

实用工艺工程 设计工作方法

[美]H. 桑德勒 E. 卢奇威斯 著

中国石化出版社

实用工艺工程设计工作方法

[美]H. 桑德勒 E. 卢奇威斯 著

朱康福 袁宗虞 袁正之 译

中国石化出版社

(京)新登字048号

内 容 提 要

本书系美国从事工程设计的高级工程师与一位执教“化工厂设计”的大学教授,根据他们多年的工作和教学经验与感受,为培养和培训能承担工程项目设计的工艺负责人(与机械负责人)而通力合作的结果。全书对工艺工程师的作用与职责、工程项目的经济评价与分析、工艺流程设计的全过程、仪表与自动控制、材质选用与管道设计计算、设备设计与选型以及计算机的使用等都进行了详细论述,引用的资料和图表来自实践,内容系统、全面,实用性强。

对从事炼油、化工、石油化工以及电站等的设计、建设、工程咨询、工程承包的技术人员以至生产管理人员,都有实用价值。对初始进入这些领域的工程技术人员,作为自学或培训资料,颇有意义。对有志进入这些领域的工科高年级大学生、研究生,则是很好的教材与参考书。

Practical Process Engineering
A Working Approach to Plant Design
Henry J. Sandler
Edward T. Luckiewicz
McGraw-Hill Inc., 1987

实用工艺工程设计工作方法

〔美〕H. 桑德勒 E. 卢奇威斯 著
朱康福 袁宗虞 袁正之 译

中国石化出版社出版
(北京朝阳区太阳宫路甲1号 邮政编码: 100029)
海丰印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 29³/₄印张 755千字 印1—6000
1992年3月北京第1版 1992年3月北京第1次印刷
ISBN 7-08343-241-6/TH·033 定价: 15.30元

译者前言

当代科学技术发展迅速,使得工科大学生需要学习的课程很多,不少院、系的学制已经延长到五年甚至六年。但大学以至研究生的课程在总体上仍是基础知识与应用理论,毕业生进入具体工作岗位,总还需要一段时间的适应与进一步的培养、锻炼。例如工程设计单位,往往每年都吸收一定数量的大学或研究生院的毕业生,尽管他们学习的专业完全对口,甚至做过“毕业设计”,或者在有关部门进行过实习,通常仍然需要二、三年的时间,跟随有经验的工程师具体学习,才能逐步单独胜任实际的工程设计。译者从实际工作中,对此深有体会。

其实,这种情况在外国也同样存在。本书原著作者二人,一位是有三十多年工程设计经验的高级工程师,另一位是专门执教“化工厂设计”的大学教授,他们的共同感受认为:单靠目前课程教育,然后对青年工程师用“师傅带徒弟”式的培养,是不全面、不系统而且不经济的。所以共同努力,并得到许多有关方面的帮助,写成此书,用作化学工程系与机械工程系高年级学生(或者研究生)的选修教材。也可以作为工程设计、建设承包等企业培养初始进入岗位的青年工程师的学习资料。

正因为译者与原著者有共同的感受,所以见到这本系统、全面而颇为实用的书,很高兴,翻译出来供有关方面参考,应是一件很有意义的工作。

任何一个项目的工程设计,总是包括多种专业的综合成果,各专业设计人员之间的协作配合十分重要。我国大学毕业生的知识面一般总不够宽,因而对其他专业设计人员的工作难免了解不多,从而对工作带来不利影响,甚至造成某些遗漏或缺陷。而作为设计项目的工艺负责人,这一点尤为重要。本书的主要对象是培养工艺负责人,特别是炼油、化工(包括石油化工)、某些轻工与食品工业以至热电站等项目的工艺设计负责人。

上述几类项目的工程设计中,管道的设计计算占有重要地位。无论由机械工程师(国外多数情况)或者工艺工程师(国内多数情况)承担,都需要有经验的专门人员给予指导与培养。如果遇到复杂的非常规流体,青年工程师们往往难以解决或者最终效果欠佳。这种情况在核电站设计中也是经常出现而需要认真解决的。本书用较大篇幅、分四章专门介绍,对有关设计人员颇有裨益。

全书从工程项目的经济评价分析讲起,指出工艺设计负责人的职责与工作方法,直到工艺流程与自动控制、管道设计、设备选用与保温、伴热等等设计原则与方法,比较全面。但对安全、污染防治等尚未涉及。

此书原著者从自己切身体会与经验出发,注意实用,引用的资料,都是来自实践的。大量的图表、计算式等,是当前通用的,又附有应用实例,对初入门者很有帮助。所附参考书目,对读者使用方便,并有助于对问题的进一步深入了解。

由于国内、外情况不同,如计量单位与机械、设备的系列、规格都不一样,照搬照抄是不行的。但译者认为,并不会因此而影响全书的实际参考价值。

原书准备用作一个学期的教材。假如国内有关院、校开设类似的选修课程,似乎很可作为参考。假如有关工程设计单位对毕业生进行培训,在脱产学习的情况下,二、三个月即可

学完，还可以结合各单位实际业务进行实例计算与设计。通过这种培训后再进入实际工作岗位，比手工业式“传授”，实效将好得多。

全书的序言、第一至四章、第六、七、九章由朱康福译；第八章由袁正之译、朱康福校；第五、十、十一章，由袁宗虞译；第十二至十七章，由袁正之译、袁宗虞校，大体上，工艺与管道设计部分由朱康福负责，而材质与设备等由袁宗虞负责。

译者水平所限，不妥之处，在所难免，谨希读者指正，不胜感谢。

1990年12月16日

前 言

为了培养在工业中更为称职的大学生，现代大学的工程课程必须对其学科进行广泛的改革。这些课程不仅要包括对各个工程专业都通用的学科，同样也要包括对人文学科的一般了解。其余的学时，就化学工程与机械工程的课程而言，其范围应包括：从基础课，如传热、传质、热力学和流体力学到更为专业的专业课，以及计算机的应用。此外，无论机械工程还是化学工程专业的学生，还都必须学习与其有关专业的入门知识。

为给各工程学科的许多原理打下理论基础，必须安排大量的时间，因而教学计划中很少涉及专业业务的实际方面。当许多化学工程与机械工程毕业生进入化工厂、炼油厂及电站等的工艺工程设计领域时，就感到现代工艺设计中很多实际方面在学校的课程中涉及很少。因此对年青工程师进行实际培训的责任通常是由工业部门承担。这样刚开始工作的工程师们往往成为较有经验的工程师们的学徒，而在工艺设计的实践艺术方面引导他们。当然这是认为大学毕业生已具有充分的理论基础为前提的。

然而，十分常见的是这种学徒方式是很不严格的，而且进行中也并没有周密的计划。一般往往仅对与手边具体项目有直接关联的若干方面给予训练。所以将青年工程师们引入实际工艺设计的许多方面的工作是在一个长时期内以间断的方式进行的。尽管在这一时期中这些年轻工程师对其雇主作出一定的贡献，但他们的效率在某种程度上受到限制，一直到整个学徒期完毕。

有些公司已经觉察需要在实际的工艺设计方面有一门基础课来补充常规大学课程所包括的基础理论。某些课程在设计课中提供了一部分这方面的内容，但目前还没有一本参考书来介绍涉及实际工艺设计范围的资料。而这就是本书的目的。

在化工厂、炼油厂及电站中工艺工程师职责的各个方面将予考察。介绍了这些职责将如何合理地组织并在迅速有效状态下进行的实例。还给出了对工艺工程师们有用的各种现有“工具”，及怎样在有效的工程实践限度内进行简化与使用的解释。对各种类型的工艺设备进行概述，而重点放在对工艺工程师最有兴趣的各种特征上。

显然，佩里的《化学工程师手册》(Perry's Chemical Engineer's Handbook)、马克的《机械工程师标准手册》(Mark's Standard Handbook for Mechanical Engineers)以及其他标准的通用性参考书包括了本书所提供的大部分资料。但是在那些书的各章中，经常把实际资料与为理解其应用所需的理论研究交替地分布在一起。此外，实际资料还常常以精确的方程式来表现。为某一特定的应用而来解这些方程式时，通常需要相当大的工作量，而若参考一种曲线或一张图表，却可以对实际应用给出精确度足够的所需结果。

本书介绍的有关实际工艺设计的大部分资料，在为相关领域服务的期刊中都可找到。但由于期刊本身的出版特性，各种资料与题目往往零星分散地在相当长时期内出现。一个新的毕业生或年轻工程师，不可能长期订阅各种期刊、也不可能有足够的知识或耐心去收集所有有关的文章。

克拉克与戴维森所著《工艺设计计算手册》(Manual for Process Engineering Calcula-

tions, by Clarke and Davidson) 提供了工艺工程师们所需的许多计算方程式、诺谟图、表与曲线, 作为精确且简捷的计算方法。泰勒·希克斯 (Tayler Hicks) 所著《工程设计计算标准手册》(Standard Handbook of Engineering Calculations), 乔配与希克斯 (Chopey and Hicks) 合著的、题为《化学工程计算手册》(Handbook of Chemical Engineering Calculations) 都用例题及其解答来解释许多典型的课题。但对于设备与单元操作则仅给出扼要的基础知识, 对一个项目的组织工作则极少涉及。

作者集大型工程设计与建设公司中多年工艺设计的经验, 经常作为进入工艺设计领域的年轻工程师的指导者。此外, 作者之一还在一所大型的大学中教授化学工厂设计课程。课程中包括设备及其使用的实践资料, 当时为将大学学生及新工程师引入工艺设计大门而编写的资料, 经充实后已收入本书。本书内容将可证明: 作为大学四年级一门一学期课程的教科书是有用的, 可以将实际应用与理论依据作对比。对于计划要进入设计与施工建设公司的即将毕业的工程师, 则当可成为有裨益的参考性工具书。同时, 也可作为基础资料, 供设计与施工公司据以建立其本身工艺设计的培训计划。

现代的趋势是工艺工程师们越来越依靠计算机软件程序来获得流体流通与设备大小方面问题的答案。本书对这些方面所采用的实际方法不仅使工艺工程师能理解、欣赏软件程序, 并校核由此而得的答案, 还使他们在没有计算机或不需要使用计算机时仍能获得可接受的结果。

作者作为工艺工程师已享有令人满意、颇有成果及履行诺言的声誉。而这部分地是由于在我们前进的道路上得到许多优秀工程师的帮助、并把他们的秘密与简捷方法传给了我们。作者企望本书对读者能起同样的作用, 借以作为对我们的指导者的一种感谢。

作者谨向 Paul Dan, John Deleone, Cheryl Robertson, Alexandra Sandler 和 Dana Schrader 表示感激, 他们评阅了大部分草稿并提出有价值的评论与建议。我们也感谢 Donald Dallal, Oleg Dudkin, Norman Greenberg, Henry Kaminsky, Jeff Kerner, Anderson McCabe, Robert Moore, William Pallaver, Charles Rehrig, Milton Schwartz, Jack Trechok, Nelson Whitney 和 Malcolm Woodman, 他们在某些关键的方面提供了他们的专门知识。我们感激 Michel A. Saad 博士, 他对可压缩流体的流动部分仔细校核了我们的文稿。我们要感谢联合工程师与建设者公司 (United Engineers & Constructors Inc.) 允许使用他们档案中的资料, 特别是“计算机辅助设计与制图部”及其工作人员, 第二、第三两章中的流程图与其他图是从该部选用的, 他们还提供了本书中采用的许多图纸。我们还要感谢所有或多或少给予我们各种帮助的人们, 你们的好意是深所铭记的。我们衷心感谢与赞赏 Sally Pekora 和 Mary Lou Tarallo, 她们尽善尽美的秘书技巧使一切工作组成一体。Dena Sher 在索引方面的帮助是一项有价值的贡献。

化工厂、炼油厂和电站的工艺设计涉及到许多不同的方面、不同的单元操作与设备类型。本书篇幅所限, 不可能对其设计中包含的内容全面包括。因此, 作者将自己限制于对化工厂、炼油厂和电站设施中工艺设计工作有 90~95% 通用性的那些题目。我们乐于从读者中听到在以后版本中应包括进去而本书中还缺少的任何内容。我们当然会赞赏对本书任何不确切之处提出的意见和建议。

H. J. S.

E. T. L.

1986年于费城

目 录

前言

第一章 绪论1	
第一节 工艺工程师的作用.....1	
第二节 工艺工程师是问题的解决者.....2	
第三节 经济分析.....3	
一、初步估价.....3	
二、详细估价.....6	
三、价格指数.....7	
四、经济决断.....8	
第四节 名词命名与度量单位.....12	
参考文献.....16	
第一篇 工艺文件的编制17	
第二章 方块流程图与工艺流程图17	
第一节 方块流程图.....17	
第二节 工艺流程图.....21	
一、工艺流程图的数据来源.....21	
二、所需的工艺资料.....21	
三、表达形式.....22	
四、物流线条.....22	
五、物料平衡表.....24	
六、附注(或说明)栏.....25	
第三章 工程设计流程图26	
第一节 工程设计流程图的类型.....26	
一、索引页,或管道、仪表符号图.....26	
二、工艺加工部分.....27	
三、公用工程部分.....29	
四、特殊的专门流程图.....29	
第二节 与各专业的关系.....30	
一、化工工程师与工程设计流程图.....30	
二、机械工程师与工程设计流程图.....30	
三、仪表工程师与工程设计流程图.....30	
四、电气工程师与工程设计流程图.....31	
五、结构工程师与工程设计流程图.....31	
第三节 工程设计流程图的编制.....32	
一、工程设计流程图资料基础.....32	
二、工程设计流程图的格式.....32	
三、工程设计流程图的编制.....33	
四、设备标志.....36	

五、管线标志.....38	
六、附注.....44	
七、特殊图例与表.....45	
八、管道表.....45	
九、核对清单.....49	
第四章 原则流程与流程图的演进82	
第一节 流程图版本的类型.....82	
一、初步版.....82	
二、零版.....84	
三、修订版.....86	
四、中间阶段版.....87	
第二节 内部联系.....87	
一、主印本图册.....87	
二、底图上签注临时性的日期.....88	
三、中间(阶段)版的选定.....89	
第三节 档案.....89	
一、计算本.....89	
二、会议记录.....90	
三、图纸.....90	
第二篇 材料选择及管道计算91	
第五章 材料选择91	
第一节 机械性能.....91	
第二节 材料.....95	
一、金属.....95	
二、聚合材料.....117	
三、陶瓷材料.....118	
四、石墨.....121	
五、玻璃.....122	
第三节 腐蚀.....122	
一、影响腐蚀的因素.....123	
二、腐蚀的类型、原因及措施.....124	
三、耐腐蚀材料选择.....132	
参考书目.....134	
附录 5-1.....134	
第六章 管道计算第一部分:限制性及理论上的考虑138	
第一节 管道安装中的限制.....138	
一、可获得的管子.....138	

二、小管及其它流道	141
三、决定经济管径	142
四、流速的制约	144
五、摩擦损失	146
第二节 流体的类型	147
一、单相流	148
二、两相流	148
第三节 理论上的考虑	149
一、粘度	149
二、流动模式的类型	157
三、雷诺数	160
四、速度头	163
第七章 管道计算第二部分：不可压缩流体的摩擦损失	167
第一节 摩擦系数	167
一、层流摩擦	170
二、过渡流与湍流的摩擦因子	171
第二节 确定压头损失的各种工具	173
一、简化的Moody图表	173
二、诺谟图与列线表	175
三、计算尺	176
四、摩擦损失表格	178
五、管子的流动图	187
六、帮助记忆的工具	188
第三节 非清洁钢管的摩擦系数	190
一、粗糙度参数的影响	190
二、粗糙度摩擦系数	191
第四节 在管件与管道部件中的摩擦损失	192
一、阻力系数K	192
二、管件的当量长度	192
三、在层流区内的L/D值	194
四、表面粗糙度对L/D值的影响	194
五、入口、排出口及改变管径的损失	194
六、阀门系数Cv	197
第五节 在管线系统中累积的压头损失	198
一、典型的估算	198
二、虹吸效应	200
参考文献	204
第八章 管道计算第三部分：可压缩流体	205
第一节 可压缩流体的特性	207
一、非理想状态	208
二、热力学影响	208
第二节 可压缩流体的典型计算：摩擦损失	212

第三节 可压缩流体流动：简化法	214
一、由于动能变化产生的损失	214
二、摩擦损失：不可压缩模拟	217
三、最大当量长度和流速	223
第四节 可压缩流体流动：一个严密的方法	224
一、可压缩流体流动的参数	224
二、管道和导管中的摩擦流动	228
三、喷嘴和孔板的分析	236
四、冲击波的形成	246
参考文献	248
第九章 管道计算第四部分：复杂流体	249
第一节 气-液系统	249
一、气-液流动状态范围	249
二、气-液系统的压力降计算	252
三、两相(气-液)流系统的设计准则	256
第二节 流-固系统	259
一、终端速度	260
二、流-固系统的流态范围	262
三、流-固系统中的压力梯度	265
四、流-固系统的设计准则	270
参考文献	270
第三篇 设备选择、规格及相关课题	271
第十章 容器	271
第一节 容器设计准则	271
一、容器的应力	271
二、焊接接头	279
三、容器检验	279
四、容器设计规范	279
第二节 容器选择	281
一、贮存容器	281
二、工艺容器	282
参考文献	284
参考书目	284
第十一章 泵	285
第一节 泵	285
第二节 泵的分类及类型	285
一、往复泵	285
二、回转泵	287
三、离心泵	289
四、透平泵	291
第三节 泵的性能特性	292
一、泵的通用参数	292
二、泵的一般性能特性	297

第四节 填料及机械密封	314
一、填料	314
二、机械密封	315
第五节 泵输系统设计	318
一、泵的灌注	318
二、泵的最低流量	319
三、贮槽(池)设计	320
参考文献	322
参考书目	322
第十二章 风扇、鼓风机和压缩机	323
第一节 风扇	324
一、螺旋桨式风扇	324
二、离心风扇	324
三、轴流风扇	326
四、风扇控制	327
五、风扇系统的安装	328
第二节 鼓风机和压缩机	330
一、压缩机的机械设计	330
二、性能特性	333
三、喘振控制	339
参考文献	341
参考书目	341
第十三章 真空设备	342
第一节 产生真空的设备	344
一、高真空设备	344
二、低真空设备	345
三、中度或工业真空设备	345
第二节 真空设备的大小	358
一、真空设备的入口压力	359
二、蒸气和气体的流率	359
第十四章 热交换器	365
第一节 热交换原理	365
一、传导	365
二、对流	368

三、辐射	387
第二节 换热器的设计	394
一、机械设计	394
二、专用换热设备	404
参考文献	419
参考书目	419
第十五章 保温及伴热	420
第一节 保温	420
一、保温的使用	423
二、保温层的类型	424
三、保温层的推荐厚度	425
第二节 伴热	429
一、蒸汽伴热	431
二、电伴热	432
三、夹套和包扎伴热	435
参考文献	435
第十六章 混合器和搅拌器	436
第一节 搅拌器：叶轮式混合器	436
一、搅拌器的流体力学	436
二、搅拌系统的设计	438
三、搅拌器的机械设计	446
第二节 无动力混合器	447
参考文献	449
参考书目	449
第十七章 电力和电动机	450
第一节 电力分配	450
一、单相和多相交流电系统	450
二、直流电力系统	455
第二节 电气规范和标准	456
第三节 电动机	458
一、直流电动机	458
二、交流电动机	458
参考文献	464
参考书目	465

第一章 绪 论

按J. Bronowski^[1]所述,现代工程设计科学在过去约10,000年演进过程中有其根源。在该时期中,人类逐渐由游牧的狩猎掠夺生活转变为定居的、以农业为基础的生活。这种农耕框架导致若干技术的出现,而当代的科学与工程专业即源于此。当需要永久性的棚舍,灌溉系统得到发展时,雏形的土建工程设计就兴起了。机械工程的根源在于以犁的型式应用杠杆,轮子与滑车的发明是便于荷重的移动。

在其后的数千年时期内,其他工程技术与数学、科学、艺术以及交流思想与知识的书写方法一起逐渐发展,以满足文明演变日益增长的需要。这一过程中,正规的教育院校也得到了发展,这些院校,对发展中的科学与工程领域中各个分枝给予定义并进行描述。

随着新兴技术的增长,它们在现代工业中的应用变得愈来愈复杂。在一段时间内,某一个人可以相对容易地独自或在少数人协助下设想并实现一项中等程度的制造作业。但当家庭手工业演变成采用现代技术的复杂工厂时,对其设施的计划与操作等各方面,都需要许多具有专门化知识与技巧的人。这种趋势,在现代大学各工程专业已制定的各种教育计划中得到了反映。

尽管不同专业的一般重点彼此相差很大,但在各种工程专业的学习中经常有重复的内容,因而在某些专门行业的若干职责方面,几个不同专业的毕业生都可以满足需要。一个很好的实例就是为化工厂及相关工厂、炼油厂、电站及类似企业搞设计或操作的工艺工程师。在机械工程与化学工程方面的大学生所受到的大部分训练是相似的。除掉他们与所有其他工程专业都要学习的一年级数学、物理、化学与工程基础课程之外,机械工程与化学工程的教育计划都强调流体流动、传热以及单元操作所用的设备,以便在工业上综合使用。这些方面的学习是工艺工程师的基础。所以,经常可以看到以机械工程或者化学工程为基础的人被指定作为一个项目的工艺工程师。在涉及常规机械设备的项目例如锅炉房与电站,更可能的是由机械工程师作为工艺工程师。但若该过程涉及化学平衡的计算、反应动力学的应用或者要使用扩散法操作,则通常由化工工程师来作为工艺工程师。

第一节 工艺工程师的作用

工艺工程师在一个项目的6个主要方面负有责任。按设计某一设施的过程中出现的次序,计为:

- (1) 经济上可行性的研究与设备费用估算。
- (2) 准备一系列文件以确定项目的全貌,提出物料与能量平衡,规划其他工程师们与管道设计人员所需要的工作任务。后面的文件中还应确定仪表、电气与结构专业所需进行的初步工作。
- (3) 设备与管道的材质选择。
- (4) 在管道设计与决定设备尺寸中进行的流量、压力降及热传递的工艺计算。
- (5) 根据适用性、可供性及费用的经济性来选用设备。

(6) 设备订购以及监督工程设计的执行。

本书涉及工艺设计中这些主要职责的实践,并为了符合这一实际而将全书分为三篇。第二、三、四章分别讨论工艺流程图、工程设计流程图、以及流程图的演进方法,加在一起组成第一篇。其中第三章还包括一张重要条目的校核清单,可以在编制流程图与设备规格表时检验其包含的内容。

设备与管道的材质选择在第五章中评述,并与第六、七、八、九各章中管道计算的各个方面一起组成第二篇。管道计算被单独列出以便给予特殊与细致的考虑,因为在决定几乎所有的工艺设备的尺寸时,都涉及压力损失以及其他流动参数的核算。即使通过某一单元的流动并非在管道中实现,但第六章中评述的关于流体流动的理论性考虑,仍可在类似情况下适用。

第七章展开了为核算管道与其他流道中的摩擦损失所必需的基本方程式及对不可压缩流体的适用性。这些方程也可使用于压缩性与复杂混合流体,只要这些流体在具体条件下可作为不可压缩流体来处理。这一章包括用以求得摩擦损失的一些简捷方法与各种辅助方法的评述,附带说明这些方法怎样可以延伸外推至所述范围之外。给出对液态与气态流体都适用的、快速计算流速与雷诺数的简化方程式。介绍了简单的帮助记忆的方法,使能进行流率与压力降的快速估算。

可压缩流体的管道设计计算在第八章中论述。除涉及在绝热、恒温及多变流动状态下测定压力降的精确方法外,本章还导出一套简化的关系式,与不可压缩流体的流动相似,适用于大部分的实际应用。还包括在接近声速及附带的阻塞现象时,判断是否需要使用精确方法。

第九章论述以实用的方法来进行管道计算,测定各种两相流系统的流动特性,其中包括压力降计算、流动状态的测定、以及最低流速准则。

第三篇由第十至第十七章组成,论述对大部分化工厂、炼油厂和电力设施都通用而又最经常使用的主要设备。其中包括容器、泵、鼓风机和压缩机、真空设备、热交换器以及混合器与搅拌器。尽管对设备所作的论述是不完整的,但详细列出了各种设备和它们的用途以及大多数情况下的使用方法。与各种单元操作,例如蒸馏、萃取、过滤、离心分离、结晶、干燥及其他类似方面相关联的设备,需要特殊处理。尽管这些操作很重要,而且在某些设施中广泛地应用,但就其本质而言,在单独使用时却只代表整个工艺领域操作全景中的一小部分。这些特殊题目的处理不得不从这本通用性的书中略去,建议读者参阅有关的专门参考书。

一旦工艺工程师设计了设备,就有责任完成其规格表,该表向有关的供应商介绍该设备。对设备询价的答复必须由工艺工程师进行分析,这不仅为了符合工艺规格要求,还要决定报价的设备中那一种在费用上最为经济。在这一章的后续部分论述了进行经济分析与决策的基础。

第二节 工艺工程师是问题的解决者

以上勾划的工艺设计的工作通用于需要一个工艺工程师的一切项目。但这决不意味着工艺设计工作是机械的,可以生搬硬套。相反,任何两个项目都不大可能是相像的。即使是重复建设一项同一生产能力、生产同一产品的设施也还可能包含着对不同的公用工程条件的适应问题。工艺工程师必须能够列举并确定需要解决的问题,评估可能的替代方案并作出能得

到确认的决定。工艺工程师们要依靠他们的理论基础与实践知识，并和想像力及独创性结合起来解决问题与作出决定，以适应令人满意地、及时而不超出预算地完成一个项目的要求。还需要一种逻辑的、有计划的工作方法来解决客观的与主观的事项。

工艺工程师面临需要定性或者定量解答的问题。有关选择工艺方法、工艺组成部分与材质等的问题，最好按过去的经验、文献检索以及向有知识的人咨询来解决。另一方面，数学模型则用来获得定量的答案。根据问题的复杂性及答案精确程度的要求，可以根据经验推测、简捷算法、诺谟图、曲线图、图表、一个易解的方程式、或者一组较为复杂的关系式，而需要用可编程序计算器以至计算机来解答。在选定所用方法时，必须作出实用性与费用方面的判断。此外，工艺工程师必须完全熟悉所使用的任何分析方法，尤其对不是他们自己写出来的计算机软件，以保证软件中的约束与限制条件是所解的问题相容而不矛盾的。

第三节 经济分析

要由工艺工程师在一个项目的所有阶段进行经济分析与相应决策。其范围包括：对一个项目进行“机会研究”而作的初步费用估算，直到可用以判断是否实施该项目的详细计算并在其后用以进行资金控制，以及在项目进行过程中，有几种可选工艺时指导作出选择的经济性研究，在按设备规格提供的报价中选择最经济有利的设备而作的经济分析。

一、初步估价

初步估价可起几种作用，根据其不同用途及如何编制而有不同程度的精确性。表1-1列出几种初步估价的类型及若干较为通用的编制方法。这几类估价可以很快地完成。最容易进行的估算列于表的上部，而需要作较多研究与计算的列在下面。如表1-1所示，花费较多工作而作出的初步估算其预测将更接近正确。

表 1-1 估 价 技 术

估 价 类 型	基 准	精确性范围 %
A. 初步估价		
1. 按生产能力的粗估	(美元/t)(t)	-30 ~ +50
2. 按生产能力的比例的粗估	(美元/t)(t) ^a	-25 ~ +40
3. 按主要设备及安装费用系数估算		
a. 设备费用：总体的安装系数	(1 + F _o)(Σ设备费用)	-20 ~ +30
b. 设备费用：分组的安装系数	Σ(1 + F _i)(设备费用)	-15 ~ +25
B. 详细估价		
1. 设备按系数，估计的安装费	(设备费用) ^a	-10 ~ +20
2. 设备按报价，估计的安装费		- 5 ~ +15

(一) 以产品为基础的估价

仅需最少工作而得出精确度最差的估价方法包括将每单位年产量的建设装备费用乘以拟议设施所期望的年产量。这在表1-1中称为“粗略”估价方法A-1与A-2。通常是最高管理部门为投资可能性进行机会研究时，希望很快得到对若干项目粗略的费用估算而需要的。

这两种方法中以A-2较为细致，理由在于它对估价进行了拟议设施按预计比例的校正。

做法如下：取方法A-1所得结果，乘上一个系数，该系数是：拟议工厂年产“量与”基准工厂年产量（即用来决定每单位年产量的建设费用者）的比率的 n 次方。方程（1-1）即总括这一方法：

$$\text{新建费用} = \left(\frac{\text{美元}}{\text{单位年产量}} \right)_{\text{基准}} \times \text{新建(单位)年产数目} \times \left(\frac{\text{新建(总)能力}}{\text{基准(总)能力}} \right)^n \quad (1-1)$$

其中， n 是随所研究的产品而特定的数目。

各种不同产品单位年产量费用的数值可以从几种来源获得。最好而且可能最为可靠的应是从公司档案中过去十年之内建造类似工厂而得的数据。但大多数工艺工程师很难接触到这一类资料，因为他们的公司不大可能有所须的数据。因而大多数工程师要依靠公布的统计资料。这些资料可从有关化工厂与动力厂经济学的教科书及商业性期刊的文章中找到，表1-2列举了若干挑选的基本化学品单位年产吨数的典型建设装备费用。还包括为不同年产量比例调正所使用的、建议的指数值。

表 1-2 选列的化学工厂费用与能力指数

产 品	工 厂 能 力 t/a	建 设 装 备 费 用 \$/t.a	能 力 指 数 n
醋 酸	10	540,000	0.68
丙 酮	100	200,000	0.45
乙 炔	10	2,500,000	0.05
氨	100	190,000	0.58
丁 醇	100	460,000	0.40
氯	100	280,000	0.45
乙 醇	10	3,100,000	0.83
乙 烯	100	200,000	0.73
环氧乙烷	100	740,000	0.78
乙二醇	10	1,900,000	0.75
盐 酸	10	510,000	0.68
甲 醇	100	150,000	0.60
硝 酸	100	55,000	0.60
苯 酚	100	460,000	0.75
聚乙烯	10	2,100,000	0.65
聚氯乙烯	10	1,900,000	0.60
苯乙烯	100	330,000	0.60
硫 酸	100	250,000	0.65
尿 素	100	100,000	0.70
氯乙烯	100	230,000	0.80

上述预测方法的精确度，由于技术人员一般不得不依靠5~20年前的陈旧建设费用而下降。但也不难考虑进去通货膨胀的涨价作用，因为价格可以有“指数”的，这个题目将在“价格指数”一节中进行论述。但是指数又不考虑工艺技术的改进使产率改善、较高效率设备的发展、建造材料较便宜、或减少劳动力的技术等。因此，重要的是要使用可能获得的最新的数据。

假如对考虑中的某一特定产品找不到“能力指数”，则可采用0.70作为近似值。这是表1-2中指数 n 的近似加权平均指数。幸运的是，计算结果对于 n 数值的小小不精确性是不灵敏

的,在绝大多数情况下,使用0.70所得结果都在预测方法精确度范围之内。

(二) 主要设备及安装费用指数的估算法

将拟议中的设施考虑为由许多单独部件组成的特定作业,而不是按整体造价比例地推算,则初步估价的精确度可以得到改善。这样的方法要求对该项目所需主要设备估定价格,再使用适当的系数来估算辅助设备、安装及其他必要消耗等的价格。

经常使用的有两种方法来编制主要设备系数法的估价。它们都需要准备一张粗略的工艺流程图,图上表明主要机件的系列,如罐、塔、泵、压缩机、真空设备、热交换器、以及任何昂贵的特殊设备例如离子交换器、焚烧炉等等。流程图上应注明足够的物料与能量平衡资料,以便对各种主要设备初步估算其大致尺寸并注明其材质。

决定各件设备尺寸可使用简捷计算方法,然后按设备类型分组列为表格。下一步则对每一件指定一个安装前的价格。为寻找类似设备的价格,公司的档案很有裨益,只要投资控制部门编制了必要的文件。

假如数据可以找到,在许多可能情况下,它们还需要按涨价情况来调整,并还需按比例指数关系按尺寸调整。许多设备项目的现行价格可从商业服务资料中列出,例如理查森(Richardson)所著《加工工厂建设费用估算标准》(Process Plant Construction Estimating Standards)。在这种时候也可以与设备供应商进行非正式的接触,以获得尺寸已决定的、大概的现行价格。但对这种性质的多数初步估价,一般使用各种期刊上经常发表的、从调查而得的价格数据即已足够。典型的资料如《化学工程》(Chemical Engineering)1982年4月5日一期上的一篇,它列出化工厂常用的18种不同设备,并给出各种不同尺寸范围、不同材质及各种温度与压力范围内1982年1月份的价格。佩里(Perry)的《化学工程师手册》第6版第25章提供一份广泛的设备价格清单,其中按马歇尔与斯威夫特(Marshall and Swift)指数1000●而对一定尺寸的每一件设备给出预测的价格,同时列出比例放大(缩小)的指数值,以便用以获得预定尺寸范围的另一设备的价格。

一种估计某一设施建设费用 C_I 的简单方法,是将主要的未安装设备的总价 C_E 乘上一个系数 $(1+F_G)$ 如下式所示:

$$C_I = C_E (1 + F_G) \quad (1-2)$$

最好要使用对相似类型设施专用的总体系数 F_G 的数值,典型的 F_G 数值列于表1-3中。表

表 1-3 安装费用总体系数 F_G

建 设 类 型	F_G
全部新建工厂①	
加工固体物料	0.8
加工固体及流体物流	1.2
加工流体	1.5
装置范围内的建设与扩建②	
加工固体物料	1.6
加工固体与流体物流	1.9
加工流体	2.5

① 在未经平整土地上的完全新建工厂。

② 靠近已有的工厂,该厂提供主要的公用工程。

●参阅下文“价格指数”一节及图1-1。

中的总体系数是由该组内所有的设备作为一个总体的安装费用组成的。所以，系数法估价的精确度可按下述得到改善，即将各种类别的设备分别处理，而对各类设备来使用安装系数 $F_{I,i}$ ，方程（1-2）于是变为：

$$C_I = \Sigma [(C_{E,i})(1 + F_{I,i})] \quad (1-3)$$

表1-4列出典型普通材质的各类设备的不同 $F_{I,i}$ 系数的数值。

表 1-4 安装设备典型费用系数 $F_{I,i}$

设 备 类 型	$F_{I,i}$		
	全部碳钢	全部304不锈钢	全部316不锈钢
立式容器	2.0	1.2	1.1
卧式容器	1.1	0.8	0.7
储 罐	0.3	0.2	0.2
两侧管式换热器	1.3	0.8	0.7
空气冷却器	0.8	0.4	0.4
泵及驱动机	1.4	0.9	0.9
压缩机及驱动机	1.2	0.8	0.7

方程（1-2）及（1-3）所代表的数值是设备本身及安装它们的费用，还包括必要的基础和所需电气、仪表的费用。由此获得的建设费用，对全新设施还必须乘上系数1.8而对（装置）边界范围内的建设与扩建乘上系数1.4。这样的数值包括了场地准备、挖方及必要的厂房与服务，还有设计与现场（服务）费、税款、保险费、承包商费用及不可预见费。

二、详细估价

详细估价与初步估价不同之处，首先在于前者是各专业的联合工作。当设备已实际地决定尺寸后，尽可能多的件数可从供货商得到价格。此外，各设备的安装费用以及必须的管道与附件如伴随管及保温等都已实际计算出来，而不是仅用系数来包括。工艺工程师的责任是要准备出最初步的流程图，表明所有的主要设备及辅助设施并带上大致的尺寸与所用材质。工艺工程师和其他专业的工程师、设计员一起在指定给该项目的场地上布置初步的设备布置图。从流程图上初步的管道尺寸以及初步布置图上各设备的位置，制备一份所需各种类型的管子与管件的大概估计。按型号、尺寸与材质分列的大致阀门件数是从初步的流程图获得的，而各种管件的数目则是从设备布置图上进行概略的线路规划而判断决定的。

工艺工程师要和其他专业工程师一起工作并帮助他们作出他们那部分的估价。主要设备与辅助件的清单由工艺工程师编制。和机械工程师们一起与制造商接触以获得与初步描述一致的设备现行价格。机械工程的工程师们还可以使用流程图、设备布置图及设备清单以规划出项目所需的管线图、三向等角管段图及各种规格表的数量。

列举按所需种类的所有电动机及其初步估算的功率的一张表送交电气工程师，使他们能规划必须的电动机控制中心与二级变电站。

流程图上应注明任何电伴热管线及其他任何特定电力（安全）分类的要求。设备布置图可供电力工程师用以准备初步电力导线与电缆槽的线路。电力工程师还可使用流程图与设备布置的资料来预测该项目所必要的设计工作量、图纸及规格表的数量。

同样,仪表工程师们利用初步的流程图来作出测量、计量与分析点以及控制阀(站)的数目和尺寸的估计。初步的设备布置则使他们得以规划就地控制盘、控制室、以及传输与控制点之间彼此连接及接向控制盘或控制室的仪表空气管线或电气讯号线的布置。这又转而使仪表工程师们得以估算该项目中仪表控制流程图、图纸、逻辑线路图及规格表的需要量。

设备布置图加上所有设备的清单、注明尺寸及大概的操作重量,就使结构工程师们能估算基础、钢支架、混凝土工程以及有关的地下与地面工程。由此,结构工程师们就可以预测该项目必须准备的图纸与规格表的数量。

假如该项目是够大的,则可以指定一个估价人员,将各专业获得的、有关设备与辅助费用的资料换算成为该项目总的建设费用。假如来配备估算人员,则各专业必须对所负责的部分估算其建设安装费用。工艺工程师通常与机械工程师们一起工作以确定有关设备、管线、管件、阀门与保温等的费用值。

前已述及,未安装的设备现价可以直接从制造厂获得。但如有必要而又不能与供货商接触,则前一节“初步估价”中描述的对设备价格比例取值的技术可以采用。结构(工程师)组则可对各种基础的开挖量与所需混凝土量,具体算出立方米数值,这些数值又可以按理查森的《加工工厂建设费用估算标准》(Richardson's Process Plant Construction Estimating Standards)所给出的系数,表示为所必需的“工-时”数目,该书中还列举美国国内不同地区典型的每小时工资费率。该估价标准同样也给出许多不同种类设备、管线与管件的安装费用。

在各专业都已将资料变换成为有关设施安装建成后的费用时,即送交项目经理。各专业同时提交给项目经理一份该项目本专业部分所需要图纸的估计数,同时也估计为制作图纸、进行所需计算及形成规格表以确切阐明该项目所需的估计工-时数目。项目经理或另一指定的工程师校核并汇总各专业送来的建设费用,再加上必要的“加价”、不可预见费和涨价数值。与详细估价一起,工艺工程师编制一件资料,说明每年所需的原料、中间材料及公用工程,以每小时需要量及每年耗用小时数为基础。同时列出产品与副产品的产率以及估计所需劳动力。

三、价格指数

为了使价格能与时间保持一致,有几种众所周知的系统是通常使用的,工艺工程师们可以采用,以便根据可以找到的过去的费用值来估算现行的价格。这些指数有:

(1)“工程设计新闻-纪录”指数——ENR指数(Engineering News-Record Index)。每星期由《工程设计新闻-纪录》公布,该期刊由McGraw-Hill公司出版。这一指数反映建造工业的价格,因为它以一定数量的建筑材料与普通劳动力为基础。ENR指数的基准以1913年为100。

(2)马歇尔与斯威夫特指数——M与S指数。马歇尔与斯威夫特出版公司每季度对47种不同工业部门的设备价格汇编为指数。期刊《化学工程》,也是由McGraw-Hill公司出版的,对8种不同加工工业及某些相关工业中设备价格的M与S指数分别进行报道,还有该期刊调查的、应用于所有工业部门的平均M与S指数值。M与S指数的基础是以1926年为100。

(3)《化学工程》期刊还每月报道它自己的CE工厂造价指数,还加上形成设备安装完毕总费用的各种不同部件的指数,这些费用都是初步估价或详细估价所需要的。上述各部件(的指数)的加权平均值就是CE工厂(造价)指数。这一指数的基础是1957~1959年的平均数值为100。