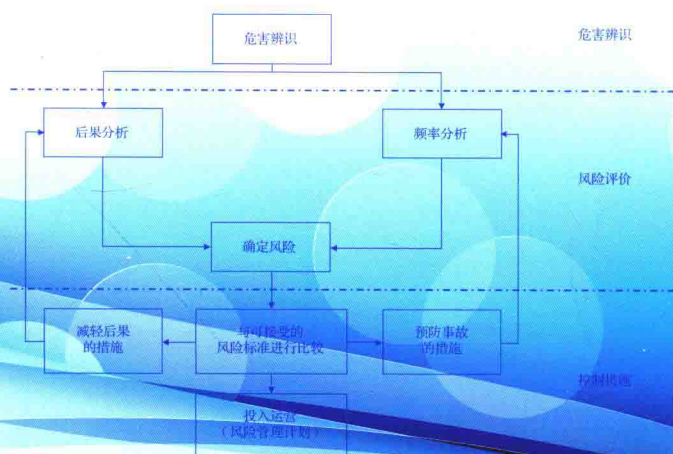


HAZOP Method and Practice

HAZOP

分析方法及实践

栗镇宇 著



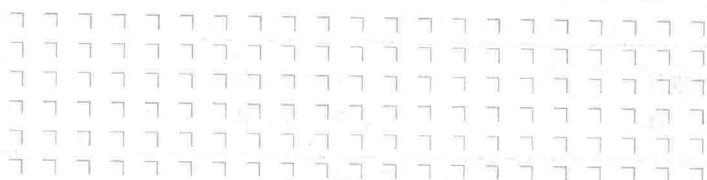
化学工业出版社

HAZOP Method and Practice

HAZOP

分析方法及实践

栗镇宇 著



化学工业出版社

· 北京 ·

《HAZOP 分析方法与实践》系统介绍了危险与可操作性研究 (HAZOP) 的基本概念、定性 HAZOP 分析方法、融入保护层概念的半定量 HAZOP 分析方法、对 HAZOP 分析报告的要求、计算机辅助 HAZOP 分析、过程危害分析复审, 以及如何领导一个团队开展 HAZOP 分析工作。此外, 本书还介绍了设施布置分析与人为因素分析的实践做法。本书的附录提供了开展 HAZOP 分析的一些基本参考资料。

《HAZOP 分析方法与实践》面向的读者包括流程工业企业的技术人员和管理人员、工程设计人员、风险评估人员、政府安全监管相关人员、安全咨询服务机构的专业人员, 也可以作为高等院校化工、制药、石油炼制和安全工程等专业的师生的辅助参考资料。

图书在版编目 (CIP) 数据

HAZOP 分析方法与实践/栗镇宇著. —北京: 化学工业出版社, 2017.11

ISBN 978-7-122-30603-6

I. ①H… II. ①栗… III. ①石油化工设备-风险分析 IV. ①TE96

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 221134 号

责任编辑: 杜进祥

文字编辑: 孙凤英

责任校对: 宋 玮

装帧设计: 韩 飞

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 刷: 北京市振南印刷有限责任公司

装 订: 北京国马装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张 12 $\frac{3}{4}$ 字数 242 千字 2018 年 1 月北京第 1 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: 59.00 元

版权所有 违者必究

FOREWORD

HAZOP 分析方法与实践

前言

如何预防火灾、爆炸和有毒物泄漏等灾难性的事故？如何确保工艺系统持续安全运行？这是所有涉及危险化学品的流程工厂必须回答好的问题。

灾难性的事故不是由某个单一的原因造成的，而是各种复杂因素共同作用的结果，归根结底是管理上存在的某些缺陷所导致的。管理上的缺陷是造成事故的深层次的根源，它通常表现为具体管理实践上的不当和技术上的不足，这些不当与不足是导致事故的较直接的原因。

管理实践超出了本书的范畴。本书仅讨论技术上的问题。如果从技术角度看，要预防灾难性的事故，只需要完成一项工作，就是识别、消除或控制工艺系统中存在的主要危害。技术上的不足，体现在两个方面，要么是企业管理者没有认识到工艺过程中存在的主要危害，要么虽然认识到了相关的危害，但没有落实恰当的措施，来消除或控制它们。

危险与可操作性研究（也称 HAZOP 分析）是弥补技术上的不足、从技术层面上消除灾难性过程安全事故的重要工具。越来越多的人开始了解它、应用它和热心传播它。但在其实际应用中，还存在较多的问题。主要表现在两个方面：①很多企业的管理层并没有真正认识到它的作用和意义，之所以开展这项工作，主要是源自政府的要求；②管理人员和技术人员还没有真正掌握这种方法，虽然按照工作流程对工艺系统完成了分析过程，但结果却差强人意，有些主要的危害没有识别出来；或者虽然识别了，却没有提出足够的措施来消除或控制，工艺系统还是在高风险水平上运行，事故依然会发生，没有完全达到预防事故之目的。

HAZOP 分析这项工作，表面上是一项技术工作，实际上它的执行过程是企业安全文化的具体表现。具有优秀安全文化的企业，对涉及危险化学品的工艺流程开展 HAZOP 分析，是一件自然而然的自愿的工作。管理层对其意义、要求和执行过程较熟悉，会积极准备好各种资源促其落实。反之，这项工作就会流于形式，失去其应有的作用和意义。

HAZOP 分析方法的应用是工程实践的一部分。它被应用于纷繁复杂、种类各异的工艺系统。虽然有一些相关的行业标准，但标准的规定仅仅是非常基础的框架，是粗线条的。在这些标准的基础上，各个企业不断探索，形成了一些不同的实践做法和各企业个性化的执行标准和要求。

HAZOP 分析方法发明之初，是定性的、线逐线的分析方法。后来，在开展

HAZOP 分析时,人们将工艺系统划分成各个子系统(即节点),对各个节点展开分析。目前,越来越多的跨国化工、石化和制药企业,提高了对 HAZOP 分析质量的要求,将保护层概念融入到 HAZOP 分析过程中,因此,它正逐步演变成一种半定量的工艺危害分析方法。

HAZOP 分析是一种朴素的方法和工具,我们应该客观地看待它、用好它。

一方面,不要把它神秘化,认为据此就可以解决所有过程安全的问题。它不是什么高深莫测的东西,而是朴素的技术方法,是分析小组讨论、评估和认知工艺系统危害的工作过程,与其他技术讨论方法并没有本质上的区别。因此,我们要有信心,只要认识到它的重要性,愿意去学习、应用与实践,任何企业都可以用好它,来防止灾难性的过程安全事故。HAZOP 分析是防范严重过程安全事故的重要工具,但要彻底消除过程安全事故,除了 HAZOP 分析外,还需要落实其他过程安全管理要素,如机械完整性、变更管理等。

另一方面,也不能否定它的作用。不能因为做了 HAZOP 分析却出了事故,就认为它无用处。做了 HAZOP 分析仍然出现事故,很多情况下,不是这种方法不好,而是使用的人没有真正把它用好。此外,导致事故的原因很多,应该依靠系统的管理和缜密的技术工作,来实现工艺过程的安全,HAZOP 分析工作只是预防过程安全事故的重要环节之一。我们可以将 HAZOP 分析作为突破口,在此基础上系统地落实各管理要素,从而达到消除或控制过程危害和预防灾难性过程安全事故的目的。

编写本书的基本出发点,是和读者一起分享 HAZOP 分析方法的一些应用经验与心得,帮助更多人了解和应用这种方法,以预防和消除灾难性的过程安全事故。本书共包括十章内容。

第一章是过程危害分析概述。叙述了过程安全管理的特点及其管理要素,也对过程危害分析的概念及常用分析方法做了简要说明。本章通过较宏观的描述,帮助读者理解过程危害分析要素及其在过程安全管理系统中的位置。

第二章是风险标准。阐述了危害与风险的概念、风险标准、风险矩阵,以及风险矩阵的应用。本章旨在帮助读者了解风险矩阵及其使用方法,为 HAZOP 分析的风险评估做好准备。

第三章是 HAZOP 分析方法。这是本书的重点章节之一,说明了 HAZOP 分析方法的基本概念和定性 HAZOP 分析的过程。本章还通过具体的实例,帮助读者增加对 HAZOP 分析方法及其应用的感性认识。

第四章是融入保护层概念的 HAZOP 分析。这是本书的重点章节之一,说明了保护层概念和融入了保护层概念的半定量 HAZOP 分析方法。通过具体的实例,帮助读者了解和掌握半定量 HAZOP 分析方法及其应用。

第五章是间歇工艺流程的 HAZOP 分析。本章说明了间歇工艺流程 HAZOP 分析的特点,突出阐述了其与连续工艺流程 HAZOP 分析的差异。其中包含一个间歇工艺流程的 HAZOP 分析实例,以增加读者的感性认识。

第六章是组织领导 HAZOP 分析。本章不涉及分析方法本身的技术内容，但也是本书的重点章节之一。它主要说明如何领导、组织完成一个 HAZOP 分析项目。对 HAZOP 分析相关方的职责、分析小组的要求、HAZOP 分析的准备工作及质量保障等方面做了较详细的说明。目的是让读者了解如何成功地领导、组织 HAZOP 分析工作。

第七章是 HAZOP 分析报告。本章说明了 HAZOP 分析报告的用途、应该包含的基本内容、编写分析报告的注意事项和报告的存档要求。

第八章是计算机辅助 HAZOP 分析。本章说明了 HAZOP 分析软件的作用、如何选择 HAZOP 分析软件。通过简单介绍 HAZOPkit® 软件的主要功能，帮助读者增加对 HAZOP 分析软件基本功能的一些感性认识。

第九章是 HAZOP 分析的补充。说明了开展设施布置分析和人为因素分析的做法与实践，它们是 HAZOP 分析的有益补充。本章对高占用率建筑物的影响评估和工艺报警评估做了较详细的说明，帮助读者初步了解开展设施布置分析和人为因素分析的方法。

第十章是过程危害分析复审。说明了过程危害复审的必要性、复审所包含的主要任务及做法。目的是帮助读者了解过程危害分析复审的基本要求和实践方法。

作者曾亲自带领分析小组，完成了 300 多个化工、精细化工、炼油和石化等领域的 HAZOP 分析项目，本书是这些项目的实践体会与总结，比较贴近实际应用。读者可以通过本书了解 HAZOP 分析的基础知识，学习 HAZOP 分析方法，将它应用到实际工作中。已有 HAZOP 分析实践经验的读者，可以参考本书的内容，结合自己开展 HAZOP 分析的心得，或许可以从中产生一些共鸣和新的心得。希望本书能抛砖引玉，为 HAZOP 分析方法的高质量推广应用尽微薄之力。

在本书编写过程中，获得了化学工业出版社有关领导和编辑、瑞迈公司同事们的大力支持，豪鹏科技公司 HAZOPkit® 软件开发小组也为本书提供了软件介绍的素材，在此一并表示衷心感谢！

鉴于作者水平的局限，不足之处在所难免，望读者谅解并提出宝贵的改进意见。

栗镇宇

2017 年 5 月 上海

CONTENTS

HAZOP 分析方法与实践

目 录

第一章 过程危害分析概述

1

第一节 引子	1
第二节 事故是流程工业企业最大的成本	1
第三节 过程安全与作业安全的区别	3
第四节 过程安全管理系统的要素	6
第五节 过程危害分析要素	8
第六节 常见过程危害分析方法	11
一、安全检查表法	11
二、What-if 提问法 (“如果……会怎么样?” 提问法)	12
三、故障类型和影响分析 (FMEA)	14
四、危险与可操作性研究 (HAZOP)	17
五、故障树分析	17
第七节 过程危害分析方法的选择	19
第八节 何时开展过程危害分析?	20
一、研发设计阶段	21
二、生产运行阶段	21
第九节 本章小结	22

第二章 风险标准

23

第一节 引子	23
第二节 危害与风险	24
第三节 风险标准	26
第四节 风险矩阵表及应用	28
第五节 本章小结	30

第三章 HAZOP 分析方法

32

第一节	引子	32
第二节	HAZOP 分析的概念	33
第三节	HAZOP 分析相关的法规	34
第四节	HAZOP 分析相关的概念	36
一、	分析小组	37
二、	节点	37
三、	参数	38
四、	引导词	39
五、	HAZOP 分析工作表	40
第五节	HAZOP 分析举例	42
一、	工艺系统说明	42
二、	明确分析范围	44
三、	了解危险化学品的特性	44
四、	划分节点	44
五、	开展分析工作	45
第六节	节点划分的实践	51
第七节	参数与引导词详解	53
第八节	偏离描述与原因	62
一、	偏离描述	62
二、	原因	62
第九节	事故情景的后果	64
第十节	现有措施及风险评估	66
一、	现有措施	66
二、	风险评估	67
第十一节	提出建议项	67
一、	提出建议项的策略	67
二、	消除与控制过程危害的措施	68
三、	提出建议项	72
第十二节	本章小结	73

第四章 融入保护层概念的半定量 HAZOP 分析

75

第一节	引子	75
第二节	事故情景及其主要元素	77
第三节	半定量 HAZOP 分析工作表	81
第四节	半定量 HAZOP 分析举例	82

第五节 事故情景的后果分析	87
第六节 初始原因	88
一、初始原因的概念	88
二、初始原因出现的频率	89
第七节 促成条件	91
一、引入促成条件	91
二、促成条件 引火源	91
三、促成条件 人员在现场	92
四、促成条件 缓慢发展的事故情景	92
第八节 独立保护层	92
一、独立保护层的概念	92
二、独立保护层的有效性	93
三、独立保护层的独立性	94
四、独立保护层的响应失效率	96
五、独立保护层的说明	99
第九节 半量化风险评估	108
第十节 本章小结	110

第五章 间歇工艺流程的 HAZOP 分析

111

第一节 引子	111
第二节 间歇工艺流程的 HAZOP 分析	112
一、间歇工艺流程 HAZOP 分析方法的特点	112
二、间歇工艺流程 HAZOP 分析的说明	113
第三节 间歇工艺流程的 HAZOP 分析举例	114
第四节 本章小结	118

第六章 组织领导 HAZOP 分析

119

第一节 引子	119
第二节 职责与分工	120
第三节 HAZOP 分析小组	121
第四节 组长的资质及职责	123
第五节 明确分析任务与工作范围	124
第六节 HAZOP 分析的准备工作	125
一、召集会议	125

二、准备图纸文件	126
三、行政支持	127
第七节 HAZOP 分析首次会议	128
第八节 HAZOP 分析讨论会	130
一、鼓励小组成员积极提问	130
二、鼓励小组成员积极参与讨论	130
三、只开一个会议	130
四、合理的进度控制	131
五、合理的工作时间	131
六、及时备份	132
七、总结会	132
第九节 保障 HAZOP 分析的工作质量	132
一、做好 HAZOP 分析的计划和准备工作	133
二、严谨地落实分析过程	134
第十节 HAZOP 分析的后续工作	135
第十一节 本章小结	136

第七章 HAZOP 分析报告

137

第一节 引子	137
第二节 HAZOP 分析报告的用途	138
一、改进设计与操作方法	138
二、帮助操作人员加深对工艺系统的认知	138
三、完善操作程序和维修程序	138
四、充实操作人员的培训材料	139
五、编制专项应急处置预案	139
六、开展过程危害分析复审	139
七、符合法规要求	139
第三节 HAZOP 分析报告的内容	140
一、封面和目录	140
二、综述	140
三、目的及范围	140
四、分析小组	140
五、分析方法说明	140
六、执行分析过程的说明	141
七、附件	141

第四节 编写分析报告的注意事项	141
一、报告的内容要准确、清晰	141
二、建议项应该可以执行和度量	141
三、避免包含敏感信息	142
四、便于后续使用	142
第五节 分析报告的存档	142
第六节 本章小结	143

第八章 计算机辅助 HAZOP 分析

144

第一节 引子	144
第二节 选择 HAZOP 分析软件	145
一、单机版还是网络版	145
二、软件的语言（中文还是英文）	145
三、满足业务需要的功能	145
四、售后服务	146
第三节 HAZOPkit® 分析软件功能简介	146
一、工作界面	147
二、项目准备	147
三、节点划分	150
四、分析过程	150
五、辅助工具	153
六、输出	154
七、跟踪建议项	155
第四节 本章小结	155

第九章 HAZOP 分析的补充

157

第一节 引子	157
第二节 设施布置分析方法及实践	158
一、设施布置分析的任务	158
二、设施布置分析的过程	159
第三节 人为因素分析	163
一、人为因素分析的任务	163
二、工艺报警的分析	163
第四节 本章小结	164

第一节 引子	165
第二节 过程危害分析复审的实践	166
一、任务-1 回顾上次 HAZOP 分析报告	166
二、任务-2 审查工艺变更	166
三、任务-3 回顾过程安全事故	167
四、任务-4 重新开展设施布置分析和人为因素分析	167
五、任务-5 检查法规符合性	167
六、任务-6 形成复审报告	168
第三节 本章小结	168

附录 1 HAZOP 分析参数与引导词矩阵表	170
附录 2 风险矩阵表 (举例)	170
附录 3 常见初始原因及其频率	172
附录 4 常见保护层响应失效率数据	173
附录 5 自动阀门故障模式审查表	173
附录 6 以往事故回顾记录表	174
附录 7 设施布置分析检查表	174
附录 8 人为因素分析检查表	175
附录 9 典型事故案例	177
附录 10 应急处置方案表 (举例)	184
附录 11 HAZOP 分析常见问答	185
附录 12 本书中英文术语对照表	190

第一章 过程危害分析概述

过程危害分析有多种含义，在过程安全管理体系中，它是一个管理要素。在实际工作中，它也可以是一项任务，例如，“为某某装置开展过程危害分析”，这里它就代表一项工作任务。

在讲述 HAZOP 分析方法之前，一定要先对过程危害分析有所了解，因为 HAZOP 分析是最常见的过程危害分析方法之一。

第一节 引 子

HAZOP 是英文 Hazard and Operability Study 中几个首字母的缩写，直译成中文是“危害与可操作性研究”。目前，大家习惯使用较早的一种翻译，即“危险与可操作性研究”或“危险与可操作性分析”，虽然与英文本意略有差异，但不影响交流与使用，无可厚非。它的另一种简称是“HAZOP 分析”，用得很广泛，可能是“危险与可操作性研究”读起来比较拗口的原因。本书中统一使用“HAZOP 分析”这个称谓。

HAZOP 分析是帝国化学公司（ICI）的工程师们在 20 世纪 60 年代发明的一种过程危害分析方法。目前，它在流程工业领域中获得了非常广泛的应用。

HAZOP 分析是一种工作方法，它是防止化学品泄漏、预防灾难性事故和确保工艺系统安全运行的重要工具。它也是完成过程危害分析这项任务最常用的方法之一，而过程危害分析是过程安全管理系统中非常重要的一个要素。因此，在详细阐述 HAZOP 分析方法之前，我们需要先简单了解过程安全管理系统和过程危害分析等相关的概念。

第二节 事故是流程工业企业最大的成本

赢利（赚钱）是企业最原始的愿望和冲动，也是企业进一步发展的物质基础。

对于流程企业（如化工、石化、制药等企业）而言，能否赢利与诸多因素有关。抛开复杂的市场因素，在运营过程中，产品的质量、工艺装置的可靠性以及运行中的安全都会影响企业的赢利能力和企业的效益（见图 1-1）。

产品质量会影响销售，从而影响企业的效益，这一点显而易见。

流程工业企业一般都具有资金密集的特征，工艺装置每年在线服役时间的长短（在线率）往往会明显影响企业的效益。例如，频繁的意外停产会带来各种额外的消耗，增加直接成本；在线率较低的工艺装置，单位产品分摊的折旧费也较多，而且在非计划停产期间可能错过市场旺季。

有一种较普遍的误解，认为企业搞安全就是在花钱，是在增加企业的运营成本。这是对安全与运营关系缺乏正确理解得出的错误认知。

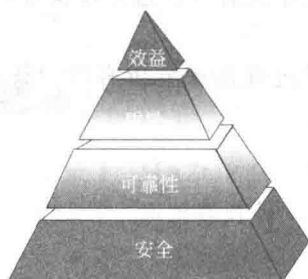


图 1-1 影响企业效益的基本因素

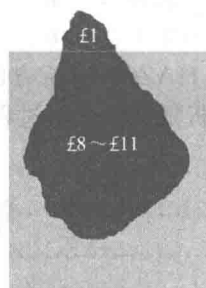


图 1-2 安全事故造成的直接损失与隐性损失

图 1-2 是英国职业安全健康管理局网站上刊登的一个冰山模型，冰山的上部表示安全事故的直接损失，下部表示事故的间接损失（隐性损失）。如果一起事故的直接损失是一元钱，即冰山的上部，包括伤员治疗费和设备修复费等。相应地，就有大约十元钱的隐性损失，即冰山下部。这里的隐性损失包括应急反应的人力与物资消耗、事故调查费用、停产损失、聘请新员工代替伤员的费用、新员工的培训费用、其他员工的加班费以及因事故引起的诉讼费等。这些隐性损失是事故所导致的直接损失的十倍之多，它很容易被忽视。如果没有该事故，这些损失原本应该是企业利润的一部分！

日常生产中常见的一些浪费现象、工艺技术不够先进导致的高能耗等，都会增加企业的成本和影响运营的效益，但它们与动辄几百万、几千万甚至上亿元的事故损失相比较，就是小巫见大巫了。只要稍微回顾一下行业中的一些灾难性事故，我们就可以发现，安全事故才是流程工业企业最大的成本！

安全事故不仅直接影响企业的经济效益，更有甚者，它还可能彻底摧毁企业的生产装置、造成严重的人员伤亡和环境损害，带来灾难性的后果。即使非常赢利的企业，如果没有良好的安全管理，当前的赢利进程随时可能因为一起严重的安全事故戛然而止，之前的所得也可能因此化为泡影，更令人沮丧的是，事故往

往还会造成严重的人员伤亡，企业员工因此丧失他们宝贵的生命。例如，2010年秦皇岛淀粉爆炸事故，造成19人死亡。2012年河北赵县硝酸胍车间爆炸事故，造成25人死亡、4人失踪。2014年，江苏昆山市中荣公司粉尘爆炸事故，造成146人死亡。从流程工业企业中发生的这些灾难性安全事故中，我们很容易得出结论：对于涉及危险化学品的流程工业企业，生产安全不仅会影响其经济效益，而且是企业续存的前提条件！

第三节 过程安全与作业安全的区别

安全是一个很笼统的、大而全的概念。在流程工业企业里，通常可以细分为过程安全（也称工艺安全）、作业安全（也称职业安全）、运输安全 and 产品安全（参考图1-3）。

从物理位置上看，过程安全和作业安全相关的生产活动都是在企业的围墙内；运输安全和产品安全主要发生在企业之外的区域（在企业内也存在部分运输安全相关的活动，如化学品槽车装卸、叉车运输等）。

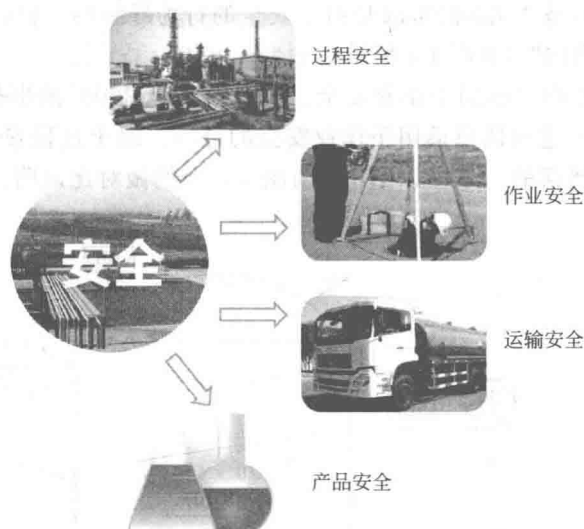


图 1-3 流程工业企业的安全细分类别

过程安全与作业安全存在很大的区别。

首先，在后果的严重程度，两者有很大差异。作业安全事故可以导致一人或多人伤亡，但通常不至于造成成百上千的人伤亡。过程安全事故可能造成灾难性的后果，它不但会摧毁企业的设施，而且能导致大量人员伤亡和造成灾难性的环境破坏。例如，1984年发生在印度博帕尔（Bhopal）的事故，导致了数千人

死亡；2013 年，墨西哥湾深水地平线海上平台漏油事故造成了灾难性的环境影响。

其次，两者关注的对象有差别。作业安全主要关心如何保护好作业人员。导致人员伤亡的作业安全事故，在很大程度上与人的不安全行为密切相关，因此，作业安全主要关注人的行为。我们通常所说的行为安全，就属于作业安全的范畴。过程安全主要关心如何消除灾难性的事故，如火灾、爆炸和有毒化学品泄漏

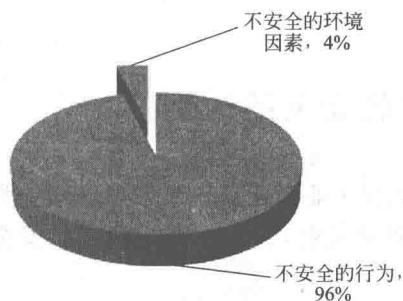


图 1-4 导致作业安全事故的原因

等。这类事故与工艺系统的设计、安装和运行密切相关。因此，过程安全关注的重点是工艺系统本身，它主要依赖工程措施来消除或控制涉及危险化学品的灾难性事故。工程措施的提出、落实和维护要靠胜任的人员来完成。必须建立和落实系统性的管理，才能消除过程安全事故，它涵盖企业的安全文化、管理组织、人员培训和技术应用等诸多方面。

“90%的事故都是人的不安全行为导致的”，这句话被广泛引用、传播和用于安全培训。但是，这句话的准确性是有条件的。它的原始模型是“96%的事故是由不安全的行为导致的，4%的事故是由不安全的环境因素导致的”（如图 1-4 所示）。

图 1-4 中的模型仅适用于作业安全。也就是说，“90%的事故都是由人的不安全行为导致的”这句话只适用于作业安全的范畴。对于过程安全，这种说法就不适用，甚至是错误的。下面以图 1-5 与图 1-6 为例做对比说明。

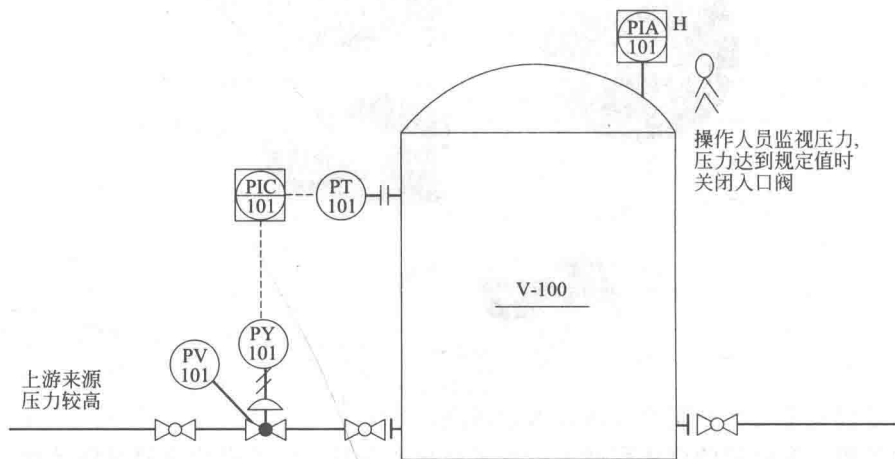


图 1-5 操作人员干预防止储罐 V-100 超压

在图 1-5 中，上游压力高的易燃气体介质经压力调节阀 PV101 进入储罐 V-100。在正常操作情况下，储罐 V-100 内的压力都处于设计所期望的操作范围

内,因为调节阀 PV101 起到了调节作用。假设上游压力足够高,当调节阀 PV101 出现故障时,压力高的上游易燃气体就会持续进入储罐 V-100,储罐会出现超压甚至发生泄漏(通常储罐实际压力达到设计压力 3 倍以上才会导致灾难性的破裂;当实际压力超过设计压力 1.5 倍时,在储罐的垫片等处可能出现泄漏),泄漏出来的易燃气体进入大气,能导致喷射火、闪火,甚至与空气混合形成爆炸性混合物,遇到引火源会发生爆炸,造成在场人员伤亡。

为了避免储罐 V-100 因为调节阀 PV101 故障开启而超压,可以安排一名操作人员通过储罐上的压力指示与报警(PIA101)监视储罐的压力,当他发现压力超过规定值时,马上关闭储罐 V-100 进气管道上的手动阀门,以防止储罐超压。这是依靠人工干预来防止储罐 V-100 超压的做法。如果储罐的设计与操作如上所述,那么储罐 V-100 因为调节阀 PV101 故障开启而超压甚至破裂的可能性是在 $1 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-1}/a$, 风险太高!

让我们换一种做法:如图 1-6 所示,不再安排操作人员通过储罐上的压力指示和报警来监视储罐 V-100 的压力,而是在储罐 V-100 上的进料管道上安装一个开关阀 XV101,增加一个进料联锁控制回路,当储罐内压力达到设定值时,这个新增的开关阀将自动关闭,切断进料。此外,还可以在储罐上安装一个安全阀 PSV-101。该安全阀的释放能力足够大(满足调节阀 PV101 故障全开时的泄压要求),且释放至安全地点。通过上述改变,储罐 V-100 因为调节阀 PV101 故障开启而超压、甚至破裂的可能性大约是 $1 \times 10^{-4}/a$ 。在这种新的做法里,没有要求操作人员采取任何应急操作,但其风险水平却比图 1-5 中的做法降低了 100~1000 倍。

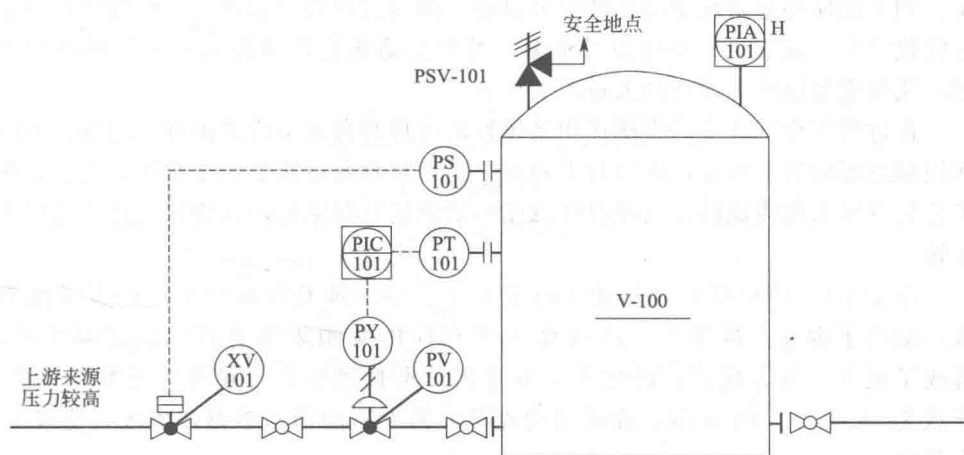


图 1-6 采用工程措施防止储罐 V-100 超压

对比图 1-5 和图 1-6 两种做法,图 1-5 中的方案主要是依赖操作人员的响应来降低风险,而图 1-6 中的方案则主要依靠工程措施(联锁控制回路与安全阀)