

FASHECHANG YETI TUIJINJI GONGZUO

# 发射场液体推进剂工作 事故预防概论

SHIGU YUFANG GAILUN

张立清 张永华 王金安 著



国防工业出版社  
National Defense Industry Press

# 发射场液体推进剂工作 事故预防概论

张立清 张永华 王金安 著

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书分为概述、推进剂事故预防基础、贮存运输、加注、化验、废液废气污水处理6个章节和3个附录。除第一章概述外,各章节在阐述防事故理论的基础上,后附有相应典型案例剖析,使读者对理论和案例理解得更加透彻。其中附录“电气防爆基础知识和推进剂作业场所电气防爆要求”总结梳理了国家标准规范的要求,化繁为简,是从事推进剂技术工作者不可多得的参考资料。

本书适合从事发射场液体推进剂系统设计、组织管理、技术指挥操作的人员阅读,也可作为高等院校及职业培训学校相关专业培训教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

发射场液体推进剂工作事故预防概论/张立清,  
张永华,王金安著. —北京:国防工业出版社, 2013. 1  
ISBN 978-7-118-08643-0

I. ①发... II. ①张... ②张... ③王...  
III. ①航天器发射场—液体推进剂—事故预防—  
研究 IV. ①V511

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第015733号

※

国防工业出版社 出版发行  
(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)  
腾飞胶印厂印刷  
新华书店经售



\*

开本 880 × 1230 1/32 印张 7% 字数 245 千字  
2013年1月第1版第1次印刷 印数 1—1500册 定价 35.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

# 序

液体推进剂易燃、易爆、剧毒、腐蚀性强,因此航天发射场推进剂工作的安全问题历来受到各级人员高度关注。在我国几十年的航天活动中,曾发生百起大大小小推进剂事故,有的造成人员伤亡,有的严重影响航天任务流程,有的造成重大经济损失。前事不忘,后事之师,多年来一直希望有一本推进剂事故案例汇编,供现在和将来从事推进剂工作的人员学习借鉴。有了这本书,对于从事推进剂工作的人员来讲,无疑是预防事故的清醒剂。

安全是日常各项工作的底线,关于做好安全工作的理论书籍,已汗牛充栋,但如何管、如何教,把有关预防知识融于实际工作,使得管、教工作更有针对性,十分需要安全专业的培训教材。

该书作者多年从事液体推进剂工作,有的从事发射场推进剂系统的设计和总体工作、有的从事推进剂一线管理工作、有的从事推进剂一线技术工作,积累了大量防事故经验。作为多年从事航天发射技术指挥的一名老同志,详细读了书稿后,感觉受益良多,把自己多年想讲的话讲了出来,也算是和作者心有灵犀吧。

该书融理论和案例于一炉,紧贴一线工作实际,非多年从事推进剂具体工作,且用心积累总结者能够写出。通过理论的阐述,使得读者对案例理解得更加透彻,且能够在具体工作中举一反三;通过案例剖析,又使读者对理论理解得更加具体深刻,

明白所有规章制度都是前人教训所换来,从而工作中多一份谨慎,学习多一份自觉。从这一点,该书已超出我原来纯粹案例汇编所期望。

作为本书的第一个读者,在该书即将付梓之际,祝贺作者多年的心血终于结出果实,希望对从事推进剂工作的人有所教益。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '陈辉' (Chen Hui), written in a cursive style.

2012年11月

# 前 言

2010年6月,在一次讨论发射场液体推进剂工作的会议中,有人提到把液体推进剂历年来的典型事故案例汇编成册,使得该专业防事故授课有专门的教材。大家感觉提议较好,开始收集案例,进行分析整理。3个月后,案例收集完毕,汇编成册,看后总觉得缺点什么,本书作者一起商量,认为应该从理论上进一步阐述,使读者读后能够举一反三,同时使刚开始从事推进剂工作的人员对该工作的危险性有系统性的了解,使长期从事相关工作的人员能从本书有所受益。

基于此,作者细细梳理,重新学习,把以往所学及经验归纳,终成此书。全书由张立清统稿;第1章由张永华写作完成,第2章由张永华、张立清完成;第3章、第5章、第6章由张立清完成;第4章由王金安、张永华完成;附录由王金安、张立清完成。

本书总体结构先讲理论,使读者对推进剂某一方面工作的危险性有初步理性认识;结合理论部分附一些典型案例,力争使读者对理论理解得更加透彻,有一种切身体会之感。本书是作者多年从事推进剂工作的经验总结,即便是理论部分和纯理论书籍也有较大区别。理论和案例分析不足之处还望读者原谅,方便时来信指导。

特别荣幸的是本书即将出版之际,酒泉卫星发射中心陆晋荣总师在工作百忙之中,阅读了本书并为之作序。感谢成书过程中同仁和领导的支持与帮助,没有他们不间断的支持与鼓励,本书可

能半途而废。特别感谢从事了一辈子液体推进剂工作的韦文相高工,在成书过程中回忆还原了许多典型案例;特别感谢邹利鹏高工、李伟高工、张晖高工、张光友研究员、丛继信研究员、焦天恕高工、熊显潮高工、贡小庚高工等同仁,在成书过程中,他们对部分理论及案例的不吝赐教;特别感谢在案例收集和文字编辑校对过程中,无怨无悔给予帮助的张晓萍、胡保升、周训宇、王明、侯子文、仝跃辉、黄凌志、牛月冰、周同兴、耿安康等同事。最后感谢本书出版过程中,出版社给予的大力支持。

作者

2012年10月

# 目 录

第 1 章 概述 .....	1
1.1 引言 .....	3
1.2 液体推进剂主要危害 .....	4
1.3 事故的定义与分类 .....	6
1.3.1 事故的定义 .....	6
1.3.2 液体推进剂事故分类 .....	7
1.4 事故致因理论及模型 .....	7
1.4.1 事故因果类型 .....	7
1.4.2 综合原因论及模型 .....	9
1.5 安全状态空间模型 .....	10
1.5.1 理想安全状态 .....	10
1.5.2 影响系统安全状态变化因子 .....	11
1.5.3 安全状态变化空间模型 .....	12
1.6 风险评价 .....	14
1.6.1 风险评价目的 .....	14
1.6.2 风险评价方法 .....	15
1.7 事故的预防 .....	17
第 2 章 推进剂事故预防基础 .....	21
2.1 系统危险有害因素分析 .....	23



2.2	系统本质安全性的维持与提高 .....	30
2.3	规章制度和安全操作规程的完善与落实 .....	38
2.4	人员能力素质水平的提高 .....	45
2.5	应急处置能力建设 .....	51
2.6	重点防范内容 .....	55
2.6.1	防泄漏 .....	56
2.6.2	防着火和爆炸 .....	63
2.6.3	人员安全防护 .....	80
<b>第3章</b>	<b>贮存与运输 .....</b>	<b>87</b>
3.1	主要设施设备 .....	89
3.1.1	贮存设施设备 .....	89
3.1.2	运输车辆 .....	90
3.2	主要工作与注意事项 .....	91
3.2.1	接收与发出注意事项 .....	92
3.2.2	贮存日常管理注意事项 .....	96
3.2.3	运输注意事项 .....	100
3.2.4	转注注意事项 .....	105
3.2.5	贮罐清洗注意事项 .....	110
<b>第4章</b>	<b>加注 .....</b>	<b>119</b>
4.1	加注的定义与要求 .....	121
4.2	加注系统分类 .....	122
4.3	主要设备和工作流程 .....	124
4.3.1	常规推进剂加注系统 .....	124

4.3.2	低温推进剂加注系统	129
4.4	注意事项	134
4.4.1	自动控制系统注意事项	135
4.4.2	常规推进剂加注	139
4.4.3	低温推进剂加注	161
<b>第5章</b>	<b>化验</b>	<b>167</b>
5.1	化验方法及原理	169
5.1.1	物理分析	171
5.1.2	滴定分析	171
5.1.3	仪器分析	177
5.2	主要设备	181
5.2.1	气相色谱仪	182
5.2.2	分光光度计	183
5.3	注意事项	185
5.3.1	纯安全事故预防	185
5.3.2	错误化验数据和结论的预防	191
5.3.3	不能及时得出准确化验数据的预防	200
<b>第6章</b>	<b>废液废气污水处理</b>	<b>203</b>
6.1	推进剂废弃物常见处理技术	205
6.1.1	臭氧氧化	205
6.1.2	氯化处理	207
6.1.3	焚化处理	208
6.1.4	催化氧化分解	209

6.1.5 敞开燃烧	210
6.1.6 溶液吸收	210
6.2 处理彻底性的提高	211
6.3 其他安全注意事项	213
<b>附录</b>	<b>217</b>
附录 A 相关资料对推进剂毒性规定	219
附录 B 电气防爆基础知识和推进剂作业场所电气 防爆要求	222
附录 C 三级防护装具使用体系	231
<b>参考文献</b>	<b>234</b>

# 第1章 概 述

---

- 1.1 引言
- 1.2 液体推进剂主要危害
- 1.3 事故的定义与分类
- 1.4 事故致因理论及模型
- 1.5 安全状态空间模型
- 1.6 风险评价
- 1.7 事故的预防



## 1.1 引言

液体推进剂是液体火箭发动机的能源和工质,在国内外航天发射领域普遍应用。目前国内航天发射场常用的液体推进剂有肼类推进剂(偏二甲肼、无水肼、甲基肼、单推—3)、硝基类推进剂(四氧化二氮、绿色四氧化二氮、红烟硝酸)、液氢、液氧等。在推进剂贮存、加注和转注、航天器检漏、航天员呼吸用气保障等各种工作中,常常也用到氮气、氦气、压缩空气、氧气等,所以各航天发射场把氮气、氦气、氧气、压缩空气等保障工作也作为推进剂保障工作的一部分。

液体推进剂的危险特性决定了从事该工作的高危险性。几十年来,国内外因推进剂操作管理不当造成的各种大大小小事故不下几百余起,有的还造成重大人员伤亡等事故,如1960年苏联SS-7洲际导弹大爆炸,造成100多人死亡,第一任战略火箭军司令涅德林元帅丧生,事故的直接原因就是在没有彻底消除推进剂泄漏情况下继续进行后续原计划工作。我国航天发射场推进剂工作几十年来也发生数十起严重事故,如1992年某发射场人员进入推进剂贮罐因防护装具使用不当造成2人死亡,多人严重中毒;1995年某发射场在加注完氧化剂后,拔下加泄连接器时发生推进剂喷漏,造成23人入院治疗、1人病危的事故;2004年某发射场在软管试压时,因软管爆炸造成1名操作手死亡;2009年某发射场因为供气管路发现多余物,造成多余物进入火箭贮箱,导致发射任务推迟,造成重大经济损失。

前车之覆,后车之鉴。为了在推进剂工作中降低发生事故的几率,特别是防止重大事故的发生,作者根据多年的工作经验和学习其他理论书籍的心得,结合历史上曾经发生的推进剂事故以及大量未遂事件案例,分析了各种推进剂工作容易出现的技术差错和注意事项,把它们编辑成书,供从事推进剂工作的同仁们参考。

## 1.2 液体推进剂主要危害

### 1. 着火与爆炸

液体推进剂的作用是为火箭或航天器提供能量,具有易燃性或助燃性。如肼类、烃类推进剂和液氢易着火,当空气中推进剂蒸气浓度达到一定范围时,还容易引起爆炸。四氧化二氮、红烟硝酸、液氧等氧化剂虽不能燃烧,但具有强氧化性,助燃能力强。四氧化二氮、红烟硝酸与木材、棉、纸张等可燃物相遇时,易引起火灾。某些燃烧剂和氧化剂相遇,可立即自燃,甚至发生爆炸。因此,所有液体推进剂都有着火和爆炸的危险性,在液体推进剂的生产、运输、转注、加注和分析化验等作业中,必须防火、防爆。

### 2. 毒害作用

液体推进剂的毒害作用包括急性毒性作用、慢性毒性作用、刺激与腐蚀作用、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。肼、甲基肼和偏二甲肼对动物具有致癌作用,但对人体的致癌作用,尚未得到证实。

2002 年国家安全生产监督管理局等部门把四氧化二氮、肼、甲基肼和偏二甲肼列入《剧毒物品目录》(公告 2003 年第 2 号)。2003 年国家卫生部将二氧化氮、肼、甲基肼和偏二甲肼列入《高毒物品目录》(卫法监发[2003]142 号)。目前发射场经常所称偏二甲肼、肼和四氧化二氮为Ⅲ级(中等)毒物、甲基肼为Ⅱ级(高毒)毒物是根据国内有关部门提出的化学物质急性毒性分级暂行标准而来。相关资料见附录 A。

### 3. 腐蚀作用

液体推进剂的腐蚀作用包括对金属及非金属材料、贮存容器、输送管道、加注泵等的腐蚀作用,也包括对动植物和人体的化学灼伤作用。如四氧化二氮、红烟硝酸等推进剂接触人体皮肤、大量吸入呼吸道,均可产生严重的化学灼伤。

### 4. 窒息作用

推进剂的窒息作用分为两类:

(1) 推进剂本身窒息作用。推进剂进入人体后,引起呼吸系统和血液循环系统发生病变,出现细胞供氧不足或使气道闭塞,发生窒息作用。

(2) 缺氧窒息。由于推进剂蒸气大量进入空气,使空气中氧含量显著下降,因缺氧引起窒息。如推进剂贮罐、槽车清洗并用氮气吹干后,氧浓度降低,当人员立刻进入其中作业时,可能发生缺氧性窒息。

### 5. 低温冻伤

低温液体推进剂如液氢、液氧等,沸点低。在常温下剧烈沸腾,吸收大量热量,若与某些材料接触可使材料迅速降温变脆,导致设备故障;与人体皮肤接触时,引起冻伤。



## 6. 污染环境

在液体推进剂的生产、运输、转注、加注等作业中,当发生跑、冒、滴、漏,特别是发生大量液体推进剂泄漏、着火、爆炸事故时,由于推进剂的毒害作用,会造成大气、水体、土壤和植物的污染。在清洗槽车、贮罐和加注、转注系统等设施设备时,会产生大量含有液体推进剂的有害废水;在加注、转注等作业中,系统会排放大量含有推进剂的废气,这些废水、废气若不进行处理即排放会造成严重环境污染。

# 1.3 事故的定义与分类

## 1.3.1 事故的定义

事故可用意外事件对行动过程的影响或对人员和财产的影响后果来定义,即:事故是人们在实现其目的的行动过程中,突然发生的、迫使其有目的的行动暂时或永久终止的一种意外事件。事故通常造成人员伤亡、伤害、职业病、财产损失或其他损失。简而言之,事故就是意外的灾祸。

事件的发生可能造成事故,但不一定造成损失。事件分为事故事件和未遂事件。

事故是由危险因素导致的,事故的发生是由于管理失误、人的不安全行为和物的不安全状态及环境因素等造成的。

当系统设计有缺陷、规章制度不完善或执行不严格、人员麻痹、不按规章操作、设备故障、应急准备不充分等问题发生时,往往发生事故。推进剂各项工作作为航天发射的一个环节,除可能发