

临近空间高超声速 飞行器发展研究

©李建林 主编

临近空间高超声速 飞行器发展研究

李建林 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

临近空间高超声速飞行器发展研究 / 李建林主编

— 北京 : 中国宇航出版社, 2012. 5

ISBN 978 - 7 - 5159 - 0197 - 8

I. ①临… II. ①李… III. ①高超音速飞行器 - 研究
IV. ①V47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 070498 号

责任编辑 马 航 责任校对 祝延萍 封面设计 文道思

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

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 北京中新伟业印刷有限公司

版 次 2012 年 5 月第 1 版 2012 年 5 月第 1 次印刷

规 格 880 × 1230 开 本 1/32

印 张 9.375 字 数 263 千字

书 号 ISBN 978 - 7 - 5159 - 0197 - 8

定 价 50.00 元

本书如有印装质量问题,可与发行部联系调换

《临近空间高超声速飞行器发展研究》
编委会

顾 问	包为民				
主 编	李建林				
副主编	陈 政	尘 军	李 军		
编 委	尹云玉	闵昌万	贺崢光	杨红亮	
	于明星	赵宇红	王 玲	杜 新	
	任怀宇	蒋宇平	陈 莹	杜元清	
编 者	宋 巍	王洁心	梁 轶	王 艳	

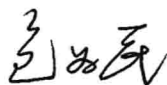
序 一

随着科学技术的发展,人类的活动范围已延伸到临近空间。临近空间是指介于传统航空器飞行高度和航天器轨道高度之间的空间区域。临近空间的开发作为一个新兴的技术领域,体现了航空航天技术的高度统一和有机融合,是人类尚未完全认知和主宰的空白地带。该领域日益受到世界各航天大国的高度重视,并成为国际高科技竞争的新的战略制高点,它的发展和应用对未来国家安全和人类生活都将产生重大而深远的影响。

广袤而深邃的临近空间充满着未知和挑战,其开发道路上必将荆棘遍布、坎坷曲折。然而,正是这种征服未知世界的独特魅力,激励着人类不断探赜求索,最终迈向自由王国。空间物理重点实验室组织开展的国外临近空间高超声速技术专题研究,旨在探索临近空间领域前沿技术,把握基础理论研究方向,推动我国临近空间科技进步。现在把研究成果固化下来并结辑出版,我相信,此举对有志于临近空间科技领域创新和耕耘的广大科技工作者而言,是一件幸事。

衷心希望空间物理重点实验室继续加强国外临近空间领域尖端技术的跟踪研究,为从事这方面研究的科技人才提供参考,为我国临近空间科技事业的发展作出新的贡献。

中国航天科技集团公司
科学技术委员会主任
中国科学院院士



2012年3月12日

序 二

进入 21 世纪以来,随着科学技术的进步,人类空间文明的深度和广度正在不断向前延伸。深空探测和临近空间开发日趋活跃,拓展了传统空间概念的内涵和外延,已成为空间文明的重要组成部分。临近空间巨大的战略价值迅速引起各航天大国的高度关注,并掀起了世界范围内的开发热潮。临近空间飞行技术已经成为国际高科技竞争的新的战略制高点,是临近空间时代人类文明发展的重要标志之一。

半个世纪以来,世界各国在临近空间高超声速技术方面进行了艰辛的探索,付出了巨大的努力,美国、俄罗斯、法国、德国、日本、印度和澳大利亚等国在 20 世纪 90 年代已陆续取得了技术上的重大突破,并相继进行了地面和飞行试验。临近空间飞行技术已经从概念和原理探索阶段进入了以高超声速巡航导弹、高超声速滑翔飞行器、跨大气层飞行器和空天飞机等为应用背景的先期技术开发阶段。

为准确把握临近空间高超声速技术发展的时代脉搏,空间物理重点实验室组织开展了国外临近空间高超声速技术专题研究,本书的付梓即为这项研究取得的丰硕成果之一。书中系统地介绍了各国临近空间高超声速飞行器技术的研究进展,有助于我国科研人员借鉴国外的研究经验,推动临近空间领域的科技进步。最后,衷心希望本书能够为我国临近空间事业的发展贡献一份绵薄之力。

空间物理重点实验室主任

李健林

2012 年 3 月 16 日

前 言

临近空间飞行器是指工作于临近空间,利用临近空间独有资源和特点来执行特定任务的一类飞行器。临近空间飞行器种类较多,既包括高空气球、飞艇、高亚声速无人机、超声速侦察机、火箭飞机等传统飞行器,又包括升浮一体飞行器、太阳能无人机、新型超声速组合推进飞行器、高超声速飞行器、激光/微波/等离子推进飞行器等众多新概念飞行器。

临近空间高超声速飞行器又可进一步分为三类:助推-滑翔飞行器,如 HTV-2 等;吸气式高超声速巡航飞行器,如 X-51A 等;空天往返飞行器,如 X-37B 等。

美国在临近空间高超声速飞行器领域起步较早,在 20 世纪中期,美国就广泛并蓬勃开展各种高超声速飞行器技术探索,获得了大量的技术成果,为后续研究积累了深厚的技术基础。这个时期设计的高超声速飞行器倾向于进行多用途应用研究,技术机理复杂。20 世纪 70~80 年代为美国在高超声速技术方面的第二个历史发展阶段,重点研究机动滑翔再入飞行器。研制成功载人空间轨道机动飞行的航天飞机,并积极发展临近空间助推-滑翔技术。这一时期吸气式高超声速飞行器技术探索处于低潮。

20 世纪 80 年代后期至 90 年代中期为美国高超声速技术的第三个历史发展阶段,高度重视发展具有跨大气层进入轨道能力的吸气式高超声速飞行器。这一时期吸气式高超声速飞行器处于研发高潮,主要围绕 NASP 计划开展技术探索与研究。尽管 NASP 计划因当时的技术难度巨大而终止,但因 NASP 计划而开展的大量研究,为未来的吸气式高超声速巡航导弹与空天往返飞行器打下了坚实的基础。但这一阶段助推-滑翔飞行器计划处于低谷。20 世纪 90 年代中后期至

今为美国高超声速技术第四个历史发展阶段,各种跨大气层高超声速飞行器技术计划全面复苏。空天往返飞行器、助推—滑翔飞行器与吸气式高超声速巡航飞行器均涌现出众多发展项目。其中空天往返飞行器重点发展无人飞行器,且军事应用的倾向性日趋明显;助推—滑翔机动飞行器技术获得了大力推进;吸气式高超声速飞行器技术也发展迅速,项目众多,技术日渐成熟。

近年来,临近空间高超声速飞行器以其广阔的发展前景和重大经济、军事价值而备受各国瞩目。与现有航空器及航天器相比,临近空间高超声速飞行器具有飞行速度快、飞行高度适中、军事响应快速、突防能力强、航天运载成本低廉、可重复使用、任务可调整等诸多优点。

我们对国外临近空间高超声速飞行器技术进行了长时间的跟踪研究,收集了国外临近空间领域的大量文献资料,并将这些资料进行系统梳理,仔细研究,对国外临近空间高超声速技术的发展历程以及重点项目进行系统的介绍,以便国内从事此项研究工作或感兴趣的人们作参考与借鉴。

本书共分7章,第1章从全局上介绍国外临近空间高超声速飞行器的发展概况。第2章到第6章分别介绍美国、俄罗斯、日本、欧洲等其他国家和地区的临近空间高超声速飞行器的发展现状。第7章对本书的研究内容进行总结,对未来国外临近空间高超声速飞行器的发展趋势进行分析。

限于作者的学识水平,书中一定还有不少错误或欠完善之处,敬请各位读者批评指正。

作 者
2012年元月

目 录

第 1 章 国外临近空间高超声速飞行器发展概况	1
1.1 发展历史	1
1.2 各国临近空间高超声速飞行器发展现状	4
1.2.1 美国	4
1.2.2 俄罗斯	7
1.2.3 欧洲	9
1.2.4 其他国家	13
1.3 临近空间高超声速飞行器发展趋势	15
1.3.1 快速打击时间敏感性目标的临近空间高超声速 飞行器	16
1.3.2 全球快速到达的临近空间高超声速飞行器	16
1.3.3 以快速进出空间为背景的临近空间高超声速飞行器 ——空天飞行器	17
第 2 章 美国临近空间高超声速飞行器发展现状	19
2.1 美国临近空间高超声速技术发展历程	19
2.2 X-15	23
2.2.1 项目计划	23
2.2.2 飞行器介绍	23
2.2.3 关键技术	25
2.2.4 各种试验情况	29
2.3 X-20	30
2.3.1 项目计划	30
2.3.2 飞行器介绍	30

2.3.3	关键技术	31
2.3.4	各种试验情况	32
2.4	X-23	32
2.4.1	项目计划	32
2.4.2	飞行器介绍	34
2.4.3	关键技术	34
2.4.4	各种试验情况	35
2.5	X-30	36
2.5.1	项目计划	36
2.5.2	飞行器介绍	37
2.5.3	关键技术	38
2.6	X-33	42
2.6.1	项目计划	42
2.6.2	飞行器介绍	43
2.6.3	关键技术	44
2.7	X-37B	48
2.7.1	项目计划	48
2.7.2	飞行器介绍	48
2.7.3	关键技术	52
2.7.4	各种试验情况	53
2.8	X-43	54
2.8.1	项目计划	54
2.8.2	飞行器介绍	55
2.8.3	关键技术	58
2.8.4	各种试验情况	67
2.9	X-51A	68
2.9.1	项目计划	68
2.9.2	飞行器介绍	77
2.9.3	关键技术	78

2.9.4 各种试验情况	83
2.10 快速反应导弹演示器计划	85
2.11 HyFly	87
2.11.1 项目计划	87
2.11.2 飞行器介绍	88
2.11.3 关键技术	88
2.11.4 各种试验情况	91
2.12 时敏远程打击创新方法	93
2.12.1 项目计划	93
2.12.2 飞行器介绍	94
2.12.3 关键技术	95
2.12.4 各种试验情况	96
2.13 HTV-2	99
2.13.1 项目计划	99
2.13.2 飞行器介绍	101
2.13.3 关键技术	103
2.13.4 试验情况	109
2.14 弧光计划	119
2.14.1 项目计划	119
2.14.2 飞行器介绍	120
2.14.3 关键技术	120
2.15 美国高超声速技术未来发展目标	122
2.16 小结	124
第3章 俄罗斯临近空间高超声速飞行器发展现状	126
3.1 冷计划	126
3.1.1 项目计划	126
3.1.2 飞行器介绍	127
3.1.3 飞行试验	130

3.2 针计划	132
3.2.1 项目计划	132
3.2.2 飞行器介绍	133
3.2.3 关键技术	134
3.2.4 飞行试验	136
3.3 彩虹-D2 计划	137
3.3.1 项目计划	137
3.3.2 飞行器介绍	137
3.3.3 关键技术	139
3.3.4 飞行试验	141
3.4 HFL-31 计划	142
3.4.1 项目计划	142
3.4.2 飞行器计划	142
3.4.3 飞行试验	143
3.5 GELA 试验飞行器	145
3.6 GLL-31 射手飞行器	147
3.6.1 项目计划	147
3.6.2 飞行器介绍	147
3.6.3 飞行试验	150
3.7 GLL-AP 高超声速试验飞行器计划	150
3.8 KH-90 高超声速巡航导弹研制计划	151
3.9 研制单位概况	152
3.9.1 巴拉诺夫中央发动机研究院	152
3.9.2 茹科夫斯基中央空气流体动力研究院	153
3.9.3 彩虹机械设计局	156
3.10 小结	158

第 4 章 日本临近空间高超声速飞行器发展现状	162
4.1 HOPE - X 计划	165
4.1.1 项目计划	165
4.1.2 飞行器介绍	168
4.1.3 关键技术	169
4.1.4 飞行试验	169
4.2 自动着陆飞行试验	173
4.2.1 飞行器介绍	173
4.2.2 飞行试验	175
4.3 高超声速飞行试验	176
4.3.1 飞行器介绍	176
4.3.2 飞行试验	178
4.4 轨道再入飞行试验	180
4.4.1 飞行器介绍	180
4.4.2 飞行试验	180
4.5 高速飞行验证计划	181
4.5.1 项目计划	181
4.5.2 飞行试验	185
4.6 计划方案评述	191
4.6.1 系统研究	191
4.6.2 技术验证	192
4.6.3 基本技术验证	192
4.6.4 系统技术验证	192
4.6.5 加强设计和开发	193
4.7 小结	195
第 5 章 欧洲临近空间高超声速飞行器发展现状	197
5.1 欧空局临近空间高超声速飞行器发展现状	197
5.1.1 长期先进推进概念和技术项目	198

5.1.2	Skylon 空天飞机计划	200
5.2	法国临近空间高超声速飞行器发展现状	208
5.2.1	国家高超声速研究与技术计划	209
5.2.2	高超声速组合式发动机应用研究计划	211
5.2.3	普罗米修斯高超声速巡航导弹	211
5.2.4	高超声速飞行器计划	212
5.3	德国临近空间高超声速飞行器发展现状	221
5.3.1	桑格尔	221
5.3.2	高速导弹计划	222
5.3.3	高超声速技术试验平台	225
5.4	英国临近空间高超声速飞行器发展现状	234
5.4.1	霍托尔项目计划	234
5.4.2	飞行器介绍	234
第 6 章	其他国家临近空间高超声速飞行器发展现状	240
6.1	澳大利亚临近空间高超声速飞行器发展现状	240
6.1.1	高超声速国际飞行研究与试验项目	241
6.1.2	高超声速国际飞行研究与试验项目	243
6.1.3	澳大利亚/美国高超声速联合试验计划	250
6.2	印度临近空间高超声速飞行器发展现状	251
6.2.1	布拉莫斯高超声速巡航导弹	252
6.2.2	高超声速技术验证器	258
6.2.3	先进跨大气层吸气式研究飞行器	261
6.3	巴西临近空间高超声速飞行器发展现状	262
第 7 章	临近空间高超声速飞行器发展规律及启示	264
	缩略语	270
	参考文献	274

第 1 章 国外临近空间高超声速 飞行器发展概况

1.1 发展历史

20 世纪 20~30 年代, 人类提出高超声速技术发展概念, 迄今发展了多种技术机理的高超声速飞行器, 其中运载火箭、弹道导弹再入飞行器、载人宇宙飞船, 以及导弹防御系统动能拦截器等陆续实现了高超声速飞行, 但人类迄今尚未完全突破跨大气层与临近空间高超声速飞行。

1938 年奥地利科学家欧根·桑格尔首次提出临近空间助推滑翔飞行器研究方案, 并于 1944 年发表了长篇报告《火箭助推远程轰炸机》, 设计了第一种理想的高超声速飞行器方案, 即银鸟 (silverbogel) 火箭助推环球轰炸机模型 (图 1.1)。在这种想象式的研究中, 飞行器是一个机身底部平坦的、半尖拱形的带翼飞行器。在设想方案中, 该飞行器由一台具有 100 t 推力的火箭发动机进行助推加速, 进入飞行轨道, 进行滑橇加速式水平起飞。这种飞机采用跳跃式再入飞行轨迹的飞行方式, 来实现飞越半个地球到达地球上正相反的那一面的飞行任务。设想中的火箭发动机的内部工作压力达到 100 个大气压强, 实际上这么高内部工作压力的火箭发动机在那时候是根本不可能实现的。技术发展的事实是, 一直到了 20 世纪 70 年代的末期, 美国航天飞机上使用的主发动机, 才达到如此高的工作压强。

银鸟是一种极具影响力的设计方案, 二战后, 这篇报告被多国翻译, 并引起了美、苏等超级大国的浓厚兴趣, 美、苏等国争相获取《火箭助推远程轰炸机》这篇报告, 进行翻译、了解与分析。银鸟方案

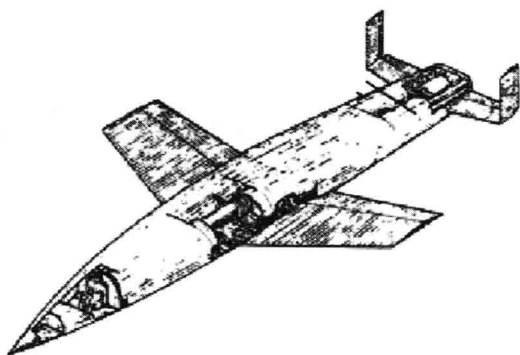


图 1.1 银鸟火箭助推环球轰炸机模型

深刻地影响了美、苏等国的高超声速技术的发展。银鸟之后，人类高超声速技术发展开启了此起彼伏的发展历程。

美国最早抛出的高超声速飞行器设计方案是钱学森于 1949 年在美国加州理工学院喷气推进实验室设计的高超声速火箭飞机，也是助推滑翔方案。虽然桑格与钱学森的火箭飞机都采用了助推-滑翔轨迹，但两者的设计轨迹却不完全相同，不同点主要集中在再入滑翔段，如图 1.2 所示。桑格的飞行器采用一种具有一定跳跃、波动幅度的滑翔轨迹，称为再入跳跃滑翔弹道；而钱学森的火箭飞机采用几乎没有波动的平坦滑翔下降轨迹，称为再入平坦滑翔弹道。钱学森高超声速火箭飞机可以说是美国助推-滑翔飞行器的先驱，继

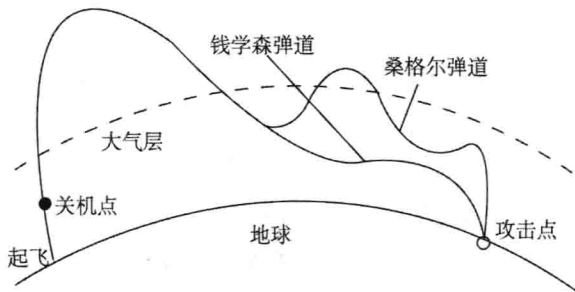


图 1.2 银鸟弹道与钱学森弹道

钱学森方案之后，美国进入了临近空间高超声速飞行器探索的高潮。

20世纪40年代中期，美国开始了X系列研究用飞机计划，所有这些因素汇合在一起造成了一种新的气氛，促使人们对高马赫数超声速飞行和高超声速飞行技术产生了极其浓厚的兴趣。而且取得了一连串令人振奋的实际飞行试验的成就：如1947年10月14日由XS-1研究用飞机首次实现了超声速飞行；随后不久，有人驾驶的飞行又达到了更高的马赫数，在1953年使用D-558-2研究用飞机进行的有人驾驶飞行终于达到了 $Ma=2$ ；最后在1956年使用X-2研究用飞机进行的有人驾驶飞行达到了 $Ma=3$ ；所有这一切都大大地鼓舞了人们，营造出一种更加有利于进行高超声速飞行技术研究的气氛。

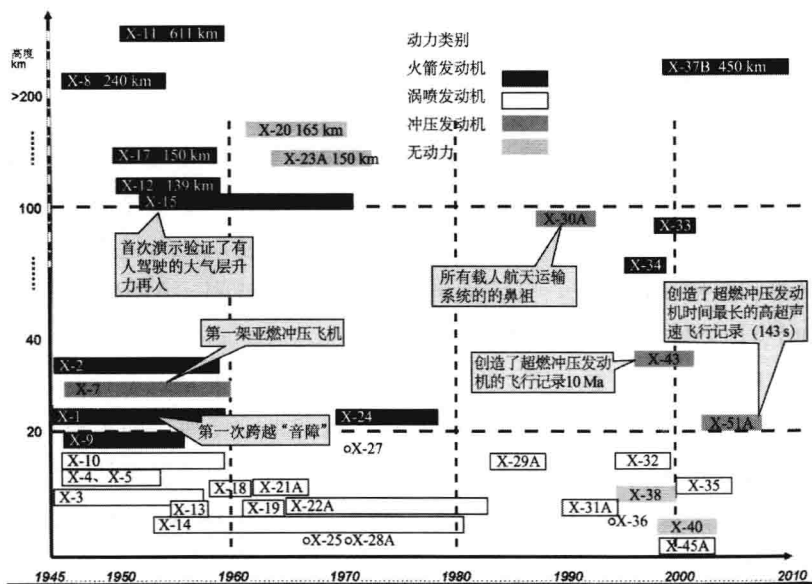


图 1.3 美国 X 系列发展历程

美国 X 系列试验样机，曾先后创造了多项人类飞行史上的记录。如：第一次突破音障；第一次飞到了 30 000 m，60 000 m，90 000 m 的高空；第一次突破 $Ma=4$ ，5 和 6；第一次在接近声速条件下，验