

苏联“暴风雪”号 航天飞机

SULIAN “BAOFENGXUE” HAO
HANGTIAN FEIJI

主编◎季晓光



航空工业出版社

苏联“暴风雪”号航天飞机

季晓光 主编

航空工业出版社
北京

内 容 提 要

“暴风雪”号航天飞机是苏联第一架可重复使用航天飞机，可谓是苏联航空航天业界的巅峰之作。本书是一本全面介绍“暴风雪”号航天飞机使命用途、发展历程、总体气动布局、结构材料、动力装置、机载系统与设备、热防护系统、制造与运输、首次太空飞行等详细情况的专著，图文并茂、内容丰富，选取的素材翔实可信，可供相关科研人员、航空院校师生及爱好者参考借鉴。

图书在版编目 (C I P) 数据

苏联“暴风雪”号航天飞机/季晓光主编. --北京：
航空工业出版社，2015. 11

ISBN 978-7-5165-0917-3

I. ①苏… II. ①季… III. ①航天飞机-介绍-苏联
IV. ①V475. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 268110 号

苏联“暴风雪”号航天飞机
Sulian “Baofengxue” hao Hangtian Feiji

航空工业出版社出版发行

(北京市朝阳区北苑 2 号院 100012)

发行部电话：010-84936597 010-84936343

北京世汉凌云印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经售

2015 年 11 月第 1 版

2015 年 11 月第 1 次印刷

开本：787×1092 1/16

印张：23.5

字数：373 千字

印数：1—2500

定价：76.00 元

《苏联“暴风雪”号航天飞机》

编委会

主 任 宋文骢

委 员 (按姓氏笔画排序)

王海峰	许 泽	李 刚	李 松
李 黎	张 渝	陈 洪	周 毅
姜 兵	聂海涛	徐 平	凌 波
唐 娅	桑建华	傅 刚	蒲小勃

编写组

主 编 季晓光

编写人员 吕 剑 刘 榆 袁 颖 刘海丽
蒋丽娜 冷洪霞 沈玉芳 张声修
祝 晶

前言

航天是当今世界最具挑战性和广泛带动性的高科技领域之一，航天产业更是世界主要大国竞相发展的战略高技术产业。航天飞机可重复使用，采用有翼飞行器技术，具有很高的入轨能力和较强的载荷运输能力，它不仅结构复杂、技术风险大，研制周期也十分长。“暴风雪”号航天飞机正是苏联为了与美国进行太空军备竞赛而研制的具有军事用途的可重复使用轨道飞行器，研制时间长达12年，是苏联航空和航天部门鼎力合作的结晶，是航空航天业界的巅峰之作，其近乎完美的首飞举世赞叹，其大胆设想及所采用的先进技术即使在今天看来依然有借鉴意义，尤其是热防护、自动控制等技术对当今先进空天飞机的研制仍颇有助益，值得研究和探索。

成都飞机设计研究所主要从事飞行器设计和航空航天多学科综合性研究，致力于中国最先进战斗机、无人机研制与空天高技术发展，是我国航空航天领域重要的研发基地。为了全面展现苏联航天飞机的发展成果，促进研究所的发展与创新，我们在资料收集与研究基础上，历时两年多，完成《苏联“暴风雪”号航天飞机》一书的编写工作。全书共分9章和5个附录，详细介绍了“暴风雪”号航天飞机的由来、发展、研制与发射等情况，对飞行器总体气动布局、结构与材料、动力装置、机载系统与设备、热防护系统等做了重点阐述，并以附录的形式对俄罗斯航天工业的发展、拜科努尔航天发射场、美国航天飞机与“暴风雪”号航天飞机的对比等做了简要介绍，力求能为读者呈现一个较为完整、丰富的“暴风雪”号航天飞机研制场景，能够满足航空航天技术领域相关科技人员的需求。

在该书编写过程中，得到成都飞机设计研究所有关领导与技术人员的大力支持，特别是周斌、裴譞、田俊丰、欧政梁、唐万元等同志给予的专业指导，谢志航、谭勇、赵文彬、龚倩、陈小红、于凯、刘泽勋、郭勇等同志在资料收集、翻译、校对、编写制作等方面付出的辛勤劳动，在此向



他们及其他提供帮助的同志表示诚挚的谢意！

由于航天飞机涉及面广，结构复杂，技术难度大，加之我们水平有限，缺乏经验，书中难免有不足、疏漏甚至谬误，恳请读者给予宝贵的批评指正。

编写组

2015年9月

目 录

第一章 概述	1
1.1 “暴风雪”号航天飞机的由来	1
1.2 “暴风雪”号航天飞机的用途	4
1.2.1 搭载军用航天综合体	4
1.2.2 携带战略战术核导弹	8
1.2.3 其他军事用途	9
第二章 历史沿革	13
2.1 20世纪50~60年代航天技术预研究阶段	13
2.1.1 滑翔式航天器 П К А	13
2.1.2 P系列火箭飞机	17
2.1.3 无人驾驶综合体 Д П	20
2.1.4 BKA-23	21
2.2 20世纪70年代航天器探索研究阶段	24
2.2.1 OC-120方案	24
2.2.2 垂直着陆式可重复使用航天运输机 М Т К - В П 方案	27
2.2.3 OK-92方案	29
2.3 20世纪80年代“暴风雪”号航天飞机研制实施阶段	44
2.3.1 试验机 Б Т С - 002 О К - Г Л И	44
2.3.2 “暴风雪”号航天飞机	49
第三章 “暴风雪”号航天飞机总体气动布局	54
3.1 总体布局	54

3.1.1	总体布局参数	54
3.1.2	总体布置设计	54
3.1.3	主要系统及功能	58
3.1.4	动力装置的选择	58
3.2	气动布局设计	60
3.2.1	主要气动布局论证	60
3.2.2	气动布局验证的主要方法	70
3.2.3	气动性能可信度评估	75
3.2.4	“暴风雪”号航天飞机首飞时展现的气动特性	76
3.3	载荷状态分析	78
3.4	部分重量特性数据分析	80
第四章 “暴风雪”号航天飞机结构及材料的应用		84
4.1	机体结构	84
4.1.1	结构概况	84
4.1.2	结构特点	85
4.1.3	结构承载形式	86
4.1.4	结构分离面状态	86
4.1.5	各部件结构详述	88
4.1.6	总体结构三维图	114
4.2	结构材料的选择	119
4.2.1	金属材料	119
4.2.2	非金属材料	127
4.2.3	新工艺	128
第五章 “暴风雪”号航天飞机动力装置		130
5.1	涡轮喷气(风扇)发动机装置	131
5.2	火箭发动机装置	138
5.2.1	轨道机动发动机17Д12	142
5.2.2	控制发动机17Д15	144

5.2.3 姿态控制发动机17Д16	146
5.2.4 固体火箭发动机	147
5.3 辅助动力装置	148
5.4 “能源”号运载火箭系统	154
第六章 “暴风雪”号航天飞机机载系统和设备	161
6.1 控制系统	161
6.1.1 主要功能及特点	161
6.1.2 控制系统的组成	165
6.1.3 控制系统架构	165
6.1.4 主要子系统	167
6.2 安全逃生系统	186
6.2.1 发射升空时机组人员紧急逃生	186
6.2.2 航天飞机与运载火箭应急分离	187
6.2.3 机组人员弹射离机	188
6.2.4 “联盟”号救援机	194
6.3 液压系统	198
6.4 机体增压与通风系统	199
6.5 生命保障与环控系统	200
6.5.1 供气	200
6.5.2 供水	203
6.5.3 供电	203
6.5.4 热控制	206
6.6 航电系统	206
6.7 导航系统	207
6.8 通信系统	212
6.9 对接舱和通用设备	214
6.9.1 对接舱	215
6.9.2 航天员移动设备	217
6.9.3 附加推进剂贮箱	217

6.9.4 实验舱	218
6.9.5 机载机械臂系统	218
6.9.6 机载机械臂固定系统	219
6.9.7 高灵敏定向天线	219
6.10 “鹳鸟”机载机械臂	220

第七章 “暴风雪”号航天飞机热防护系统 225

7.1 热防护工作条件	225
7.1.1 3类热防护情况	225
7.1.2 热状态计算方法分析	227
7.2 “暴风雪”号航天飞机的热防护材料及元件	231
7.2.1 碳-碳增强型纤维复合材料 <i>гравимол</i> (不超过1650℃)	235
7.2.2 陶瓷防热瓦 (700~1250℃)	237
7.2.3 石英纤维 (350~700℃)	237
7.2.4 多层玻璃 (不超过750℃)	239
7.2.5 隔热毡 (350~370℃)	239
7.3 防热层的固定与热密封	240
7.4 外部防侵蚀与防水	242
7.4.1 外部防侵蚀涂层	242
7.4.2 防水	243
7.5 防热瓦的切割	244

第八章 “暴风雪”号航天飞机制造及运输 248

8.1 “暴风雪”号航天飞机的制造	248
8.2 “暴风雪”号航天飞机的运输	256
8.3 “暴风雪”号航天飞机的运输设备和装卸设备	260

第九章 “暴风雪”号航天飞机首次太空飞行 263

9.1 发射及飞行过程	263
-------------------	-----



9.2 着陆段飞行方式	287
9.3 飞行后检查情况	295
附录1 俄罗斯航天工业的发展情况	298
附1.1 俄罗斯的航天发展规划	298
附1.1.1 航天发射场	300
附1.1.2 载人航天计划	301
附1.1.3 火箭工业	302
附1.1.4 全球卫星导航系统 (GLONASS)	303
附1.1.5 用于通信、广播、转播的航天设备	304
附1.1.6 航天器地面综合自动化控制系统	305
附1.1.7 地球遥测	308
附1.1.8 基础性航天研究	309
附1.1.9 生物医学研究	310
附1.1.10 国际合作	311
附1.2 俄罗斯军用卫星的发展	312
附1.2.1 实施太空复兴计划, 重铸航天辉煌	312
附1.2.2 预警卫星	313
附1.2.3 光学侦察卫星	315
附1.2.4 导航卫星	318
附1.2.5 通信卫星	319
附1.3 俄政府加强航天工业发展的新举措	320
附录2 拜科努尔航天发射场	322
附录3 美国航天飞机	330
附3.1 研制历程	330
附3.2 美国航天飞机的组成及性能	340
附3.2.1 美国航天飞机的组成	340



附3.2.2 美国航天飞机的主要性能	345
附3.3 美国航天飞机的飞行剖面及应急飞行处置流程	346
附录4 “暴风雪”号航天飞机与美国航天飞机对比	349
附录5 “暴风雪”号航天飞机设计师	356
附5.1 “闪电”科学生产联合体组织者——Г.П.杰缅季耶夫. ...	356
附5.2 “暴风雪”号航天飞机总设计师 ——Г.Е.洛津诺-罗金斯基	357
参考资料	361

第一章 概述

“暴风雪”号航天飞机是苏联第一架可重复使用航天飞机，是苏联航空和航天部门鼎力合作的结晶，是航空航天制造业的巅峰之作，其近乎完美的首飞举世赞叹。“暴风雪”号航天飞机的大胆设想及其所采用的先进技术即使在今天看来依然具有很高的借鉴意义，尤其是热防护、自动控制等技术对当今先进空天飞机的研制仍颇有助益，值得研究和探索。“暴风雪”号航天飞机的研制时间长达12年，其中经历的挑战和困难可想而知，正是苏联科学家和工程技术人员坚持不懈的努力，成就了“暴风雪”号的荣耀，使其不仅成为了美苏军备竞赛中不可磨灭的标志，更是人类航空航天制造史上的传奇之作。

1.1 “暴风雪”号航天飞机的由来

早在太空时代到来之前，就有人提出研制可重复使用航天飞行器的理论。苏联火箭理论探索的先行者齐奥尔科夫斯基（苏联现代航天学和火箭理论奠基人，被誉为“俄罗斯航天之父”。见图1-1）在1929年就提出了利用火箭将飞行器送到大气层外的设想。这一设想鼓舞了一大批苏联工程技术人员投身于航天事业，日后被誉为“俄罗斯运载火箭之父”的科罗廖夫（见图1-2）也在其中。随后，科罗廖夫在20世纪30年代开展了一系列试验型和军用型火箭飞机的研究，其中包括著名的PΠ-318火箭动力滑翔机试验（见图1-3）。PΠ-318是苏联第一架火箭飞机，1940年2月28日实现首飞。滑翔机在2600m高度以80km/h速度投放，发动机点火后，速度可增至140m/s。之后，在20世纪60年代，米高扬设计局设计了一种可重复使用的小型飞船“螺旋”号

(спираль) (见图 1-4), 它由超声速飞机发射, 发射后使用自带的捆绑火箭作为飞行动力。РП-318 火箭飞机和“螺旋”号可谓是苏联在可重复使用航天飞机探索领域迈出的第一步。



图 1-1 齐奥尔科夫斯基



图 1-2 科罗廖夫



图 1-3 РП-318 火箭飞机

20 世纪 70 年代初, 美国制订了航天飞机研制计划, 并将其列入载人航天项目的首位。美国最初的目的是为了发展一种更为经济的轨道运输工具, 以取代只能使用一次的运载火箭。随着研制任务的进一步深入, 航天飞机在军事应用上的能力日益凸显, 美国开始逐步研究利用航天飞机在太空中和从太



图 1-4 可重复使用的小型飞船“螺旋”号

空发起军事行动的可能性，这促使其航天事业得到飞速的发展。与此同时，苏联当局认为美国开展的这一太空军事化研究将对苏联的安全构成巨大的威胁。为了抑制美国在拥有可重复使用航天运输系统后所带来的军事威胁，苏联于 1976 年决定发展类似的航天运输系统作为对美国“威胁”的回应。同年，苏共中央委员会和苏联部长会议颁布了《关于研究制造可在太空和从太空发起军事行动的武器的可能性》的首个决议，并将该项任务下达给了以“能源”科学生产联合体为主的相关研制单位。苏联的航天运输系统就在这样的背景下应运而生。

苏联航天运输系统由“暴风雪”号可重复使用航天飞机与“能源”号重型运载火箭组成（即“能源—暴风雪”号）。“暴风雪”号航天飞机是航天运输系统的第Ⅲ级（即有效载荷），其气动布局采用大边条三角翼的下单翼、单垂尾的无尾布局。由“能源”号运载火箭载运到规定高度后，起动自带的发动机，脱离运载火箭，独立进入预定轨道。“能源”号重型运载火箭是一个两级式运载火箭，第一级在使用后可返回地面，经过维修后，还能再次使用。另外，“能源”号运载火箭还可加装第Ⅲ级运载火箭，提高有效载荷的入轨重量^①。

苏联国防部航天设备管理总局提出的航天运输系统的战术技术要求，于 1976 年 11 月 7 日由时任国防部长乌斯季诺夫正式批准通过的《可重复使用航天系统研制任务书》中被明确提出，要求“暴风雪”号航天飞机在战略和战

^① 本文重量即为质量概念，单位为 t，kg 等。

术上全面对抗敌对国家以军事为目的的太空拓展活动，并计划制造 5 架航天飞机，达到年飞行数 30 次，以积极开展国防军事应用、国民经济和科学领域的研究和试验。同时还要求“暴风雪”号航天飞机能够重复使用 100 次以上，以进行复杂的科学试验、军事应用研究、卫星投放和捕获，以及大型货物运输等任务。此外，苏联政府还希望借助“暴风雪”号航天飞机的研制培养大批航天科技人才，提高苏联在航天领域的技术实力。

1.2 “暴风雪”号航天飞机的用途

苏联研制“暴风雪”号航天飞机的目的相当明确，即对抗敌对国家军用航天器、弹道导弹以及打击敌国特别重要的空中、海上和地面目标，保持苏联在军备竞赛中的领先地位。由此可见，“暴风雪”号航天飞机的用途主要是以军事目的为核心。

1.2.1 搭载军用航天综合体

苏联在“暴风雪”号航天飞机的研制中进行了多种军用航天综合体的研制，即导弹武器综合体 (kaskad 系统) 及激光武器综合体 (skif 系统) (见图 1-5)，还有自主化战斗攻击模块 (见图 1-6)。这些军用航天综合体可作为“暴风雪”号航天飞机的机载武器系统。

这些军用航天综合体和自主化战斗攻击模块的作战使命根据“暴风雪”号航天飞机的总战术技术要求而分别制订，kaskad 主要针对低轨道目标；对于中高轨道和同步卫星轨道上的目标，则使用 skif 系统。

(1) kaskad 系统

“能源”科学生产联合体为 kaskad 系统专门研制了天基拦截导弹，该导弹尺寸小、重量轻、推重比大，发射重量仅为几十千克，其具有的速度储备相当于将有效载荷运至人造地球卫星轨道上的火箭的速度。由于采用了先进的微型化仪表技术，kaskad 具有很高的拦截精度。此外，其发动机装置由超强复合材料制成，使用非传统的非低温燃料。

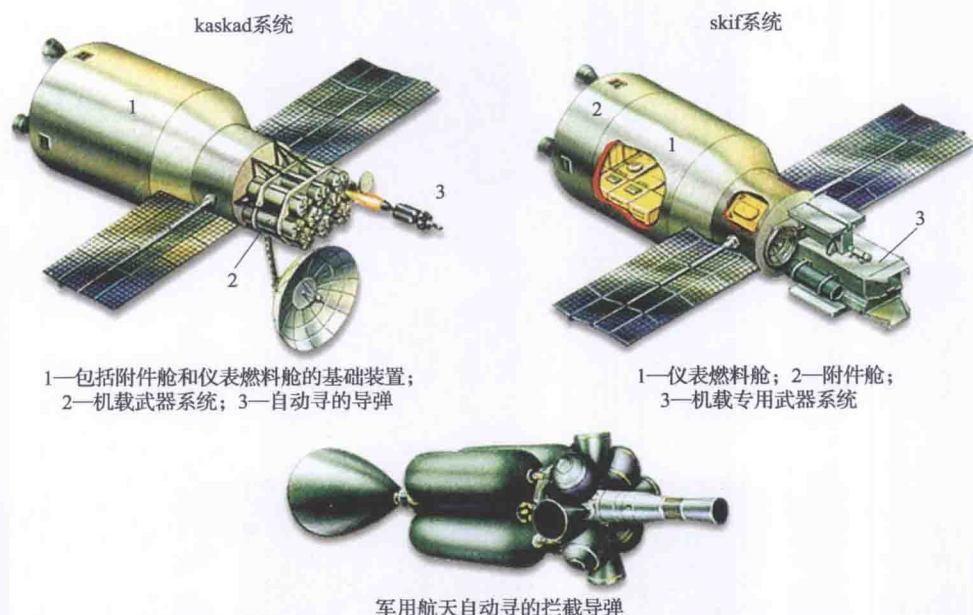


图 1-5 军用航天综合体——“暴风雪”号航天飞机的机载武器系统

为了进行导弹的轨道试验，苏联曾计划将导弹安装在“进步”号货运飞船上，于 1986 ~ 1988 年期间的第一阶段试验中在 kaskad 项目框架内进行 5 次飞行。为此，“能源”科学生产联合体生产了 5 个 kaskad 航天综合体，编号为 129、130、131、132 和 133。然而，由于苏联政局变化的原因，试飞最终没能进行。之后，“能源”科学生产联合体对 kaskad 航天综合体进行了改造，改造后的 kaskad 航天综合体与普通航天器一样，用于运送载荷至空间站，失去了作为机载武器系统的意义。在 20 世纪 90 年代初，kaskad 航天综合体项目的制造工作宣告终止。

(2) skif 系统

skif 系统的研制主要由苏联的激光研究主导单位——“天体物理学”科学生产联合体负责。在 20 世纪 80 年代初，“天体物理学”科学生产联合体制订了 skif 重型天基军用激光站的设计方案。1987 年 5 月 15 日，在“能源”号运载火箭首次发射试验时，对重量约 80t 的激光站动力模型 (skif-DM) 进行了太空试验。