

[美] 罗伊 E. 桑德斯 著
段爱军 蓝兴英 姜桂元 译

化工过程安全

—— 来自事故案例的启示

(第三版)

Chemical Process Safety

石油工业出版社

化工过程安全

——来自事故案例的启示

(第三版)

[美] 罗伊 E. 桑德斯 著

段爱军 蓝兴英 姜桂元 译

石油工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了化工厂安全方面的总体情况,并在此基础上从水和蒸汽、管路问题、设备改造、阀门仪表、操作规程、机械完整性、有效的管理等方面阐述了影响化工厂安全的因素及注意事项。最后作者给出了对化工过程安全有用的著作以供读者查阅参考。

本书适合于石化企业的生产者、管理者、HSE 监督人员,安全环保方面的研究人员及大专院校相关专业师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

化工过程安全——来自事故案例的启示(第三版)/(美)桑德斯(Sanders, R. E.)著;段爱军,蓝兴英,姜桂元译.——北京:石油工业出版社,2010.5—6

书名原文:Chemical Process Safety——Learning from Case Histories, Third Edition
ISBN 978-7-5021-7587-0

I. 化…

II. ①桑… ②段… ③蓝… ④姜…

III. 化工过程—安全工程

IV. ① TQ02 ② TQ086

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 244773 号

Copyright © 2005, Elsevier Inc. All rights reserved.

No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the publisher.

本书经 Elsevier Inc. 授权翻译出版,中文版权归石油工业出版社所有,侵权必究。

著作权合同登记号图字:01-2008-1474。

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

编辑部:(010) 64523735 发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2010 年 6 月第 1 版 2010 年 6 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:16

字数:408 千字 印数:1—2000 册

定价:75.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

纵观书架上的技术书籍，我们可以看到许多关于化工过程安全理论及应用方面的专著和文章，它们为化工过程的危险辨识、职业培训、风险评价以及美国劳工部职业安全卫生署（OSHA）的过程安全管理条例等方面提供了合理的建议。然而，只有少数的专家，如 Trevor A.Kletz，通过列举典型的事故案例深入浅出地帮助人们学习过程安全方面的基础知识。

1989 年，Trevor Kletz 鼓励我编写一本化工厂改造方面的书。那时候，我们正在共同讲授美国化学工程师协会的教育深造课程——“化工厂事故的起因及预防措施”。希望本书能延续 Trevor Kletz 的书写风格，用简洁的语言、有趣的逸事来清晰地阐述一些过程安全的基本概念。真诚希望与化工工艺操作员、操作主管、研究化工过程安全的大学教授、化工厂工艺管道安装工、焊接工和维修人员共同分享本书中的事故案例。

本书第一版的出版比较成功，后面几版更换了新书名《化工过程安全——来自事故案例的启示》。第二版书籍中除包含第一版的最精彩内容之外，还增添了两个新章节、最新事故案例和大量真实可信的图片。

第三版书籍做了很大的改进。其中，第 1 章包含了一些最新的统计资料，新增了氮气窒息事故和一些最新的事故案例；此外，还增加了与压缩机、软管和机泵相关的事故案例新章节。书中提供了许多新颖实用的参考书目，大多数可在网络上查到。

读者在阅读本书时请牢记：本作者的所有经历是在一家拥有 20 亿美元资本、1500 名员工、占地面积 600acre 的大型化工厂中得到的。化工厂里存在有毒气体、可燃气体、易燃液体和腐蚀性物质，但是易燃粉尘和静电问题并不严重。

本书信息来源广泛，其中一部分信息来自本人在路易斯安那州防损协会（现已解散）的工作经历；一部分信息由美国化学工程师协会承办的“化工厂事故”培训课程中上课的学生提供；另有一部分信息来自在麦克尼斯州立大学工程学院举行的、职业安全卫生署主办的会议中湖区工业联盟的成员；还有一些信息来自本人的同事、朋友以及其他来源的文献资料。本人相信这些案例是真实的，尽管其中一些事故案例只是道听途说，并没有文件资料可以证明其真实性。虽然本书中各事故案例的研究方法和建议是比较恰当的，但是作者、编辑以及出版商都不可能完全确定只要按照书中所提的建议，不管在什么前提下都能够保证操作安全、人员健康，而且不违反任何法律法规。

致 谢

第三版

感谢给我提供帮助的人们，使得本书第三版顺利完成。感谢我的家人和好友的理解和支持，为了尽快完成第三版，我不得不做出牺牲，错过了与他们相聚在一起的一些活动。

如果没有 Elsevier 科学出版社的 Christine Kloiber 和 Phil Carmical 两位编辑的支持，此书也不可能问世。每当写完一句话，我都会根据指导书认真地校对。在 Selina Cascio 的真诚指正下，书中那些表述有瑕疵的句子变得流畅易解。在我 20 多年的科技写作生涯中，Selina 一直孜孜不倦地帮助我，她的真诚付出的确起到了非常积极的作用。

感谢美国环保局的 David Chung，伊士曼化学公司的 Douglas S. Giles, Peter N. Lodal 和 Trevor A. Kletz 博士，Mary Kay O'Connor 过程安全中心的 Nir Keren，PPG 公司的 Catherine Vickers 以及为本书提供帮助的所有人，第三版中许多资料都是由他们提供的。本人非常幸运在绘图方面能得到 Manuel David 的帮助，他绘制了许多简单易懂的插图用以阐明确书中的事故案例。

十分感谢宾夕法尼亚州 Monroeville 的 PPG 公司专家们提供了许多技术方面和法律方面的帮助，Monroeville 的支持者包括 Jeff Solomon，David McKeough 和 Maria Revetta 等人。

第二版

感谢 Butterworth-Heinemann 的 Michael Forster，在其鼓励下本书第二版得以出版发表。几年来，他一直坚定地支持着我，没有他的支持和帮助，第二版不可能顺利问世。

我的女儿 Laura Sanders 和她丈夫 Morgan Grether 的专业校准技能使本书一半左右的内容变得清晰明了。没有他们的指导和认真校对，以及 Selina Cascio 的坦率指正，本书不可能顺利再版。感谢总部在宾西法尼亚州 Monroeville 的 PPG 公司专家们在技术方面的指导。Monroeville 的支持者包括 David McKeough，Maria Revetta 和 Irwin Stein 等人。感谢化学工程师协会的 Mark Smith 博士，在其许可下第一版中所使用的一些图片可以继续采用，有力支持了一些事故案例的阐明。

感谢 Manuel David 和 Warren Schindler，这两位都是非常才华的绘图者，他们采用了一些精彩的图片，增加了文章的可视效果，深入阐明了一些重要的基本概念。尽管 Trevor A. Kletz 博士事务繁多，但总是尽其所能提供帮助，在此深表感谢。

感谢我的妻子 Jill 及女儿 Julie 和 Lisa 给予的理解与支持。对于一个全职工作者，我必须利用业余时间完成写书的工作，我也不不得不做出一些牺牲。在那一年多的时间里，为了完成这项工作，我错过了很多家庭活动，在此对她们的支持和理解深表感谢！

第一版

感谢那些给予我鼓励和帮助的人们。作为一个化工生产厂的工程师，著书立说似乎并不现实。早在 20 世纪 80 年代，我发表过一篇原创性的技术文章，之后在 Bill Bradford 的鼓励下又写了一篇文章。我的第一篇技术类文章是关于工厂改造的内容，于 1982 年发表在美国化学工程师协会（AIChE）杂志上。

1983 年，Trevor A. Kletz 邀请我帮助讲授美国化学工程师协会举办的教育深造课程。能与这位在防损领域非常著名的专家共同授课，我感到受宠若惊和无比兴奋，从中我收获颇丰。后来，他成为我的老师、教练和挚友。

我协助 Trevor Kletz 讲授一门为期两天的课程——“化工厂事故的起因及预防措施”。讲授 6 年之后，他鼓励我写一本关于化工厂改造方面的书。以前曾在 Butterworth 出版社工作过的 Jayne Holder 对我所关心和质疑的问题都给予了极大的帮助和支持。

在开始撰写本书之前，我一直在广泛寻求帮助。William E. Cleary, Jack M. Jarnagin, Selina C. Cascio 和 Trevor A. Kletz 都无私地提供了许多帮助。在最艰难的时刻，Trevor Kletz 和 Jayne Holder 再一次地鼓励我振作起来，最终使得本书顺利完成。

我非常感谢 Bill Cleary 在技术和语法方面的指正；感谢 Selina Cascio 为本书初稿准备工作中格式和标点符号无休止的修改所提供的帮助；感谢 Jack Jarnagin 为本书提供了很多清晰明了的插图。同时也感谢 Trevor 孜孜不倦的帮助。

感谢我的妻子 Jill 的耐心和帮助，感谢我的女儿 Laura 在文字校对方面的帮助，感谢 Warren H. Woolfolk 对本书第 8 章的帮助。感谢美国化学工程师协会的 Bernard Hancock，在其准许下许多图片可以继续采用以增强对文中案例的说明。感谢本人所在的 PPG 工业集团公司给予的帮助。最后，感谢所有提供事故案例和说明图片的人们，由于篇幅所限，他们的名字无法一一列举出来。

目 录

1 安全的化工厂	1
1.1 引言	1
1.2 化学工业的益处	1
1.3 工业革命前的化工制造业	2
1.4 现代化工的作用	3
1.5 认识危险	3
1.6 员工安全与生活方式	7
1.7 化学工业卓越的安全纪录	7
1.8 谁在从事最危险的工作	8
1.9 美国化工厂的危险程度	12
1.10 英国化工厂的危险性	13
1.11 英国各行业死亡事故率统计	14
1.12 化工厂和炼油厂如何面对重大损失	14
参考文献	16
2 事与愿违	19
2.1 设备的改进与变更	19
2.2 油罐车事故	19
2.3 虹吸作用引发的储罐爆炸事故	22
2.4 过量灌装引发的容器毁坏	25
2.5 为提高产率致使储罐损坏的事故	26
2.6 排水管线变更引发的反应器爆炸事故	28
2.7 空气系统改造引发的容器爆炸事故	30
2.8 新型通风系统的安全隐患	32
2.9 氮气替代压缩空气引发的事故	32
2.10 氮气窒息事故	33
2.11 乙烯储罐事故	35
2.12 杂质、稳定剂及替代化学品引发的事故	36
2.13 新型保护系统引发的事故	36
2.14 气体压缩机防尘措施导致整个装置着火	37
2.15 小事故	37
2.16 一个构思很好的做法不仅破坏了新容器，邻近居民点也遭受破坏	37
2.17 硫化氢夺走两条生命的悲剧	41

2.18	排水沟事故的启迪	42
2.19	总结	42
	参考文献	42
3	关注水和水蒸汽：常用辅助资源与事故隐患	44
3.1	水压试验事故	45
3.2	水淹塔排水时造成的塔体倒塌	47
3.3	水与强酸、强碱化合物的反应	49
3.4	简单易用的蒸汽加热却使设备超出安全限制	50
3.5	密闭系统内加热水	51
3.6	装置试车时蒸汽冷凝造成大型容器破坏事故	52
3.7	热油泵入少量水中发生的悲剧	54
	参考文献	56
4	检修前的准备工作	57
4.1	检修准备工作中出现的问题	57
4.2	容器放空到充水罐导致的事故	57
4.3	大型容器喷漆的准备工作	58
4.4	盐泥溶解系统的维修准备工作	59
4.5	盐水系统的问题究竟出在哪里	60
4.6	待维修的储罐发生猛烈喷发事故	60
4.7	冰淇淋工厂准备更换阀门时发生的爆炸事故	61
4.8	麻雀死亡教训促进了化学清洗操作程序改进	63
4.9	其他清洗、洗涤、水蒸汽吹扫和净化操作造成的事故	64
4.10	阀门待修时发生的悲剧	64
4.11	对维修准备工作改进的总结	66
	参考文献	66
5	维修工作引发的事故及工艺管道问题	68
5.1	计划与信息交流	68
5.2	新滤筒导致钢罐着火	69
5.3	管线维修引起另一起钢管起火事故	69
5.4	再沸器维修后引发的火灾	69
5.5	焊接过程发生重油储罐爆炸事故	71
5.6	维修中苯酚罐罐顶炸裂事故	71
5.7	美国环保局报道的储罐大灾难	72
5.8	维修管段导致球罐大量泄漏事件	73
5.9	菲利普斯 66 事故：得克萨斯州 Pasadena 工厂的悲剧	74
5.10	错误拆除阀门导致装置特大爆炸事故	76

5.11	反应器隔离塞阀的误导措施引发蒸气云爆炸事故	79
5.12	压缩空气干线上通气系统的维修事故	80
5.13	隐蔽的盲板引发事故	81
5.14	蒸汽泄漏造成的小型爆炸事故	83
5.15	Flixborough 灾难及永远铭记的教训	84
5.16	管道系统不当会引发大事故	85
5.17	管路问题引发的大事故	86
5.18	OSHA 法规	87
5.19	4 例灾难性的管道事故	88
5.20	管道问题的评述	90
5.21	对维修工作引发事故和工艺管道问题的总结	90
	参考文献	90
6	一分钟改变命运：快速细微的变更引发事故	93
6.1	分析仪器维修后发生爆炸	93
6.2	用错一丁点润滑油的悲剧	93
6.3	冷却方法变更导致惨剧发生	93
6.4	仪表用风中断造成的事故	94
6.5	操作员解除仪表警报造成灾难	94
6.6	变更加热炉温度保护值导致事故	94
6.7	错误的垫圈材料在夏季形成冰柱	97
6.8	另一起损失惨重的垫圈事故	99
6.9	停用石棉垫圈但依然存在其他泄漏问题	99
6.10	其他更换管道垫圈引发的事故案例	100
6.11	新螺栓意外失灵事故	101
6.12	防飓风措施不恰当地应用于储罐放空保护安全盖	101
6.13	油漆工作业不当带来的麻烦	103
6.14	管工重新安装安全阀带来的失误	103
6.15	另一起管工事故	103
6.16	冷却水系统的爆炸事故	104
6.17	未打开真空泄放阀导致储罐塌陷事故	105
6.18	一桶水毁了一个储罐	106
6.19	未打开降压放空阀导致两人死亡事故	107
6.20	“一分钟变更”的评述	108
	参考文献	108
7	压缩机、软管和机泵相关事故	110
7.1	往复式压缩机	110
7.2	一起压缩机水夹套引发的事故	110

7.3	错用软管很快造成事故	113
7.4	一些未报道的软管事故	113
7.5	Flixborough 灾难的水管起因	114
7.6	加热设备用软管引发的事故	114
7.7	软管引发的三哩岛事故	115
7.8	误用软管导致 Bhopal 事故悲剧	115
7.9	错误安装软管造成大事故	116
7.10	高压氢气意外回流到氮气系统导致爆炸事故	118
7.11	硝酸送错储罐造成事故	119
7.12	如何防止这类事故	119
7.13	其他的卡车运输事故	119
7.14	操作工的警觉避免了硫酸卸载灾难性事故	120
7.15	各类软管不能滥用	120
7.16	离心泵	121
7.17	河水泵管道爆炸事故	122
7.18	严重的机泵爆炸事故	126
7.19	一台大型冷凝泵爆炸事故	127
	参考文献	128
8	违反操作规程引发的事故	130
8.1	不遵守操作规程造成 10 万美元财产损失的事故案例	130
8.2	关于加热炉的一些观点	131
8.3	没有按照规范进行低压罐加工	132
8.4	低压罐的防爆排气装置	132
8.5	更换螺栓造成的小事故	134
8.6	不遵守管道设计规程导致的事故	135
8.7	及时发现机泵隐患避免了大事故发生	139
8.8	错用塑料泵输送可燃流体引发事故	140
8.9	变更原有轻承重墙上的紧固件导致事故发生	141
8.10	未遵照垫圈规范而酿成的事故	141
8.11	整装机组中的意外事故	142
8.12	反思	142
	参考文献	142
9	问题的假想解决方案与实际解决方案	144
9.1	假想解决方案——不要夸大安全研究中所出现的危险	144
9.2	新型灭火剂遭遇反对——“因为它可能会置人于死命和产生火灾”	144
9.3	一个关于过程安全管理的测验	145
9.4	新纤维生产方法被质疑	147

9.5	解决实际问题的方法	147
9.6	一个物理系学生和他的恶作剧做法	148
	参考文献	149
10	设备完整性在化工过程安全中的作用	150
10.1	化工厂中的设备完整性	150
10.2	设备完整性的规范要求	151
10.3	设备完整性操作规程必须与特定场合相适应	151
10.4	设计和安装过程的设备完整性	152
10.5	设备完整性包含的设备	152
10.6	设备完整性的强制性规范	153
10.7	工业角度的设备完整性	154
10.8	书面操作规程和培训	154
10.9	按照潜在危害对设备分级	154
10.10	机泵和压缩机的设备完整性程序	155
10.11	用于旋转设备和固定设备的热成像技术	160
10.12	输送管道、压力容器、储罐及工艺管道的设备完整性程序	161
10.13	压力容器、储罐和管道的检测	163
10.14	压力容器和储罐的检测	163
10.15	地上管道的检测	171
10.16	安全重要仪表和安全泄压阀的设备方案	172
10.17	安全泄压阀的重要作用	173
10.18	安全泄压阀的内控测试	173
10.19	过程安全联锁装置和警报的设备完整性程序	180
10.20	杜邦工厂的保护性过程安全联锁装置	180
10.21	另一家公司——对安全重要仪表系统的另一种强调方式	181
10.22	另一种方法——路易斯安那工厂的验证试验方法	182
10.23	设备完整性的其他相关信息	187
	参考文献	188
11	化学工业中的有效变更管理	190
11.1	引言	190
11.2	变更管理的初步思想	190
11.3	变更管理系统的异同	190
11.4	实践检验	191
11.5	保持变更管理简单化	192
11.6	保持工作延续性	192
11.7	工厂变更的一些历史途径	192
11.8	美国职业安全卫生署 (OSHA) 过程安全管理标准对“变更管理	

(Management of Change, MOC)” 的说明	192
11.9 预防非控性变更和满足美国职业安全卫生署要求的有效变更管理系统原则	194
11.10 建立或改善变更管理系统的总体过程描述	195
11.11 必须清楚各种定义	196
11.12 中型或大型化工机构有效变更管理的关键步骤	197
11.13 小型公司有效变更管理系统的步骤	201
11.14 发现危险时多学科安全管理委员会可以提供深层见解	202
11.15 维护性的操作变更同样需要周密检查	203
11.16 异常情况、突发情况及特殊情况的处理	203
11.17 变更管理系统是否应该无纸化操作	205
11.18 20 多个工厂分享他们的 MOC 实践经验	206
11.19 变更批准、文件管理和审计的管理办法	207
11.20 关于变更管理政策的结论性观点	208
附录 A	209
附录 B	211
参考文献	214
12 各类事故的调查与发布	216
12.1 引言	216
12.2 事故调查的规则	216
12.3 企业文化对调查的影响	217
12.4 事故调查报告中企业文化因素的更多指导原则	219
12.5 美国职业安全卫生署安全协调员的观点	220
12.6 事故原因层次分析法	220
12.7 一个加热炉管事故的回顾	220
12.8 过程安全事故调查技术	222
12.9 寻根原因分析法的应用	222
12.10 一些化学品生产商事故调查方法	223
12.11 事故的起因是什么	224
12.12 关于过程安全事故调查技术的若干观点	224
12.13 遵循美国职业安全卫生署关于事故调查的原则	225
12.14 调查报告的认证、发布、共享, 补救措施的追踪和报告的保存	228
12.15 结论	228
附录 面谈技巧	229
参考文献	230
13 化工过程安全管理的有效信息资源	231
13.1 过程安全管理资源网——网站	231

13.2	化工过程安全方面最优秀的 7 本书——一位工艺工程师的观点	233
13.3	常用化工过程安全书籍	235
13.4	安全重要仪表、压力容器、储罐、输送管道的实用信息	237
13.5	其他有用的资源	237
	参考文献	242
	单位换算表	243

1 安全的化工厂

1.1 引言

回顾历史、正视现实和展望未来，人们经常会误解化工制造业。本章一开始将对美国化学工业进行准确的描述，其中包括化学工业对于人类社会的价值、化学工业的历史背景以及化学工业的安全程度。第二节将简要总结身边的化学工业给我们的生活带来的好处，如可以提高我们的生活水平，使我们的生活更加美好。第三节将简要回顾化工制造业的主要历史。然而，本章重点强调的是相对危险性这个概念，人们往往对化学工业及其危险性有着错误的认识。

在化工厂中工作往往比大多数人所想象的要安全得多。通过与其他耳熟能详的常规职业、日常活动以及常见生活方式等所面临的实际危险相比较，我们对化学工业中所面临的危险有了更深入的认识。后面的章节主要介绍化学工业中一些付出惨重代价的事故案例，以及如何通过实践和所制定的规程逐步降低此类事故的发生概率并控制事故的严重程度。孤立地看待某个事故会让人产生化学工业是极其危险的误解，事实上，与大多数职业相比，化学工业具有更好的安全性。然而，新闻媒体却很少提到化工厂是安全的，因为它们缺少新闻卖点。

1.2 化学工业的益处

化工生产和石油加工使得我们的生活变得富裕。在发达国家，大多数人都能意识到化学工业无时无刻不在提高着他们的生活水平。化学工业给我们带来的效益可以从许多方面体现出来，例如：在聚酯纤维床单和聚氨酯泡沫塑料床垫上美美地睡上一觉后，塑料闹钟会把我们唤醒；我们在尼龙地毯上行走几步，打开用酚醛树脂制造的电灯开关，电流立刻安全地通过聚氯乙烯绝缘电线；在盥洗室水池中，我们用经过化学消毒的清水和采用化学方法制得的香皂洗脸。

当我们走进厨房，打开用氟氯烃制冷的冰箱拿出冷冻的橙汁时，请别忘了这些橙子是来自化工肥料滋养的橘园。每天早晨，许多人手拿早报快速浏览新闻时，都未曾想到过这些印刷品采用的墨汁和报纸也都是化学产品。同样，有些人习惯在早晨听新闻，可他们从未想到过电视和收音机中的每个零部件实际上也是化工产品。总而言之，我们从未想到化学工业给我们身边带来这么多的好处，也没有意识到化学工业使我们的生活变得多么的丰富多彩。

美国化学协会最近出版的刊物上写道：

在美国，与其他任何工业相比，化学工业更加多样化，其产品无处不在。化工产品满足我们日常食品、住房和健康等基本需求的原料；对于高科技领域，如计算机、通讯以及生物技术，化工产品也非常重要。化工是美国制造业的基石，对于各个行业都是必不可少的，如制药、汽车、纺织、家具、涂料、造纸、电子、农业、建筑、家电和服务行业等。我们很难把各类化

工产品的用途——列举出来。一个没有化工业的世界，也不会存在现代医药、交通运输、通讯以及各种各样的消费品。

1.3 工业革命前的化工制造业

人类一直在想尽各种方法使得生活变得更加美好而便利。从广义上讲，远古人类从火的使用开始接触到化学，后来又通过烧柴、做饭以及烧制陶瓷和砖块认识了化工。早在公元前 5000 年，人们就可以把黏土成型制成有用的器皿以及可防止水渗漏的坛子、罐和壶等容器。

最古老的工业化学品是纯碱，直到现在仍在使用，其历史可追溯到公元前 4000 年—前 3000 年左右。我们在埃及的古墓中找到一些玻璃珠以及其他玻璃装饰品，它们很可能是由纯碱制得的。在古埃及的史料中曾记载过天然纯碱是一种商品。

从我们今天所了解的情况来看，那些进入文明社会的远古人类已经知道酒精发酵的实际用途。埃及人和闪米特人[●]早在公元前 3000 多年就能酿造一种麦芽啤酒，也许在更早以前就已经掌握酿酒的工艺了。公元前 3000 年，古埃及人就能通过挤压葡萄，榨取汁液，然后放入罐中进行发酵来酿制葡萄酒。除啤酒和葡萄酒外，古人还喝白酒、椰子酒和苹果酒。

据我们所知，古罗马人和古希腊人一直没用过肥皂，如今我们还不能确定他们是怎样进行清洗工作的。希腊人采用油加上麦麸、沙子、灰烬以及浮石等来清洗皮肤，将衣服和羊毛类纺织品放入混有碱或氨水的土里，然后通过踩踏、用石头或木槌锤打来清洗衣物。罗马的洗衣工在街头巷尾放上大水罐收集尿液，用尿来清洗衣服，这种做法看起来似乎非常恶心，但这种方法从罗马时代就开始使用，而且一直到 19 世纪海上航行的帆船中还在使用这种方法。

在公元 900 年左右，欧洲人刚刚存在了 30 年，生活如此艰辛，而且所得到的回报也少得可怜。食物奇缺并且单调乏味，经常腐烂变质。人们食不果腹、衣服粗糙笨重。战争、疾病、饥饿和低出生率相当普遍。在中世纪，80% 以上的欧洲人仅能在自己出生地 10mile 的范围内活动。在那个荒凉的年代之后，迎来了一个充满创新的爆发性时代，人们开始思索如何利用科学来减轻他们的一部分负担。

在欧洲，人们收割海岸上各种各样的海藻和植物，然后将其燃烧来制造纯碱，这种方法是有记载的工业化学制造方法中最早的一个例子。没人能确切说出这一化工过程的起始时间，但是此方法的应用范围十分广泛。在阿拉伯语中，纯碱称为“al kali”，来自于单词“kali”。“kali”是一种植物，将这种植物燃烧，然后加入热水，就可生成黄色碱液。这一工艺过程生产出来的主要是碳酸钠（俗名是纯碱），它常用来生产肥皂和玻璃。直到今天，纯碱这一最为古老的化学品依然在使用。

在 17 世纪和 18 世纪，科学家们奠定了现代化学工业的基础。德国、法国和英格兰率先生产出无机化学品，用于保存肉类和其他食物，或用于生产火药、染料织物和肥皂。在 1635 年，美国在波士顿建立了第一个化工厂，用于生产制造火药和皮革用的硝石。

随着工业革命的兴起，化学工业逐渐成形。但是直到 1700 年，人们只发现了 14 种元素。早期化工生产过程的发展要归功于奥尔良公爵的一名家庭医生——Nicolas LeBlanc，他

● 闪米特人又称闪族人，是起源于阿拉伯半岛的游牧民族。

提出了一种将食盐变成纯碱的方法。在 18 世纪 90 年代，奥尔良公爵提供给 LeBlanc 博士一笔不菲的资金，让他建立一个化工厂，该工厂离巴黎不远。其他的纯碱工厂如雨后春笋般在法国、英格兰、苏格兰、奥地利和德国等国家纷纷涌现出来。

LeBlanc 工艺是第一个工业化的大型化工过程，该过程产生大量副产品氯化氢，氯化氢直接排放到空气中，造成了第一次大规模的工业污染。后来人们发现这种废气能和二氧化锰反应产生氯气。LeBlanc 工艺一直使用到 1861 年，之后被更高效的 Solvay 工艺所取代。

1.4 现代化工的作用

到目前为止，人们共发现 100 种元素。而在 19 世纪，化学家们只发现了这 100 种元素的一半左右。1850 年以后，煤焦油染料、药物、硝化甘油爆炸物和赛璐珞塑料等有机化合物相继出现并大量生产。两次世界大战促进了军火、纤维、轻质金属、人造橡胶和燃料等生产工艺的发展和进步。20 世纪 30 年代，氯丁橡胶（1930 年）、聚乙烯（1933 年）、尼龙（1937 年）和玻璃纤维（1938 年）的陆续投产标志着一个由塑料制品代替天然材料新时代的开始。这些“塑料”对产品的设计、制造和包装产生了根本性的影响。

第二次世界大战后，石油炼制和化工过程的发展远远超过其他制造业。由于原料和产品多为有毒易燃的液体和气体，现代化工也不同于以往的传统工业。当然，现代化工对有害物质的处理和储存所引起的潜在危害比传统工业所引起的危害程度要严重得多。

到 20 世纪五六十年代，化工过程变得越来越复杂，随之而来产生了更多的有腐蚀性的、有毒且易燃的化学物质，工艺过程所需要的操作温度和压力也越来越高。人们不能接受那种不考虑化工厂或炼油厂改造所产生的副作用而随意变更其设计布局和操作程序的做法。许多重大事故案例给我们提供了鲜活的例子，那些目光短浅、自作聪明的人在处理特殊问题时，不会考虑到这个特殊问题有可能会引起其他不良后果。

本书将重点叙述大量有关失踪、火灾、爆炸、泄漏、身体伤害及淤伤等诸如此类的事故案例。一个设计不合理的“工厂改造”方案、错误的维护保养工作、缺乏操作经验或者不按照操作规程进行操作等等问题，都是导致以下章节中事故发生的主要原因之一。不了解化学工业的人也许会认为化学工业是最具危害性的行业，然而事实并非如此。美国化学工业（以及大多数欧洲化学工业）是最安全的行业之一。事实表明，处理大量易燃、腐蚀性、有毒以及其他有危害性的物质，往往要经过高度严格的职业培训。

近年来，化学工业运行良好，很难找到大量最近发生的事故作为范例。本书中很多经典的事故案例都是发生在 20 多年前。但是，从中学到的经验教训仍然适用于 21 世纪。压力过大或过小都很容易导致容器损坏，在 1980 年情况是这样的，到了 2010 年还是这样。在回顾事故案例前，让我们先来回顾一下化学工业的安全记录。

1.5 认识危险

真实存在的危险不同于可观察到的危险。由于人类的好奇心，以及对卖点新闻的追求，一天二十四小时的新闻快讯以及时势动向，使得人们对危险产生了错觉，大部分人经常担心那些不重要的小危险，而忽视了每天所面对的重大危险。

哈佛大学风险危机研究中心的两位主任于 2002 年出版了一本家庭参考书，帮助读者弄

清那些令人担心的危险，怎样做才能保证安全，以及怎样面对危险，书名为《如何识别危险和安全实用指南》。此书内容引人入胜，书中有大量的事实案例和图片。

此书的前言部分中写道：

我们生活在一个充满危险的世界。然而，它也是一个与以前相比在很多方面都更安全的世界。我们的生活水平正在逐渐提高，婴儿死亡率也逐渐降低，很多致命的疾病基本上消失。在公共卫生、医药、环保法规、食品安全以及劳动防护等方面的进步，已经极大地减少了很多危险发生的几率，而就在几十年前我们还必须面对这些危险。

其前言还以一段非常具有说服力的话写道：

危险问题通常会引起争论。这些争论仁者见仁，智者见智，持反对观点的人经常言辞激烈。这并不令人奇怪，我们对危险的认知以及做出的反应，其本质就是说没有什么比活着更重要。对危险的洞察力和反应能力是人类行为、思想以及情感的强有力的和根本的驱动力。

这本书给出了作者对危险的许多看法和不同观点。

1.5.1 危险的辨识

1995年，John F. Ross 在一篇文章中写道：人们往往会高估发生重大死亡事故的可能性，却低估那些平平常常但数量众多的致命危险。这篇名为 Smithsonian 的文章写道：人们常常高估龙卷风所带来的死亡危险性，而低估中风和心脏病所产生的危险性。Ross 进一步指出：虽然死于疾病的人数比死于事故的人数多 15 倍，但是人们通常同等地看待疾病和事故。在美国，每年大约有 400000 人死于和吸烟有关的疾病，另外约 40000 人死于车祸；而一次仅仅导致 300 人死亡的飞机失事事故却能引起相当长一段时间的关注。重大死亡事故通常引人注目，而许多普通死亡事故一般不会引起注意。

《如何识别危险和安全实用指南》的作者强调了前言中所提到的担心：“大部分人担心那些令人恐惧的死亡危险，如被鲨鱼吃掉。然而，他们并不怎么担心那些相比之下并不令人恐惧的死亡危险，如心脏病——美国死亡人数最多的疾病。”这本指南书的附录中提供了大量支持此观点的资料，例如：在 2001 年，有两个美国人死于鲨鱼袭击；而在 1999 年，死于心脏病的就有 934110 人。究竟是哪一种危害经常出现在新闻报道的头版头条呢？

1997 年，发生在佛罗里达州的一起悲剧事件证明了这一观点。一个 3 岁的小男孩在及膝深的水中摘百合花时，一只身长 11ft 的短吻鳄突然袭击了他，导致其死亡。各大电视台和新闻报纸报道了这件令人痛心的悲剧事件。从 1948 年开始，佛罗里达州体育运动委员会一直追踪记录着短吻鳄袭击人的事故。此次事故只是有史以来的第七起致人死亡的事故。

珍爱孩子的家长们可能马上认为短吻鳄是罪魁祸首。然而，真正的危险应该是监督不利和那浅浅的水塘。无数的少年儿童溺水身亡，但很少有人去考虑采取预防措施。据国家安全委员会报道，在 2000 年，约有 900 人死在家里的游泳池和浴缸中，而其中有 350 人是婴儿到五岁的儿童。ABC 新闻估计每年有 50 个小孩溺水并亡命于水桶之中的报道。我们对水桶是多么的熟悉，却从未把它看做是危险品！

1.5.2 自愿与非自愿

当人们没有选择余地时，通常会非常生气。当人们被迫面对危险时，他们通常不是对危险本身，而是对这种危险迫近的感觉而愤怒。最后，人们才意识到危险本身就是严重的危害。为了说明这种差别，Martin Siegal 写道：如果将一个人硬拉上山，然后将他的脚钉