

化工原理课程设计参考资料

列 管 换 热 器

刘盛宾 编

化 学 工 业 出 版 社

· 北 京 ·

前 言

化工原理课程设计参考资料（简称课程设计资料）是根据化工原理课程设计教学大纲编写。课程设计资料共 4 分册，包括列管换热器、板式精馏塔、填料吸收塔和蒸发器。全套书编写过程中力求深入浅出，简明扼要，具有启发性和指导性，实用性较强。各学校可根据课程设计任务选用相应的分册。

全套书由刘盛宾统稿，汤金石审稿。

本书为列管换热器分册，主要介绍了工艺设计步骤、方法和原则及如何选型设计等。

本册书由刘盛宾编写。初稿完成后，于 1999 年 4 月和 8 月分别在徐州与济南召开了两次审稿会，参加审稿的有：杨斗文、李劲松、周立雪、秦建华、王小宝、张弓、陆小荣、汤晓云、杜华、傅爱华、易卫国、王根来、张柏钦、卢莲英、张宏丽、王伟武、张传梅、潘学行、冷士良等。对各位老师提出的宝贵意见，在此致以衷心的感谢。

限于编者水平，不足之处难免，恳请读者批评指正。

编者

1999 年 9 月

内 容 提 要

本书介绍了列管换热器工艺设计的步骤、方法、原则及如何选型设计等。书中还配有化工原理课程设计的基础知识，包括课程设计的要求，步骤，结果评述等。书后附录供设计时参考。

本书可作为中职、高职（5年制）的化工、轻工、石油及相关专业的化工原理课程设计教材，也可供设计人员参考。

目 录

第一章 基础知识	1
第一节 概述	1
一、课程设计的目的和要求	2
二、课程设计中应注意的问题	2
三、课程设计的步骤	3
第二节 课程设计的内容和成果	3
一、课程设计说明书	4
二、设计结果评述	8
三、流程图和设备图	8
第三节 设备零部件的选用原则	12
一、内压圆筒体的公称直径与器壁厚度	13
二、外压圆筒体器壁厚度	14
三、标准椭圆形封头	16
四、标准法兰的选用	17
五、人孔与手孔	22
六、容器接管	25
七、视镜或液面计	26
八、支座	27
第四节 设备顶部和底部空间	32
一、塔顶空间	32
二、塔底空间	32
三、蒸发室高度	34
四、除沫装置	34
第五节 科技资料的查阅	35
一、查阅科技资料的步骤	35
二、查找科技资料的技巧	36
第六节 计算机在课程设计中的应用	37

第二章 列管换热器	39
第一节 概述	39
第二节 列管换热器结构和工艺条件的确定	42
一、换热器结构的确定	42
二、工艺条件的选择	44
三、加热剂与冷却剂的选用	47
第三节 列管换热器的选用	49
一、标准列管换热器的选用步骤	49
二、混合物物性的确定	50
三、热负荷与载热体用量的计算	54
四、有效平均温度差的计算	55
五、总传热系数的选取	56
六、传热面积的初算	58
七、列管换热器的标准系列	59
八、列管换热器的校核	64
九、壁温的计算	70
十、压力降的计算	71
第四节 列管换热器的工艺设计	74
一、非标准换热器的工艺设计程序	74
二、换热管	74
三、管板	76
四、换热管在管板上的排列	78
五、壳体直径与壁厚	79
六、折流板与支承板	80
七、防短路结构	82
八、防冲板与导流筒	83
九、接管直径	84
十、温差应力的补偿	84
十一、列管换热器的设计框图	86
第五节 列管换热器设计的合理性	86
一、传统设计中的几个问题	86
二、设计中注意的几个方面	86
三、方案的比较	88

附录	89
一、部分标准代号	89
二、流程图中设备图示	89
三、流程图中常用图例	93
参考书目	94

第一章 基础知识

第一节 概述

《化工原理》课程设计是一个具有总结性的实践教学环节，是学生在学完理论课后的继续学习过程。通过课程设计，使学生受到一次化工设计的初步训练，为毕业设计和今后从事技术工作打下一定的基础。

化工设计是一门技术与经济密切相结合的应用科学，只有通过实践，才能逐步学到和掌握设计的真正本领。正确的设计思想和相应的设计技术与经验，不仅对新的工厂设计有用，而且对已生产的工厂如何正确地操作设备、发现及解决生产中的问题、提出改进设备结构的各种措施，都是十分必需的。

一个工厂的总体设计是由各个车间设计所构成。一个完整的车间又包括生产各工段及辅助工序（车间）。总体设计或车间设计都是由化工工艺设计和其他非工艺设计（设备的机械设计、土建、采暖、通风、自控、电气、动力、供排水、安全防火、环境保护与经济概（预）算等）所组成。而化工工艺设计人员主要担负工艺设计部分，其他工种设计人员担负非工艺设计部分。车间工艺设计常包括下列项目。

- ① 方案设计。主要任务是选择生产方法和确定工艺流程。
- ② 化工计算。主要任务是进行物料衡算、能量衡算及有关的计算。
- ③ 设备的选型或设计计算。主要任务是选择或设计设备的有关结构尺寸及数量。
- ④ 车间布置设计。
- ⑤ 化工管路布置设计。
- ⑥ 其他非工艺设计的考虑（主要任务是向非工艺设计人员提供

正确和完整的设计条件)。

⑦ 设计说明书的编写。

⑧ 概(预)算的编写。

化工设计又可分为初步设计和施工图设计。上述前三项工作主要在初步设计阶段完成;第④、⑥项要按初步设计和施工图设计两段进行;第⑤项是施工图阶段的主要工作;第⑦、⑧项工作应贯穿在整个设计过程中。

工艺设计人员接受设计任务后,必须充分研究和领会设计任务的要求和实质,作好一切必要的设计准备工作后,即可开展工艺设计工作。当车间工艺设计告一段落,其他非工艺设计项目就可以着手进行,而非工艺设计的依据就是工艺设计提供的有关设计条件。显然,工艺设计是工厂设计的主体,在整个设计过程中起组织与协调作用,但工艺设计又必须有各种专业的配合和协作,才能完成整个设计任务。

可见,化工原理课程设计属于工艺设计范畴的初步设计阶段,其内容局限在车间内某工段的主体设备上,设计项目主要为前述①、②、③项。通过该设备的工艺设计,完成一次化工设计的初步训练。

一、课程设计的目的和要求

(1) 巩固和掌握本课程的主要内容。

(2) 培养综合运用所学知识去解决生产实际问题的能力。

(3) 掌握化工设备的工艺设计程序、方法和有关的设计原则。包括查阅技术资料、正确选取工艺数据、搜集有关公式和使用图表手册的能力,以及正确进行工程计算和使用计算机辅助设计的能力。

(4) 树立正确的设计思想,用工程观念来考虑设计内容。使理论正确、技术可行、操作安全、经济合理。

(5) 具有用简洁的文字和正确的图表来表达自己设计思想与设计成果的能力。

(6) 熟悉有关的国家标准和部颁标准及技术规范。

二、课程设计中应注意的问题

(1) 在规定的时间内,按照设计任务书的要求,独立完成课程设

计任务。

(2) 自行搜集数据和公式,不能局限在教科书的范围内。对不同参考资料上的数据要进行分析、比较、判断,选择更合理的使用。不成熟的技术不能用到设计中去。

(3) 工程计算中,常涉及到适宜范围内的选择,这是适应不同生产、不同品种的需要而提出的。必须运用已获得的知识,全面分析其影响因素,必要时进行多次计算、多种方案的比较,从可靠性和合理性全面考虑方能确定。

(4) 在设备结构尺寸上,要从加工制造方便、操作安全可靠的角度考虑,适当地把有些尺寸调整为整数。

(5) 主体设备结构图是设计结果的图形化,应按机械制图的规定绘制。

(6) 在完成规定的基本设计任务后,可进行如多方案比较;增加辅助设备和零部件的设计计算内容;查阅参考资料,充实设计方案和对结果的评述;增加微机的应用等。

三、课程设计的步骤

(1) 下达课程设计任务书。

(2) 根据任务书的要求,拟定设计步骤、设计方案、设计进度。

(3) 查阅文献参考资料,收集有关数据和公式,必要时且有条件的应到生产现场调查、收集有关的流程、辅助设备、仪表配置、操作条件、工艺指标、设备事故及技术改造等资料。

(4) 设计方案(设备选型和流程布置)的确定及论述、设备的工艺计算、绘图、对设计结果的评述和编写设计说明书。

上述(2)~(4)项,在课程设计中既相互联系,又相互制约,在逐步深入的基础上不断地补充和完善。

第二节 课程设计的内容和成果

设备的工艺设计分定型(标准)设备的选用和非定型(非标准)设备的工艺计算两大类。

(1) 定型设备的选用 根据生产任务计算出设备的主要参数,结

合操作条件选择设备的型号与规格，查出有关的结构尺寸，再进行校核。其规格可参照标准图集或有关手册和生产厂家的产品目录、说明书等。

(2) 非定型设备的工艺设计 根据生产任务计算出设备的工艺尺寸，包括外形尺寸（直径和长或高等）及主要结构尺寸。设备的零部件（如封头、接管、法兰、人手孔……等）一般直接选用标准件。设备的工艺设计计算要有足够的资料。在完成基本的设计任务后，需多方案比较时，使用计算机及相应的软件是可行的。

化工设备是化工生产重要的物质基础，对工厂的生产能力、操作的稳定性、可靠性，以及产品质量都至关重要。因此，对设备的选型或设计计算要充分考虑工艺上的要求，要运行可靠，操作安全，便于连续化和自动化生产，便于制造和操作等。

课程设计的最后成果由设计说明书（包括论述）和图纸组成。论述包含设计方案（设备选型和流程布置）的确定和设计结果的评述。

一、课程设计说明书

说明书的内容视设计任务书的要求和设计时间的长短有所差异，但一般应包括：封面、设计任务书、目录、概述或前言、流程简图、主体设备的工艺计算、设备零部件和附属设备（辅助设备）的选用、设计结果汇总表、设计结果评述和设计小结、参考资料等。

对说明书的要求：叙述简练、语言流畅、字迹工整、图表清晰、条理清楚。各种计算方法有举例说明，公式中符号（特别是与教材不同的符号）的意义和计量单位应注释清楚，充分利用示意图、表格表达各项设计内容。

1. 封面

封面的格式可多样，但至少应有：学校名称、化工原理课程设计说明书、设计题目、专业班级、设计者姓名、指导教师和设计完成日期等。

2. 设计任务书

设计任务书是设计者的设计依据，是设计工作的指令性文件。它给设计者提出了设计的规模、原则、条件和要求，按照设计程序，没

有设计任务书，设计人员是不能进行设计的。所以，在说明书中应有原始的设计任务书，不能在任务书上乱写乱画，更不能遗失。

设计任务书一般包括：设计题目和设计条件（物系、流量或生产能力、组成、操作的温度及压力等），设计计算的项目或内容，对设计结果的要求等。

3. 目录

目录的标题和页码与说明书中的标题和页码要严格一致。标题是内容的高度概括和体现，应紧扣内容、言简义明。

4. 概述或前言

这部分内容无统一的要求，设计者可以充分表达自己的设计意图及考虑的主要问题。一般应包括设备结构的选型、设计方案确定的原则和流程图等。设计方案的确定和流程图可以放在前言中，也可以单独列项分别论述。课程设计的流程图，因不复杂，常附在说明书的前言中，以便叙述其特点。

(1) 设计方案的确定 课程设计首先要确定的就是设计方案，它是完成设计任务的先决条件。设计方案的确定，实质上就是工艺条件、设备选型和流程配置的确定。工艺条件包括的内容较多，如操作的压力与温度，物料在设备内的流向，适宜的流速，进料状态，加热剂或冷却剂的选用，吸收剂和填料的选择，热能的综合利用等等。还可以考虑测量仪表的配置，环境污染和安全生产等问题。

由于设计任务不同，所设计的典型设备也不同，在选择工艺条件上差异较大。设计任务书中已规定的操作条件不必再选择，其他项目视具体的设备加以选择和论述。确定设计方案的原则是：

① 满足设计任务书规定的要求。任务书中所规定的工艺条件是课程设计的基本依据。即要能完成规定的生产任务，又要能保证质量稳定，同时具有一定的操作弹性。为此，所选的设备结构型式要可靠。在流程设计中，应考虑配置仪表和阀门，以保证生产出现波动时，易于调节和控制；且考虑当发生一般的故障时，在不停车的情况下检修方便。

② 经济上要合理。要求设备的折旧费与操作费用之和最低，而

两者之间通常操作费用又是主要的。

降低操作费用的关键是节能。确定适宜的操作工艺指标，采取适当措施降低生产成本。应使设备的阻力小；充分利用热能，考虑热能的综合利用；节约用水等。

③ 保证安全生产。对易燃易爆物料，有毒物料，易挥发物料，要有安全措施，系统要严密，不允许跑、冒、滴、漏。在所选的设备结构和用材上，要安全可靠，在设备的强度上应有一定的安全系数。

在确定设计方案时，应考虑周到。有时不可能一次就决定得很合理，需要在设计过程中反复修改。

上述三项原则在生产中都很重要。但在课程设计中，第①项应重点考虑，第②、③项只作定性考虑，根据个人的情况，可在某些方面深入探讨或重点论述。

(2) 设备的结构型式 在绘流程图之前，根据处理量的大小、操作条件、物系性质、是否含悬浮物、腐蚀性、热敏性、雾沫和结垢等情况，在比较各类设备的结构特点后，考虑能否收集到成熟的、足够的设计资料，选定设备的结构类型和物系在设备内的流向（逆流或并流等）。有时还需经过计算才能确定其他因素，如确定设备的台数。按生产惯例，在设计时首先采用单台、连续生产方式比较经济合理。

(3) 设备材料的选择和保温 选择设备的材料，必须根据设备的操作条件和物系的性质，考虑设备的结构型式，要便于加工制造，经济合理。凡是能用普通易取的材料，就少用或不用贵重稀缺的材料；对一般低压和常压容器，通常采用 Q235、Q235-F、Q235-R 钢，对大直径的中压容器和高压容器，可以采用普通低合金钢。

当设备内部流体的温度高于或低于环境温度，为减少热损失，一般要考虑保温或保冷。

在课程设计中，只需说明选择设备材料的依据和需要保温的原因即可。至于所用设备材料及强度计算、保温层厚度等有关问题一般不作要求，学生可以根据自己的情况去发展其设计的深度。

5. 设备的工艺计算

设备的工艺计算是课程设计的重点部分，其任务是要计算出设备

外形的主要尺寸和设备内部的结构尺寸。

在确定了工艺流程后，为进行工艺计算，首先从手册中查出物系的性质，作必要的物料衡算与热量衡算。然后在计算过程中认真分析、对比和筛选，不要局限在教材的范围内，应广泛查阅和收集有关的资料，使设计尽可能体现出技术上的可靠性和经济上的合理性。

6. 设备零部件和辅助设备计算或选型

化工设计是一项十分复杂而细致的工作，需要依靠各专业的通力协作、密切配合才能完成。在设计中，定型设备可根据工艺条件按国家标准或产品目录直接选用。而非定型设备的设计也必须选择零部件及结构。根据具体情况，也可以选择厚度、封头等内容进行计算。

(1) 辅助设备（又称附属设备）是除典型设备外流程中必须的辅助装置。如换热器、分离设备、干燥器、泵、风机，原料和产品的高位槽、贮槽、贮罐等等。

(2) 泵的选用 可由柏努利方程式计算出外加压头，再用外加压头和已知的流量，按输送机械的要求选用。流程图中管路系统阻力损失的计算较复杂，可取计算长度（ $l + \sum l_e$ ）为直管长度的（1.3～2.0）倍。而直管长度按设备高度和泵的位置估算，估算时应留有一定的余地。

(3) 贮存设备的选用 在化工生产中，贮存设备是常用设备之一。主要用于存放原料液、中间产品、副产品、成品及废液或废气等。贮存设备有坛、罐、桶、池、槽；形状有方形、圆筒形、球形；有敞口的、密闭的；有常压的、高压的。一般球形的承压能力好，宜作有较高压力的大中型贮罐；圆筒形的制造容易，承压能力较好，宜作有一定压力的中小型贮罐；方形容器由平钢板焊成，制造简便，但承压能力差，只作小型常压贮槽。

上述设备的零部件和辅助设备的计算或选用，视具体情况灵活掌握，可多可少，可深可浅。

7. 设计结果汇总表

主要汇总典型设备的操作条件、工艺结构尺寸和有关的重要参数，它是绘制设备结构图的依据，同时便于查找数据或方案比较。

8. 参考资料

参考资料是设计者所选公式、数据、图表和论点的来源和证据，反映设计结果的可信程度，设计者必须给予足够的重视。

按设计说明书中出现的先后次序，将参考资料编号和排列，分别列出：作者姓名、书名、出版者、出版年月，必要时可列出页码。

如：化学工程手册编辑委员会：化学工程手册·第一篇·化工基础数据，北京：化学工业出版社，1980，219

二、设计结果评述

设计结果的评述是与设计说明书中的设计方案的内容相呼应。课程设计结果全部确定后可进行评述，评述是对设计结果的总结和补充，还可为最后的答辩提供依据。

评述要抓住重点，突出特点，根据设计任务书的要求，如实地评价自己的设计结果。在对设计结果分析时，着重论述设计中重点考虑的问题，调整了哪些关键参数，设备结构尺寸是否合理，设备的生产能力与要求完成的生产任务是否相适应，定性判断操作费用（阻力大小、维修难易等）和设备费用（设备大小、用材、制造难易等）的合理性，能量的合理利用及可能性，对存在的问题提出改进的方向或途径。

三、流程图和设备图

（一）流程图

课程设计之初，在确定了设备的结构型式后，可以考虑流程图的设计。课程设计的流程图，主要表示单元操作中物料的流向，按工艺步骤定性的把主体设备（设计的典型设备）和辅助设备简单明了地表达出来，并显示出各设备间的关联顺序，指明物料或能量的传递情况。在图中还可标出关键的调节阀、控制点和特殊检测仪表的位置以及操作条件的特殊说明。

流程图关系到典型设备的物料衡算和能量衡算，影响到产品的质量、生产能力、操作条件、安全生产、三废治理和经济效益等一系列重要问题。工艺流程在课程设计时是最先进行，在设计过程中还需要不断地修改和完善，而其全部完成往往又是在最后，最终使所设计的

流程在技术上可靠或较先进，在经济上较合理。

1. 流程图的内容和要求

流程图一般由设备图形、物料流程和图例等组成，复杂的流程图还应有设备一览表。

(1) 流程图的设备组成 除设计的典型设备（主体设备）外，还需要的附属设备如槽、罐等，以及数量。以精馏为例，在流程设计中首先要考虑以下几点：

- ① 采用间歇或连续操作。
- ② 主体设备采用的结构型式。
- ③ 物料是否预热，采用何种结构的预热器及热源。
- ④ 进料是高位槽方式，还是泵直接送入塔内。
- ⑤ 塔釜的结构型式，加热方式（直接或间接），加热剂（蒸汽或电加热）等。

⑥ 冷凝器的结构型式，冷凝方式和冷却剂。

⑦ 残液排出方式及贮存。

⑧ 塔顶蒸汽的冷凝及回流方式。

⑨ 塔顶产品如何冷却及贮存。

⑩ 是否存在三废问题和安全问题等。

上述各点，在设计任务书中已有明确规定的，不必再考虑。

(2) 物系的输送 要充分利用物系具有的能量（如压强、位差等）使之流动，在满足操作条件的情况下，尽量少用输送机械，可降低能耗。若设备之间需要配置泵或风机时，应在流程图中示出。

(3) 设备的相对位置 在流程图中，应考虑并定性的确定出设备之间的相对位置，而不必表示真实的距离。

(4) 应采用通用的设备图形和管线、阀门、仪表等的图例来表示流程图。

2. 流程图的绘制

一般先绘草图，待正式确定后才绘入说明书中。详细的表示方法可参考有关的化工制图。课程设计的流程图可按下述原则进行。

① 绘设备外形图。以设计的典型设备（主体设备）为中心，按

主体设备与辅助设备的相对高低位置,用设备符号(参见附录)画出各设备的简化图形。即按设备的大致形状和特征,用细实线绘外形简图。设备之间应保留适当的距离,以便布置管线。

② 绘物料管线。应绘出全部物料管线和主要动力管线(如冷却水、加热蒸汽、压缩空气等)。用粗实线表示主物料管线,用箭头表示物料的流向,从左至右展示出流经的设备。用细实线表示辅助物料管线和动力管线。

为使图面简洁、清晰、醒目,可采用图例和代号表示图中的管线、阀门、仪表及测试点等,参见附录所示。

③ 标注有关量。如设备的名称或编号(位号),物料的名称等。

在主物料流程线的起始和终止处,分别注明物料的名称、来源或去向。

设备较多、流程较复杂时,应将所有设备编号,以表格形式汇总图中的设备情况,包括设备的位号、名称、型号或规格、台数及备注等。此表一般布置在图纸的右下方,有标题栏的,将表放在标题栏的上方。必要时还可标注工艺参数(温度、压力、流量等)。

3. 简述流程特点

前已述及,由于课程设计的流程不复杂,可附在说明书的概述或前言中,以便叙述其特点。在叙述特点时,应多查阅参考资料,视具体情况可进行多种流程方案的比较;也可以设想与前后工段的关系,以及可能存在的污染、安全等问题;还可以提出自动控制方案等。

(二) 设备结构图

绘设备图有三种情况:工艺尺寸图(又称工艺条件图)、设备结构简图、设备装配图。装配图是设备设计人员根据工艺尺寸图进行机械设计后绘制的,是设备制造的依据,它包括总装配图、组装配图和零件图等。

课程设计一般只绘工艺尺寸图或设备结构简图,具体要求随设计内容和设计时间而定。

1. 设备结构简图

设备结构简图又称设备结构图。此图需按比例绘出设备的形状、

结构和工艺尺寸，具体要求如下。

① 图样应能清楚地表达出设备的主要部件与零部件的结构、尺寸、位置和各部分的相互关系。

所需尺寸包括设备的外形尺寸、主要结构尺寸和零部件的相互位置及定位尺寸。外形尺寸包括设备的直径与壁厚、总高或长度。主要结构尺寸如：换热管直径、长度及数量；塔板数及板间距；填料层高度或分层高度及分层数；塔顶和塔底空间高度；加热室与蒸发室的高度等。零部件如：封头直径与高度；进出口接管直径、长度与连接方式；人孔或手孔直径及位置；液面计接口位置及尺寸等。

② 选用（或设计）的零部件，应尽量采用标准件和通用件。

③ 绘图的比例、剖视和尺寸标注必须按机械制图的有关规定进行。

④ 图纸上的名词术语、代号、符号和简化画法等均应符合有关标准或规定。

⑤ 课程设计的图纸幅面，一般采用A2(420×594)或A1(594×841)图纸绘制。图面布置示例参见图1-1

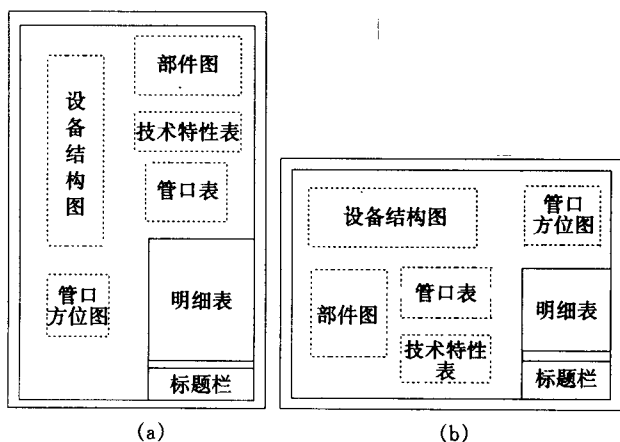


图 1-1 图面布置示例

⑥ 设备的结构图常作为主视图，应重点绘制。另外还需绘制一个管口方位图和一个主要部件图。