



周口师范学院

2019“东华科技-恒逸石化杯”

第十三届全国大学生化工设计大赛

中原石化分公司 12 万吨/ 年醋酸乙烯酯项目

塔设备设计

Penta kill

2019“东华科技-恒逸石化杯”

第十三届全国大学生化工设计大赛

中原石化分公司 12 万吨/年醋酸乙烯酯项目

目

塔设备设计

设计单位：_____ 周口师范学院

团队名称：_____ Penta kill

团队成员：_____ 郭军令 田孟娜 魏梦茹 聂慧琳 宋妮子

指导老师：_____ 李志伟 王筠 陈泳兴 殷留义 刘芳

2019 年 7 月 10 日

目录

第一章 塔设备概述.....	1
1.1 塔设计的基本目标与原则.....	1
1.2 塔设备选型设计依据	1
1.3 塔类型的选择	2
1.3.1 塔设备简介	2
1.3.2 塔设备选型原则	3
1.4 板式塔及塔板选择.....	6
1.5 填料塔的填料类型与选择	7
1.6 塔的结构	9
1.7 本厂实际选择	11
第二章 板式塔设备设计计算 示例 T0302	11
2.1 T0302 VAC 粗分塔	11
2.1.1 水力学参数获得.....	12
2.1.2 工艺尺寸概算.....	16
2.2 塔设备条件图	33
2.3 塔装配图	34
2.4 强度校核	35
2.5 选型结果	46

第一章 塔设备概述

1.1 塔设计的基本目标与原则

作为主要用于传质过程的塔设备，首先必须使气液两相充分接触，以获得较高的传质效率；此外，为了满足工业生产的需要，塔设备还得考虑下类各项要求：

- （1）生产能力大。在较大的气液流速下，仍不致发生大量的雾沫夹带、拦液或者液泛等破坏正常操作的现象。
- （2）操作稳定弹性大。当塔设备的气液负荷有较大波动时，仍能在较高的传质效率下进行稳定的操作。并且塔设备应保证在能长期连续操作。
- （3）流体流动阻力小，流体通过塔设备的压降小。这将大大节省生产中的动力消耗，以降低操作费用。对于减压蒸馏操作，较大的压力降还将使系统无法维持必要的真空度。
- （4）结构简单、耗用材料少，制造与安装容易。这可以减少基建过程中的投资费用。
- （5）耐腐蚀和不易堵塞，方便操作、调节和检修。

1.2 塔设备选型设计依据

表 1-1 塔设备设计依据

参考标准及文献	标准编号或出版日期
《化工设备设计全书——塔设备》	2004.01
《石油化工设备设计便查手册》	2002.10

《固定式压力容器》	GB 150-2011
《塔器设计技术规定》	HG 20652-1998
《钢制化工容器设计基础规定》	HG/T 20580-2011
《塔式容器》	NB/T 47041-2014
《塔顶吊柱》	HG/T 21639-2005
《不锈钢人、手孔》	HG 21594-21604
《建筑抗震设计规范》	GB 50011-2010
《钢制塔式容器》	JB/T 4710-2005

1.3 塔类型的选择

1.3.1 塔设备简介

塔设备的分类可以从不同的角度进行。例如：按操作压力分为加压塔、常压塔和减压塔；按单元操作分为精馏塔、吸收塔、解吸塔、萃取塔、反应塔和干燥塔；按形成相际接触界面的方式分为具有固定相界面的塔和流动过程中形成相界面的塔；也有按塔釜形式分类的，但是长期以来最常用的分类是按塔的内件结构分为板式塔和填料塔。

填料塔以填料作为气液接触元件，气液两相在填料层中逆向连续接触。它具有结构简单、压力降小、易于用耐腐蚀非金属材料制造等优点，对于气体吸收、真空蒸馏以及处理腐蚀性流体的操作，颇为适用。当塔径增大时，引起气液分布不均、接触不良等，造成效率下降，即称为放大效应。同时，填料塔还有重量大、造价高、清理维修麻烦、填料损耗大等缺点，以致使填料塔在很长时期以来不及板式塔使用广泛。但是随着新型高效填料的出现，流体分布技术的改进，填料塔的效率有所提高，放大效应也在逐步得以解决。

板式塔是分级式接触型气液传质设备，种类繁多。板式塔为逐级接触式气液传质设备。在一个圆筒形的壳体内装有若干层按一定间距放置的水平塔板，塔板上开有很多筛孔，每层塔板靠塔壁处设有降液管。气液两相在塔板内进行逐级接触，两相的组成沿塔高呈阶梯式变化。板式塔的空塔气速很高，因而生产能力较大，塔板效率稳定，造价低，检修、清理方便。根据目前国内外实际使用的情况，主要的塔型是泡罩塔、筛板塔、浮阀塔、舌形塔、浮动喷射塔、等等。板式塔与填料塔对比见表 1-2。

表 1-2 板式塔与填料塔的对比

项目	填料塔		板式塔
	散堆填料	规整填料	
空塔气速	稍小	大	比散堆填料大
压降	小	更小	一般比填料塔大
塔效率	小塔效率高	高，对大直径塔无放大效应	较稳定，效率较高
液气比	对液体喷淋量有一定要求	范围大	适应范围大
持液量	较小	较小	较大
材质	可用非金属耐腐蚀材料	适应各类材料	金属材料
造价	小塔较低	较板式塔高	大直径塔较低
安装检修	较困难	适中	较容易

1.3.2 塔设备选型原则

类型选择时需要考虑多方面的因素，如物料性质、操作条件、塔设备的性能，以及塔的制造、安装、运转和维修等。对于真空精馏和常压精馏，通常填料塔塔效率优于板式塔，应优先考虑选用填料塔，其原因在于填料充分利用了塔内空间，提供的传质面积很大，使得汽液两相能够充分接触传质。而对于加

压精馏，若没有特殊情况，一般不采用填料塔。这是因为填料塔的投资大，耐波动能力差。

同样，吸收过程也分为液膜控制、气膜控制和介于两者之间的共同控制吸收三种类型。气膜控制的吸收优先考虑选用高效规整填料塔；液膜控制的吸收往往选用板式塔或汽液湍动大、持液量高的散装填料塔；介于两者之间的，宜采用比表面积大、持液量高、液相湍动大的填料塔，一般多采用散装填料塔。

（一）物料性质对塔设备选择的影响

（1）易起泡的物系，如处理量不大时，以选用填料塔为宜。因为填料能使泡沫破裂，在板式塔中则易引起液泛。

（2）具有腐蚀性的介质，可选用填料塔。如必须用板式塔，宜选用结构简单、造价便宜的筛板塔盘、穿流式塔盘或舌形塔盘，以便及时更换。

（3）具有热敏性的物料须减压操作，以防过热引起分解或聚合，故应选用压力降较小的塔型。如可采用装填规整填料的散堆填料等，当要求真空度较低时，也可用筛板塔和浮阀塔。

（4）黏性较大的物系，可以选用大尺寸填料，板式塔的传质效率较差。

（5）含有悬浮物的物料，应选择液流通道较大的塔型，以板式塔为宜。可选用泡罩塔、浮阀塔、栅板塔、舌形塔和孔径较大的筛板塔等。不宜使用填料。

（6）操作过程中有热效应的系统，用板式塔为宜。因塔板上积有液层，可在其中安放换热管，进行有效的加热或冷却。

（二）操作条件对塔设备选择的影响

（1

）若气相传质阻力大（即气相控制系统。如低黏度液体的蒸馏，空气增湿等），宜采用填料塔，因填料层中气相呈湍流，液相为膜状流。反之，受液相控制的系统（如水洗 CO₂），宜采用板式塔，因为板式塔中液相呈湍流，用气相在液层中鼓泡。

（2）大的液体负荷，可选用填料塔，若用板式塔时，宜选用气液并流的塔型（如喷射型塔盘）或选用板上液流阻力较小的塔型（如筛板和浮阀）。

（3）低的液体负荷，一般不宜采用填料塔。因为填料塔要求一定量的喷淋密度，但网体填料能用于低液体负荷的场合。

（4）液气比波动的适应性，板式塔优于填料塔，故当液气比波动较大时宜用板式塔。

（三）其他因素对塔设备选择的影响

（1）对于多数情况，塔径小于 800mm 时，不宜采用板式塔，宜用填料塔。对于大塔径，对加压或常压操作过程，应优先选用板式塔；对减压操作过程，宜采用新型填料。

（2）一般填料塔比板式塔重。

（3）大塔以板式塔造价较廉。因填料价格约与塔体的容积成正比，板式塔按单位面积计算的价格，随塔径增大而减小。

表 1-3 塔型选用顺序表

考虑因素	选择顺序
塔径	800mm 以下，填料塔
	大塔径，板式塔
具有腐蚀性的物料	填料塔
	穿流式塔
	筛板塔

	喷射型塔
污浊液体	大孔径筛板塔
	穿流式塔

	喷射型塔
	浮阀塔
	泡罩塔
操作弹性	浮阀塔
	泡罩塔
	筛板塔
真空操作	填料塔
	导向筛板
	网孔塔板
	筛板
	浮阀塔板
大液气比	多降液管筛板塔
	填料塔
	喷射型塔
	浮阀塔
	筛板塔
存在两液相的场合	穿流式塔
	填料塔

本项目气相处理量均较大，优先选用填料塔。本项目塔设备形式见表 1-4

表 1-4 塔设备型式

设备位号	设备名称	选择类型
T0201	酸洗塔	筛板塔
T0202	水洗塔	筛板塔
T0203	CO2 吸收塔	筛板塔
T0301	粗分塔	组合塔
T0302	VAC 粗分塔	筛板塔
T0303	VAC 水分离塔	筛板塔
T0304	VAC 提纯塔	筛板塔

1.4 板式塔及塔板选择

板式塔主要有筛板塔、浮阀塔和泡罩塔。板式塔的设计主要是选择塔型、选择流体流动形式、操作状态——鼓泡或喷射态等。板式塔一般认为用于大型塔是经济合理的，比一般填料塔具有效率高和能力大的优点。

工业上需分离的物料及其操作条件多种多样，为了适应各种不同的操作要求，迄今已开发和使用的塔板类型繁多。这些塔板各有各的特点和使用体系，现将几种主要塔板的性能比较。

表 1-5 几种主要塔板的性能比较

塔盘类型	优点	缺点	适用场合
泡罩板	较成熟、操作稳定	结构复杂、造价高、塔板阻力大、处理能力小	特别容易堵塞的物系
浮阀板	效率高、操作范围宽	浮阀易脱落	分离要求高、负荷变化大
筛板	结构简单、造价低、塔板效率高	易堵塞、操作弹性较小	分离要求高、塔板数较多
舌型板	结构简单且阻力小	操作弹性窄、效率低	分离要求较低的闪蒸塔

表 1-6 主要塔板性能的量化比较

塔板类型	生产能力	塔板效率	操作弹性	压降	结构	成本
泡罩板	1.0	1.0	5	1	复杂	1
浮阀板	1.2-1.3	1.1-1.2	9	0.6	一般	0.7-0.9
筛板	1.2-1.4	1.1	3	0.5	简单	0.4-0.5
舌型板	1.3-1.5	1.1	3	0.8	简单	0.5-0.6

为使塔板不同区域气液稳定、均匀分布及减少塔板“非活化区”对塔板效率的影响，本项目中反应精馏塔使用筛板塔，从而提高装置分离效率、减少生产能耗。

1.5 填料塔的填料类型与选择

塔填料是填料塔的核心构件，它为气液两相间热、质传递提供了有效的相界面，只有性能优良的塔填料再辅以理想的塔内件，才有望构成技术上先进的填料塔。因此，人们对塔填料的研究十分活跃。对塔填料的发展、改进与更新，其目的在于改善流体的均匀分布，提高传递效率，减少流动阻力，增大流体的流动通量以满足降耗、节能、设备放大、高纯产品制备等各种需要。填料的作用是为气、液两相提供充分的接触面，并为提高其湍动程度创造条件，以利于传质。他们应能使气、液接触面大，传质系数高，同时通量大而阻力小，所以要求填料层空隙率高、比表面积大、表面润湿性能好，并在结构上还要有利于两相密切接触，促进湍流。制造材料又要对所处理的物料有耐腐蚀性，并具有一定的机械强度，使填料层底部不致因受压而碎裂、变形。

常用的填料可分为两大类：散装填料和规整填料。

表 1-7 常用填料的分类与名称

填料类型			填料名称
散装填料	环形	拉西环形	拉西环，十字环，内螺旋环
		开孔环形	鲍尔环，改进型鲍尔环，阶梯环
	鞍形		弧鞍形，矩鞍形，改进矩鞍形
	环鞍形		金属环矩鞍形，金属双弧形，纳特环
	其他新型		塑料球形，花环形，麦勒环形
规整填料	波纹型	垂直波纹型	网波纹型，板波纹型
		水平波纹型	Spraypak，Panapak
	非波纹型	栅格形	Glitsch Grid
		板片形	压延金属板，多孔金属板
		绕圈形	古德洛形，Hyperfil

填料的几何特性数据主要包括比表面积、空隙率、填料因子等，是评价填料性能的基本参数。

(1) 比表面积单位体积填料的填料表面积称为比表面积，以 a 表示，其单位为 m^2/m^3 。填料的比表面积愈大，所提供的气液传质面积愈大。因此，比表面积是评价填料性能优劣的一个重要指标。

(2) 空隙率单位体积填料中的空隙体积称为空隙率，以 ϵ 表示，其单位为 m^3/m^3 ，或以%表示。填料的空隙率越大，气体通过的能力越大且压降低。因此，空隙率是评价填料性能优劣的又一重要指标。

(3) 填料因子填料的比表面积与空隙率三次方的比值，即称为填料因子，以 K 表示，其单位为 $1/\text{m}$ 。它表示填料的流体力学性能， K 值越小，表明流动阻力越小。

填料的选取包括确定其种类、规格、及材质等。颗粒填料包括拉稀环、鲍尔环、阶梯环等，规整填料主要有波纹填料、格栅填料、绕卷填料等。国内学者采用模糊数学方法对九种常用填料的性能进行了评价如表所示：

表 1-8 主要填料性能的量化比较

填料名称	评估值	排序
丝网波纹填料	0.86	1
孔板波纹填料	0.61	2
金属 Intalox	0.59	3
金属鞍形环	0.57	4
金属阶梯环	0.53	5
金属鲍尔环	0.51	6
瓷 Intalox	0.41	7
瓷鞍形环	0.38	8
瓷拉西环	0.36	9

填料的选择包括确定填料的种类、规格及材质等。所选填料既要满足生产工艺的要求，又要使设备投资和操作费用最低。

1.6 塔的结构

除了塔板结构之外，塔的其他附件也十分重要，塔设备的总体结构均包括：塔体、内件、支座及附件。塔体是典型的高大直立容器，多由筒节、封头组成。当塔体直径大于 800mm 时，各塔节焊接成一个整体；直径小的塔多分段制造，然后再用法兰连接起来。内件是物料进行工艺过程的地方，由塔盘或填料支承等件组成。支座常用裙式支座。附件包括人、手孔，各种接管、平台、扶梯、吊柱等。

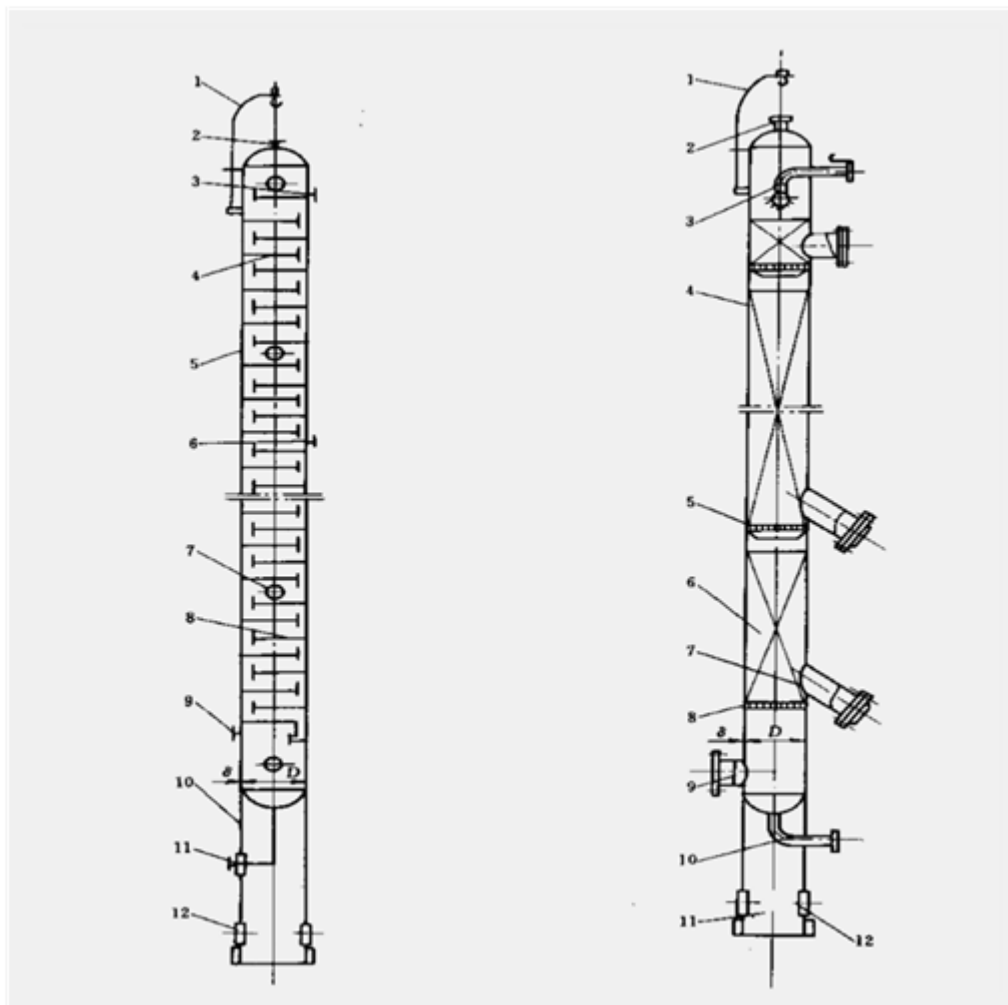


图 2-1A 板式塔说明图

1—吊柱；2—排气口；3—回流液入口；4—精馏段塔盘；5—壳体；6—进料口；7—人孔；8—提馏段塔盘；9—进气口；10—裙座；11—排液口；12—裙座人孔

图 2-1B 填料塔说明图

1—吊柱；2—排气口；3—喷淋装置；4—壳体；5—液体再分配器；6—填料；7—卸填料人孔；8—支撑装置；9—进气口；10—排液口；11—裙座；12—裙座人孔

1.7 本厂实际选择

(1) 在各个工段中，既含有二氧化碳、合成气等腐蚀性小的物系，又含有醋酸等腐蚀性较大的物系，因此在塔型选择时应分别考虑。

(2) 在部分工段会产生悬浮物。

(3) 常压、减压、加压操作均存在。

(4) 塔径一般较大，个别为小尺寸。

（5）从成本出发，优先考虑板式塔，但在一些吸收过程中，同时使用填料塔。根据本项目的反应，并设计出了反应精馏塔和萃取塔。

具体的选择结果如表 1-9 所示：

表 1-9 塔型确定

塔设备编号	塔设备名称	设备类型
T0201	酸洗塔	筛板塔
T0202	水洗塔	筛板塔
T0203	CO2 吸收塔	筛板塔
T0301	粗分塔	组合塔
T0302	VAC 粗分塔	筛板塔
T0303	VAC 水分离塔	筛板塔
T0304	VAC 提纯塔	筛板塔

第二章 板式塔设备设计计算 示例 T0302

2.1 T0302 VAC 粗分塔

VAC 粗分塔 T0302 操作压力为 0.1MPa，塔顶温度 52.7562℃，塔底温度 117.579℃，板数 22 块，一股进料，来自闪蒸罐 0301 从第 2 块板进料，T0302 的详细计算过程如下所述：

2.1.1 水力学参数获得

(1) 塔板的选型

由以上比较，综合考虑塔板的效率、分离效果和设备的成本、维修等，我们初步选择浮阀塔。

(2) 物性参数

提取 Aspen plus 各塔板上的物性参数，选取塔板上气液相负荷最大的第 4 块塔板进行手工计算和校核，然后再用 Aspen plus 进行塔的设计和校核，通过比较来检查计算的正确性。

采用 Aspen Plus 对 T0101 添加 Tray Sizing 各塔板上的物性参数如表 2-1 所示

采用 Aspen Plus 对 T0302 添加 Tray Sizing 各塔板上的物性参数如表 2-1 所示

表 2-1 各塔板上的物性参数

Stage	液体温度	气体温度	液体质量流量	气体质量流量	液体体积流量	气体体积流量	液体密度	气体密度	液体粘度	气体粘度	液体表面张力
单位	℃	℃	kg/hr	kg/hr	cum/hr	cum/hr	kg/cum	kg/cum	cP	cP	dyne/cm
1	52.7562	73.2744	22600.3	23112.2	25.3473	8009.01	891.626	2.88577	0.315624	0.009297	20.4073
2	73.2744	75.9689	8507.86	23826.8	9.74914	8334	872.678	2.85899	0.283359	0.009336	17.6327
3	75.9689	79.1251	8335.1	23654.1	9.45859	8434.82	881.22	2.80433	0.299514	0.009402	17.7912
4	79.1251	82.3466	8151.55	23470.5	9.14638	8551.84	891.233	2.7445	0.318456	0.009467	18.035
5	82.3466	85.0426	8007.7	23326.7	8.89492	8666.17	900.256	2.69169	0.335358	0.00952	18.2434
6	85.0426	86.956	7907.3	23226.3	8.71872	8756.06	906.934	2.65259	0.347565	0.009555	18.3855
7	86.956	88.1649	7845.21	23164.2	8.60946	8817.19	911.231	2.62716	0.355187	0.009577	18.4698
8	88.1649	88.8744	7809.31	23128.3	8.54626	8854.76	913.769	2.6119	0.3595	0.0095	18.5164

								6	73	9	
9	88.8744	89.2732	7789.33	23108.3	8.51107	8876.45	915.199	2.6033 3	0.3619 97	0.0095 97	18.5415
10	89.2732	89.4705	7780.33	23099.3	8.49394	8888.81	915.985	2.5986 9	0.3633 14	0.0096	18.5548
11	89.6035	101.335	33963.8	28431.1	37.0684	12035	916.248	2.3623 8	0.3636 74	0.0097 14	18.5496
12	101.335	110.515	34123.3	28590.6	36.5993	13671.9	932.349	2.0911 9	0.3853 44	0.0097 68	18.4574
13	110.515	115.021	34316.1	28783.4	36.4611	14852.5	941.169	1.9379 6	0.3910 78	0.0097 6	18.2739
14	115.021	116.713	34429	28896.3	36.4579	15391.6	944.35	1.8774 1	0.3908 11	0.0097 47	18.1323
15	116.713	117.289	34484.9	28952.2	36.4762	15590.7	945.41	1.8570 2	0.3903 32	0.0097 4	18.0622
16	117.289	117.48	34514.4	28981.7	36.4934	15660.1	945.77	1.8506 7	0.3901 51	0.0097 37	18.0295
17	117.48	117.543	34531.2	28998.5	36.5062	15684.7	945.899	1.8488 4	0.3901 04	0.0097 36	18.0132
18	117.543	117.565	34541.4	29008.7	36.5151	15694.1	945.949	1.8483 9	0.3900 99	0.0097 35	18.0041

19	117.565	117.574	34547.8	29015.1	36.521	15698	945.971	1.8483	0.3901	0.0097	17.9988
								3	03	34	
20	117.574	117.577	34551.9	29019.2	36.5249	15699.8	945.981	1.8483	0.3901	0.0097	17.9955
								8	09	34	
21	117.577	117.578	34554.5	29021.8	36.5274	15700.8	945.987	1.8484	0.3901	0.0097	17.9935
								3	14	34	
22	117.578	117.579	34556.2	29023.5	36.5291	15701.4	945.99	1.8484	0.3901	0.0097	17.9921
								7	17	34	
23	117.579	117.579	5532.69	0	5.84855	0	945.992		0.3901		17.9913
									19		

得到水力学参数表后，从中选择流量最大的塔板，作为设计的计算依据。

表 2-2 第 5 块塔板物性参数

塔板	液相温度 ℃	气相温度 ℃	液相质量流量 kg/h	气相质量流量 kg/h	液相体积流量 m³/h	气相体积流量 m³/h
4	79.1251	82.3466	8151.55	23470.5	9.14638	8551.84
液相分子量	气相分子量	液相密度 kg/m³	气相密度 kg/m³	液相粘度 cP	气相粘度 cP	液相表面张力 dyne/cm
78.4129	81.1196	891.233	2.7445	0.318456	0.00946719	18.035

2.1.2 工艺尺寸概算

(1) 塔径计算

塔板间距 HT 的选取与塔高、塔径、物性性质、分离效率、操作弹性以及塔的安装、检修等因素有关。设计时通常根据塔径的大小，由表 2.9 列出的塔板间距的经验数值选取：

表 2-3 塔板间距和塔径的关系

塔径	D, m	0.3~0.5	0.5~0.8	0.8~1.6	1.6~2.0	2.0~2.4	>2.4
板间距	H _T ,mm	200~300	300~350	350~450	450~600	500~800	≥800

初选塔板间距：H_T=800mm；

板上液层高度：h_T=90mm；

H_T-h_T=800-90=710mm；

汽液两相流动参数： $\frac{L_s}{V_s} \left(\frac{\rho}{\rho'} \right)^{0.5} = \frac{0.01335 \left(\frac{1019.58}{1.13681} \right)^{0.5}}{14.5393} = 0.01927$

查史密斯关联图：

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/197123041034010053>