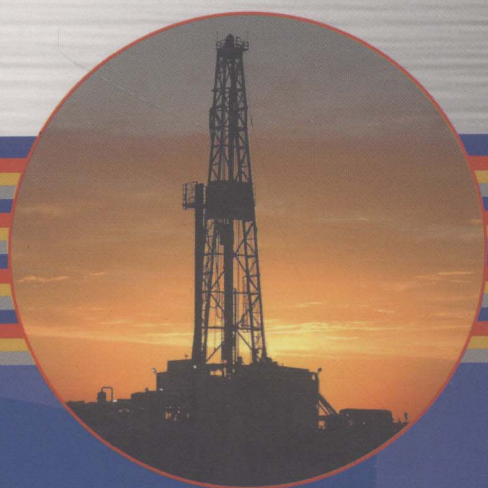


石油生产工程安全 理论与应用

周思柱 王长建 李美求 ■ 著



科学出版社
www.sciencep.com

石油生产工程安全理论与应用

周思柱 王长建 李美求 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

随着我国石油石化行业的迅速发展,化学品的品种增多、数量增大,危险源分布广泛,一旦发生事故,将造成大量人力、物力和财力损失,甚至造成巨大的生命、财产损失和对环境的极大破坏。本书综合分析了重点石油生产工程中的安全理论与应用问题,全书共分2篇8章。第一篇为石油生产工程行为安全理论与应用,介绍行为矫正理论基础,阐述行为矫正的研究方法和行为观察、记录的原则和方法,统计分析在钻井作业过程中发生的井喷事故案例,验证行为矫正设计钻井作业事故预防方法的有效性,通过试验研究验证不同行为矫正方法对安全行为发生的影响。第二篇为石油生产工程安全评价与应用,主要包括三个方面的内容:危险源辨识与预防、安全评价模式、典型石油生产工程项目安全理论及风险评价。

本书内容丰富,理论知识全面,并密切结合实践,可作为有关高等院校安全工程、石油工程、机械工程等专业研究生教材,也可作为石油企业的管理人员、安全人员和技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

石油生产工程安全理论与应用/周思柱,王长建,李美求著.
—北京:科学出版社,2010.3
ISBN 978-7-03-026867-9

I. ①石… II. ①周…②王…③李… III. ①石油工业—安全管理—高等学校—教材 IV. ①TE687

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 033659 号

责任编辑:孙明星 / 责任校对:陈玉凤
责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年5月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2010年5月第一次印刷 印张:15 1/4

印数:1—2 000

字数:362 000

定价:45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

我国石油石化行业发展迅速,危险源分布广泛,并呈增长势头,化学品的品种多、数量大,导致了許多石油生产作业事故的发生,耗费了大量人力、物力和时间,甚至造成巨大的生命、财产损失和对环境的极大破坏。与此同时,世界各国对危险化学品安全监督管理的法制建设十分重视,建立了较为完善的法律法规,因此我国政府近几年也加快了化学品安全管理的法制化建设步伐,先后颁布了《危险化学品登记注册管理规定》(2000)、《危险化学品安全管理条例》(2002)、《中华人民共和国安全生产法》(2002)、《国家安全生产监督管理局文件》(2003)等法律法规,对危险化学品的安全使用和管理做出了规定和要求。

为了最大限度降低石油生产作业过程发生的事故概率,本书在重点石油生产工程安全理论与应用两方面进行了深入探讨,以作业人员安全行为指数为评价指标,引入行为矫正技术、模糊数学理论、层次分析法、风险指数法等对石油生产作业过程中事故的发生率进行预测和管理,实现石油生产工程的安全管理和风险预防。

本书分 2 篇共 8 章,第一篇为石油生产工程行为安全理论与应用,第二篇为石油生产工程安全评价与应用。

第一篇主要包括以下内容:

(1) 介绍行为矫正理论基础,阐述行为之所以发生是被一系列前提引起的而且是紧随其后的,能够增加或者减少行为发生可能性的行为结果强化。行为后果对于操作性行为的控制是十分重要的,操作性行为之后如果跟随的是具有强化作用的后果,它就会被加强;如果具有强化作用的后果不再跟随着操作性行为出现,行为就会被削弱(消失)。具有惩罚作用的结果也能削弱行为。行为强化、惩罚和行为消失的基本行为原理,可以解释行为为什么会增加并继续发生或减少并停止。

(2) 介绍主要行为矫正技术,包括塑造、刺激控制的促进和转移、行为技能训练、差别强化、前提控制法、泛化的促进的定义和实施程序及实施过程中的注意事项。

(3) 介绍行为矫正的研究方法和行为观察、记录的原则和方法,统计分析在钻井作业过程中发生的井喷事故案例。分析表明,导致井喷事故发生的最主要原因是风险意识不强,其次为违反作业程序标准,最后是工具设备方面存在问题。

(4) 验证设计钻井作业事故预防方法的有效性,提高试验数据的精度和可比性,根据试验优化原理,采用 4×5 尧登方试验区组设计,将 4 支钻井队作为试验区组,对行为矫正的 5 种方法——塑造(A)、刺激控制的促进与转移(B)、行为技能训练(C)、差别强化(D)和前提控制(E),进行了为期 30 周的试验。

(5) 以钻井队人员安全行为指数 SI 为评价指标评价事故预防效果。通过试验研究验证不同行为矫正方法对安全行为发生的影响。

第二篇主要包括以下内容:

(1) 危险源辨识与预防是针对重点石油生产工程(联合站和钻井工程)的危险源和有害因

素进行辨识,预测事故发生的可能性、事故的危害,对危害严重性、危害等级进行定性分析,给出对应事故的预防措施、产生事故的原因及应急方案。

(2) 安全评价模式研究针对石油石化行业,危险源分布广泛,化学品的品种多、数量大,采用单一的安全检查方法不能准确地找出危险源。本书创新性地引入模糊数学理论及评价权重系数,改进了现有的评价方法(安全检查表、安全模糊综合评价、作业条件危险性评价法、道化学火灾爆炸危险指数评价),对石油石化生产部门进行安全评价,充分考虑其适用性和可操作性,方法简单、效果显著,获得能为企业所接受、行之有效的评价结果。

(3) 典型石油生产工程项目安全理论及风险评价,通过对钻井工程、联合站作业过程进行安全评价,效果显著,极大程度消除了生产过程中的危险隐患,确保了作业过程的安全,对人员健康、安全、环境等都有积极作用。

总之,通过对石油生产工程安全理论的研究分析,结合目前油田生产中出现的事故,本书综合分析了在石油生产作业过程中存在的危险;根据石油生产工程中安全管理和风险评价具有多目标、多属性的特点,人-机-环境等影响因素多,结合评价对象现有的评价方法,并参考了其他油田对风险管理的经验,从定性、定量两方面对石油生产工程中安全和风险进行了评价与管理。进而采用行为矫正理论、模糊数学理论、层次分析法赋予不同评价人员的权重,打破了不同评价人员相同权重的思想,更能反映出现场实际情况,提高了安全评价的可靠性,对企业、设备、操作管理、防灾、生产工艺等方面都有非常积极的作用。

本书根据重点石油生产工程中的问题,归纳总结了相关数据和内容,内容丰富,研究深入,可以作为有关高等院校安全工程、石油工程、机械工程等专业研究生教材,也可供钻井工程、联合站等生产作业者、管理者使用。

本书在编写和出版过程中,得到了众多专家的大力支持和热情关怀,许多同行也提供了很多宝贵的意见和建议。为了更切实地反映实际,编者走访了多个油田,收集重点石油生产工程相关资料,期间得到油田企业的支持和帮助。此外,在本书编写过程中,袁新梅、黄天成、华剑、贾宏禹等同志也给予了很大的帮助,在此向他们和所有为本书编写工作给以支持和帮助的同志表示衷心的感谢。

本书涵盖内容广,数据资料丰富,编写历时四年多,虽然编者在编写的过程中不断完善、修改,力求为读者提供一本使用价值高的教材,但鉴于编者水平有限,书中难免存在疏漏,恳请专家和广大读者不吝赐教。

编 者

2010年1月

目 录

前言

第一篇 石油生产工程行为安全理论与应用

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 基于行为事故预防相关定义	2
1.2.1 事故	2
1.2.2 行为	2
1.2.3 行为结果	3
1.2.4 行为矫正	3
1.2.5 行为强化	4
1.2.6 惩罚	4
1.2.7 行为消失	5
1.2.8 刺激控制	5
1.2.9 安全行为	5
1.2.10 安全文化与安全氛围	6
1.3 国内外研究现状及发展趋势	6
1.3.1 安全管理的历史发展	6
1.3.2 行为安全的概念	7
1.3.3 行为安全效果	8
1.3.4 行为安全方法总结	11
1.3.5 国内行为安全研究实施情况	13
第 2 章 行为矫正技术	14
2.1 行为矫正理论基础	14
2.1.1 前提促发行为	15
2.1.2 行为结果促使行为发生	15
2.1.3 行为结果的时限、可预见性和重要性影响	17
2.1.4 行为观察和反馈对行为的影响	18
2.2 行为矫正技术	19
2.2.1 塑造	19
2.2.2 刺激控制的促进和转移	20
2.2.3 行为技能训练方法	22
2.2.4 差别强化	23
2.2.5 前提控制法	26
2.2.6 泛化的促进	28

2.3	行为的观测和记录	29
2.3.1	定义目标行为	29
2.3.2	记录的准备工作	29
2.3.3	选择记录方法	30
2.3.4	选择记录工具	31
2.3.5	反应	33
2.3.6	观察者信度	33
2.4	行为矫正研究方法	34
2.4.1	通过功能评估理解不安全行为	34
2.4.2	行为矫正实验设计	37
2.4.3	多基线设计	39
2.4.4	建立行为矫正方案应考虑的因素	41
第3章	钻井作业关键安全作业行为识别	43
3.1	不安全行为的概念	43
3.2	钻井作业事故原因统计分析	44
3.2.1	钻井作业发生事故的主要原因统计	44
3.2.2	钻井作业井喷事故年度统计分析	45
3.3	试验研究对象及方法	45
3.4	钻井作业关键安全作业行为识别	47
3.4.1	钻井作业不安全行为识别	47
3.4.2	钻井作业关键安全行为识别	52
第4章	钻井作业事故预防的行为矫正试验设计及实施	57
4.1	行为矫正方法设计意义	57
4.2	设计原理	57
4.2.1	试验区组设计	57
4.2.2	区组设计方差分析	58
4.3	钻井作业行为矫正实验设计	59
4.4	钻井作业行为矫正实验	59
4.4.1	试验前期准备	59
4.4.2	试验过程	63
第5章	试验结果分析讨论	67
5.1	试验结果	67
5.1.1	试验行为观察及因素显著性分析	67
5.1.2	行为矫正观察数据显示	68
5.1.3	试验期间安全行为指数 SI 总体变化	72
5.1.4	试验钻井队与正常井队 SI 变化、“三违”次数对比	73
5.1.5	实验钻井队与其在上一年度同期的“三违”次数、事故关系的比较	73
5.1.6	管理层安全理念得到提升和员工安全参与意识提高	75

5.2 讨论	76
5.2.1 行为矫正与企业安全管理体系的整合	76
5.2.2 员工对不安全行为矫正方法的态度	77
5.2.3 试验可信性讨论	77
第二篇 石油生产工程安全评价与应用	
第6章 危险源辨识与预防	79
6.1 概述	79
6.1.1 辨识的主要内容	79
6.1.2 危险源辨识的方法	80
6.1.3 危险源辨识的分类	82
6.2 钻井工程危险源辨识	86
6.2.1 概述	86
6.2.2 钻井危险性	88
6.2.3 钻井危险源辨识	89
6.3 联合站危险源辨识	115
6.3.1 概述	115
6.3.2 联合站工艺过程危险性分析	116
6.3.3 介质危险性分析	116
第7章 安全评价模式	143
7.1 概述	143
7.1.1 基本概念	143
7.1.2 安全评价的定义	144
7.1.3 安全评价的目的	144
7.1.4 安全评价的作用	145
7.1.5 安全评价的内容及程序	145
7.1.6 安全评价的分类	147
7.1.7 安全评价的依据	149
7.1.8 安全评价的原理和原则	152
7.2 安全检查表	156
7.2.1 安全检查表的形式	156
7.2.2 安全检查表的作用	157
7.2.3 安全检查表的优点	157
7.2.4 安全检查表的编制	157
7.2.5 安全检查表的运用	158
7.2.6 安全检查表的结果分析	159
7.2.7 安全检查表的适用范围	160
7.3 安全模糊综合评价	160
7.3.1 模糊综合评价	161
7.3.2 权向量A的确定	162

7.3.3	单因素模糊关系矩阵 R 的确定	164
7.3.4	模糊合成算子	167
7.3.5	评价等级的确定	168
7.3.6	模糊综合评价法的适用范围	169
7.4	危险指数评价	169
7.5	作业条件危险性评价法	177
7.5.1	方法的由来	177
7.5.2	方法介绍	177
7.5.3	评价方法的优、缺点及其适应范围	179
第 8 章	典型石油生产工程项目安全理论及风险评价	180
8.1	联合站的安全评价	180
8.1.1	联合站安全检查表	180
8.1.2	联合站安全性模糊综合评价	195
8.1.3	联合站安全性道化学评价	199
8.1.4	评价结果分析	201
8.2	钻井的安全评价	202
8.2.1	某钻井安全检查表	202
8.2.2	钻井安全性模糊综合评价	217
8.2.3	钻井作业条件危险性评价	221
参考文献		223
附录		227
附录 A	安全行为矫正试验工作计划和时间安排	227
附录 B	塑造应用示例	227
附录 C	刺激控制的促进和转移应用示例	229
附录 D	行为技能训练应用示例	230
附录 E	差别强化应用示例	231
附录 F	前提控制法应用示例	232
附录 G	工作危害分析记录表	233
附录 H	关井程序	233
附录 I	钻井队 HSE 监督关键安全检查行为描述	234
附录 J	钻井队外来人员入场教育内容	235
附录 K	钻井队演习程序	236

第 一 篇

石油生产工程行为安全理论与应用

第 1 章 绪 论

1.1 引 言

石油天然气钻井工程是勘探开发石油天然气的主要手段。钻井作业是一项隐蔽的地下工程，存在着大量的随机性、模糊性和不确定性问题^[1]。钻井作业包括一口井的整个钻井活动，即在陆地上修建井场或海上建造钻井平台、安装钻井设备、钻井施工、下套管固井、测井、试油和完井等一系列作业。由于钻井作业的隐蔽性、复杂性，加上钻井工人思想认识的模糊或者为某种片面的局部利益所驱动，或明知故犯，或铤而走险，给钻井事故的发生创造了条件；由于地质资料掌握不全不准，或者虽有可靠地质资料而未严格地按科学方法进行井身结构设计，使同一段裸眼中喷、漏层并存，治喷则漏，治漏则喷；虽然下了套管但不安装井控设备，或者虽然安装了井控设备但不讲求质量，一旦钻遇到高压层应急使用时，到处刺漏，造成井喷失控；钻井液体系和性能与地层特性不相适应，甚至片面强调节约钻井液处理剂，使钻井液性能恶化，造成裸眼井段中某些地层的缩径或坍塌。或者钻井液密度不合适，也会造成井喷、井漏或井塌；操作不适当，下钻速度过快会产生很大的激动压力，易将地层压漏；起钻速度过快会产生很大的抽吸压力，将油气层抽喷或将结构松软的地层抽塌；管理工作薄弱，有章不循，有表（指重表、泵压表、扭矩表）不看，遇事不思，盲目决断，但求省力，不顾后果，起钻猛提，下钻猛压，遇卡硬转，遇漏硬憋；在裸眼井段内长时间停止循环等。这些将可能导致产生许多复杂情况甚至造成卡钻事故、井下落物事故、测井事故、井喷事故、井漏、钻具断落事故、固井事故等，轻者耗费大量人力、物力和时间，重者导致全井废弃。据近年来的钻井资料分析，在钻井过程中，处理复杂情况和钻井事故的时间，约占施工总时间的 6%~8%^[1]，造成生命财产损失和对环境极大的污染与破坏。作者通过对国内 13 个油气田几十年来发生的井喷案例进行收集整理发现，由于员工的不安全行为和对工作场所风险识别与处理不及时导致的事故占发生事故总次数的 91.2%。特别是 2003 年 12 月 23 日，位于重庆市开县高桥镇罗家 16H 井发生的井喷事故，造成 243 人死亡，直接经济损失 9262.71 万元^[2]，造成极坏的社会影响。因此，通过对石油天然气钻井作业的安全工作行为进行研究，提出钻井作业事故预防策略具有重要的理论价值和应用价值。

1.2 基于行为事故预防相关定义

由于职业背景和经历的不同,相同的词语可能存在理解上的差异,为了避免词汇意义的误解,在进一步研究前,有必要先对与本研究内容密切相关的几个术语进行明确说明和范围界定。

1.2.1 事故

关于事故没有一个统一的定义,传统上认为,事故是在生产和行动进程中突然发生的与人们愿望和意志相反的,使生产和行动进程停止或受到干扰的事件。事故的结果总是使生产和行动进程停止或受到干扰,同时可能造成人体受伤害和物质受损坏。《职业安全健康卫生管理体系标准》将事故定义为造成死亡、职业相关病症、伤害、财产损失或其他损失的意外事件^[3],其他还有很多关于事故的不同定义^[4-6]。对事故定义不同的原因是由于国家不同,行业不同,研究立场和侧重点不同。大多定义都强调了对个人和组织的危害,突出了“事故就是不幸,事故就是伤害”,而忽视了“没有造成伤害”的部分。事实上,没有造成伤害的那部分在实践过程中是相当大的。

本书中界定事故的含义为:人类活动过程中,危险源的风险值达到一定程度时发生的负效应,从而导致生命、健康或财产损失,工作效率降低,以至达不到工作或活动的预期目的^[7]。该定义中事故的损失包括生命、健康、财产、效率和环境五个方面。

工作事故是指工作过程中发生而导致死亡、人身伤害或疾病的事故。与工作有关的事故,为事故中的一大类。工作事故引起的死亡、人身伤害和疾病称为职业伤害,职业伤害中的非疾病部分常常被俗称为“职业事故”,主要包括骨折、外伤、烧伤、急性中毒、窒息、电伤害、辐射伤害等。

我国所说的“职业事故”通常指的是企业职工伤亡事故,即因工作引起的,并在工作过程中发生的死亡、人身伤害和急性中毒事件,可分为轻伤、重伤、死亡、重大死亡事故和特重大事故等类型^[8]。在欧美国家则一般区分为可记录伤害、损失工作日伤害、急救伤害、惊吓(near misses)等事故类型^[9],或按损失或损失可能性区分为“过错或惊吓、事件(incident)、灾难(disaster)、灾害(catastrophe)”等^[10]。

由于事故数据来源的限制,在对事故统计分析时,实际依照的是我国石化行业对事故的定义和分类,主要指造成人员伤亡和财产损失的“职业事故”。但在对事故预防方法探讨方面,事故含义不仅仅是指“职业事故”,而是依照界定的事故含义,更多针对的是“事前”指标,如效率降低或达不到预期目的,主要侧重于员工行为的改善和组织安全氛围的提高。通过对这种“前预性”(pro-active)的事故预防方法的探讨,对钻井作业的事故预防十分重要。

1.2.2 行为

行为将系统和程序变成现实。行为矫正的目的就是要提高员工的安全工作行为发生率。要科学理解行为矫正,首先必须了解行为的含义。

人的行为分为先天性行为和后天性行为。先天性行为是人类遗传下来的行为,如手指遇针刺会产生反射性收缩,这是人的本能行为;后天性行为是人通过获得知识而产生的行为,

如人们操作机器的本领，就是经过学习获得的技能。心理学家认为，人的行为是由一定客观物引起的，这种客观物称为刺激物。行为就是由刺激物引起的某种特定反应，如在易燃、易爆的地方出现了火情，人们就会毫不迟疑地将它扑灭。在这里，火情是刺激物。刺激物通过人的视觉神经，将信息传递给大脑，通过大脑分析判断后，立即产生相应的意识，并通过具体的动作加以完成^[11]。行为具有以下特征^[12]：

- ◆ 行为就是人们的所说和所做。
- ◆ 行为具有一种或一种以上的测量尺度。
- ◆ 行为可以被观察、描述和记录。
- ◆ 行为对外界环境产生影响。
- ◆ 行为受自然规律支配。
- ◆ 行为可以是公开的，也可以是隐蔽的。

生产过程中的刺激物引起的反应——行为，是受意识支配所产生的结果。它不仅取决于刺激物，还取决于每个人的知识水平、心理状态和适应能力，以及不同的需要和动机。由于行为过程是有目的的，所以它贯穿于意识活动中。例如，由于疲劳、饮酒、疾病等原因导致心理意识不正常或意识丧失，就会失去对行为的调节控制能力，生产中就可能出现事故。

1.2.3 行为结果

行为结果是指行为对外界环境产生的影响。因为行为是一种包含时间和空间运动的行动，所以行为的发生会对它周围的环境产生影响。有些时候，行为对环境的作用是明显的。例如，你扳动电灯开关，灯亮了(对自然环境的作用)；你超速驾驶，造成交通事故致人伤亡(对其他人的作用)；你加班工作，以便在完成工作后，得到上司的奖赏(对你自己的作用)。有些时候行为对环境的作用并不明显，它只对从事行为的人本身发生作用。但不论我们是否意识到，所有的行为都在某些方面对自然或社会环境产生影响。

1.2.4 行为矫正

行为矫正是属于对人的行为进行分析和矫正的心理学领域。首先，分析识别环境和某一特定行为之间的相互作用关系，从而识别该行为产生的原因或者确定为什么一个个体具有它所表现出来的行为；然后，开展和实施某些程序和方法，来帮助人们改变他们的行为，它包括通过改变环境影响行为的方法。行为矫正具有以下特点^[12]：

- ◆ 研究领域集中于人的行为。
- ◆ 程序和方法以行为学原理为基础。
- ◆ 行为矫正强调当前环境事件的重要性。
- ◆ 行为矫正对行为矫正程序进行精确的描述。
- ◆ 行为矫正通常由日常工作、生活中的人们实施。
- ◆ 行为矫正强调对行为改变的测量。
- ◆ 行为矫正不再将过去的事件作为引发行为的原因加以重视。
- ◆ 行为矫正拒绝对行为的潜在动因进行假设。

1.2.5 行为强化

行为强化就是行为学家们最早进行系统研究的基本原理之一，它也是行为矫正技术具体应用的组成部分。行为强化的定义是：一个具体行为的发生，有一个直接结果紧随着这个行为，这就导致了这个行为在将来被加强了(这个人更有可能在将来再次从事这个行为)。

通过行为强化过程得到增强的行为称为操作性行为。操作性行为作用于环境，产生出一个结果，它随后被这个直接结果所控制，或者作为这个直接结果的结果出现。这种增强了操作性行为的结果就称为强化物。

强化分为正性强化和负性强化。它们都是加强行为的过程，也就是说，它们都会增加这种行为在将来出现的可能性。正性强化和负性强化的区别仅仅在于行为结果的本质不一样。正性强化是指一种行为的发生，随着这种行为出现了刺激的增加或者刺激强度的增加，导致了行为的增强。负性强化是指一种行为的发生，随着这种行为出现了刺激的消除或者刺激强度的降低，导致了行为的增强。

刺激是可以被感官察觉并且能够对人构成潜在影响的事物或事件。这个事物或事件可以是自然环境的特征或者社会环境的特征(另一个人或另一个个体的行为)。在正性强化中，随着行为出现的刺激称为正性刺激。在负性强化中，随着行为被消除或者被避免的刺激称为负性刺激^[12]。因此，两者之间的本质区别：在正性强化中，反应产生出刺激(正性刺激)；而在负性强化中，反应消除或阻止刺激(负性刺激)的发生。在正性强化和负性强化中，行为都更有可能在将来再次发生。

1.2.6 惩罚

在行为矫正学中，惩罚是一个具有特定含义的术语。当行为分析学家谈到惩罚时，他们指的是某一行为的结果导致了这种行为未来发生次数减少的过程。这与大多数人所认为的惩罚的含义是不同的。在一般的使用中，惩罚可能有多种含义，其中大多数具有消极的色彩。我们可以很清楚地看到日常生活中惩罚的定义与行为矫正学中采用的惩罚技术上的定义相差甚远。本研究中，惩罚的定义是：一种具体的行为发生了，这种行为之后立刻跟随着一个结果，于是，将来这种行为不太可能再次发生(行为被弱化了)。

惩罚物(又称为惩罚刺激)是指使某一特定行为将来发生的可能性减小的结果。惩罚刺激是由对它之前的行为所造成的影响效果来定义的。当一个刺激事件减少它之前的行为的频率时，这个刺激事件就是一个惩罚物。

不能以行为的结果是否显得令人不快或令人厌恶来对惩罚进行定义。只有将来的行为确实减少了，才能得出某种具体结果是惩罚因素的结论。当我们根据在某种结果的作用下行为在将来是否减少(或增加)这一标准对惩罚(或行为强化)进行定义时，使用的是根据功能进行定义的方法。

惩罚从程序上可以分为两类：正性惩罚和负性惩罚。二者之间的区别是由行为的结果所决定的。

正性惩罚是指一种行为的发生，行为之后跟随着一个刺激物的出现，而且作为结果，这种行为将来不太可能再次发生。

负性惩罚是指一种行为的发生，行为之后跟随着一个刺激物的消除，而且作为结果，这种行为将来不太可能再次发生。

注意, 这些定义与正性强化和负性强化的定义是并行的^[12]。最重要的区别在于, 行为强化增加行为的发生或者使它将来发生的可能性增加, 而惩罚则减少行为或者使它将来发生的可能性减小。

1.2.7 行为消失

行为消失是一个基本行为学原理。一种经过一段时间强化的行为不再被强化, 因而停止发生。一旦行为的强化停止了, 行为就越来越少, 直到最终停止这种行为。行为消失的行为学定义是: 行为消失发生在一种以前被强化的行为, 不再导致具有强化作用的结果, 并且这种原因行为在将来不再发生。

只要行为得到强化, 至少是间歇的强化, 它就会继续发生。但是如果行为不再造成具有强化作用的结果, 行为人就会停止这种行为^[12]。当行为因为不再得到强化而停止发生时, 该行为正在经历消失的过程或已经消失了。

1.2.8 刺激控制

从行为强化、行为消失和惩罚的定义中, 可以看到后果对于操作性行为的控制是十分重要的。操作性行为之后如果跟随的是具有强化作用的后果, 它就会被加强; 如果具有强化作用的后果不再跟随着操作性行为出现, 行为就会被削弱(消失)。具有惩罚作用的结果也能削弱行为。行为强化、惩罚和行为消失这些基本的行为原理, 可以解释行为为什么会增加并继续发生或减少并停止。因为操作性行为是被它的后果所控制的, 所以通过分析跟随着行为的事件, 以了解发生的原因, 并操纵行为的结果以改变行为。

当某个具体的刺激出现时, 行为都更有可能发生。如果由于某个特定的前提或者某个刺激群体中的一个刺激的出现, 行为发生的可能性增加了, 那么我们就说这个行为得到了刺激控制。

刺激控制之所以能够形成是因为行为只有在特定的前提出现时才得到强化。因此, 只有当前提出现时行为才会在将来继续发生。这种在行为得到强化时出现的前提就称为辨别刺激(S^D)。特定的前提(辨别刺激)出现时行为得到强化的过程称为刺激辨别训练。

实际上刺激辨别训练包括两个步骤: 当辨别刺激(S^D)出现时, 行为得到强化; 当任何除了 S^D 以外的前提出现时, 行为得不到强化。在辨别训练中, 任何在行为得不到强化时出现的先行刺激都称为 $S\text{-delta}$ (S^Δ)。

在刺激辨别训练中, S^D 出现时行为更有可能在将来发生, 而 S^Δ 不出现时行为发生的可能性则降低, 这是刺激控制的定义。但是, S^D 的出现并不导致行为的发生, 它只是标志着行为将会得到强化。行为强化才是使行为发生的可能性增加的原因。

1.2.9 安全行为

人的安全行为是人对影响安全性的外界刺激经过肌体做出的理性的、符合安全作业规程的行为反应, 最终是经过人的动作以达到预定的安全目标^[11]。安全行为的特点是, 以安全作业规程、技术规程、管理规程为规范, 以躯体动作为载体, 按照一定的操作方式连接起来。安全行为指直接与安全相关的那些行为, 如正确佩戴劳保用品、和同事一起讨论签署使用工作许可证等。安全行为本身是具有目的性、差异性、可塑性、计划性, 并受到安全意识水平的调节。

1.2.10 安全文化与安全氛围

关于安全文化与安全氛围的概念较多^[19-21]，仅文献[19]就列举1991~2001年有关安全文化的定义13个，安全氛围定义12个，文献[20]列举了有关定义18个。在我国关于安全文化定义不仅各行业有，甚至许多企业也有适合本企业特色的安全文化定义。在此不对这些定义进行讨论分析，而仅直接选用最能说明本书阐述内容的相关定义。

安全文化(safety culture)：组织内个人和集体的价值观、态度、能力和行为方式的综合产物，它决定该组织在安全健康管理问题上的承诺、处事方式等^[22-23]。

安全氛围(safety climate)：员工对组织内安全相关问题的认知、态度和信念等的“快照”(snapshot)^[24]。

1.3 国内外研究现状及发展趋势

1.3.1 安全管理的历史发展

美国的安全工程师海因里希(W.H.Heirich)在二十世纪二三十年代总结了当时工业安全的实际经验，在《工业事故预防(Industrial Accident Prevention)》中提出了所谓的“工业安全公理”(Axioms of Industrial Safety)，阐述了事故发生的因果连锁理论，作为事故发生原因的人的因素与物的因素之间的关系问题，事故发生频率与伤害严重度之间的关系问题，不安全行为的产生原因及预防措施，事故预防工作与企业其他管理机能之间的关系，进行事故预防工作的基本责任以及安全与生产之间的关系等工业安全中最重要、最基本的问题。海因里希把造成人的不安全行为和物的不安全状态的主要原因归结为四个方面的问题：① 不正确的态度。个别职工忽视安全，甚至故意采取不安全行为。② 技术、知识不足。缺乏安全生产知识，缺乏经验，或技术不熟练。③ 身体不适。生理状态或健康状况不佳，如听力、视力不良，反应迟钝、疾病、醉酒或其他生理机能障碍。④ 不良的工作环境。照明、温度、湿度不适宜、通风不良、强烈的噪声、振动、物料堆放杂乱、作业空间狭小、设备和工具缺陷等不良的物理环境，以及操作规程不合适、没有安全规程，其他妨碍贯彻安全规程的事物。对这四个方面的原因，海因里希提出了防止工业事故的有效方法，后来被归纳为众所周知的3E原则^[25]：

- ◆ 工程技术：运用工程技术手段消除不安全因素，实现生产工艺、机械设备等生产条件的安全。
- ◆ 教育：利用各种形式的教育和训练，使职工树立“安全第一”的思想，掌握安全生产所必需的知识和技能。
- ◆ 强制：借助于规章制度、法规等必要的行政、乃至法律的手段约束人们的行为。

数十年来，该理论得到了世界上许多国家事故预防工作者的赞同，作为从事事故预防工作的理论基础。

第一，传统安全管理集中于伤害和职业病的发生管理上，是反应性而不是事前预防，把安全看做是管理层一个孤立的部分，不是一个完整的系统，倾向于对事故责任人的责备和惩罚；第二是集中于工作者态度上，依靠丰厚的奖励来促进安全；第三是自上而下的强制性管理模式和封闭的管理监督^[26]。

第二次世界大战前后,与 Heinrich 的传统安全管理相对的另一个主要安全管理观点出现了。Walter Shewart、Dan Petersen 等人研究发现:85%的差错是由系统本身造成的,只有15%的差错是和系统之外的因素有关,由于系统是由管理者控制的,也就是说,管理者应为85%的系统差错负责,而工人只负责差错的15%^[25]。由于安全的绝大部分问题都来源于存在管理缺陷的操作系统、工作场所和工作方法,所以应该从管理方面找出解决问题的途径,而工人只负责剩下的一小部分安全问题^[27]。

在第二次世界大战以后,日本赞助从事 Shewart 的管理失误理论研究的 Joseph M.Juran 和 W.Edward Deming 二位质量专家进行研究,他们依据质量管理原则提出了企业的经营管理理论。通过过程控制统计(SPC)和强化领导、测量和参与等管理措施,他们帮助日本摆脱战争困境恢复了经济。同时,“Deming 的管理14项义务”被广泛应用于安全管理当中,要求组织的高层管理者为提高安全管理水平建立一个永久目标:将安全要求融入到系统的管理控制中、自下而上的预防、系统质量测量、持续提高^[28]。这种系统管理原则被安全专家们认为是过去25年统治安全领域的一个主要观点^[29]。

传统安全管理方法是通过辨识工作环境因素(不安全的状态)和员工因素(不安全的行为),而行为安全(behavior-based safety, BBS)是通过定义和控制员工的行为来改进安全绩效的。从20世纪90年代初期开始,许多组织接受这种方法,并把它视为事故预防的“圣杯”,是一剂实现零事故的“灵丹妙药”^[30]。

1.3.2 行为安全的概念

行为安全(BBS)过程是运用行为矫正的基本原理,通过对员工的工作行为进行观察、测量、反馈和强化的一个前预性安全管理过程。行为安全的四个主要元素是辨识关键行为、观察/数据采集、给予反馈和去除造成事故和伤害的隐患^[31]。BBS 的发展过程在可以被追溯到20世纪初的行为科学研究。Ivan P.Pavlov 揭示了经典条件反射(classical conditioning),奠定了 BBS 的基础性工作;Edward L.Thorndike 提出了效果定律(law of effect),John B. Watson 发动了行为主义运动,为 BBS 做了一些先驱性和开创性工作;B.F.Skinner 阐述了操作性条件的基本原理,创造了行为分析的“行为实验分析法”等,都为行为矫正学奠定了一定的基础。除此之外,在20世纪50年代,研究人员开始论证行为学原理并评价行为矫正程序。这些早期的研究者研究了儿童行为、成人行为、精神病人行为和智力障碍者行为,已有数千个研究确立了行为矫正原理和程序的效果^[5]。

根据行为科学理论,重要的、直接的确定(奖励)后果(强化)能够维持员工的安全工作行为;消极的、直接的肯定(惩罚)后果,能够降低员工的不安全行为的发生^[32]。1978年,DR Judith Komaki 是第一位将行为技术系统性应用于工作场所 BBS 的心理学家,用以改变一家食品加工工厂不良的安全状况,虽然项目试验时间不长,但所取得的成绩预示着该方法的极大应用潜力。同年 Thomas R. Krause 和他的助手 John Hidley 为加利福尼亚的一家石油钻机设备制造厂咨询安全项目时,建议使用行为分析矫正的方法来提高安全业绩,同时 Gene Earnest 和 Jim Palmer 也是用了类似的方法^[33]。1986年 Frank Bird 用行为矫正模型进行安全培训,Scott Geller 使用该方法增加汽车安全带的使用,1989年 Dan Petersen 对该方法进行总结描述,BBS 方法在应用早期主要是通过培训管理人员(supervisors),由“管理层推动”实施的^[34]。

自1986~1996年,大量的公司都开始接受和应用 BBS 方法,并在全面质量管理运动的

影响下发展到“员工驱动阶段”，在该阶段也开发了软件来处理行为观察数据，行为反馈作为强化措施和持续改进手段得到强调^[32]。

管理层推动的优点在于实施行为矫正方法难度较小，不需要做太大的企业安全氛围调查与改变，员工驱动阶段最大的优点在于得到一线员工的积极支持和参与，有利于建立良好的安全氛围和人人重视安全的意识，这对企业安全是至关重要的，缺点是来自管理层的支持不够^[35-36]。

1997年以后，BBS方法发展到全员参与阶段，此时的行为矫正项目既重视对一线员工的行为识别与观察矫正，也重视对管理层的行为识别分析和观察矫正，并且通过行为观察数据的分析利用，促进了设备、设施、设计、人员、管理系统等安全问题的持续改进，在该阶段充分体现了不安全行为矫正的系统化思想和持续改进的理念^[33]。

在欧美及澳大利亚地区，BBS方法已经在建筑^[37-38]、石油^[39-40]、机械^[41-42]、核电^[43]、交通^[44-45]、化工^[46]、矿业^[47]等行业都得到一定的应用。

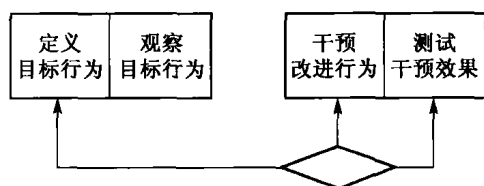


图 1.1 “DO IT”过程

BBS方法是一个“DO IT”的持续改进过程(见图 1.1)^[35, 48]，即，D=Define target behaviors(定义目标行为)，O=Observe target behaviors(观察目标行为)，I=Intervene to improve behaviors(干预改进行为)，T=Test impact of intervention(测试干预效果)。

通过 BBS 方法一旦建立起来员工的安全习惯，无疑将能够产生长期的安全效益。

1.3.3 行为安全效果

英国的海上石油天然气工业在 1997~1999 年间，应用了 TOFS、ASA、STOP、Care Plus 等多种行为控制方法^[40]，取得了有价值的量化研究资料。

1. TOFS(time out for safety) 安全暂停

TOFS 是由 BP Amoco's Andrew 钻井平台开发的针对一线员工的重要行为设计，鼓励一线员工如果有任何安全顾虑，即遇到不知行为是否安全时就可以停止任何工作。旨在赋予员工对自己和他人的安全有更多的自主权。这种方法比较简单，不需要填写表格，员工在嘈杂的工作环境中通过做一个“T”手势，即可暂停平台的任何操作程序，员工的这种行为不会被管理者的责怪。

2. ASA(advanced safety auditing) 高级安全审核

ASA 最早发源于英国煤矿业，为加强一线经理和管理者对员工的安全权利而设计的一种管理干预方法。该方法有三个关键要素：精确的观察、双向有效的沟通、员工个体安全目标的设置。由审核员去观察，观察一段时间后，通过运用开放式的提问技术来评审和确认危险源和不安全行为以及程序化的解决方案。

3. STOP(safety training observation program) 安全训练观察计划

杜邦的基于观察的行为矫正方案称为安全训练观察计划。它包括决定、停止、观察、行动和报告等五个环节，经过培训，观察员对人员的反应、个人防护用品、人员的位置、工具与设备、程序与秩序等五个方面进行观察，根据观察结果，经采取相应的行动(进行沟通，对观察到的安全行为进行肯定、鼓励；和员工探讨不安全行为的原因，提出正确的改进