



航天科技图书出版基金资助出版

# 液体推进剂

李亚裕 主编



 中国宇航出版社

航天科技图书出版基金资助出版

# 液体推进剂

李亚裕 主编

 中国宇航出版社

· 北京 ·

版权所有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

液体推进剂/李亚裕主编. --北京:中国宇航出版社,2011. 1

ISBN 978-7-80218-912-6

I. ①液… II. ①李… III. ①液体推进剂 IV. ①V511

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 263899 号

责任编辑 曹晓勇 赵宏颖

封面设计 谭颖 责任校对 王妍

出版  
发行 **中国宇航出版社**

社址 北京市阜成路 8 号 邮编 100830  
(010)68768548

网址 [www.caphbook.com](http://www.caphbook.com)

经销 新华书店

发行部 (010)68371900 (010)88530478(传真)  
(010)68768541 (010)68767294(传真)

零售店 读者服务部 北京宇航文苑  
(010)68371105 (010)62529336

承印 北京画中国画印刷有限公司

版次 2011 年 9 月第 1 版 2011 年 9 月第 1 次印刷

规格 880 × 1230 开本 1/32

印张 17.125 字数 473 千字

书号 ISBN 978-7-80218-912-6

定价 88.00 元

本书如有印装质量问题,可与发行部联系调换

## 航天科技图书出版基金简介

航天科技图书出版基金是由中国航天科技集团公司于2007年设立的，旨在鼓励航天科技人员著书立说，不断积累和传承航天科技知识，为航天事业提供知识储备和技术支持，繁荣航天科技图书出版工作，促进航天事业又好又快地发展。基金资助项目由航天科技图书出版基金评审委员会审定，由中国宇航出版社出版。

申请出版基金资助的项目包括航天基础理论著作，航天工程技术著作，航天科技工具书，航天型号管理经验与管理思想集萃，世界航天各学科前沿技术发展译著以及有代表性的科研生产、经营管理译著，向社会公众普及航天知识、宣传航天文化的优秀读物等。出版基金每年评审1~2次，资助10~20项。

欢迎广大作者积极申请航天科技图书出版基金。可以登录中国宇航出版社网站，点击“出版基金”专栏查询详情并下载基金申请表；也可以通过电话、信函索取申报指南和基金申请表。

网址：<http://www.caphbook.com>

电话：(010) 68767205, 68768904

《液体推进剂》  
编委会

主 编 李亚裕

副主编 刘朝阳

编 委 禹天福 刘 翌 张起源

编写人员 (排名不分先后)

方 涛 王亚军 孙海云 李进华

李 俊 刘江强 许 宏 郭 伟

贺 芳 贾 月 徐 超 程永喜

## 序

发展航天，动力先行，推进剂技术的不断进步，促进了航天动力事业的快速发展。液体推进剂的发展历程，见证了中国航天的发展历程，也是中国航天坚持自主创新的缩影。

中国航天液体推进剂研究中心编写的《液体推进剂》一书，汇集了国内外液体推进剂领域的最新研究成果，总结了液体推进剂试验、使用过程中的实践经验。

本书凝聚了几代航天液体推进剂研究人员的心血，内容丰富、数据翔实。为广大从事液体推进剂和液体火箭发动机研制、生产、试验、使用的工程技术人员，从事液体火箭总体设计、地面设备设计的人员和高等院校相关专业的师生提供了大量宝贵的第一手资料，是一本极具参考价值的参考书。

当前，随着载人航天、深空探测等大型航天活动的开展，必然迎来航天动力技术发展的重要战略机遇期，液体推进剂技术也将迎来飞速发展的新时代。我们期待着中国航天液体推进剂研究中心有更多富有价值、影响深远的专著问世。

中国工程院院士

中国航天科技集团公司科技委顾问

张贵田

2011年5月

# 前 言

液体推进剂作为液体火箭发动机的动力源泉，国内外都很重视对其的研究，同时编写和出版与之相关的工具书。为了更好地促进液体推进剂技术的发展和應用，结合国内外液体推进剂的最新发展，我们编写了本书。

本书共 21 章，包括 3 部分内容。其中第 1 章至第 3 章为第一部分，主要介绍了液体推进剂的定义和分类、发展历程和应用状况，并阐述了液体推进剂的技术指标和基本性能。第二部分包括第 4 章至第 20 章，分别具体介绍了国内外常用的液体推进剂，每章包括推进剂的生产原理、技术规格、物理化学性质、安全性能、材料相容性、毒性、急救、个人防护、贮存、运输、转注、清洗、处理及监测和安全使用守则等。这一部分不仅总结了国内几十年来的研究实践成果，同时结合国外的最新研究进展和相关文献报道，对当前国内正在使用和正在研制的液体推进剂进行了系统阐述。第 21 章为第三部分，对液体推进剂的未来发展进行了展望。

本书不仅适合于液体推进剂和液体火箭发动机研制、生产、试验部门的工程技术人员使用，也适合液体火箭总体设计和地面设备的设计人员和航天系统各级管理人员参考。

本书由中国航天液体推进剂研究中心组织编写，作者都具有多年一线工作经验，对主持编写的相关章节内容相当熟悉。李亚裕、刘朝阳、禹天福、刘墅、张起源等负责了本书的策划与组织实施，并参加了全书的编写、审阅工作。第 1 章、第 2 章和第 21 章由方涛执笔，第 3 章由李俊执笔，第 4 章和第 17 章由徐超执笔，第 5 章和

第6章由李进华执笔，第7章和第9章由孙海云、贺芳执笔，第8章和第20章由程永喜执笔，第10章、第12章和第18章由郭伟、贺芳执笔，第11章和第19章由王亚军执笔，第13章由许宏执笔，第14章由贾月执笔，第15章和第16章由刘江强执笔。此外王贞和闫捷在本书的前期编写工作中也作出了贡献。

在本书编写过程中，总装备部后勤部防疫大队丛继信副研究员进行了审读并协助编写了“人员防护”相关内容，总装备部后勤部韦文相高工、西安航天动力试验技术研究所符全军研究员对本书进行了审读，提出了很多宝贵意见，在此，对他们所付出的辛勤劳动表示衷心的感谢！

特别感谢航天推进技术研究院及所属北京航天试验技术研究所领导、航天科技图书出版基金评审委员会、中国宇航出版社对本书的出版给予的关心与支持！

由于编者水平有限，经验不足，书中缺点和不当之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2011年5月



# 目 录

<b>第 1 章 概论</b> .....	1
1.1 液体推进剂概述 .....	1
1.2 液体推进剂定义 .....	2
1.3 液体推进剂分类 .....	3
1.3.1 按液体推进剂进入发动机的组元分类 .....	3
1.3.2 按液体推进剂的点火方式分类 .....	4
1.3.3 按液体推进剂的贮存性能分类 .....	5
1.3.4 按液体推进剂的用途分类 .....	5
1.3.5 按液体推进剂的能量分类 .....	6
1.4 液体推进剂选用基本原则 .....	6
1.4.1 能量 .....	6
1.4.2 使用性能 .....	7
1.4.3 成本 .....	9
1.5 液体推进剂发展展望 .....	9
参考文献 .....	13
<b>第 2 章 液体推进剂发展与应用</b> .....	14
2.1 液体推进剂发展历程 .....	14
2.1.1 液体推进剂探索与初步应用时期 .....	14
2.1.2 液体推进剂迅速发展时期 .....	15
2.1.3 液体推进剂使用性能改进与高能推进剂初步 发展时期 .....	16
2.1.4 液体推进剂综合性能提升与适用化研究时期 .....	24
2.2 液体推进剂的应用 .....	25

2.2.1	在运载火箭上的应用	25
2.2.2	在弹道导弹上的应用	25
2.2.3	在鱼雷上的应用	32
2.2.4	在航天器上的应用	32
	参考文献	34
<b>第3章</b>	<b>液体推进剂技术指标和性能</b>	<b>39</b>
3.1	液体推进剂的技术指标	39
3.1.1	技术指标用途和分类	39
3.1.2	技术指标制定依据	39
3.1.3	技术指标制定和修改过程	40
3.2	液体推进剂理论性能	40
3.3	液体推进剂物理化学性质	44
3.3.1	相对分子质量	44
3.3.2	冰点(凝固点)	45
3.3.3	沸点	46
3.3.4	密度	46
3.3.5	饱和蒸气压	47
3.3.6	粘度(动力粘度)	48
3.3.7	表面张力	49
3.3.8	膨胀系数	49
3.3.9	介电常数	49
3.3.10	电导率	49
3.3.11	热导率	50
3.3.12	比热容	50
3.3.13	气化热	50
3.3.14	燃烧热	51
3.3.15	临界温度	51
3.3.16	临界压力	51
3.3.17	气体溶解度	52

3.3.18	热力学参数	52
3.3.19	液体声速	52
3.4	液体推进剂安全性能	53
3.4.1	概述	53
3.4.2	热敏感度	53
3.4.3	明火和电火花感度	55
3.4.4	机械能感度	60
3.4.5	冲击波感度	62
3.4.6	辐射感度	64
3.4.7	泄漏危险性	64
3.5	液体推进剂材料相容性	69
3.5.1	材料相容性分级标准	69
3.5.2	材料相容性评价方法	71
3.6	液体推进剂贮存性能	72
3.6.1	贮存性能研究内容	72
3.6.2	贮存类型	72
3.6.3	贮存危险性类别及数量距离关系	73
3.6.4	贮存和操作危险场所	81
3.7	液体推进剂燃烧和分解性能	82
3.7.1	燃烧性能	82
3.7.2	分解性能	83
3.8	液体推进剂毒性、急救和防护	83
3.8.1	毒性评价指标和卫生标准	83
3.8.2	毒性分级	85
3.8.3	中毒途径	88
3.8.4	毒理	88
3.8.5	急救方法	89
3.8.6	防护	90
3.9	液体推进剂污染、监测和治理	93
3.9.1	液体推进剂对环境的污染	93

3.9.2	液体推进剂污染的监测 .....	93
3.9.3	液体推进剂污染的治理 .....	94
	参考文献 .....	96
<b>第4章</b>	<b>红烟硝酸 .....</b>	<b>99</b>
4.1	概述 .....	99
4.2	生产原理 .....	99
4.3	技术规格 .....	100
4.4	物理化学性质 .....	100
4.4.1	物理性质 .....	100
4.4.2	化学性质 .....	101
4.5	安全性能 .....	103
4.5.1	着火和爆炸危险性 .....	103
4.5.2	防火防爆措施 .....	104
4.6	材料相容性 .....	104
4.6.1	缓蚀剂概述 .....	104
4.6.2	与金属材料相容性 .....	105
4.6.3	红烟硝酸中的水分对金属腐蚀速率的影响 .....	106
4.6.4	红烟硝酸和非金属材料的相容性 .....	108
4.7	毒性、急救和防护 .....	110
4.7.1	毒性 .....	110
4.7.2	急救 .....	112
4.7.3	卫生标准和预防措施 .....	113
4.8	贮存、运输和转注 .....	115
4.8.1	贮存 .....	115
4.8.2	运输安全要求 .....	116
4.8.3	转注 .....	116
4.9	清洗、处理和监测 .....	117
4.9.1	清洗 .....	117
4.9.2	处理 .....	118

---

4.9.3 监测 .....	119
4.10 安全使用守则 .....	120
参考文献 .....	121
<b>第5章 四氧化二氮 .....</b>	<b>122</b>
5.1 概述 .....	122
5.2 生产原理 .....	122
5.3 技术规格 .....	123
5.4 物理化学性质 .....	124
5.4.1 物理性质 .....	124
5.4.2 化学性质 .....	125
5.5 安全性能 .....	126
5.5.1 着火和爆炸危险性 .....	126
5.5.2 防火防爆措施 .....	127
5.6 材料相容性 .....	128
5.6.1 金属材料 .....	128
5.6.2 非金属材料 .....	129
5.7 毒性、急救和防护 .....	131
5.7.1 毒性 .....	131
5.7.2 卫生标准 .....	133
5.7.3 急救原则 .....	134
5.7.4 防护用品 .....	135
5.8 贮存、运输和转注 .....	136
5.8.1 贮存 .....	136
5.8.2 运输 .....	138
5.8.3 转注 .....	139
5.9 清洗、处理和监测 .....	140
5.9.1 清洗 .....	140
5.9.2 处理 .....	142
5.9.3 监测 .....	142

---

---

5.10 安全使用守则 .....	143
参考文献 .....	145
<b>第6章 绿色四氧化二氮 .....</b>	<b>147</b>
6.1 概述 .....	147
6.2 生产原理 .....	147
6.3 技术规格 .....	148
6.4 物理化学性质 .....	148
6.4.1 物理性质 .....	148
6.4.2 化学性质 .....	150
6.5 安全性能 .....	150
6.5.1 着火和爆炸危险性 .....	150
6.5.2 防火防爆措施 .....	152
6.6 材料相容性 .....	152
6.7 毒性、急救和防护 .....	153
6.7.1 毒性 .....	153
6.7.2 卫生标准 .....	153
6.7.3 急救原则 .....	153
6.7.4 防护用品 .....	154
6.8 贮存、运输和转注 .....	154
6.8.1 贮存 .....	154
6.8.2 运输 .....	157
6.8.3 转注 .....	158
6.8.4 泄漏处理 .....	159
6.9 清洗、处理和监测 .....	159
6.9.1 清洗 .....	159
6.9.2 处理 .....	161
6.9.3 监测 .....	162
6.10 安全使用守则 .....	162
参考文献 .....	164

第7章 液氧 .....	165
7.1 概述 .....	165
7.2 生产原理 .....	165
7.3 技术规格 .....	166
7.4 物理化学性质 .....	167
7.4.1 物理性质 .....	167
7.4.2 化学性质 .....	168
7.5 安全性能 .....	169
7.5.1 着火和爆炸危险性 .....	169
7.5.2 防火防爆措施 .....	170
7.6 材料相容性 .....	171
7.6.1 金属材料 .....	171
7.6.2 非金属材料 .....	172
7.6.3 润滑油 .....	172
7.7 毒性、急救和防护 .....	172
7.7.1 毒性 .....	172
7.7.2 急救 .....	172
7.7.3 防护 .....	173
7.8 贮存、运输和转注 .....	173
7.8.1 贮存 .....	173
7.8.2 运输 .....	174
7.8.3 转注 .....	175
7.9 清洗和处理 .....	175
7.9.1 清洗 .....	175
7.9.2 处理 .....	177
7.10 安全使用守则 .....	177
参考文献 .....	178

第 8 章 过氧化氢 .....	179
8.1 概述 .....	179
8.2 生产原理 .....	179
8.3 技术规格 .....	181
8.4 物理化学性质 .....	183
8.4.1 物理性质 .....	183
8.4.2 化学性质 .....	191
8.5 安全性能 .....	192
8.5.1 着火和爆炸危险性 .....	192
8.5.2 防火防爆措施 .....	193
8.6 材料相容性 .....	194
8.6.1 相容性分级 .....	195
8.6.2 常用材料的相容性 .....	195
8.7 毒性、急救和防护 .....	197
8.7.1 毒性 .....	197
8.7.2 急救 .....	198
8.7.3 防护 .....	199
8.8 贮存、运输和转注 .....	200
8.8.1 贮存 .....	200
8.8.2 运输 .....	201
8.8.3 转注 .....	202
8.9 清洗和处理 .....	203
8.9.1 非金属零部件 .....	203
8.9.2 不锈钢零部件 .....	204
8.9.3 铝和铝合金零部件 .....	205
8.9.4 推进剂供应系统 .....	205
8.10 安全使用守则 .....	206
参考文献 .....	207



<b>第 9 章 烃类燃料</b> .....	209
9.1 概述 .....	209
9.2 生产原理 .....	210
9.2.1 航天煤油生产原理 .....	210
9.2.2 液态甲烷生产原理 .....	210
9.3 技术规格 .....	210
9.3.1 煤油 .....	210
9.3.2 液体甲烷 .....	212
9.4 物理化学性质 .....	213
9.4.1 煤油物理化学性质 .....	213
9.4.2 液体甲烷物理化学性质 .....	216
9.4.3 液氧与煤油和液氧与甲烷发动机性能对比 .....	217
9.5 煤油的着火和爆炸危险性 .....	218
9.5.1 着火危险性 .....	219
9.5.2 爆炸危险性 .....	219
9.5.3 防火防爆措施 .....	219
9.6 材料相容性 .....	219
9.6.1 金属材料 .....	219
9.6.2 非金属材料 .....	220
9.7 毒性、急救和防护 .....	220
9.7.1 毒性 .....	220
9.7.2 急救 .....	221
9.7.3 卫生标准和预防措施 .....	221
9.7.4 防护用品 .....	222
9.8 贮存、运输和转注 .....	222
9.8.1 贮存 .....	222
9.8.2 运输 .....	223
9.8.3 转注 .....	224
9.9 清洗和处理 .....	224
9.9.1 清洗 .....	224