

崔克清 主编

化工单元运行 安全技术



Chemical Industry Press



化学工业出版社
安全科学与工程出版中心

化工单元运行安全技术

崔克清 主编



化学工业出版社
安全科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

化工单元运行安全技术/崔克清主编. —北京:化学工业出版社, 2005.10

ISBN 7-5025-7690-8

I. 化… II. 崔… III. 化工单元操作-安全技术
IV. TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 122430 号

化工单元运行安全技术

崔克清 主编

责任编辑: 杜进祥

文字编辑: 余纪军

责任校对: 陈 静

封面设计: 尹琳琳

*

化学工业出版社 出版发行
安全科学与工程出版中心

(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

三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 21½ 字数 430 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7690-8

定 价: 40.00 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

前 言

化工安全生产领域涉及化工安全设计、危险化学品安全、化工工艺及过程安全以及化工单元运行安全技术等。化工单元运行安全技术是整个化工安全生产体系的重要组成部分,化工单元运行中由于化学介质,特别是具有危险特性的化学品在不同工艺及技术装备条件下运行、变化,因此其危险性特性更加复杂和多变。在单元运行过程中,其主要内容涉及工艺流程安全分析、典型设备工艺安全分析、车间装置与设备布置安全、流体输送过程安全、流体输送设备安全、化工生产管路与管系安全、非均相分离过程安全、加热及传热过程安全、蒸馏及精馏过程安全、气体吸收过程安全、干燥过程安全、蒸发过程安全、结晶过程安全、萃取过程安全、制冷过程安全、吸附过程安全、压缩气体、液化气体运行安全等。

本书在编写过程中,作者收集和总结了国内外化工发展中成熟的工艺技术和装备技术,尽可能基于当今国内先进的生产技术与工艺,把基础理论、工艺技术、装备技术和生产过程的安全运行结合起来进行系统分析,在总结事故教训的基础上,探索运行中必须的安全生产条件和化工装置单元安全运行的规律。

本书旨在使其能对从事化学工业、石油化学工业以及相关单元运行的其他工业的生产、科研、设计、安全、监察等专业人员和管理人员提供实用的参考资料,也可作为高等院校安全工程专业以及工业系统安全技术培训的教学用书和参考资料。

本书由崔克清主编,参加本书编写的其他人员有四川大学化学工程学院、四川大学安全工程研究所黄卫星、李建民、张宗国、伍勇老师,南京工业大学安全工程研究所张礼敬、陶刚、蔡永明、张薇老师,中国石化第二建设公司于晓光总工程师等。

作者

2005年8月

目 录

第 1 章 化工生产安全运行及安全控制	1
1.1 安全生产与运行操作	1
1.1.1 工业生产过程操作功能	1
1.1.2 影响工业生产过程安全稳定的因素	2
1.1.3 影响工业生产过程控制的因素	3
1.2 工业生产过程自动化技术及安全控制	3
1.2.1 自动化仪表技术的发展	3
1.2.2 工业生产过程自动控制	5
1.3 生产过程安全控制系统组成	7
1.3.1 温度控制系统	9
1.3.2 流量控制系统	9
1.4 生产过程分析	10
1.4.1 间歇生产分析	10
1.4.2 间歇生产过程安全控制分析	12
1.4.3 优化安全运行操作分析	17
第 2 章 工艺流程安全分析	19
2.1 基础资料研究	19
2.2 工艺流程解析	20
2.2.1 工艺流程内容	20
2.2.2 工艺运行条件分析	21
2.3 工艺流程中规范代号	22
2.3.1 物料代号	22
2.3.2 管道压力及材质代号	23
2.3.3 隔热及隔声代号	24
2.3.4 阀门与管件表示	24
2.3.5 仪表和控制点表示	25
2.4 安全控制设计条件分析	25
2.5 工艺过程必要的安全衡算	26
2.5.1 物料衡算	26

2.5.2 热量衡算.....	27
第3章 典型设备工艺安全分析	32
3.1 泵的安全运行.....	32
3.2 换热器的安全运行.....	34
3.3 精馏过程运行安全分析.....	35
3.3.1 精馏工艺分析.....	35
3.3.2 精馏设备安全运行分析.....	38
3.4 反应器运行安全分析.....	39
3.4.1 管式反应器.....	39
3.4.2 釜式反应器.....	39
3.4.3 固定床反应器和流化床反应器.....	40
3.4.4 反应釜计算.....	40
3.4.5 搅拌器运行安全.....	41
3.4.6 传热安全.....	42
3.4.7 轴密封装置.....	43
3.5 蒸发设备的安全运行.....	43
3.6 存储设备的安全运行.....	44
3.6.1 存储量的确定.....	44
3.6.2 存储容器适宜容积的确定.....	44
3.6.3 装料系数的确定.....	45
3.6.4 存储设备结构尺寸的确定	45
第4章 车间装置与设备布置的安全分析	46
4.1 车间平面布置.....	46
4.1.1 车间平面布置的内容.....	46
4.1.2 车间平面布置的原则.....	46
4.2 车间平面布置方案.....	46
4.2.1 资料准备.....	46
4.2.2 各工段布置形式的确定.....	47
4.2.3 流程式布置.....	47
4.2.4 车间平面布置方案.....	47
4.3 设备布置.....	48
4.3.1 设备布置露天化.....	48
4.3.2 满足生产工艺与操作要求.....	49
4.3.3 符合安装与检修的要求.....	49
4.3.4 符合安全技术要求.....	49
4.3.5 符合建筑要求.....	51
4.3.6 考虑通道与管廊的布置.....	51

4.4 典型设备的布置	52
4.4.1 塔	52
4.4.2 换热器	52
4.4.3 容器(罐,槽)	53
4.4.4 反应器	53
4.4.5 泵与压缩机	55
第5章 流体输送过程的安全分析	57
5.1 流体输送在化工生产中的应用	57
5.2 常见流体输送方式及危险性分析	57
5.2.1 高位槽送料	57
5.2.2 真空抽料	58
5.2.3 压缩空气送料	59
5.2.4 流体输送机械送料	59
5.3 流体的物理性质	60
5.3.1 密度与相对密度	60
5.3.2 压力	63
5.3.3 黏度	64
5.4 流体流动安全技术分析	65
5.4.1 流量方程式	65
5.4.2 稳定流动与不稳定流动	66
5.4.3 稳定流动系统的物料衡算——连续性方程	66
5.4.4 稳定流动系统的能量衡算——柏努利方程	67
5.4.5 流体阻力	75
第6章 流体输送设备的安全问题	79
6.1 离心泵安全运行	80
6.1.1 离心泵工作原理分析	80
6.1.2 离心泵的主要性能	83
6.1.3 离心泵的气蚀与安装高度	84
6.1.4 离心泵安全运行分析	86
6.1.5 其他类型的泵	86
6.1.6 往复式压缩机	88
6.1.7 泵及压缩机的安全控制系统	90
6.1.8 离心式压缩机的控制方案	94
6.2 离心式压缩机的防喘振控制	95
6.2.1 离心式压缩机的特性曲线与喘振	95
6.2.2 引起喘振的因素	96
6.2.3 喘振的极限方程及安全操作线	97

6.2.4 防喘振控制系统	98
第7章 化工生产管路与管系安全措施	100
7.1 化工管路的构成与标准化	100
7.1.1 化工管路的标准化	100
7.1.2 管子	102
7.1.3 管件	104
7.1.4 阀件(门)	106
7.2 化工管路的布置与安装原则	109
7.2.1 化工管路布置原则	109
7.2.2 化工管路安装原则	110
7.3 化工管路材料选用	111
7.3.1 公称通径与公称压力	111
7.3.2 管子材料与常用管子	111
7.4 管道安全计算	113
7.4.1 管子规格的确定	113
7.4.2 管道压力降的计算	114
7.4.3 管道热补偿计算	115
7.5 管道布置的原则和方法	117
7.5.1 管道布置设计的主要原则	117
7.5.2 管道支架	120
7.6 换热器的管道布置	121
7.6.1 列管式换热器管道布置	121
7.6.2 换热器的平面配管	123
7.6.3 换热器的立面布置	123
7.6.4 容器的管道布置	125
7.7 管道保温与管道标志	125
7.7.1 保温材料	125
7.7.2 管道保温措施	126
7.7.3 管道标志	126
第8章 非均相分离过程的安全分析	128
8.1 非均相分离过程及危险性分析	128
8.2 常见非均相物系的分离	129
8.3 沉降分离过程的安全分析	130
8.3.1 重力沉降分离过程	130
8.3.2 重力沉降设备	131
8.4 离心沉降过程的安全分析	134
8.4.1 离心沉降速度分析	134

8.4.2 离心沉降设备	135
8.5 过滤过程的安全分析	137
8.5.1 压(吸)滤设备	137
8.5.2 离心过滤设备	140
8.6 电除雾器和电除尘器	142
8.6.1 电除雾器	142
8.6.2 电除尘器	144
8.7 其他非均相物系分离方法	146
8.7.1 惯性分离器	147
8.7.2 文丘里除尘器	147
8.7.3 泡沫除尘器	147
第9章 加热及传热过程的安全分析	148
9.1 化工生产中传热过程危险性分析	148
9.2 工业传热过程机理与传热安全分析	151
9.2.1 传热过程机理分析	151
9.2.2 典型换热过程安全分析	152
9.3 传热过程热平衡分析	153
9.3.1 传热速率与热负荷	153
9.3.2 热量衡算与热负荷的确定	154
9.3.3 传热系数	156
9.4 工业加热载体与冷却剂	157
9.4.1 加热剂与加热方法	157
9.4.2 冷却剂和冷却过程	159
9.5 换热器安全技术	160
9.5.1 按换热器的用途分类	160
9.5.2 按换热器传热面形状和结构分类	160
9.5.3 按换热器所用材料分类	160
9.5.4 换热器结构与性能特点	160
9.5.5 换热器安全运行分析	168
9.6 传热设备安全控制系统	172
9.6.1 参数的安全控制分析	173
9.6.2 换热器安全控制系统	174
9.6.3 加热炉安全控制系统	177
第10章 蒸馏及精馏过程安全分析	185
10.1 蒸馏过程及危险性分析	185
10.2 精馏原理及危险性分析	186
10.3 精馏的物料衡算	189

10.3.1	全塔物料衡算	189
10.3.2	精馏段物料衡算	190
10.3.3	提馏段物料衡算	192
10.4	回流比影响分析	192
10.4.1	全回流	193
10.4.2	最小回流比	193
10.4.3	适宜回流比	194
10.5	精馏塔的安全运行分析	194
10.5.1	灵敏板的确定	194
10.5.2	精馏塔的温度控制	195
10.5.3	精馏塔的压力控制	195
10.5.4	精馏过程的热平衡控制	196
10.6	简单蒸馏与闪蒸	199
10.6.1	简单蒸馏	199
10.6.2	闪蒸	199
10.7	特殊精馏过程的安全分析	200
10.7.1	间歇精馏	200
10.7.2	恒沸精馏与萃取精馏	200
10.8	精馏设备安全技术	201
10.8.1	板式塔	202
10.8.2	危险分析及安全运行	204
10.9	精馏塔均匀安全控制系统	206
第 11 章	气体吸收过程安全分析	208
11.1	工业气体吸收过程	208
11.2	气体吸收过程安全运行分析	209
11.3	气液相平衡分析	210
11.4	吸收剂用量控制	213
11.4.1	液气比	213
11.4.2	最小液气比	214
11.4.3	吸收剂用量控制	214
11.4.4	运行安全条件分析	215
11.5	化学吸收过程	218
11.5.1	化学吸收过程分析	218
11.5.2	高含量气体吸收	219
11.5.3	多组分吸收	219
11.5.4	解吸过程	220
11.6	吸收设备安全技术	221

11.6.1	吸收塔	222
11.6.2	填料安全分析	223
11.7	气体溶剂安全回收技术	226
11.7.1	吸附回收法	226
11.7.2	冷凝回收法	226
11.7.3	蒸馏法	226
第 12 章	干燥过程安全措施	228
12.1	干燥过程及危险性分析	228
12.2	对流干燥过程	230
12.2.1	对流干燥原理分析	230
12.2.2	对流干燥的条件	231
12.2.3	对流干燥流程	231
12.3	工业上常用的干燥设备	231
12.3.1	厢式干燥器	231
12.3.2	转筒干燥器	232
12.3.3	气流干燥器	233
12.3.4	沸腾床干燥器	233
12.3.5	喷雾干燥器	234
12.4	干燥过程安全控制	235
12.4.1	物料控制	235
12.4.2	安全运行操作条件	235
12.4.3	烘干过程安全措施	237
第 13 章	蒸发过程安全操作	240
13.1	蒸发过程及危险性分析	240
13.2	单效蒸发过程	242
13.2.1	单效蒸发的流程	242
13.2.2	单效蒸发的计算	243
13.3	多效蒸发过程	243
13.4	蒸发过程安全运行操作	245
第 14 章	结晶过程安全操作	247
14.1	结晶过程及危险性分析	247
14.2	结晶过程机理分析	248
14.3	固液体系相平衡	249
14.4	结晶过程分析	251
14.4.1	冷却结晶	251
14.4.2	蒸发结晶	251
14.4.3	真空冷却结晶	252

14.4.4	盐析结晶	252
14.4.5	反应沉淀结晶	252
14.4.6	升华结晶	252
14.4.7	熔融结晶	252
14.5	结晶设备与安全运行操作	253
14.5.1	常见结晶设备	253
14.5.2	间歇结晶操作	258
第 15 章	萃取过程的安全控制	259
15.1	萃取过程及危险性分析	259
15.2	萃取剂及安全选择	260
15.3	萃取操作过程安全运行	261
15.3.1	单级萃取流程	261
15.3.2	多级萃取流程	261
15.4	萃取设备安全技术	263
15.4.1	填料萃取塔	264
15.4.2	筛板萃取塔	264
15.4.3	转盘萃取塔	265
15.4.4	往复振动筛板塔	266
15.4.5	脉冲筛板塔	267
15.5	萃取过程安全控制	268
第 16 章	制冷过程的安全分析	271
16.1	制冷过程及危险性认识	271
16.2	制冷过程分类	273
16.2.1	按制冷过程分类	273
16.2.2	按制冷程度分类	274
16.3	制冷过程工程分析	274
16.3.1	压缩蒸气制冷循环	274
16.3.2	制冷循环过程	275
16.3.3	安全操作温度的选择	276
16.3.4	制冷剂的过冷	277
16.4	制冷剂与载冷体	277
16.4.1	制冷剂	277
16.4.2	载冷体	279
16.5	压缩蒸气制冷设备	280
16.5.1	压缩机	280
16.5.2	冷凝器	280
16.5.3	节流阀	281

第 17 章 吸附过程的安全分析	282
17.1 吸附过程及危险性分析	282
17.2 吸附剂安全选择	283
17.3 吸附工艺过程	284
17.3.1 工业吸附过程	284
17.3.2 吸附工艺简介	285
第 18 章 锅炉及汽轮机安全控制技术	288
18.1 锅炉安全控制技术	288
18.1.1 汽包水位的控制	289
18.1.2 燃烧安全控制系统	293
18.1.3 过热蒸汽温度安全控制	296
18.2 汽轮机安全控制技术	297
18.2.1 汽轮机组火灾的特点	297
18.2.2 油系统的防火措施	298
18.2.3 运行的防火措施	299
18.2.4 汽轮机安全控制系统	301
第 19 章 压缩气体、液化气体运行的安全技术	306
19.1 气体压缩与输送的安全技术	306
19.1.1 空气压缩与输送系统	306
19.1.2 气体管道的燃烧事故与预防	309
19.2 空气通风系统安全措施	313
19.2.1 通风、除尘与排烟方案	313
19.2.2 通风系统的火灾危险性	314
19.2.3 厂房通风系统的防火要求	314
19.3 液氨蒸发器控制系统	316
19.4 液化气体贮运安全技术	317
19.4.1 贮存液化气体危险性分析	317
19.4.2 液化气体贮运及装备安全技术	320
19.4.3 液化石油气危险性分析	326
19.5 空压站及制氮安全技术	327
19.5.1 单元设计	327
19.5.2 管道设计的一般要求	328
19.5.3 控制、联锁设计	329
19.5.4 制氮系统安全技术措施	329
参考文献	331

第1章

化工生产安全运行及安全控制

1.1 安全生产与运行操作

1.1.1 工业生产过程操作功能

对于大工业生产过程，特别是现代化工业，其生产操作过程越来越复杂化和多样化，存在下述的一些安全操作和安全控制的问题：

①生产过程的开车和停车；②工艺流程及设备之间的切换；③正常运行中的安全控制；④间歇生产过程的的操作；⑤生产负荷的改变；⑥异常状态下的紧急安全处理。

在连续生产过程和间歇生产过程中，开车和停车都有自己的一套顺序和操作步骤，特别是大型的石油化工生产过程，其开停车要花很长时间，若不按照一定的步骤和顺序进行，就会出现生产事故，延长开车时间，甚至造成严重的经济损失。对于间歇生产过程，其往复循环操作更频繁，而在某些连续生产过程，也包含着间歇操作的设备和单元，如那些需要再生的系统。有时，要改变生产品种和生产负荷，这些都要求按一定的顺序规则进行操作。一般说来，顺序操作包括一系列的阶段或操作步骤。这些阶段，有些是由过程事件来决定，而有些根据特定的时间间隔来控制。

除了上述顺序操作要求之外，工业生产过程还要求：

- ① 监视和管理整个生产过程；
- ② 对生产过程进行规划、调度和决策；
- ③ 生产过程的异常现象记录，事故案例的积累以及安全操作与控制措施的总结。

在过程控制系统中监视和管理整个生产过程是很重要的功能。监视生产过程的变化，采集生产过程的实时数据和历史数据，对寻找出过程的扰动因素和优化工艺条件以及分析过程操作都是极为有用的。

1.1.2 影响工业生产过程安全稳定的因素

作为一个工厂、一个生产流程或一个生产装置，均需按产品品质和数量的要求、原材料供应以及公共设施情况，由工艺设备组建一定的工艺流程，然后组织生产。在生产过程中，产品的品质、产量等都必须安全条件下实现，而在生产过程中各种扰动（干扰）和工艺设备特性的改变以及操作的稳定性均影响安全生产，这些影响因素包括如下内容。

（1）原材料的组成变化 在工业生产过程中都依一定的原料性质生产一定规格的产品，然而，由于原料性质的改变会严重影响生产的安全运行。

（2）产品性能与规格的变化 随着市场对产品性能与规格要求的改变，工业生产必须马上能适应市场的需求而改变，安全生产条件必须适应这种变化的情况。

（3）生产过程中设备的安全可靠性 工业生产过程的生产设备都是按照一定的生产规模而设计的。但是随着市场对产品数量需求的改变，原设计不能满足实际生产的需要，或者工厂生产设备的损坏或被占用，都会影响生产负荷的变化。

（4）装置与装置或工厂与工厂之间的关联性 在流程工业中，物料流与能量在各装置之间或工厂之间有着密切的关系，由于前后的联结调度等原因，往往要求生产过程的运行相应的改变，以满足整个生产过程物料与能量的平衡与安全运行的需要。

（5）生产设备特性的漂移 在工业生产工艺设备中，有些重要的设备其特性随着生产过程的进行将会发生变化，如热交换器由于结垢而影响传热效果，化学反应器中的催化剂的活性随化学反应的进行而衰减，有些管式裂解炉随着生产的进行而结焦等。这些特性的漂移和扩展的问题都将严重的影响装置的安全运行。

（6）控制系统失灵 仪表自动化系统是监督、管理、控制工业生产的关键设备与手段，自动控制系统本身的故障或特性变化也是生产过程的主要扰动来源。例如测量仪表测量过程的噪声、零点的漂移、控制过程特性的改变而控制器的参数没有及时调整以及操作者的操作失误等，这些都是影响装置的安全运行的扰动来源。

由于现代工业生产过程规模大，设备关联严密，强化生产，对于扰动十分敏感。例如炼油工业中催化裂化生产过程，采用固体催化剂流态化技术，该生产过程不仅要求物料和能量的平衡，而且要求压力保持平衡，使固体催化剂保持在良好的流态化状态。再如芳烃精馏生产过程，各精馏塔之间不仅物料紧密相连，而且采用热集成技术，前后装置的热量耦合在一起。因此，现代工业生产过程，能量平衡接近于临界状态，一个局部的扰动，就会在整个生产过程传播开来。给安全生产带来威胁。

1.1.3 影响工业生产过程控制的因素

工业生产过程除了上述特点外,若从反馈控制的观点来分析,其被控过程(对象)又具有下述的一些特性,影响着工业生产过程的操作、控制和优化。

工业生产过程的物料与能量流都是在密闭和管道与容器中传递、反应或分离,而有些物料又具有易燃、易爆、腐蚀和毒性。工业生产过程的变量很难在线测量,有些可能测不准,噪声大且不可靠,而有些变量至今还无法在线测量,特别是那些物料性质和产品质量的参数,只能通过取样送实验室化验分析才能获得。随着在线质量(成分)分析仪的逐步使用,使得原来不可测的变量变成可测量,然而,在线分析仪满足不了千变万化的工业生产过程的需求。为了解决这一问题,人们寻求用间接的方法来测量不可测的变量,通常称为软测量技术或叫推断测量的方法,即利用可测量的变量和相关模型,计算出不可测量的变量。对于负反馈控制来说完全依赖于工业生产过程信号测量的准确性。

1.2 工业生产过程自动化技术及安全控制

自19世纪世界工业革命以后,工业生产过程由简单到复杂,规模由小到大。至今,已有各种各样的工业生产过程,生产出多种多样的产品满足人们的生产需要。作为工业生产过程一部分的工业过程控制系统也在不断发展和提高。

1.2.1 自动化仪表技术的发展

在工业安全生产过程,通常需要测量和控制的变量有:温度、压力、流量、液面、称重、电量(电流、电压、功率)和成分等。这些变量的测量和控制随着电子技术、计算机技术以及测量技术的不断发展,虽然其基本测量原理变化不大,但是信号置换、显示和控制装置的变化十分迅速。最近50年,工业自动化仪表从气动仪表到电动仪表,从现场就地控制到中央控制室控制,从在仪表屏上操作到用计算机操作站(CRT)操作,从模拟信号到数字信号等,其发展和变化十分惊人,如表1-1所示。

20世纪50年代是电子真空管时代,工业生产过程规模比较小,所用的仪表与控制系统都比较简单且粗笨,多用气动仪表进行测量与控制,采用 $0.2\sim 1.0\text{kgf/cm}^2$ ($3\sim 15\text{psi}$)气动信号作为统一标准信号,记录仪是电子管式的自动平衡记录仪。控制系统为就地式的简单装置。

到了20世纪60年代,随着工业规模的不断扩大,特别是石油化工工业的迅速发展,工业生产过程要求集中操作与控制。在这期间,半导体技术有了迅速的发展,自动化仪表开始用电动仪表,电子管由晶体管代替,开发出以半导体分立元件制造的电动Ⅱ型仪表,统一信号标准为 $0\sim 10\text{mA}$ 。采用中央仪表控制室对工业生产过程进行操作、监视和控制,同时,计算机开始在工业生产过程中应用,实现直接数字控制(DDC-Directly Digital Control)。

表 1-1 安全控制技术的发展

年 代	工业发展状况	控 制 技 术
20 世纪 50 年代	化工 钢铁 } 规模较小 纺织 } 造纸 } 电子管时代	仪表信号传输标准 ($0.2 \sim 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ ^①) ($3 \sim 15 \text{ psi}$ ^②) 气动信号; 采用真空电子管; 记录仪表为自动平衡型; 拨动仪表控制器
20 世纪 60 年代	半导体技术(分立元件); 石油化工; 计算机; 大型电站; 过程工业大型化	电动仪表开始应用, DDZ-II 型信号标准 $0 \sim 10 \text{ mA}$ 直流电流信号; 仪表控制室; 模拟流程图; DDC
20 世纪 70 年代	集成电路技术; 微处理器; 能源危机; 工业现代化; 微机广泛应用	电动仪表(DDZ-III 型)信号标准 $4 \sim 20 \text{ mA}$ 直流电流信号; CAD; 自动机械工具; 机器人; DCS、PLC
20 世纪 80 年代	办公自动化; 数字化技术; 通讯、网络技术; 对环境的重视	数字化仪表, 各种通信协议, 如 RS-232; 智能化仪表、微机化仪表; 先进控制软件; CDS 功能扩展
20 世纪 90 年代	智能控制; 工业控制高要求	现场总线; 分析仪器的在线应用; 优化控制

① $1 \text{ kgf/cm}^2 = 98.0665 \text{ kPa}$;

② $1 \text{ psi} = 6894.76 \text{ Pa}$ 。

进入 20 世纪 70 年代, 由于集成电路和微处理器的工业化生产, 使电动仪表更可靠, 很快开发出电动 II 型仪表, 统一标准信号为 $4 \sim 20 \text{ mA}$ 。期间, 以微处理器为核心的集散型控制系统 (DCS-Distributed Control System) 的出现, 代替了原有集中式 DDC 系统, 在工业生产过程中开创了计算机控制的新时代。与此同时, 可编程控制器 (PLC) 亦在机械、间歇生产过程中得到广泛应用。

20 世纪 80 年代是 DCS 广泛在工业生产过程控制中应用的年代。同时, 自动化仪表数字化、智能化不断创新, 网络、通信技术引入到自动控制系统中, 友好的人机界面, 以及工业电视等成为工业自动化的重要手段之一。

到了 20 世纪 90 年代, 迫切要求控制技术高精度、高可靠, 从而在线分析仪表大量在工业生产过程中采用, 同时, 开发出比 DCS 价更廉的现场总线控制系统和智能化系统。

计算机在工业生产过程中的应用发展过程, 如表 1-2 所示。在 20 世纪 60 年代, 计算机在工业生产过程控制中的应用, 只是代替常规的 PID 控制器、显示、记录和报警仪表, 实现所谓直接数字控制 (DDC)。因为这种集中式的计算机控制系统, 由于可靠性不够高, 所以, 模拟仪表控制系统仍旧大量采用。直至 20