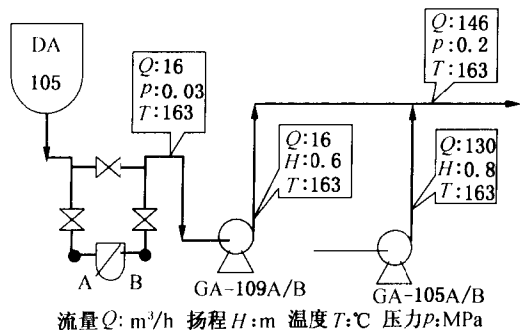


图1 第二汽提塔釜液泵工艺流程简图

2 汽蚀产生的理论分析

2.1 汽蚀的初生和汽蚀核子

从理论上讲，当液体的压力降低到其汽化压力时，液体才会汽化。但在实际上开始形成汽蚀时的压力，很大程度上决定于液体(这里指第二汽提塔釜液体)的物理状态。如果液体中含有较多的溶解气体(乙烯基炔烃为主)，则在压力降低时，气体就会从溶液中析出，并形成汽穴。汽穴中的张力将大大的高于汽化压力。即使没有肉眼看得见的气泡，但还存在着普通显微镜下看不见的气体泡，这种气泡作为汽蚀核子，使形成汽蚀时的压力高于汽化压力。每个汽蚀气泡都会从一个核子长大成一定的尺寸，然后破灭。整个循环所需的时间也许只有几毫秒。这些气泡会迅速地一个接着一个地成长起来，所以用肉眼看起来好象是一个连续的气泡。如果液体中没有核子，液体就能够承受负压或张力，而不会形成汽蚀。

核子是以很小的气泡形成，存在于液体中，那么液体中必然有使气泡起稳定作用的影响因素。因为当气泡尺寸很小时，表面张力效应就会使气泡破灭，而当气泡尺寸大到可见的程度时，它就会上升到液体表面而逸出。核子陷没在液体的边界面上微小的缝隙中(管壁、泵壳、口环、叶轮等处)，汽蚀常常发生在这种边界面上或者发生在其附近。液体中悬浮有固体颗粒(第二汽提塔釜液中的杂质颗粒)取代壁面作为核子的中心。有时，汽蚀也会在远离容器壁面处发生，例如在旋涡的中心处或者在超声脉动压力场的中心处形成汽蚀。

2.2 流体汽蚀的生成

液体在流动系统中还会遇到局部加速现象，而在速度最高的位置处会造成低压，从而形成汽穴；这些汽穴进一步扩大，在抵达低速、高压区时就立即破灭。汽穴一个接一个地形成和破灭。当然，只要液体的压力保持为汽化压力或接近于汽化压力，就会形成汽穴。

这种汽蚀现象可用图2表示，图中还表明了流动系统中相应的压力值。正如图2所示，汽穴的破灭是不稳定的；气泡的末端趋向于裂开而破灭，使汽穴的末端产生脉动。当汽穴在上、下两个表面上是对称的情况下，就会使汽穴在上、下两个表面上交替地破灭，并且在物体的后部形成涡流。

上述流动系统中，压力和速度的关系遵从伯努利方程，即

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gZ_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gZ_2 + \text{各种损失} \quad (1)$$

对于水平的流动系统，可把上式重新排列，以

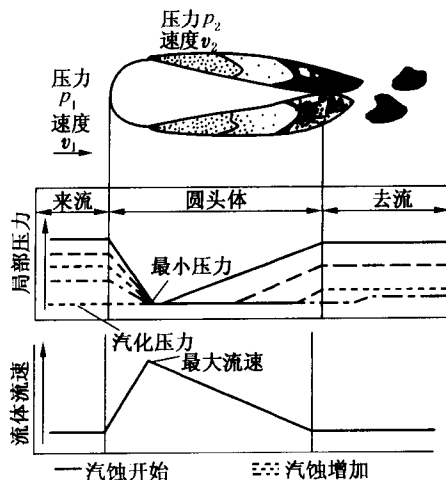


图2 在液体中绕过物体时形成汽蚀的情形

得到该系统的汽蚀系数：

$$\sigma = \frac{p_1 - p_c}{\frac{\rho}{2} v_1^2} \quad (2)$$

式中 p_c 是 p_2 点处的临界压力，即汽蚀发生的压力，通常就把汽化压力作为临界压力。实际上，如上所述那样，汽蚀发生时的压力既可高于也可低于汽化压力。

通常把汽蚀开始时的 σ 值称为 σ_{crit} ，可以称之为“初生点”。随着压力增加而停止汽蚀时的 σ 值，则称为“消失点”。

在物体周围的压力场是不均匀的，由于边界层的存在、核子的效应和物体几何形状的影响， σ_{crit} 值是不固定的。因此，它将随着物体的不同而变化，从而导致空气含量、比例效应等问题的变化。

液体从左方流向右方，当流经叶轮造成的收缩处就得到加速，并在喉部处达到最大速度和最小压力。如果来流的压力足够高，则喉部处的压力仍将高于汽化压力，但当来流的压力降低时，汽蚀就会在该处发生，并向后方扩展。尤其是当叶轮或管口被杂物阻塞时，汽蚀明显加重。

2.3 液体内气体含量对汽蚀影响

当流动的液体中存在有核子时，首先就意味着液体不可能承受各种张力，如果液体中含有足够多的气体，则汽蚀就会因气体在略高于汽化压力的某个压力下析出而开始发生（同样，在高于汽化压力的某个压力下，汽穴可能部分地充满气体）。这就是此汽蚀会在高于与汽化压力相应的某个汽蚀系数 σ 值上开始发生。这样就会有气体含量对汽蚀的影响。此外常可发现，当气体含量高时，对汽蚀的初生含有滞后影响，因此，人们常将“消失点”作为比较的准则，因为“消失点”受滞后影响较少。对机泵来说，在流体流经叶轮的情况下，这种影响就不如静止物体那样明显。对机泵而言，性能的断裂通常要比汽蚀的初生重要得多。

有关的机泵试验表明，随着气体含量的增加，汽蚀系数略有增加，它们之间只有增加量多少的差别。

2.4 比例效应

流体在低压区逗留时间的长短，决定于液体的速度，因此流体在低速情况下流经低压区的时间较高速情况下的时间为长，由此可以预期汽蚀将更易于发生（因为气泡有更多的时间来增长）。低压情况下的汽蚀系数较低，这就是“速度比例效应”。

2.5 汽蚀的侵蚀

气泡破灭时，产生的瞬间的高压力和热冲击波使气泡附近的材料从整体上分离，这也许是一种疲劳损伤的过程。阀门、机泵能遭受严重的侵蚀，机泵的叶片泵壳经过一段时间使用以后，就须用电焊或修补剂修补因汽蚀而造成的侵蚀。而有的机械可以在汽蚀工况下使用较长时间而不损坏（如 GA-122 凝结水泵可使用 2 年以上）。汽蚀产生严重侵蚀的准确条件到目前为止仍未清楚，但毫无疑问，侵蚀会因液体的高速流动而加剧。

3 GA-109 泵汽蚀产生条件

在泵中流动的液体当压力低于其温度下的饱和蒸汽压力时（即当泵叶片吸力面上的局部压力下降到接近于汽化压力时），泵就会发生汽蚀。如果泵装置中的最低压力比饱和蒸汽压力高就没有发生汽蚀，相反当最低压力比饱和蒸汽压力低时就不可避免地要发生汽蚀，所以最低压力和饱和蒸汽压力相等的条件，即是汽蚀发生界限。

3.1 装置汽蚀余量 $NPSH_a$

当 $p_a/(\rho g) - H_{v1} + h_s - \Delta h = p_v/(\rho g)$ 时就发生汽蚀。式中, p_a 为塔釜压力; p_v 为汽化压力(或称为临界压力); H_{v1} 为管路阻力的能量损失; h_s 为安装高度; ρ 为液体密度; Δh 为装置汽蚀余量 $NPSH_a$, 其可理解为液体发生汽蚀前所富裕的能量。

所以
$$NPSH_a = p_a/(\rho g) - H_{v1} + h_s - p_v/(\rho g)$$

其中 $H_{v1} = \Sigma \lambda l v^2/(2gd) + \Sigma k v^2/(2g)$; $v = 4Q/(\pi d^2)$ (式中, l 为管长度; v 为液体速度; d 为管径; k 为系数; Q 为液体流量; λ 为特性系数)。

由上式可见, $NPSH_a$ 其大小由吸液管路系统的参数和管路中的流量决定, 与泵结构无关。

计算第二汽提塔釜液泵装置的汽蚀余量 $NPSH_a$:

$H_{v1} = 0.95\text{m}$ (在流量为正常值 18.5t/h 时, 管径 $d = 100\text{mm}$)

$$NPSH_a = p_a/\rho g - H_{v1} + h - p_v/\rho g = 2.3\text{m}$$

3.2 泵自身汽蚀余量 $NPSH_r$

液体流冲进叶轮后将发生压力降, 入叶轮前的流速为 v_s , 当流入叶轮时, 必须考虑由于入口直径、叶片厚度、冲角、转速等影响流速所发生的变化。假设液体进入叶轮后的绝对速度是 v_1 , 当 $v_1 > v_s$ 时, 应把与 $(v_1^2/2g) - (v_s^2/2g)$ 相当的的压力降, 加上叶轮内的局部压力降 $\lambda_1(\omega_1^2/2g)$; (其中 ω_1 为叶片进口处液体对叶片的相对速度), 建立以下关系式:

$$NPSH_r = \lambda_1(\omega_1^2/2g) + \lambda_2(v_1^2/2g) \quad (3)$$

$NPSH_r$ 称为泵自身汽蚀余量。上式第一项, 是由叶片决定的压力降, 第二项表示由于叶片形状不同绝对速度如何变化; λ_1 与 λ_2 都是由叶片决定的特性系数。由此看出, $NPSH_r$ 是由叶片形状以及与通过叶轮的流量 Q 有关的量 ω_1 、 v_1 决定的。从而, 当使用某一特定的叶轮在某流量 Q 运行时, 叶轮里不可避免地要发生压力下降。

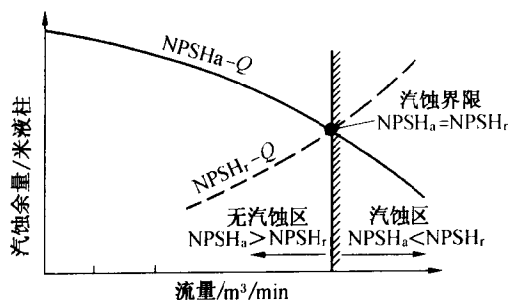


图3 $NPSH_a$ 与 $NPSH_r$ 的关系

点对应的流量 Q 作为界限, 流量大于 Q 的区域表示叶轮内的最低压力在饱和蒸汽压力以下, 就要发生汽蚀。

4 采取的方案措施

4.1 针对汽蚀造成的侵蚀, 从材料的选择着手

在汽蚀袭击下, 大部分金属材料显示出具有一段潜伏期, 在此时期内尚未产生侵蚀, 如

图4中的A段所示。在侵蚀的潜伏期以后,即出现一段侵蚀破坏迅速增加的B段。然后进入到侵蚀量不再增加的稳定期C段,最后,当受侵蚀表面形成凹坑后,侵蚀也就下降成D段。

在选择金属材料时,只关心它们的侵蚀潜伏期和侵蚀率。在确定了各种材料相对侵蚀率曲线后,就可以确定材料相对的抗侵蚀能力。

根据以上材料的抗侵蚀性能,我们改变原来的碳钢材质,采用奥氏体不锈钢。作者曾采用ICr18Ni9Ti奥氏体钢作为泵壳、口环、叶轮,其寿命比普通碳钢长2~3倍,可使用2年左右,但不能彻底消除因机泵汽蚀突然加剧产生的性能断裂。

应用覆盖层的主要困难是要使它与母体金属能粘接得很牢固,特别是在汽蚀气泡破灭的严峻条件下能粘接得牢固。实际工作中我们还曾采用陶瓷修补剂,涂于泵壳体被侵蚀的表面,按理将适合于承受该状态下的温度,其耐冲击性、抗腐蚀性、硬度均应较好,但经过多次实践,它与母体金属不能牢固粘接,严重时,半小时全部脱落。

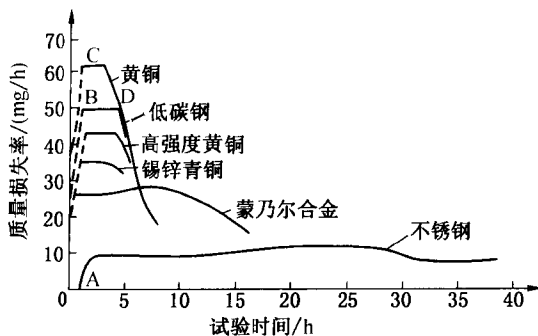


图4 各种金属材料的侵蚀率

4.2 减少釜液中气体的含量

通过提高塔釜温度,提高塔釜液的解析能力,减少釜液中气体的含量,将温度稳定在158~163℃即操作温度上限。发现釜液中炔烃含量降低时,机泵汽蚀确实略有减少,但不明显。

4.3 对电机进行变频调速

根据汽蚀余量的比例定律, $NPSH_1/NPSH_2 = (N_1/N_2)^2 (D_1/D_2)^2$, 对电机进行变频调速,随转速下降汽蚀明显减少,转速由2900r/min降到2200r/min时,汽蚀现象消失。但同时,流量由正常值18.5t/h降到14t/h以下、泵出口压力由正常值0.6MPa下降到0.5MPa,不能满足正常生产的需要。

4.4 减小流量

根据NPSH-Q关系,流量减小到一定程度时,则可以进入稳定工作区。实际工作中,通过控制入口阀将流量减小到10t/h以下时,汽蚀消失,但同样不能满足正常生产的需要。

4.5 降低液体入泵温度

降低液体的汽化压力,通过加水冷却第二汽提塔釜出口到泵入口管线,降低液体入泵温度,从而降低液体的汽化压力,机泵汽蚀确实略有减少,但不明显。而且降低液温将使EA-103换热器效果下降,不利于工业生产和节能降耗。

4.6 通过减小管路损失,加大装置的汽蚀余量NPSH₀

不停车配管将图1中A、B两点直接连接,最大程度上减少3个弯头、4米管线,消除不凝气体存在空间,减小管路阻力,但效果不明显。

4.7 改变泵型号,减小泵汽蚀余量

经过以上方案的逐渐验证,装置的汽蚀余量已经降至最小,在用泵的汽蚀余量也降至最小,工艺条件亦优化,汽蚀现象有一定程度减弱,但还不能完全消除。且塔的工艺参数(流量、温度、组分)正常应有一定的合理波动范围。综合以上分析认为,在用泵本身的汽蚀余

量($NPSH_r$)与装置的汽蚀余量($NPSH_a$)在最优化状态时大致相等,处于汽蚀平衡点没有安全余量,在正常状态运转时刚刚进入汽蚀区域,在运行波动工况变差时,则远离汽蚀平衡点,泵性能大幅下降恶性循环,最后导致产品不合格造成生产循环。

所以必须要有一定的汽蚀安全余量(S),必须改换采用自身的汽蚀余量($NPSH_r$)更小的泵。一般取安全汽蚀余量为 $0.6 \sim 1\text{m}$,即使:

$$\text{装置汽蚀余量} - \text{泵汽蚀余量} \geq \text{安全汽蚀余量}$$

综上所述,必须考虑泵改变型号,减小泵汽蚀余量。根据现场条件,认为在不停车情况下,可以进行新型号机泵的安装。下面是具体措施。

(1) 选型。经比较计算并与厂家协商,选用上海日机装的 HS24E - C2 型屏蔽泵(表 1)。

表 1 原泵与新泵情况比较表

项 目	型 号	扬程/m	流量/(m^3/h)	功率/W	NPSH/m	机 封	外冲洗	联轴节
原 泵	1HNN1 - 111	90	18	15	1.6	有	有	有
新 泵	HS24E - C2	90	18	15	1.0	无	无	无

校核汽蚀性能:根据 HS24E - C2 泵的实际汽蚀性能曲线可以查得,在泵正常流量 18.5t/h 时,其 $NPSH_r = 1.65\text{m}$ 。取安全汽蚀余量为 $S = 0.6\text{m}$,满足 $NPSH_a - NPSH_r > S$ 。即不会发生汽蚀

校核扬程:根据 HS24E - C2 泵的实际性能曲线可以查得,在泵正常流量 18.5t/h 时泵出口压力为 0.81MPa 。

新泵与原泵相比有以下优点:

- 新泵没有机械密封和联轴节,零件减少 30%,可靠性高,维修、维护费用大大降低。且无滚动轴承和电机风扇,不需要加润滑油,运行平稳噪音低。

- 结构紧凑,占地空间小,对底座和基础要求低,无联轴节对中的问题,安装费用低。

- 由于省去外冲洗,缓解了装置机泵外冲洗总量不足的缺点,从而满足了其余 6 台泵对外冲洗热溶剂的需要量。

(2) 利用原 GA - 109B 泵的进出口管线,进行改造。

(3) 加工一块安装调整板连接原基础和新泵。

另一方面,加强工艺条件的控制,使之优化稳定。工艺条件发生变化时,做到及时调整,使之控制在合理范围内。塔釜温度控制在 $158 \sim 163^\circ\text{C}$,控制塔釜液位使流量稳定在 18.5t/h ,定期清理过滤器以免管路不畅。

5 应用情况及存在的问题

GA - 109 汽蚀现象得到根本性的解决。从 1999 年 11 月下旬至今未发生任何汽蚀现象,机泵运行平稳未出现任何故障,泵出口压力维持在 0.8MPa ,与第二汽提塔釜液泵(GA - 105A/B)出口压力相对平衡,振动非常微小,没有噪音。消除了第二汽提塔釜液泵汽蚀对丁二烯生产的危害,消除了第二汽提塔釜液泵汽蚀对设备的侵蚀。

通过一年半的平稳运行,经济效益明显,总计可减少经济损失 32.54 万元/年。

但新泵操作的难度比原来的泵大,且要求高,它必须满足最小流量不低于 200mL/h ,不可干运转等条件,要求操作人员精心操作,加强巡检维护。

催化精馏法干气制乙苯中试研究

耿晓棉 范金钢 曹 钢

(北京燕山石油化工股份有限公司化学品事业部, 北京 102500)

摘 要 在 600t/a 中试装置上, 对苯和干气烷基化生成乙苯的反应进行了研究, 考察了催化剂的性能以及催化精馏工艺的可行性。在反应温度 160~170℃、反应压力 2.40MPa、苯质量空速 1.65~1.77h⁻¹、乙烯空速 0.23~0.31h⁻¹、苯/乙烯物质的量比 6 条件下, 乙烯转化率大于 95%, 乙苯选择性 91%~93%, 催化剂性能优良, 装置操作平稳, 产品中二甲苯含量微量, 达到设计指标。

关键词 沸石催化剂 催化精馏 干气 乙苯 烷基化

乙苯是一种重要的有机化工原料, 主要用于生产苯乙烯。目前世界上绝大多数装置是以浓乙烯为原料生产乙苯^[1]。采用低浓度乙烯(如炼油厂的干气)制乙苯工艺技术主要有 Mobil/Badger 公司开发的以 ZSM-5 沸石为催化剂的气相法工艺和 Unocal/Lummus/UOP 公司推出的以分子筛为催化剂的液相烷基化工艺^[2]。1991 年第一套干气制乙苯的装置在 Stanlow 投产, 规模为 160kt/a^[3]。我国对干气中乙烯回收利用的研究起步较晚, 抚顺石化公司石油二厂和大连化学物理研究所联合开发了以沸石为催化剂、以催化裂化干气为原料制乙苯的气相工艺^[4]。1993 年建设了年产 30kt 乙苯的工业装置, 但存在催化剂单程寿命短、产品中二甲苯含量高的问题。2000 年北京服装学院化工研究所、金陵石化公司等五家共同合作开发了催化吸收法干气制乙苯新工艺, 完成了模试^[5,6]。

燕山石化公司和北京服装学院化工研究所合作开发了以 β 沸石为基质的 FX 系列催化剂, 已成功用于苯与丙烯烷基化制异丙苯工艺。1995 年 6 月两单位又合作进行了稀乙烯合成乙苯的小试研究^[6], 采用固定床反应器, 完成了反应条件试验和 1000h 的寿命试验, 1996 年 12 月 28 日通过燕山石化公司评估。1998 年北京服装学院化工研究所独自进行了催化精馏法合成乙苯的研究, 1999 年 7 月完成了条件试验。为了充分利用干气中的乙烯资源, 2001 年燕山石化公司与服装学院继续合作, 采用新型沸石催化剂 FX-02, 开展了催化精馏法干气制乙苯中试研究。

1 试验部分

1.1 装置概况

干气制乙苯中试装置设计规模 600t/a 乙苯, 包括原料预处理(苯脱水和干气脱硫)、苯与乙烯烷基化、苯精制三个部分。

中试分两个阶段: 第一阶段 500h, 主要打通流程, 考核催化精馏塔的结构和催化剂性能; 第二阶段 2000h, 评价催化剂寿命。装置流程见图 1。

1.2 基本原理

1.2.1 主要反应和影响因素

装置采用 FX-02 沸石催化剂及规整波纹板填料, 催化精馏塔中苯与干气中的乙烯进行

烷基化反应生成乙苯，一部分乙苯进一步与乙烯反应生成二乙苯、三乙苯等多乙苯，干气中的丙烯、丁烯与苯反应生成异丙苯、丁苯等副产物。

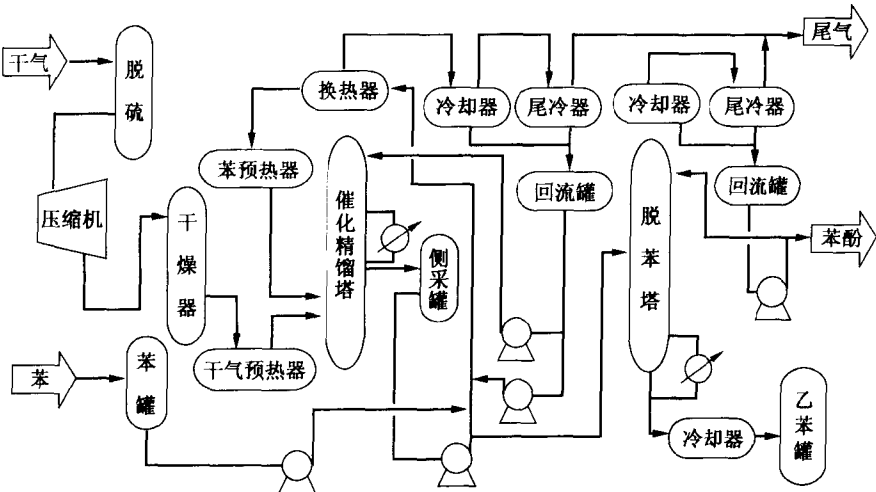
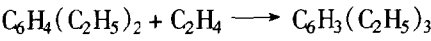
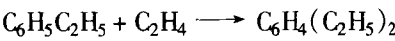
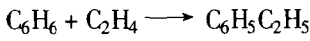


图1 干气制乙苯中试流程图

烷基化反应方程式为：



上述反应是强放热反应，苯与乙烯烷基化生成乙苯的反应热约为 1072.6kJ/kg 乙苯。

影响反应的因素有温度、压力、苯/乙烯物质的量(简称苯/乙烯比)比、空速和原料中的杂质含量等，其中最主要的是压力、苯/乙烯比、原料中的水含量和干气中的硫含量。

1.2.2 脱硫原理

干气来自炼油厂三催化装置，由于干气中的硫含量有时超标，设计了脱硫系统，以除去 H₂S、COS、硫醇、硫醚等。

T-703 氧化铁脱除 H₂S；COS 在水解剂 T-504 作用下变成 H₂S，再用 T-703 氧化铁脱除；ZAC-6 吸附剂吸收硫醇、硫醚。

1.2.3 计算方法

$$\text{乙烯转化率} = \frac{\text{原料中乙烯含量} - \text{尾气中乙烯含量}}{\text{原料中乙烯含量}} \times 100\%$$

$$X = \left[1 - \frac{\text{尾气中乙烯含量} / (100 - \text{尾气中烯烃总含量})}{\text{原料中乙烯含量} / (100 - \text{原料中烯烃总含量})} \right] \times 100\%$$

$$\text{乙苯选择性} = \frac{\text{乙苯含量}}{\text{乙苯含量} + \text{二乙苯含量} + \text{三乙苯含量} + \text{四乙苯含量}} \times 100\%$$

1.3 原料和产品规格

干 气		苯		FX-02 沸石催化剂		中间产品	
来自东炼三催化装置		来自苯酚车间干燥塔		来自北京服装学院		脱苯后的物料	
组成/%	指 标	项 目	指 标	项 目	指 标	项目/%	指 标
氢 气	1.5412	相对密度(15.6/15.6℃)	0.883~0.885	强度/(N/粒)	10	乙 苯	70.05
氮 气	26.5342	凝点/℃	5.3	粒型	三叶草型	二乙苯	7.45
氧 气	4.6125	初馏点/℃	79.1	总酸量/(Site/g)	4.0×10^{20}	三乙苯	0.44
硫化氢	3.74×10^{-3}	终馏点/℃	81.1	B 酸/(Site/g)	3.0×10^{20}	苯	3.31
二氧化碳	4.5439	非芳烃/%	0.5	L 酸/(Site/g)	1.0×10^{20}	异丙苯	15.07
甲 烷	22.5699	甲苯/%	0.05	强 B 酸/(Site/g)	0.2×10^{20}	丁苯	0.63
乙 烷	16.5757	噻吩/ 10^{-6}	2.0	堆	0.5	其他烃	3.05
乙 烯	19.2928	总硫/ 10^{-6}	3	孔体积/(cm^3/g)	0.28		
丙 烷	0.5581	水	无分层水	比表面积/(m^2/g)	440		
丙 烯	2.0553	酸洗颜色	1	孔径/mm	0.6		
碳四烷烃	0.4635	酸碱反应	中性	钠含量/%	0.2		
碳四烯烃	0.3411						
轻组分	0.676						
水	0.232						

1.4 公用工程

公用工程	条 件	指 标	公用工程	条 件	指 标
冷却水	供水压力/MPa	0.6	氮 气	压力/MPa	0.45
	供水温度/℃	30		低压蒸气	压力/MPa
	回水压力/MPa	0.45	高压蒸汽		温度/℃
	回水温度/℃	40		压力/MPa	2.8~3.0
电 源	低压电源(50Hz)/V	380/220		温度/℃	230

1.5 分析方法

样 品	分析仪器	条 件	样 品	分析仪器	条 件
气 体	SP-3420 色谱仪	色谱柱:分子筛、13X、 Al_2O_3 毛细管柱 进样器:50℃FID;200℃TCD;100℃	硫化氢	测硫管 HC-2 硫分析仪	
液 体	GC-14B 色谱仪	CBP1-M50-025 汽化室:210℃			
	GC-17A 色谱仪 HP-6890 色谱仪	CBP1-M50-025 FID;250℃ AT-1	水	MDC-3P SC-6 水分仪	

1.6 主要工艺参数

催 化 精 馏 塔			脱 苯 塔		
项 目	设计条件	开车条件	项 目	设计条件	开车条件
塔顶温度/℃	140~170	140~171	塔顶温度/℃	117~120	117~120
塔釜温度/℃	150~156	150~156	塔釜温度/℃	179~185	150~160
反应段温度/℃	150~170	150	塔顶压力/MPa	0.21	0.21
塔顶压力/MPa	2.40~2.65	2.4~2.6	塔釜压力/MPa	0.25	0.21
塔釜压力/MPa	2.57~2.8	2.57~2.7	进料量/(kg/h)	557.9	300
干气流量/(kg/h)	152	76	回流比	0.7~1	0.7~1
新鲜苯加入量/(kg/h)	517	258~276			
苯/乙烯比	4.56(乙烯 19.91%)	4.56~6.76			
苯重量空速/ h^{-1}	3.3	1.65~1.77			
干气含水量/ 10^{-6}	<20				
干气含硫量/ 10^{-6}	<5				
苯含水量/ 10^{-6}	<50				