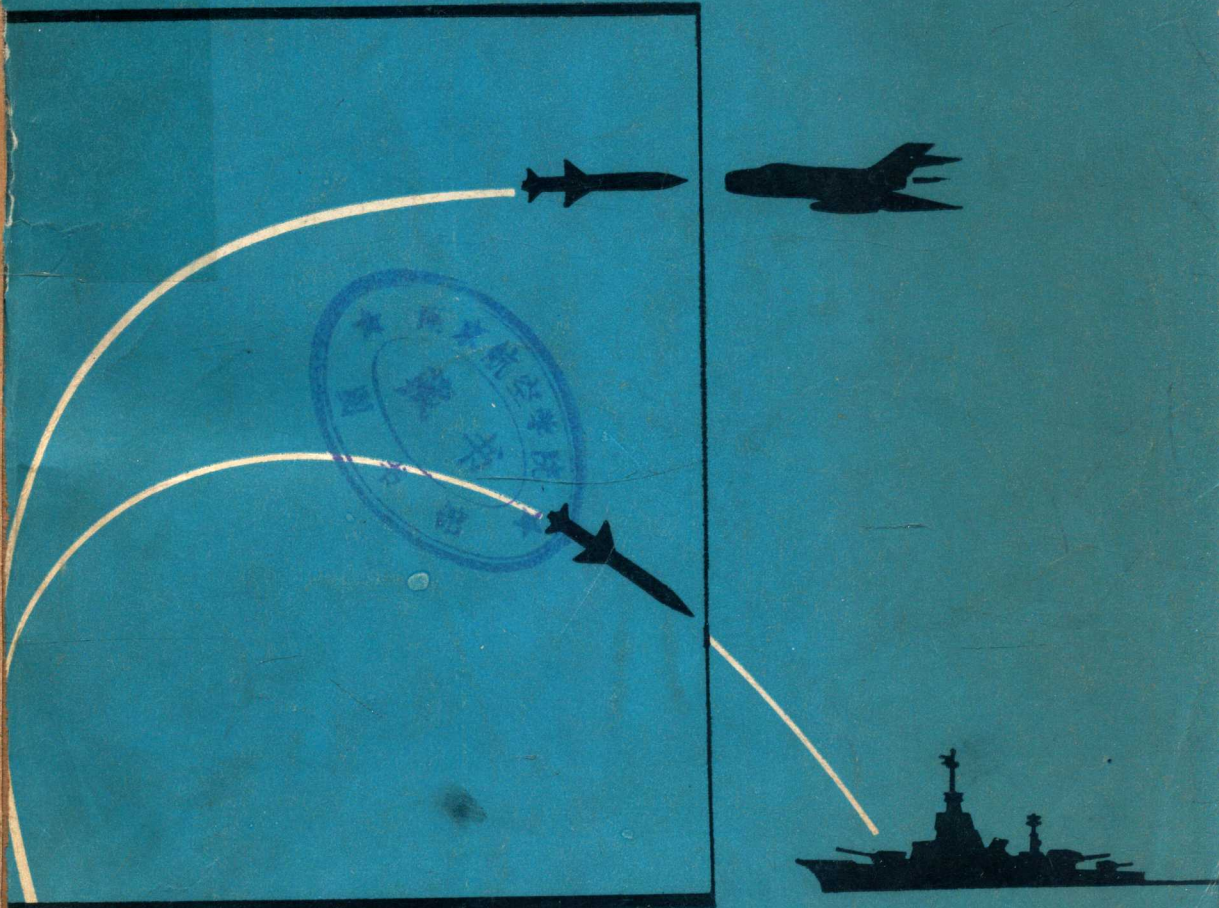


导弹飞行力学

● 钱杏芳 张鸿端 林端雄 编著



京工业学院出版社

1002

导弹飞行力学

钱杏芳 张鸿端 林瑞雄 编著



30271327

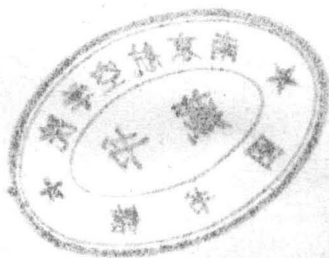
北京工业学院出版社

628044

内 容 简 介

本书主要内容有：作用在导弹上的力和力矩；运动方程组的建立及简化；方案飞行弹道；导引飞行弹道；初始弹道；导弹动态特性的研究方法；导弹弹体的纵向和侧向动态特性分析；自旋导弹弹体动态特性分析；导弹的自动稳定控制。

本书为高等院校导弹总体设计专业教科书，也可作为其它与导弹有关专业的教材或教学参考书，还可供有关的工程技术人员参考。



导 弹 飞 行 力 学

钱杏芳 张鸿端 林瑞雄 编著

北京工业学院出版社出版
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
通县向阳印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 22印张 542千字
1987年12月第一版 1987年12月第一次印刷
印数：1-2,500册
统一书号：15434·75 定价：3.65元

前 言

本书是为导弹总体设计等专业编写的通用教材。书中主要是研究在大气中飞行的战术导的空间运动规律，包括导弹弹道学和导弹动态分析两部分内容。

全书共分十章。第一章简要介绍导弹飞行时受到的空气动力和力矩，作为研究导弹飞行学的预备知识。第二~五章是弹道学部分，内容包括导弹运动方程组的建立及简化、方案行弹道、导引弹道的运动学分析、初始段弹道。第六~十章是动态分析部分，内容包括动态特性的研究方法、导弹弹体的纵向和侧向动态特性分析、自旋导弹弹体动态特性分、导弹运动的自动稳定与控制。书中§2-12-2、§7-6-3、§10-5是专门介绍如何应用电子计算机及电子模拟计算机研究导弹弹道学和动态分析中的问题。

全书内容可按90~100学时讲授，其中第一、五、十章部分内容可不列入教学计划之内。中某些章节，根据不同专业，可有所侧重。

本书由张鸿端编写第二、五章及合写第一章，林瑞雄编写第三、四章及合写第一章，钱芳编写第六、七、八、九、十章及结束语。钱杏芳为主编。

北京航空学院李忠应副教授审阅全部书稿，并提出了许多宝贵的意见和建议，在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中难免存在一些缺点和错误，诚恳希望读者批评指正。

主要符号表

- A ——复姿态角, 运动参数解的系数, 强迫振荡振幅;
 a_n, a_{nT} ——导弹法向加速度, 目标法向加速度;
 $a_{11}, \dots, a_{24}, \dots$ ——纵向运动的动力系数;
 B ——复攻角, 运动参数解的系数;
 b_A ——计及弹身部分弹翼的平均气动弦;
 $b_{11}, \dots, b_{25}, \dots$ ——侧向运动的动力系数;
 C ——复方向角, 运动参数解的系数, 常数;
 c ——音速;
 C_x, C_y, C_z ——阻力系数, 升力系数, 侧力系数;
 D ——运动参数解的系数;
 F_c ——操纵力;
 F_{gx}, F_{gy}, F_{gz} ——沿弹道坐标轴 ox_2, oy_2, oz_2 的干扰力;
 G ——重力;
 g ——重力加速度;
 H ——动量矩;
 H ——飞行高度;
 J ——转动惯量张量;
 J_x, J_y, J_z ——导弹绕 ox_1, oy_1, oz_1 轴的转动惯量(惯性矩);
 K ——动量;
 K ——比例导引比例系数, 导弹传递系数, 复合指令系数;
 K_M, K_{M_x} ——导弹的传递系数;
 L ——特征长度, 弹身长度;
 l ——弹翼的翼展长度;
 M ——力矩矢量;
 M_a ——马赫数;
 M_x, M_y, M_z ——滚动力矩(倾斜力矩), 偏航力矩, 俯仰力矩;
 M_h ——铰链力矩;
 M_{gx}, M_{gy}, M_{gz} ——沿弹体坐标轴 ox_1, oy_1, oz_1 的干扰力矩;
 m ——单位时间内燃料消耗量;
 m_h ——铰链力矩系数;
 m_{x1}, m_{y1}, m_{z1} ——滚动力矩系数, 偏航力矩系数, 俯仰力矩系数;
 $m_x^{\beta}, m_y^{\beta}, m_z^{\alpha}$ ——横向静稳定性, 偏航静稳定性, 俯仰静稳定性;
 $m_x^{\omega}, m_y^{\omega}, m_z^{\omega}$ ——滚动阻尼导数, 偏航阻尼导数, 俯仰阻尼导数;
 $m_x^{\delta}, m_y^{\delta}, m_z^{\delta}$ ——副翼操纵效率, 方向舵操纵效率, 升降舵操纵效率;

n ——过载矢量;
 n ——过载, 转速;
 n_R, n_P, n_L ——需用过载, 可用过载, 极限过载;
 $n_{x_2}, n_{y_2}, n_{z_2}$ ——过载矢量在弹道坐标轴上的投影;
 P ——发动机推力矢量;
 P ——发动机推力;
 P_1, P_2, P_3, P_4 ——特征方程式系数;
 p ——导弹对目标的速度比;
 q ——动压头($\frac{1}{2}\rho V^2$), 目标线方位角;
 q_M ——相对距离 R_M 与基准线夹角;
 q_T ——相对距离 R_T 与基准线夹角;
 R ——气动力矢量;
 R_M ——制导站到目标的相对距离;
 R_T ——制导站到导弹的相对距离;
 r ——导弹到目标的相对距离;
 S ——参考面积;
 s ——拉氏变换算子;
 T ——周期;
 T_M, T_{M_x}, T_1 ——导弹的时间常数;
 t ——时间
 t_K ——导弹飞抵目标所需时间;
 V ——导弹飞行速度矢量;
 V ——导弹飞行速度;
 V_G ——制导站的运动速度;
 V_T ——目标的运动速度;
 W ——风速, 传递函数;
 X, X_0, X_i ——迎面阻力, 零升阻力; 诱导阻力;
 x ——沿地面轴 Ax 导弹质心的坐标; 运动参数广义符;
 x_F ——导弹焦点离头部顶点的距离;
 x_G ——导弹质心离头部顶点的距离;
 x_R ——舵面压力中心离弹身头部顶点的距离;
 \bar{x}_F ——导弹焦点的无量纲坐标;
 \bar{x}_F ——导弹重心的无量纲坐标;
 Y ——升力;
 y ——沿地面轴 Ay 导弹质心的坐标;
 Z ——侧力;
 z ——沿地面轴 Az 导弹质心的坐标;
 α ——攻角;

β ——侧滑角；
 β_M ——导弹方位角；
 β_T ——目标方位角；
 γ ——倾斜角；
 γ_V ——速度倾斜角；
 Δ ——主行列式；
 $\Delta_V, \Delta_\theta, \Delta_\phi, \Delta_\alpha$ ——伴随行列式；
 δ ——舵偏角，微分量；
 $\delta_x, \delta_y, \delta_z$ ——副翼偏角，方向舵偏角，升降舵偏角；
 ε_M ——导弹高低角；
 ε_T ——目标高低角；
 η ——导弹前置角；
 η_T ——目标前置角；
 ϑ ——俯仰角；
 θ ——弹道倾角；
 λ ——展弦比，特征根值；
 ξ, ξ_M ——导弹的相对阻尼系数；
 ρ ——空气密度，曲率半径；
 σ ——导弹弹道角，超调量；
 σ_G ——制导站航向角；
 σ_T ——目标航向角；
 ψ ——偏航角；
 ψ_V ——弹道偏角；
 φ ——强迫振荡相位；
 Ω ——动坐标系的转动角速度矢量；
 ω ——导弹转动角速度矢量；
 ω ——导弹转动角速度，导弹振荡角频率；
 ω_G ——导弹固有频率；
 $\omega_{x_1}, \omega_{y_1}, \omega_{z_1}$ ——导弹分别绕 ox_1, oy_1, oz_1 轴的旋转角速度；

下 标

“0”——初值，未扰动运动参数；
 “B”——平衡；
 “C”——制导站；
 “L”——极限；
 “M”——导弹；
 “P”——可用；
 “R”——需用；
 “S”——虚拟刚体，稳态，裕量；

"T"——目标;

Axyz——地面坐标系;

$Ox_1y_1z_1$ ——弹体坐标系;

$Ox_2y_2z_2$ ——弹道坐标系;

$Ox_3y_3z_3$ ——速度坐标系;

$Ox_4y_4z_4$ ——准弹体坐标系;

$Ox_5y_5z_5$ ——准速度坐标系;

上 标

"*"——旋转导弹角参数, 例如 α^* , ω_y^* 等;

"a", ..., " ω_x ", ...——力和力矩及其系数对运动参数的偏导数, 例如 $C_y^a = \frac{\partial C_y}{\partial \alpha}$,

$M_y^{\omega_x} = \frac{\partial M_y}{\partial \omega_x}$ 等; 传递函数 W 的输出量, 例如 $W_{\omega_x}^{\delta}(s)$, $W_{\delta}^{\omega_x}(s)$

等;

上置符号"———限制量, 无因次量;

前置符号" Δ "——偏量, 增量。

目 录

主要符号表

绪论

第一章 作用在导弹上的力和力矩

§1-1 两个坐标系	(3)
1. 速度坐标系 $Ox_3y_3z_3$	(3)
2. 弹体坐标系 $Ox_1y_1z_1$	(3)
3. 速度坐标系与弹体坐标系之间的关系	(3)
§1-2 总空气动力	(4)
1. 空气动力的表达式	(4)
2. 升力	(4)
3. 阻力	(6)
§1-3 空气动力矩、压力中心和焦点	(7)
1. 空气动力矩的表达式	(7)
2. 压力中心和焦点	(7)
§1-4 俯仰力矩	(8)
1. 定态直线飞行时的俯仰力矩及纵向平衡状态	(8)
2. 纵向静稳定性	(9)
3. 操纵力矩	(11)
4. 俯仰阻尼力矩	(11)
5. 非定态飞行时, 由下洗延迟引起的附加俯仰力矩	(12)
§1-5 偏航力矩	(13)
§1-6 滚动力矩	(13)
1. 横向静稳定性	(14)
2. 滚动阻尼力矩	(15)
3. 旋转导数 $m_x^{\omega_y}$	(15)
4. 滚动操纵力矩	(16)
§1-7 铰链力矩	(16)
§1-8 马格努斯效应	(17)
1. 弹身的马格努斯力和力矩	(17)
2. 弹翼的马格努斯力矩	(18)
§1-9 作用在导弹上的推力	(19)
§1-10 作用在导弹上的重力	(20)
第二章 导弹运动方程组的建立	
§2-1 引言	(22)
§2-2 变质量质点运动的基本方程和动量、动量矩定理	(23)
1. 变质量质点运动的基本方程式	(23)
2. 变质量质点的动量定理	(25)
3. 变质量质点的动量矩定理	(26)
§2-3 变质量物体的动量定理和动量矩定理	(26)
1. 变质量物体的动量定理	(26)

2. 变质量物体的动量矩定理	(29)
§2-4 导弹质心运动矢量方程和绕质心运动的矢量方程	(30)
1. 导弹质心运动的矢量方程	(30)
2. 导弹绕质心运动的矢量方程	(31)
§2-5 常用坐标系和它们之间的转换矩阵	(32)
1. 常用坐标系	(32)
2. 各坐标系之间的变换矩阵	(33)
§2-6 导弹运动方程组	(39)
1. 动力学方程	(39)
2. 运动学方程	(44)
3. 导弹的质量方程	(45)
4. 几何关系方程	(45)
5. 控制关系方程	(47)
6. 导弹的空间运动方程组	(50)
§2-7 导弹运动方程组的简化与分解	(51)
1. 导弹的纵向运动和侧向运动	(51)
2. 导弹的平面运动	(53)
§2-8 导弹质心的运动	(55)
§2-9 运动与过载的关系	(58)
1. 机动与过载	(58)
2. 过载的投影	(59)
3. 运动与过载	(60)
4. 弹道的曲率半径与法向过载的关系	(61)
5. 需用过载、极限过载、可用过载的概念	(62)
§2-10 低速自旋导弹的运动方程组	(63)
1. 两个新坐标系的定义	(63)
2. 各坐标系之间的变换矩阵	(64)
3. 自旋导弹的操纵力和操纵力矩	(67)
4. 低速自旋导弹运动方程组	(69)
§2-11 考虑地球自转的导弹运动方程组	(74)
§2-12 导弹运动方程组的数值解法	(79)
1. 微分方程的数值积分	(79)
2. 运动方程组的数值积分举例	(82)
第三章 方案飞行弹道	
§3-1 铅垂平面内的方案飞行	(89)
1. 铅垂平面内的导弹运动方程组	(89)
2. 按给定弹道倾角的方案飞行	(90)
3. 按给定俯仰角的方案飞行	(94)
4. 按给定攻角的方案飞行	(96)
5. 按给定法向过载的方案飞行	(96)
§3-2 水平面内的方案飞行	(97)
1. 水平面内飞行的方程组	(97)
2. 无倾斜的机动飞行	(98)
3. 无侧滑的机动飞行	(101)
§3-3 弹道式导弹主动段飞行方案	(103)

第四章 导引弹道的运动学分析

§4-1 相对运动方程	(106)
1. 自动瞄准制导的相对运动方程	(106)
2. 遥控制导的相对运动方程	(108)
3. 相对运动方程组的解	(109)
§4-2 追踪法	(110)
1. 弹道方程	(110)
2. 直接命中目标的条件	(112)
3. 导弹的飞行时间	(112)
4. 直线弹道的稳定性	(113)
5. 导弹的法向过载	(114)
6. 允许攻击区	(115)
§4-3 平行接近法	(117)
1. 直线弹道的条件	(118)
2. 瞬时命中点	(118)
3. 导弹的法向过载	(119)
§4-4 比例导引法	(121)
1. 比例导引法的相对运动方程组	(121)
2. 弹道特性	(122)
3. 比例系数 K 的选择	(129)
4. 比例导引法的优缺点	(129)
5. 其它形式的比例导引规律	(130)
6. 一种实现比例导引的方法	(131)
§4-5 三点法	(134)
1. 三点法导引关系方程	(134)
2. 三点法导引的运动学方程组	(135)
3. 运动学弹道的图解法	(136)
4. 运动学弹道的解析解	(137)
5. 导弹的转弯速率	(141)
6. 攻击禁区	(144)
7. 三点法导引的优缺点	(144)
§4-6 前置量法(矫直法)	(145)
1. 前置量法	(146)
2. 半前置量法(半矫直法)	(148)
3. 一种实现半前置量导引的方法	(149)
§4-7 选择导引方法的基本要求	(151)
§4-8 导引运动方程组	(152)
1. 地-空导弹导引运动方程组	(152)
2. 空-空导弹导引运动方程组	(156)

第五章 初始段弹道

§5-1 几种主要扰动因素的分析	(159)
1. 随机初始扰动	(159)
2. 发动机推力偏心	(160)
3. 弹体质量分布不对称的影响	(163)
4. 风的影响	(166)

5. 制造和安装工艺误差引起的扰动	(169)
§5-2 初始段扰动运动方程组	(171)
§5-3 利用蒙特卡洛法研究弹道参数的统计特性	(173)
1. 随机数的产生	(173)
2. 随机变量抽样简介	(175)
3. 随机数的检验	(176)
第六章 导弹动态特性的研究方法	
§6-1 概述	(180)
§6-2 作为控制对象的导弹	(180)
§6-3 导弹扰动运动的研究方法	(183)
§6-4 导弹运动方程组的线性化	(185)
1. 微分方程组线性化的方法	(186)
2. 空气动力和力矩表达式的线性化	(188)
3. 运动方程组的线性化	(191)
§6-5 扰动运动分解为纵向和侧向扰动运动	(195)
§6-6 系数“冻结”法	(197)
§6-7 导弹的稳定性和操纵性的概念	(198)
1. 稳定性概念	(198)
2. 操纵性概念	(201)
第七章 导弹弹体纵向动态特性分析	
§7-1 纵向扰动运动方程组	(203)
1. 纵向扰动运动方程组	(203)
2. 动力系数的物理意义	(205)
3. 动力系数的确定	(206)
4. 扰动运动方程组以矩阵形式表示	(207)
§7-2 自由扰动运动的一般特性	(208)
1. 自由扰动运动方程	(208)
2. 特征方程式及其根的特性	(208)
3. 稳定性准则	(212)
4. 飞行弹道的稳定性	(213)
5. 振荡周期及衰减程度	(213)
6. 短周期运动和长周期运动	(215)
7. 特征方程根的近似计算	(215)
§7-3 纵向扰动运动分解为两个阶段	(219)
1. 纵向扰动运动分解为两个阶段	(219)
2. 纵向扰动运动分为两个阶段的物理原因	(221)
3. 短周期阶段的扰动运动方程组	(223)
§7-4 导弹弹体的传递函数	(225)
1. 纵向扰动运动的传递函数	(225)
2. 用拉氏变换求自由扰动运动	(228)
3. 短周期纵向扰动运动的传递函数	(229)
§7-5 操纵机构阶跃偏转时纵向动态特性分析	(233)
1. 稳定性分析	(233)
2. 操纵机构阶跃偏转时的过渡过程	(238)
3. 导弹的传递系数	(239)

4. 过渡过程时间	(242)
5. 最大偏差和超调量	(243)
§7-6 用拉氏变换法求解过渡过程	(246)
1. 用拉氏变换法求过渡过程	(246)
2. 举例	(248)
3. 应用电子数字计算机解扰动运动方程组	(251)
§7-7 导弹弹体的频率特性	(252)
§7-8 典型弹道及特征点的选择原则	(258)
1. 典型弹道的选择	(258)
2. 特征点的选择	(259)
第八章 导弹弹体侧向动态特性分析	
§8-1 侧向扰动运动方程组	(261)
§8-2 侧向自由扰动运动分析	(264)
1. 特征方程式及根的形态	(264)
2. 侧向自由扰动运动的一般性质	(266)
§8-3 侧向稳定边界图	(269)
1. 侧向运动的稳定性	(271)
2. 气动外形对侧向稳定性的影响	(272)
3. 飞行状态对侧向稳定性的影响	(272)
4. 对侧向稳定性的要求	(273)
§8-4 侧向扰动运动方程组的简化	(274)
1. 侧向扰动运动方程组的简化	(274)
2. 轴对称型导弹接近水平飞行时侧向扰动运动简化方程组	(274)
§8-5 侧向传递函数	(275)
第九章 自旋导弹弹体的动态特性分析	
§9-1 自旋导弹弹体的扰动运动方程组	(279)
§9-2 自旋导弹弹体的传递函数	(284)
§9-3 自旋导弹弹体的动态稳定性	(287)
第十章 导弹运动的自动稳定与控制	
§10-1 倾斜运动的自动稳定	(295)
1. 倾斜稳定回路	(295)
2. 倾斜运动的稳定性	(296)
§10-2 俯仰角的自动稳定与控制	(300)
1. 常值干扰力矩的影响	(310)
2. 俯仰角的自动稳定和控制	(310)
§10-3 对弹体动态特性的某些要求	(302)
1. 阻尼	(302)
2. 静稳定性和固有频率	(303)
3. 操纵机构效率	(305)
4. 机动性	(307)
§10-4 应用电子模拟计算机求解导弹运动方程组	(308)
1. 数学方程的模拟方法	(309)
2. 导弹纵向扰动运动的数学模拟	(313)
3. 自旋导弹平飞运动的数学模拟	(315)

结束语

导弹飞行力学的现状及发展趋向..... (318)

附录一 求解运动方程组 (2-157) 的程序..... (322)

附录二 求解自由扰动运动程序..... (330)

主要参考文献..... (335)

(321) 导弹飞行力学..... 1-12

(322) 导弹飞行力学..... 1-12

(323) 导弹飞行力学..... 1-12

(324) 导弹飞行力学..... 1-12

(325) 导弹飞行力学..... 1-12

(326) 导弹飞行力学..... 1-12

(327) 导弹飞行力学..... 1-12

(328) 导弹飞行力学..... 1-12

(329) 导弹飞行力学..... 1-12

(330) 导弹飞行力学..... 1-12

(331) 导弹飞行力学..... 1-12

(332) 导弹飞行力学..... 1-12

(333) 导弹飞行力学..... 1-12

(334) 导弹飞行力学..... 1-12

(335) 导弹飞行力学..... 1-12

(336) 导弹飞行力学..... 1-12

(337) 导弹飞行力学..... 1-12

(338) 导弹飞行力学..... 1-12

(339) 导弹飞行力学..... 1-12

(340) 导弹飞行力学..... 1-12

(341) 导弹飞行力学..... 1-12

(342) 导弹飞行力学..... 1-12

(343) 导弹飞行力学..... 1-12

(344) 导弹飞行力学..... 1-12

(345) 导弹飞行力学..... 1-12

(346) 导弹飞行力学..... 1-12

(347) 导弹飞行力学..... 1-12

(348) 导弹飞行力学..... 1-12

(349) 导弹飞行力学..... 1-12

(350) 导弹飞行力学..... 1-12

(351) 导弹飞行力学..... 1-12

(352) 导弹飞行力学..... 1-12

(353) 导弹飞行力学..... 1-12

(354) 导弹飞行力学..... 1-12

(355) 导弹飞行力学..... 1-12

(356) 导弹飞行力学..... 1-12

(357) 导弹飞行力学..... 1-12

(358) 导弹飞行力学..... 1-12

(359) 导弹飞行力学..... 1-12

(360) 导弹飞行力学..... 1-12

(361) 导弹飞行力学..... 1-12

(362) 导弹飞行力学..... 1-12

(363) 导弹飞行力学..... 1-12

(364) 导弹飞行力学..... 1-12

(365) 导弹飞行力学..... 1-12

(366) 导弹飞行力学..... 1-12

(367) 导弹飞行力学..... 1-12

(368) 导弹飞行力学..... 1-12

(369) 导弹飞行力学..... 1-12

(370) 导弹飞行力学..... 1-12

(371) 导弹飞行力学..... 1-12

(372) 导弹飞行力学..... 1-12

(373) 导弹飞行力学..... 1-12

(374) 导弹飞行力学..... 1-12

(375) 导弹飞行力学..... 1-12

(376) 导弹飞行力学..... 1-12

(377) 导弹飞行力学..... 1-12

(378) 导弹飞行力学..... 1-12

(379) 导弹飞行力学..... 1-12

(380) 导弹飞行力学..... 1-12

(381) 导弹飞行力学..... 1-12

(382) 导弹飞行力学..... 1-12

(383) 导弹飞行力学..... 1-12

(384) 导弹飞行力学..... 1-12

(385) 导弹飞行力学..... 1-12

(386) 导弹飞行力学..... 1-12

(387) 导弹飞行力学..... 1-12

(388) 导弹飞行力学..... 1-12

(389) 导弹飞行力学..... 1-12

(390) 导弹飞行力学..... 1-12

(391) 导弹飞行力学..... 1-12

(392) 导弹飞行力学..... 1-12

(393) 导弹飞行力学..... 1-12

(394) 导弹飞行力学..... 1-12

(395) 导弹飞行力学..... 1-12

(396) 导弹飞行力学..... 1-12

(397) 导弹飞行力学..... 1-12

(398) 导弹飞行力学..... 1-12

(399) 导弹飞行力学..... 1-12

(400) 导弹飞行力学..... 1-12

(401) 导弹飞行力学..... 1-12

(402) 导弹飞行力学..... 1-12

(403) 导弹飞行力学..... 1-12

(404) 导弹飞行力学..... 1-12

(405) 导弹飞行力学..... 1-12

(406) 导弹飞行力学..... 1-12

(407) 导弹飞行力学..... 1-12

(408) 导弹飞行力学..... 1-12

(409) 导弹飞行力学..... 1-12

(410) 导弹飞行力学..... 1-12

绪 论

导弹飞行力学是研究导弹运动规律的一门学科，是研究导弹飞行的理论基础。就学科所属而言，它是一般力学的一个分支。

本书的研究对象主要是在大气中飞行的战术导弹。但不局限于研究具体的型号，而是研究各类型导弹运动规律的共性。

在一般情况下，研究导弹在空间的飞行问题是很复杂的。即使在舵面固定偏转的条件下，导弹作为刚体在空间运动也有六个自由度，需要由十二个一阶微分方程来描述，再加上制导系统中各元件的工作过程，需要的微分方程数目就更多，例如研究某岸对舰导弹的运动就包含有 100 多个一阶微分方程。为了简化对问题的研究，通常分为几个阶段进行，从简单到复杂，逐步完善。

第一阶段是研究弹道学问题。将导弹运动看作是可控质点的运动，即假定制导系统工作是理想的，导弹的质量集中在质心上，在飞行的任一瞬间作用在导弹上所有外力的合力矩为零。这样，通过研究作用在导弹上的力和运动之间的关系，就可以求出质心运动轨迹——弹道、飞行速度和过载等飞行参数，而不在于制导过程如何。因此，导弹弹道学实质上是研究质点动力学问题。

第二阶段是研究导弹动态特性问题。将导弹当作质点系来研究其运动情况，不仅要考虑作用在质心上的力，也要考虑绕质心的力矩，并把导弹看成为制导系统的一个环节——控制对象，研究它的动态特性，即在干扰作用下，能否保持原来的飞行状态？在操纵机构作用下，导弹改变飞行状态的能力如何？也就是研究稳定性与操纵性问题。因此，导弹动态分析也可称为导弹质点系动力学。

最后阶段是研究闭合制导系统的动力学特性。该系统包括制导系统各元件，也包括控制对象——导弹本身。这阶段的主要任务之一是研究飞行准确度，它是以前阶段相对于所需弹道的偏离量及其概率来表征的。这些偏差的产生是由于：实际上所有制导系统元件都不能理想准确地工作；导弹并不是理想地跟随操纵机构的偏转而改变其运动状态；在飞行中，导弹及其制导系统还作用着随机干扰等。为了研究制导准确度问题，必须用足够多的微分方程才能完整地描述导弹的运动和制导系统的工作过程。同时，还必须考虑随机干扰。因此，需要用很高阶的常微分方程组来描述。这些方程一般是非线性的，方程右端明显地与时间有关，有滞后变量和随机函数等。研究这种方程组，可以用近代科学技术提供的有关方法，特别是数学分析法、概率论与数理统计、随机过程理论、控制理论、数值分析，此外还必须应用电子数字计算机和模拟计算机进行导弹系统的仿真。

本书主要是研究第一、二阶段中的有关问题，也就是只研究导弹本身的动力学问题——弹道学和动态特性问题。

在导弹设计工作中，飞行力学的研究是导弹总体设计、制导系统设计和飞行准确度分析的基础。

对于导弹总体设计等专业，飞行力学是一门重要的技术基础课。

第一章 作用在导弹上的力和力矩

在飞行中，作用在导弹上的力主要有：总空气动力、发动机的推力和重力等。

空气动力是空气对在其中运动的物体的作用力。当可压缩的粘性气流绕流过导弹各部分的表面时，由于整个表面上压强分布的不对称，出现了压强差；空气对导弹表面又有粘性摩擦，出现了粘性摩擦力。这两部分力合在一起，就形成了作用在导弹上的空气动力。

推力是发动机工作时，发动机内燃气介质以高速喷出而形成作用于导弹上的力，它是导弹飞行的动力。

作用于导弹上的重力，严格地说，应是地心引力和因地球自转所产生的离心惯性力的合力。

总空气动力的作用线一般不通过导弹的质心，因此，将形成对质心的空气动力矩。

推力矢量通常与弹体纵轴重合。若推力矢量的作用线不通过导弹的质心，还将形成对质心的推力矩。

本章将扼要介绍作用在导弹上的空气动力、空气动力矩、推力和重力的有关特性。

§ 1-1 两个坐标系

习惯上常把作用在导弹上的总空气动力 \mathbf{R} 沿速度坐标系分解成互相垂直的三个分量来进行研究。而总空气动力矩 \mathbf{M}_R 则沿弹体坐标系分解成互相垂直的三个分量。总空气动力的大小与气流相对于弹体的方位有关。其相对方位可用速度坐标系和弹体坐标系之间构成的两个角度来确定。因此，下面先分别引进与导弹速度矢量及弹体相联系的两个坐标系。

1. 速度坐标系 $ox_3y_3z_3$ 原点 O 取在导弹的质心上； ox_3 轴与速度矢量 \mathbf{V} 重合； oy_3 轴位于弹体纵向对称面内与 ox_3 轴垂直，指向上为正； oz_3 轴垂直于 ox_3y_3 平面，其方向按右手坐标系确定(如图 1-1 所示)。此坐标系与导弹速度矢量固联，是一个动坐标系。

2. 弹体坐标系 $ox_1y_1z_1$ 原点 O 取在导弹的质心上； ox_1 轴与弹体纵轴重合，指向头部为正； oy_1 轴在弹体纵向对称平面内，垂直于 ox_1 轴，指向上方为正； oz_1 轴垂直于 ox_1y_1 平面，方向按右手坐标系确定(如图 1-1 所示)。

此坐标系与弹体固联，也是动坐标系。

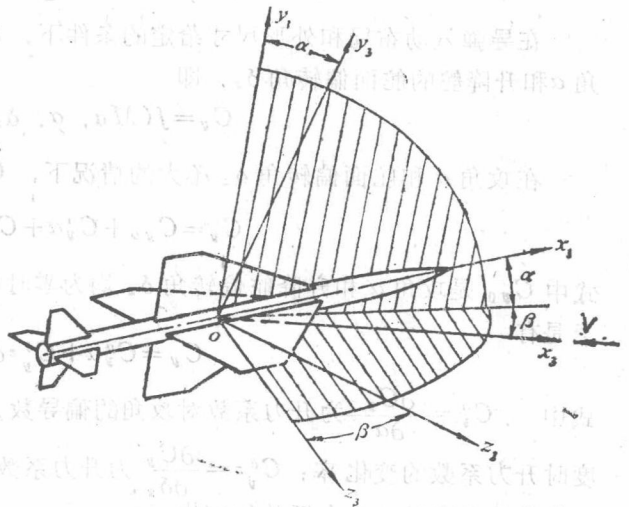


图 1-1 速度坐标系与弹体坐标系

3. 速度坐标系与弹体坐标系之间的关系 由上述坐标系的定义可知，速度坐标系与弹