

蔡尔辅 陈树辉 著

化工厂系统设计

第二版



Chemical Industry Press

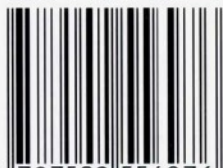


化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心



第二版

ISBN 7-5025-5697-4



9 787502 556976 >

ISBN 7-5025-5697-4/TQ · 2024 定价：52.00元

销售分类建议：化工/工程建设



化工厂系统设计

第二版

蔡尔辅 陈树辉 著



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

· 北京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

化工厂系统设计/蔡尔辅,陈树辉著.—2版.—北京:
化学工业出版社,2004.6
ISBN 7-5025-5697-4

I. 化… II. ①蔡…②陈… III. 化工厂-设计
IV. TQ08

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 071757 号

化工厂系统设计

第二版

蔡尔辅 陈树辉 著

责任编辑:周国庆 周红

责任校对:蒋宇

封面设计:于兵

*

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

发行电话:(010) 64982530

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

*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 25 插页 2 字数 622 千字

2004年9月第2版 2004年9月北京第3次印刷

ISBN 7-5025-5697-4/TQ·2024

定价:52.00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

再版前言

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，而没有足够地强调整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面。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将会非常有帮助，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验，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

内 容 提 要

本书在原版书的基础上增加了许多新内容，特别是重点讲述了化工厂的生产对安全、环保因素的考虑，及著者在这方面的经验和体会。对化工单元设备管道仪表流程图和有关的计算实例也补充了更多的内容，使之更加完善，更加系统（详细内容见目录）。

本书著者在国内外的化工工程设计领域工作了多年，工作经验非常丰富，被美国 Marquis 世界名人录、英国剑桥国际传记中心和美国传记学会的名人录收录。由于在工程设计上的贡献，并获得剑桥国际传记中心的 20 世纪杰出人才证书。

本书的实用性很强，对在工厂直接操作生产的人员有很大帮助，可指导化工、石油化工、医药、发电厂、环保等行业的设计人员进行工厂设计，也可作为大学化工系即将毕业的本科生或研究生辅助阅读资料。



目 录

1 引言	1
1.1 什么是系统工程	1
1.2 基本知识和熟练要求	2
1.3 系统设计的重要性	2
2 管道仪表流程图的设计及制图要求	3
2.1 工艺管道仪表流程图	3
2.2 公用工程发生管道仪表流程图	3
2.3 公用工程分配管道仪表流程图	3
2.4 管道仪表流程图的图号编制	4
2.5 管道仪表流程图的制图要求	4
2.6 管道仪表流程图的设计内容	11
2.6.1 设备	11
2.6.2 配管	12
2.6.3 仪表和仪表配管	13
2.7 管线号的编制	13
2.7.1 需要编号的管线	13
2.7.2 不必编号的管线	14
2.7.3 管线号编制原则	14
2.7.4 管线表	15
2.7.5 管线表填写原则	15
2.7.6 管线表内容	15
参考文献	17
3 配管	18
3.1 工业用管和管件	18
3.1.1 工业用管	18
3.1.2 管件	20
3.1.3 法兰	20
3.2 阀门	22
3.2.1 阀门种类	22
3.2.2 阀门的选用	23
3.3 管道设计考虑要点	23

3.3.1	管道	24
3.3.2	切断措施	25
3.3.3	调节阀	26
3.3.4	放空和放净	28
3.3.5	取样	28
	参考文献	28
4	仪表和控制	30
4.1	基本控制方案	30
4.2	工艺测量用仪表	33
4.2.1	压力仪表	33
4.2.2	温度仪表	35
4.2.3	流量仪表	36
4.2.4	液面仪表	38
4.2.5	分析仪	40
4.2.6	其他辅助仪表	41
4.2.7	传感器和变送器	42
4.2.8	控制阀及其附件	42
4.3	连锁和可编程序控制器 (PLC)	46
4.4	集中分散控制系统 (DCS)	46
	参考文献	47
5	供电和电动机	49
5.1	化工厂的供电	49
5.2	不间断电源 (UPS) 和备用电源	49
5.3	电机的运行	50
	参考文献	51
6	工艺设备	52
6.1	泵	52
6.1.1	动力泵	52
6.1.2	容积式泵	61
6.2	风机和鼓风机	65
6.2.1	离心式风机和鼓风机	65
6.2.2	容积式鼓风机	68
6.3	压缩机	70
6.3.1	离心式压缩机	70
6.3.2	往复式压缩机	78
6.4	真空设备	86
6.4.1	仪表和控制	87

6.4.2	配管	89
6.4.3	操作	90
6.4.4	安全	90
6.5	蒸汽透平	90
6.5.1	仪表和控制	91
6.5.2	配管	92
6.5.3	操作	94
6.5.4	安全	95
6.6	压力容器	96
6.6.1	仪表和控制	98
6.6.2	配管	99
6.6.3	操作	100
6.6.4	安全	100
6.7	塔	103
6.7.1	蒸馏塔	103
6.7.2	吸收、汽提和急冷塔	112
6.8	储罐	117
6.8.1	常压储存	118
6.8.2	压力储存	120
6.9	换热器	125
6.9.1	管壳式换热器	126
6.9.2	螺旋板换热器	129
6.9.3	板式换热器	130
6.9.4	空冷器	131
6.10	加热炉和蒸汽锅炉	135
6.10.1	加热炉	136
6.10.2	蒸汽锅炉	158
6.11	过滤器	162
6.11.1	仪表和控制	165
6.11.2	配管	167
6.11.3	操作	168
6.11.4	安全	170
6.12	输送机	170
6.12.1	仪表和控制	171
6.12.2	配管	172
6.12.3	操作	172
6.12.4	安全	173
6.13	其他设备	174
	参考文献	177

7 环境保护和生产人员的健康及安全	181
7.1 环境保护	181
7.2 生产人员的健康和安​​全	182
参考文献	184
8 操作	185
8.1 工厂的组织机构和运行	185
8.2 设计和运行人员的不同观点	186
9 安全	188
9.1 安全设计要素	188
9.2 安全分析方法	190
9.3 压力泄放设施的选择与应用	195
9.3.1 有关压力泄放设施的专业名词	196
9.3.2 安全泄压设施的结构形式及分类	197
9.3.3 选用安全阀考虑要点	200
9.3.4 安全阀需要排放量考虑要点	202
9.3.5 外部火灾	203
9.3.6 安全阀泄放能力的计算	207
9.3.7 安全阀计算实例	210
9.3.8 安全阀的安装	212
9.3.9 进口安全阀的选用	218
参考文献	224
10 公用工程系统设计	226
10.1 水的处理和分配	226
10.1.1 生水系统	226
10.1.2 生活用水系统	227
10.1.3 杂用水系统	227
10.1.4 冷却水系统	227
10.1.5 消防水系统	230
10.2 蒸汽分配、锅炉给水和蒸汽冷凝水系统	233
10.2.1 蒸汽分配系统	233
10.2.2 锅炉给水系统	236
10.2.3 蒸汽冷凝水系统	240
10.3 杂用压缩空气和仪表压缩空气系统	241
10.4 惰性气体和氮封	245
10.5 燃料的分配	250
10.5.1 燃料油系统	250

10.5.2 燃料气系统.....	250
10.6 乙二醇系统.....	252
10.7 安全泄压系统.....	253
参考文献.....	255
11 水力计算.....	257
11.1 基本管道尺寸和压降的计算方法.....	261
11.1.1 流速法.....	261
11.1.2 压降法.....	262
11.2 特殊管线的水力计算.....	268
11.2.1 重力流.....	268
11.2.2 长距离气体输送管线.....	268
11.2.3 真空管线.....	269
11.2.4 安全阀的进口和出口管道的尺寸计算.....	269
11.2.5 气液两相流管线.....	270
11.2.6 蒸汽冷凝液管线的压降.....	271
11.2.7 热虹吸再沸器的水力计算.....	272
11.2.8 加热炉的运输管线.....	273
11.2.9 泵净正吸入压头 NPSHA 的计算.....	273
11.3 泵的计算.....	274
11.4 压缩机的计算.....	281
11.5 调节阀选用的原则.....	287
参考文献.....	291
12 管道仪表流程图的设计.....	292
12.1 管道仪表流程图设计步骤.....	292
12.1.1 管道仪表流程图初步分析考虑要点.....	292
12.1.2 初步管道仪表流程图绘制的准备.....	294
12.1.3 初步的水力计算.....	296
12.1.4 工艺流程图的危险和操作分析 (HAZOP).....	296
12.1.5 确定工艺设备的设计压力、设计温度、最高设计温度、最低设计温度.....	297
12.1.6 管道仪表流程图的设计.....	302
12.1.7 管道仪表流程图安全性的详细分析.....	304
12.1.8 故障状况和后果分析.....	306
12.2 工程设计中管道仪表流程图开展的实践.....	307
12.2.1 管道仪表流程图的初步条件版.....	307
12.2.2 管道仪表流程图的内部审核版.....	307
12.2.3 管道仪表流程图的供建设单位批准版.....	308
12.2.4 管道仪表流程图的设计版.....	308
12.2.5 管道仪表流程图的施工版.....	309

12.2.6 管道仪表流程图的竣工版.....	309
参考文献.....	311
13 管道仪表流程图的设计实例.....	312
13.1 管道仪表流程图的设计实例（一）——液化石油气储罐设施	312
13.1.1 液化石油气储罐设施简单的流程说明.....	312
13.1.2 管道仪表流程图的设计.....	312
13.1.3 公用工程分配系统管道仪表流程图的设计.....	317
13.2 管道仪表流程图的设计实例（二）——原油减压蒸馏塔	320
13.2.1 系统简单的流程说明.....	320
13.2.2 真空减压系统的操作.....	322
13.2.3 管道仪表流程图的设计.....	324
附录 常用图表.....	382



1 引 言

由于现代化工生产过程越来越复杂，装置的设备数目越来越多，生产的规模越来越大，所以炼油厂和化工厂的设计也变得越来越复杂。早期工艺生产装置的流程比较简单，几个人可以做一个装置的设计，但今天的化工装置往往投资上亿，需要多个专业的配合才可能在预定时间内完成设计。要完成这么一个上亿投资项目的设计，往往需要以下专业的配合：工艺、系统、配管、机械设备、仪表、电气、土建结构、开车。

这个项目组常由项目工程师来领导。项目工程师的职责是指导项目组该工厂需要设计成怎样的工厂，协调各个不同的专业共同工作，解决在设计过程中产生的各个专业间的所有分歧和矛盾。

在进行系统设计之前，首先要了解各个专业的职责。工艺专业的职责是设计出该装置的工艺流程，完成热平衡和物料平衡计算，压力泄放的安全阀负荷计算。此外，要提供设备的工艺数据和操作手册。配管专业负责装置中设备和管道的布置，建立计算机配管模型，管道应力分析，提供管道制造和安装用的管段图。这个专业还需要编制配管有关材料规格书和采购所有的配管材料。机械设备专业负责采购机械设备和审核制造厂图纸，确认制造厂供应的设备完全符合本项目的工艺和设备的规格要求。仪表专业负责仪表和工艺的控制设计。他们需要在工艺流程图（PFD）设计阶段就一起工作，然后在开展管道仪表流程图（PID）阶段完成仪表控制设计；另外，仪表专业的职责还包括仪表安装的设计、控制原理图、仪表接线图、计算机分散控制系统（DCS）的程序输入和所有仪表的采购。电气专业需要对工厂中所有的设备进行供电、照明和伴热。此外，电气专业还需要设计接地系统，和工艺专业一起绘制装置的电气防爆区域图，并采购所有的电气设备和零件。土建结构专业负责所有的土木、结构和建筑物设计，采购所有建设所需的建筑材料。开车小组负责在装置建设完成后的开车任务。在设计阶段，他们要保证所有开车和生产所需的设施在设计中都设计进去了。

1.1 什么是系统工程

系统工程的基本功能是把工艺专业设计的工艺流程图（PFD）发展成管道仪表流程图（P&ID）。这个转换过程包括根据操作和安全的需要来规定所有的机械部件的要求以保证工厂建成投产后能有效、安全地生产产品。通过这个转换，工艺流程图上的化工流程的概念转换成机械设计的实质依据，而其他各专业可以按这个设计来进行详细设计并建成工厂进行生产。根据个别公司或单位的内部安排，系统工程师有可能需要兼做以下工作来支持管道仪表流程图的设计：管线尺寸和水力计算；计算意外事故时的工况；决定设备和管道的设计压力和设计温度；安全阀尺寸计算；出席安全检查和设计复查的会议。

除了管道仪表流程图设计，系统工程师还需要对仪表专业提供所有必需的仪表工艺数据；校核制造厂的数据，使之和管道仪表流程图上的一致；检查配管模型，确认设计和管道仪表流程图上的设计要求一致。

1.2 基本知识和熟练要求

要作为一名系统工程师，最好先具备几年化工厂设计或生产的经验，并愿意面对复杂设计的挑战。要做好系统设计，必须熟悉单元操作、化学工艺流程、旋转设备、压力容器和配管、电气系统、控制系统、工厂安全和操作。此外，在管道仪表流程图的设计过程中，系统工程师需要经常和各个专业的工程师进行沟通，交换意见，因此拥有良好的与人沟通的技巧非常重要。

1.3 系统设计的重要性

系统设计在整个化工厂的工程设计中占有极为重要的位置，是整个化工厂设计过程中最重要的部分，有下列理由证明其重要性。

- 系统设计给各个专业的设计提供了指导，指导各个专业如何进行他们专业的设计。任何系统设计的错误可以导致其他专业设计一系列的错误，而要修改这些错误需要很多的人工小时。

- 系统设计对工程的造价有决定性的影响。一个典型的化工厂，设备的费用约占总造价的 25%，配管约占 20%，仪表约占 10%，电气约占 5%。任何设计中的过分保守，如提高设备的设计温度和压力，泵和压缩机选用过大，添加不必要的阀门和仪表，都会导致工厂造价的增加，超出预算。

- 系统工程师对整个工艺过程有全面的了解，最了解装置内所有部件的运行情况。在开车时若有问题，系统工程师是最合适的人选来领导解决问题的小组。

- 系统工程是进入项目管理的台阶。由于系统工程师从项目的初期就介入，一直到项目结束，对项目最了解；系统工程师往往需要从整个项目的角度来考虑问题，看问题较为全面；其工作的性质需要经常和各个专业打交道，这就使得他们有更多的机会理解如何协调各个专业一起工作。所以有不少工程公司把系统工程师放在项目管理部，从中选拔或训练出项目工程经理及项目经理。



2 管道仪表流程图的设计及制图要求

各个单位在绘制管道仪表流程图时所用的图纸规格不同，有用一长卷图纸的，也有用1#图纸或0#图纸的。根据作者的实践经验，建议采用0#图纸，以便图面布置。

2.1 工艺管道仪表流程图

① 设备在图面上的布置一般是顺流程从左到右。

② 塔、反应器、压缩机、储罐、换热器、加热炉等若放在地面上，一般是从图面水平中线往上布置。

③ 泵布置在图面底部1/4线以下。

④ 中线以下1/4高度供走管线用。

⑤ 其他设备布置在工艺流程要求的位置，如高位冷凝器布置在回流罐的上面，再沸器靠塔放置。

⑥ 对于无高度要求的设备，在图面上的位置要符合流程流向，以便管线连接。

⑦ 围堰范围也可在管道仪表流程图上表示出来。

⑧ 一般工艺管线由图纸左右两侧方向出入，与其他图上的管线连接。

⑨ 放空或去泄压系统的管线，在图纸上方离开图纸。

⑩ 公用工程管线有两种表示方法。一种表示方法同工艺管线，从左右或底部出入图纸。或者就近标出公用工程代号及相邻图纸号。公用工程代号写在边长9mm的正菱形内，相接图号写在边长9mm的正方形内。另外一种表示方法是在相关设备附近注上公用工程代号，如CW、PO表示这台设备需要用冷却水及冲洗油；然后在公用工程分配图上详细示出与该设备相接的管线尺寸、压力等级、管线号、阀门配置等。这种方法常用于标示泵、压缩机等设备的冷却水、轴封油、冲洗油等公用工程管线。

⑪ 所有出入图纸的管线，除可用介质代号表示公用工程管线的图纸连接外，都要带箭头，并注出连接图号、管线号、介质名称、相接设备的位号等有关内容。

2.2 公用工程发生管道仪表流程图

① 设备布置及其他要求同工艺管道流程图。

② 一张图纸可以表示多个系统的公用工程发生管道仪表流程图。若图面许可，也可以把公用工程的发生及其分配画在同一张图纸上。

2.3 公用工程分配管道仪表流程图

① 可以把几个公用工程的分配系统画在同一张图纸上。一般把全厂公用工程分配图集

中在一起编号，装置内公用工程分配图与工艺管道仪表流程图一起编号。

② 公用工程分配图上的装置或设备在图面上的几何位置应与平面布置图一致，即干管的走向和支管引出的次序应与实际配管一致。




































































③ 当将几个公用工程分配系统放在同一张图纸上表示时，最好将类似介质放在一起，如水，包括冷却水、饮用水、工艺用水等；气类，包括仪表压缩空气、杂用压缩空气、氮气等。

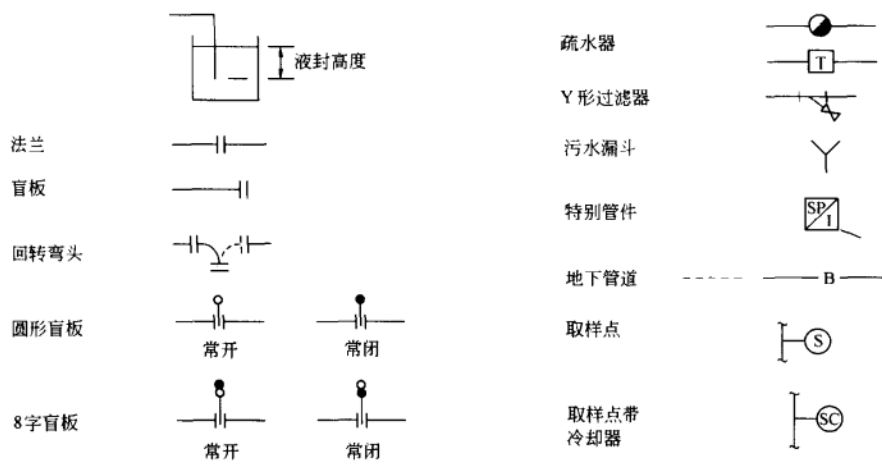
2.4 管道仪表流程图的图号编制

除了工程代号、专业号外，管道仪表流程图自身亦要编号。编号方法有两种。一种是按单元号分开编号，同一个单元的管道仪表流程图用后缀 A、B、C…区别，如 2A、2B、2C…，3A、3B、3C…。其中 2A 代表 200 单元的第一张管道仪表流程图。公用工程亦作为一个单元编号。对大型装置可把公用工程发生和公用工程分配分为两个号处理。另一种是采用大流水号顺序排列，其缺点是工程进展过程中某个单元要加一张图纸就很困难。故推荐使用前者。

2.5 管道仪表流程图的制图要求

① 图例和符号表示要遵照各公司的有关规定，图 2-1 (a)~(k) 所示为常用的图例和符号，供参考使用。

工艺物料		螺纹管帽	
工艺·公用工程		焊接管帽	
蒸汽伴热		同心异径管	 
电伴热	 	偏心异径管	 
夹套管	 	底平	
保温		顶平	
坡度	 	软管接头	
进出图纸连接箭头	 	软管	 
管道等级、责任分界线	 	放空管	  
补偿器		波纹管	 
液封	 	临时过滤器	 
	 	消声器	 
	 	阻火器	 
	 		 
	 		 
	 		 
	 		 
	 		 
	 		 



(a) 常用管线、管件图例

工艺物料代号

PA	工艺空气	PL	工艺液体
PG	工艺气体	PLS	液固两相流工艺物料
PGL	气液两相流工艺物料	PS	工艺固体
PGS	气固两相流工艺物料	PW	工艺水

辅助、公用工程物料代号

(1) 空气		SW	软水
AR	空气	WW	生活废水
CA	压缩空气	(4) 燃料	
IA	仪表空气	FG	燃料气
(2) 蒸汽、冷凝水		FL	液体燃料
HS	高压蒸汽 (饱和或微过热)	FS	固体燃料
HUS	高压过热蒸汽	NG	天然气
LS	低压蒸汽 (饱和或微过热)	(5) 油	
LUS	低压过热蒸汽	DO	污油
MS	中压蒸汽 (饱和或微过热)	FO	燃料油
MUS	中压过热蒸汽	GO	填料油
SC	蒸汽冷凝水	LO	润滑油
TS	伴热蒸汽	RO	原油
(3) 水		SO	密封油
BW	锅炉给水	(6) 制冷剂	
CSW	化学污水	AG	气氨
CWR	循环冷却水回水	AL	液氨
CWS	循环冷却水上水	ERG	气体乙烯或乙烷
DNW	脱盐水	ERL	液体乙烯或乙烷
DW	饮用水、生活用水	FRG	氟里昂气体
FW	消防水	FRL	氟里昂液体
HWR	热水回水	PRG	气体丙烯或丙烷
HWS	热水上水	PRL	液体丙烯或丙烷
RW	原水、新鲜水	RWR	冷冻盐水回水

(b)

