

“十二五”国家重点图书·重大出版工程规划
航空航天精品系列图书

基于现代信息技术的无人 机动飞行器控制与制导

Управление и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий

К.К. Веремеенко А.Н. Головинский В.В. Инсаров 著
М.Н. Красильщиков С.С. Семенов К.И. Сыпало В.Н. Харчев
马菊红 译



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

“十二五”国家重点图书·重大出版工程规划
航空航天精品系列图书



基于现代信息技术的无人 机动飞行器控制与制导

Управление и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий

К.К. Веремеенко

А.Н. Головинский

В.В. Инсаров

М.Н. Красильщиков

С.С. Семенов

К.И. Сыпало

В.Н. Харчев

著

马菊红 译



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

黑版贸审字 08-2015-066 号

内 容 简 介

本书阐述了形成各种类型无人机动飞行器导航和控制一体化系统外貌的基本方法和主要算法。“外貌”这一概念包括相应一体化系统的组成、结构和算法。所建立的一体化系统包括捷联惯性系统和多通道 ГЛОНАСС/GPS 接收器。探讨了导航测量一体化、图像处理等问题,研究了建立面向对象软件对一体化系统作用过程建模的技术。列出了对各种类型无人机动飞行器一体化装置建模的结果。

本书可供飞行器导航相关专业在校大学生研究生参考阅读,亦可供相关专业科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

基于现代信息技术的无人机动飞行器控制与制导/
(俄罗斯)维列蔑耶科等著;马菊红译. —哈尔滨:
哈尔滨工业大学出版社,2016.10

ISBN 978-7-5603-5755-3

I. ①维… II. ①克… ②马… III. ①无人驾驶
飞行器—研究 IV. ①V47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 288206 号

策划编辑 甄淼淼
责任编辑 范业婷 高婉秋
出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006
传 真 0451-86414749
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>
印 刷 哈尔滨久利印刷有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 13.25 字数 290 千字
版 次 2016 年 10 月第 1 版 2016 年 10 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5603-5755-3
定 价 88.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

◎ 前言

Preface

对目前航空武器发展趋势的分析有力证明:在现代和不久将来专家的主要精力应放在构建和完善“智能”精确制导武器上,以确保在任何情况下(无论敌人如何对抗,包括使用积极和消极干扰手段)都能准确有效地击中目标。

制造诸如此类的武器不可避免地要结合最新计算机成就来运用最新信息技术。科技成就,特别是在计算机领域的成就相当之大。可以肯定地说,从实现最新信息技术所需的快速性、存储量、机载计算设备的质量、外形大小及能量消耗等方面来看,都不存在任何限制。

因此,在解决导航问题领域所贮备的最新成就,如全球卫星定位导航系统技术、机器视觉、捷联惯性导航系统、微观力学等,都能够也应该用于完善第五代战斗机装备,首先用于制造无人机动飞行器,如空空导弹、空地导弹、制导航空炸弹等。由于一系列原因,最新型无人机动飞行器最近几十年在公开发表的科教文献中受重视不够。然而,正是作为智能精确制导武器研究的制导航空炸弹从“成本和效果”判定条件来看是第五代战斗机装备最重要的组成部分。在这里必须强调指出,精确制导炸弹可以看作解决一系列非军事和平问题相当有效的手段,这些问题有:防止自然灾害、因技术原因导致的灾难以及建设等。事实上,这些问题可以作为最快速、经济效益最高地把有效载荷在指定时间精确地运送到指定地点的问题来研究。

解决把有效载荷高精度地运送到指定地点的问题与解决军用飞机的同类传统问题颇有相似之处。火箭和导弹击中目标实质上也可以简化为把有效载荷精确运送到目的地的问题。只是通常把有效载荷看作火箭或导弹弹头,它们是直接作用于目标的工具。

因此,凭借在军用飞机方面解决这种问题的多年经验和独特成就,理应要研究把这些成就运用到民用需要的可能性。这特别具有诱惑力,因为不需要额外的物质消耗同时可以解决报废武器的有效利用问题。

应该从综合方法的角度来研究那些可以借助制导航空炸弹来解决的民用问题。然而尽管解决某种具体民用问题的条件具有特殊性,但是制造这种类型物体的方法目前应该是把这种装备由标准的(军用)状态转换成所需的民用状态。从这一立场看,制导航空炸弹应被看作“两用产品”。

本书实际上是第一本运用最新信息技术(全球导航系统和机器视觉)相当详细地阐述形成这种类型精确制导武器制导算法基本原理的专著。

第1章中介绍了现代制导航空导弹的类型和装备这种类型战斗机的主要特点。

第2章研究了控制与制导无人机动飞行器机载一体化设备的主要特点,因为是在这种系统框架内实现现代信息技术的主要潜能。这里还提出了解决控制和制导现代前景无

人机动飞行器问题的基本要求。

第3章中包含通过综合多通道全球卫星定位导航系统接收器及捷联惯性导航系统的数据来实现精确制导系统确定无人机动飞行器位置、速度和方位所需的基本理论知识。为了最大限度地使所阐述的材料更合乎逻辑,在本章中列出了实现全球卫星定位导航系统的基本知识。提出了多通道标准化全球卫星定位导航系统接收器的功能框图,在码相位测量时所产生的误差的组成及数学模型,根据多通道接收器数据计算飞行器位置、速度和方位的标准算法,并描述了其运用的差分状态。提出了捷联惯性导航系统工作的算法,其误差的数学模型以及在所谓的弱相关补偿系统和强相关补偿系统框架内补偿接收器及捷联惯性导航系统数据的标准算法。

第4章研究的是实现无人机动飞行器控制与制导一体化系统问题。提出了运用精确制导武器的主要战略纲要。研究了运用不相关、弱相关和强相关接收器与捷联惯性导航系统数据集成电路来实现一体化系统算法软件和程序软件的方法。提出了设置捷联惯性导航系统的算法(并显示其模拟结果)以及制导航空炸弹的算法。

第5章中研究了导航与制导信息技术,以及可选择的全球导航卫星系统技术——机器视觉技术。提出了运用机器视觉技术集成机载电路的功能框图,探讨了在实现该系统时产生的主要问题,包括困难最大的形成标准图像问题。描述了形成标准图像的主要方式和基本算法。

第6章中运用现代信息技术研究了数学模拟无人机动飞行器导航与制导过程问题。在这里把数学模拟看作形成模型和无人机动飞行器导航与制导一体化机载设备算法的手段。作为模拟技术运用的是所谓的目标定位方法,它能够建立计算机综合装置,反映所模拟系统及对象的任何结构特点和算法特点,并考虑到其本身各种物理性质的不可控因素(决定因素,随机因素,不确定因素)。

附录中列出了军转民运用制导航空炸弹的有关资料及目前市场上存在的多通道接收器和捷联惯导系统的相关资料。

本书面向的广大读者有:制造相应系统工业领域的专家,“系统分析,信息处理及控制”和“数学建模,数值方法及综合软件”等专业的研究生。本书还有益于“飞行器一体化系统”方向框架内的“飞行器目标导航系统”专业的在校大学生,因为本书的内容符合“飞行器综合信息系统统计动力学”“信息设备一体化”“综合监测系统”和“计算机技术”等学科的教学大纲。

著者

◎ 目 录

Contents

第 1 章 用于装备第五代飞机的现代无人飞行器	1
1.1 用于装备第五代飞机执行任务的无人机动飞行器的分类	1
1.2 解决定位定向问题的主要技术方法和要求	7
参考文献	11
第 2 章 无人机动飞行器的机载一体化系统是实现现代信息技术的手段	13
2.1 无人机动飞行器机载一体化系统的主要特点	13
2.2 无人机动飞行器导航与制导一体化系统的组成和基本功能结构	14
参考文献	21
第 3 章 基于现代信息技术对无人驾驶机动飞行器的定位及定向问题	22
3.1 ГЛОНАСС 和 GPS 卫星导航系统的构造原理和作用特点	22
3.2 全球卫星导航定位系统现代多通道接收器的标准化功能框图	30
3.3 根据 ГЛОНАСС/GPS 技术计算飞行器的位置、速度和方向 不可控因素信息处理算法	34
3.4 ГЛОНАСС/GPS 系统的代码测量误差模型	44
3.5 运用全球卫星导航定位系统卫星接收器的差分模式	48
3.6 捷联惯性导航系统及其在解决技术问题中的运用	52
参考文献	69
第 4 章 运用多通道接收器和捷联惯性导航系统的各种类型无人机动飞行器导航及 制导系统的算法	70
4.1 采用各种类型无人机动飞行器高效解决空中作战问题的特点	70
4.2 对在机动飞行器导航和制导问题中所采用的用户导航装置提出的基本要求	75
4.3 无人机动飞行器的动态过程对多通道 ГЛОНАСС/GPS 接收器作用的影响	78
4.4 机动飞行器一体化导航系统的实现	81
4.5 控制和制导算法	88

参考文献	109
第 5 章 运用“机器视觉”对无人机动飞行器的控制和制导	110
5.1 前景制导系统中各种类型标准信息的利用	113
5.2 三维场景的几何图像	115
5.3 通过二维图像组合表示三维几何模型	120
5.4 形成标准图像	124
5.5 在构建数字地形模型时对初始信息变换技术	128
参考文献	132
第 6 章 基于目标定位法的无人机动飞行器机载一体化系统作用过程的数学模拟	133
6.1 当代数学模拟方法	133
6.2 用于无人机动飞行器导航与制导一体化系统数学建模的面向 对象数学软件功能图	143
6.3 实现无人机动飞行器导航与制导一体化系统建模技术的实例	180
参考文献	187
附录	188
附录 1 制导航空炸弹的军转民应用技术	188
附录 2 无人机动飞行器的发展前景机载一体化系统的主要性能	198

第1章 用于装备第五代飞机的 现代无人飞行器

1.1 用于装备第五代飞机执行任务的 无人机动飞行器的分类

从航空业诞生的时刻起,飞行器就作为运送弹药击中目标的工具用于军事装备,这大大增强了弹药的杀伤力。专家认为,随着作战武器的进一步发展,具有杀伤作用的武器的威胁范围会更大。因此,最紧迫的问题是使用另一种与高新技术(包括信息技术)相关的作用手段来确保达到最低限度的损失,或者在将来完全排除物体和人类政治目标的毁灭。

实现这种手段的一种方法是研制所谓的精确制导武器,它的效果要超过现在发达国家用于通常装备的武器。精确制导武器这一术语开始使用的时间不长^[1,1],主要与超级反坦克弹药的出现有关,借助于超级反坦克弹药不仅可以击中作战场地的防御目标,还可以击中远距离的防御目标。自从在海湾地区军事冲突(1991年1~2月)中使用制导航空炸弹时刻起,精确制导武器这一术语开始用于制导航空炸弹。

目前,通常把在所有作战条件下能直接命中静止目标和移动目标(概率不低于0.5)的常规武器装备综合装置称为精确制导武器^[1,2,1.3]。

制导航空炸弹具有极高的命中精度、很强的作战能力和较低的成本等特性,使其成为精确制导武器的代表之一。

在局部冲突中运用制导航空炸弹份额升高的统计学数据可以证实制导航空炸弹的这些特性。例如,如果说1966~1973年期间在越南和东南亚战争中运用制导航空炸弹份额约为1%,那么,1991年多国部队反对伊拉克的“沙漠风暴”战役中运用制导航空炸弹的份额就增长到7%,而在1999年3月24日~6月20日北约国家联盟在南斯拉夫战役中运用制导航空炸弹的份额达到70%。

弹药杀伤力最重要的性能指标是弹头质量与其总质量的比。要指出的是,对于非制导航空炸弹该比值接近于1,对于制导空地防空导弹为0.2~0.5,对于制导航空炸弹为0.7~0.9。这就是说,在总质量和运送距离相同的情况下制导航空炸弹运送弹头的质量几乎是制导导弹的两倍。因此,很多情况下更倾向于使用制导航空炸弹,尤其是在攻击坚固目标或者有深度的目标时。其他情况主要使用制导导弹,特别是在航空母舰不能深入目标防控区域击中目标的情况(也就是在距离大于100 km时)。

由于上述情况以及所有现代新型信息制导技术在制导航空炸弹中的广泛运用,使其



成为未来发展的基础,下文所述作为空中袭击装置的装备手段所采用的无人机动飞行器通常指的是制导航空炸弹。在涉及其他装备手段时,例如,空地导弹或空空导弹会对情况单独说明。

应该强调指出的是,在上述形式战斗机装备诞生时重视的不是制导航空炸弹的主要特点(确保有选择性地击中目标),而是有效击中目标的思想:在很短的时间内用最低的运载飞机装备和弹药消耗有效执行战斗任务,也就是消耗最少的资金及时击中目标。根据专家评定,制导航空炸弹与普通航空炸弹相比的主要优点如下:

- (1)提高击中目标准确性 3~9 倍(图 1.1)。
- (2)取决于目标的类型,能够减少弹药消耗的 $1/5 \sim 1/25$ 。
- (3)飞机起飞次数减少 $1/2 \sim 1/20$ 。
- (4)降低敌人空中防御系统击中运载飞机的概率。
- (5)完成军事行动的耗费减少 $1/2 \sim 1/30$ 。
- (6)能够有选择性地击中目标。
- (7)减少击中目标所需的时间。

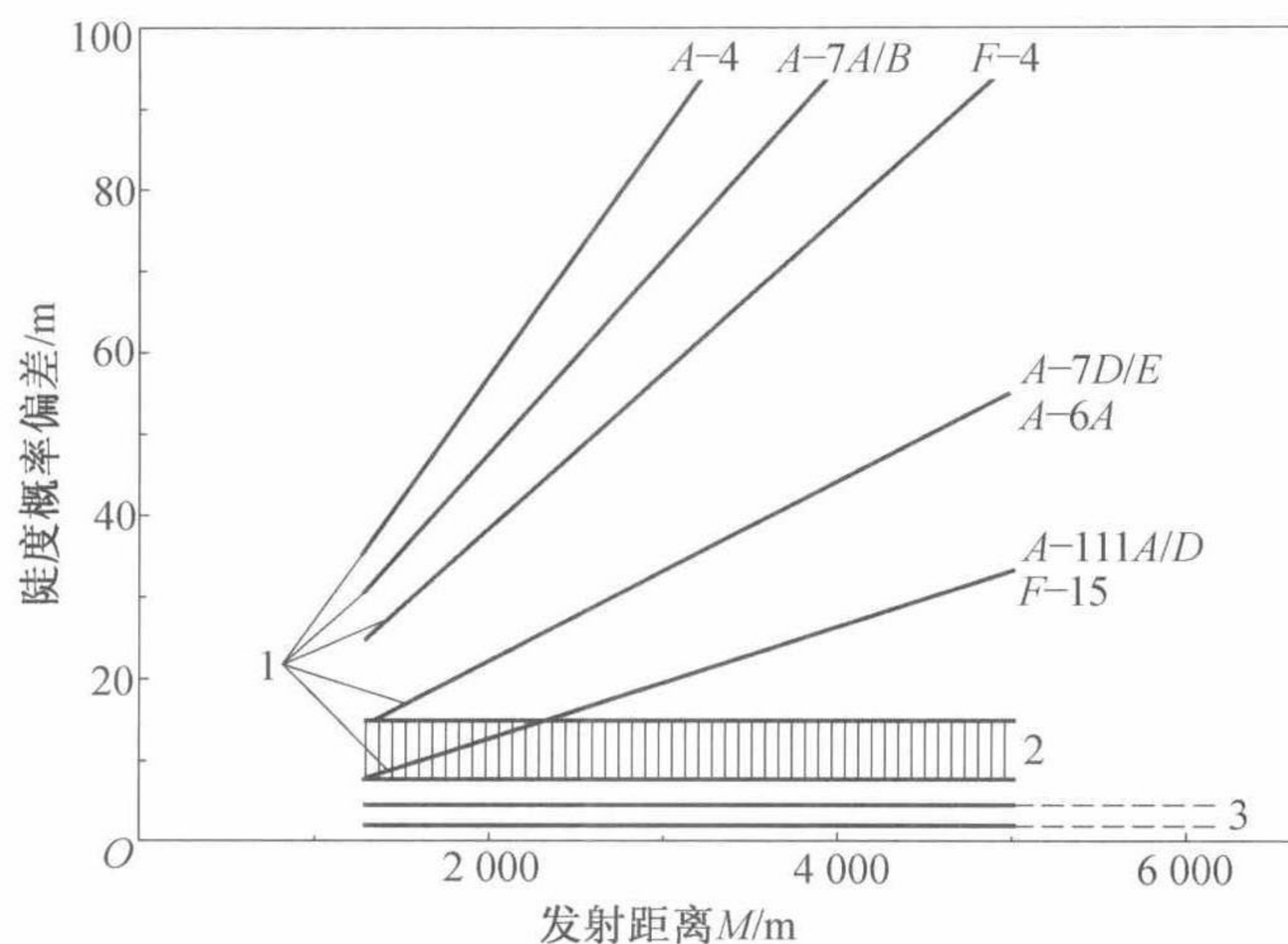


图 1.1 普通航空炸弹、制导航空炸弹和空地制导导弹击中目标的准确度

1— 从不同类型飞机抛出的普通自由落体炸弹;2— “哈勃”制导航空炸弹;3— 在防控目标有效作用区以外发射的空地制导导弹

从系统地选择制导航空炸弹的装备手段来看,无人飞行器是航空进攻武器综合装置的执行机构,其任务是把制导航空炸弹运送到目标地区,发现并指出要击中的目标,决定发射制导航空炸弹时间和把必要信息传送到制导航空炸弹上。必要时(例如,对制导航空炸弹的半主动制导),在通向目标的飞行轨道上投放制导航空炸弹并对其进行控制。

制导航空炸弹的技术设备包括以下组成部分:

(1)信息测量装置,计算制导航空炸弹对瞄准点的位置或方向(坐标方位仪或目标传感器)。

(2)弹头及引爆机构,包括增加与目标接触时深入力的助推器(在一些制导航空炸弹中有)。

(3)控制系统,起到稳定系统的作用,并按照信息测量装置数据形成控制信号来控制制导航空炸弹相对其质心及飞行轨迹的位置。

(4)控制机构(通常是空气动力形式)。

(5)空气动力模件。

(6)助推器(增加低空制导航空炸弹的距离)。

目前已形成了两种形式的制导航空炸弹:可修正航空炸弹和滑翔炸弹。

可以根据所谓的弹道算法运用可修正航空炸弹。换句话说,可修正航空炸弹轨迹的形成是使其质心偏离弹道轨迹最小,并且其轨迹在所谓的航空炸弹扩散“管道”中。这里扩散“管道”指的是弹道轨迹周边由当前分散椭圆参数决定其范围的空间区域。

滑翔制导炸弹的轨迹具有明显滑翔段,其作用距离超过航空炸弹的弹道射程,弹道射程指的是从投射点在水平面上的投影到航空炸弹下落点的距离。

通常滑翔制导炸弹用作攻击性空中武器综合装置的组成部分,以解决最重要的作战任务,其运载工具不需进入目标杀伤区,而可修正航空炸弹在空中防御受到抑制或部分抑制情况下用来击败很广泛的一类小范围坚固目标。

研制和应用制导航空炸弹的实践经验及其发展趋势和前景可以使人们对航空炸弹按照不同特征进行分类。这样的特征有很多,其中最重要的见表 1.1。

表 1.1 按照不同特征对制导航空炸弹的分类

特征	航空炸弹及其某些系统的性能
距离	短距离: 5 km 内 近距离: 5~10 km 中距离: 20~30 km 长距离: 达 70 km 以致更远
大小(质量)	在 125~2 132 kg 范围内(通常由航空炸弹的类型决定,可为 250~3 000 lb)
结构类型	以标准弹头为基础的专门结构 模块结构
承载构件形式	弹头 弹头盒



续表 1.1

特征	航空炸弹及其某些系统的性能
制导系统形式	寻的式制导[激光寻的、电视寻的、热寻的、雷达寻的(主动或被动)、射电测量寻的、对辐射目标的无线电定位寻的、空间无线电导航寻的(全球卫星导航定位系统定位等)] 遥测式制导(根据无线电射线、根据电视通信线、根据光导通信线) 主动式制导(程序制导、惯性制导、修正式惯性制导)
弹头的类型	爆破型 杀伤型 穿入型 多目标型 反混凝土型 复合型(聚合爆破型、聚合穿入型、穿入爆破型、点燃爆破型) 真空引爆型 盒式聚合弹头或盒式杀伤弹头
引爆机构形式	接触作用 遥控 选择作用
投掷方式	水平 俯冲 上仰
投掷算法	弹道算法 由可能投掷区投掷的算法
使用形式	单独使用 组合使用 齐射 制导齐射(对一组目标齐射)
轨迹	弹道轨迹 水平段延长的弹道轨迹 山形轨迹 滑翔轨迹 组合型轨迹(带水平段的滑翔轨迹)
发动机	巡航发动机 助推发动机

根据世界分类方法还可以划分出几代制导航空导弹。

要预先指出的是,一代制导航空炸弹是指一系列航空炸弹,它们的制造思想相同,其中每个航空炸弹的技术结构形式都相同(包括整体布局和基本部件等),决定着具有质量和数量方面同一层次的技术水平,并保持从一代到下一代航空炸弹式样的继承性。

精确制导武器(制导航空炸弹是其鲜明的代表)经历了两次发展浪潮:第一次是 20 世纪 40~50 年代,第二次是 60 年代末至今^[1.4]。

在第一阶段主要解决了选择气动结构布局的基本问题,构建了制导系统和能源系统,并修整了其应用策略。

制导航空炸弹的更新工作(第二阶段)是在用高速运载飞机攻击目标、增加投掷距离(建立完善的防空系统)的情况下满足增强军用爆炸武器效率的要求。到目前为止一直经历着第二次浪潮,其指导思想是:加强运用科技新成就及现代技术,并在设计中考考虑其先前的优点。美国在制造制导航空炸弹领域中位居世界领先地位,已经研制第四代制导航空炸弹,并在作战中得到验证。根据上述制导航空炸弹“代”的概念,可以把俄罗斯国内可修正航空炸弹分成两代:第二代和第三代。俄罗斯制造可修正航空炸弹考虑了国外经验,俄罗斯的第一代可修正航空炸弹按照世界“代”的划分应该算作第二代。虽然俄罗斯设计可修正航空炸弹第二次浪潮的第一个可修正航空炸弹 KAB-500 装有顺桨激光寻的弹头,但与美国的第一代制导航空炸弹不同,特别是“博尔特-84”(БОЛТ 84)型制导航空炸弹,在自动驾驶仪与运载飞机装配后能够确保发射干扰稳定和倾斜稳定。因此,KAB-500 与美国的第一代制导航空炸弹样件相比更加完善。

表 1.2 给出了对俄罗斯几代可修正航空炸弹的分类情况。在“技术水平”一栏中简要表述了该代制导航空炸弹技术水平的最重要数量指标和质量指标。

表 1.2 俄罗斯国产可修正航空炸弹的分类

代的形式	可修正航空炸弹					技术水平 (特征)
	类型	大小	制导 系统 形式	控制 系统	弹头 类型	
第一代	没有					—
第二代 “投掷—送到” 原则	KAB-500	500	Л	АП	Φ	在普通气象条件下对牢固小体 积固定目标(包括受防护及深入潜 藏目标)白天及黑夜单独使用或者 齐射,准确性 $E_{\text{KBO}} \leq 7 \text{ m}$,轰炸弹 道算法
	KAB-500 ЛК	500	Л	АП	К	
	KAB-1500 ЛФ	1 500	Л	АП	Φ	
	KAB-1500 Л-Пp	1 500	Л	АП	Пp	



续表 1.2

代的形式	制导航空炸弹					技术水平 (特征)
	类型	大小	制导系统形式	控制系统	弹头类型	
第三代 “投掷—忘记” 原则	КАБ—500 Кр	500	Ткр	АП	ББ	在烟雾条件中对牢固小体积固定目标(包括隐蔽及深入潜藏目标)在白天单独使用或者齐射,准确性 $E_{\text{КВО}} \leq 2 \sim 4 \text{ m}$, 轰炸弹道算法
	КАБ—500 Кр—ОД	500	Ткр	АП	ОД	
	КАБ— 1500 Кр	1 500	Ткр	АП	Пр	

表 1.2 中符号说明如下:

制导系统:Л—顺桨激光寻的制导系统,Ткр—(可修正处理信息的)电视寻的制导系统;

弹头:Ф—爆破式弹头,К—盒式弹头,Пр—穿入型弹头,ББ—反混凝土型,ОД—真空引爆型;

控制系统:АП—自动驾驶仪。

如图 1.2、1.3 所示为俄罗斯第二代和第三代制导航空炸弹的空气动力学形状。

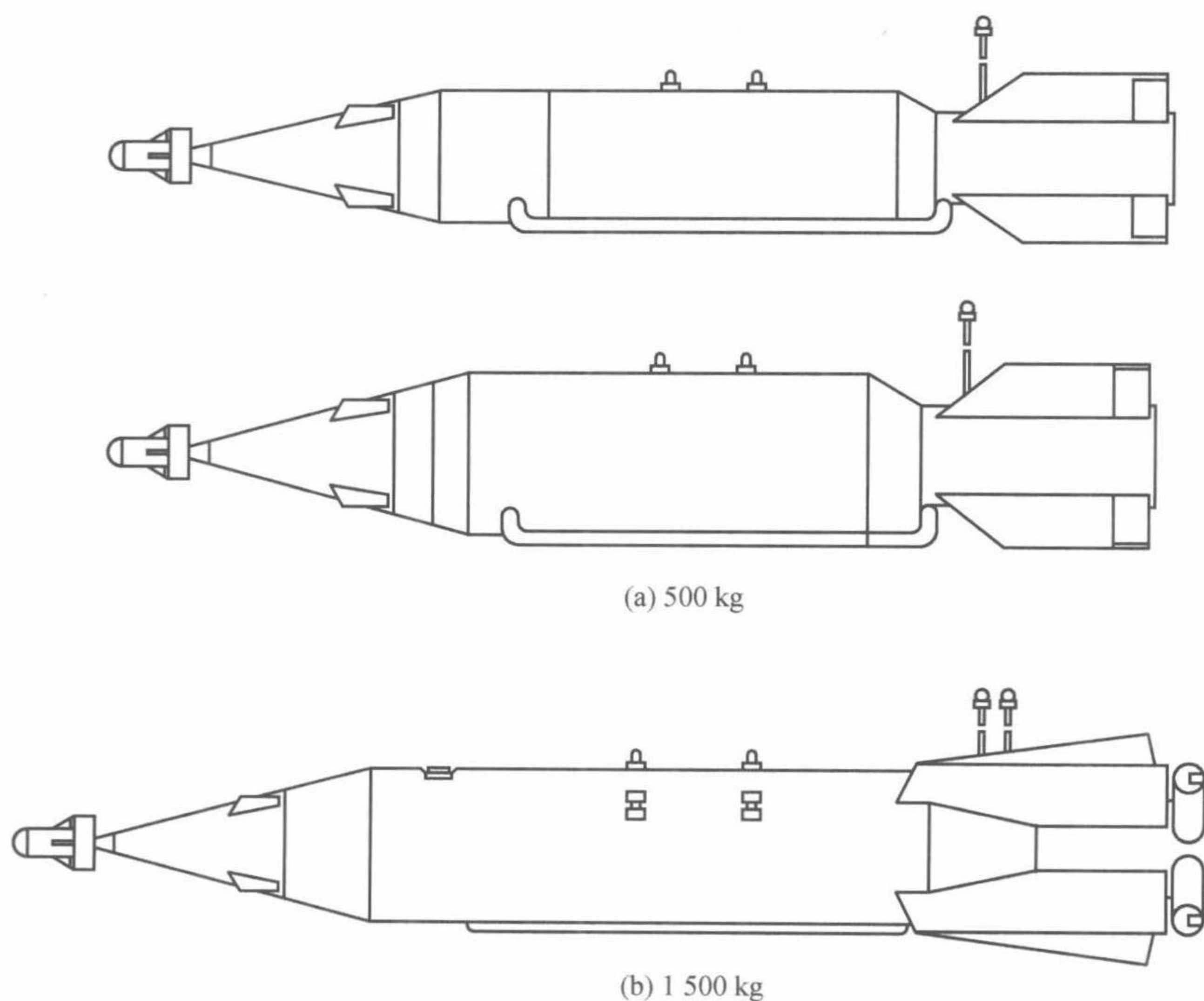


图 1.2 第二代制导航空炸弹的空气动力学形状

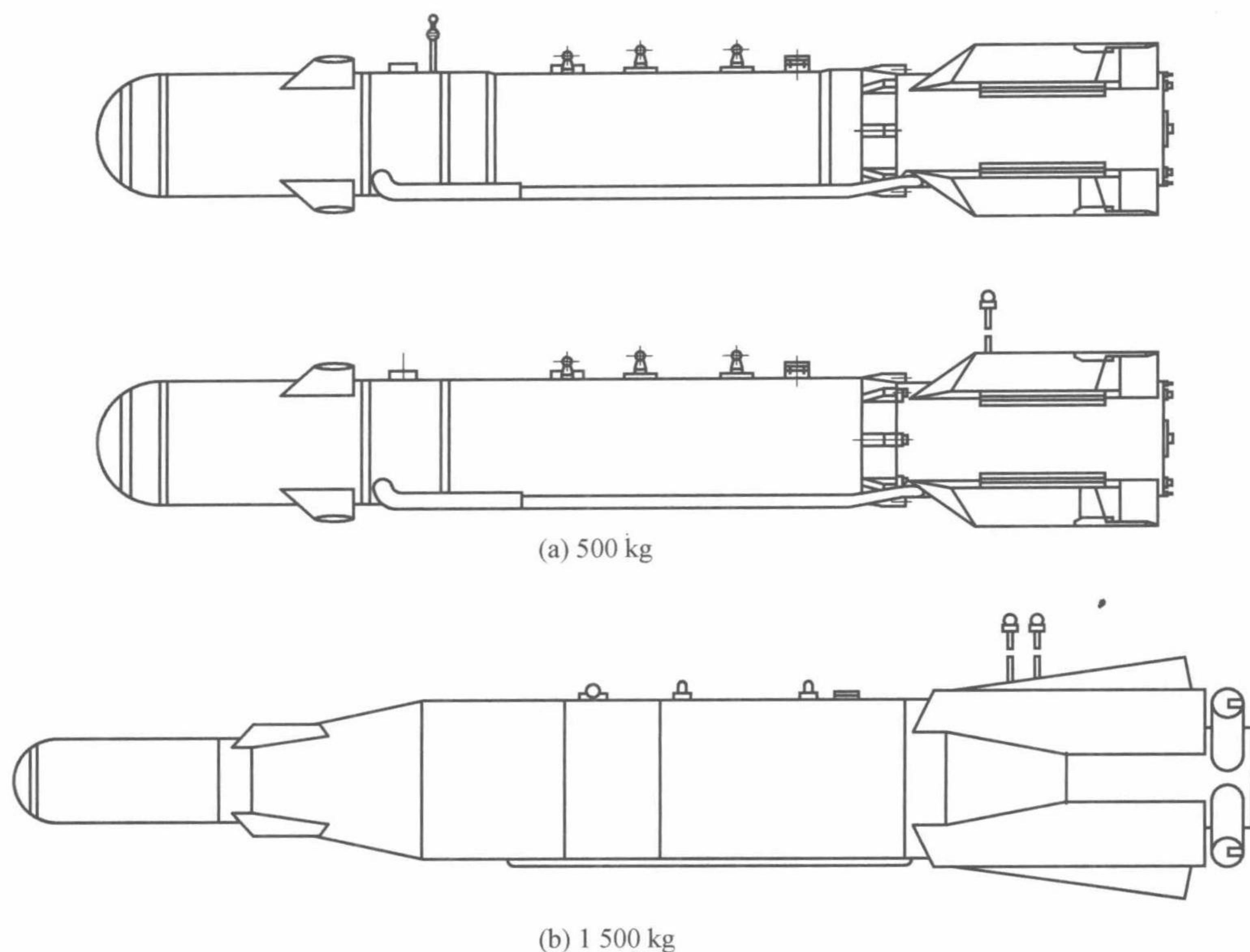


图 1.3 第三代可修正航空炸弹的空气动力学形状

俄罗斯各代可修正航空炸弹的基本特点如下：

- (1) 第二代可修正航空炸弹具有半主动顺桨激光寻的弹头，自动驾驶仪。对于每种可修正航空炸弹都有统一的结构形式，对于 1 500 kg 的可修正航空炸弹具有张开的尾翼。
- (2) 第三代可修正航空炸弹具有电视寻的弹头，自动驾驶仪。对于每种可修正航空炸弹都有统一的结构形式，对于 1 500 kg 的可修正航空炸弹具有张开的尾翼。

1.2 解决定位定向问题的主要技术方法和要求

前面已经指出，应该把制导航空炸弹作为航空武器装备的执行机构来研究，其任务是把航空炸弹运送到目的地，寻找和指示目标并进行投掷。考虑到上述情况，在判定方向及确定方位问题精度要求时显然要研究功能更多的一类飞行器，其中包括制导航空炸弹的运送工具。

现代装备对解决现代无人机动飞行器定位、定向及指示目标等问题具有相当高的要求，它在很大程度上决定了机载目标导航综合系统的组成和结构。决定其系统组成和结构的主要因素是在限定时间内确定领航飞行参数及目标参数的准确性和可靠性、质量和体积方面的性能指标、耗能情况及其活动的隐蔽性。

目标导航综合系统的组成和结构问题具有多种解决办法，不仅取决于上述性能指标，



还与很多其他因素有关,举例如下:

- (1) 飞行器类型:导弹、歼击机、强击机、军用运输机、直升机、干线飞机及商用飞机等。
- (2) 目标导航综合系统的成本。
- (3) 目标导航综合系统的使用条件(地区特点、机场设备、航线等)。
- (4) 对其技术维护及修理的可能性。

在设计目标导航综合系统时,其合理结构和组成的判定标准应系统化。如果考虑到使用要求和使用条件,权衡上述每个因素数量性能指标的总和作为评定标准,就可以做到这一点。这种方法可以对构建目标导航综合系统的各种方案进行比较,缺点是主观地确定权重系数及一系列决定性因素的数量概念。因此,未必建议广泛应用这种方法。

确定目标导航综合系统合理组成和结构的另一种方法主要是对决定性因素进行分类、对要求进行分组,并形成某一组基本类型的导航综合系统。

根据国内外现有的设计和使用目标导航综合系统经验,可以划分出 3 种基本类型的导航综合系统(高精度、中等精度和低精度,参见表 1.3),解决导航综合装置导航问题精度是分类基础。表中所见到的缩写会在后文中说明。

对于高精度目标导航综合系统(干线飞机和军用运输机的目标导航综合系统),要求确保解决以下问题:

- (1) 按航线起飞和自动航行;按国际民航组织第 1 类,2 类,3 类着陆^[1.5]或在飞机场区域滑行。
- (2) 高精度航行,准确、安全航行。
- (3) 迅速发现故障和检测导航系统。
- (4) 方便技术维护。

为确保这些功能,目标导航综合系统中包括的高精度有平台的惯性导航系统和捷联惯性导航系统,例如,环形激光陀螺仪(需要准备工作时间最少,这对于军用运输机非常重要)、多通道全球卫星导航定位系统接收器 ГЛОНАСС/GPS(能够接收差分修正信号)、无线电测高仪及空中信号系统。此外,为了确保这些功能,在目标导航综合系统上还安装了无线电导航系统。在航线上运用无线电远、近导航系统(РСДН, ОМЕГА, LORAN—C, РСБН),为了确保着陆运用仪表着陆系统 ILS(Instrument Landing System 或俄罗斯的同类系统 СИ)、波导着陆系统 MLS(Microwave Landing System)和 APA 着陆系统 APALS(APA Landing System)。

研制中等精度目标导航综合系统(对于商用飞机、歼击机、强击机、巡航导弹、直升机等)应该在机载设备的体积和质量受到严格限制的情况下确保航行精度可以接受。对于军用飞机和导弹重要的性能要求,以及在飞行器具有很高机动性情况下(可能是按照地形起伏飞行状态),其准备时间短,并能够保证航行。对于商用飞机一个最重要的要素是设备的成本。这种类型的目标包括导航综合系统(所包括的基础设施是建立在环形激光陀螺仪或动力调谐陀螺仪上的中等精度的惯性导航系统^[1.7])、多通道卫星导航接收器、空中信号系统及测高仪。对于军用歼击机、强击机或巡航导弹(它们必须遵循地形起伏状态

飞行)等特殊飞行器要安装使用电子地图和无线电测高仪的超级关联导航系统。

表 1.3 按照精度标准划分的导航综合系统的类型

目标导航综合系统的类型	飞行器种类	目标导航综合系统的基本装置	目标导航综合系统基本装置的精度状态	目标导航综合系统组成中用来解决飞行问题的导航系统	目标导航综合系统基本装置的质量/kg	能量消耗/W
高精度目标导航综合系统	民用大型客机,军用运输飞机	在环形激光陀螺仪基础上的惯性导航系统,卫星导航系统,空中信号系统	0.7~1.85 km/h, 30~40 m	无线电导航着陆系统	25~80	120~150
中等精度目标导航综合系统	商务飞机	惯性导航系统(环形激光陀螺仪,动力调谐陀螺仪),全球卫星导航定位系统,空中信号系统	1.85~5.5 km/h, 30~50 m	无线电导航着陆系统(远程无线电导航系统,近程无线电导航系统——导航系统, ILS、MLS、APALS——着陆系统)	5~12	40~60
	歼击机,强击机,巡航导弹			在电子地图和无线电测高仪基础上的超级关联导航系统——跟踪地形起伏		
	直升机			集成远程通信系统,磁罗盘——计算坐标		
低精度目标导航综合系统	商务飞机	惯性导航系统(光纤陀螺仪,动力调谐陀螺仪),卫星导航系统,空中信号系统	5.5~37 km/h, 40~60 m		1~3	10~20
	航天器,运载火箭,制导航空炸弹			测高仪,星体跟踪仪,地球及太阳跟踪仪		

第三种类型的目标导航综合系统是低精度、低成本、质量小、体积小的综合系统,用于轻型商务飞机、小作用范围及中等作用范围的导弹和制导航空炸弹。组成目标导航综合系统的基础设备是建立在动力调谐陀螺仪或光纤陀螺仪基础上的一组惯性导航系统^[1.8](其独立工作误差可以达到 37 千米/工时)以及全球卫星导航定位系统接收器。



表 1.4 表示的是按照上述对目标导航综合系统分类的实例,它们是由美国最著名飞行器导航系统制造公司研发的: Honeywell 公司的 GPIRS 系统, Litton 公司的 AHRS—LN—80 系统, Rockwell Int 公司的 MIGITS 系统^[1.9]。

表 1.4 一些现代目标导航综合系统的性能指标

序号	系统的性能	系统名称及其生产厂家		
		GPIRS Honeywell	AHRS—LN—80 Litton	MIGITS Rockwell Int
1	计算误差*:			
	位置误差/m	25	5~8	20~50
	速度误差/(m·s ⁻¹)	0.2	0.02	0.05~0.25
2	准备时间/min	4	4	2
3	质量/kg	21	9	1
4	体积/dm ³	20	10	0.6
5	消耗功率/W	110	50	23

注: * 表示圆概率误差

现阶段可以看出先进制造商研制方案的一般趋向,即设计、生产一系列精度、质量和体积不同的标准化目标导航综合系统。例如, Rockwell International Corp. 公司研制了一批对于空中及地面运输工具通用的集成导航系统 MIGITS^[1.7]。其中的一种方案见表 1.4。

在现代目标导航综合系统中通常包括多通道卫星接收器。全球卫星导航定位系统在很多应用中都证明了自己很高的使用性能。它们被公认为在大多数航空航天领域最有前景和经济效益。同时,由于一系列原因(首先是有可能短时间丢失卫星信号),这种系统不能确保在整体性、可达到性、连续性等指标方面满足导航测量可靠性的要求(详述参见第 2 章和第 3 章),但是可以通过其他系统弥补全球卫星导航定位系统来提高这些性能指标。这样的弥补方法很多,例如,把卫星系统与无线电导航系统“Лоран”“Омега”“Чайка”、着陆系统 ILS 或 MLS 及计算路程系统等联合起来。但是,最有希望的是将卫星系统和惯性导航系统一体化。这种解决方法能够有效利用每个系统的优点(在第 2 章中详细地探讨)。

众所周知,惯性导航系统能够得到控制对象所需的所有参数,包括方位角,并且系统完全自主,也就是不需要运用其他任何系统的任何信息就能正常工作(有可能工作初期除外,因为这时需要按照坐标和速度投影设定初始条件)。该系统的另一个优点是向外界用户“发出”信息的速度快:方位角的更新速度达 100 Hz,航向更新速度为 10~100 Hz。该指标对于最好接收器的卫星系统为 10 Hz,通常为 1 Hz。同时,惯性导航系统本身也存在缺点,不能长时间在自主状态工作。惯性导航系统的测量元件(首先是陀螺仪和加速度