

导弹与航天丛书

液体弹道导弹与运载火箭系列

液体火箭发动机设计

(下)

 中国宇航出版社

导弹与航天丛书

液体弹道导弹与运载火箭系列

液体火箭发动机设计

(下)

主 编 朱宁昌

副主编 刘国球

 中国宇航出版社

·北京·

内 容 简 介

全书共9章,分上、下两册。上册包括1~4章,下册包括5~9章。第1章概论,介绍液体火箭发动机的组成、特点、分类、应用及发展趋势;第2~6章论述液体火箭发动机的设计方法;第7~8章分别论述液氧/液氢发动机和空间发动机;第9章介绍液体火箭发动机性能和结构可靠性的设计及其评定方法。

本书可供导弹与航天科技人员使用,也可作为高等院校相关专业师生的参考书。

版权所有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

液体火箭发动机设计. 下/朱宁昌主编. —北京:中国宇航出版社, 1994. 12(2009. 8 重印)

(导弹与航天丛书. 第1辑,液体弹道导弹与运载火箭系列)

ISBN 978-7-80034-606-4

I. 液… II. 朱… III. 液体推进剂火箭发动机—设计 IV. V434

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 084704 号

责任编辑 王传臣 装帧设计 宇航数码

出版 中国宇航出版社

社址 北京市阜成路8号

邮编 100830

网址 www.caphbook.com

经销 内部发行

零售店 读者服务部

(010)68371105

(010)68522384(传真)

承印 北京画中国画印刷有限公司

版次 1994年12月第1版

2009年8月第2次印刷

规格 850×1168 开本 1/32

印张 17 字数 438千字

印数 1001~2000

书号 ISBN 978-7-80034-606-4

定价 80.00元

如有印装质量问题,可与读者服务部联系调换

道
彈
子
航
天
丛
書

張
文
華

《导弹与航天丛书》
编辑工作委员会

名誉主任 宋 健 鲍克明

主 任 刘纪原

副 主 任 任新民 孙家栋

委 员 屠守锷 黄纬禄 梁守槃 陈怀瑾
王 卫 权振世 谢昌年 赵厚君
曹中俄 张新侠 高本辉

办 公 室 宋兆武 史宗田 任长卿 孙淑艳

液体弹道导弹与运载火箭系列 编辑委员会

主 任 屠守锷

副 主 任 王永志 谢光选 于龙淮(常务)
于 翹 孙敬良

委 员 沈辛荪 卢庆骏 王德臣 张贵田
李一鸣 刘尔巽 李泉宝 张振广
吴立勋 李国欣 李相荣

编 辑 部 刘尔巽 张振广 王永平 周安石
胡宪文 马鹏飞 魏其勇 魏生道
李伟范 石庚贵 胡培孝 李必光
肖厚德 陈锡臣

工作人员 张玉霞 李彦辉

《液体火箭发动机设计(下)》

作者名单

主 编 朱宁昌

副主编 刘国球

作 者 章本立 陶维国 何恢蓉 章裕昆
江希凡 黄耀坤 王衍方 董锡鉴

重印版序

我国的航天事业在 50 多年的发展历程中，从无到有，从小到大，创造了以“两弹一星”、载人航天和绕月探测为重要里程碑的辉煌成就，构筑了专业齐全、功能配套、设施完备的航天科技工业体系，掌握了一大批具有自主知识产权的核心技术，积累了独具特色的航天工程管理经验和方法，造就了一支技术精湛、作风优良的航天人才队伍，孕育形成了具有鲜明时代特征的航天精神、“两弹一星”精神和载人航天精神，在世界高科技领域有了一席之地，并在一些重要技术领域跻身世界先进行列，为维护国家安全、带动科技进步、推动经济发展、促进社会和谐和振奋民族精神作出了重要贡献。

回顾 50 多年的发展与建设，我国的航天事业，在创业中起步，在探索中发展，在改革中腾飞，走出了一条具有中国特色的创新发展之路，在取得辉煌成就的同时，通过无数航天科技工作者的探索与实践，也创造积累了十分宝贵的经验。为了将这些知识财富传承下来，用以指导新时期的航天重大工程实践，促进航天科技成果在更加广阔的领域推广应用，为推动国民经济建设和社会进步发挥更大的作用，自 20 世纪 80 年代起，数以千计的航天科技工作者历时 20 余年，从导弹武器、运载火箭和空间飞行器等产品的设计、研制、生产、试验等各个方面，系统总结了在实践中形成的理论、方法和工程经验，编纂了一部共 156 册、6500 余万字的鸿篇巨制——《导弹与航天丛书》，奉献给广大读者。

当前，面对世界格局多极化、全球经济一体化、科学技术突飞猛进以及新军事变革不断向纵深发展的新形势，航天科技工业

作为国家的战略安全基石以及科技进步、经济发展、社会和谐的重要推动力量，越来越凸现出其重要的战略地位。十七大以来，党和国家高度重视航天科技工业的发展，提出了富国强军的明确要求，部署了包括载人航天工程第二步、探月工程二期、高分辨率对地观测系统、新一代运载火箭在内的一系列国家重大工程和重大科技专项任务，可以说，航天科技工业正处于历史上任务最多、发展最快的重大战略机遇期，形势和任务对航天科技工业的发展提出了新的更高要求。如何抓住难得机遇，乘势而上，圆满完成国家任务，从而推动我国航天事业全面、协调、可持续发展，真正担负起富国强军、建设创新型国家和推动我国成为航天大国、强国的历史责任，是新一代航天科技工作者必须面对的重大考验。

因此，在新时期航天事业蓬勃发展和读者需求的强力推动下，重印《导弹与航天丛书》凸显了重要的现实意义和深远的历史意义。希望这部丛书能够使我国航天事业 50 多年的创新成果和实践经验，在新的历史时期彰显出无穷活力，给人以更加深刻的启示，从而推动更多的航天科技工作者在新的航天工程实践中，不断继承、完善、发展航天事业 50 多年形成的宝贵经验，积极探索新形势下航天科技工业发展的内在规律，努力建设航天科技工业新体系，使我国的航天事业在新的起点上不断谱写更加辉煌的历史篇章。

马兴瑞

2009 年 6 月

总 序

导弹与航天技术是现代科学技术中发展最快的高新技术之一。导弹武器的出现，使军事思想和作战方式发生了重大变革；航天技术把人类活动的领域扩展到太空，使人类认识自然和利用外层空间的能力发生了质的飞跃。

导弹与航天工程是复杂的系统工程，它运用了现代科学技术众多领域的最新成果，是科学技术与国家基础工业紧密结合的产物，是一个国家科学技术水平和工业水平的重要标志。

中国人民经过 30 年的努力，依靠自己的力量，勇于开拓，坚韧不拔，在经济和科学技术比较落后的条件下，走出了自己发展导弹与航天技术的道路；造就了一支能打硬仗的技术队伍；建立了具有相当规模和水平的导弹与航天工业体系；形成了遍布全国的科研、生产协作网。这是党中央独立自主、自力更生方针的伟大胜利，是全国各地区、各部门大力协同，组织社会主义大协作的丰硕成果。

30 年来，我国已有多种型号经历了研究、设计、生产、试验、装备、使用的全过程，装备了各种射程的战略和战术弹道导弹、各种类型的防空导弹和飞航导弹，用多种运载火箭发射了不同轨道和用途的人造卫星。我国导弹与航天工业的这些重大物质成果，对增强我国的国防实力、促进经济发展、带动科技进步发挥了重要的作用。

我们不仅取得了丰硕的物质成果，而且积累了宝贵的实践经验。为了发展中国的导弹与航天事业，多少人投入毕生的精力，贡献了宝贵的智慧，付出了辛勤的劳动，备尝了失败的苦痛和成功的欢欣。付出高昂代价取得的实际经验，从书本上学不到，更

不可能从外国买来，只能靠自己实践中总结。为了加速我国导弹与航天事业的发展，需要全面、系统地归纳以往研制过程中建立和应用的设计理论，总结其工程经验，用以指导今后的研制实践，并传授给导弹与航天事业一代又一代新生力量，使他们能在较高的起点上开始工作。为此，我们组织多年来从事导弹、人造卫星和运载火箭研制工作的专家与工程技术人员，编著了这套《导弹与航天丛书》。它以工程应用为主，力求体现工程的系统性、完整性和实用性，是我国导弹与航天技术队伍 30 年心血凝聚的精神成果，是多领域专业技术工作者通力合作的产物。

作为一项系统工程，要求参加导弹与航天工程研制工作的各类技术人员，不仅精通自己的专业，而且充分理解相关专业的要求和特点，在统一的总体目标下，相互协调、配合密切地工作。因此，本丛书也是导弹与航天技术队伍各专业间以及和其他有关人员进行技术交流的读物。

本丛书按液体弹道导弹与运载火箭（Ⅰ）、固体弹道导弹（Ⅱ）、防空导弹（Ⅲ）、飞航导弹（Ⅳ）、卫星工程（Ⅴ）等 5 个型号系列编排；对各系列共用的固体推进技术和空气动力学两种专业技术，将有关著作编为专著（Ⅵ和Ⅶ），其他共用专业技术则分别纳入 5 个型号系列中的一个系列，并供其他系列选用。

本丛书的各级编委会、各册的主编、副主编及各章节的作者是一个庞大的科学技术群体，为了编写好这部大型丛书，编著人员在组织和技术上都付出了巨大劳动。期望这套丛书能帮助人们加深对于导弹与航天技术的了解，促进中国的导弹与航天事业向更高的目标迈进。

《导弹与航天丛书》
编辑工作委员会
1987 年 8 月

液体弹道导弹与运载火箭系列

序 言

液体弹道导弹与运载火箭系列是《导弹与航天丛书》的系列之一。

我国弹道导弹和运载火箭事业创建 30 年来，坚持走自力更生、艰苦奋斗的道路，依靠全国大协作和集体的智慧，进行了创造性的科研实践，取得了举世瞩目的成就。在研制工作的实践活动中造就了一大批有理论、有实践经验、善于技术攻关的优秀科技人才。本系列图书旨在将丰富的实践经验科学化、理论化、系统化，使这些宝贵的精神成果，见之于文字，传之于后世，既得总结经验之功，又收催人奋进之效，有利于指导今后实践，培养一代新人，在新技术革命时代，努力攀登导弹和航天技术新高峰。

弹道导弹与运载火箭的研制，是遵循系统工程的方法来进行的，从工程分工上有总体、分系统和专业技术三个部分。

总体分册从总体设计角度，从产品的战术技术指标、对各分系统的要求，及各系统间的协调等方面编写；分系统与专业技术分册根据总体设计的要求，从分系统和专业技术本身的地位与作用、分类与功能、原理与构造、设计与制造、应用与发展等方面编写。

分系统含弹体结构、动力装置系统、控制系统、遥测系统、外测安全系统、弹头技术和发射技术。专业技术指强度环境、材料工艺和制造技术等。

本系列共有 26 种 (40 册), 其中总体设计 1 种, 分系统 14 种, 专业技术 11 种; 基本上按弹道导弹与运载火箭研制工作的分工分类, 但相互之间有一定的联系和必要的衔接, 反映研制工作各阶段的本来面目。

本系列图书以弹道导弹与运载火箭研制为主线, 着重论述工程技术领域中的问题, 对涉及的一些科学领域的专门问题仅作简要阐述。为此, 在基本原理和概念方面, 不作深入探讨, 引用的结论力求严谨明确; 在数学公式方面, 尽量减少繁杂的推导; 同时, 也适当反映了当代国外先进科学技术中的最新成就。本系列各册在内容上具有自己的完整性和系统性。

由于撰写人员的技术水平和工作经验所限, 各册的内容仍有不足之处; 同时因缺乏撰写这类大型科技丛书的经验, 书中缺点、错误仍属难免, 尚祈同行和读者提出宝贵意见。

对于帮助我们进行编写、提供素材和负责出版本系列丛书的单位和个人, 在此特表谢忱, 并致敬意。

液体弹道导弹与运载火箭系列

编辑委员会

1987 年 9 月

前 言

本书是《导弹与航天丛书》液体弹道导弹与运载火箭系列的一本专著，由长期从事液体火箭发动机研制工作的高级科技人员编写。

30多年来，中国的航天事业取得了举世瞩目的成就，中国的液体火箭发动机也以其优良的性能和极高的可靠性跻身于国际先进行列。在液体火箭发动机的研制过程中，积累了极其丰富的实践经验，并逐渐摸索出一整套具有中国特色的行之有效的设计方法。编写本书的目的就是把这些宝贵的经验和方法进行认真总结，供广大从事该专业的科技人员在实际工作中参考使用，并希望有助于新参加工作的同志能尽快熟悉所从事的专业。

本书共9章，分上、下两册。上册包括1~4章，下册包括5~9章。

第1章概论，对液体火箭发动机的组成、特点、分类和应用等方面作了概要介绍，并展望了液体火箭推进技术今后的主要发展趋势。

第2章到第6章，系统论述液体火箭发动机的设计方法，各章的先后顺序是按照从整体到局部的原则编排的。第2、3章是液体火箭发动机系统和总体设计，其中包括系统方案和设计参数的选择；总体布局以及总装结构和元件的设计。第4、5、6章是液体火箭发动机主要组件的设计，这几章是按组件分类编写的，但对个别章节作了适当调整。例如，燃气发生器与涡轮泵同属推进剂供应系统的组件，但在结构设计方面与推力室相近，因此把燃气发生器设计编入第4章。

液氧/液氢发动机和空间发动机由于其工作环境、技术要求以及相应的结构设计具有明显的特点，有关这方面的内容分别在第7章和第8章中论述。

最后，在第9章中重点介绍液体火箭发动机性能和结构可靠性的设计和评定方法。

本书是集体智慧和心血的结晶。这不仅体现在本书的素材来源方面，而且还有许多同志在不同阶段直接参与了部分章节的编写工作。但是，在书中未能一一署名，恳望谅解，并在这里向他们深表谢意。

由于水平有限，书中难免有不少错误和不足之处，望广大读者批评指正。

编 者

1993年8月

重印说明

20世纪80年代前期，我国向太平洋海域发射远程火箭、水下发射固体燃料火箭和发射地球静止轨道试验通信卫星等三项重要任务相继圆满完成，标志着中国航天事业的发展进入了新时期。面对更高的发展目标，以及航天技术干部平均年龄已达四十六七岁、许多技术专家年事已高、他们所掌握的理论和工程实践经验急需积累和传承的紧迫形势，当时的航天工业部领导果断决定：在圆满完成繁重的型号产品研制任务的同时，将我国导弹与航天事业创建以来各种型号产品研制的成果进行科学总结，编纂为《导弹与航天丛书》。20多年来，陆续出版的丛书为不断涌现的航天新技术、新型号，为成长中的新一代航天科技工作者提供了并将继续提供宝贵的营养，对于继承我国老一辈航天科技工作者创造的成果、坚持走创新之路所起的作用是无可替代的。

编纂出版《导弹与航天丛书》是一项宏大的文字系统工程，和研制导弹与航天型号产品一样，经历了艰辛的奋斗历程。回顾以往，我们对当年作出编纂丛书这一历史性决策的郑天翔、陆平、张钧、李绪鄂、宋健等老领导表示深深的敬意；对以鲍克明为主任的丛书编辑工作委员会的开创性工作表示深深的敬意。1991年以后，刘纪原担任丛书编辑工作委员会主任；在丛书编辑工作委员会的领导下，我们在2007年年底完成了全套丛书的出版工作。由于丛书出版工作历时20多年，各分册陆续推出，其间，丛书的很多分册已经售罄，应读者要求面世的按需印刷（POD）版也难以满足丛书配套使用的需要；《导弹与航天丛书》在航天事业发展中的重要性日益显现出来。

中国的航天事业，已进入到了新的历史时期，航天科技集团

公司正在全面推进航天科技工业新体系的建设，根据航天事业继承、创新、发展的需要，航天科技集团公司领导决定重印《导弹与航天丛书》。借此机会，我们对多年来所有参与丛书编纂、出版工作的航天科技工作者表示衷心的感谢。

中国宇航出版社

2009年6月