

## 工艺与设备

## 吗啉生产扩产改造及节能研究

魏奇业<sup>1,2</sup> 华 贵<sup>1</sup> 高维平<sup>2</sup> 栾国彦<sup>2</sup>

(1. 华南理工大学传热强化与过程节能教育部重点实验室, 广东 广州 510640;

2. 吉林化工学院, 吉林 吉林 132022)

**摘要:** 对 1 000 t/a 吗啉生产装置扩产到 3 000 t/a 的工艺进行了研究。在装置模拟和设备核算的基础上, 对现有设备进行了合理调整。对塔设备进行了内件改造, 采用三环节方法对装置的用能情况进行了分析, 对能量进行了合理的匹配及回收。

**关键词:** 吗啉; 扩产; 节能; 三环节方法

中图分类号: TQ251.1

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2003)06-0038-04

## Capacity expansion and energy saving revamping of morpholine production unit

WEI Qi-ye<sup>1,2</sup>, HUA Ben<sup>1</sup>, GAO Wei-ping<sup>2</sup>, LUAN Guo-yan<sup>2</sup>

(1. Key Lab of Enhanced Heat Transfer and Energy Conservation, Ministry of Education, South China University

of Technology, Guangzhou 510640, China; 2. Jilin Institute of Chemical Technology, Jilin 132022, China)

**Abstract:** The equipment expansion of morpholine production with the capacity from 1 000 t/a to 3 000 t/a was studied. In order to decrease revamping investment, layout of the existing equipment was arranged rationally, some required equipment was added, the inside structures of towers was revised, therefore the existing equipment was used well on the basis of simulation of the set and approved facilities. The production cost decreased and the economic benefit increased by expanding capacity of the set. The energy analysis for the set was carried out through three-link method and energy was made rational in use and recycled following expansion.

**Key words:** morpholine; expansion; energy saving; three-link

吗啉是氧氮杂环烷类产品, 是重要的有机化工原料。随着养殖业和农作物疾病预防等方面需求, 农药病毒灵类原药的增加, 吗啉的用途将越来越广泛, 市场的需求越来越大<sup>[1-2]</sup>。随着市场竞争的加剧, 降低能耗与生产成本势在必行。

在装置的扩产改造过程中运用能量集成的方法进行系统用能的优化, 可以在实现规模效益的基础上, 降低产品能耗, 增强企业的竞争力。在扩产改造中运用“三环节方法”进行能量优化, 可以把庞大的工业过程系统进行分解简化, 大大减少系统的变量数目, 使得优化工作易于进行。“三环节方法”对过程系统能量结构有深刻的理解和描述, 可以与任何单元或子系统的优化技术配合使用, 是一个以过程系统全局优化为目标的能量综合的方法<sup>[3]</sup>。本文介

绍了依据此方法对 1 000 t/a 吗啉生产装置扩产到 3 000 t/a 的改造方案。

## 1 扩产改造的背景

①因橡胶工业、医药工业的快速发展, 致使吗啉的需求迅速增加, 目前国内的吗啉需求量可达到 8 000 t/a, 而国内吗啉的生产能力仅 6 000 t/a, 因此, 吗啉的市场仍有潜在容量。②吗啉的生产厂家在不断扩大和增多, 市场竞争也很激烈。为占领市场必须降低生产成本, 扩大生产规模, 因此, 扩大生产能力势在必行。③生产吗啉的主要设备脱氨塔、脱轻塔、产品塔有很大的潜力, 充分挖掘原有设备能力, 以获得最大的经济效益。④经过对装置的用能情况进行分析发现, 能量的利用存在不尽合理的地方。

收稿日期: 2003-02-20

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G20000263), 国家自然科学基金(79931000)资助项目

作者简介: 魏奇业(1964-), 男, 在职博士, 副教授, 研究方向为化工过程系统工程; 华贵(1937-), 男, 大学, 教授, 博导, 研究方向为过程系统热力学分析和能量综合优化, 通讯联系人, weiqiye@mail.jl.cn。

## 2 扩产改造方案

### 2.1 扩产改造的原则

①充分挖掘脱氨塔、脱轻塔、产品塔的潜力,其余设备填平补齐。②为了节省投资,尽可能利用现有生产装置及闲置设备。③采用“三环节方法”对系统进行用能分析,在扩产改造的同时进行能量优化。

### 2.2 三环节能量结构模型

“三环节方法”从能量在过程系统中的作用和追踪其变化线索入手,揭示出能量在过程系统中转换、利用、回收和排出的普遍规律,提出了三环节能量结构模型<sup>[4]</sup>,如图1所示。

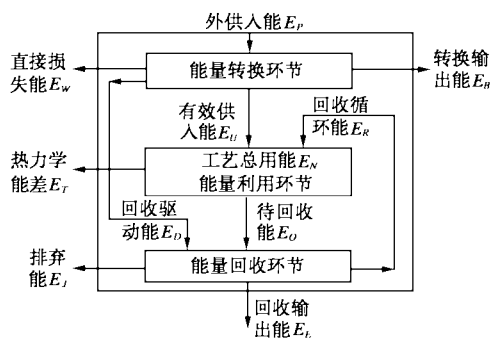


图1 三环节能量结构模型

该模型按过程系统中能量的演变过程将系统划分为3个不同功能的环节,即能量转换环节、能量利用环节、能量回收环节。能量在整个工艺过程中降质,是在3个不同功能的环节中逐步发生的。“三环节方法”是一个以全局优化为目标的过程系统能量综合的策略方法,它是从焓分析角度出发,按能量在过程系统中的演变规律将系统分成3个不同功能的环节。“三环节模型”的重要性在于把庞大的过程系统分解简化,分解后子系统的变量数目大大减少,因而易于优化。以“三环节模型”为框架,结合焓经济学方法,已初步发展了一套行之有效的从过程单元、子系统到系统全局的分解协调优化的策略方法<sup>[5]</sup>。

### 2.3 工艺技术方案确定

吗啉由氨与二甘醇在催化剂及氢气的存在下反应生成,反应的副产物主要有N-甲基吗啉、N-乙基吗啉及一些高沸物,另外还有少量CO等组分。对吗啉生产装置的模拟计算是在PRO/II中进行的<sup>[6]</sup>,由于在PRO/II的库组分中没有N-甲基吗啉和N-乙基吗啉,需根据部分已知物性数据对组分进行定义;同时为了使模拟计算与生产实际相符,需根据装

置实际生产的相平衡数据,在PRO/II中利用其数据回归功能,计算组分的二元交互作用参数。吗啉生产装置的模拟计算包括工艺参数的计算、物料管线的核算及设备的初步核算,部分设备的尺寸需要根据能量优化的情况进行调整。

用三环节方法进行能量优化,首先要对装置进行各环节的划分,然后对能量回收环节、转换环节和利用环节进行用能效率和焓效率的计算,找出用能的薄弱环节;通过对吗啉生产装置的分析计算发现,该装置能量回收环节的用能效率和焓效率较低。从工艺流程图可以看出,从反应器出来的气体温度在200℃以上,焓值较大,属高品位能量,应尽量回收;但作为回收该能量的原换热设备——物料换热器,换热面积较小,只有10 m<sup>2</sup>,显然不利于能量的回收,应增大换热面积。在实际工业过程的节能改造中,单纯追求低能耗也是不切实际的,会导致设备投资总费用过大,能量利用合理性的最佳判断依据是投资和能耗总费用之和最小。可以采用三环节焓经济分析方法合理估计能量和焓的经济价值或成本,计算能量的转换、工艺利用、回收3个环节的收益,再根据有关投资的数据利用各种经济评价方法以求最大的经济效益。

原装置中脱氨塔的进料需用蒸汽进行预热,而出氨预热器的反应产物需要冷却到10~25℃。通过热力学分析发现,可以将脱氨塔进料与出氨预热器的反应产物换热,在不增加操作难度的情况下,即回收了脱氨塔进料的冷量,又回收了反应产物的热量。

根据模拟分析及生产经验,最终确定的工艺方案如下:

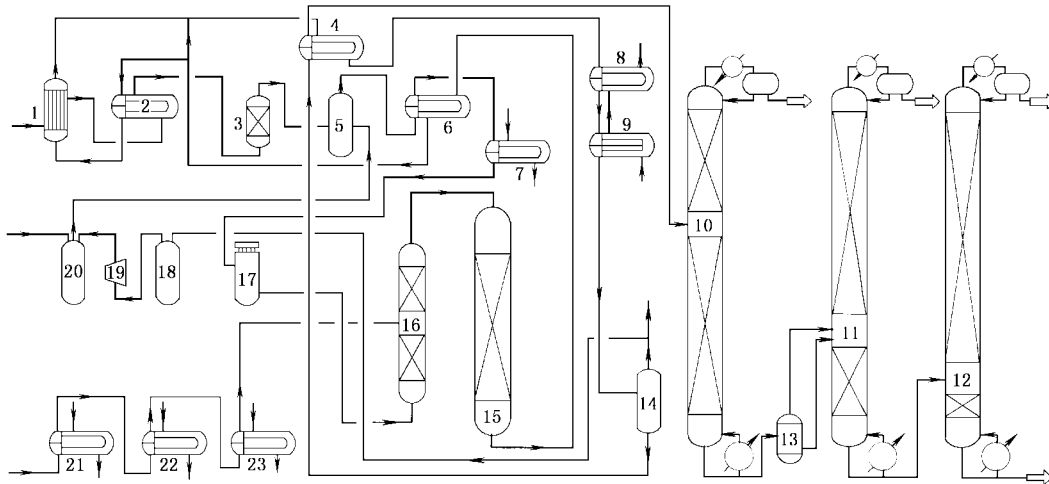
①为了尽量回收反应气体的热量,降低能量消耗,提高焓效率,增大物料换热器的换热面积,在三环节焓经济分析方法基础上确定的最佳换热面积为50 m<sup>2</sup>。②为防止反应器中催化剂表面油污结碳,在氨气气化器后增加1台除油器;③由于除油器入口气体需控制在60~80℃以下,物料换热器出来的反应气体一部分进氨气化器和氨加热器,另一部分给进脱氨塔的粗吗啉预热,然后进入合成一、二冷凝器降温,再进入气液分离器。④在系统优化和设备核算的基础上进行设备的调配,以节省投资。

### 2.4 工艺流程说明

最终确定的吗啉生产工艺流程见图2,由合成反应单元和分离精制单元组成。

#### (1) 合成单元

新鲜液氨由合成氨车间送入液氨缓冲罐,经调



1—氨预热器;2—氨气蒸发器;3—氨除油器;4—粗吗啉预热器;5—除碳器;6—物料换热器;7—氢氨加热器;8—合成一冷;  
9—合成二冷;10—脱氨塔;11—脱轻塔;12—产品塔;13—闪蒸罐;14—气液分离器;15—反应器;16—蒸发器;17—电加热器;  
18—氨气入口缓冲罐;19—氨气压缩机;20—氨气出口缓冲罐;21,22,23—二甘醇加热器

图 2 吗啉生产工艺流程图

节计量后,进入氨预热器,将液氨预热至 40~50℃ 进入氨蒸发器,温度达到 60℃ 以上,经过气化分离除油,气氨进入除碳器,与循环气混合后进入物料换热器,与反应器出来的气体换热,再经氢氨加热器用中压蒸汽加热,温度升至 200℃ 以上,经电加热器加热到 230~250℃ 后进入气化器底部。

二甘醇用二甘醇计量泵升压后打入二甘醇预热器,预热至 150℃ 左右,经二甘醇加热器,用中压蒸汽加热至 200~210℃ 后进入气化器,与氨、氨气充分混合,气化后气体温度为 200℃ 左右,由顶部进入合成反应器。反应器采用绝热固定床,反应器出口压力 1.3~1.5 MPa,反应热点温度 220~230℃ 左右,物料经床层催化剂催化反应后生成粗吗啉混合物,由各反应器底部引出,混合后进入物料换热器,与循环气进行换热,然后一部分进入粗吗啉预热器,另一部分进入氨蒸发器,使液氨气化,再进入氨预热器,连续取热使反应热得到充分利用,由粗吗啉预热器出来的气液混合物与氨预热器出来的气液混合物混合后,温度为 60℃,经合成一冷冷却后,再进入合成二冷,将粗产品冷却到 10~25℃ 左右,进入气液分离器分离,分离后的液相粗吗啉经粗吗啉预热器预热后,送至精馏系统。气相回收循环使用,为了控制循环气中 CO 的含量,要连续排放体积分数为 5% 的气体至氨合成车间的氨回收,不足的部分由造气车间送来的精制气补充到氢气缓冲罐,在合成系统循环使用。

## (2) 分离精制单元

气液分离器出来的液相粗吗啉,经粗吗啉预热器预热后连续进入脱氨塔。塔顶采出氨通过液氨贮罐计量后,送回收成车间的氨库。塔釜采出的脱氨粗吗啉,经闪蒸罐闪蒸后转入下道工序。

来自闪蒸罐的物料,连续进入脱轻塔中,塔顶采出轻组分送出界区,塔釜采出脱轻粗吗啉,直接进入脱轻粗吗啉中间罐。

来自脱轻粗吗啉中间罐的物料,经脱轻塔出料泵,连续进入产品塔中。塔顶蒸汽进入冷凝器,冷凝后一部分返回产品塔顶作为回流,另一部分直接进入成品贮罐,塔釜采出釜残液,用废包装桶包装。

## 3 主要设备的确定

### 3.1 塔设备

通过对扩产后塔设备的生产能力进行核算后发现,现有脱轻塔已不能满足要求,需改用原先废弃的老塔;脱氨塔和产品塔通过改换塔内件及更换高效填料,可以满足扩产后的生产要求。优化设计后的塔结构数据见表 1。

表 1 优化设计后塔结构数据

项目	T-201 脱氨塔	T-202 脱轻塔	T-203 产品塔
塔径/mm	350	800	550
填料高度/m	3.5	13.5	6.5
精馏段高度/m	1.5	7.5	4.5
提馏段高度/m	2	6	2
填料型号	M125Y, M125X	BX	M500Y

### 3.2 其他设备

在吗啉扩产改造中,设备的增加及变动是基于设备的负荷及节能考虑的,其中氢氨加热器的改变(传热面积增加)是为了用中压蒸汽提高循环气的温度,以节省电加热器的用电量。主要新增设备及其型号与规格见表2。

表2 主要新增设备一览表

设备名称	型号与规格/mm	数量	材质
反应器	$\Phi 750, \delta = 10, L = 8000$	2	1Cr18Ni9Ti
氮气压缩机	DW-10/17-20 排气量 $15 \text{ m}^3/\text{min}$ (吸入状态)	1	
电加热器	$\Phi 350, \delta = 12, L = 2000$	3	1Cr18Ni9Ti
气化器	$\Phi 1600, \delta = 8, L = 2500$	1	16MnR
二甘醇预热器	$\Phi 450 \times 8, L = 2800, S = 10 \text{ m}^2$	1	20 <sup>#</sup>
合成冷凝器	$\Phi 650, \delta = 8, L = 6500, S = 50 \text{ m}^2$	1	16MnR
氨除油器	AN0320/2.5, $H = 1300, L = 750$	1	
物料换热器	$\Phi 500, \delta = 8, L = 6500, F = 55 \text{ m}^2$	1	16MnR
氢氨加热器	$\Phi 650, \delta = 10, L = 2500, F = 50 \text{ m}^2$	1	16MnR

(上接第34页)

表1 涂膜基本性能

有机硅质量分数/%	0 <sup>①</sup>	0.5	1	3	5	10
丙酮擦拭	通过	通过	通过	通过	通过	通过
抗冲强度 <sup>②</sup>	通过	通过	通过	通过	不过	不过
附着力 <sup>③</sup> /级	0	0	1	1	2	2

注:①基于 GB/T 1732,  $> 50 \text{ kg} \cdot \text{cm}$ ; ②基于 GB/T 9286。

### 3 结论

引入 Z-6018 有机硅中间体合成了有机硅改性聚酯,分析表明有机硅改性聚酯是两种树脂的混合物。一种分子链段含有硅组分,另一种分子链段不含硅组分。聚酯经少量有机硅改性后,树脂的玻璃化温度、熔融黏度略有下降,聚酯树脂的表面与水的接触角变大,表面张力下降。有机硅改性聚酯用于

### 4 结论

(1)扩产改造通过挖掘脱氨塔、脱轻塔、产品塔潜力,发挥其最大生产能力,充分利用现有设备扩大生产规模,节省了投资。生产过程中的原材料消耗定额不变,仅从管理费、产品销售费、上交统筹费、人员工资福利费等扩产不增费就使吗啉生产成本下降 1 945 元/t。

(2)在改造的同时对装置的用能情况进行了系统的分析,对能量进行了合理的匹配及回收。能量的优化使吗啉生产成本下降了 473 元/t,为企业增加了经济效益。

### 参考文献

- [1] 李明玉,戴清文.[J].精细石油化工,1999,(5):9-11.
- [2] 周芎,陆建刚.[J].氮肥设计,1996,34(1):31-36.
- [3] 华贲.[J].石油化工,1995,25(1):62-69.
- [4] 华贲.工艺过程用能分析及综合[M].北京:中国石化出版社,1989,72-74.
- [5] 陈清林,尹清华,华贲.[J].石油学报,2000,16(3):70-78.
- [6] 魏奇业,高维平,华贲,等.[J].现代化工,2002,22(4):40-42. ■

粉末涂料时,涂膜的耐候性能提高。当改性聚酯含有质量分数 1% 的有机硅时,涂膜的耐候性改善效果最佳且具有良好的其他涂膜性能。但当有机硅质量分数大于 5% 时,改性聚酯树脂体系的相容性变差,综合性能下降。

### 参考文献

- [1] 幸松民,王一路.有机硅合成工艺及产品应用[M].北京:化学工业出版社,2000.765-767.
- [2] 李可彬.[J].四川轻化工学院学报,1995,8(4):87-93.
- [3] 米普科.[J].涂料工业,2002,32(7):21-22.
- [4] Korea Chemical Co., Ltd. Process for preparing silicone modified polyester resins and a powder coating composition containing thereof[P]. US 5227435, 1993-07-13.
- [5] 大日本涂料株式会社.粉体涂料用树脂组合物[P].JP 公开特许公报 8-151537,1996-06-11.
- [6] Wu S. Polymer Interfaces and Adhesion[M].New York:Basel,1982. ■

## 2001年《现代化工》期刊评价指标

据中国科技信息研究所 2002 年报告,2001 年《现代化工》期刊的总被引频次为 376,在化工类期刊中排名第 6 位,影响因子 0.405,排名第 9 位。