

火箭推进剂损伤应急救援工程

胡文祥 孙联众 著



解放军出版社

火箭推进剂损伤应急救援工程

胡文祥 孙联众 著

解放军出版社

京新登字 117 号

书名：火箭推进剂损伤应急救援工程

著 者：胡文祥 孙联众

出版者：解放军出版社

[北京地安门西大街 40 号/邮政编码 100035]

印刷者：北京市育新胶印总厂

发行者：解放军出版社发行部

开 本：850 毫米 × 1168 毫米 1/32

印 张：12.8

字 数：238 千字

版 次：2003 年 2 月第 1 版

印 次：2003 年 2 月（北京）第 1 次印刷

印 数：1—5000 册

统一书号：58015 - 1153

科技强军

装备先行

太空技术

火箭先行

火箭推进

防护先行

应急救援

出战斗力

目 录

前 言	(1)
第一章 火箭推进剂概论	(3)
第一节 火箭推进剂历史沿革	(3)
第二节 火箭推进剂的分类	(19)
第三节 液体火箭发动机与液体火箭推进剂	(21)
第四节 火箭推进剂的安全性能与主要危害	(37)
第五节 火箭推进剂的用途	(40)
第六节 新型火箭推进剂	(42)
第二章 火箭推进剂毒理学	(47)
第一节 火箭推进剂的理化特性	(47)
第二节 火箭推进剂毒性	(52)
第三节 火箭推进剂毒理	(55)
第四节 肼类推进剂的毒性毒理	(62)
第五节 发烟硝酸和四氧化二氮的毒性毒理	(66)
第六节 低温推进剂毒性毒理	(68)
第七节 新型化学推进剂理化性质和毒性	(71)
第三章 航天发射场火箭推进剂作业危险性评估	(82)
第一节 系统危险性评估方法	(82)
第二节 火箭推进剂作业危险性评估	(92)
第三节 火箭推进剂作业毒性定量分析	(106)
第四节 推进剂固定存储设备在线整修减少 危害的措施	(113)

第四章 火箭推进剂突发事件应急保障管理系统

.....	(123)
第一节 推进剂主要供应保障方式	(123)
第二节 推进剂主要作业环节	(125)
第三节 突发事件应急保障卫勤管理系统	(126)
第四节 安全防护与安全管理	(134)
第五节 快速报警与应急监测	(142)
第六节 液体推进剂作业的卫生防护	(147)
第七节 硝基氧化物类火箭推进剂安全防护 ...	(154)
第五章 火箭推进剂事故现场应急处置	(162)
第一节 发射现场救治组织	(162)
第二节 推进剂事故的医学应急处置	(173)
第三节 推进剂事故现场救护	(176)
第四节 后送中救护	(188)
第五节 心肺脑复苏	(190)
第六节 氮氧化物中毒单兵急救气雾剂	(197)
第七节 应急救援指挥车	(211)
第六章 火箭推进剂中毒的住院治疗	(222)
第一节 特诊科室中毒病房的设置	(222)
第二节 一般救治原则	(223)
第三节 肼类推进剂中毒救治	(228)
第四节 硝基氧化剂中毒救治	(240)
第五节 胺类推进剂中毒救治	(255)
第六节 烃类推进剂中毒救治	(260)
第七节 液氢液氧的损伤救治	(264)
第八节 过氧化氢的中毒救治	(269)

第九节	氮气窒息的救治	(271)
第十节	含氟推进剂的中毒救治	(275)
第十一节	金属高能燃料的中毒救治	(281)
第十二节	固体推进剂氧化剂的中毒救治	(291)
第七章	火箭推进剂烧伤和其它损伤及复合伤的	
	住院治疗	(294)
第一节	推进剂烧伤病房的设置与要求	(295)
第二节	火箭推进剂化学性皮肤烧伤	(299)
第三节	火箭推进剂的燃烧或爆炸伤	(301)
第四节	吸人性损伤	(315)
第五节	推进剂致眼或咽喉损伤的特殊处理 ..	(320)
第六节	火箭推进剂毒烧冲心复合损伤救治 原则	(322)
第八章	液体推进剂作业典型突发事故分析	(330)
第一节	液体推进剂作业的不安全因素	(330)
第二节	推进剂作业各类事故简介	(333)
第三节	液体推进剂作业典型事故分析	(335)
第九章	火箭推进剂中毒救治案例	(344)
第一节	肼类推进剂急性中毒抗毒药和皮肤 洗消剂的应用建议	(344)
第二节	四氧化二氮中毒临床救治案例	(346)
第三节	偏二甲基肼中毒临床救治案例	(354)
第四节	推进剂混合中毒的救治案例	(362)
展 望		(370)
附录一	火箭推进剂卫生防护要求	(379)

附录二 常用冬眠合剂及其应用	(389)
附录三 常用抗生素剂量及用法一览表	(390)
附录四 世界九大著名航天港	(394)
主要参考文献	(395)
后 记	(402)

前 言

航天飞机、宇宙飞船、太空探测器、地球通信和科学实验卫星等高技术航天器均需要运载火箭将其送入空间预定轨道。火箭发射是太空技术的核心之一，大型运载火箭应用的化学推进剂主要有液体推进剂、固体推进剂、固液推进剂和液固推进剂等。

目前使用的常规液体推进剂主要有偏二甲基肼、无水肼、一甲基肼、四氧化二氮和低温推进剂液氧、液氢等，前者为中等毒性物质，可致人中毒和化学烧伤，后者致人冻伤。推进剂易燃、易爆，还具有一定的腐蚀或溶胀作用。在航天发射过程中，若发生推进剂泄露问题，可能引发重大事故，影响导弹、卫星和飞船等发射任务完成。火箭推进剂中毒事故在国外常常发生，在推进剂生产、转注、运输、加注、贮存、卫星和火箭的装配、调试、发射和飞船回收以及推进剂废液、废气和废水的处理、设备检修等涉及推进剂作业过程中，均可能发生着火、爆炸、烧伤、中毒和窒息事故，引起星箭毁坏、人员伤亡，造成环境污染，影响当地军民生产生活，影响社会稳定。

据不完全统计，40多年来，国外共发生火箭推进剂突发事故300多次，死亡300多人，中毒400多人，烧伤200多人，甚至造成发射失败和巨大财产损失，直接影响了航天事业的发展，危及有关人员的生命安全，政治、社会和经济影响巨大。

1960年10月24日，前苏联发射SS-7洲际导弹，由于火箭推进剂贮箱泄漏，导致一级火箭提前点火，发生一连串爆炸，导弹全部炸毁，包括一名战略火箭元帅在内的165人丧生。更为严重的是1986年1月28日，美国“挑战者号”航天飞机点火升空后，由于推进剂贮箱泄漏，引起爆炸，航天飞机炸毁，7名宇航员全部遇难，造成直接经济损失12亿美元，美国全部航天飞机因而暂停飞行3年，“星球大战”计划也遭受严重挫折。无独有偶，2003年1月16日发射升空的“哥伦比亚号”航天飞机，2月1日着陆前16分钟在6万米高空解体，7名太空勇士熔于蓝天、魂断苍穹，美国和世界人民又一次感受到了巨大悲痛，使全世界对征服太空的复杂性和艰巨性有了新的更加深入的认识。

所以，火箭推进剂作业卫勤保障、推进剂毒理机制研究、中毒救治、安全防护是航天事业中的重大问题。对火箭推进剂损伤应急救援进行深入广泛的研究，成为航天勤务保障的重要组成部分，在航天和武器装备现代化建设中占有重要地位。

本书叙述了火箭推进剂特点、毒理学、中毒及有关复合伤防治方法、典型救治案例、应急救援及卫勤保障等方面相关内容，尤其编入了我部研究并推广部队应用的火箭推进剂卫生防护、应急救治和卫勤组织管理等部分新成果。可供导弹、卫星、飞船发射作业人员、火箭推进剂生产、贮运作业人员及卫勤保障和指挥管理人员参考。

第一章 火箭推进剂概论

化学推进剂是火箭发动机的能源，其原理与热机和喷气式飞机的原理相近，它在火箭发动机的燃烧室内燃烧，产生大量热能和高温高压状态燃气，从喷气管高速喷出，把释放的热能转变为动能，按照牛顿第三定律推动火箭和航天器克服地球引力而向太空高处腾飞。化学类火箭推进剂大多是易燃或助燃、易爆物质，具有毒性、窒息、低温损伤、污染环境等危害作用。航天发射场使用大量的液体推进剂，作业人员通过运输、转注、贮存、加注及设备维修、故障排除等环节接触火箭推进剂，一旦火箭推进剂泄漏和爆炸，就会对作业人员生命安全和当地社会稳定构成严重威胁。因此，了解和掌握火箭推进剂的毒性毒理及防护救治技术，对保障航天发射重大试验任务的顺利完成和作业人员的安全健康具有十分重要的意义。

第一节 火箭推进剂历史沿革

一、火箭推进剂的历史发展

“火箭”的名称，早见于“三国”，公元 227 年“诸葛亮进兵郝昭，起云梯冲车以临城，昭以火箭逆射其云梯。梯燃，梯上人皆烧死”。这里说的火箭是带火的箭，即用弓射出燃烧的引火物的箭而火攻之。“三国演义”中黄盖用点燃的“火箭”引起曹营大火，火烧赤壁的精彩

战役，至今仍在传颂。宋代以来，“火箭”在战争中应用更多，南宋以“火药箭”射烧金兵。

真正利用火药燃烧推力把箭射出的火箭，是中国发明火药以后。所以最早的火箭推进剂是我国发明的黑火药。火箭和固体化学推进剂也是我国古代的重要发明。早在宋太祖时代（公元 969 年），冯义升、岳义方已发明了作为武器用的固体（火药）火箭，到成吉思汗西征（公元 1249 ~ 1280）时，火箭才传到西方，从这个意义上说，火箭是我国首先发明的。

由固体推进剂火箭发展到液体推进剂火箭，中间经历了一千多年，后来火炮取代了火箭，使火箭的发展长期处于停滞状态。

直到 1900 年以后，液体火箭才正式开展研究。俄国的齐奥尔可夫斯基和德国的 H·阿伯尔提等创立了火箭推进理论，提出了许多火箭构造和星际航行的新概念，建立了近代液体火箭发动机的再生冷却夹套燃烧室，并建议用氧、液氧、氢、汽油、酒精、柴油等作为推进剂。

液体火箭的迅速发展，是纳粹德国从二次大战期间开始的，德国工程师布劳恩负责领导此项工作。1937 年开始进行“A”系液体火箭的研究，用液氧和酒精作推进剂，并用过氧化氢作涡轮工质。五年后进行了 A₄ 型火箭的首次飞行试验，射程为 300 公里，这就是著名的 V₂ 火箭，1944 年用它大规模袭击了伦敦。

二次大战后，前苏联、美国、英国及我国的第一代液体火箭，实际上都是从 V₂ 的基础上发展起来的。

从 20 世纪 50 年代到现在，各国对氟类、硼类、肼类、烃类及液氢等液体推进剂都先后展开了全面研究，

给第二、三代液体火箭发动机的发展创造了良好条件，并促进了洲际导弹、人造卫星和宇宙飞船的飞跃发展。

自固体火箭的发明至液体推进剂的出现，中间经历了千余年。而从 1900 年正式开展液体火箭研究之后，仅过去半个世纪，就发射了洲际导弹和人造卫星，说明只有液体推进剂的发展，才促使人类脱离地球、遨游太空的宇航梦想变成现实。

液体推进剂在向高能发展的过程中，遇到剧毒、强腐蚀、易燃易爆、环境污染、生产工艺及材料相容性的重重关卡，从而进展迟滞。过去曾一度发展缓慢的固体火箭，现在却取得较大进展。虽然固体推进剂向高能发展也碰到和液体推进剂类似的障碍，但因其发动机结构较简单，便于维护和保养，起飞前准备时间短等，故目前人们给予固体推进剂较大注意，尤其在军用火箭与导弹方面，似有取代液体火箭之势。但是，在宇航领域，液体火箭有其独特的优越性，如比推力较大，推力可调节，能多次重复起动和关机等，这是固体火箭难以达到的。因此，应当采取固体推进剂和液体推进剂并重、固体火箭和液体火箭并举的发展战略。

二、液体推进剂的历史发展

液体推进剂的发展是与火箭技术，特别是发动机和材料科学的技术水平紧密相联的，它们既互相制约，又互相促进。从液体推进剂发展的历史来看，大致可以分为以下四个时期。

(一) 第一个时期是 1926 年发射第一个液体火箭至 1957 年发射第一颗人造地球卫星，这 31 年可以说是液体

推进剂的初步研究和应用时期。

1926年3月16日美国发射第一个液体推进剂火箭，使用液氧与汽油作推进剂。从此引起了苏联和德国的重视，苏联于1930年研究了硝酸与煤油作推进剂的火箭，德国于1933年发射了液氧与酒精作推进剂的A₁火箭。在此基础上德国于1942年研制成功的A₄（即V-2）地地近程导弹，使用液氧与酒精作推进剂，燃气发生器采用过氧化氢催化分解（高锰酸钙载体催化剂）。第二次世界大战后，苏联和美国从战败国德国获得了一些技术资料 and 人员，从1947年开始加快了液体推进剂火箭的研究工作。经过10年左右的时间，苏联于1957年10月4日发射了第一颗人造地球卫星，美国于1958年2月1日也发射了第一颗人造地球卫星。

在这31年中，研究和应用的主要液体推进剂是：氧化剂有液氧和硝酸（包括白烟和红烟硝酸）；燃烧剂有甲醇、水合肼、液氨、苯胺-糠醇、煤油、酒精、混胺（包括混胺-02、MAF-1、3、4）、油肼（如JP-X）；单元推进剂有过氧化氢、硝酸异丙酯和硝酸正丙酯。但是，只有液氧与煤油、液氧与酒精用于大推力的火箭发动机，也就是苏联和美国发射第一颗人造地球卫星所用的液体推进剂。因此，液体推进剂发展的第一个时期的典型代表是：低温推进剂液氧与煤油和酒精；单元推进剂过氧化氢（包括催化剂）。

（二）第二个时期是1957年发射第一颗人造地球卫星至1969年第一次载人宇宙飞船登月，这12年可以说是液体推进剂的大发展时期。

1957年苏联发射第一颗人造地球卫星以后，立即着

手可贮存液体推进剂的研究。1958年至1965年，先后研制了红烟硝酸和偏二甲基胍、四氧化二氮与偏二甲基胍、四氧化二氮与混胍的火箭发动机，主要用作洲际导弹的运载工具。在此期间，苏联为了取得“空间优势”，用液氧与煤油和液氧与酒精作空间运载火箭的推进剂，1961年4月12日发射第一个载人宇宙飞船。1966年1月31日苏联又用液氧与偏二甲基胍作推进剂的空间运载火箭发射月球探测器，第一次在月球表面软着陆。美国为了与苏联争夺“空间优势”，在上述苏联的三个“第一”刺激下，更加紧了火箭技术的全面研究工作。美国在对液体推进剂的研究中，从可贮存液体推进剂（如硝基和氟基氧化剂、胍类燃料、胶体燃料等）到高能低温推进剂（如液氟、液氢等），从单组元推进剂（如胍、有机二氟氨基化合物等）到三组元推进剂（如液氧-铝粉-液氢等）以及固液推进剂（如高氯酸硝酞与胍等），都进行了全面的探索。在此基础上，美国于1969年7月16日用液氧与煤油和液氧与液氢作推进剂的空间运载火箭发射了阿波罗载人月球宇宙飞船，宇航员第一次登上了月球。

在这12年中，液体推进剂得到飞速发展。研究或应用的主要液体推进剂是：氧化剂有液氟、二氟化氧、液氧、四氟化胍、过氯酞氟、五氟化氯、三氟化氯、四氧化二氮、红烟硝酸、过氧化氢、五氟化溴等；燃烧剂有液氢、二硼氢、五硼氢、胍、一甲基胍、偏二甲基胍、液态甲烷、煤油、液氨、酒精、铝-胍胶体等。某些液体推进剂的一般性质列于表1-1。这些氧化剂与燃烧剂组合的理论比冲综合于表1-2。单元推进剂的一般性质和理论比冲列于表1-3。单元、双元、三元和固液推进

剂的比冲水平列于表 1-4。

表 1-1 某些液体推进剂的一般性质

名 称	分子式	冰 点 (°C)	沸 点 (°C)	密 度 克/厘米 ³ (20°C)	蒸 气 压 毫米 汞柱 (20°C)	粘 度 厘 泊 (20°C)	临界 温度 (°C)	临界 压力 大气压	生成热 千卡/克 分子 (20°C)	比 热 卡/克·度 (25°C)	备 注
液氮	F ₂	-219.02	-188.13	1.50 (沸点)	1.34 (-184°C)	0.257 (沸点)	-128.5	55			低温推进剂
氟-氧	F ₂ -O ₂ 为 30/70		-185	1.24 (沸点)	2.1 大气压 (-184°C)	0.27 (-188°C)					低温推进剂
二氟化氧	OF ₂	-223.8	-145.3	1.521 (沸点)		0.283 (沸点)	-58	48.9		0.192	低温宇宙 可贮存
四氟化肼	N ₂ F ₄	-163	-71	1.5 (-100°C)			36	77	2.0 ± 2.5	0.182	次低温 推进剂
过氧氟酸	ClO ₂ F	-146	46.7	1.434	5.85 大气 压 (0°C)	0.219 (0°C)	95	53			半可贮存 推进剂
五氟化氯	ClF ₅	-103 ± 4	-13.1	1.789		0.46 (沸点)	143 ± 0.5	52.41	57 ± 15	0.178	可贮存 推进剂
三氟化氯	ClF ₃	-76.3	11.75	1.85 (沸点)	185.3 (-17.8°C)	0.48 (沸点)	174	56.95	37.97 ± 0.7	0.165	可贮存 推进剂
五氟化溴	BrF ₅	-62.5	40.3	2.465 (25°C)			197		102.5 ± 0.5	0.139	密度最大
二硼氢	B ₂ H ₆	-165.9	-92.7	0.438 (沸点)	9.2 大气压 (-40°C)	0.133 (沸点)	16.7	39.5			> 20°C 自燃 低温宇宙 可贮存
五硼氢	B ₅ H ₉	-46.75	60.06	0.627	207 (25°C)	0.308 (25°C)	227	38.9			> 25°C 自燃
液态甲烷	CH ₄	-182.5	-161.5	0.424 (沸点)	2.2 大气压 (-151°C)		-82.1	45.8			低温推进剂
液 氨	NH ₃	-77.7	-33.4	0.682 (沸点)	8.5 大气 压 (20°C)		133	112.7			可贮存 推进剂
TMB-1,3-D ①		-90.6	160	0.795	68.2 (71.1°C)						可贮存 推进剂
铝肼胶体 ②	Al - N ₂ H ₄	-2.3		1.270		45000					作为添 加剂
三氯化铝	AlH ₃			是一种无色不挥发在空气中自燃的聚合 (AlH ₃) _x 粉末							作为添 加剂
硼氢化铝	Al- (BH ₄) ₃	-64.5	44.5	0.549 (25°C)		0.210 (25°C)			74.7		与 N ₂ O ₄ 组合比冲 238 秒

注：①四甲基丁烯-1,3-对胺，分子式 (CH₃)₂N(CH₂)₂CHN(CH₃)₂CH₃，分子量 144.2。

②33% Al + 66.5% N₂H₄ + 0.5% 胶剂 (聚丙烯酸)，其表面张力为 1.00 达因/厘米 (20°C)