

# 第一章 绪 论

推进装置又称发动机或引擎(motor/engine),应用于现代飞行器上的发动机主要指喷气发动机(jet engine),即高速喷出燃气获得推力或以燃气驱动涡轮输出做功的动力装置。

## 1.1 现代飞行器

地球表面被一层厚厚的大气包围,目前人类的飞行包括在地球大气层内(称为空气空间)的航空飞行和在大气层外(称为外层空间,宇宙空间,或太空)的航天飞行。飞行器(aerospace vehicle/flying machine)是指能离开地球表面在大气层内、外飞行的机器。

地球表面的大气可分为5层:对流层(海平面至11km)、平流层(11~32km)、中间层(32~80km)、电离层(80~400km)和外大气层(400km以上),如图1-1所示(中纬度地区)。

地球大气约有75%在对流层内,97%在平流层以下。平流层的外缘是航空器依靠空气支持飞行的最高限度。从严格的科学观点来说,空气空间和外层空间没有明确的界线,而是逐渐融合的。联合国和平利用外层空间委员会(COPUOS)科学和技术小组委员会指出,目前还不可能提出确切和持久的科学标准来划分空气空间和外层空间。近年来,趋向于认同国际航空联合会(FAI)定义的高度100km为空气空间和外层空间的界线,该界线常称为卡门线(Kármán line),以冯·卡门(Theodore von Kármán)的名字命名,该界线也是人造卫星离地面的最低高度。

飞行器种类繁多,按照飞行环境和工作原理的不同可以分为以下几类:①航空器;②航天器;③火箭导弹;④常规弹药等。其中应用于火箭导弹和常规弹药中的飞行器按任务的不同既可以在大气层内飞行,也可以在大气层外飞行。现代推进装置在上述各种飞行器中均得到了普遍的应用,与人们的工作和生活有着极为密切的关系。

### 1.1.1 航空器

航空器(aircraft)是在大气层内飞行的飞行器,依靠空气的静浮力或与空气发生相对运动时产生的空气动力升空飞行。航空器通常可分为轻于空气的航空器和重于空气的航空器两类,也可分为无动力航空器和有动力航空器两类,或有人驾驶航空器和无人驾驶航空器(无人机)两类。

轻于空气的航空器(又称浮空器,lighter-than-air aircraft)

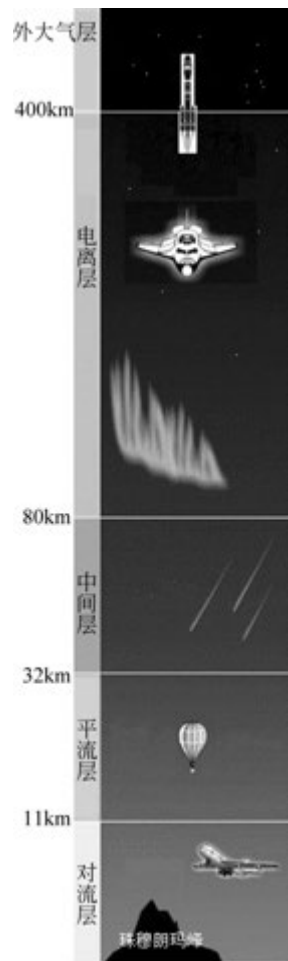


图1-1 地球表面的大气层

是指整体密度比空气低的航空器,靠充入密度小于空气的气体产生静浮力升空,主要包括气球和飞艇两类。气球是指无发动机驱动、靠气体浮力或由机载加热器产生的热空气浮力维持飞行的航空器,有充气气球(gas balloon)和热气球(hot air balloon)等类型;飞艇(airship)是具有动力驱动和操纵的航空器。

重于空气的航空器(heavier-than-air aircraft)是指整体密度比空气高的航空器,其升空飞行的升力通常通过机翼面与空气的相对运动产生,常分为固定翼航空器、旋翼航空器、扑翼机、倾转旋翼机等类型。

### 1. 固定翼航空器

固定翼航空器,或称定翼机(fixed-wing aeroplane),机翼相对机身固定不动,主要有固定翼飞机(通常简称为飞机)、地效飞行器和滑翔机等类型,如图 1-2 所示,其飞行升力主要由给定飞行条件下保持不变的机翼面上的空气动力反作用取得,因此在起飞时需要一定的滑行速度。飞机(aeroplane/airplane)是由固定翼产生升力,由推进装置产生推(拉)力的航空器。具有垂直起降功能的飞机其飞行升力也可以由发动机提供。



图 1-2 固定翼航空器

地效飞行器(ground effect vehicle)是装有固定翼面和发动机,利用贴近地面或水面飞行时翼面和地(水)面所产生的地面效应而贴近地(水)面飞行的飞行器,也称作翼地效应机。地效飞行器常在距离地(水)面高度 1~6m 飞行。当飞行器贴近地面或水面以一定速度飞行时,气流流过机翼后会向后下方流动,这时地面或水面将产生一股反作用力,当它在距离地面或水面小于或等于 50%翼展的高度上飞行时,升力会陡然增加,阻力减小,这种现象称为地面效应。一般在 15%翼展高度上飞行时地面效应最明显,升阻比可以提高 30%以上。

滑翔机(glider)通常无自身动力驱动,或者虽然有动力,但在自由飞行阶段不使用自身动力。自身带有动力的滑翔机称为动力滑翔机。

### 2. 旋翼航空器

与固定翼飞机相比,旋翼航空器(rotary-wing aircraft)在空中飞行的动力由一个或多个旋翼与空气进行相对运动产生的反作用获得,通常包括直升机(helicopter)和自转旋翼机[或称自旋翼机(autogyro/gyroplane),简称旋翼机(rotorcraft)]两种类型,如图 1-3 所示。

直升机和自转旋翼机在外形上很相似,它们头顶都有一副大直径的旋翼。两者最大的区别在于产生升力的方式不同。直升机的旋翼与发动机传动系统相连,既能产生升力,又能提供飞行的动力,可以实现垂直上升和悬停。自转旋翼机的旋翼不与发动机传动系统相连,在飞行过程中,由前方气流吹动旋翼旋转产生升力,因此必须具有前进的速度才能使旋翼自转以产生升力,而前进的速度通常是使用独立于旋翼系统的常规螺旋桨推动来实现的。在



图 1-3 旋翼航空器

飞行中,自转旋翼机同直升机最明显的区别是直升机的旋翼面向前倾斜,而自转旋翼机的旋翼则是向后倾斜的。自转旋翼机通常不能像直升机那样垂直上升和悬停,必须像飞机一样滑跑加速后才能起飞,但结构相对简单,安全性亦较好,常用于旅游或体育活动。

### 3. 扑翼机

扑翼机(ornithopter, orthopter)是通过像飞鸟或昆虫一样上下扑动自身翅膀而升空飞行的航空器,又称振翼机,如图 1-4 所示。扑翼机是一种仿生机械,机翼(扑动翼)形状有的形似鸟类翅膀,有的形似蝙蝠翅膀,有的形似昆虫翅膀。扑动翼能同时产生升力和推进力,涉及的知识非常复杂,其规律尚未被人类完全掌握。有实用价值的扑翼机至今仍在研制阶段,一般用于微型航空器。



图 1-4 扑翼机

### 4. 倾转旋翼机

倾转旋翼机(tiltrotor),是一种同时具有旋翼和固定翼,并在机翼两侧翼梢处安装有可在水平和垂直位置之间转动的可倾转旋翼系统的航空器。美国海军的 V-22“鱼鹰”(V-22 Osprey)倾转旋翼机是目前世界上唯一一款大规模装备使用的倾转旋翼机,如图 1-5 所示。倾转旋翼机在引擎旋转到垂直位置时相当于横列式直升机,可进行垂直起降、悬停、低速空中盘旋等直升机的飞行动作;而在引擎旋转至水平位置时相当于固定翼螺旋桨飞机,可实现比直升机更快的航速(常规旋翼机的最大飞行速度约为 400km/h,倾转旋翼机可达 638km/h)。以上特点使得倾转旋翼机兼具直升机和固定翼飞机的优点。



图 1-5 倾转旋翼机(美国 V-22“鱼鹰”)

航空器还可分为民用航空器和国家航空器两大类。民用航空器主要指民用的客机、货机和客货两用机等。国家航空器是指军队、警察和海关等使用的航空器。

民用航空器如图 1-6 所示,其中图 1-6(a)为目前世界上最大的空客 A380 客机。客机分为干线飞机、支线飞机和通用飞机。干线飞机(trunk aircraft)一般是指航行于洲际或大城市之间的载客量大、速度快、航程长的飞机,如波音 777、空客 A380 等。支线飞机(branch aircraft)是指座位数在 50~110 座、飞行距离在 600~1200km 的小型客机。支线运输是指城市之间短距离的非主航线运输,是干线运输的延伸与补充。图 1-2(a)所示为我国研制生产的 ARJ21 支线飞机,具有 70~90 座,采用涡轮风扇发动机。通用飞机(utility aircraft/general-purpose aircraft)是指除从事定期客运、货运等公共航空运输飞机之外的其他民用航空飞机的总称,包括从事工业、农业、林业、渔业、矿业、建筑业的作业飞行和医疗卫生、抢险救灾、气象探测、海洋监测、科学试验、遥感测绘、教育训练、文化体育、旅游观光等方面的飞行活动,种类、型号、数量繁多,占有民用飞机数量的 90%以上。



图 1-6 民用航空器

国家航空器中军队使用的航空器即军用飞机,主要包括作战飞机和作战支援飞机两大类,如图 1-7 所示。作战飞机包括歼击机、歼击轰炸机、强击机、轰炸机等。作战支援飞机包括反潜巡逻机、武装直升机、侦察机、预警机、电子对抗飞机、炮兵侦察校射飞机、军用运输机、空中加油机、教练机、验证机等。

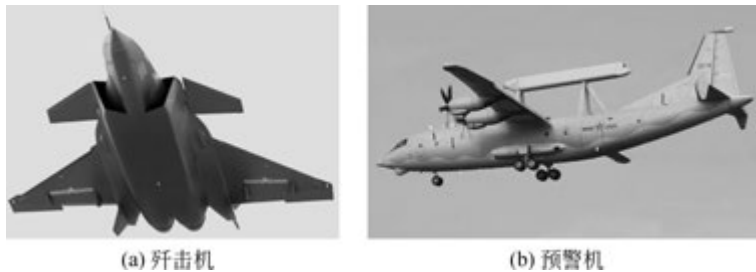


图 1-7 军用飞机

歼击机又称战斗机(fighter),用于在空中消灭敌机和其他飞航式兵器,夺取制空权。现代先进战斗机多配备各种搜索、瞄准火控设备,能全天候攻击所有空中目标。轰炸机(bomber)用于投放炸弹、鱼雷、核弹或发射空对地导弹攻击地面、水面或者水下目标。歼击轰炸机(fighterbomber)是主要用于突击敌战役战术纵深内的地面、水面目标,并具有空战能力的飞机。强击机(attack airplane)主要用于从低空、超低空突击敌战术或浅近战役纵深内的目标,直接支援地面部队作战,也被称为近距离空中支援飞机。飞机大量用于作战,使战争由平面发展到立体空间,对战略战术和军队的组成等产生了重大影响。

### 1.1.2 航天器

航天器(spacecraft)又称空间飞行器、太空飞行器,是在太空飞行,执行探索、开发、利用太空和天体等特定任务的各类飞行器。大部分航天器都在太阳系内运行。美国 1972 年 3 月 2 日发射的“先驱者 10 号”探测器,装有 11 台由放射性同位素钷 238 作燃料的微型热核发电机,重 260kg,携有标明人类信息的镀金铝板,在 1983 年 6 月越过冥王星的平均轨道,成为第一个飞出太阳系的航天器。

航天器可以分为无人航天器和载人航天器两大类,它们又可细分为军用、民用和军民两用三种类型。

#### 1. 无人航天器

无人航天器分为人造地球卫星、空间探测器和货运飞船,如图 1-8 所示。

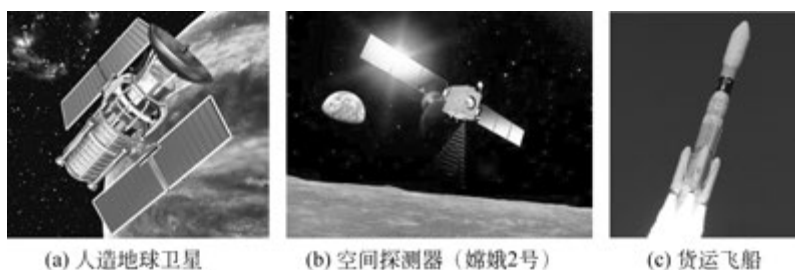


图 1-8 无人航天器

人造地球卫星,简称人造卫星(manmade satellite),是指环绕地球飞行并在空间轨道运行一圈以上的无人航天器,是发射数量最多、用途最广、发展最快的航天器。人造地球卫星分为科学卫星、技术试验卫星和应用卫星。科学卫星分为空间物理探测卫星和天文卫星;技术试验卫星是用于卫星工程技术和空间应用技术的原理性或工程性试验的人造地球卫星;应用卫星分为通信卫星、气象卫星、导航卫星、测地卫星、地球资源卫星、侦察卫星、预警卫星、海洋监视卫星、截击卫星和多用途卫星等。

空间探测器(space probe)又称深空探测器或宇宙探测器,是对月球和月球以远的天体和空间进行探测的无人航天器,分为月球探测器、行星及其卫星探测器、行星际探测器和小天体探测器。

货运飞船(cargo vessel)是一种专门运送货物到太空的一次性使用的航天器,主要任务是向空间站定期补给食品、货物、燃料和仪器设备等。

#### 2. 载人航天器

载人航天器分为载人飞船、空间站、航天飞机和空天飞机等,如图 1-9 所示。

载人飞船(manned spacecraft)又称宇宙飞船(space ship),是保障航天员在外层空间生活和工作以执行航天任务并返回地面的航天器。载人飞船可以独立进行航天活动,也可作为往返于地面和空间站之间的“渡船”,还能与空间站或其他航天器对接后进行联合飞行。载人飞船容积较小,受到所载消耗性物质数量的限制,不具备再补给的能力,而且不能重复使用。载人飞船通常由乘员返回舱、轨道舱、服务舱、对接舱和应急救生装置等组件组成,登月飞船还具有登月舱。

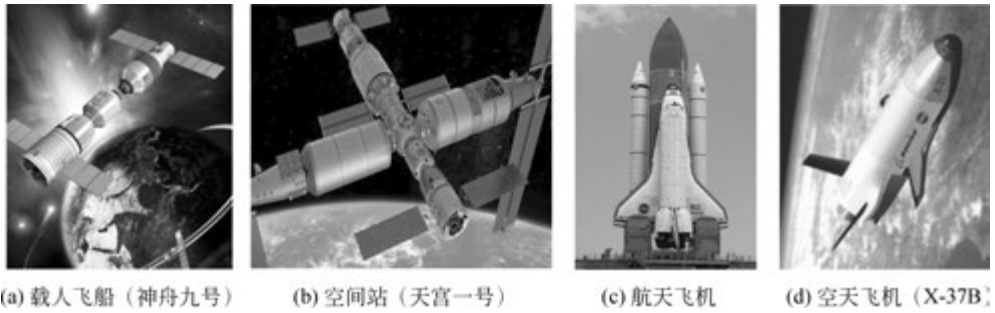


图 1-9 载人航天器

空间站(space station),又称航天站、太空站、轨道站,是一种在近地轨道长时间运行,可供多名航天员巡访、长期工作和生活的载人航天器。空间站的结构特点是体积较大,在轨飞行时间较长,功能多,能开展的太空科研项目也多。空间站的基本组成是以一个载人生活舱为主体,再加上不同用途的舱段,如工作实验舱、科学仪器舱等。空间站外部必须装有太阳能电池板和对接舱口,以保证站内电能供应和实现与其他航天器的对接。空间站分为单一式和组合式两种。单一式空间站可由航天运载器(如运载火箭)一次发射入轨;组合式空间站则由航天运载器分批将组件送入轨道,在太空组装而成。

航天飞机(space shuttle),又称为太空梭或太空穿梭机,是可重复使用、往返于太空和地面之间的航天器,结合了飞机与航天器的特点。它既能像运载火箭一样把人造卫星等航天器送入太空,也能像载人飞船一样在轨道上运行,还能像飞机一样在大气层中滑翔着陆。

空天飞机(space airplane)是既能航空又能航天的新型飞行器,是航天飞机普通化与普通飞机航天化的发展结果。它像普通飞机一样起飞,以超声速在大气层内飞行,在30~100km高空的飞行速度可达到12~25Ma,并可直接加速进入地球轨道,成为航天飞行器。返回大气层后,像飞机一样在机场着陆。与航天飞机的巨大成本相比,空天飞机是小型化的航天飞机,具有飞行速度快、滞空时间长、发射费用低等优点,还拥有强大的侦察和攻击潜力,可迅速到达全球任何目标的上空。例如,美国发展的空天飞机X-37B主要用于武器平台,采用了无人驾驶方案,也属于无人航天器。

航天器在天体引力场的作用下按天体力学的规律在空间运动,它的运动方式主要有两种:环绕地球轨道飞行(简称轨道飞行,orbital flight)和飞离地球在行星际空间航行(interplanetary flight)。环绕地球飞行的轨道是以地球为焦点之一的椭圆轨道或以地心为圆心的圆轨道。行星际空间航行轨道大多是以太阳为焦点之一的椭圆轨道的一部分。

相对于轨道飞行,还有亚轨道飞行或次轨道飞行(suborbital flight),是指在高度上临近或抵达外层空间但速度尚不足以完成环绕地球轨道的飞行。亚轨道飞行高度一般小于300km,但最大高度必须超过卡门线,即100km,广泛用于弹道导弹及太空旅游的轨道设计。亚轨道飞行器的飞行速度一般为5~15Ma。

航天器在太空飞行需要克服地球引力,必须获得足够大的速度。环绕地球轨道飞行的航天器,如人造地球卫星、卫星式载人飞船和空间站等,若要在预定高度的圆轨道上运行,则在地球表面的环绕速度需达到第一宇宙速度,即7.9km/s,高度越高,所需的环绕速度越小。航天器在空间某预定点脱离地球进入行星际航行必须达到的最小速度称为脱离速度或逃逸速度。

从地球表面发射飞离地球的脱离速度称为第二宇宙速度(11.2km/s),飞离太阳系的脱离速度称为第三宇宙速度(16.7km/s),飞离银河系的脱离速度称为第四宇宙速度(110~120km/s)。

### 1.1.3 火箭导弹

火箭(rocket)是以向后高速喷出气流产生的反作用力推动向前运动的喷气推进装置。它自身携带燃料与氧化剂,不依赖空气中的氧,既可在大气层内又可在外层空间飞行。火箭可作为快速远距离运输工具。用于运载航天器的火箭称为航天运载火箭(简称运载火箭),用于运载军用炸弹的火箭则称为火箭武器(无控制)或导弹(有控制)。一般将无控制的火箭武器归于常规弹药(在1.1.4节中讲述)。

#### 1. 运载火箭

运载火箭(carrier rocket/launch vehicle)是将卫星、飞船、空间站、空间探测器等有效载荷送入预定轨道的航天运输工具,一般由2~4级火箭组成。运载火箭是在导弹的基础上发展而来,主要结构包括箭体、推进系统和控制系统,这三部分也称为运载火箭的主系统,如图1-10所示。运载火箭末级有仪器舱,内含制导与控制系统、遥测系统和发射场安全系统;级与级之间靠级间段连接;有效载荷装在仪器舱的上面,外面套有整流罩。

运载能力是指火箭能送入预定轨道的有效载荷质量,是衡量一个国家运载火箭技术先进程度的重要指标。目前,俄罗斯、美国、中国、法国、日本、英国、印度等国家已研制成功多种具有大、中、小运载能力的火箭,如图1-11所示。运载能力最小的只能将重1.48kg的人造卫星送入近地轨道,最大的如战神五号(Ares-5)能将130t重的载荷送入近地轨道。目前世界上主要的运载火箭有战神、土星、德尔塔、宇宙神、阿丽亚娜、N-1、质子、长征(CZ)等系列。

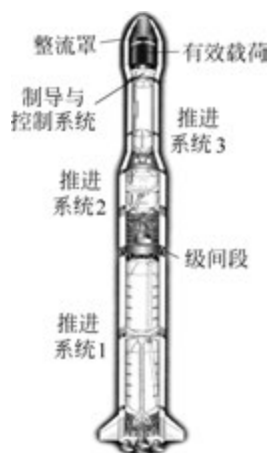


图 1-10 典型运载火箭结构

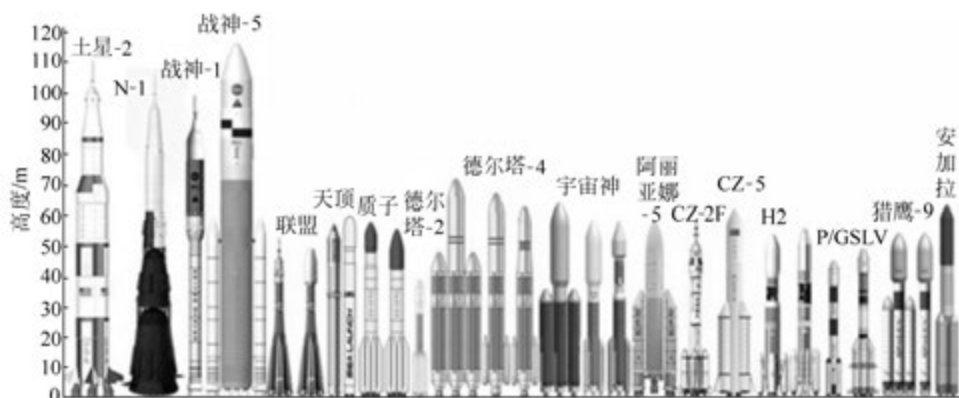


图 1-11 世界主要运载火箭举例

#### 2. 导弹

导弹(missile)是按指定规律控制飞行方向、姿态、高度和速度,引导战斗部准确攻击目

标的武器。导弹是武器领域的一个大家族,通常由战斗部(弹头)、弹体结构系统、推进系统和制导系统四部分组成。

导弹有多种分类方法。按攻击目标的类型可分为反坦克导弹、反舰导弹、反潜导弹、反飞机导弹、反弹道导弹、反卫星导弹等。按飞行弹道可分为弹道导弹和巡航导弹(或称飞航导弹)等。按作战使用可分为打击战略目标的战略导弹(一般射程大于 1000km)和打击战役战术目标的战术导弹(一般射程小于 1000km)。按制导方式可分为有线制导、惯性制导、指挥至瞄准线制导、激光制导、雷达制导、红外线制导、电视制导及复合制导等。按推进剂的物理状态可分为固体导弹和液体导弹。老式的战略、战术导弹多采用液体推进剂发动机,维护困难,机动性差,因此固体化是其改造的趋势。

导弹按攻击的目标性质又可分为对空和对面等类型。“面”是指地面(包括肩扛式/单兵式)或水面(包括潜艇)。按发射与攻击目标的位置又可细分为面对面导弹、面对空导弹(即防空导弹)、空对空导弹和空对面导弹四个类型。

### 1) 面对面导弹

面对面导弹(surface-to-surface missile)的发射与攻击目标都是在水面(包括潜艇)或是地面上,如从地面发射攻击地面目标的弹道导弹,从岸上发射攻击水面舰艇的岸舰导弹,从水下潜艇发射攻击地面目标的潜地导弹,从舰艇发射攻击水面舰艇的舰舰导弹,从舰艇发射攻击水下潜艇的舰潜导弹,从水下潜艇发射攻击水下潜艇的潜潜导弹,攻击坦克装甲车的反坦克导弹等,如图 1-12 所示。



图 1-12 面对面导弹

地地弹道导弹属于面对面导弹,它接近似抛物线的固定弹道飞行,具有较高的飞行高度和攻击速度,按射程远近可分为近程(小于 1000km)、中程(1000~5000km)、远程(5000~8000km)和洲际(8000km 以上)等类型。弹道导弹可以采用固定(如发射井)、公路移动、铁路移动、飞机、潜艇等发射方式。新型的弹道导弹还采用部分弹道机动和多弹头制导等技术来提高突防能力。

## 2) 面对空导弹(防空导弹)

面对空导弹(surface-to-air missile)泛指由陆上(包括肩扛式)或是舰上(潜艇上的非常少见)发射的对空导弹,即防空导弹(air-defense missile),主要包括地空导弹、舰空导弹和反弹道导弹,如图 1-13 所示。



图 1-13 面对空导弹(防空导弹)

地空导弹分为短程的点防御防空导弹、中长程的区域防空导弹与轻便的肩扛式防空导弹[图 1-13(d)]。舰空导弹主要用于保护舰船与舰队。

反弹道导弹(简称反导)主要用于击落弹道导弹,可使用核弹头,利用核爆炸强大的冲击波摧毁目标,并加大有效杀伤半径,以弥补高速飞行下过大的误差。目前反弹道导弹的发展趋势是使用没有核污染危险的传统弹头,以近距离爆炸的破片或是以直接撞击的方式击毁(动能杀伤)目标。按拦截距离,反弹道导弹分为初段(发射段,上升段)、中段(在大气层外)和末段(下降段)拦截三种类型。一般来说,初段速度低,拦截效果最好,中段次之。初段拦截目前只有美国进行了空载反导试验。中段在大气层外,目前只有美国、中国和俄罗斯进行了中段拦截试验。末段拦截因准备时间充足,导弹的各类信息收集齐全,其技术最为成熟,如 S-300、S-400、爱国者-3(PAC-3)等都属于末段拦截的反弹道导弹。

## 3) 空对空导弹

空对空导弹(air-to-air missile)是指所有装置都在飞行器上,攻击其他空中目标的导弹,简称空空导弹。图 1-14 所示为国产的 PL-8 空空导弹,属于第三代红



图 1-14 空空导弹(PL-8)

外近距离格斗型空空导弹。空空导弹与地空导弹相比,具有尺寸小、质量轻、反应快、机动性能好、使用灵活方便等特点;与航空机关炮相比,具有射程远、精度高、威力大的优点。

#### 4) 空对面导弹

空对面导弹(air-to-surface missile)是指从空中发射攻击地面或水面(包括水面下)目标的导弹,如空地导弹、反辐射导弹、空射反坦克导弹、空舰导弹、空潜导弹等。图 1-15 所示为我国的 C-802KD 空射型反舰导弹,被称为中国的“飞鱼”。



图 1-15 空地导弹(C-802KD)

需要注意的是,许多导弹可以采用不同的方式发射,或可以攻击不同的目标,具有多种性能。比如地面发射的巡航导弹,也可以空中发射。还有如击毁卫星的反卫星导弹,通常有地面发射和飞机发射两种。

### 3. 其他火箭及应用

火箭与人们生活密切相关的应用还有很多,如气象火箭、人工增雨火箭、火箭弹射座椅、消防火箭、航空用火箭起飞助推器、物体软着陆、火箭锚、拱泥器、火箭抛绳装置等。

气象火箭是探测高层大气物理特性及现象的火箭,探测范围主要在 30~100km(大于探空气球但小于卫星的高度)。探测方法多样:有的利用装在火箭上的感应气压、温度、湿度的仪器,测定高空气压、温度、湿度等参数;有的由火箭在空中弹出金属箔条、化学发光物质等示踪物,进行地面追踪,从而测定高空风及乱流等;还有的在高空对空气成分取样等。

人工增雨火箭如图 1-16 所示,一般采用碘化银(AgI)焰剂,产生含 AgI 的复合冰核气溶胶。通常每颗火箭弹携带的催化剂中含 10g 左右的 AgI。在射角为 85°时,最大射高超过 8km。常采用降落伞式安全着陆系统,减小火箭残骸的落地速度,无污染,使用维修简便。

火箭弹射座椅主要包括座椅结构、救生伞系统、弹射动力系统(火箭)、稳定系统、电子程控系统、飞行员约束和高速气流防护系统、弹射通道清除系统、水上救生装置以及飞行员生存营救设备等。图 1-17 所示为飞机坠毁前的弹射座椅和飞行员被弹出的瞬间。



图 1-16 人工增雨火箭

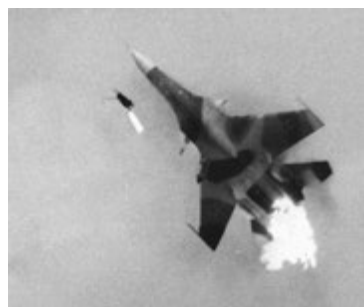


图 1-17 飞机坠毁前弹射座椅弹出

## 1.1.4 常规弹药

大部分武器弹药采用空中飞行的方式进行一定距离的投送来攻击敌方目标,这需要一定的推动力才能实现。炮弹的推动力来自炮膛的超高压气体,火箭弹的推动力来自火箭发