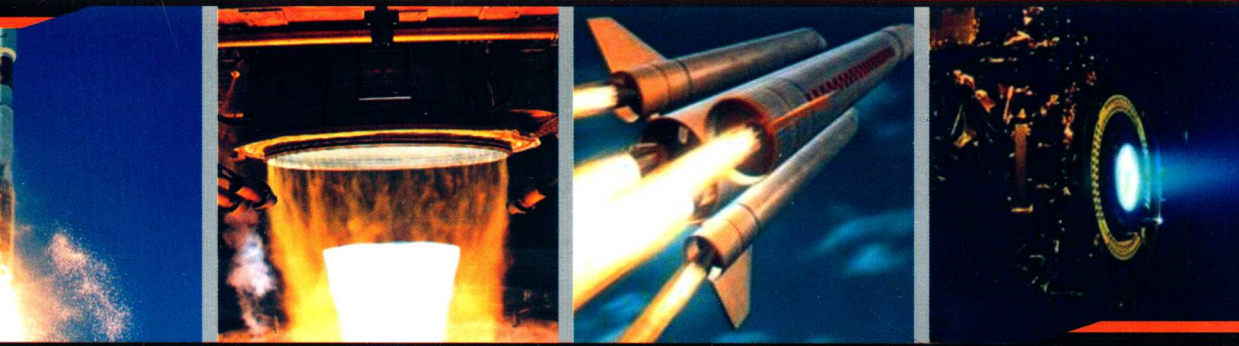
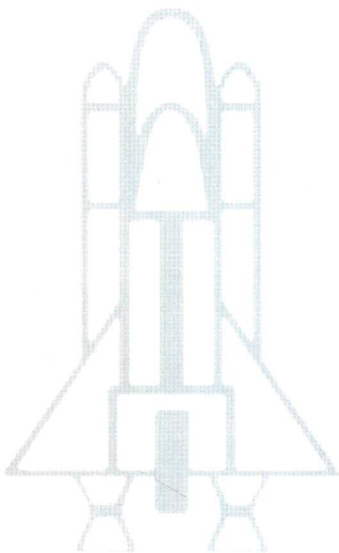


高等学校教材·航空、航天、航海系列
TEXTBOOKS FOR HIGHER EDUCATION



液体推进剂安全工程基础

黄智勇 主编



西北工业大学出版社

《新业市全安》
《品学出编》

第
1
册
本
第
1
版
第
1
次
印
刷

高等院校“十三五”规划

YETI TUIJINJI ANQUAN GONGCHENG JICHU

液体推进剂安全工程基础

主 编 黄智勇

副主编 张淑娟

编 者 黄智勇 张淑娟 吕晓猛

编 者

主 编：黄智勇

副主编：张淑娟

出版单位：西北工业大学出版社

社址：西安市友谊西路127号 邮编：710072

电 话：(029)88438844 88491527

网 址：www.nwpu.com

印 刷：西安西京印务有限公司

开 本：787mm×1092mm 1/16

印 张：12

字 数：312千字

定 价：38.00元

ISBN 978-7-5612-5800-0

西北工业大学出版社

【内容简介】《液体推进剂安全工程基础》是基于液体推进剂安全作业需求编写的。本书包含事故致因理论及模型、事故的预测理论及模型、燃烧与爆炸、防火防爆技术、危险化学品泄漏及控制和液体推进剂安全技术等7个方面。本书内容丰富、结构合理、重点突出。

本书可作为高等学校安全工程、化学工程专业本科教材,也可供相关专业的研究生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

液体推进剂安全工程基础/黄智勇主编. —西安:西北工业大学出版社,2016.9

ISBN 978-7-5612-5063-1

I. ①液… II. ①黄… III. ①液体推进剂—安全工程 IV. ①V511

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 235763 号

策划编辑:杨 军

责任编辑:张 潼

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:陕西省富平县万象印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:9

字 数:213 千字

版 次:2016 年 9 月第 1 版 2016 年 9 月第 1 次印刷

定 价:28.00 元

前 言

武器装备的发展对安全技术和安全管理的基本要求是指武器装备在储存、运输、使用、维护、退役和报废等作业过程中,防止事故和案件发生,对事故进行安全处理,确保部队训练、战备和各项任务顺利完成。含能材料液体推进剂作为危险化学品,多为易燃、易爆、有毒及腐蚀性较强的物质,在作业过程中极易发生安全事故,威胁作业人员的生命和国家财产的安全。因此,了解安全工程学基本原理和含能材料危险化学品的安全使用技术,对保障液体推进剂安全作业具有重要的意义。

笔者广泛收集了相关文献、教材及国军标等行业规范,并结合多年从事液体推进剂相关安全技术和管理的研究及教学经验和体会,综合优选,有机整合,拓展新的应用技术,编写成本书,希望能为读者了解安全学基本原理和掌握含能材料危险化学品的安全使用技术提供帮助。

本书由黄智勇担任主编。编写分工:第1~3章由黄智勇编写;第4~6章由张淑娟编写;第7章由吕晓猛编写。

本书在编写过程中,曾参阅了相关文献资料,在此对原作者表示感谢。

由于水平有限,书中内容不妥之处,恳请各位专家、读者批评指正。

编 者

2016年3月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 液体推进剂安全性能	1
1.2 液体推进剂安全技术的内容	2
1.3 液体推进剂安全技术的发展趋势	4
第 2 章 事故致因理论及模型	7
2.1 事故的定义与特征	7
2.2 事故致因理论的产生与发展	10
2.3 事故频发倾向论	14
2.4 事故因果连锁理论	16
2.5 事故的流行病学方法理论	23
2.6 能量意外释放理论	23
2.7 轨迹交叉论	32
习题与思考题	36
第 3 章 事故的预测理论及模型	37
3.1 事故的预测理论	37
3.2 事故预测方法及模型	41
习题与思考题	54
第 4 章 燃烧与爆炸	55
4.1 燃烧及燃烧条件	55
4.2 燃烧形式及过程	56
4.3 闪点、燃点与自燃点	59
4.4 燃烧理论	62
4.5 燃烧速度及燃烧温度	65
4.6 爆炸及其分类	69
4.7 爆炸极限	73
习题与思考题	75
第 5 章 防火防爆技术	76
5.1 火灾爆炸事故物质条件的排除	76
5.2 防明火与高温表面	79
5.3 消除摩擦与撞击	80
5.4 防止电气火花	81

5.5	防静电	90
5.6	防雷击	95
	习题与思考题	98
第6章	危险化学品泄漏及控制	99
6.1	泄漏分析	99
6.2	泄漏控制	103
	习题与思考题	111
第7章	液体推进剂安全技术	112
7.1	液体推进剂安全评估技术	112
7.2	液体推进剂安全保障技术	115
7.3	液体推进剂突发事件应急处置	133
	习题与思考题	136
	参考文献	137

第1章 绪 论

液体推进剂是以液体状态进入发动机,经历化学反应和热力学变化,为推进系统提供能量和工质的物质。它可以是单质、化合物,也可以是混合物。它在液体发动机燃烧室内进行氧化反应或分解反应,把化学能转化为热能,产生高温高压气体,通过发动机喷管膨胀,再把热能转变为动能,推动航天器飞行或进行航天器姿态控制、速度修正、变轨飞行等。液体推进剂包括液体氧化剂、液体燃烧剂和液体单组元推进剂以及在液体推进剂基础上发展起来的胶体推进剂。燃烧时起氧化作用的物质,称为氧化剂。燃烧时起还原作用并释放能量的物质,称为燃料(即燃烧剂)。通过自身分解或燃烧提供工质和能量的液体物质,称为单组元推进剂。液体推进剂在本质上是一种特殊能源,由于其特殊的物理化学性质,在一定外界和环境条件下,该能源能以物理化学方式释放能量并实现对外做功。另外,大多数液体推进剂属于有毒化学品,具有较大的人员损伤危险性。在液体推进剂生产、运输、贮存、加注、转注及报废处理等各个环节,如果使用、管理或安全防护不当,将可能导致人体健康和生命安全受到损害,财产遭受损失,生态环境遭受污染和破坏。

因此,如何保障液体推进剂在生产、运输、贮存、加注、转注及报废处理等过程中的安全性,降低其危险性,提高操作人员的安全防护水平,避免事故的发生,已成为液体推进剂现代安全技术研究的主要内容。

1.1 液体推进剂安全性能

在管理与使用的过程中,液体推进剂的安全性能主要是指液体推进剂的易燃易爆性、毒性、腐蚀性及环境污染等。

1. 易燃易爆性

液体推进剂作为发动机的能源和工质具有极高的易燃性或助燃性。例如肼类和烃类推进剂易燃,当空气中推进剂蒸气浓度达到一定范围时,极易引起爆炸。氧化剂虽不能燃烧,例如四氧化二氮和红烟硝酸,但具有强氧化性,助燃能力强。四氧化二氮和红烟硝酸与木材、棉布及纸张等可燃物接触时,极易引起火灾。某些燃烧剂和氧化剂相遇可立即自燃,甚至引发爆炸。因此,液体推进剂具有易燃易爆性,在推进剂的生产、运输、贮存、加注、转注及分析化验等作业过程中都必须采用防火防爆安全措施。

2. 毒性

液体推进剂的毒性是指当推进剂进入人体后累积达到一定的量,能与体液组织发生生物化学作用或生物物理学变化,扰乱或破坏肌体的正常生理功能,引起暂时性或持久性的病理状态,甚至危及生命安全的特性。液体推进剂毒性大小一般是通过动物急性中毒试验进行确定的。

液体推进剂的毒性作用包括急性毒性作用、慢性毒性作用、刺激与腐蚀作用及过敏作用。这些毒害作用,有的只引起局部性中毒,有的则可引起全身性中毒;有的只引起短时间的暂时性中毒,有的则可引起长时间的中毒。胼、甲基胼和偏二甲胼对动物具有致癌作用,但对人体的致癌作用尚未得到证实。

液体推进剂按急性毒性分级,偏二甲胼、胼、单推-3、红烟硝酸等为高毒物质,过氧化氢、硝酸异丙酯等为低毒物质,酒精、液氢、液氧等为微毒(实际为无毒)物质。

根据中国《剧毒化学品名录》(2002版)中有关剧毒化学品毒性判定标准,偏二甲胼、胼、红烟硝酸等均属于剧毒化学品。

根据中国国家标准 GBZ 2.1—2007,偏二甲胼、胼等属于人体可疑致癌物质。

3. 腐蚀性

液体推进剂的腐蚀性是指推进剂与其他物质接触时,会使其他物质发生化学或电化学反应使接触体受到破坏。推进剂对金属材料的腐蚀,例如对贮存容器、输送管道及加注泵等的金属腐蚀作用;对非金属材料,例如对橡胶垫片、润滑脂的溶解、溶胀、渗透及变脆等腐蚀作用;以及对人体和动植物的化学灼伤作用。

4. 环境污染

液体推进剂在生产、运输、贮存、加注及转注等作业过程中,当发生跑、冒、滴、漏,特别是大量推进剂泄漏及着火爆炸事故时,由于推进剂的毒害作用,会造成大气、水体、土壤等的污染。在清洗槽车、贮罐及加注、转注系统等设备时,亦会产生大量含有推进剂的有害废水。在加注、转注等作业过程中,系统会排放大量含有推进剂的废气,这些废水废气不经处理直接排放会引起严重的环境污染。

1.2 液体推进剂安全技术的内容

1.2.1 安全的基本内涵

1. 安全的概念与属性

安全,泛指没有危险、不出事故的状态。安全通常是指免受人员伤害、疾病或死亡,或设备、财产破坏或损失的状态。在《职业健康安全管理体系规范》(GB/T 28000—2001)中对安全的定义是:免除了不可接受的损害风险的状态。

安全表述为一个复杂物质系统的动态过程或状态,过程或状态的目标是使人和物将不会受到伤害或损失。安全还可表述的是人们的一种理念,即人和物将不会受到伤害和损失的理想状态。安全也可表述为一种特定的技术状态,即满足一定安全技术指标要求的状态。

人的本性表现为自然属性和社会属性,而作为人的最基本的需要——安全也就相应地具有自然属性和社会属性。因此,安全一词所涉及的纷繁复杂的因素与它的自然属性和社会属性有着密切的关系。

安全的自然属性表现在两个方面:①安全是人的生理与心理需要,或者说由生命及生的欲望决定了自我保护意识,是安全存在的主动因素;②人类对天灾的无奈以及新陈代谢、生老病

死等规律的不可抗拒,使人们不得不把生命安全经常提到议事日程,这虽然是被动因素,但它与前一个主动因素相结合,就决定了安全是自古以来人类生活、生存以及进步的永恒主题。

安全的社会属性也主要表现在两个方面。自从人类有组织活动以来,社会安定、有序、进步始终是各社会阶段追求的目标,而这一目标实现的重要标志之一就是安全,这是社会促进安全的主动因素。但是人类的社会活动如政治、军事、文化、社交等,有的对安全直接起破坏作用,有的间接影响着安全;人类的经济活动导致的安全问题如生产事故(职业病)、高技术灾害(化学品致灾、核事故隐患、电磁环境公害、航天事故、航空事故)、交通灾害等则是自人类开展经济活动以来就存在的突出的安全问题。如今更加突出的一个安全问题是环境问题,环境恶化(包括自然环境和人为环境)是人类生活、生存安全的重要威胁。总之,人类的社会活动、经济活动一方面本身在不断制造事故,另一方面也通过技术和管理措施不断消除隐患,减少事故。但由于受政治利益和经济利益的驱使,安全技术管理措施多数是被动的。严格来讲,安全的社会属性是指安全要素中那些同人与人的社会结合关系及其运动规律相联系的演化规律和过程。

实际上,安全的自然属性与社会属性是不可分割的。因为在安全要素中,不可能单独来研究某个要素,或者它们之间的隔离的、静态的关系,只能用系统的观点来研究安全要素之间的动态的、有机的联系,正确地把握安全的发展动态及其规律。因此,从这个意义上来说,安全的系统属性正是安全的自然属性和社会属性的耦合点。随着生产力水平的不断提高和科学技术的不断进步,人们解决安全问题的能力也在不断提高,安全的自然属性和社会属性在耦合的过程中,同安全系统的特点一样,也是在追求其在一定时期、一定条件下的可为人们所接受的耦合条件。

2. 安全的基本特征

第一,安全的必要性和普遍性。安全是人类生存的必要前提。人类生存的必要条件首先是安全,如果生命安全都不能保障,生存就不能维持,繁衍也无法延续。而人和物遭遇到人为的或自然的危害或损坏极为常见,不安全因素是客观存在的。因此,实现人的安全又是普遍需要的。在人类活动的一切领域,人们必须尽力减少失误、降低风险,尽量使物趋向本质安全化,使人能控制和减少灾害,维护人与物、人与人、物与物相互间的协调运转,为人类活动提供必要的基础条件,发挥人和物的生产力作用。

第二,安全的随机性。“安全”一词描述的是一种状态,但这种状态也决非是一种确定的、静止不变的状态。平安也好,安全也好,其本身就带有很大的模糊性、不确定性,所以“安全状态”具有动态特征,就是说安全所描述的状态具有动态特征,它是随时间而变化的。安全取决于人、机、环境的关系协调,如果失调就会出现危害或损坏。安全状态的存在和维持时间、地点及其动态平衡的方式都带有随机性。如果安全条件变化,人、机、环境之间的关系就会失调,事故就会随时发生。

第三,安全的相对性。长期以来,人们一直把安全和危险看作截然不同的、相互对立的概念,这是绝对的安全观。从科学的角度讲,“绝对安全”的状态在客观上是不存在的,世界上没有绝对安全的事物,任何事物中都包含有不安全的因素,具有一定的危险性。安全只是一个相对的概念,它是一种模糊数学的概念:危险性是对安全性的隶属度;当危险性低于某种程度时,人们就认为是安全的。安全性(S)与危险性(D)互为补数,即 $S=1-D$ 。

第四,安全的局部稳定性。无条件地追求系统的绝对安全是不可能的,但有条件地实现局

部安全,是可以达到的。只要利用系统工程原理调节和控制安全的三个要素(人、机及环境),就能实现局部稳定的安全。安全协调运转正如可靠性及工作寿命一样,有一个可度量的范围,其范围由安全的局部稳定性所决定。

第五,安全的经济性。安全是可以产生效益的。从安全的功能看,可以直接减轻(或免除)事故(或危害事件)给人、社会和自然造成的损伤,实现保护人类财富、减少无益损耗和损失的功能,同时还可以保障劳动条件和维护经济增值过程,实现其间接为社会增值的功能。

第六,安全的复杂性。安全与否取决于人、机、环境及其相互关系的协调,实际上形成了人一机-环境系统。这是一个自然与社会结合的开放性系统。在安全系统中,人是安全的主体,由于人的主导作用和本属性——生物性和社会性——包括人的思维、行为、心理和生理等因素以及人与社会的关系,使得安全问题具有极大的复杂性。

第七,安全的社会性。安全与社会的稳定直接相关,无论是人为灾害还是自然灾害,如生产中出现的伤亡事故,交通运输中的车祸、空难,家庭中的伤害及火灾,产品对消费者的危害,药物与化学产品对人体健康的影响,甚至旅行娱乐中的意外伤害等,都将给个人、家庭、企事业单位或社会群体带来心灵和物质上的危害,成为影响社会安定的重要因素。安全的社会性还体现在对各级行政部门以及对国家领导人或政府高层决策者的影响,如“安全第一,预防为主”的基本国策,反映在国家的法令、各部门的法规及职业安全与卫生的规范标准中,从而使社会和公众在安全方面受益。

1.2.2 液体推进剂安全技术的内容

安全技术是指为消除一切不安全或危险因素,避免物质或者过程违背人们的意志,出现对人及环境的有害影响,而采取的一种综合措施。安全技术是一种综合性的知识和经验。

由于液体推进剂特殊的物理和化学性质,其在使用和管理过程中极易发生安全事故。确保安全顺利地各项液体推进剂作业工作,是液体推进剂现代安全技术研究的主要内容。液体推进剂安全技术涉及化学、物理学、毒理学、防护学、机械学、环境科学及分析测试等诸多学科,是一门综合应用技术。

液体推进剂安全技术主要研究和探讨液体推进剂事故发生的原因、过程以及防止其发生的技术和经验,其内容包括安全工程基本原理、推进剂安全性能、防火防爆技术、防毒技术、特种作业过程安全技术、电气安全技术、压力容器安全技术及液体推进剂突发事故的应急处置技术等。

1.3 液体推进剂安全技术的发展趋势

液体推进剂本身是一类易燃易爆、毒性大、易污染环境的物质,无论在其生产、使用、运输、贮存、加注、转注和取样等任何作业过程中,安全问题都是人们重点关注的问题。推进剂安全技术是保证推进剂安全使用与管理的重要基础。液体推进剂安全技术的发展趋势,主要体现在以下两个方面:①组分、配方安全技术的研究;②安全的预估与防范。

1.3.1 绿色液体推进剂

发展无毒、无污染、环境友好型的绿色液体推进剂是液体推进剂发展的主要方向,也是液体推进剂安全技术发展的重要方面。

(1) 新型绿色单组元推进剂

1) 硝酸羟胺(HAN)基单组元推进剂。HAN基单组元液体推进剂为HAN、燃料(如醇类、甘氨酸、硝酸三乙醇胺等)和水的混合物,与固体推进剂相比具有能量高、性能易调节、贮存和供应方便等优点。HAN基单组元推进剂具有冰点低、密度比冲高、安全无毒等特点,在常压下不敏感、贮存安全。

2) 二硝酸铵(ADN)基单组元推进剂。二硝酸铵(ADN)是一种固体氧化剂,密度高,高温稳定性好。由于ADN具有较高的吸湿性,可将其溶于水中,再添加适当的燃料,形成单组元液体推进剂。ADN毒性较小,比HAN的毒性(325 mg/kg)还要小,特别适用于低污染的航天飞机助推系统和空间运输动力系统。

(2) 新型绿色双组元推进剂

1) 过氧化氢基双组元液体推进剂。过氧化氢是一种环境友好型的液体推进剂,其分解释放出氧气和水,既可作为氧化剂又可作为单组元推进剂。当作为氧化剂使用时,与之匹配的燃料选择较为广泛,如肼类、醇类、烃类、有机胺类等。常见的如过氧化氢/醇类双组元液体推进剂、过氧化氢/叠氮胺类双组元液体推进剂。

2) 一氧化二氮双组元液体推进剂。一氧化二氮是一种无毒、安全的推进剂,可用于冷气推进、单组元推进、双组元推进、固液推进和电阻加热推进等推进系统模式。采用一氧化二氮作为推进剂的发动机推力可以从毫牛顿级到牛顿级以至千牛顿级,主要应用于小卫星、微小卫星、纳米卫星、飞船等。常见的如一氧化二氮/胺双组元液体推进剂、一氧化二氮/丙烷双组元液体推进剂。

(3) 高能原子推进剂

原子推进剂就是将原子氢、原子碳、原子硼等原子贮存在固氢颗粒中,用液氦来带动固氢流动,与液氧配对,从而形成原子氢、原子碳、原子硼等高能液体推进剂。采用原子推进剂能使空间飞行器的结构更加紧凑,亦可有效提高载荷,还能使比冲提高几百秒。原子态能够稳定地贮存在固氢颗粒中,在原子推进剂制备、贮存和使用过程中可有效提高其安全性。

1.3.2 安全预估与防范

安全预估与防范是从安全角度对液体推进剂系统进行分析评价,揭示可能导致系统风险或事故的各种危险因素及其相互关联来识别系统中的危险源,以便采取预防措施进行消除或控制,达到预测预防、确保安全的目的。

液体推进剂的安全预估与防范和推进剂的风险评价密切相关,其涉及多种因素,如液体推进剂的种类、数量、贮存方式、设备、工艺、管理水平、操作技能、外形条件、人口密度及气象条件等。目前常见的安全预估方法有多因子综合积分等级评估法、模式评估法、事件树分析法、安全检查表法和概率统计法等。

安全防范技术是指基于“海因里希安全公理”，遵循可预防原则，偶然损失原则，因果关系原则，“3E 对策”原则，本质安全化原则，危险因素防护原则等六大原则，采取降低事故发生概率，降低事故严重程度和加强安全管理等各种措施的综合技术。由于不确定因素较多，对液体推进剂作业进行准确的安全预估，并进行全面的安全防范难度较大。

液体推进剂的安全防范技术，是指基于“海因里希安全公理”，遵循可预防原则，偶然损失原则，因果关系原则，“3E 对策”原则，本质安全化原则，危险因素防护原则等六大原则，采取降低事故发生概率，降低事故严重程度和加强安全管理等各种措施的综合技术。

液体推进剂的安全防范技术，是指基于“海因里希安全公理”，遵循可预防原则，偶然损失原则，因果关系原则，“3E 对策”原则，本质安全化原则，危险因素防护原则等六大原则，采取降低事故发生概率，降低事故严重程度和加强安全管理等各种措施的综合技术。

液体推进剂的安全防范技术，是指基于“海因里希安全公理”，遵循可预防原则，偶然损失原则，因果关系原则，“3E 对策”原则，本质安全化原则，危险因素防护原则等六大原则，采取降低事故发生概率，降低事故严重程度和加强安全管理等各种措施的综合技术。

液体推进剂的安全防范技术，是指基于“海因里希安全公理”，遵循可预防原则，偶然损失原则，因果关系原则，“3E 对策”原则，本质安全化原则，危险因素防护原则等六大原则，采取降低事故发生概率，降低事故严重程度和加强安全管理等各种措施的综合技术。

液体推进剂的安全防范技术，是指基于“海因里希安全公理”，遵循可预防原则，偶然损失原则，因果关系原则，“3E 对策”原则，本质安全化原则，危险因素防护原则等六大原则，采取降低事故发生概率，降低事故严重程度和加强安全管理等各种措施的综合技术。

液体推进剂的安全防范技术，是指基于“海因里希安全公理”，遵循可预防原则，偶然损失原则，因果关系原则，“3E 对策”原则，本质安全化原则，危险因素防护原则等六大原则，采取降低事故发生概率，降低事故严重程度和加强安全管理等各种措施的综合技术。

液体推进剂的安全防范技术，是指基于“海因里希安全公理”，遵循可预防原则，偶然损失原则，因果关系原则，“3E 对策”原则，本质安全化原则，危险因素防护原则等六大原则，采取降低事故发生概率，降低事故严重程度和加强安全管理等各种措施的综合技术。

液体推进剂的安全防范技术，是指基于“海因里希安全公理”，遵循可预防原则，偶然损失原则，因果关系原则，“3E 对策”原则，本质安全化原则，危险因素防护原则等六大原则，采取降低事故发生概率，降低事故严重程度和加强安全管理等各种措施的综合技术。

液体推进剂的安全防范技术，是指基于“海因里希安全公理”，遵循可预防原则，偶然损失原则，因果关系原则，“3E 对策”原则，本质安全化原则，危险因素防护原则等六大原则，采取降低事故发生概率，降低事故严重程度和加强安全管理等各种措施的综合技术。

液体推进剂的安全防范技术，是指基于“海因里希安全公理”，遵循可预防原则，偶然损失原则，因果关系原则，“3E 对策”原则，本质安全化原则，危险因素防护原则等六大原则，采取降低事故发生概率，降低事故严重程度和加强安全管理等各种措施的综合技术。

第2章 事故致因理论及模型

2.1 事故的定义与特征

2.1.1 事故的定义

事故(accident)是发生在人们的生产、生活活动中的意外事件。人们对事故下了种种定义,其中伯克霍夫(Berckhoff)的定义较著名。

按伯克霍夫的定义,事故是人(个人或集体)在为实现某种意图而进行的活动过程中,突然发生的、违反人的意志的、迫使活动暂时或永久停止的事件。

1)事故背景:“为实现某种意图而进行的活动过程中”。事故是一种发生在人类生产、生活活动中的特殊事件,人类的任何生产、生活活动过程中都可能发生事故。因此,人们若想把活动按自己的意图进行下去,就必须采取措施防止事故。

2)事故发生:“突然发生的、违反人的意志的”。事故是一种突然发生的、出乎人们意料的意外事件。这是由于导致事故发生的原因非常复杂,往往是由许多偶然因素引起的,因而事故的发生具有随机性质。在一起事故发生之前,人们无法准确地预测什么时候、什么地方、发生什么样的事故。由于事故发生的随机性质,使得认识事故、弄清事故发生的规律及防止事故发生成为非常困难的事情。

3)事故后果:“迫使活动暂时或永久停止”。事故是一种迫使进行着的生产、生活活动暂时或永久停止的事件。事故中断、终止活动的进行,必然给人们的生产、生活带来某种形式的影响。因此,事故是一种违背人们意志的事件(event),是人们不希望发生的事件。

事故这种意外事件除了影响人们的生产、生活活动顺利进行之外,往往还可能造成人员伤亡、财物损坏等其他形式的后果。因此,在安全科学中,人们对事故的定义是:造成死亡、疾病、伤害、损坏或其他损失的意外事件。

2.1.2 事故的主要影响因素

从宏观上看,事故的发生可分为由于自然界的因素(如地震、山崩、海啸、台风等)影响以及非自然界的因素影响两类。后者也被称为人为事故,前者往往非人力所能左右。人为事故是由于不安全状态或不安全行为所引起的。它是物质、环境、行为等诸因素的多元函数。具体地说,影响事故是否发生的因素有5项:人、物、环境、管理和事故处置。

(1)人的原因

所谓人,包括操作人员、管理人员、事故现场的在场人员和其他有关人员等。他们的不安

全行为是事故的重要致因。主要包括：

- 1) 未经许可进行操作, 忽视安全, 忽视警告;
- 2) 危险作业或高速操作;
- 3) 人为地使安全装置失效;
- 4) 使用不安全设备, 用手代替工具进行操作或违章作业;
- 5) 不安全地装载、堆放、组合物体;
- 6) 采取不安全的作业姿势或方位;
- 7) 在有危险运转的设备装置上或移动着的设备上工作; 不停机、边工作边检修;
- 8) 注意力分散, 嬉闹、恐吓等。

(2) 物的原因

所谓物包括原料、燃料、动力、设备、工具、成品及半成品等。物的不安全状态包括：

- 1) 设备和装置结构不良, 材料强度不够, 零部件磨损和老化;
- 2) 存在危险物和有害物;
- 3) 工作场所的面积狭小或有其他缺陷;
- 4) 安全防护装置失灵;
- 5) 缺乏防护用具和服装或有缺陷;
- 6) 物质的堆放、整理有缺陷;
- 7) 工艺过程不合理, 作业方法不安全。

物的不安全状态是构成事故的物质基础。没有物的不安全状态, 就不可能发生事故。物的不安全状态构成生产中的隐患和危险源, 当它满足一定条件时就会转化为事故。

(3) 环境的原因

不安全的环境是引起事故的物质基础。它是事故的直接原因, 通常指以下几方面。

- 1) 自然环境的异常, 即岩石、地质、水文、气象等的恶劣变异。
- 2) 生产环境不良, 即照明、温度、湿度、通风、采光、噪声、振动、空气质量、颜色等方面的缺陷。

以上物的不安全状态、人的不安全行为以及环境的恶劣状态都是导致事故发生的直接原因。

(4) 管理的原因

管理的原因即管理的缺陷, 包括：

- 1) 技术缺陷。指建、构筑物及机械设备、仪器仪表等的设计、选材、安装布置、维护维修有缺陷; 或工艺流程、操作方法存在问题。
- 2) 劳动组织不合理。
- 3) 对现场工作缺乏检查指导, 或检查指导错误。
- 4) 安全操作规程没有或不健全, 挪用安全措施费用, 不认真实施事故防范措施, 对安全隐患整改不力。
- 5) 教育培训不够, 工作人员不懂操作技术或经验不足, 缺乏安全知识。
- 6) 人员选择和使用不当, 生理或身体有缺陷, 如有疾病, 听力、视力不良等。

管理上的缺陷是事故的间接原因, 是事故的直接原因得以存在的条件。

(5) 事故处置情况

事故处置情况系指：

- 1)对事故前的异常征兆是否能做出正确的判断和反应；
- 2)一旦发生事故,是否能迅速地采取有效措施,防止事态恶化和事故扩大；
- 3)抢救措施和对负伤人员的急救措施是否妥善。

显然,这些因素对事故的发生和发展起着制约作用,是在事故发生过程中出现的。

2.1.3 事故的特征

1. 事故的因果性

所谓因果就是两种现象之间的关联性。事故的起因乃是它和其他事物相联系的一种形式。事故是相互联系的诸原因的结果。事故这一现象都和其他现象有着直接或间接的联系。

在这一关系上看来是“因”的现象,在另一关系上却会以“果”出现,反之亦然。因果关系有继承性,即第一阶段的结果往往是第二阶段的原因。

给人(或物体)造成直接伤害的原因是比较容易掌握的,这是由于它所产生的某种后果显而易见。然而,要寻找出究竟为何种原因又是经过何种过程而造成这样的结果,却非易事,因为会有种种因素同时存在,并且它们之间存在某种相互关系。因此,制定预防措施时,应尽最大努力掌握造成事故的直接和间接的原因,深入剖析其根源,防止同类事故重演。

2. 事故的偶然性、必然性和规律性

从本质上讲,人为事故属于在一定条件下可能发生,也可能不发生的随机事件。

事故是由于客观存在不安全因素,随着时间的推移,出现某些意外情况而发生的,这些意外情况往往是难以预知的。因此,事故的偶然性是客观存在的,与人们是否掌握事故的原因完全不相干。换言之,即使完全掌握了事故原因,也不能保证绝对不发生事故。

事故的偶然性决定了要完全杜绝事故发生是困难的,甚至是不可能的。

事故的因果性又决定了事故的必然性。

事故是一系列因素互为因果、连续发生的结果。事故因素及其因果关系的存在决定事故或迟或早必然要发生。其随机性仅表现在何时、何地、因什么意外事件触发产生而已。

掌握事故的因果关系,砍断事故因素的因果连锁,就消除了事故发生的必然性,就可能防止事故发生。

事故的必然性中包含着规律性。既为必然,就有规律可循。必然性来自因果性,深入探查、了解事故因素关系,就可以发现事故发生的客观规律,从而为防止事故发生提供依据。由于事故含有偶然的本质,故不易完全掌握它所有的规律。但在一定范畴内,用一定的科学仪器或手段,就可以找出近似的规律,从外部和表面上的联系,找到内部的决定性的主要关系。如应用偶然性定律,采用概率论的分析方法,收集尽可能多的事例进行统计处理,并应用伯努利大数定律,找出最根本性的问题。

从偶然性中找出必然性,认识事故发生的规律性,变不安全条件为安全条件,把事故消除在萌芽状态之中。这也就是防患于未然、预防为主科学根据。

3. 事故的潜在性、再现性和预测性

事故往往是突然发生的,然而导致事故发生的因素,即“隐患或潜在危险”却早就存在,只是未被发现或未受到重视而已。随着时间的推移,一旦条件成熟,就会显现而酿成事故,这就

是事故的潜在性。

事故一经发生,就成为过去。时间一去不复返,完全相同的事故不会再次发生。然而如果没有真正地了解事故发生的原因,并采取有效措施去消除这些原因,就会再次出现类似的事。应当致力于消除这种事故的再现性,这是能够做到的。

根据对过去事故所积累的经验和知识,以及对事故规律的认识,并使用科学的方法和手段,可以对未来可能发生的事故进行预测。事故预测就是在认识事故发生规律的基础上,充分了解、掌握各种可能导致事故发生的危险因素以及它们的因果关系,推断它们发展演变的状况和可能产生的后果。事故预测的目的在于识别和控制危险,预先采取对策最大限度地减少事故发生的可能性。

4. 事故的可预测性

事故的可预防性体现在以下三个方面。

1) 现代工业系统是人造系统,这就表示工业事故都是非自然因素造成的,这种客观实际给预防事故提供了基本的前提。

2) 事故的致因都是可以识别的,系统中的因素(人、机、环境)由于自身特点和相互间的作用,会产生失误或故障,从而导致人的不安全行为和物的不安全状态。人的不安全行为和物的不安全状态的相互组合,引发人机匹配失衡,从而导致事故的发生。

产生事故的原因是多层次的,总的来说,人的不安全行为和物的不安全状态是造成事故的直接原因;而人、机、环境又是受管理因素支配的,因此管理不当和领导失误是导致事故的本质因素。尽管事故的致因具有随机性和潜伏性,但这些致因会在事故的成长阶段显现出来,运用系统安全分析的方法,可以识别出系统内部存在的危险因素;通过对大量的事故案例的分析,也可以发现事故的诱因。

3) 事故的致因都是可以消除的,通过下述措施,可有效地阻断系统中人和物的不安全运动的轨迹,使得事故发生的可能性降到最低限度:①排除系统内部各种物质中存在的危险因素,消除物的不安全状态;②加强对人的安全教育和技能培训,从生理、心理和操作上控制住人的不安全行为的产生;③建立、健全法律法规和规章制度,规范决策程序,强化安全管理,从组织、制度和程序上,最大限度地避免管理失误的发生。

所以说,任何事故从理论和客观上讲,都是可预防的。认识这一特性,对坚定信念、防止事故发生有促进作用。因此,人类应该通过各种合理的对策和努力,从根本上消除事故发生的隐患,把事故的发生降低到最低限度。

2.2 事故致因理论的产生与发展

导致伤亡事故原因的理论研究已有一百多年历史。随着生产力的发展,生产方式的变化,生产关系所反映的安全观念的差异,产生了各种事故致因理论。

20世纪初,资本主义世界工业化大生产飞速发展,美国福特公司的大规模流水线生产方式得到广泛应用。这种生产方式充分利用了机械的自动化,但是这些机械在设计时很少甚至根本不考虑操作的安全和方便,几乎没有什么安全防护装置。工人没有受过培训,操作很不熟练,加上每天长达11~13h甚至以上的工作时间,导致伤亡事故频繁发生。美国一份被称为

“匹兹伯格调查”的报告显示,1909年美国全国的工业死亡事故高达3万起,一些工厂的百万工时死亡率达到150~200人。根据美国宾夕法尼亚钢铁公司的资料显示,在20世纪初的4年间,该公司的2200名职工中,竟有1600人在事故中受到了伤害。

面对广大工人群众的生命健康受到工业事故严重威胁的严峻情况,企业主的态度是消极的。他们说,“为了安全这类装门面的事,我没有钱”“我手里的余钱也是做生意用的”。他们认为,“有些人就是容易出事,不管做什么,他们总是自己害自己”。

当时,世界各地的诉讼程序大同小异,只要能证明事故原因中有受伤害工人的过失,法庭总是袒护企业主。法庭判决的原则是,工人理应承受所从事的工作通常可能发生的一切危险。

1919年,英国的格林伍德(M. Greenwood)和伍兹(H. H. woods)对许多工厂里的伤亡事故数据中的事故发生次数按不同的统计分布进行了统计检验。结果发现,工人中的某些人较其他人更容易发生事故。从这种现象出发,后来法默(Farmer)等人提出了事故频发倾向的概念。所谓事故频发倾向(accident proneness),是指个别人容易发生事故的、稳定的、个人的内在倾向。根据这种理论,工厂中少数工人具有事故频发倾向,是事故频发倾向者,他们的存在是工业事故发生的主要原因。如果企业里减少了事故频发倾向者,就可以减少工业事故。因此,防止企业中出现事故频发倾向者是预防事故的基本措施:一方面通过严格的生理、心理检验,从众多的求职人员中选择身体、智力、性格特征及动作特征等方面表现优秀的人才就业;另一方面,一旦发现事故频发倾向者,即将其解雇。这种理论把事故致因归咎于人的天性,至今仍有一些人赞成这一理论,但是后来的许多研究结果并没能证实该理论的正确性。

这一时期最著名的事故致因理论是1936年由美国人海因里希(W. H. Heinrich)所提出的事故因果连锁理论。海因里希认为,伤害事故的发生是一连串的事件,按一定因果关系依次发生的结果。他用五块多米诺骨牌来形象地说明这种因果关系,即第一块倒下后,会引起后面的牌连锁反应而倒下,最后一块即为伤害事故。因此,该理论称为“多米诺骨牌”理论。多米诺骨牌理论建立了事故致因的事件链这一重要概念,并为后来者研究事故机理提供了一种有价值的方法。

海因里希曾经调查了75000件工伤事故,发现其中有98%是可以预防的。在可预防的工伤事故中,以人的不安全行为为主要原因的事故占89.8%,而以设备的、物质的不安全状态为主要原因的只占10.2%。按照这种统计结果,绝大部分工伤事故都是由于工人的不安全行为引起的。海因里希还认为,即使有些事故是由于物的不安全状态引起的,其不安全状态的产生也是由于工人的错误所致。因此,这一理论与事故倾向性格论一样,将事件链中的原因大部分归于工人的错误,表现出时代的局限性。从这一认识出发,海因里希进一步追究事故发生的根本原因,认为人的缺点来源于遗传因素和人员成长的社会环境。

第二次世界大战时期,已经出现了高速飞机、雷达和各种自动化机械等。为防止和减少飞机飞行事故而兴起的事故判定技术及人机工程等,对后来的工业事故预防产生了深刻的影响。

事故判定技术(critical incident technique)最初被用于确定军用飞机飞行事故原因的研究。研究人员用这种技术调查了飞行员在飞行操作中的心理学和人机工程方面的问题,然后针对这些问题采取改进措施防止发生操作失误。战后这项技术被广泛应用于国外的工业事故预防工作中,作为一种调查研究不安全行为和不安全状态的方法,使得不安全行为和不安全状态在引起事故之前被识别和改正。

第二次世界大战期间使用的军用飞机速度快、战斗力强,但是它们的操纵装置和仪表非常