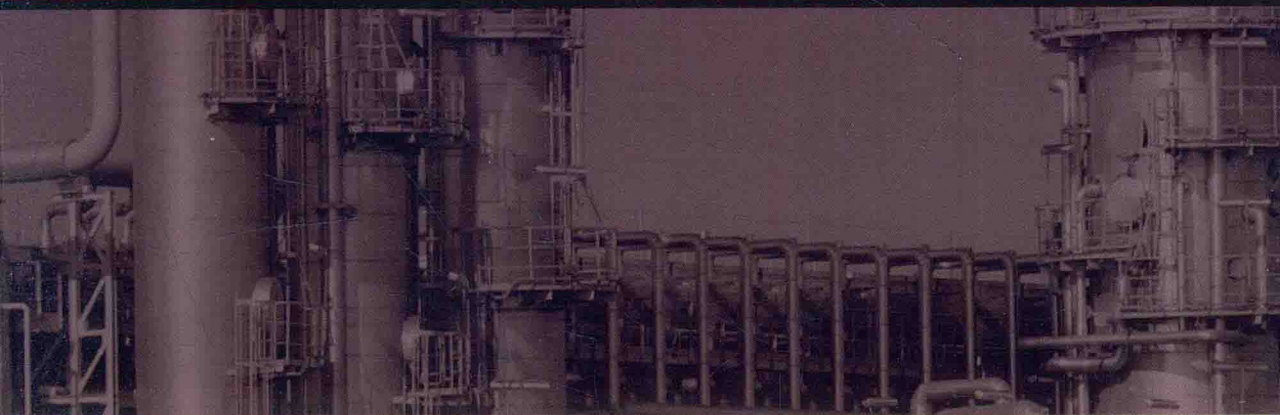


化工厂 系统设计

第三版



陈树辉 蔡尔辅 著



化学工业出版社

化工厂 系统设计

第三版

陈树辉 蔡尔辅 著



化学工业出版社

·北京·

本书在第二版的基础上增加了材料介绍、寻找系统故障以及作者见证过的严重错误案例等内容，并且对化工单元设备管道仪表流程图和有关计算也进行了补充，使其更加完善、系统化，实用性和系统性更强。

本书对在工厂直接操作生产的人员有很大帮助，也可指导化工、石油化工、医药、发电、环保等行业的设计人员进行工厂设计，还可作为大学化工专业即将毕业的本科生或研究生的辅助阅读资料。

图书在版编目 (CIP) 数据

化工厂系统设计/陈树辉, 蔡尔辅著. —3 版. —北京: 化学工业出版社, 2016. 2
ISBN 978-7-122-25681-2

I. ①化… II. ①陈…②蔡… III. ①化工厂-设计
IV. ①TQ08

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 272292 号

责任编辑: 辛 田 周国庆
责任校对: 吴 静

文字编辑: 冯国庆
装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张 34½ 插页 4 字数 924 千字 2016 年 3 月北京第 3 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 128.00 元

版权所有 违者必究

前言

几十年的时间很快便过去了，本书两位作者亦先后步入退休之龄。退休后有充裕的时间，故趁此机会回顾及总结过往，归纳自第二版以来积累的经验，对本书内容做出更新和整理。对第二版中不妥之处，缺少解释及讲得不够清楚、详细的地方都在第三版重新修改及做出补充；尽量让经验较浅的读者也能明白一切内容，从而获得正确的设计概念，以及在看过本书后可开始参与系统设计工作。本书所涉及范围很广，即使对从事化工行业多年、有相当经验的人员来说也不是一本容易阅读的书籍。书中很多内容都不是立刻可消化的；不少设计概念和专业名词等在前面章节提到，但要到后面章节才有详细解释。经验较浅的读者可能要前后反复多阅读几次才能理解和领略。

第三版增加了三章，分别讲述材料、寻找故障和作者见证过几宗的严重错误个案。考虑到我国工程行业要走出国门到外面竞争，第三版采用方便与英制对照的计算单位，在附录中也增加了一个单位转换表。书写这版的时间比较充裕，力求写得正确、完美。

要成为一个优秀的化工装置系统设计人员，必须多方面详细学习有关的知识，能多方面详细地思考和对建成的装置系统多方面详细跟进。希望通过阅读这本书，读者能领略这三个多方面的重要性，以后不仅在工作上，同时在处理生活中其他事情也能同样地多方面详细学习、多方面详细思考和对结果多方面详细跟进。化工行业千变万化，工艺种类繁多，竭尽两位作者几十年的工作经验也只可以接触到这行业的一鳞半爪。现把这些有限的经验悉数移交给有志于化工工程年轻的一代，愿他们在这基础上更进一步发展此行业，为实现他们的中国梦而奋斗；设计出安全、环保和节能的化工厂，更愿他们在提升生活水平的同时能不乱用和浪费国家有限的资源，保护祖国的生态环境。

Gary Pool, Stan K. T. Lau, John G. Schulz 和 Alistair M. Kennedy 几位先生之前对本书合著者陈树辉给予的指导和机会是毕生难忘的。笔者谨借此处向他们表示最衷心的感谢。另外，在寰球、成达两工程公司及山东化学工程有限责任公司举办的讲座中学员指出一些计算问题，使本书内一些例题能得到及时更正。笔者谨此向他们致谢。

由于笔者水平有限，书中不足之处在所难免，希望广大读者批评指正。

第一版前言

现代化工厂设计一般分为工艺设计、系统设计和施工图设计三个阶段。系统设计的任务是把工艺设计中的各种要求和对各种工程问题的处理方案贯彻在施工图设计中。系统设计在化工厂设计中处于极为重要的地位，其质量的好坏不仅关系到工厂建成后的生产和安全，也关系到工厂建成后能否一次投产成功。随着装置规模的大型化及人们对化工行业易燃、易爆特性的进一步认识，人们对系统设计的要求也越来越严格。

本书根据作者近年来在国内外多个工程公司工作的体会和经验，详述系统设计的内容，抛砖引玉，供读者参考。书中的例子选自作者参与的实际工程，有一定的实用性。由于作者水平有限，难免出现错误，敬请读者指正。

本书承蒙中国寰球化学工程公司唐礼民总工程师的指导和审阅，北京石油化工工程公司的有关同志在本书编写过程中也曾给予热情的帮助，在此一并致谢。

编者
1988年

第二版前言

近二十年来，化工厂的生产对安全因素的考虑有很多的发展。本书再版时，以此为重点，增加了这方面的内容，特别是著者在这方面的经验和体会。另外，对化工单元设备管道仪表流程图和有关的计算也补充了更多的内容，使之更加完善，更系统化。

从本书第一版出版至今，化学工业经历了很多的发展。其中最引人注目的是在化工生产和工程设计中广泛深入地使用计算机。计算机是一种非常有用的工具，但这只是一种工具，一种由人使用的工具。在培养年轻工程师的时候，经常见到人们过分地强调了计算机的功能，而没有足够地强调理解工程学上的基本原理和设计原则的重要性，以及怎么把这些原理和原则应用到实际的工程设计中去。编写本书的其中一个目的，是希望帮助年轻的工程师在通过学习管道仪表流程图设计的同时能领悟到这些工程设计原则和考虑要点，并可以更广泛地应用到其他工程设计中。对于工程计算方面，本书只提供简单但扼要的计算公式，这些简单的计算公式不但有助于理解工程基本原理，而且在很多情况下，也可以满足大部分系统工程设计的需要。著者把本人和其他人多年的实践经验归集在书中，其中大部分的经验可以直接或稍加修改在工程设计中应用。

编写本书时也考虑到适应更广泛的读者。对在工程公司工作的设计人员，将会发现本书对他们的工作非常有帮助，可以作为设计人员的培训教材。本书对那些在工厂直接操作生产的人员，对在需要改进现有的生产装置，或者需要对工程公司做的设计进行审核的人员都会非常有用。读者若有一些化工厂的工程设计经验或操作的经历，将更容易理解和吸收本书的内容。本书也可作为大学化工系即将毕业的本科生或研究生的教材或辅助阅读资料。

由于著者水平有限，不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

著者

2004年5月

代号索引

第 1 章	引言	011
1.1	系统工程的定义	11
1.2	基本知识和熟练要求	12
1.3	系统设计的重要性	12
第 2 章	管道仪表流程图的图面布置和制图要求	013
2.1	图面布置	13
2.1.1	工艺管道仪表流程图	13
2.1.2	公用工程发生管道仪表流程图	14
2.1.3	公用工程分配管道仪表流程图	14
2.1.4	辅助系统管道仪表流程图	14
2.2	管道仪表流程图的图号编制	14
2.3	管道仪表流程图的制图要求	14
2.4	管道仪表流程图的设计内容	21
2.4.1	设备	21
2.4.2	配管	22
2.4.3	仪表和仪表配管	23
2.5	管线号的编制	25
2.5.1	需要编号的管线	25
2.5.2	不必编号的管线	25
2.5.3	管线编号原则	25
2.5.4	管线表	26
2.5.5	管线表填写原则	28
2.5.6	管线表内容	28
	参考文献	29
第 3 章	化工装置建造材料选用	030
	参考文献	33

第4章 配管

034

4.1 工业用管和管件	34
4.1.1 工业用管	34
4.1.2 管件	39
4.1.3 法兰	39
4.2 阀门	41
4.2.1 阀门种类	41
4.2.2 阀门的选用	42
4.3 管道设计考虑要点	42
4.3.1 管道	42
4.3.2 切断措施	46
4.3.3 控制阀	47
4.3.4 放空和放净	48
4.3.5 取样	50
参考文献	50

第5章 仪表和控制

052

5.1 基本控制方案	52
5.2 工艺测量用仪表	59
5.2.1 压力仪表	59
5.2.2 温度仪表	60
5.2.3 流量仪表	61
5.2.4 液面仪表	64
5.2.5 分析仪	65
5.2.6 其他检测仪表	67
5.2.7 传感器和变送器	68
5.2.8 控制阀及其附件	68
5.3 联锁和可编程程序控制器 (PLC)	73
5.4 集中分散控制系统 (DCS)	74
参考文献	74

第 6 章 供电和电动机

076

6.1 化工厂的供电	76
6.2 不间断电源 (UPS) 和备用电源	76
6.3 电动机的运行	77
参考文献	78

第 7 章 工艺设备

079

7.1 泵	79
7.1.1 动力泵	80
7.1.2 容积式泵	93
7.2 风机和鼓风机	98
7.2.1 离心式风机和鼓风机	99
7.2.2 容积式鼓风机	107
7.3 压缩机	109
7.3.1 离心式压缩机	109
7.3.2 往复式压缩机	125
7.4 真空设备	135
7.5 蒸汽透平	144
7.6 压力容器	149
7.7 塔	159
7.7.1 蒸馏塔	159
7.7.2 吸收、汽提和急冷塔	172
7.8 储罐	179
7.8.1 常压储存	179
7.8.2 压力储存	182
7.9 换热器	188
7.9.1 管壳式换热器	193
7.9.2 螺旋板换热器	198
7.9.3 板式换热器	199
7.9.4 空冷器	201
7.10 加热炉和蒸汽锅炉	206

7.10.1	加热炉	206
7.10.2	蒸汽锅炉	232
7.11	过滤器	237
7.12	输送机	247
7.13	其他设备	252
	参考文献	255

第 8 章 环境保护和生产人员的健康及安全 259

8.1	环境保护	259
8.2	生产人员的健康和安全	261
	参考文献	263

第 9 章 操作 264

9.1	工厂的组织架构和运行	264
9.2	设计和生产人员的立场和观点的不同	265

第 10 章 安全 267

10.1	安全设计理念	267
10.2	安全分析方法	270
10.3	压力泄放装置的选择与应用	276
10.3.1	有关压力泄放装置的专业名词	276
10.3.2	压力泄放设施的组合结构及分类	278
10.3.3	制定压力泄放装置需要泄放量和考虑要点	282
10.3.4	选用压力泄放装置考虑要点	288
10.3.5	安全阀泄放能力的计算	290
10.3.6	安全阀计算实例	297
10.3.7	安全阀的安装	299
10.3.8	安全阀规格书的填写	304
	参考文献	311

第11章 公用工程系统设计

313

11.1 水系统、水处理和分配	313
11.1.1 生水系统	313
11.1.2 生活用水系统	314
11.1.3 杂用水系统	314
11.1.4 冷却水系统	315
11.1.5 消防水系统	318
11.2 蒸汽分配、锅炉给水和蒸汽冷凝水系统	322
11.2.1 蒸汽分配系统	322
11.2.2 锅炉给水系统	324
11.2.3 蒸汽冷凝水系统	328
11.3 杂用压缩空气和仪表压缩空气系统	331
11.4 惰性气体和氮封	336
11.5 燃料的分配	341
11.5.1 燃料油系统	341
11.5.2 燃料气系统	342
11.6 乙二醇系统	343
11.7 火炬系统	345
参考文献	347

第12章 水力计算

349

12.1 流体物理特性和水力计算基本概念	349
12.2 基本管道尺寸和压降的计算方法	355
12.2.1 流速法	355
12.2.2 压降法	356
12.3 特殊管线的水力计算	363
12.3.1 重力流	363
12.3.2 长距离气体输送管线	365
12.3.3 真空管线	365
12.3.4 安全阀的进口和出口管道的尺寸计算	365
12.3.5 气液两相流管线	367
12.3.6 蒸汽冷凝水管线的压降	368

12.3.7	热虹吸再沸器的水力计算	370
12.3.8	加热炉的传输管线	371
12.3.9	泵净正吸入压头 NPSH 的计算	372
12.4	控制阀的选用原则	373
12.5	泵的计算	378
12.6	压缩机的计算	388
	参考文献	397

第 13 章 管道仪表流程图的设计

398

13.1	管道仪表流程图设计步骤	398
13.1.1	管道仪表流程图初步分析考虑要点	398
13.1.2	绘制初步管道仪表流程图	401
13.1.3	初步的水力计算	403
13.1.4	工艺流程图的危险和操作分析 (HAZOP)	404
13.1.5	确定设计压力、设计温度、最高温度、最低设计温度	404
13.1.6	管道仪表流程图的设计	416
13.1.7	管道仪表流程图安全性的详细分析	418
13.1.8	故障类型和影响分析 (FMEA) 复查	421
13.2	工程设计中的管道仪表流程图开展的实践	422
13.2.1	管道仪表流程图的初步条件版	422
13.2.2	管道仪表流程图的内部审核版	422
13.2.3	管道仪表流程图的供安全分析版	423
13.2.4	管道仪表流程图的供建设单位批准版	423
13.2.5	管道仪表流程图的设计版	424
13.2.6	管道仪表流程图的施工版	424
13.2.7	管道仪表流程图的竣工版	425
13.2.8	管道仪表流程图的修改管理	425
	参考文献	426

第 14 章 管道仪表流程图的设计实例

427

14.1	设计实例 (一)——油田气凝液储罐设施	427
14.1.1	装置工艺流程说明	427
14.1.2	工艺管道仪表流程图	428

14. 1. 3 公用工程分配系统管道仪表流程图.....	436
14. 2 设计实例 (二)——原油减压分馏塔	438
14. 2. 1 减压分馏系统简单的流程说明.....	438
14. 2. 2 减压分馏系统的操作.....	440
14. 2. 3 管道仪表流程图的设计.....	441
参考文献.....	509

第 15 章 寻找系统故障 510

15. 1 熟练人员的短缺.....	510
15. 2 寻找故障的过程.....	511
15. 3 一个寻找系统故障的个案.....	512
参考文献.....	514

第 16 章 严重错误个案 515

16. 1 乙烯塔现场退火处理.....	515
16. 2 热空气注入已运行的燃料气和火炬系统.....	515
16. 3 大型冷却水泵气蚀.....	517
16. 4 减压塔压力达不到设计指标.....	518
16. 5 压缩机系统重大设计错误.....	519
参考文献.....	525

附录 526

附录 1 设计常用的图表	526
附表 1 流水穿越 Sch. 40 壁厚钢管	526
附表 2 饱和水和饱和蒸汽的特性 (压力)	528
附表 3 过热蒸汽的特性	529
附图 1 烃类的蒸气压力 (摘自 API 技术数据手册, 1977. 9)	531
附图 2 水在钢管内流动的流速和压头损失	532
附图 3 水的比定压热容值	533
附图 4 混合物组分分子摩尔分数和质量分数的计算	533
附录 2 英制/SI 制计算单位对换表	534
结束语.....	538

代号索引

A	面积; 传热面积	m^2
A_r	压力容器的受热面积	m^2
A'	容器暴露于火焰的外表面积	m^2
$A_{管}$	管道的横断面积	m^2
a	面积, 排放面积	mm^2
a_L	饱和液体量阀孔排放面积	
a_V	闪蒸蒸气量阀孔排放面积	
C_i	气体组分的体积比例	
C_v	阀门系数 (英制)	
C_{SI}	SI 制气体特性系数	
$C_{英}$	英制气体特性系数	
c_p	气体比定压热容	$kJ/(kg \cdot K)$
c_V	气体比定容热容	$kJ/(kg \cdot K)$
$c_{p高}$	高温比定压热容	$kJ/(kg \cdot K)$
$c_{p低}$	低温比定压热容	$kJ/(kg \cdot K)$
$c_{p平均}$	平均比定压热容	$kJ/(kg \cdot K)$
$c_{p平均冷}$	冷流体平均比定压热容	$kJ/(kg \cdot K)$
$c_{p平均气}$	气体平均比定压热容	$kJ/(kg \cdot K)$
$c_{p平均热}$	热流体平均比定压热容	$kJ/(kg \cdot K)$
$c_{p平均液}$	液体平均比定压热容	$kJ/(kg \cdot K)$
D	直径	m
$D_{内}$	内径直径	m

$D_{外}$	外径直径	m
$D_{新}$	新直径	m
$D_{原来}$	原来直径	m
d	直径	mm
d_1	安全阀喷嘴喉部直径	mm
d_v	安全阀阀座口径	mm
$d_{内}$	内径直径	mm
$d_{外}$	外径直径	mm
$E_{气潜}$	气化潜热	kJ/kg
F	压降	kPa
F_{Λ}	环境系数	
F_{γ}	相对比热容比, $F_{\gamma} = k / 1.40$	
F_1, F_2	进、出再沸器管道压降	kPa
F_{100m}	每 100m 直管道的摩擦压降	kPa
F'	火灾工况系数	
$F_{管}$	管子和管件的压降	kPa
$F_{控制阀}$	控制阀压降	kPa
$F_{其他}$	其他压降	kPa
$F_{设备}$	设备的压降	kPa
$F_{亚临界}$	亚临界系数	
$F_{仪表}$	仪表的压降	kPa
$F_{裕量}$	压降裕量	kPa
f	摩擦阻力系数	
G	质量	kg
g	重力加速度 9.81	m/s ²
H	静压头、扬程、高度、液位或液柱高度	m
H_a	绝热压头	J/kg 或 m
H_c	稀释液的亨利常数	大气压或 kPa
H_p	多变压头	J/kg 或 m
$H_{1,2,3\dots}$	第 1、2、3…处高度距离	m

$H_{p新}$	压缩机新的多变压头	J/kg 或 m
$H_{p原来}$	压缩机原来的多变压头	J/kg 或 m
$H_{动}$	动压头	m
$H_{高黏}$	离心泵输送高黏介质 所需的压头	m
$H_{凝液}$	相等于喷射器入口预期最低负压的凝液高度	m
$H_{新}$	泵新的扬程	m
$H_{吸入高液位}$	泵吸入罐的最高液面	m
$H_{吸入液位}$	吸入设备的液面	m
$H_{液下}$	液封腿插入液面以下管段高度	m
$H_{裕量}$	高度裕量	m
$H_{原来}$	原来的扬程	m
$H_{总高}$	冷凝器液封腿的总高度	m
$H_{终点液位}$	终点设备的液面	m
$\Delta H_{排出}$	泵的中心线和终点设备入口标高的高差	m
$\Delta H_{吸入}$	设备参考标高和泵叶轮入口的高差	m
h	高度	mm
i	组分次序号	
J_L	表面容积密度	
K	系数, 安全阀泄放系数	
K_D	泄放系数 (由阀门制造商提供), 初算可用 0.975	
K_H	离心泵输送高黏扬程修正系数	
K_N	Napier 公式修正系数	
K_Q	离心泵输送高黏流量修正系数	
K_{SH}	过热蒸汽修正系数	
K_b	背压影响泄放能力的修正系数	
K_c	安全阀上游串联爆破片泄放系数	
K_d	压力泄放装置的有效泄放系数	
K_i	组分对应的涡流输送能力常数	
K_v	阀门系数	
K_w	背压修正系数	

K_v	黏度修正系数	
K_η	离心泵输送高黏效率修正系数	
$K_{D\text{试}}$	安全阀测试出的泄放系数	
$K_{\text{额定}}$	安全阀的额定泄放系数	
k	比热容比, 气体绝热指数 $k=c_p/c_v$	
L	长度, 距离, 管道、压力容器的总长	m
M	最大负制作工差	%
M_r	气体相对分子量	
m	压缩多变指数	
N	次数, 组分数	
NPSHA	可供应净正吸入压头	m
n	转速	r/min
$n_{\text{新}}$	新的转速	r/min
$n_{\text{原来}}$	原来的转速	r/min
$O_{\text{后}}$	吹扫后要求系统内的氧含量	%
$O_{\text{前}}$	吹扫前系统内的氧含量	%
P	功率	kW
$P_{\text{高黏}}$	离心泵输送高黏介质所需的功率	kW
$P_{\text{机耗}}$	泵、风机、压缩机的机械损耗	kW
$P_{\text{气}}$	压缩气体所需的气功率	kW
$P_{\text{气新}}$	压缩机新所需的气功率	kW
$P_{\text{气原来}}$	压缩机原来的气功率	kW
$P_{\text{水}}$	泵水力功率	kW
$P_{\text{轴}}$	泵、风机、压缩机的轴功率	kW
$P_{\text{轴新}}$	新的轴功率	kW
$P_{\text{轴原来}}$	原来的轴功率	kW
$P_{\text{静气}}$	风机静压头气功率	kW
$P_{\text{总气}}$	风机总压头气功率	kW
p	压力, 表压	kPa (表) 或 bar