

国家级精品课程配套教材
普通高等教育“十三五”规划教材

常用化工单元设备 的设计(第二版)

EQUIPMENT DESIGN OF THE TYPICAL CHEMICAL
ENGINEERING UNIT OPERATION (SECOND EDITION)

陈英南, 刘玉兰 主编

国家级精品课程配套教材
普通高等教育“十三五”规划教材

常用化工单元设备 的设计(第二版)

EQUIPMENT DESIGN OF THE TYPICAL CHEMICAL
ENGINEERING UNIT OPERATION (SECOND EDITION)

陈英南, 刘玉兰 主编

 华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

· 上海 ·

图书在版编目(CIP)数据

常用化工单元设备的设计/陈英南,刘玉兰主编. —2版.
—上海:华东理工大学出版社,2017.6

ISBN 978-7-5628-5091-5

I. ①常… II. ①陈… ②刘… III. ①化工单元操作-
化工设备-设计-高等学校-教材 IV. ①TQ05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 120916 号

项目统筹 / 周 颖

责任编辑 / 周 颖

出版发行 / 华东理工大学出版社有限公司

地址:上海市梅陇路 130 号,200237

电话:021-64250306

网址:www.ecustpress.cn

邮箱:zongbianban@ecustpress.cn

印 刷 / 江苏省句容市排印厂

开 本 / 787mm×1092mm 1/16

印 张 / 19

字 数 / 408 千字

版 次 / 2005 年 4 月第 1 版
2017 年 6 月第 2 版

印 次 / 2017 年 6 月第 1 次

定 价 / 39.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

本书是按照化工原理课程教学的基本要求，并根据华东理工大学“化工原理课程设计”多年来的教学成果编写而成的。

对于化工单元操作的设计，一方面要求综合应用物理、化学、化工原理和机械制图等课程的理论知识以决定工艺流程，确定设备结构并计算设备尺寸；另一方面又要根据设计对象的具体特征，凭借设计者的经验（或借鉴前人的经验），了解设计的诀窍，对过程和设备参数作合理的选择和优化。后者往往成为设计能否成功的关键所在，也是设计区别于习题（或大型作业）的重要方面。因此，一本好的、有典型实例的设计教材，无疑将有助于学生掌握设计的基本方法和锻炼学生的设计能力。

化工单元操作种类很多，设备型式更是千姿百态。本书不求包罗万象，但力求反映较宽领域内典型设备的设计方法，并辅以计算实例，以期使读者能具体地了解其中的细节。本次修订中，将换热器的设计示例和板式精馏塔的设计示例换为更接近于实际课程设计的案例，以期更贴近工艺设计的实际应用；增加了填料吸收塔的设计案例并对第3章内容做了相应修改。此外，还增加了第9章，针对化工原理课程设计中常遇到的迭代计算费时费力，介绍了Excel的单变量求解功能；随着化工模拟软件 Aspen Plus 的普及，越来越多的设计者采用该软件进行模拟及辅助设计，本书介绍了 Aspen Plus 在换热器和板式精馏塔的辅助设计应用。因此，本书对在职工程技术人员也是一本有益的参考书。

本书由华东理工大学化工原理教研组陈英南、刘玉兰主编，参加编写的人员还有齐鸣斋、叶金大、李倩英、吴乃登、陈晓祥、刘辉、秦蓁、陈宁平。在编写过程中得到化工原理教研室全体教师和兄弟单位有关人员的帮助，在此我们深表感谢！

限于编者水平和经验，书中不当之处仍在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2017年3月

目 录

第 1 章 课程设计基础	1
1.1 概述	1
1.1.1 化工设计的重要性及其内容	1
1.1.2 化工工艺设计	1
1.1.3 化工原理课程设计的基本要求及内容	2
1.2 工艺流程图	3
1.2.1 工艺流程图中设备、阀门、管件的表示方法	3
1.2.2 仪表参量代号及仪表图形符号	7
1.2.3 物料代号	8
1.2.4 物料流程图	8
1.2.5 带控制点的工艺流程图	9
1.2.6 管道仪表流程图	12
1.2.7 工艺流程设计的参考资料	12
1.3 化工单元设备设计和选型	14
1.3.1 化工单元设备设计方法与步骤	14
1.3.2 化工单元设备设计常用标准和规范	15
1.4 物性数据的查取和估算	18
1.4.1 平均摩尔质量	18
1.4.2 密度	18
1.4.3 黏度	19
1.4.4 比热容	19
1.4.5 导热系数	19
1.4.6 汽化潜热	20
1.4.7 表面张力	20
1.4.8 蒸气压	21
1.4.9 物性数据的查取及 Internet 上的化工资源	22
■ 本章参考文献	24

第 2 章 列管式换热器的选型	25
2.1 概述	25
2.1.1 换热器的分类、主要特点及适用场合	25
2.1.2 列管式换热器标准简介	27
2.1.3 列管式换热器选型的工艺计算步骤	27
2.2 换热设备应满足的基本要求	28
2.2.1 合理地实现所规定的工艺条件	28
2.2.2 安全可靠	29
2.2.3 安装、操作及维修方便	29
2.2.4 经济合理	29
2.3 列管式换热器结构及基本参数	30
2.3.1 管束及壳程分程	30
2.3.2 传热管	31
2.3.3 管的排列及管心距	31
2.3.4 折流板和支撑板	33
2.3.5 旁路挡板和防冲挡板	34
2.3.6 其他主要附件	34
2.3.7 列管式换热器结构基本参数	35
2.4 设计计算中参数的选择	37
2.4.1 冷却剂和加热剂的选择	37
2.4.2 冷、热流体通道的选择	37
2.4.3 流速的选择	37
2.4.4 流向的选择	38
2.5 再沸器的工艺设计	38
2.5.1 再沸器的型式	38
2.5.2 再沸器型式的选用	40
2.5.3 再沸器的工艺设计	40
2.6 设计示例	50
■ 本章参考文献	55
第 3 章 填料吸收塔的设计	56
3.1 概述	56
3.2 气液平衡关系	56
3.2.1 吸收剂的选择	56
3.2.2 温度和压力	57
3.2.3 气液平衡关系	57

3.3 液气比和吸收流程	57
3.3.1 液气比的选择	57
3.3.2 吸收操作流程	58
3.4 填料	60
3.4.1 填料的性能	60
3.4.2 填料类型	60
3.4.3 散装填料规格的选择	62
3.5 填料塔塔径和压降的计算	62
3.5.1 液泛速度和压降的计算	63
3.5.2 塔径的确定	64
3.5.3 整砌填料层压降的计算	65
3.6 填料层高度计算	66
3.6.1 填料层高度的计算方法	66
3.6.2 传质单元数的计算	67
3.6.3 传质单元高度或传质系数	68
3.7 填料塔附属结构	71
3.7.1 液体分布装置	71
3.7.2 液体再分布器	74
3.7.3 填料支承结构及压紧装置	75
3.7.4 管口	77
3.7.5 仪表接口	80
3.7.6 塔的辅助装置	80
3.8 设计示例	81
■ 本章参考文献	87
第4章 板式塔的设计	88
4.1 精馏方案选定	88
4.1.1 操作压力	88
4.1.2 进料状态	89
4.1.3 多股进料	89
4.1.4 加热方式	89
4.2 相平衡关系	90
4.2.1 $y-x$ 图	90
4.2.2 相对挥发度	90

4.3	工艺计算	90
4.3.1	物料衡算	90
4.3.2	塔内压力	91
4.3.3	回流比的选定	92
4.3.4	理论塔板数的确定	92
4.3.5	实际塔板数的确定	92
4.3.6	热量衡算	94
4.4	塔和塔板主要尺寸的设计	95
4.4.1	塔和塔板设计的主要依据	95
4.4.2	塔板的主要尺寸	96
4.4.3	塔板设计的特点和方法	96
4.4.4	塔板型式及构造	96
4.4.5	塔板主要尺寸的选取	106
4.4.6	流体力学计算和校核	111
4.4.7	负荷性能图	116
4.5	塔体总高及辅助装置	118
4.5.1	塔体总高度	118
4.5.2	接管尺寸	118
4.5.3	回流冷凝器	119
4.5.4	再沸器	120
4.5.5	塔板结构设计的其他考虑	120
4.6	设计示例	120
■	本章参考文献	132
第5章	转盘萃取塔的设计	133
5.1	概述	133
5.1.1	结构概况	134
5.1.2	转盘塔内的流型	135
5.1.3	主要结构参数	136
5.2	流体力学和塔径的计算	137
5.2.1	特性速度	137
5.2.2	临界转速	138
5.2.3	两相极限速度	139
5.2.4	转速与功率消耗	139
5.2.5	塔径的确定	140

5.3	传质和塔高的计算	141
5.3.1	相际传质面积和液滴平均直径	141
5.3.2	传质系数	142
5.3.3	用活塞流模型计算塔高	145
5.3.4	用扩散模型计算塔高	148
5.3.5	澄清段高度的计算	152
5.4	转盘塔的设计计算	152
5.4.1	实验在转盘塔设计中的作用	153
5.4.2	转盘塔的设计步骤	153
5.5	转盘塔的结构设计	154
5.5.1	塔体	154
5.5.2	内件	154
5.5.3	附件	159
5.5.4	传动装置	160
5.6	转盘塔设计计算举例	160
5.6.1	塔径的计算	161
5.6.2	表观传质单元数的计算	162
5.6.3	操作条件下分散相滞留率的计算	162
5.6.4	液滴平均直径和传质比表面的计算	163
5.6.5	传质系数和真实传质单元高度的计算	163
5.6.6	轴向扩散系数的计算	164
5.6.7	萃取段高度的计算	164
5.6.8	澄清段高度的估算	166
■	本章参考文献	166
第 6 章	喷雾干燥塔的设计	167
6.1	概述	167
6.1.1	喷雾干燥的原理	167
6.1.2	喷雾干燥的特点	168
6.2	喷雾干燥方案的选定	168
6.2.1	干燥装置流程	168
6.2.2	干燥器内热空气和雾滴的流动方向	172
6.2.3	操作条件	175
6.2.4	雾化器型式	175
6.3	工艺计算	180
6.3.1	物料衡算	180
6.3.2	热量衡算	181

6.4	喷雾干燥塔主要尺寸的设计	182
6.4.1	雾化器的主要尺寸计算	182
6.4.2	雾滴干燥时间	185
6.4.3	塔径的计算	187
6.4.4	塔高的计算	189
6.4.5	用干燥强度法估算干燥器容积	192
6.4.6	用体积给热系数法估算干燥器容积	193
6.5	附属设备的设计和选型	193
6.5.1	空气加热器	193
6.5.2	风机	194
6.5.3	气固分离器	194
6.5.4	湿法除尘	197
6.5.5	热风进口分布装置	197
6.5.6	排料装置	198
6.6	喷雾干燥塔的设计计算示例	200
6.6.1	压力喷嘴尺寸的确定	201
6.6.2	干燥空气用量的计算	202
6.6.3	计算干燥所需时间	204
6.6.4	塔径的计算	205
6.6.5	塔高的计算	206
■	本章参考文献	207
第7章	流化床干燥器的设计	208
7.1	概述	208
7.1.1	流态化干燥的特征	208
7.1.2	流化床干燥器的类型	208
7.2	多层流化床干燥过程的数学描述	215
7.2.1	计算模型	215
7.2.2	颗粒群的平均直径与带出速度	215
7.2.3	物料衡算和热量衡算	216
7.2.4	物料床的压降	218
7.2.5	热容量系数与流化床的层数	218
7.3	流化床干燥器的设计计算	222
7.3.1	干燥器的工艺设计	222
7.3.2	干燥器的结构设计	223
7.3.3	辅助设备的计算与选型	226

7.4 多层流化床干燥器的设计示例	228
7.4.1 设计任务	228
7.4.2 干燥器主体设计	228
7.4.3 多孔板结构	236
7.4.4 辅助设备	237
■ 本章参考文献	238
第8章 循环型蒸发器的设计	239
8.1 概述	239
8.2 蒸发设备的要求与选型	239
8.2.1 对蒸发设备的要求	239
8.2.2 蒸发设备的选型	240
8.3 蒸发设备的工艺设计	240
8.3.1 蒸发设备的工艺设计程序	240
8.3.2 蒸发装置的热量衡算和物料衡算	240
8.3.3 蒸发装置的结构计算	246
8.4 蒸发辅助设备	251
8.4.1 混合冷凝器	251
8.4.2 真空系统的计算	253
8.4.3 汽液分离器(捕沫器)	254
8.4.4 蒸汽进口与凝液出口	255
8.4.5 蒸发器的顶盖及底盖	257
8.4.6 蒸发器接管尺寸的确定	257
8.4.7 法兰、人孔、视镜和手孔	257
8.5 蒸发器设计示例	258
8.5.1 设计任务	258
8.5.2 蒸发器计算	258
■ 本章参考文献	262
第9章 计算机软件在课程设计中的辅助应用	263
9.1 概述	263
9.2 Excel 在课程设计中的辅助应用	263
9.2.1 Excel 简介	263
9.2.2 Excel 在换热器核算时的应用	263
9.2.3 Excel 在精馏塔设计中的应用	264

9.3 Aspen Plus 在课程设计中的辅助应用	268
9.3.1 Aspen Plus 软件介绍	268
9.3.2 Aspen Plus 软件应用案例	269
9.3.3 换热器的模拟及辅助设计实例	275
9.3.4 板式塔的模拟及辅助设计实例	282
■ 本章参考文献	290

第 1 章 课程设计基础

1.1 概述

1.1.1 化工设计的重要性及其内容

设计是工程建设的灵魂，对工程建设起着主导和决定性的作用，决定着工业现代化的水平。设计是科研成果转化为现实生产的桥梁和纽带，工业科研成果只有通过工程设计，才能转化为现实的工业化生产力。化工（包括无机、有机和石油化工等领域）设计同样也在一定程度上决定着中国未来化工建设的水平。

一个化工厂，除了工艺设计外，还应有房屋、设备基础、上水管道、排水管道、采暖、通风、电动机、灯光照明、电话、仪器仪表等的设计；另外，设计一个化工厂，还要考虑到它应有一个合理的总平面布置，考虑到原料和产品的运输，考虑到设计的技术经济性等。因此，化工厂是化工工艺技术和非工艺的各种专业技术的综合，化工厂的设计工作是由工艺和非工艺的各种项目所组成的统一体，它需要由工艺设计人员与非工艺设计人员共同来完成。

化工厂的整套设计应包括以下内容：

- (1) 化工工艺设计；
- (2) 总图运输设计；
- (3) 土建设计；
- (4) 公用工程（供电、供热、供排水、采暖通风）设计；
- (5) 自动控制设计；
- (6) 机修、电修等辅助车间设计；
- (7) 外管设计；
- (8) 工程概算与预算。

其中，化工工艺设计是化工工程设计的主体。这个主体包含两层意义：一是任何化工工程的设计都是从工艺设计开始，并以工艺设计结束的；二是在整个工程设计过程中非工艺设计要服从工艺设计，同时工艺设计又要考虑和尊重其他各专业的特点和合理要求，在整个设计过程中进行协调。因此，工艺设计是关系到整个工程设计优劣成败的关键。

1.1.2 化工工艺设计

进行化工工艺设计首先要编制设计方案。为此，要对建设项目进行认真的调查研究，全面了解建设项目的各个方面。最好对几个设计方案进行对比分析、权衡利弊，最后选用技术上先进、经济上合理、三废治理好的最佳方案。

化工工艺设计包括以下内容:

- (1) 原料路线和技术路线的选择;
- (2) 工艺流程设计;
- (3) 物料衡算;
- (4) 能量衡算;
- (5) 工艺设备的设计和选型;
- (6) 车间布置设计;
- (7) 化工管路设计;
- (8) 非工艺设计项目的考虑, 即由工艺设计人员提出非工艺设计项目的设计条件;
- (9) 编制设计文件, 包括编制设计说明书、附图和附表。

通常, 化学加工过程是将一种或几种化工原料, 经过一系列物理的和化学的单元操作, 最终获得产品。这一系列的单元操作必须在相应的单元设备里进行。用管道将这些单元连接起来, 以便于物料从一个单元设备传送到另一个单元设备。为了便于对物料的控制, 往往在设备和管道的相应位置安装一些测量、显示和控制元件。这些设备、连接的管路和相应的控制元件一起组成了化工工艺流程。

因而, 在化工设计中, 化工单元设备的设计是整个化工过程和装置设计的核心和基础, 并贯穿于设计过程的始终。从这个意义上说, 作为化工类及其相关专业的本科生乃至研究生, 熟练地掌握常用化工单元设备的设计方法无疑是十分重要的。

1.1.3 化工原理课程设计的基本要求及内容

本书作为化工原理课程设计的教材, 旨在适应面向 21 世纪教育与教学改革的需要, 加强对化工类及其相关专业学生综合应用本门课程和有关先修课程所学知识等实践能力的培养, 注重提高学生分析与解决工程实际问题的能力。同时, 培养学生树立正确的设计思想和实事求是、严谨、负责的工作作风。

通过化工原理课程设计, 学生应在下列几个方面得到较好的培养和训练。

(1) 查阅资料、选用公式和搜集数据的能力。通常设计任务书给出后, 有许多数据需要设计者去搜集, 有些物性参数要查取或估算, 计算公式也要由设计者自行选用。这就要求设计者运用各方面的知识, 详细且全面地考虑后方能确定。

(2) 正确选择设计参数。要树立从技术上可行和经济上合理两方面考虑的工程意识, 同时还须考虑到操作维修的方便和环境保护的要求, 亦即对于课程设计不仅要求计算正确, 还应从工程的角度综合考虑各种因素, 从总体上得到最佳结果。

(3) 正确、迅速地进行工程计算。设计计算是一个反复试算的过程, 计算的工作量很大, 因此应同样强调“正确”与“迅速”。

(4) 掌握化工设计的基本程序和方法。学会用简洁的文字和适当的图表表示自己的设计思想。

化工原理课程设计应包括以下一些基本内容。

(1) 设计方案的选定。对给定或选定的工艺流程、主要设备的型式进行简要的论述。

(2) 工艺设计。选定工艺参数, 进行物料衡算、能量衡算、单元操作的工艺计算, 绘制相应的工艺流程图, 标出物流量、能流量及主要测量点。

(3) 设备设计。设计计算设备的结构尺寸和工艺尺寸，绘制设备的工艺条件图，图面应包括设备的主要工艺尺寸、技术特性表和接管表。

(4) 辅助设备选型。计算典型辅助设备的主要工艺尺寸，选定设备的规格型号。

(5) 设计说明书的编写。设计说明书的内容应包括：设计任务书，目录，设计方案简介，工艺计算及主要设备设计，工艺流程图和主要设备的工艺条件图，辅助设备的计算和选型，设计结果汇总，设计评述，参考资料。

整个设计由论述、计算和图表三部分组成。论述应该条理清晰、观点明确；计算要求方法正确，误差小于设计要求，计算公式和所用数据必须注明出处；图表应能简要表达计算的结果。

1.2 工艺流程图


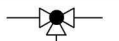
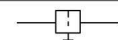

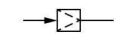
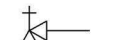




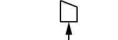



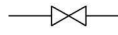
工艺流程设计各个阶段的设计成果都是用各种工艺流程图和表格表达出来的，按照设计阶段的不同，先后有方框流程图 (Block Flowsheet)、工艺流程草 (简) 图 (Simplified Flowsheet)、工艺物料流程图 (Process Flowsheet)、带控制点工艺流程图 (Process and Control Flowsheet) 和管道仪表流程图 (Piping and Instrument Diagram) 等种类。方框流程图是在工艺路线选定后对工艺流程进行概念性设计时完成的一种流程图，不列入设计文件；工艺流程草 (简) 图是一种半图解式的工艺流程图，它实际上是方框流程图的一种变体或深入，只带有示意的性质，供化工计算时使用，也不列入设计文件；工艺物料流程图和带控制点工艺流程图列入初步设计阶段的设计文件中；管道仪表流程图列入施工图设计阶段的设计文件中。

本节先介绍流程图的图形符号、标注方法等的规定，然后介绍作为设计文件的工艺物料流程图、带控制点工艺流程图和管道仪表流程图。

1.2.1 工艺流程图中设备、阀门、管件的表示方法

工艺流程图中常见的阀门、管件的图形符号见表 1-1。

表 1-1 常用的管件和阀门符号

名 称	图 例	名 称	图 例
Y 型过滤器		三通旋塞阀	
T 型过滤器		四通旋塞阀	
锥型过滤器		弹簧式安全阀	
阻火器		杠杆式安全阀	
文氏管		止回阀	
消声器		直流截式阀	
喷射器		底 阀	
截止阀			

续表

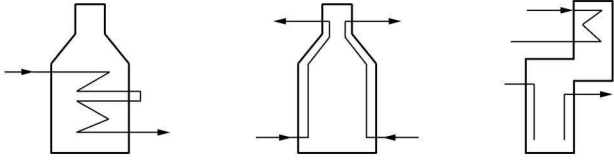
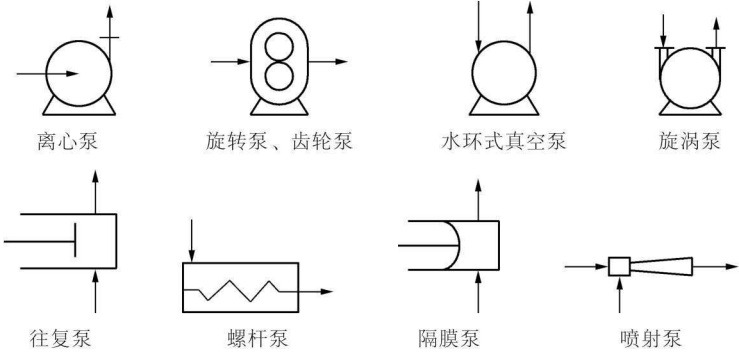
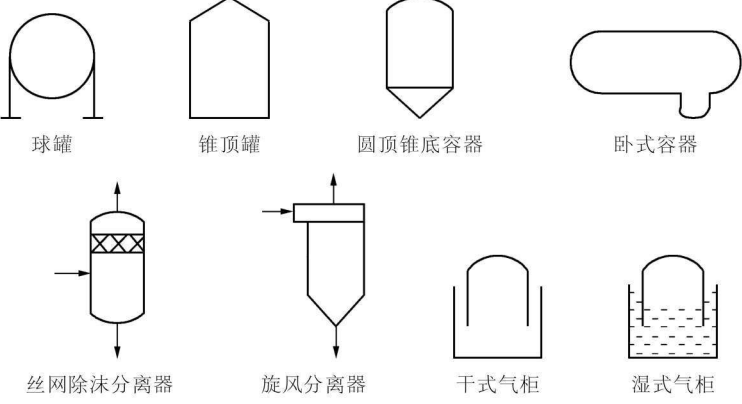
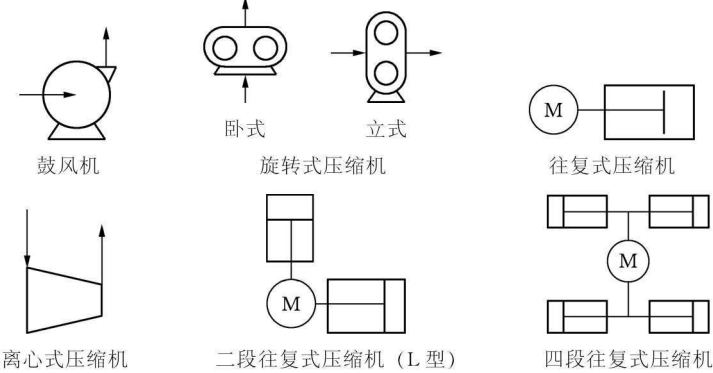
名称	图例	名称	图例
节流阀		疏水阀	
角式截止阀		放空帽(管)	
闸阀		敞口(封闭)漏斗	
球阀		同心异径管	
隔膜阀		视镜	
碟阀		爆破膜	
减压阀		喷淋管	
旋塞阀			

对工艺流程图中的设备,常用细实线画出设备的简略外形和内部特征。目前,很多设备的图形已有统一的规定,其图例可参见表 1-2。

表 1-2 工艺流程图中装备、机器图例

类别	代号	图例
塔	T	 板式塔
		 填料塔
		 喷洒塔
反应器	R	 固定床反应器
		 列管式反应器
		 流化床反应器
换热器	E	 换热器(简图)
		 固定管板式列管换热器
		 U型管式换热器
		 浮头式列管换热器
		 套管式换热器
		 釜式换热器

续表

类别	代号	图 例
工业炉	F	 <p>圆筒炉 圆筒炉 箱式炉</p>
泵	P	 <p>离心泵 旋转泵、齿轮泵 水环式真空泵 旋涡泵</p> <p>往复泵 螺杆泵 隔膜泵 喷射泵</p>
容器	V	 <p>球罐 锥顶罐 圆顶锥底容器 卧式容器</p> <p>丝网除沫分离器 旋风分离器 干式气柜 湿式气柜</p>
压缩机	C	 <p>鼓风机 卧式 立式 往复式压缩机</p> <p>离心式压缩机 旋转式压缩机 二段往复式压缩机 (L 型) 四段往复式压缩机</p>