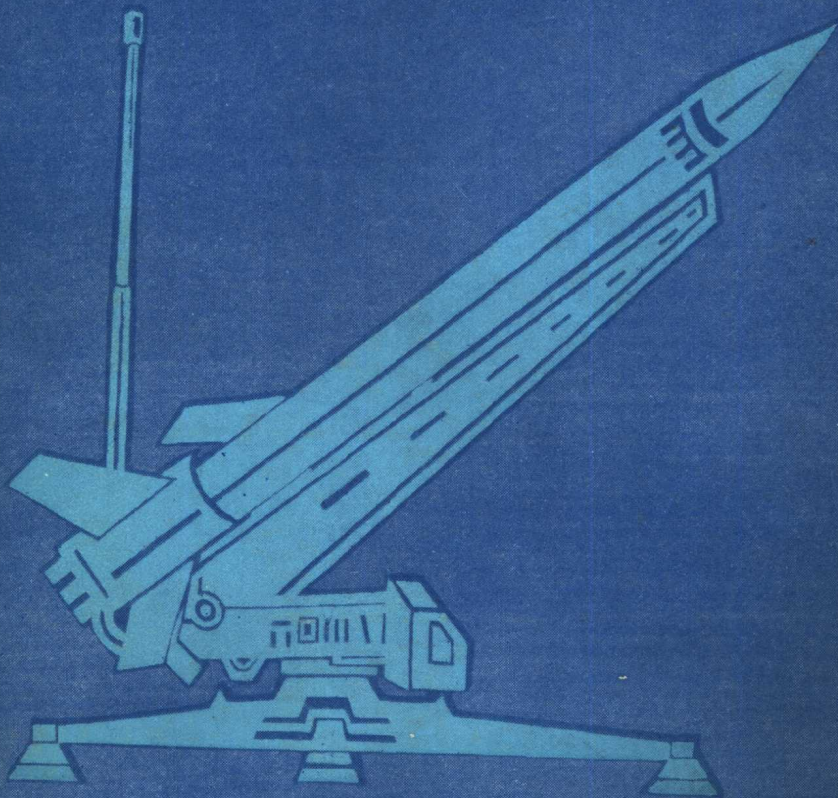


L319

3

3

无人驾驶飞行器



国防工业出版社

无人驾驶飞行器

[苏] И. С. 格鲁别夫 著
H. И. 柯洛特可夫
赵儒源 译

国防工业出版社

内 容 简 介

本书概要地叙述了无人驾驶飞行器空气动力学、飞行力学的基本知识和计算。简明地介绍了飞行器结构和设计、反作用发动机装置和工作原理、控制系统、战斗部、地面设备以及导弹作战效率估算方法等。

本书为航空院校自动控制、发动机、无线电设备等专业的教科书。可供航空院校有关专业师生及从事航空工业的技术人员参考。

БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППРАТЫ

И. С. Голубев, Н. И. Колотков

Издательство «Машиностроение» 1967

*

无 人 驾 驶 飞 行 器

[苏] И. С. 格鲁别夫、Н. И. 柯洛特可夫 著

赵 儒 源 译

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

上海商务印刷厂排版 国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168 1/32 印张 14 366 千字

1978 年 5 月第一版 1978 年 5 月第一次印刷 印数: 0,001—5,500 册

统一书号: 15034·1673 定价: 1.75 元

前 言

现代,自动导引的飞行器是一个技术非常复杂的集合体,因此研制这样一种飞行器的必要条件是从事各种科学和技术领域的科研人员与工程技术人员进行紧密的、创造性的合作。为此,各自必须要拥有一定的与他本身专业相邻近的各种专业知识。例如,一个工程技术人员如果没有航空与火箭发动机、自动学和无线电技术这些方面足够的知识就不能进行飞行器结构的设计。同样,从事自动控制工作的工程技术人员必须要具备空气动力学、飞行器动力学特性、飞行器结构和发动机特性等方面足够的知识。

当然,这方面的高等学院在其人员的技术培养上必须考虑到要把一个基本专业与其相邻近的科学的和技术的领域连接起来。要这样做,就需要设立一门专门课程,通过这门课程学生可获得包括全部飞行器技术在内的基本知识。

这本书就是这样一门课程的教课书,它适合于反作用发动机、自动控制和飞行器无线电设备专业的学生。

本书第一章讨论了飞行器空气动力学原理、作用在飞行器上的空气动力与力矩、这些力与力矩和运动学参数之间的关系,这些关系式而后在第二章中用于飞行器运动方程的线性化。在第一章中,除了着重讨论了超音速飞行器空气动力学外,还讨论了高超音速和稀薄气体情况下飞行器空气动力学的特点。

第二章讨论了飞行器控制方法和产生控制力与控制力矩的各种途径,并对飞行器外形进行了简单分析。给出了运动方程、简化这些方程与进行重心运动弹道计算的方法以及飞行器的机动性。所有这些内容对于诸如飞行的自动控制理论、自动学原理等专门学科的研究都是必不可少的。

第五章是本书的主要章节之一。在这一章中讨论了假设的和

国外的飞机和无人驾驶飞行器的设计。在作者看来，上述专业的任何一个学生或者工程技术人员对飞行器的结构（其所设计的设备要在这上面安装）一定要具有一个良好的概念，一定要知道飞行器的尺寸与形状对其设计的设备所提出的特殊要求以及所承受的载荷。

第三章简短地研讨了飞行器控制系统的组成、设备与工作原理并叙述了飞行器的地面设备。

第四章向读者介绍了反作用发动机。第六章向读者介绍了导弹的战斗部。在第七章中结合前面几章的内容简单叙述了各种无人驾驶飞行器，包括弹道式导弹与宇宙飞行器、防空导弹、反弹道导弹、空对空导弹和飞航式导弹。

第八章专门讲了导弹的作战效率。

本书系根据苏联与国外公开出版物及飞行器技术资料写成的。有关发动机、燃料、战斗部、导引系统、特种设备的任务与应用以及所引用的实例都是取自于国外的文献。

目 录

绪言	1
第一章 空气动力学	12
§ 1 空气的物理特性	15
1.1 空气的基本参数	15
1.2 标准大气	17
§ 2 流体与气体运动的基本定律	18
2.1 质量守恒方程(连续方程)	19
2.2 伯努利方程	20
2.3 马赫数	25
2.4 空气流动速度与流管截面积之间的关系式 临界音速	27
2.5 扰动在空气介质中的传播速度	29
2.6 小扰动的传播	30
2.7 亚音速气流与超音速气流流经物体的特性压缩激波	31
2.8 临界马赫数	34
2.9 超音速气流绕凸角与凹角的流动	35
§ 3 空气动力与空气动力力矩 空气动力系数	37
§ 4 升力	41
4.1 弹翼的升力	41
4.2 弹体(飞机机身)的升力	46
4.3 弹翼-弹体组合体的升力	47
4.4 尾翼的升力	48
4.5 整个飞行器的升力	50
4.6 侧力	51
§ 5 阻力	52
5.1 摩擦阻力	52
5.2 底部阻力	54
5.3 波阻力	56
5.4 诱导阻力	58
5.5 整个飞行器的阻力	61
5.6 飞行器的极曲线 气动效率(升阻比)	62
§ 6 俯仰力矩(纵向力矩)	63

6.1	$\omega_z = \dot{\alpha} = \dot{\delta} = 0$ 时的俯仰力矩	65
6.2	纵向静稳定性	66
6.3	静稳定性与焦点位置以及飞行器重心位置之间的关系	68
6.4	飞行器绕 Oz_1 轴转动时引起的俯仰力矩	70
6.5	定态飞行状态中的纵向平衡	72
6.6	飞行器非定态飞行时的附加俯仰力矩	73
6.7	俯仰力矩的一般表达式	75
§ 7	偏航力矩	75
§ 8	滚转力矩	77
8.1	飞行器侧滑所引起的滚转力矩	78
8.2	弹翼与尾翼的相互影响所引起的滚转力矩	80
8.3	横向静稳定性	81
8.4	飞行器滚动所引起的滚转力矩	82
8.5	滚转操纵元件	84
8.6	方向舵偏转所产生的滚转力矩	84
8.7	滚转力矩的一般表达式	85
§ 9'	铰链力矩与操纵面的气动补偿	85
§ 10	高超音速空气动力学与稀薄气体空气动力学的特点	87
10.1	特高马赫数下气体绕物体流动的特性	87
10.2	稀薄气体流动的特点	93
§ 11	飞行器的气动加热	97
11.1	恢复温度	97
11.2	傅里叶方程	99
11.3	牛顿传热定律	99
11.4	降低热流量的方法	102
	第一章 参考文献	102
	第二章 飞行动力学	103
§ 1	控制力与控制力矩	103
§ 2	产生法向控制力的方法	106
§ 3	控制力矩产生的方法	109
§ 4	有翼飞行器气动外形的特征与分类	115
4.1	弹翼为平面布局的飞行器	115
4.2	弹翼为空间布局的飞行器	117
4.3	活动升力面与固定升力面之间的相互配置	119
4.4	横向(滚转)操纵与稳定	124
§ 5	飞行器的运动方程	126

5.1	坐标轴系统	126
5.2	建立运动方程的原则	127
5.3	运动学方程	129
5.4	动力学方程	137
5.5	地球曲率对飞行器运动的影响	139
5.6	飞行器的运动方程组	140
5.7	控制系统加到飞行器运动上的约束	143
§ 6	飞行器运动方程的简化形式	146
§ 7	用分类法简化飞行器重心运动方程的研究	149
§ 8	飞行器的机动性能	151
8.1	作用在飞行器上的过载	151
8.2	过载与弹道的运动学参数之间的关系	153
8.3	法向过载与攻角、侧滑角以及操纵元件偏转角的关系	157
8.4	需用过载与可用过载	158
§ 9	方案飞行的弹道计算	159
9.1	按给定俯仰角或攻角的飞行	160
9.2	按给定过载的飞行	162
9.3	按给定弹道倾角的飞行	163
§ 10	导引弹道的计算	164
10.1	导引弹道的运动学研究	165
10.2	导引方法	166
10.3	导引弹道的计算	177
§ 11	飞行器扰动运动方程	179
11.1	运动方程的线性化	179
11.2	扰动运动分解为纵向和侧向扰动运动	185
11.3	动力系数	187
11.4	线性方程组(2.159)解的简述	190
第二章 参考文献		191
第三章 飞行控制系统和地面设备		192
§ 1	控制系统的分类	192
§ 2	自主控制系统	193
2.1	测量装置	193
2.2	陀螺仪系统	199
2.3	惯性系统	200
2.4	天文导航系统	201
2.5	多普勒系统	202
2.6	复合系统	203

§ 3 遥控系统	204
3.1 用导线传输指令的目视系统	204
3.2 用无线电传输指令的目视系统	205
3.3 电视系统	205
3.4 用雷达对目标与飞行器进行跟踪的自动指令系统	206
3.5 无线电波束控制系统	209
3.6 双曲线无线电导航控制系统	210
§ 4 寻的系统	211
4.1 雷达自动导引头	213
4.2 热自动导引头	214
§ 5 复合控制系统	215
§ 6 控制系统的执行元件	216
§ 7 飞行器上所用的能源	222
§ 8 地面设备与发射装置	226
8.1 地面设备	226
8.2 发射装置	228
第三章 参考文献	232
第四章 反作用式发动机	233
§ 1 概述	233
1.1 反作用式发动机的分类	233
1.2 推力	235
1.3 发动机的比参数	238
. § 2 液体火箭发动机	239
2.1 推进剂	239
2.2 燃烧室	242
2.3 超音速喷管	242
2.4 推进剂输送系统	244
2.5 火箭发动机的高度特性	247
2.6 推力调节方法	249
§ 3 固体火箭发动机	251
3.1 固体推进剂	251
3.2 固体火箭发动机的构造	252
3.3 固体火箭发动机推力程序设计的方法	255
3.4 固液型火箭发动机	257
§ 4 喷气发动机	259
4.1 冲压式喷气发动机	259

4.2	火箭冲压发动机	263
4.3	涡轮喷气发动机	265
第四章	参考文献	268
第五章	无人驾驶飞行器的设计	269
§ 1	飞行器设计的一般特点	269
1.1	设计要求	269
1.2	结构材料	270
1.3	结构形式与加工方法	274
1.4	飞行器结构可分解成组合件、部件或舱段	278
1.5	结构强度计算的基本概念	282
§ 2	飞行器弹体	288
2.1	作用在弹体上的载荷	288
2.2	弹体各构件的作用	290
2.3	弹体的结构型式	294
2.4	弹体舱段的连接	298
2.5	推进剂箱	301
§ 3	承力面	306
3.1	作用在弹翼上的载荷	306
3.2	载荷的传递和弹翼构件的作用	308
3.3	弹翼的结构型式	311
3.4	弹翼与弹体的连接	322
§ 4	操纵机构	324
§ 5	刚度、气动弹性与结构的强迫振动	328
5.1	由蒙皮的局部挠曲引起阻力增加	329
5.2	结构变形引起载荷的重新分布	330
5.3	升力面的发散	332
5.4	效率降低与反逆	334
5.5	颤振	336
5.6	飞行器构件的强迫振动	340
§ 6	对结构因气动加热和辐射加热所进行的热保护	343
6.1	结构的热状态	343
6.2	结构在受热状态下的工作特性	347
6.3	减少结构有害热效应的办法	351
第五章	参考文献	359
第六章	战斗部和引信	360
§ 1	概述	360

§ 2 战斗部的作用原理和构造	361
2.1 爆破战斗部	361
2.2 穿甲战斗部	362
2.3 聚能战斗部	363
2.4 破片战斗部	364
§ 3 战斗部引信	365
3.1 战斗引信	366
3.2 时间引信	367
3.3 近炸引信	367
第六章 参考文献	371
第七章 几种无人驾驶飞行器的特性	372
§ 1 弹道式导弹	372
1.1 一般特性	372
1.2 射程与导弹主要参数之间的关系	373
1.3 弹道式导弹的组成	376
1.4 空中发射的弹道式导弹	379
§ 2 宇宙飞行器及其助推火箭	380
2.1 宇宙航行的一般知识	380
2.2 宇宙飞行器与助推火箭的特性	385
§ 3 防空导弹	391
§ 4 反弹道导弹	399
§ 5 空对空导弹	404
§ 6 飞航式导弹	406
第七章 参考文献	408
第八章 导弹作战效率的估算	409
§ 1 作战效率概述	409
§ 2 概率论的一些概念	411
§ 3 对付空中目标的导弹其战斗效率的估算	419
§ 4 对付地面(或海上)目标的导弹其战斗效率的估算	423
§ 5 采用触发引信的导弹对目标的杀伤概率	425
§ 6 采用近炸引信的导弹对目标的杀伤概率	428
§ 7 在估算战斗效率中对可靠性、敌方对抗措施和使用经济性的 考虑	431
第八章 参考文献	433
附录	434

绪 言

在我们这部著作中，无人驾驶飞行器指的是飞行器上没有乘员，而依靠飞行器上的设备或者从指挥站通过遥控进行自动导向，并能在大气层以内或宇宙空间飞行的一种飞行器。

第一批无人驾驶飞行器是以战术导弹的形式在第二次世界大战期间出现的。它们的出现是由于为了突破在战争末期增强了的防空力量的需要，也是由于为了提高武器对动的和小的目标的效率所做的尝试。此外，导弹的飞行通常不受气象条件的限制。这样，与轰炸机相比就扩大了它的使用范围。

由于弹道学、空气动力学、反作用式发动机理论、无线电技术和自动学这样一些科学和工程技术分支所取得的进展，其中特别重要的是对火箭设计与制造所作的研究，使制造无人驾驶飞行器的工作成为可能。

无人驾驶飞行器的运用需要一整套专门的装置和设备。无人驾驶飞行器与所有用于发射前准备、发射与飞行控制的设备构成了一个完整的系统，这个系统在本书中叫做导弹武器系统。用来进行发射前准备的是地面辅助设备。地面辅助设备包括导弹运输设备、装卸设备、对接设备、测试设备、场地维修设备、地面电源和给导弹加注推进剂、各种液体与气体的设备等。

导弹从发射装置上发射，发射装置可以安装在地面上也可以安装在某一运载器上，例如飞机、人造地球卫星、舰艇、履带运输车、坦克、铁路列车等等。发射装置必须能使导弹处于发射所需要的一定位置并最后发射导弹。此外，发射装置要装有导弹系统与其导引系统间的信号传输设备。

导弹武器系统最重要的部分是控制系统，通过此系统中的设备对导弹进行飞行控制、导向目标和引入给定轨道等。控制系统

可以全部安置在导弹上,也可以一部分安置在导弹上,另一部分则安置在指挥站(地面、舰只或飞机上),而从指挥站进行控制。

所有的飞行器都有一个用来装载有效载荷的舱段。供研究用的飞行器其有效载荷是科学仪器,军用飞行器的有效载荷是战斗部与引信,侦察用的飞行器其有效载荷是摄影装置,等等。飞行器的其余部分是用来运载有效载荷到达给定地点并保证其正确使用。

飞行器以预定速度飞越给定的距离,其所需要的推力由反作用式发动机与燃料系统所组成的动力装置产生。燃料的储备包含在燃料系统中。此外,燃料系统还包括将燃料输送给发动机的装置。飞行器的飞行速度和飞行高度的不同,其飞行条件亦不同。并且飞行条件还与飞行中的介质特性有关,即与飞行器是在大气中飞行还是在宇宙中飞行有关。然而,不管在什么样的空间飞行,所有的无人驾驶飞行器都有一个共同点,就是它们所采用的都是反作用式发动机。

反作用式发动机按其工作介质[⊖]的种类可以分成两大类:喷气发动机与火箭发动机。喷气发动机其工作介质主要成分是空气,而燃料燃烧生成物在工作介质中的相对数量不是很大的。喷气发动机的可用高度受到燃料燃烧时从空气中所能得到氧的数量限制。火箭发动机工作时不需要从空气中得到氧,所以它能在大气中或者在没有空气的外层空间中工作。这由于推进剂燃烧时所需要的氧已经包含在推进剂的组元中,故对火箭发动机来说工作介质仅仅是推进剂燃烧(或者说推进剂化学分解)的产物。

飞行器的运动特性与作用在上面的力的大小与方向有关。如果作用在飞行器上只是重力,则飞行器将沿着惯性弹道运动。为了控制飞行器的飞行,即按照所要求的规律去改变它的速度与飞行弹道,则除了重力之外,需要对导弹的重心施加另外一些力。这些力一般称为控制力。

就其性质上来说,控制力可以是空气动力(即翼面的升力)也

[⊖] 工作介质指的是这样一种媒介物或物质,当这种媒介物或物质被喷射时就产生反作用推力。

可以是反作用力(发动机推力)。要改变控制力的大小就需要有专门的装置——操纵元件。这些操纵元件(例如操纵面)最主要的作用是产生相对于重心的力矩,即控制力矩。在控制力矩的作用下,飞行器将相对于原来的飞行方向转动一定的角度,因而控制力的大小与方向也相应改变。当飞行器受到外界扰动时,为了保持原来所要求的角度位置(即为了飞行器的角稳定),控制力矩也是必需的。

产生控制力与控制力矩的方法,以及产生控制力与控制力矩的元件的相互位置决定于飞行器的外形。

飞行器在飞行过程中会向给定方向的任意一边偏移。为了消除这种偏移,就要不断地产生具有一定方向和大小的控制力。这就是说,要不断地测量飞行器的真实弹道与给定弹道之间的偏差,然后给出一个信号使操纵元件进行动作,这样一些任务由飞行控制系统来完成。控制系统有三种类型:自主控制、遥控和寻的制导。

为了供给飞行器控制系统和操纵元件的伺服传动装置所需要的能量,除了主要的动力装置之外,还需要在飞行器上安装弹上辅助能源。

根据飞行器的工作情况和需执行的具体任务,在飞行器上可以安装附加设备,例如对某些装置进行加热、通风或冷却的设备,飞行器的着陆或回收设备以及飞行器某一部分的分离机构等等。此外,每一个飞行器还必须安装有发射时与发射装置相连接的机构。

飞行器的弹体把其他各部分连接成为一个统一的结构并作为动力装置、推进剂系统、设备、战斗部等的一个护罩。为了减轻战斗部壳体、推进剂箱以及固体推进剂火箭发动机燃烧室的重量,可将它们与弹体结构合并成一体。弹体必须要有足够的强度,以便能承受住在高速情况下(这种高速常常伴有明显的气动加热或温差)进行机动飞行所产生的相当大的应力。此外,根据飞行器的运用情况和它所执行的任务,弹体还必须满足其他一些要求(气密性,

无线电透射性等)。

无人驾驶飞行器,特别是宇宙飞行器可达到很高的速度(8000米/秒或更高)。计算表明,要把飞行器加速到这样的速度需要大量的推进剂,这些推进剂的重量有时相当于火箭总重的90%,因此甚至对于很轻的有效载荷来说,火箭的发射重量最终也是巨大的。

K. 9. 齐奥尔科夫斯基指出,采用多级火箭可以大大减轻发射重量。在这种情况下,把整个火箭做成几级,每一级都有它自己的

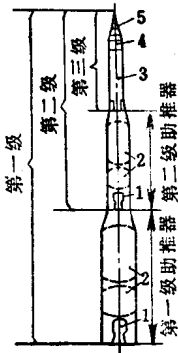


图1 三级火箭的图形

1—液体推进剂火箭发动机; 2—推进剂箱;
3—固体推进剂火箭发动机; 4—控制系统的设备; 5—有效载荷

的发动机和单独的推进剂系统。图1中所示的是一个三级火箭的图形。它靠第一级助推器起飞,当第一级助推器的推进剂烧完以后,第一级火箭的整个结构就脱落,第二级火箭开始工作。当第二级助推器中的推进剂燃烧完以后也脱落。第三级(里面装着有效载荷)就靠它本身的发动机完成以后的飞行。

这样,在逐次地扔掉每一个助推器之后,飞行器的重量就明显减小,并且飞行器再进一步加速到所要求的速度时所需要的能量消耗就可减少,从而需要的推进剂和推进剂系统的重量也就减轻。

从下表中通过一个特定的例子我们可看出,两级弹道式导弹的方案比单级弹道式导弹的方案在重量上要轻。

无人驾驶飞行器可以按照设计用途与执行的任务、控制系统的类型、发射位置等进行分类。

火箭的类型	射程(公里)	有效载荷(吨)	推进剂重量(吨)	结构重量(吨)	总的发射重量(吨)
单级	1,000	1	14	3	18
两级	1,000	1	5.42	1.08	7.5

本书中为了研究上的方便。采用了混合分类法，即考虑了设计用途和飞行原理，又根据其任务而且也根据“发射位置——目标位置”这个标准进行分类的。

图2示出的是按任务进行分类的主要几种无人驾驶飞行器的分类图。

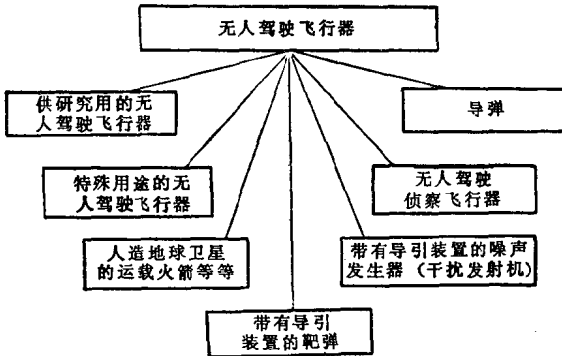


图2 无人驾驶飞行器按其任务进行的分类

为了对大气层与宇宙空间进行研究，广泛地运用了各种类型的供研究用的飞行器，其中包括气象火箭、人造地球卫星、自动行星探测器和宇宙飞船，以及进行空气动力学研究时使用的可控飞行器模型等。

通讯卫星(用于增加无线电和电视的传播距离)、气象卫星与导航卫星，以及产生雷雨云团与下雪云团的火箭等被列入特殊用途的飞行器这一类。将来，也可能将火箭用于运输。

运载火箭列入专门的一类。设计运载火箭的目的是为了将卫星轨道飞行导弹、卫星、自动行星探测器和宇宙飞船送入轨道。

下面四类是执行军事任务的无人驾驶飞行器。

导弹是运载供作战用的有效载荷的无人驾驶飞行器。导弹的设计是用于摧毁陆地、海上和空中目标。

为了侦察对方，亦可利用无人驾驶侦察飞行器，在此飞行器上携带了探测目标的专用仪器。这种侦察飞行器或者是有翼飞行器或者是人造地球卫星。

无人驾驶飞行器也可用来干扰对方飞行器的控制系统以及无线电设备与雷达装置。

最后，无人驾驶飞行器可广泛地用于供战斗训练用的可控靶机。

上面所列举的每一种中包括了根据不同的飞行原原进行飞行的飞行器。从这个观点出发，无人驾驶飞行器可分成两类。

有翼飞行器主要是通过升力面、弹翼所产生的空气动力去控制它的飞行。这类飞行器是在相当稠密的大气层中飞行的，并且在整个飞行期间通常要不断地进行控制。

无翼飞行器系通过反作用力进行飞行控制。弹道式飞行器与轨道式飞行器属于这种类型。弹道式飞行器除了开始一小部分弹道是用发动机推进的以外，其余部分是按照自由抛射体的规律几乎完全靠惯性飞行。前面一小部分弹道称为主动段。弹道式飞行器的飞行一般只在主动段进行控制。轨道飞行器(人造地球卫星、自动行星探测器、宇宙飞船)沿着相对于地球、其他行星或太阳的轨道飞行。这种飞行器由弹道式运载工具送上轨道，使飞行器的速

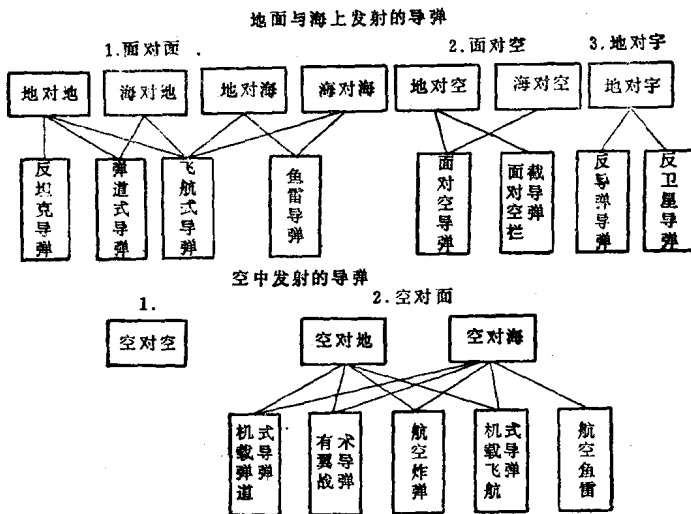


图3 导弹的分类表