

# 化学反应器设计

题目 3000 吨/年乙酸乙酯反应器设计

教 学 院 \_\_\_\_\_

专业班级 \_\_\_\_\_

学生姓名 \_\_\_\_\_

学生学号 \_\_\_\_\_

指导教师 \_\_\_\_\_

202X 年 月 日

## 目 录

目 录 .....	I
摘 要 .....	III
第一章 绪论 .....	1
1.1 乙酸乙酯概述 .....	1
1.2 乙酸乙酯的产能和市场需求 .....	1
1.3 设计背景 .....	2
1.4 设计要求及条件 .....	2
1.5 设计内容及范围 .....	3
第二章 原料、产品规格 .....	4
2.1 乙酸 .....	4
2.2 乙醇 .....	4
2.3 乙酸乙酯 .....	4
2.4 催化剂硫酸 .....	5
第三章 生产方法及生产原理 .....	6
3.1 目前主要的生产方法 .....	6
3.2 生产原理 .....	8
3.3 工艺流程 .....	9
第四章 物料衡算 .....	11
4.1 主要设计条件 .....	11
4.2 物料平衡计算过程 .....	11
4.3 物料衡算结果 .....	14
第五章 热量衡算 .....	16
5.1 过程说明 .....	16
5.2 原料、产品及副产品的热力学性质 .....	16
5.3 热量衡算过程 .....	18
第六章 反应釜设计计算 .....	21
6.1 反应时间的确定 .....	21
6.2 反应器体积的确定 .....	21
6.3 其它构件尺寸选择 .....	22
6.4 搅拌器选择及轴功率计算 .....	23
6.5 反应釜条件表 .....	24
第七章 结论及体会 .....	26

7.1 结论.....	26
7.2 体会.....	26
附 录.....	29

## 摘 要

本设计是在学习《化学反应工程》课程的基础上进行的对应性工程设计实践训练，目的是通过完成反应器设计实践，掌握化学反应器设计的设计条件、设计内容、基本设计程序和设计过程中遵守的相应规范。在设计过程中，针对乙酸乙酯反应器设计要求，确定反应物系、原料规格及要求、催化剂的种类及性质、反应的基本原理等内容；按照设计要求进行物料衡算、能量衡算，进一步经过反应器计算确定反应器类型、结构和尺寸。在此基础上，参照相应的设计规范，绘制反应器条件图和以反应器为中心的带控制点工艺流程图。设计的反应器满足了乙酸乙酯生产要求，达到了工程设计基本训练的目的。

# 第一章 绪论

## 1.1 乙酸乙酯概述

### 1、乙酸乙酯简介

乙酸乙酯又称醋酸乙酯，是一种无色透明具有流动性并且是易挥发的可燃性液体，呈强烈清凉菠萝香气和葡萄酒香味，低毒性，浓度较高时有刺激性气味，易挥发是一种用途广泛的精细化工产品。乙酸乙酯能很好的溶于乙醇、氯仿、乙醚、甘油、丙二醇、和大多数非挥发性油等有机溶剂中，稍溶于水（25℃时，1mL 乙酸乙酯可溶于 10mL 水中），而且在碱性溶液中易水解成乙酸和乙醇。水分能使其缓慢分解而呈酸性。乙酸乙酯与水和乙醇皆能形成二元共沸混合物，与水形成的共沸混合物沸点为 70.4℃，其中含水量为 6.1%（质量分数）。与乙醇形成的共沸混合物的沸点为 71.8℃。还与 7.8%的水和 9.0%的乙醇形成三元共沸混合物，其沸点为 70.2℃。

### 2、乙酸乙酯的用途

乙酸乙酯应用最广泛的脂肪酸酯之一，具有优良的溶解性能，是一种较好的工业溶剂，已经被广泛应用于醋酸纤维、乙基纤维、氯化橡胶、乙醛纤维树脂、合成橡胶等的生产，也可用于生产复印机用液体硝基纤维墨水，在纺织工业中用作清洗剂，在食品工业中用作特殊改性酒精的香味萃取剂，在香料工业中是最重要的香味添加剂，可作为调香剂的组分，乙酸乙酯也可用作黏合剂的溶剂，油漆的稀释剂以及作为制造药物、染料等的原料，用途广泛，是一种重要的有机化工原料和工业溶剂<sup>[1]</sup>。

国外乙酸酯的消费结构与我国有所不同，美国和欧洲国家乙酸乙酯最大的应用领域是涂料，其中美国涂料方面的消费量约占总消费量的 60%，欧洲在涂料行业的消费量约占总消费量的 50%。日本主要应用在涂料，油墨方面，分别约占总消费量的 40%和 30%。而我国主要应用于涂料，粘合剂和制药领域。

## 1.2 乙酸乙酯的产能和市场需求

### 1、世界乙酸乙酯的产能与消费情况

目前乙酸乙酯生产与消费主要集中在西欧，美国和亚洲地区，其中亚洲地区的生产和消费又主要集中在日本，中国及东南亚国家网。近年来，世界乙酸乙酯的生产能力不断增加。2001 年全球乙酸乙酯的生产能力只有 125.0 万吨 / 年 2006 年生产能力增加到 222.0 万吨年，2001-2006 年生产能力的年均增长率高达 12.2%。其中英国 BP 化学公司是目前世界上最大的乙酸乙酯生产厂家，生产能力为 22.0 万吨年，约占世界总生产能力的 991%。其次是中国江苏索普集团公司，生产能力为 20.0 万吨 / 年，约占 9.01%：表 1.2 为国外乙酸乙酯的生产情况。

在涂料方面，使得乙酸乙酯涂料被水性和高固含量涂料、粉末涂料和双组分涂料夺去了市场额。虽然这种变化还在继续，但乙酸乙酯市场仍然保持持续增长。东南亚地区开始成为全球最重要的乙酸乙酯的产地和消费地。大部分投资于乙酸乙酯的资金开始将目标

投向乙酸乙酯需求量增长迅速的亚洲和中国。

## 2、我国乙酸乙酯的产能与消费状况

### (1)生产现状

我国乙酸乙酯的生产始于 20 世纪 50 年代，近年来，随着我国化学工业和医药工业的快速发展，乙酸乙酯的生产发展很快。生产能力已经从 2001 年的 37.0 万吨年增加到 2006 年的约 90.0 万吨 / 年。目前，我国乙酸乙酯的生产厂家有 20 多家，生产企业主要集中在华南和华东地区。其中国内最大的乙酸乙酯生产企业江苏索普集团产能达到 20.0 万吨 / 年，约占国内总生产能力的 22.2%，与乙酸产品实现了上下游一体化，产品竞争力较强，80% 的乙酸乙酯用于出口；其次是山东金沂蒙集团公司，生产能力为 16.0 万吨 / 年，约占国内总生产能力的 13.3%，主要原料乙酸、乙醇均能自给，产品竞争能力也较强。目前国内大型乙酸乙酯企业均采用酯化法技术。

### (2)消费现状、进出口情况及发展前景

随着生产能力的不断增加，我国乙酸乙酯的产量也不断增加。2008 年尽管受到金融危机的影响，但是由于 2007 年新增的产能发挥作用，产能仍达到约 95.0 万吨年，同比增长约 33.8%。另外，随着乙酸乙酯新用途的不断开发，将会使乙酸乙酯在其他方面用量的比例也有一定的增加。

## 1.3 设计背景

乙酸乙酯生产方法有直接酯化法和间接酯化法<sup>[2]</sup>。该产品在酯化工艺中是最基础、最重要的酯化产品之一，研究并设计其生产工艺具有很重要的意义。因此决定建设 3000 吨/年乙酸乙酯生产装置，本设计仅涉及合成系统。

## 1.4 设计要求及条件

1、生产原料：冰醋酸 99% (wt%)、乙醇 99% (wt%)；

2、生产规模：3000 吨/年，产品纯度 98.5% (wt%)；

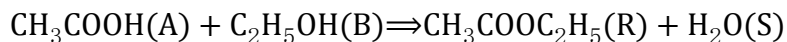
3、年生产时间：300 天，总收率 0.99，操作班次根据计算操作时间确定；

4、工艺要求：原料配比乙酸：乙醇=1:3 (mol 比)，乙酸转化率 58%，浓硫酸为催化剂，用量为总物料量 1% (质量基准)，反应釜装料系数 0.75，放热反应 (反应热-9521.6 kJ/kmol)，反应釜最大体积不超过 5.0m<sup>3</sup>；假设反应为恒温恒容反应，温度 81℃，平均密度 780kg/m<sup>3</sup>。

5、工艺简述：首先将乙醇、乙酸和催化剂放入到反应釜内，在夹套内通蒸气加热，温度升至反应温度后酯化反应发生，利用乙醇与水和乙酸乙酯形成非均相共沸物的特点，乙醇既是原料，同时也是带水剂，乙醇与水、醋酸乙酯形成共沸物气化，冷凝后分层，上层油层返回反应釜内，含有微量乙醇的水层则不断被移出反应系统外处理。当不再有水被带出时，可以认为反应结束、放料、输送到后续工序。

6、其它已知条件

(1) 反应方程式



(2) 反应动力学方程

$$r_{\text{A}} = -\frac{dC_{\text{A}}}{dt} = kC_{\text{A}}^2 (\text{A 为乙酸})$$

$$k = 0.72 \text{ m}^3 / \text{kmol} \cdot \text{h}$$

(3) 辅助操作时间：1.5 小时，包括：备料时间+放原料时间+升温时间+卸料时间

(4) 反应压力 0.101MPa（绝压）。

7、公用工程条件：

(1) 蒸汽：0.8MPa（G），175℃；

(2) 冷却循环水：上水 0.4MPa，30℃；回水 0.25MPa，40℃，平均热容为 4.187 kJ/kg·℃。

(3) 电：380/220V，50Hz

### 1.5 设计内容及范围

- 1、根据设计要求进行物料衡算、热量衡算和反应釜工艺设计计算；
- 2、按照要求完成课程设计说明书；
- 3、根据设计结果绘制反应器设备条件图、以反应器为核心的带控制点工艺流程图（A4 版）

## 第二章 原料、产品规格

## 2.1 乙酸

乙酸质量规格见表 2-1。

表 2-1 乙酸质量标准 GB1628-79

项目	指标	项目	指标
乙酸含量	>99.0% (m/m)	色度	<5APHA
水分	<0.05% (m/m)	硫酸色度	<15APHA
醛类	<0.05% (m/m)	密度 (20℃) g/cm <sup>3</sup>	0.831~0.833
酸度	<0.01% (m/m)	不饱和物	<0.05% (m/m)

## 2.2 乙醇

乙醇质量规格见表 2-2。

表 2-2 乙醇质量标准 GB/T 34686-2017

项目	指标	项目	指标
乙醇含量	>99.0% (m/m)	色度	<5APHA
水分	<0.05% (m/m)	硫酸色度	<15APHA
醛类	<0.05% (m/m)	密度 (20℃) g/cm <sup>3</sup>	0.831~0.833
酸度	<0.01% (m/m)	不饱和物	<0.05% (m/m)

## 2.3 乙酸乙酯

乙酸乙酯质量规格见表 2-3。

表 2-3 乙酸乙酯质量标准 GB/T 3728-2007 工业用乙酸乙酯

项目	指标	项目	指标
乙酸乙酯含量	>99.0% (m/m)	色度	<10APHA
水分	<0.10% (m/m)	硫酸色度	<15APHA
醇类	<0.5% (m/m)	密度 (20℃) g/cm <sup>3</sup>	0.897~0.902
酸度	<0.05% (m/m)	残渣	<0.005% (m/m)



## 2.4 催化剂硫酸

硫酸质量规格见表 2-4。

表 2-4 工业硫酸质量标准 GB/T 534-2014)

项目	指标	项目	指标
硫酸质量含量	$\geq 98.0\%$ (m/m)	色度	$\leq 2$ APHA
游离二氧化硫	$\leq 0.10\%$ (m/m)	砷的质量分数	$\leq 0.0001\%$ (m/m)
灰分质量分数	$\leq 0.02\%$ (m/m)	汞的质量分数	$\leq 0.001\%$ (m/m)
铁的质量分数	$\leq 0.005\%$ (m/m)	铅的质量分数	$\leq 0.005\%$ (m/m)

## 第三章 生产方法及生产原理

### 3.1 目前主要的生产方法

#### 1、乙酸乙酯的合成方法

##### (1) 直接酯化法:

酯化法是国内工业生产乙酸乙酯的主要工艺路线，是一种较为传统的方法，以乙酸和乙醇为原料，硫酸为催化剂直接酯化得乙酸乙酯，再经脱水、分馏精制得成品。浓硫酸有酸性强、吸水性强、性能稳定、价廉等优点，而且溶于反应物料中，是均相催化反应，反应均匀，因而在全塔内都能进行催化反应。催化作用不受塔内温度限制，反应机理清楚，容易实现最优控制，这些优点可以使反应精馏生产装置大型化。用浓硫酸作催化剂，也有其不可克服的缺点，即硫酸严重腐蚀设备，其强氧化性引起磺化、碳或聚合等副反应，产品纯度低，后处理进程复杂，三废量大。另一种酯化的工艺是催化精馏法，它采用固体酸作催化剂，属非均相反应精馏。在酯化合成方面，已经开发出的固体催化剂有沸石分子筛、离子交换树脂、金属硫酸盐、固体超强酸等，具有产物纯度高，反应选择性强，酯收率高，反应条件温和，副产物较少等优点。但若简单地将固体酸催化剂于反应中取代硫酸，催化剂在反应液中很快失去活性。催化精馏法不容易实现工业化和大型化的困难，在于催化精馏属非均相催化反应精馏过程，机理较复杂，目前理论还不能很好地解释这一过程，在国际上还没有一个国家提出催化精馏塔的设计方在我国，此工艺采用的原料乙醇大部分是由粮食发酵法生产，少量由乙烯水合法生产。

##### (2) 乙醇氧化法:

以乙醇为原料生产乙酸乙酯，传统工艺必须经过乙醇氧化脱氢为乙醛、乙醛氧化成乙酸、乙酸与乙醇酯化 3 个工段才能完成。乙醇脱氢法则只用乙醇一种原料，经过单一催化剂脱氢后直接得到乙酸乙酯，因此，这种方法也简称一步法，以区别于传统的三工段工艺。乙醇脱氢法总反应实际上也是经过 3 个步骤完成的。具体的反应机理有两种，一种是脱氢歧化酯化”机理，另一种是“半缩醛”机理，即三个步骤分别为乙醇脱氢为乙醛、乙醇与乙醛反应生成半缩醛、半缩醛脱氢为乙酸乙酯。新型工艺不用乙酸，直接用乙醇在催化剂作用下氧化一步合成乙酸乙酯。反应特点为：生产成本低，在没有甲醇法生产乙酸的地区，价格优势很大。工艺简单、容易操作，基本无腐蚀和三废排放。但产品质量不如酯化法，虽然可达到国标，但产生的丁酮等杂质如果难以完全分离的话，就不宜用于食品和酒增香等行业。

##### (3) 乙醛缩合法:

乙醛缩合法是由两分子乙醛经 Tishchenko 反应缩合成一分子乙酸乙酯，催化剂为乙醇铝、氯化铝及氯化锌等。其生产工艺是将乙醛、乙醇铝催化剂及助催化剂连续送入反应器，反应液经蒸发浓缩后，再经三塔精馏，获得纯度 99.8% 以上的乙酸乙酯产品。乙醛缩合法优点在于反应是在常压低温下进行，转化率和收率高，对设备要求不高，生产成本较酯化

法低；缺点是受原料来源限制，仅适宜于乙醛资源丰富的地区，催化剂乙醇铝无法回收，最后通过加水生成氢氧化铝排放，对环境有一定污染。乙醛缩合法在欧洲和日本是生产乙酸乙酯的主流生产方法，在我国工业性生产厂很少。乙醛贮存运输不方便，一般都是自产自销，因此乙醛缩合法乙酸乙酯生产装置都是建在有乙醛生产的厂内。在冰醋酸价格高的地方，该法有很强的竞争优势。该法在国外已经大型化，在国内尚有催化剂和工程上的问题没解决，有待突破。该法的产品只能用于化工原料，不能用于食用香料，这是因为乙醛及副产物无法除尽。将乙醛、乙醇铝等连续加入两个串联的反应器，于 0-20℃ 下进行反应，反应后经蒸馏得乙酸乙酯。此工艺的优点在于反应在常压低温下进行，工艺条件比较温和，缺点在于铝基催化剂无法回收，蒸馏出的废液中残留的乙醇铝加水生成氢氧化铝排放，造成环境污染。国外大多数采用此法生产乙酸乙酯。国内也有人正在进行开发研究。

#### (4) 乙烯加成法(乙烯与乙酸直接酯化生成乙酸乙酯):

在水蒸气存在条件下，乙烯将发生水合反应生成乙醇，然后生成的乙醇又继续与乙酸发生酯化反应生成乙酸乙酯产物。随着化学化工产业的迅速发展，炼油技术的不断提高，乙烯已经成为一种丰富的原料。由于乙烯与乙酸直接加成反应生产乙酸乙酯利用丰富的乙烯原料，原料利用合理，来源广泛，价格低廉，生产成本较低，且对合成乙酸乙酯具有较高的产率与选择性，既是一种原子经济型反应，又是一种环境友好型反应。缺点是此催化体系对设备腐蚀严重，投资成本高。该工艺采用的催化剂主要有液体无机酸和有机磺酸类、分子筛类和杂多酸类催化剂。同时该工艺依赖于石化工业，需要有大量的乙烯资源，只能在乙烯和乙酸资源相对比较丰富而廉价的地区才可以考虑。石油价格的不断上涨，造成该工艺的劣势更加凸现。在中国这样日身石油储量及产量不高需要大量进口石油的国家，如果盲目发展这一工艺生产乙酸乙酯缺乏战略考虑。该工艺依赖于乙烯资源，只能在乙烯和乙酸资源丰富且廉价的地区生产才具有经济性。

## 2、反应器类型

### (1) 搅拌釜式反应器（连续、间歇）

搅拌釜式反应器由搅拌器和釜体组成。搅拌器包括传动装置，搅拌轴（含轴封），叶轮（搅拌桨）；釜体包括筒体，夹套和内件，盘管，导流筒等。工业上应用的搅拌釜式反应器有成百上千种，按反应物料的相态可分成均相反应器和非均相反应器两大类。非均相反应器包括固-液反应器，液-液反应器，气-液反应器和气-液-固三相反应器。适用于各种物性（如黏度、密度）和各种操作条件（温度、压力）的反应过程，应用于合成塑料、合成纤维、合成橡胶、医药、农药、化肥、染料、涂料、食品、冶金、废水处理等行业。应用于化学反应、生物反应、混合、分散、溶解、结晶、萃取、吸收或解吸等操作。

### (2) 管式反应器

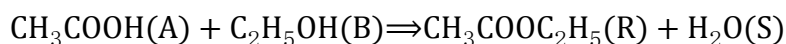
一种呈管状、长径比很大的连续操作反应器。这种反应器可以很长，如丙烯二聚的反应器管长以公里计。反应器的结构可以是单管，也可以是多管并联；可以是空管，如管式裂解炉，也可以是在管内填充颗粒状催化剂的填充管，以进行多相催化反应，如列管式固

定床反应器。现代化工生产中，管式反应器是常用的反应器型式之一，多数用于气相连续操作的场合，例如低级烃的卤化反应和氧化反应、石油烃类的热裂解反应等。管式反应器返混小，因而容积效率（单位容积生产能力）高，对要求转化率较高或有串联副反应的场合尤为适用。此外，管式反应器可实现分段温度控制。其主要缺点是，反应速率很低时所需管道过长，工业不易实现。

本工艺采用直接酯化法，硫酸做催化剂，采用间歇搅拌反应器。该工艺方法的优点是原料来源丰富、价格低廉，技术成熟。

### 3.2 生产原理

乙酸和乙醇在一定的反应温度下，在催化剂催化作用和搅拌条件下，发生如下化学反应：



采用乙醇过量的反应条件，反应转化率为 58%，因此反应液中含有未反应的乙醇、乙酸、目的产物乙酸乙酯和副产物水。表 3-1 是常压下乙醇-水-乙酸乙酯-乙酸四元物系的共沸数据，由表 3-1 可见，在常压下该四元物系形成四个共沸物，即 1 个三元共沸物和三个二元共沸物，其中乙醇-水-乙酸乙酯三元均相共沸物温度最低，首先从反应液中蒸出。

表 3-1 常压下乙醇-水-乙酸乙酯-乙酸四元物系的共沸数据

共沸温度/°C	共沸组分数	共沸组成/摩尔分数				共沸类型
		乙醇	水	乙酸乙酯	乙酸	
70.33	3	0.1658	0.2939	0.5403	0	均相
71.39	2	0	0.3269	0.6731	0	非均相
71.78	2	0.4476	0	0.5524	0	均相
78.15	2	0.8952	0.1048	0	0	均相

备注：采用 NRTL-HOC 活度系数模型，ASPEN 模拟结果。

图 3-1 是常压下 45°C 乙醇-乙酸乙酯-水三元 LLE 相图，由图 3-1 可见，乙醇-乙酸乙酯-水三元均相共沸物降温后，进入 LLE 两相区。因此，反应过程中生成的副产物水、产物乙酸乙酯与乙醇形成三元最低共沸物，气化后进入回流冷凝器，冷凝冷却后进入分层回流罐内发生液液分层，上层主要含有乙醇和乙酸乙酯的酯相直接回流到反应釜内继续参加反应，下层含有微量乙醇的水层被采出进入后续工序。

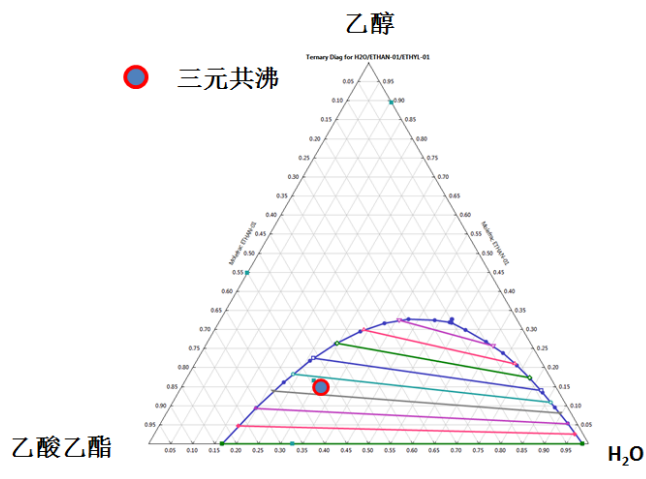


图 3-1 常压下 45°C 乙醇-乙酸乙酯-水 LLE 相图

### 3.3 工艺流程

分别用乙酸上料泵将包装桶内的乙酸打入到乙酸计量罐内，用乙醇上料泵将包装桶内的乙醇打入到乙醇计量罐内，用硫酸上料泵将硫酸打入到硫酸计量罐内。将计量罐内的乙醇以液位差的方法进行计量，打开计量罐下部的放料阀将乙醇放入到反应釜内，按照工艺要求放完规定量的乙醇后，关闭放料阀。将冷凝器通冷却水，启动反应釜搅拌器，在搅拌条件下将乙酸通过计量槽下的放料阀放入反应釜内，随后将催化剂也放进反应釜内，然后关闭放料球阀。打开反应釜夹套加热蒸汽管线的进气调节阀前后截止阀和冷凝水管线疏水器前后截止阀，使加热组件处于工作状态，然后通过调节阀向夹套内通加热蒸汽。当体系温度升到 81℃时，酯化反应随之开始，反应生成的副产物水在反应温度下，与乙醇、乙酸乙酯形成最低共沸物被加热气化并进入到冷凝冷却器内，冷凝冷却后进入到下方的分层回流罐内，上层的酯相返回到反应釜内继续参与反应，水层则采出进行计量后进入后续工序进一步回收乙醇。当上层的水量达到或接近理论生成量，且分层回流罐不再有水被带出时，反应结束，停止加热。搅拌的条件下，打开反应釜底部卸料阀，将反应物放至粗产品中间罐内。工艺流程图见图 3-2。

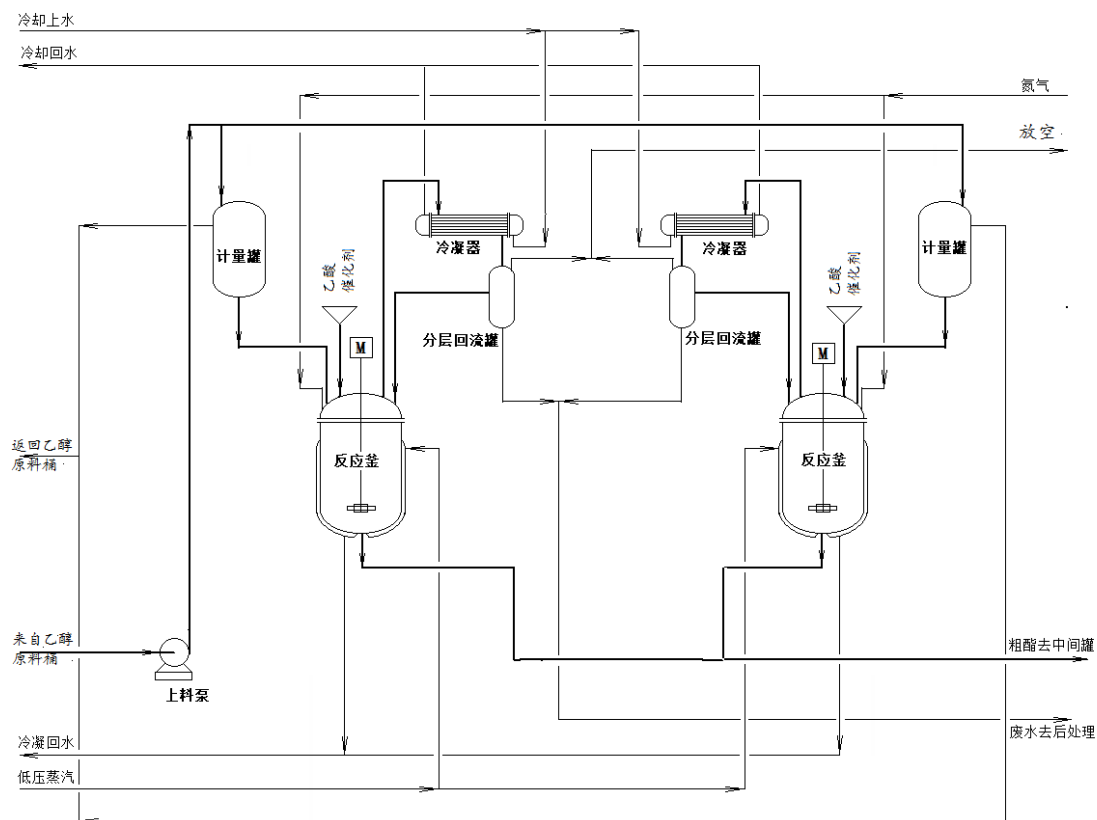


图 3-2 乙酸乙酯合成工艺流程图

## 第四章 物料衡算

### 4.1 主要设计条件

- 1、生产原料：乙酸、乙醇
- 2、生产规模：3000 吨/年
- 3、年生产时间：300 天，每天的班次安排根据合成过程需要的总时间确定。
- 4、工艺要求：乙酸：乙醇=1:3（mol 比），乙酸转化率 58%，浓硫酸为催化剂（按 98% 计算，平均分子量按 90 计），用量为总物料量 1%（质量基准），乙酸乙酯总收率 99%。
- 5、乙醇原料纯度：99%（wt）
- 6、乙酸纯度：99%（wt）
- 7、产品纯度：98.5%（wt）
- 8、原料、产品及副产品的物性见表 4-1。

表 4-1 原料、产品及副产品的基本性质

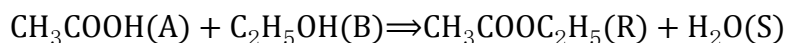
序号	项目名称	乙酸	乙醇	乙酸乙酯	水
1	分子式	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
2	分子量	60.0526	46.06904	88.10632	18.01528
3	正常沸点/°C	117.9	78.29	77.06	100
4	熔点/°C	16.66	-114.1	-83.55	0
5	临界温度/°C	318.8	240.85	250.15	373.946
6	临界压力/kPa	22064	5786	6137	3880
7	偏心因子	0.345	0.467	0.644	0.66

### 4.2 物料平衡计算过程

本设计以年产量为计算基准

#### 1、反应方程式

因醇酸比较大，且假设无其它副反应，则主反应：



以乙酸乙酯年产量为计算基准（采用倒推法）

#### 2、乙酸乙酯的年质量产量：

$$w_s^p = 3000 \times 10^3 \times 0.985 / 0.99 = 2984848.48 \text{ kg/a (pure S 摩尔量)}$$

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/847151055026010016>