



化工装置 实用工艺设计

APPLIED PROCESS DESIGN
FOR CHEMICAL AND PETROCHEMICAL PLANTS

第①卷

Vol.1

(原著第三版) Third Edition

[美] E.E. 路德维希 编著
Ernest E. Ludwig

中国寰球工程公司
清华大学
天津大学
北京化工大学

联合翻译



化学工业出版社

化工装置

实用工艺设计

APPLIED PROCESS DESIGN
FOR CHEMICAL AND PETROCHEMICAL PLANTS

第①卷
Vol.1

(原著第三版) Third Edition

[美] E.E. 路德维希 编著
Ernest E. Ludwig

中国寰球工程公司

清华大学

天津大学

北京化工大学

胡 健 等译

秦霁光 审校

联合翻译



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

化工装置实用工艺设计. 第1卷/[美]路德维希(Ludwig, E. E.) 编著; 胡健等译. —北京: 化学工业出版社, 2006

书名原文: Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants

ISBN 7-5025-8376-9

I. 化… II. ①路…②胡… III. 化工设备-设计
IV. TQ051

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 020651 号

APPLIED PROCESS DESIGN FOR CHEMICAL AND PETROCHEMICAL PLANTS Volume 1, Third Edition/by Ernest E. Ludwig

ISBN 0-88415-025-9

Copyright©1999 by Butterworth-Heinemann. All rights reserved.

Authorized translation from the English language edition published by Butterworth-Heinemann (an imprint of Elsevier Limited)

本书中文简体字版由 Elsevier Limited 授权化学工业出版社独家出版发行。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2004-1429

化工装置实用工艺设计

(第1卷)

(原著第三版)

[美] E. E. 路德维希 编著

中国寰球工程公司

清华大学

联合翻译

天津大学

北京化工大学

胡健 等译

秦霁光 审校

责任编辑: 戴燕红 陈志良

文字编辑: 项 激

责任校对: 王素芹

封面设计: 于 兵

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市万龙印装有限公司装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 44 字数 1104 千字

2006年6月第1版 2006年6月北京第1次印刷

ISBN 7-5025-8376-9

定 价: 120.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

第三版中译本出版说明

《化工装置实用工艺设计》是1999年美国 Butterworth-Heinemann 公司出版的欧内斯特 E. E. 路德维希编著的《Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants》第三版中译本。原著共分3卷，于1964~1966年陆续发行。1977年发行第二版，1999年发行第三版。

化学工业出版社曾于1979年出版了由化学工业部化工设计院组织翻译此书第二版（美国海湾出版公司出版）中译本，书名为《化工装置的工艺设计》，已付印数万册。当时参加翻译工作的还有天津大学化工系化工原理教研室、北京化工学院、山东胜利石油化工总厂科研院所和设计院等单位。此书发行后在工程设计单位被广泛使用，一度作为设计指南，供不应求。

《化工装置实用工艺设计》一书主要介绍化工和石油化工装置的化学工程设计计算方法，汇集许多有用的资料，内容丰富、侧重实用，可供设计、生产和教学等方面的专业人员参考，也可作为高等院校高年级学生和研究生化工装置设计课程的参考教材。

此最新第三版中各章内容均进行了扩充，资料也进行了更新。第1卷第1章介绍了现代企业化工工艺设计管理和工程组织等方面的内容，囿于当时的历史条件，在第二版中译本中未能出现。在本次第三版的翻译出版中，恢复了原著的本来面貌。第2卷第8章中增加了多组分精馏和间歇精馏的基础设计内容，用于精馏操作的机械设备的种类目前已有大幅度增加；第9章在原有版本的基础上作了很大更新，以充分反映应用范围迅速扩展的填料塔的研究进展。第3卷在传热、制冷装置、压缩设备、压缩缓冲罐、机械驱动装置的最新技术和工艺进展方面增加了200页的内容。这些更新使得第三版的出版更加有意义。

第三版第1卷由中国寰球工程公司组织翻译与审校，参加人员有胡健、秦霁光、李静、赵敏、汪宗承、张一兵、王红、吉京华、陈洋、李艳群。第2卷由天津大学化工学院组织翻译与审校，参加人员有姜忠义、李鑫刚、王保国。第3卷由北京化工大学化学工程学院、清华大学组织翻译和审校，参加人员有李春喜、李以圭、史奇兵、张霓、刘中林、于春影、尚建壮。设计大师伍宏业教授对本译著的翻译出版始终给予了极大的关注和指导，还有许多同志为本书的出版付出了大量的心血。谨此，一并向他（她）们表示衷心的感谢。

本书所存不妥之处，还望读者不吝赐教。

2005年10月

译者

第三版前言

《化工装置实用工艺设计》是一本化学工程与工艺方面的工艺设计手册，介绍了一些设计方法和基本知识并附有相关的机械数据和图表（一些扩充的数据图表放于附录中）。本书有助于工程师对问题的研究和分析，找到设计方法以及合适的机械规格以保证所选用的机械设备可以满足工艺目标的要求。在有关章节中扩充了一些化工厂和设备设计的安全要求及应用，强调了适用的安全规范、设计方法以及一些新的重要数据来源。

本设计手册不是一本充满各种方程和数据，而没有应用说明的书。相反，对于工程师来讲，它是一本将化学过程转化为适当详细硬件（设备）的指导书。因为如果没有适当尺寸和详细内部结构的设备，则工艺过程很可能无法实现特定的目标。本书并不推导理论方程，相反，它将具有坚实理论基础的方程直接应用于实际的设计过程。书中所推荐的绝大多数方程已经用于工厂设备的实际设计过程中，并被认为是最合理的方程（专利数据和设计方法除外），而且无论经验丰富的工程师还是新手都可以应用。作者有意识地提供了一些判断、决定和选型的指导原则，其中有些原则见诸于说明性示例中。本人的经验表明，设计资料对于解决工厂操作中出现的设备或系统的性能分析都是很有益处的。本书也可作为综合性大学高年级学生或研究生的化工设计课程教材。

本书内容适合于具有1~2年工程基础教育的大学生工程师或者具有坚实专业基础知识的大学毕业工程师。本书为读者提供了实用的设计技术以及机械详细设计和设计规定。作者认为，除非工程师确定出了工艺设备的计算结果，可以经济地制造出来，或者从制造商的设计中作出合理选择，并用形象或思维方法从机械方面对所设计的工艺过程的功能作出解释，否则，工艺工程师就没有充分发挥其职能。本书的重点放在机械规程和一些要求上，这对于设备的规格以及特定的实际详细设计至关重要。对于实际设计中比较重要的一些机械和冶金学方面的规定在标准的机械工程教材中通常是找不到的。

书中各章是根据设备的结构功能，而不是按先前建议的单元操作的标准来组织的。实际上，有些章节采用了相同的原则，但考虑到工艺“过程”以及该过程中设备“功能”的不同，因此需要不同的解释。

为了保证新版内容比较详细，所需准备的材料太多，有些在以前版本中出现过的重要内容在本版中就删掉了。有关腐蚀、冶金学、成本估计和经济性等方面的内容将留给专门的著作来介绍。静电学方面的内容在工艺安全章节中进行了阐述，而机械驱动装置（包括电动机）单独作为一章进行叙述，因为很多工艺设备在特定条件下要求采用不同类型的电动或机械驱动装置。尽管有些内容未能在本版中介绍，但本书介绍的设计技术，基本上可适用于75%~85%以上的应用问题。

随着对于化学、物理、冶金学、机械学和聚合物/塑料科学问题更好的解释的出现，化学工程科学得到了发展，实用的化工工艺设计技术也日益完善。因此，在第三版中给出了一些其他的可靠设计方法。这些方法是由相关领域内有资格的个人或研究团体根据相关数据和经过检验的成熟技术而提出来的。自第一、二版以来，在工艺设备设计的计算硬件标准化方面已经取得了很大进展（这意味着一定程度的改进）。许多重要的基础标准都已写入新版本中，而且每章都用新资料进行了扩充和更新。

作者详细检查了各章内容，并用一些较新的设计方法替换了一些“陈旧”（未必过时）的内容。当然并不是对全部内容进行了更新，因为多数较“陈旧”的内容，仍然是目前最好的方法，并能给出最好的设计结果。为了方便设计和对设计方法进行说明，本书还增加了一些图表。

许多工业公司慷慨地提供了宝贵的设计数据和资料，作者对此深表感谢。因此，在书中适当地方都标明了资料出处，除非在很少一些情况下有特别要求要省略出处。

作者承担这项工作，承蒙 James Villbrandt 博士以及已故 W. A. Cunningham 博士和 John J. McKetta 博士的鼓励。其中后两者以及已故 K. A. Kobe 博士都为本书提供了很多建议，使之能够作为教材使用或者对各方面的工程师提供有用的资料。

另外，作者对于道化学公司允许使用某些尚未公布的资料并同意出版深表感激。在这方面，作者尤其感谢已故 N. D. Griswold 和 J. E. Ross 先生。同事 H. F. Hasenbeck, L. T. McBeth, E. R. Ketchum, J. D. Hajek, W. J. Evers 和 D. A. Gibson 对本书材料进行了校订并提出了建议，作者对此表示由衷的感谢。本书承蒙 Rexall Chemical Co. 公司鼓励完成，在此一并表示感谢。

Ernest E. Ludwi, P. E.

第二版前言

当化学工程科学的原理出现更好的新解释时，工艺设计技术也随之发展。因此，基于一些成熟技术和相应的支持数据，我们在第二版中增加了其他一些可靠的设计方法。自第一版以来，用于设计工艺设备的设计硬件在标准化和设计改进方面已经取得了很大进展。因此，在新版本中我们尽可能反映这些标准化的内容。

恰当工艺设计的核心是将过程的要求表达为布局合理，选型合适的机械硬件，包括现成机械设备（合适的电驱动装置和控制仪表）、用户设计的一些容器及控制部件等或前者的某种组合。在这些设备中或通过这些设备可以实现特定工艺条件的要求。因此，工艺设计人员必须能从物理和数学两方面预见在建议控制模式下过程的行为。

本书大部分章节都进行了扩充，增加了一些新的内容，并删除了一些过时的内容。

第10章的内容已经更新，新版本增加了几种冷凝情况下以及热虹吸再沸器应用方面的重要设计方法。

第11章增加了一些数据以及轻质烃新制冷系统的设计。

第12章只进行了简单更新。

第13章“往复式压缩缓冲罐”介绍了几种新的设计方法以及一些详细例子。

第14章“机械驱动装置”的更新内容包括美国电器制造者协会的最新规程和标准以及一些新型高效电动机的信息。

另外，新书附录还提供了一批基本参考文献和换算数据。

尽管计算机正日益成为工艺设计人员的有用工具，但将书中介绍的基本设计方法转化为设计程序所需要的数学方法和程序编制的介绍已超出了本书的范围。目前，已有许多工艺设计与优化方面的计算机程序。鼓励工艺设计人员开发自己的程序或熟悉由公认的计算机设计和仿真供应商所开发的商用程序。

工艺设计方面的很多内容对于化学工程师以及参与化工或石油化工详细设计的其他工程师所设计工艺的性能来讲都是至关重要的。由于实际需要，工艺设计已经发展成为化学工程广泛工作范围的一个独特部分。

目 录

第 1 章 工艺策划、计划和流程设计	1	雷诺数, Re (有时用 N_{Re})	76
组织机构	1	管道、管件和连接件的摩擦压头损失 (阻力)	81
工艺设计范围	2	管道的相对粗糙度	81
工艺设计工程师的任务	3	不可压缩流体在直管中的压力降	81
流程图——类型	4	不可压缩流体的管件、阀和连接件压 力降	82
流程图介绍	17	在内径尺寸不同的系统中使用 K 值的共同 基准	83
总体布置指南	18	K 值的有效性	88
计算机辅助流程图设计/制图	19	层流	88
流程图图例符号	19	突然扩大或缩小	92
线形符号和标注	25	管道系统	92
管线的结构材料	25	阀门的阻力	92
管线的试压	26	阀的流量系数 C_v	93
工作表格	33	喷嘴和孔板	93
条件检查清单	35	管道系统摩擦压头损失的另一种计算方法: 液体	99
标准和规范	35	阀门、管件等的当量英尺概念	99
系统的设计压力	41	非黏性液体的摩擦压力降	99
时间计划和进度	43	液体、蒸气和气体通过控制阀的压力降 计算	103
活动分析	43	水流动时的摩擦损失	110
物性数据的收集和汇总	44	水从水平管开口管端流出	111
估计的设备计算人工时	44	水锤	111
估计的工艺设计总人工时	47	可压缩流体流动的摩擦压力降	118
典型的人工时模式	49	管道中可压缩流体的速度	118
影响因素	51	蒸气、气体流动时的摩擦压力降	118
人员指派	52	用于可压缩蒸气和气体的达西理论关 系式	124
装置布置	53	可压缩流体流动问题的其他解法	125
费用估算	55	空气的摩擦压力降	126
0.6 指数	56	气体和蒸气流动的声速限制	127
年价格指数	56	计算步骤	136
投资利润率	57	可压缩天然气在长输管线中的摩擦压 力降	138
记账协调	58	Panhandle-A 气体流动公式	140
参考文献	58	修正 Panhandle 流动公式	141
补充文献	60	美国气体协会 (AGA) 的干气法	141
第 2 章 流体流动	63	输送天然气 (或类似气体) 的复杂管道 系统	142
范围	63	气液两相流动	143
基本原理	63	流动类型	143
不可压缩流动	63	水平管道中的流动类型	144
可压缩流动: 蒸气和气体	66	系统总压力降	145
设计安全系数	67		
重要的压力基准	67		
管道、管件和阀	67		
管道	68		
工业管道常用的管道尺寸和习用等级	69		
管线的总压力降	75		
基础资料	75		

真空系统的压力降	148	往复泵	250
低绝压空气系统	149	往复泵结构的主要特点	250
其他气体和蒸气的真空度	151	用途	252
非牛顿型流体流动的管径计算	153	操作性能	252
工艺装置管道中料浆的流动	154	排液流动形式	252
闪蒸液体的压力降	157	功率计算	252
凝液回流管线尺寸的确定	157	选泵	255
应用 Sarco 图的计算步骤	158	符号	255
符号	182	下标	256
下标	185	希腊字母	257
希腊字母	185	参考文献	257
参考文献	185	补充文献	258
补充文献	187	第 4 章 机械分离	261
第 3 章 液体输送	190	粒度	261
泵设计的标准化	198	分离器的初选	261
离心泵的主要部件	198	除尘器应用指南	267
叶轮	199	液体-固体颗粒分离器指南	270
壳体	200	重力沉降器	271
轴	200	API 油田分离器	277
轴承	201	液/液、液/固重力分离、倾析和沉降	
转轴上的填料和密封	201	设备	277
离心泵选择	206	Happel 和 Jordan 改进的方法	280
单级(单叶轮)泵	206	倾析器	282
泵的串联	209	撞击式分离器	286
泵的并联	209	纤维床/垫撞击式分离器	297
离心泵的水力特性	212	离心式分离器	302
静压	214	洗涤器	314
压头	215	布袋分离器或袋式过滤器	317
流动引起的摩擦损失	215	技术说明	319
吸入压力及抽吸高度 h_s	216	电除尘器	325
排出压头 h_d	217	符号	327
速度头	218	下标	329
摩擦	219	希腊字母	329
NPSH 与泵的吸入	219	参考文献	329
NPSH _R 的修正	223	补充文献	331
比转数	225	第 5 章 液体的混合	333
转速	227	机械部件	335
输送系统及其特性	228	叶轮	335
扬程、功率、流量和转速之间的关系	232	混合概念、理论及基本原理	343
温升和最低流量	239	流动量	344
离心泵规格说明表	242	流量数	344
输送泵的台数	245	功率, P ; 功率数, P_o ; 雷诺数, N_{Re}	345
流体条件	245	轴	354
输送系统条件	245	传动装置和齿轮	354
泵的类型	245	定位轴承	354
驱动机类型	245	结构材料	355
垂直抽吸的吸水池设计	246	设计	355
旋转泵	247	规格明细表	355
选泵	250	流型	355

导流管	358	混合物的总体积	417
夹带	360	漏入系统的空气量	417
间歇或连续混合	360	水中释出的溶解气体	420
放大及说明	361	喷射器吸入口的总抽气量	422
挡板	369	多级系统中喷射器的抽气量	422
叶轮位置和布置：顶部中心插入	370	主喷射器	423
过程的结果	371	抽空喷射器	423
掺和	372	负荷的变化	423
乳化	373	蒸汽及水的用量	424
萃取	374	喷射器系统的规格明细表	428
气-液接触	374	喷射器的选择步骤	431
气-液混合或分散	375	大气式冷凝器	431
传热：罐中的盘管，液体的搅拌	375	推荐采用的温度	431
在线、静态或静止的混合器	382	水喷射器	432
应用	383	蒸汽喷射热压器	432
结构材料	385	喷射器的调节	432
混合器的设计和计算	386	系统抽真空所需的时间	433
压力降	387	使用机械泵抽真空所用的时间	433
功率需求	387	蒸汽喷射器的抽空时间	434
符号	388	抽空——选择的步骤	435
下标	390	抽空——实例	435
希腊字母	390	机械真空泵	436
参考文献	390	液环真空泵/压缩机	437
补充文献	392	工作原理	437
第 6 章 喷射器和机械真空系统	393	旋转叶片式真空泵	441
喷射器	393	旋转鼓风机或罗茨鼓风机	442
真空安全性	394	旋转活塞泵	446
真空设备的典型特性范围	394	符号	446
特点	395	下标	447
喷射器类型	397	希腊字母	447
结构材料	401	参考文献	447
真空范围选用指南	401	补充文献	448
压力术语	403	第 7 章 工艺安全性与泄压装置	449
低绝对压力下的压力降	407	正泄压装置的类型（结构细节见制造商	
操作因数	407	样本）	449
蒸汽压力	407	阀门和泄放装置的类型	451
湿蒸汽的影响	409	泄压名词的定义	455
过热蒸汽的影响	409	结构材料	464
吸入压力	410	规范总则	467
排出压力	410	泄放机构	467
抽气量	410	压力设定和设计基础	468
负荷的种类	411	仅非直接受火压力容器，但不含直接受火	
空气与水蒸气的混合物	411	或非直接受火蒸汽锅炉	469
蒸汽和空气混合物温度	412	泄放压力或设定压力的确定	472
两种蒸气的饱和混合物的总质量：其中一种		蒸气用安全和安全泄放阀	473
是可冷凝蒸气	413	选用	473
不凝气体和工艺蒸气的混合物	413	系统超压的原因	473
不凝气体和水蒸气的混合物	414	无火生产操作所需的泄放量	474
空气与水蒸气混合物的质量	417	安装	476

安全阀、安全泄压阀和爆破膜选用	
要点	481
安全阀和安全泄压阀泄压面积的计算	483
标准压力泄放阀泄放面积排放孔口	483
泄放时安全泄放型装置所需流通面积的尺寸	
计算	483
两相气-液混合物对阀泄放能力的影响	484
气体或蒸气或液体条件下仅恒定背压的常规	
泄压阀孔口面积	484
孔口面积计算	487
紧急情况压力泄放：着火和爆炸情况下的爆	
破膜	499
外部火灾	499
外部火灾的设定压力	500
爆破膜的设计与规格	504
订货详细说明	504
尺寸的选定	505
非爆炸性爆破膜泄压面积的计算	505
制造范围 (MR)	505
选择膜片的破裂压力 P_b	506
温度对膜片的影响	508
爆破膜组件的压力降	508
低压储罐的压力-真空泄放	518
低压储罐的基本排放	518
没有冷却的地面储罐, API 标准 2000	520
事故放空设备	530
地上及地下的低温储罐	530
阻火器	534
爆炸	535
限制的爆炸	535
可燃性	536
术语	536
易燃气体的混合物	539
压力和温度的影响	543
易燃混合物的点燃	547
易燃液体的水溶液	548
冲击波压力	548
冲击波比例	555
气体/蒸气 (无粉尘) 的爆炸放空	556
液体雾爆炸	558
泄放尺寸：气体和蒸气爆炸	559
低强度密闭体中突燃放空或泄放面积	
计算	560
高强度密闭体突燃	561
确定高强度密闭体内气体/蒸气/液雾的	
突燃泄压面积	562
对于没有试验数据或数据资料的系统	563
粉尘爆炸	566
不封闭的蒸气烟云爆炸	578
放空管线的影响	579
各排放口之间的最大距离	579
反应失控：DIERS	580
DIERS 最终报告	580
火炬/火炬烟囱	580
火炬	582
火炬烟囱和容器/管道的吹扫	589
静电	590
符号	592
下标	597
希腊字母	597
参考文献	597
补充文献	601
附录	610

第 1 章 工艺策划、计划和流程设计

工艺设计是将化学、机械、石油、天然气和其他工程的技能应用到与工艺有关的开发、策划、设计和决策中去，以便经济和有效地完成一个工艺项目^[7]。尽管工艺设计工程师从组织机构上可以属于研究、技术服务、经济评价以及其他专门的部门，但通常可将他们安排到一个与开发项目工程细节有关的工程组中，这是为了提供工艺设计以及评估各类设备的投标文件。与化工或石油化工生产公司相比，在工程公司中，工艺设计通常负有更多的技术组织核心责任，且此责任的差异程度随公司组织机构的大小而变化。

一般工艺工程师有下列职责。

① 对各种产品的生产或现有生产装置的改进或改造，进行工艺循环和系统的研究，做出物料和热量平衡。

② 进行与工艺性能有关的经济性研究。

③ 设计和/或规定所需设备的类型，以详细说明工艺流程或流程系统；确定耐腐蚀的结构材料。

④ 评估设备的竞标文件。

⑤ 评估已有或试验设备的操作数据。

⑥ 指导制图员绘制详细工艺流程图。

工艺工程师也要开展试验，并对试验研究装置得出的数据和资料进行分析。他协助将供研究的工艺过程放大，使之在工业上可行。

工艺工程师应了解一个项目的研究、设计、采购、催交、施工和操作职责之间的相互关系，他必须评估每一个职责可能以及经常影响或干扰工艺设计的决策。例如，当设计的基本部件不能经济地制造，或虽有能力制造，但无法按项目的建设进度要求交付时，还浪费时间进行详细设计和计算就是愚蠢的。在项目的某些特殊阶段，要求了解的内容包括工厂布置、满足防腐蚀和强度要求的结构材料、开车操作、故障处理、维修、性能测试等。

组织机构

工艺设计职责可以安排在一个组织机构中若干个可能的工作位置中的任何一处，这些位置将受整个公司的主要功能，亦即为化工生产、工程设计、工程销售、成套设备的设计和制造或特殊设备制造等所影响。与公司的性质无关，工艺设计是一种特殊类型的工作，为了使效率达到最高，最好能特别确定并给予它与公司内外接触的必要自由度，以保持高的实际经验水平，然而管理应是严格的。

一个典型的工作组织安排如图 1-1 所示的工艺设计部门组织机构^[7]。

在一个咨询或工程承包公司中，工艺设计和/或工艺工程通常是一个独立的部门，负责与客户一起开发工艺，或将交钥匙工程的工艺传授给客户。

在一个操作或生产型的化工或石油化工公司中，工艺工程和设计可能设置在研究、技术服务或工程部门。如果公司规划新的项目和工艺，在大多数情况下，它将附属于工程部门。如果设置于别处，则设计和规划工作就必须与工程活动紧密配合。

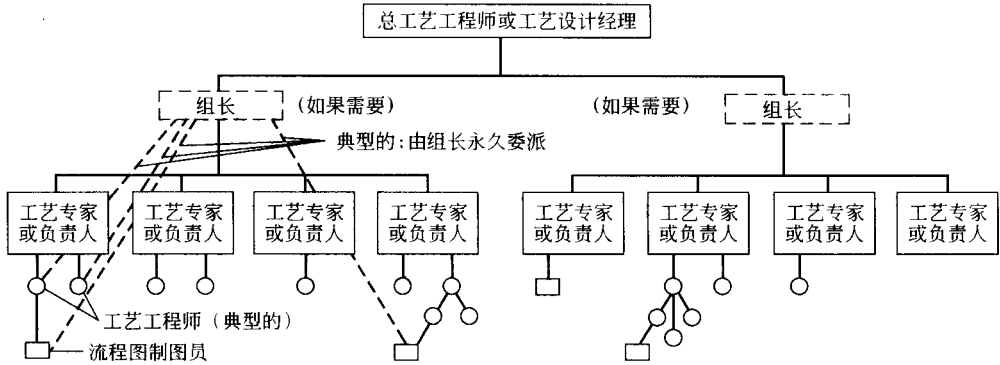


图 1-1 工艺设计部门组织机构（本图承 E. E. Ludwig^[7]同意采用）

注：工艺工程师，○，根据项目需要，被指派到项目中所能胜任的相应位置。任何一个工艺工程师均有可能被指派为工艺负责人

最直接的做法是建立一个以项目工程师或项目经理为首的项目组来管理产品公司委托的装置开发建设全过程。如果是小型的项目或任务，则项目的活动范围十分有限，因而常将项目和工艺的职责简单合并在一起。对于 500000 美元以上的项目，通常将项目和工艺的职责分开，以便及时完成工艺设计阶段特定的工作量。如果工艺设计工程师常常被迫中断计算和技术要求的编制工作，而去从事一些电气、结构，甚至是催交问题等工作，设计工作就不能高效地完成，而且工艺设计的质量也常常会受到影

响。因此，应假定完成各阶段工作以及整个项目有一固定目标时间。

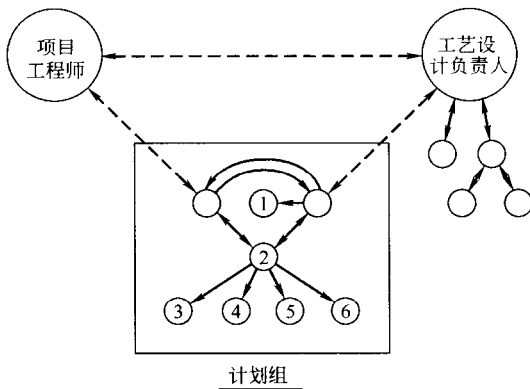


图 1-2 “工程计划组”的典型组织结构（本图承 E. E. Ludwig^[7]同意采用）

“工程计划组”的典型组织结构如图 1-2 所示，它形象地说明了完成一工艺项目计划的人员安排。箭头示出信息流的方向，也就是在完成一工作任务中，工艺设计功能的相互配合关系。在方框中的项目计划组借形成一种完成工程设计的相互理解氛围，使所有工程阶段处于合理的安排之中。这实际上是为机械容器、管道、结构、电气、仪表、土建和其他所有特殊工作所体现的。

在许多项目中，负责工艺的工程师和项目负责工程师是仅有的了解所有项目范围细节的人员。

工艺设计范围

这里，术语“工艺设计”系用于包括有时称为工艺工程的工作。然而，在一些工艺工程设计中，并非所有的工艺设计功能都需详细完成。正如讨论的那样，工艺设计包括以下内容。

- ① 工艺的物料和热量衡算。
- ② 工艺循环的开发、中间规模装置数据或研究数据的关联以及物性数据的关联。
- ③ 辅助系统的物料和热量衡算。

④ 开发工艺流程图和完成详细流程图。

⑤ 对流程图所需的特定位号设备进行化学工程性能设计，并将其转化成实用和合理的机械技术要求。此时，工艺要求被转化成硬件结构，可在产品生产工艺的每一步骤中完成工艺的最终结果。

⑥ 建议与工艺性能有关的仪表，并将工艺要求转化为仪表技术规格。

⑦ 在项目的各个阶段，将工艺要求转化为适当的机械、结构、土建、电气、仪表等专业的设计输入。

⑧ 以合适的表格和/或详图编制说明书，供项目组以及采购工作使用。

⑨ 评估标书以及推荐合格厂商。

上述大部分功能本身是十分明确的，因此，这里仅将重点放在那些需详细解释的功能上。

工艺设计工程师的任务

尽管工艺设计工程师的工作任务可能包括上面列出的所有要求，但是以一定详细程度认识这些要求是非常重要的。工艺设计工程师除了有能力参与评估研究和中间规模装置数据以及将这些数据转化为工业化工艺流程外，还必须完成以下任务。

① 能通过“手算”和使用计算机程序对提出的工艺进行热量和物料平衡计算。

② 进行粗略的费用经济性估算，包括设备尺寸的初估和重要设备结构；乘以系数得到大致投资费用^[34]（也可参见参考文献 [19]）；进行生产成本估算；与经济评价人员一起确定所提出工艺的资金偿还和财务经济性。

③ 参加提出装置的平面布置^[46,47]。

④ 进行最终的详细热量和物料衡算。

⑤ 定出所有工艺设备的详细尺寸以及可能的某些公用工程系统。重要的是，工艺工程师应能想象出通过系统以及在不同设备内流体的流动和过程，以便充分了解在加工期间到底发生了什么。

⑥ 进行或指导完成用于他方评阅的工艺流程图草图。

⑦ 进行或指导完成管道或机械流程图（或管道和仪表流程图——PID），所有管线、蒸馏设备、泵、压缩机等应有必需的初步尺寸，并由仪表工程师提供所有仪表的详细结构。

⑧ 制定所有设备、储罐、泵、压缩机、分离器、干燥系统、冷冻系统等的工艺和机械的技术规格说明。它必定包括结构材料和安全系统的选择，并与仪表和电气所要求的技术条件相协调。

⑨ 确定所有安全泄放阀和/或爆破片的尺寸和规格，以便进行工艺安全泄放（包括反应失控）和外部火灾时的泄放。

⑩ 编制阀门代码技术条件，合并至⑥中，或根据流体及其操作条件，由现有公司标准中选择（见图 1-25 和图 1-26）。

⑪ 从公司的绝热标准中选择（或需要时，编制）用于每一根热管线、冷管线或设备的绝热代码。请注意，在某些情况下，仅仅为了防止操作人员接触热设备或冷设备，管线也应进行绝热。典型绝热厚度见表 1-1，由此表可以确定绝热代码号。

⑫ 确定每一台工艺设备的现场水压试验压力。有时，设备被封闭或封堵且在现场不需试压，因为按 ASME 规范所有压力容器必须在加工或制造厂的车间内进行试压。

表 1-1 典型绝热厚度 (用于 70~1200°F、36in 及以下直径的管道、容器和设备) /°F

管道直径/in	绝热厚度/in				
	1	1½	2	2½	3
2½及以下	700	1000	1200		
3	700	900	1100	1200	
4	700	900	1100	1200	
6	600	800	1000	1200	
8	—	800	1000	1200	
10	—	800	1000	1200	
12	—	800	1000	1200	
14	—	800	1000	1100	1200
16	—	800	900	1100	1200
18	—	800	900	1100	1200
20	—	800	900	1100	1200
24	—	800	900	1100	1200
30	—	800	900	1100	1200
36	—	800	900	1000	1200

注：1. 表中的温度为给定厚度下的最高操作温度，°F。

2. 所有热保温管道应编号，包括人身防护的保温管。厚度与绝热材料的组分有关。

⑬ 编制管线一览表和/或管线汇总表 (见图 1-24A~图 1-24D)，以及设备汇总表 (见图 1-27、图 1-28、图 1-29、图 1-30)，加上安全阀和爆破片汇总表、压缩机汇总表以及其他主要设备汇总表。

⑭ 编制详细工艺和机械的技术要求，供采购部门编制采购招标文件使用。

工艺设计工程师实际上是将工艺流程转化为合适的硬件 (设备)，以达到工艺要求。因此，工程师必须关心和熟悉：装置布置；考虑维修时设备的相互关系；装置中设备的安全性；火灾和/或爆炸的可能性；装置设备区外部火灾的可能性；危险条件的存在，包括可能产生的有毒物质和污染。总的来说，包括综合的实际情况。

工艺工程师应具有了解有不同工艺要求的工程学科之间相互关系的能力，这对于详细设计是必不可少的。例如，了解工艺环境下与腐蚀有关的冶金学和某些冶金学试验的要求，对于获得可靠的工艺设计和设备技术要求是绝对必要的。体现这方面重要性的一个例子是氢脆 (见参考文献 [54] 中的最新曲线图)。另一个重要领域是给水系统^[49]，选择结构材料的工程师应认识到在工业设备的设计中，塑料和塑料复合材料的重要性，并应了解塑料常具有比金属材料更好的耐腐蚀性能。

流程图——类型

流程图是工艺的“路线图”，用于表示和清楚地指出项目的所有主要和有关操作的工艺范围。尽管各专业设计人员可能不太了解工艺或与其他设计阶段有关的一些细节内容，但随着项目进行，他们从流程图上可读到他们所负责部分的信息。这时就需要工艺工程师和/或项目工程师一起使这些工作环节相互结合。它常包括大量的解释说明，使其他专业的人员能对其任务以及完成此任务的有关问题有完整的概念。

流程图也用于向管理部门进行工艺介绍，以及用于工艺评价中有关经济性的研究。

一张好的工艺流程图是用图形以合适的顺序表示化学工艺步骤，它以图的方式，足够详细地将化学要求转化为恰当的机械描述。

有以下几种形式的流程图。

1. 方块流程图 (见图 1-3)

通常用于陈述初步或基本的工艺概念，不包括工艺细节。方块流程图不介绍如何实现给定的步骤，而是只表明做什么，它们常用于项目管理的综述、研究的概括说明、工艺“包”阶段的工艺建议以及商讨工艺概念。对于项目概况的介绍，图 1-4、图 1-5A、图 1-5B 和图 1-6A、图 1-6B 所示为示意流程图，可辅助图解说明基本的流程循环。

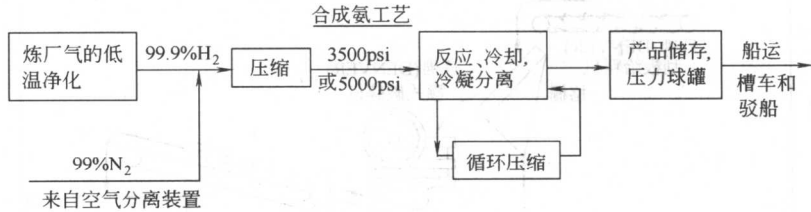


图 1-3 流程框图

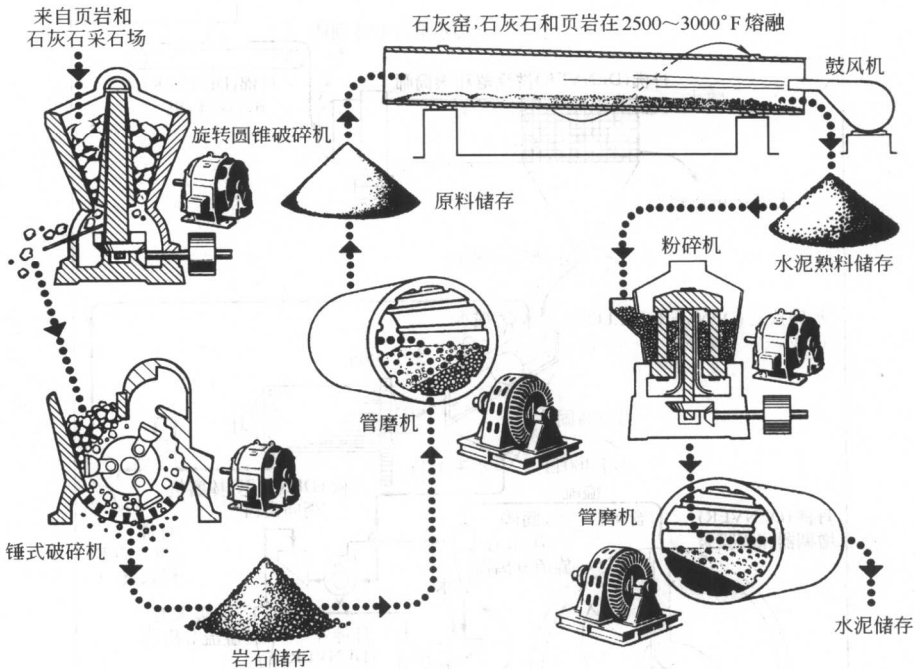


图 1-4 表明关键加工步骤的示意流程图：水泥生产（本图承 E-M Synchronizer, Electric Machinery Mfg. Co. 同意采用）

2. 工艺流程图或流程图 (见图 1-7)

用于给出工艺过程的热量和物料平衡，它可以是在主要设备上标有特定关键点数据的形式，或以更详细的形式标明每台工艺设备或工艺步骤各自的基本流量、温度和压力。它可以而且通常包括工艺所需的公用工程，如蒸汽、水、空气、燃料气、制冷剂、循环油等的数据。由于这类图可能包括详细的保密工艺数据，故它们不一定分发给那些将要接收和需要以下讲到的管道流程图的同项目组人员。

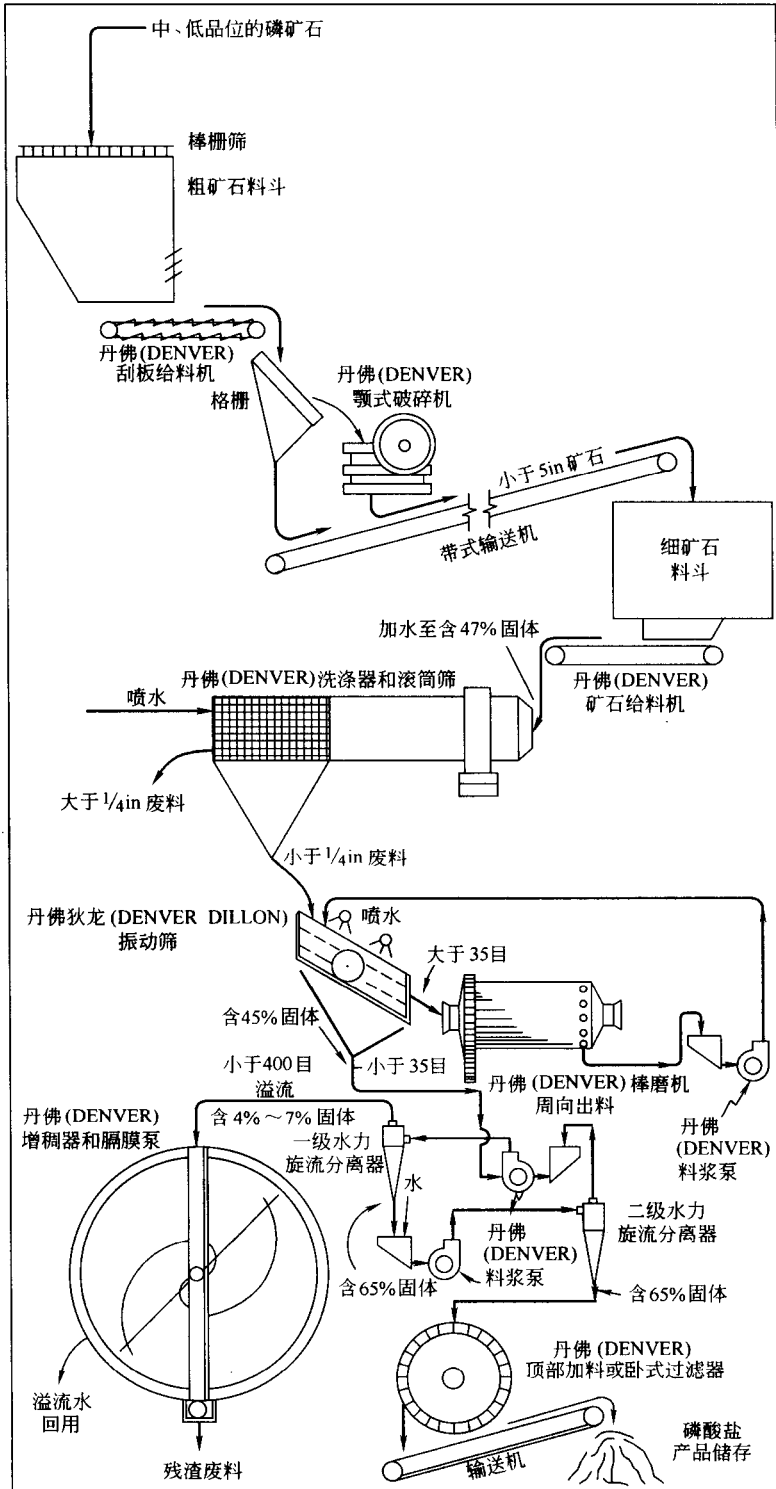


图 1-5A 示出主要操作原理的单元示意流程图：磷酸盐回收
 (本图承 Deco Trefoil, 1958, Denver Equipment Co. 同意采用)