



西北工业大学

航天学院



航天概论

第二讲 导弹与火箭

航天学院

School of Astronautics



主要内容

- 1 导弹和火箭的基本概念
- 2 导弹分类和武器系统组成
- 3 大气飞行原理
- 4 导弹的飞行控制
- 5 导弹和火箭推进原理
- 6 运载火箭的组成和原理



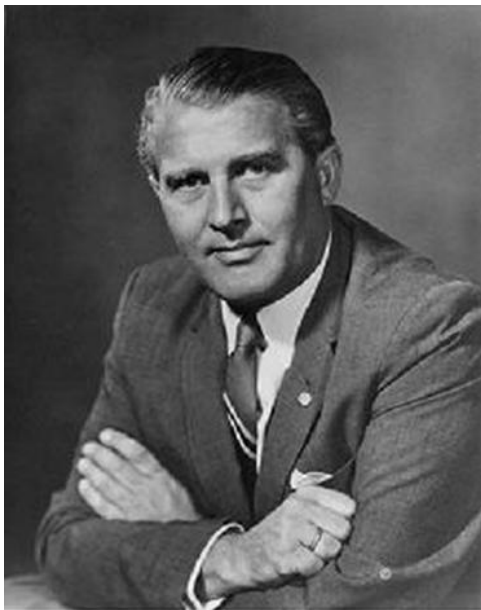
1. 导弹和火箭的基本概念

什么是导弹？

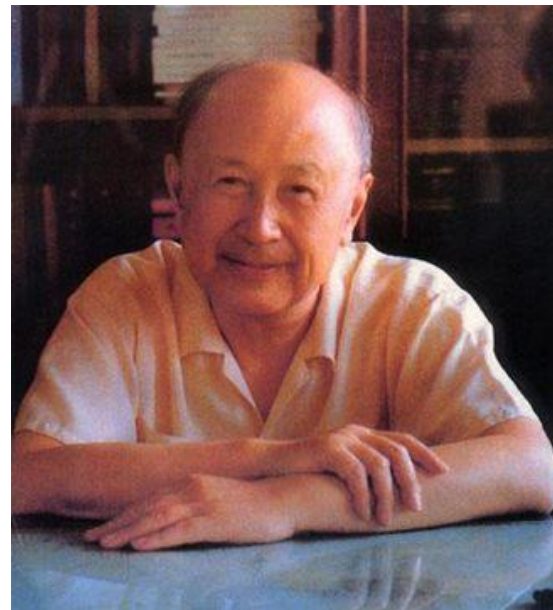
导弹是载有**战斗部**、依靠自身**动力**装置推进、由**控制**系统控制其飞行轨迹并导向目标的武器。

什么是火箭？

火箭是依靠**火箭发动机**喷射工质产生的反作用力向前推进的飞行器。



冯·布劳恩



中国导弹之父：钱学森



西北工业大学

航天学院



"Prandtl said he was glad the Americans had taken over German research and not the Russians." Prandtl, with H. S. Tsien and von Kármán. Göttingen, 1945.

Von Kármán and Tsien at interrogation of Adolf Busemann (in dark suit), famed German sweepback designer. Braunschweig, Germany, 1945.



School of Astronautics

NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY



导弹与火箭的区别？

□ 发动机类型

火箭必采用火箭发动机；
导弹可能装置火箭发动机、
空气喷气发动机或组合发动机等。

□ 有效载荷

导弹必带战斗部；
火箭用作武器时才带战斗部。

□ 制导系统

导弹必带制导系统
火箭可分为无控火箭、制导火箭

本讲下面将分别讲述**导弹**和**火箭**。



长征2F运载火箭



东风-5战略导弹



2. 导弹的分类和系统组成

(1) 导弹的常见分类——注意分类准则不同，有很多分类准则

- 按**作战用途**分：战略、战术
- 按**射程远近**分：近程、中程、远程、洲际
- 按**制导体制**分：指令、寻的、惯性、复合
- 按**飞行轨迹**分：飞航式、弹道式、混合式
- 按**发射时所在区域和被攻击目标所在区域**分：面面、面空、空面、空空
- 按**所攻击目标性质**分：防空、反坦克、反辐射、反舰、反导、反卫星



响尾蛇



标枪



飞毛腿



战斧

战术、空空、寻的

战术、面面、反坦克

弹道、近程、地地

飞航、战术、复合



(2) 典型导弹举例

反舰导弹 (Anti-ship Missile) 是指从舰艇、岸上或飞机上发射，攻击水面舰船的导弹。

- 常采用半穿甲爆破型战斗部；
- 固体火箭发动机为动力装置；
- 采用自主式制导、自控飞行，当导弹进入目标区，导引头自动搜索、捕捉和攻击目标。反舰导弹多次用于现代战争，在现代海战中发挥了重要作用。

战例：1982年6月12日在马岛战争中，阿根廷发射岸基**飞鱼 (MM - 38)** 反舰导弹击中英国格拉摩根号导弹驱逐舰，还用**机载飞鱼反舰导弹**，击沉英国谢菲尔德号导弹驱逐舰。



美国捕鲸叉反舰导弹



法国飞鱼反舰导弹



(2) 典型导弹举例

- ❑ **地空导弹**是指从地面发射攻击空中目标的导弹。又称防空导弹。它是组成地空导弹武器系统的核心。
- ❑ 与高炮相比，它射程远，射高大，单发命中率高；
- ❑ 与截击机相比，它反应速度快，火力猛，威力大，不受目标速度和高度限制。

战例： 1959年10月7日，我地空导弹部队用SA-2 导弹击落了在北京上空进行侦察飞行的台湾空军侦察机RB-57D，这成为世界上第一个用地空导弹击落飞机的战例。



SA-2防空导弹



爱国者防空导弹

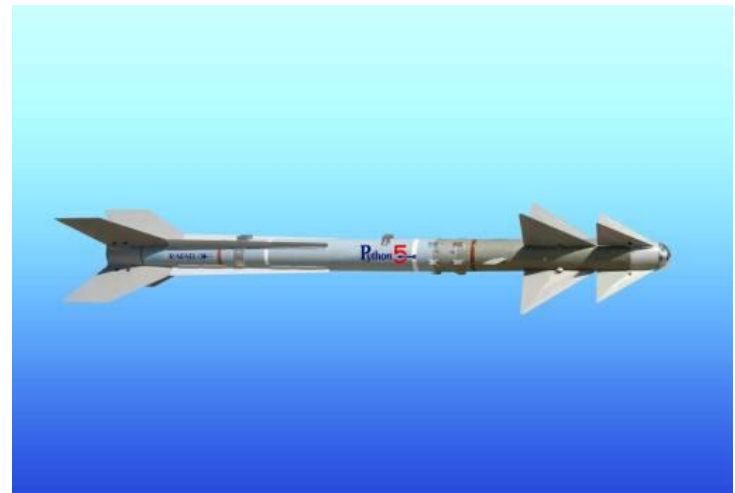


(2) 典型导弹举例

- **空空导弹**从飞行器上发射攻击空中目标的导弹。
- 歼击机的主要武器之一，也用作歼击轰炸机、强击机、直升机的空战武器。此外从理论上讲它也可以作为加油机、预警机等军用飞机的自卫武器。
- 空空导弹由制导装置、战斗部、引信、动力装置、弹体与弹翼等组成。它与机载火力控制、发射装置和测试设备等构成空空导弹武器系统。



AIM-120中距空空导弹

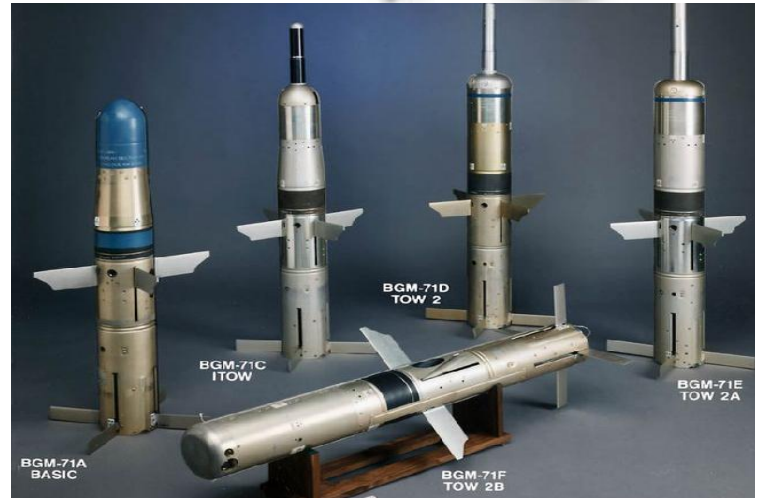


以色列的“怪蛇5”空空导弹



(2) 典型导弹举例

- **反坦克导弹**是用于击毁坦克和其它装甲目标的导弹，20世纪50年代中期由法国率先投入使用，继而在众多国家掀起研制高潮。其发展经历了三代，到现在已经成为最有效的反坦克武器。
- 反坦克导弹主要由战斗部、动力装置、弹上制导装置和弹体组成。战斗部通常采用空心装药聚能破甲型。



美国“陶”反坦克导弹

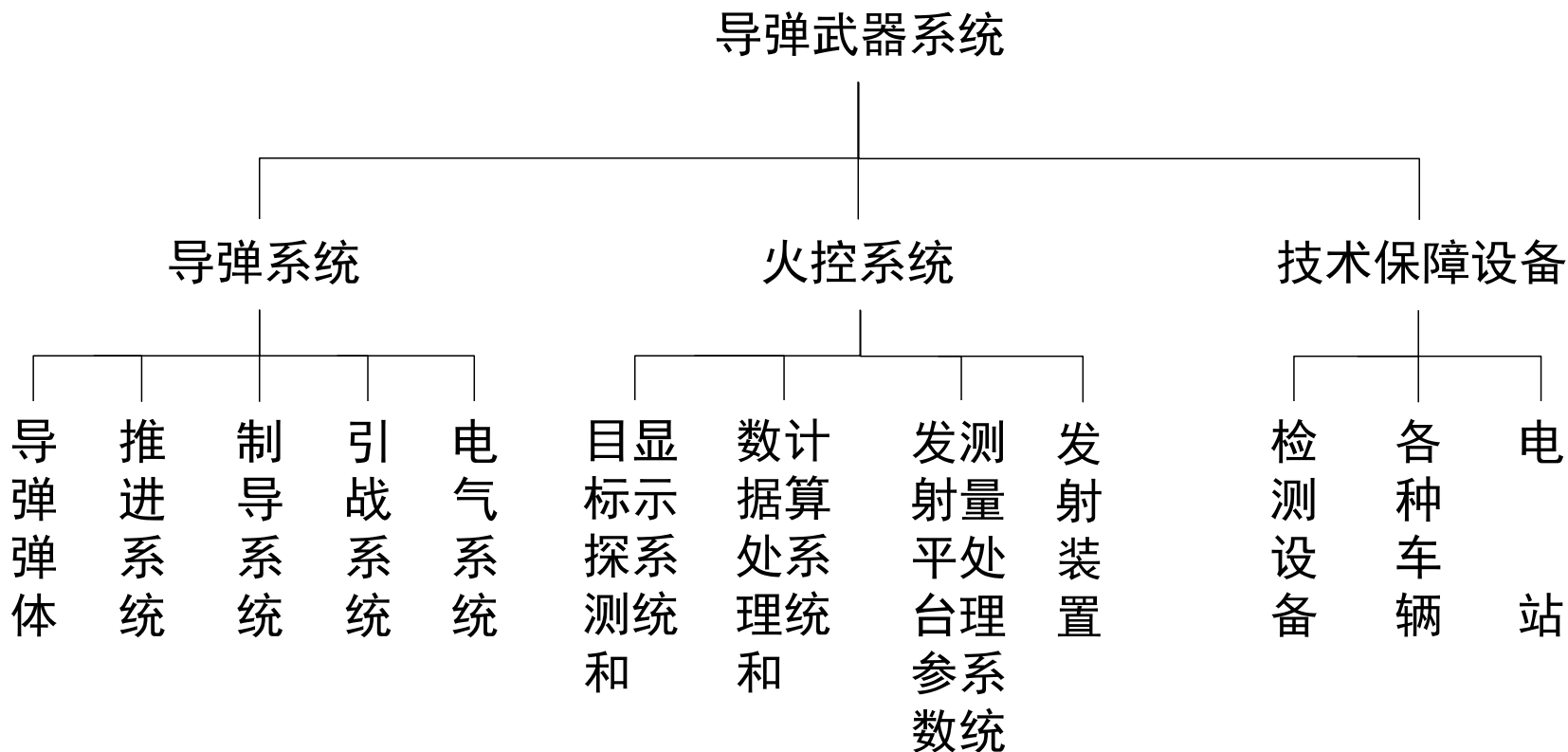


俄罗斯“短号”反坦克导弹



(3) 导弹武器系统

□ 导弹武器系统是导弹和与其配套的技术装备和设施的总称，包括：



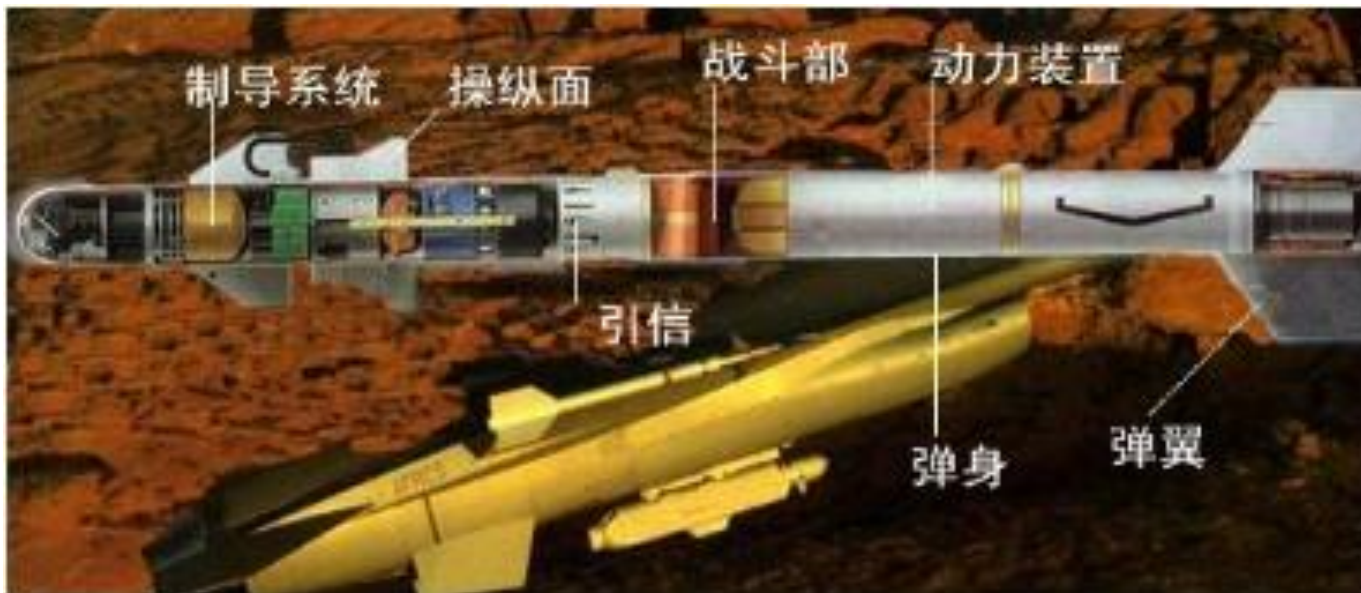
□ 三大系统，其中**导弹**是导弹武器系统的**核心**。



(3) 导弹武器系统

1) 导弹系统

由弹体、推进系统、制导系统、引战系统和电气能源系统五部分组成。
导弹在制导系统和推进系统的作用下在空中飞行，最后导向所攻击的目标；
引信引爆战斗部，用以摧毁目标。





(3) 导弹武器系统

2) 火控系统

全称火力指挥与控制工程，是控制射击武器自动实施瞄准与发射的装备的总称。

组成

1. 目标跟踪器
2. 火力控制计算机
3. 系统控制台
4. 射击控制仪
5. 接口设备
6. 必要的外围设备





(3) 导弹武器系统

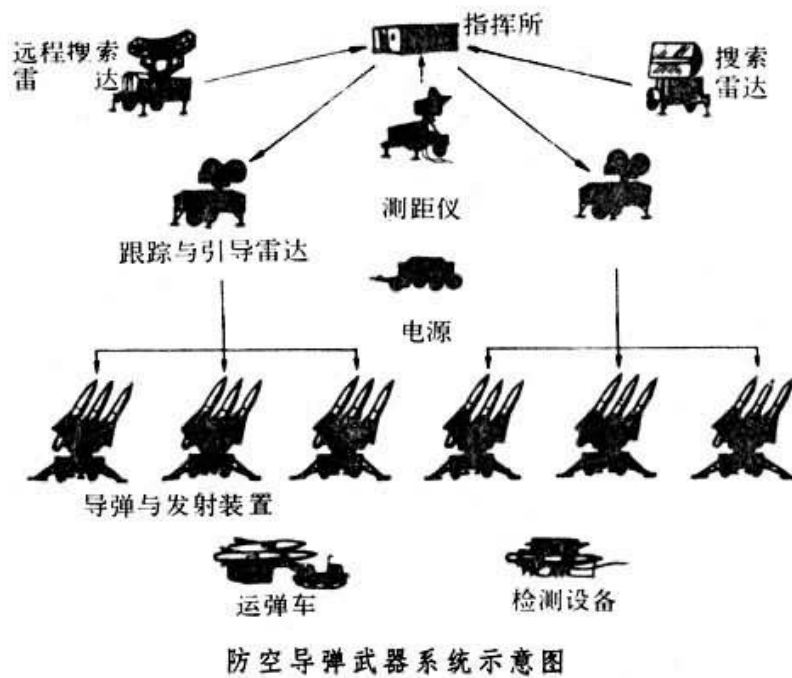
3) 技术保障设备

用于完成导弹起吊、运输、贮存、维护、检测、供电和技术准备，以保障导弹处于完好的技术状况和战斗待发状态。主要设备有：测试设备、吊车、技术阵地及仓库拖车、电源车、通信指挥车和其它配套工具。

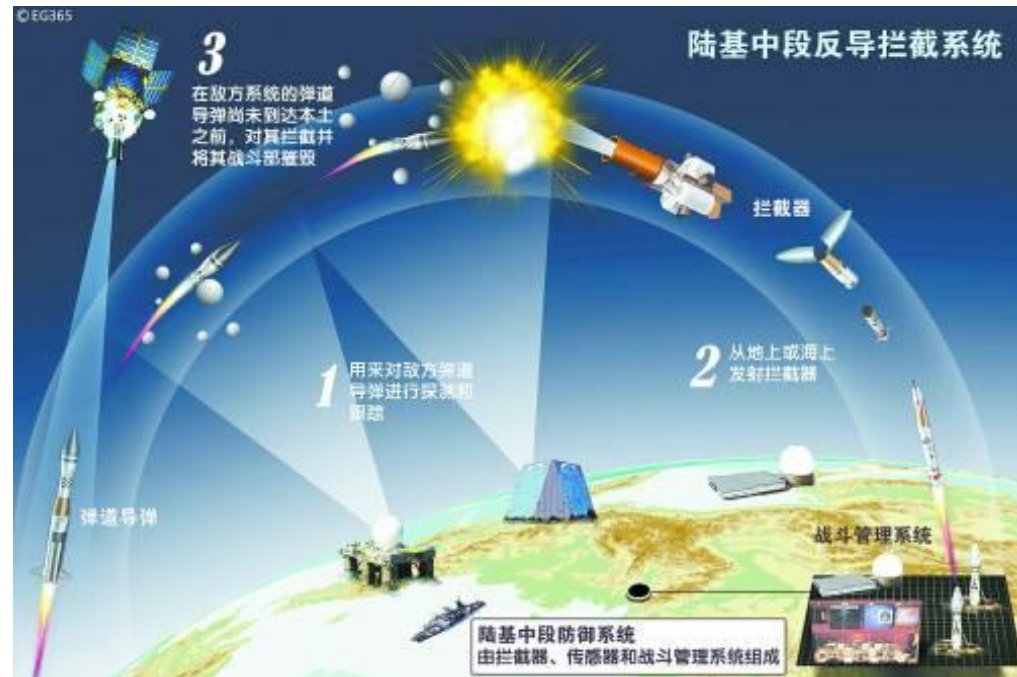




举例:防空导弹武器系统组成



举例:陆基中段反导拦截系统





(4) 导弹系统——引战系统

战斗部系统的任务是选择最有利的时机摧毁、破坏目标、杀伤有生力量，它是导弹的有效载荷，它的使用使得导弹有别于其它飞行器而成为武器。

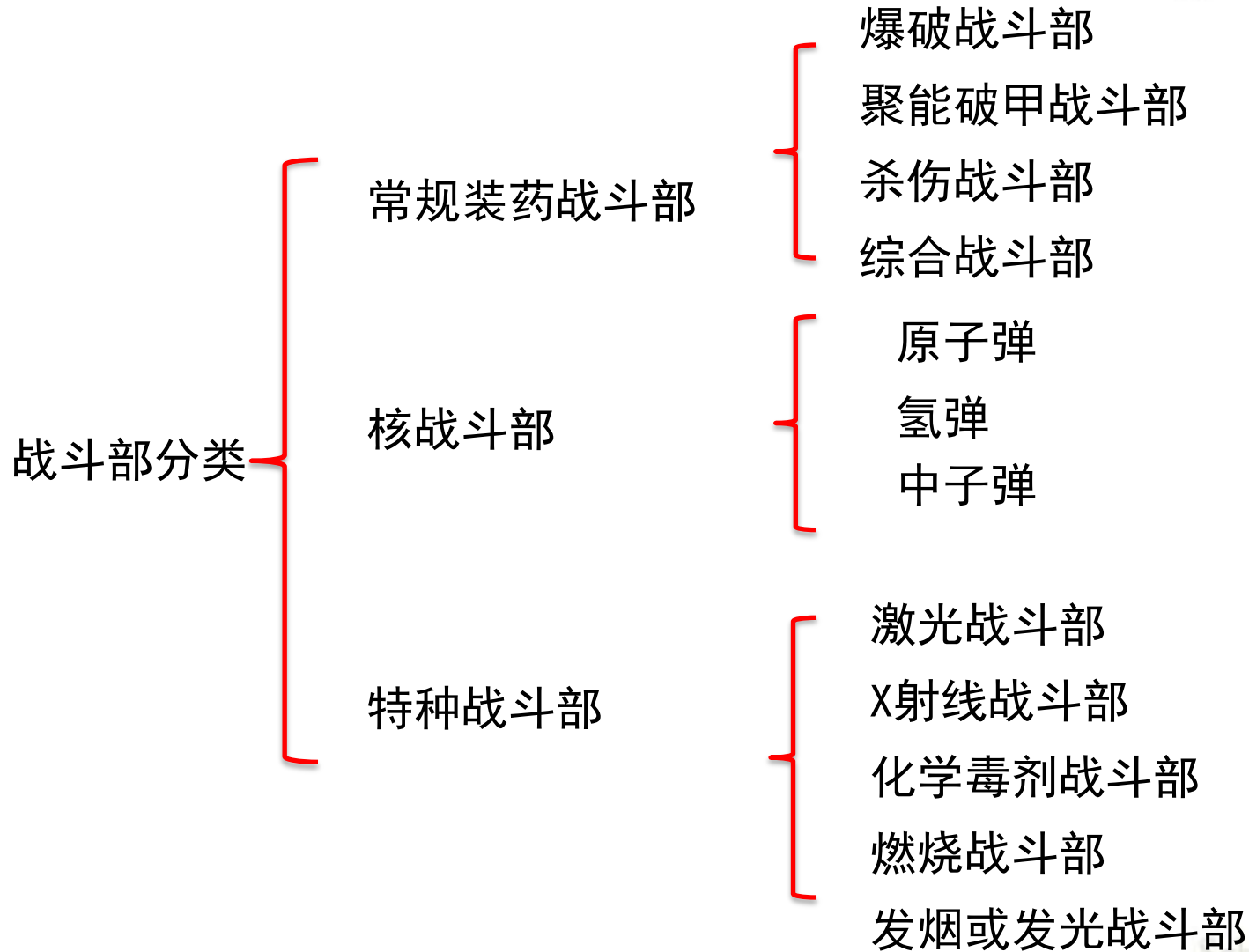
战斗部的组成：

- 战斗部：摧毁被攻击的目标
- 引信：适时地引爆战斗部
- 安全引爆装置
 - ◆ 保证导弹维护时战斗部的安全性
 - ◆ 保证引信可靠引爆战斗部





(4) 导弹系统——引战系统





(4) 导弹系统——引战系统

战斗部主要结构形式

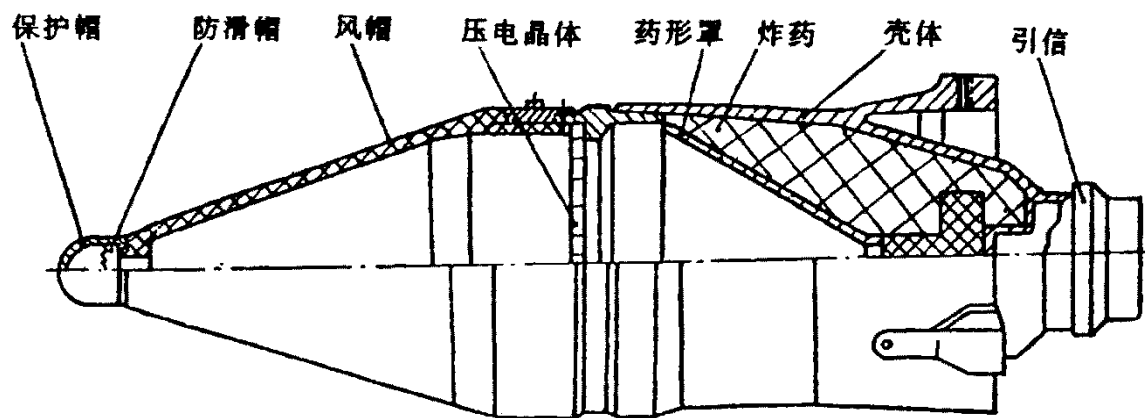


图 5.6 反坦克导弹聚能破甲战斗部结构图

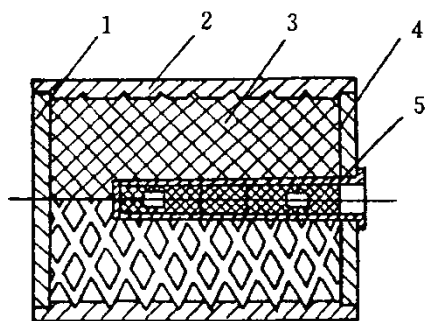


图 5.8 壳体内壁刻槽的预制破片杀伤战斗部

1—底;2—内壁刻槽壳体;3—梯 / 黑混合炸药;
4—盖;5—传爆管和药柱

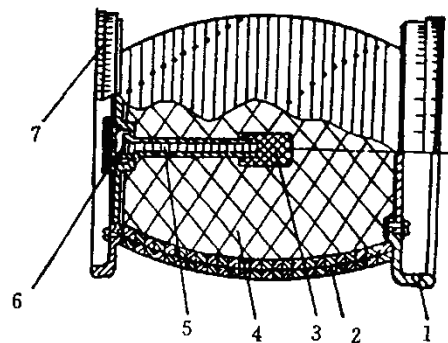


图 5.10 圈环叠加点焊式杀伤战斗部

1—后法蓝盘;2—壳体(52个圆环);3—传爆药柱;
4—炸药;5—传爆管;6—垫片;7—前法蓝盘

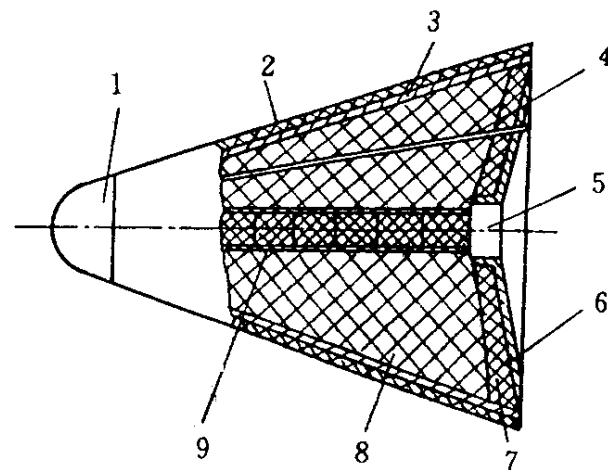


图 5.3 爆炸战斗部

1—弹头帽;2—外壳;3—壳体;4—电缆管;
5—底部引信孔;6—底板;7—梯恩梯炸药塞;
8—混合炸药;9—中央传爆管



(4) 导弹系统——引战系统

引信系统

确定引爆时机并引爆战斗部。

引信分类：

非触发引信——用于飞机、导弹等空中目标。由于这些目标小且机动性好，所以采用非触发引信。

触发引信——使用爆破战斗部和聚能破甲战斗部的导弹多采用触发式引信。

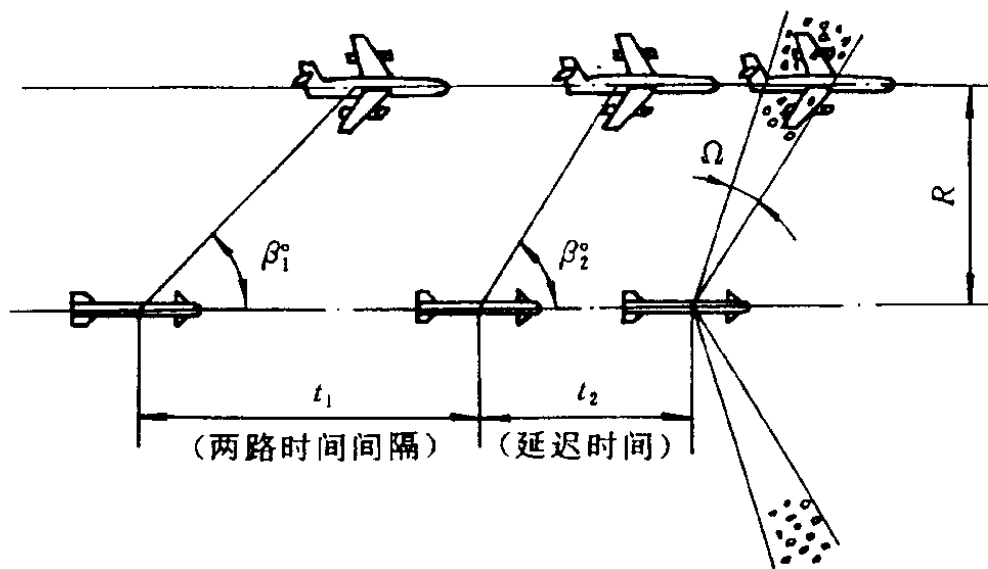


图 5.20 光学引信工作起爆示意图



3. 大气飞行原理

(1) 空气动力学基本概念

□ 什么是马赫数？

◆ **声速**：声波在介质中传播的速度称为音速。大气音速约为341米/秒。

◆ **马赫数**：流场中某点的速度 V 与该点的音速 a 之比称为马赫数，即

$$Ma = V/a$$

Ma 是气体压缩性对流动影响的一个度量。

大约 Ma 大于等于0.3起，就不能忽略气体压缩性的影响。



低速流
 $Ma < 0.3$



亚音速
 $Ma < 1$



跨音速
 $Ma \sim 1$



超音速
 $Ma > 1$

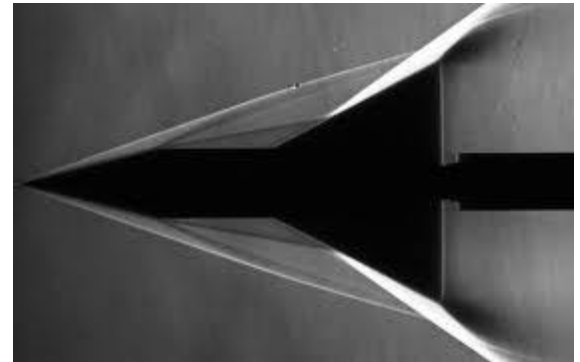
高超音速
 $Ma > 5$



(1) 空气动力学基本概念

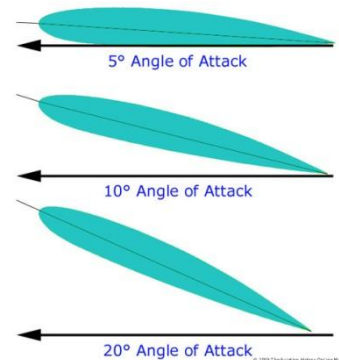
□ 什么是激波？

- ◆ 激波是运动气体中的强压缩波，它是物理量突变的空间不连续面。
- ◆ 超音速气体受到压缩时，一般产生激波。



□ 什么是攻角？

- ◆ 攻角又称迎角。导弹速度向量在导弹纵向对称面的投影，与导弹纵轴或翼弦之间的夹角。
- ◆ 当导弹抬头时为正，反之为负。
- ◆ 攻角是确定导弹在气流中姿态的重要参数。



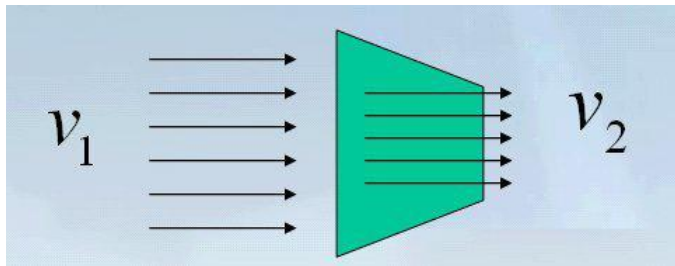


3. 大气飞行原理

(1) 空气动力学基本概念

◆ 连续性定理

单位时间内，流过变截面管道中任意截面处的气体质量都相等。



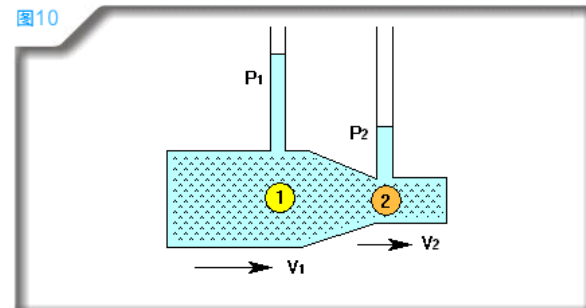
$$\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2 = \rho_3 v_3 A_3 = \text{常数}$$

◆ 伯努利方程

在管道中稳定流动的不可压缩理想流体，在管道各处的流体动压和静压之和保持不变。

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 = \text{常数}$$

图10

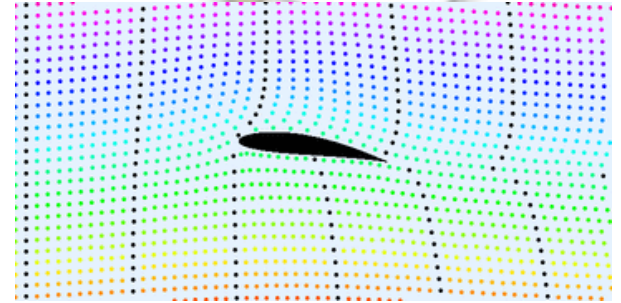




(1) 空气动力学基本概念

□ 什么是升力？

- ◆ 导弹与空气有相对运动时，空气动力在导弹纵向对称面，垂直于飞行速度方向的分力。
- ◆ 主要用于平衡导弹的重力和进行机动飞行。



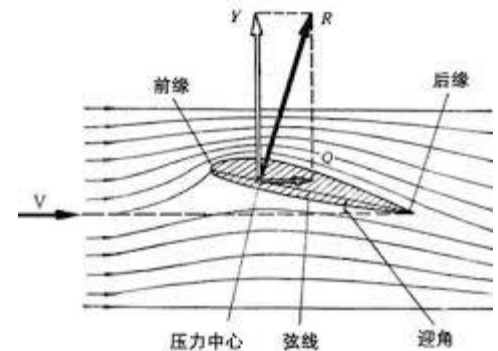
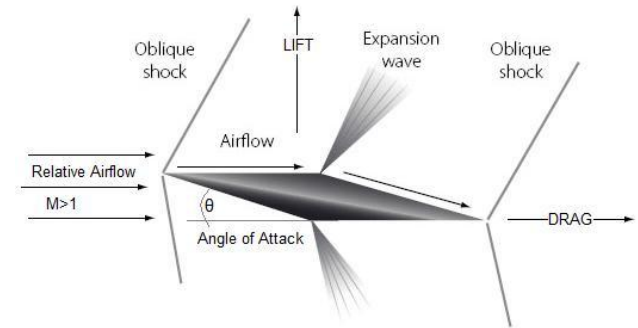
气流流经翼型时，上、下翼面流速不同。

◆ 为什么会形成升力？

亚音速时，上翼面（流线密集）流速大，压强小；超音速时，下翼面激波强度大，压强高；

□ 什么是阻力？

- ◆ 导弹与空气有相对运动时，空气动力在导弹飞行速度方向上的分力，指向飞行速度相反方向。
- ◆ 阻力是飞行过程中的阻碍力。
- ◆ 阻力可分为：摩擦阻力、压差阻力（含激波阻力、粘性压差阻力和诱导阻力）

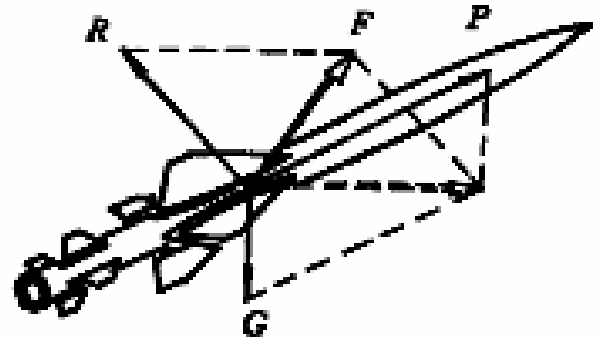


Y 升力 R 总空气动力 Q 阻力



(2) 飞行时所受的各种力

- ◆ 力是使物体产生运动的原因。
- ◆ 导弹的飞行轨迹（弹道）也是由作用在导弹上的外力所决定的。作用力的大小、方向不同，导弹的弹道也就不同。

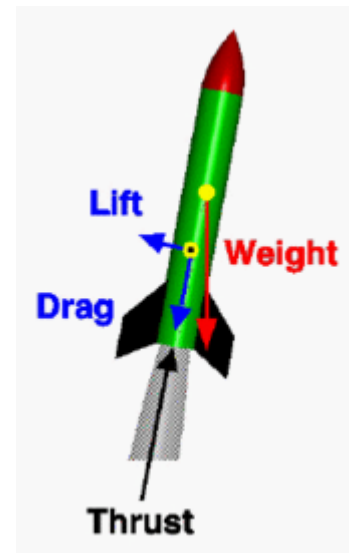


$$F = ma$$

$$M = J\omega$$

□ 导弹在飞行中所受到的力主要有：

- ◆ 发动机推力P：作用方向同喷出的燃气流方向相反。
- ◆ 空气动力R：可以归结为作用于压心的合力。
- ◆ 重力G：指向地心





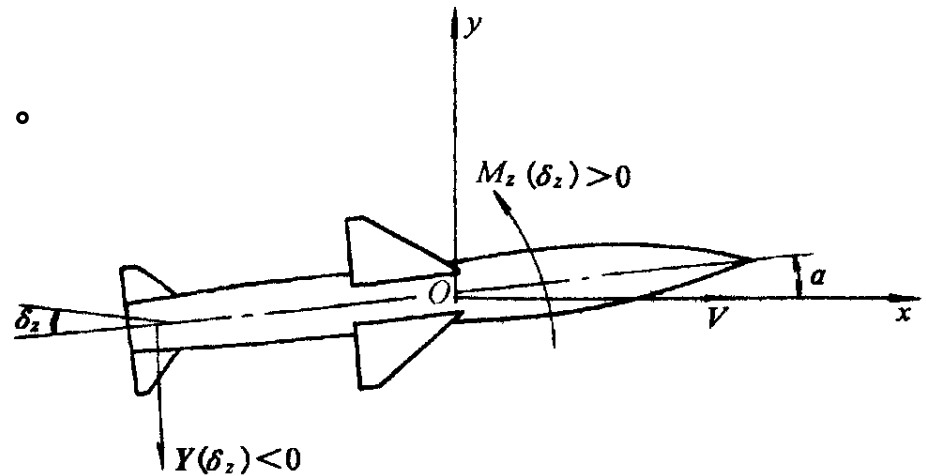
(3) 实现有控制飞行的方法

□ 什么是控制飞行？

◆ 为了完成飞行任务而改变导弹飞行速度的大小和方向，这种飞行称为控制飞行

有翼导弹：主要靠空气动力产生控制力。为了实现导弹相对质心的运动，必须对导弹施加适当的相对质心的矩，这种力矩称为操纵力矩。用来产生操纵力矩的元件称为操纵元件。

弹道导弹：主要靠发动机产生控制力
(固体和液体发动机的区别)。



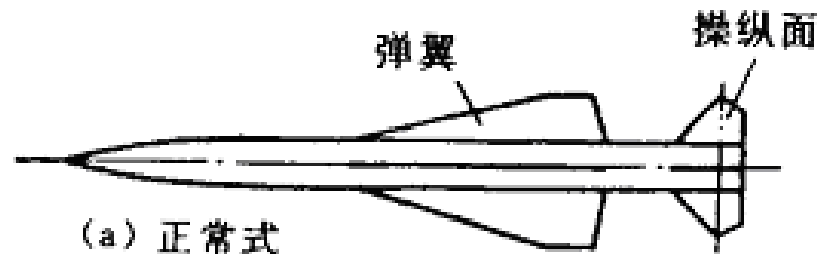
用空气动力来控制飞行的示意图



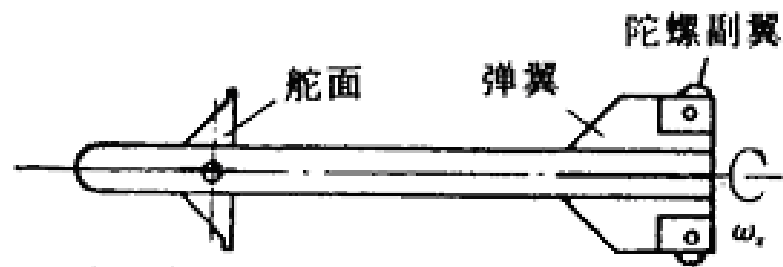
(4) 导弹的气动外形

有翼导弹常见气动外形

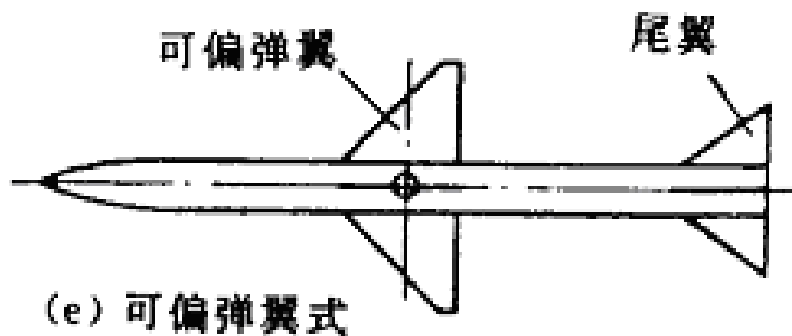
- 正常式布局
- 鸭式布局（大迎角飞行操控）
- 旋转弹翼布局
- 无尾布局（减阻，高空高速性能好）



(a) 正常式



(b) 鸭式(带陀螺副翼)



(e) 可偏弹翼式

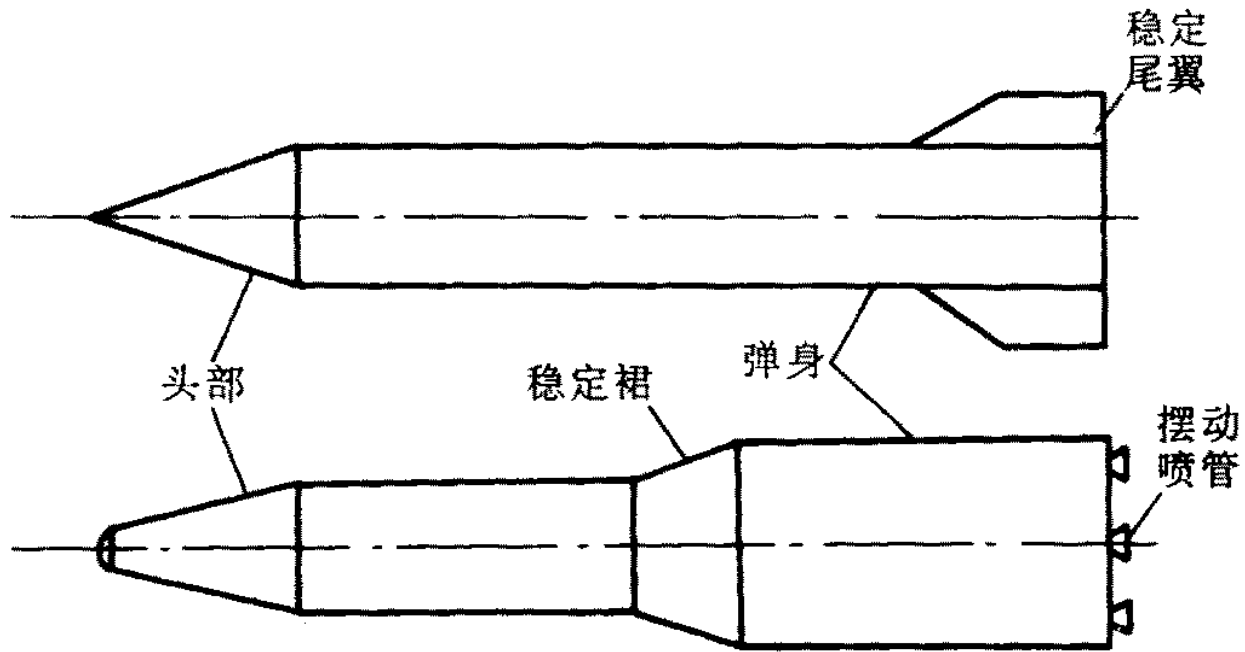


(f) 无尾式(带副翼-舵)



(4) 导弹的气动外形

弹道导弹气动外形



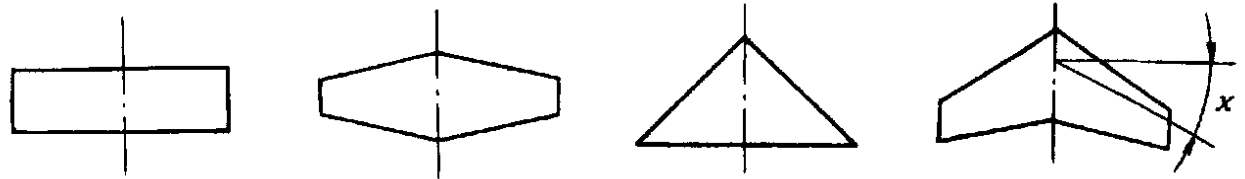
弹道导弹的基本外形



(4) 导弹的气动外形

弹翼平面形状

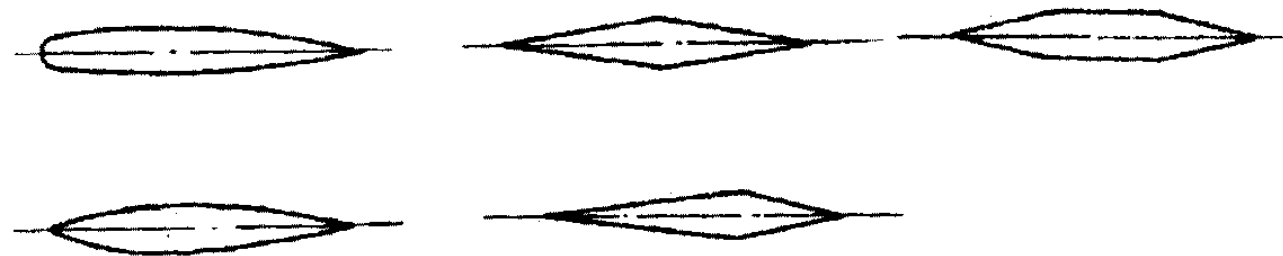
- 三角翼
- 后掠翼
- 梯形翼



常见的弹翼平面形状

弹翼剖面形状

- 菱形
- 双弧形
- 六角形



翼型示意图



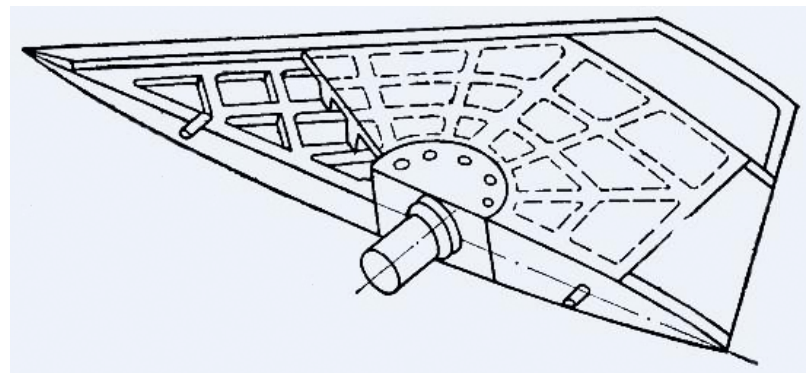
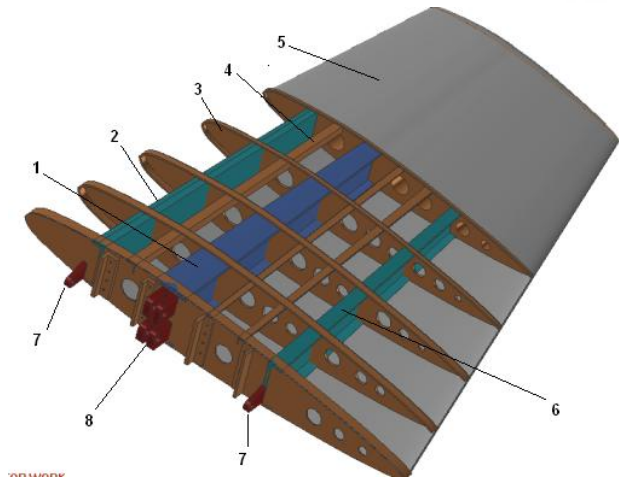
(5) 导弹的弹体结构形式

弹身结构形式

- 蒙皮骨架式
- 硬壳式
- 半硬壳式

弹翼结构形式

- 蒙皮骨架式
- 硬壳式
- 半硬壳式





4. 导弹的飞行控制

(1) 基本概念

□ 导弹飞行控制系统的任务

保证导弹沿预定弹道稳定飞行，并以预定的精度要求准确命中目标。

导弹飞行控制系统以导弹运动为控制对象的自动控制系统。

□ **制导：**导弹的制导问题就是为了它准确击中目标而对导弹质心运动进行控制的问题。飞控系统在导弹飞行过程中，能不断地测量导弹和目标的位置，确定导弹相对于理想运动的偏差；按照给定的导引规律形成导引指令，控制导弹飞行目标。

□ **姿态控制：**要在各种干扰作用下，将导弹的姿态角稳定控制在容许的范围内。姿态控制系统还要按制导系统的导引指令，控制导弹改变运动方向，保证导弹准确命中目标。



(2) 飞行控制系统的组成

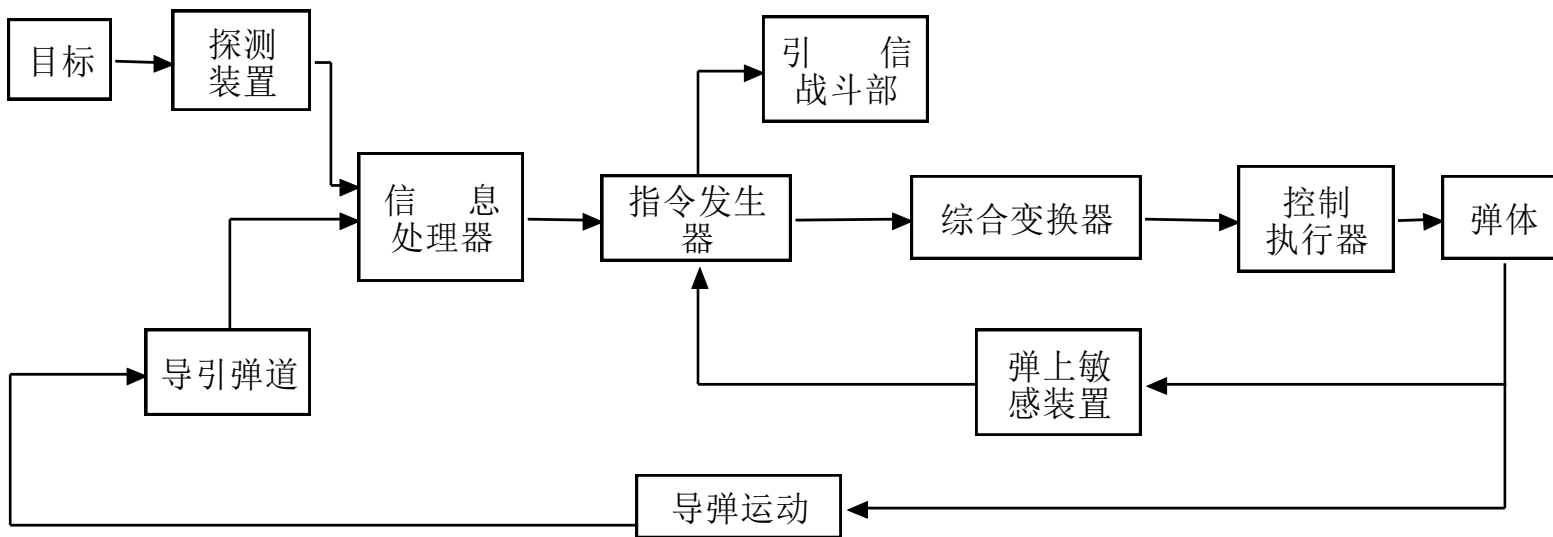
□ 制导系统

- ◆ 测量装置
- ◆ 导引计算机



□ 姿态控制系统

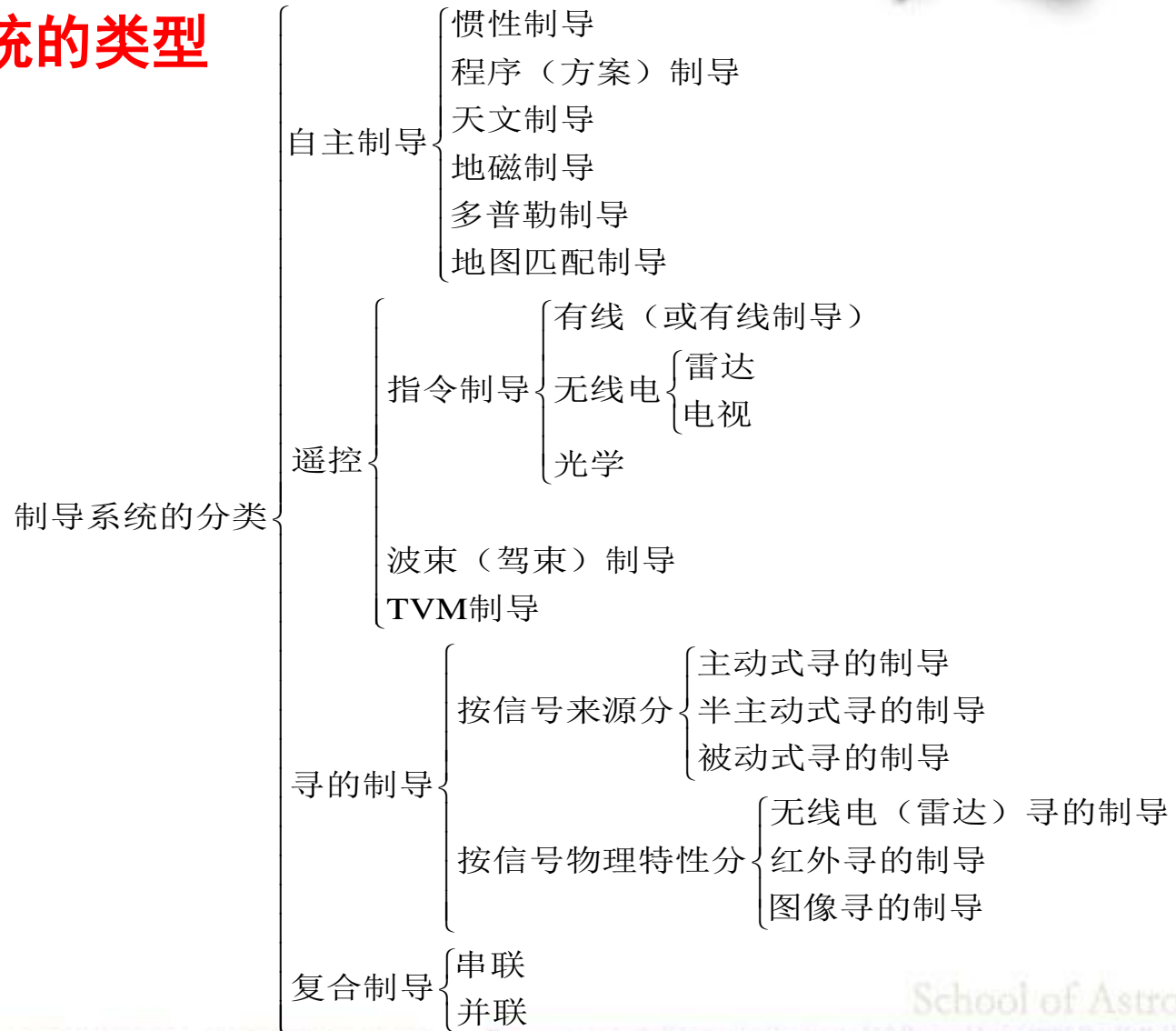
- ◆ 姿态敏感元件
- ◆ 控制计算机
- ◆ 伺服机构



导弹飞行控制系统的原理图



(3) 制导系统的类型





(4) 自主制导

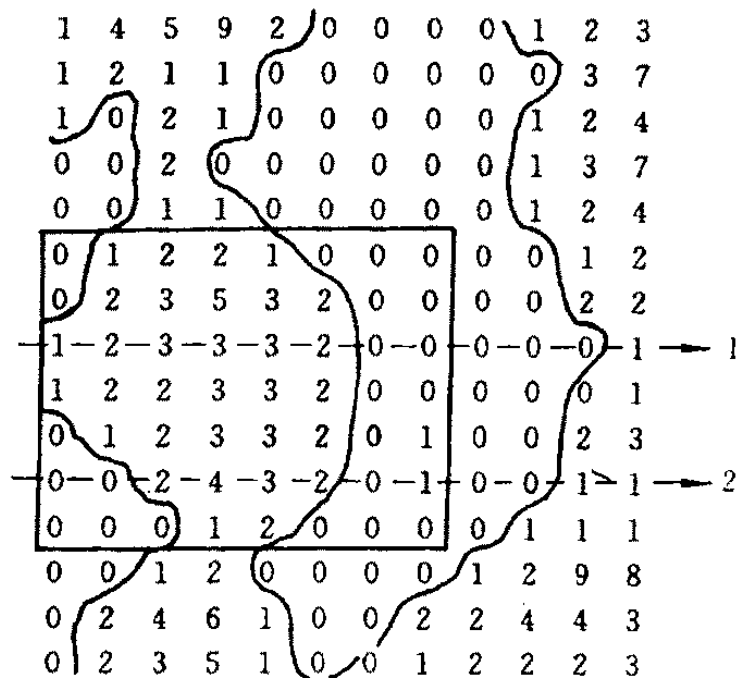
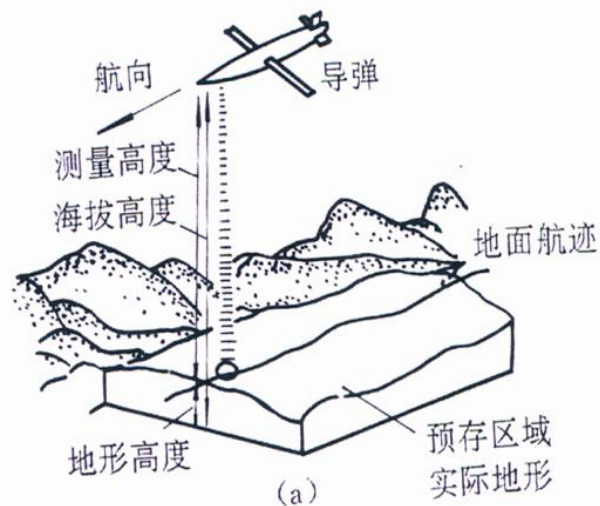
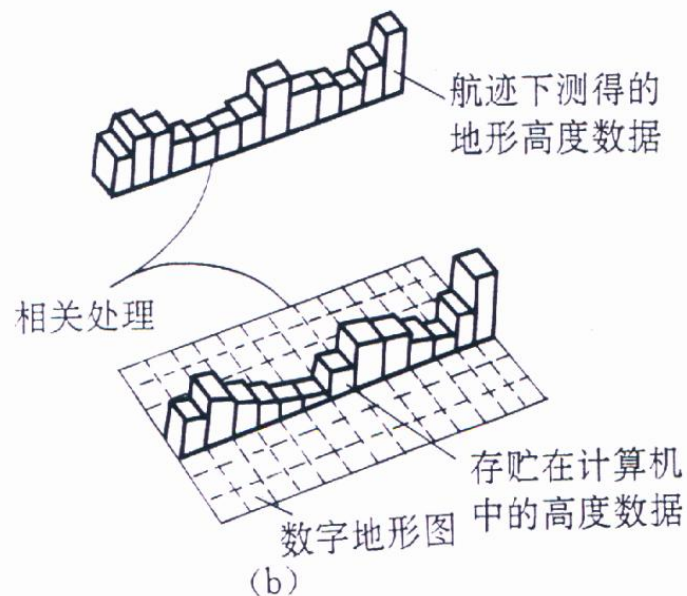
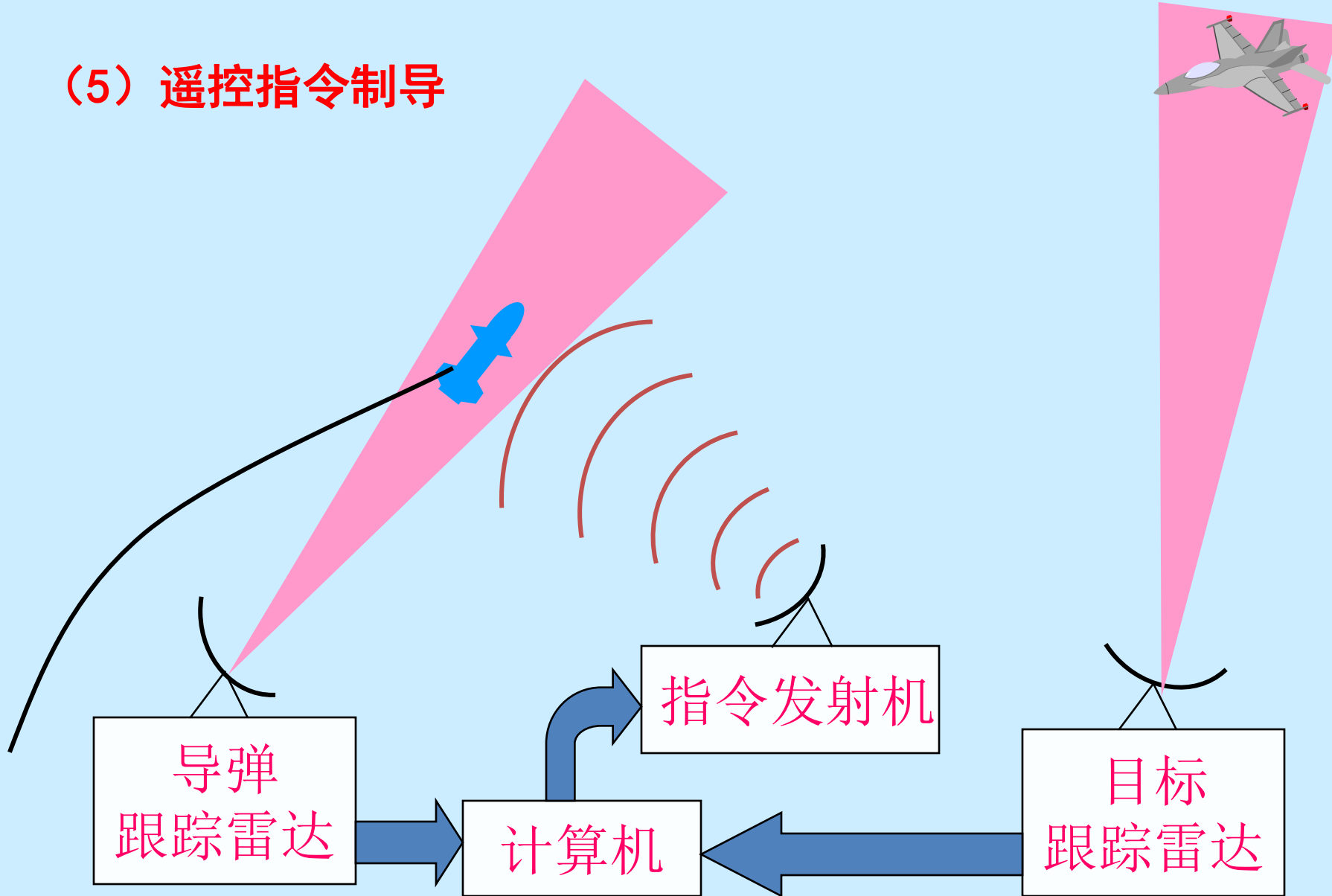


图 4.16 地形数字地图

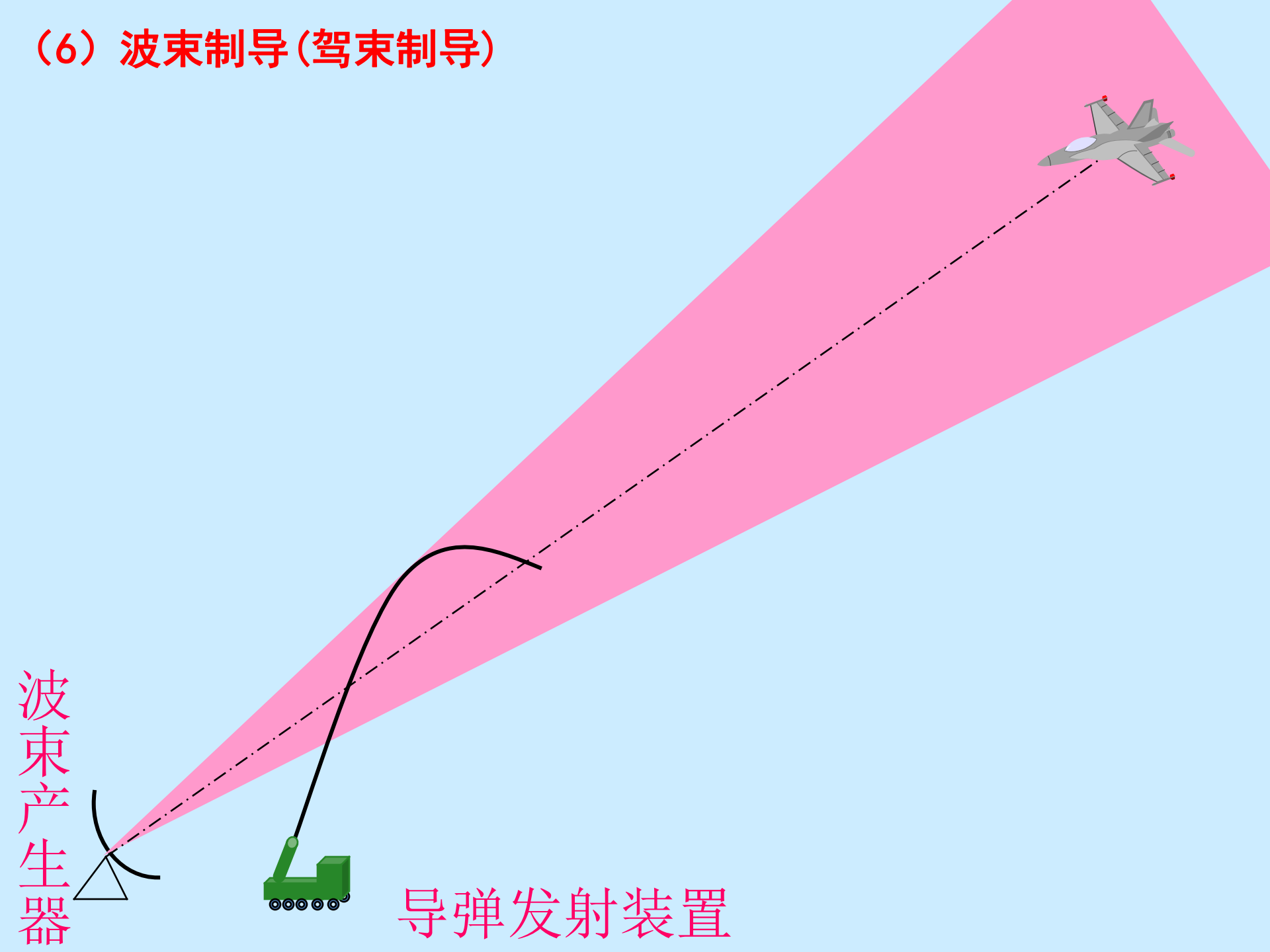
1—预定弹道; 2—实际弹道



(5) 遥控指令制导



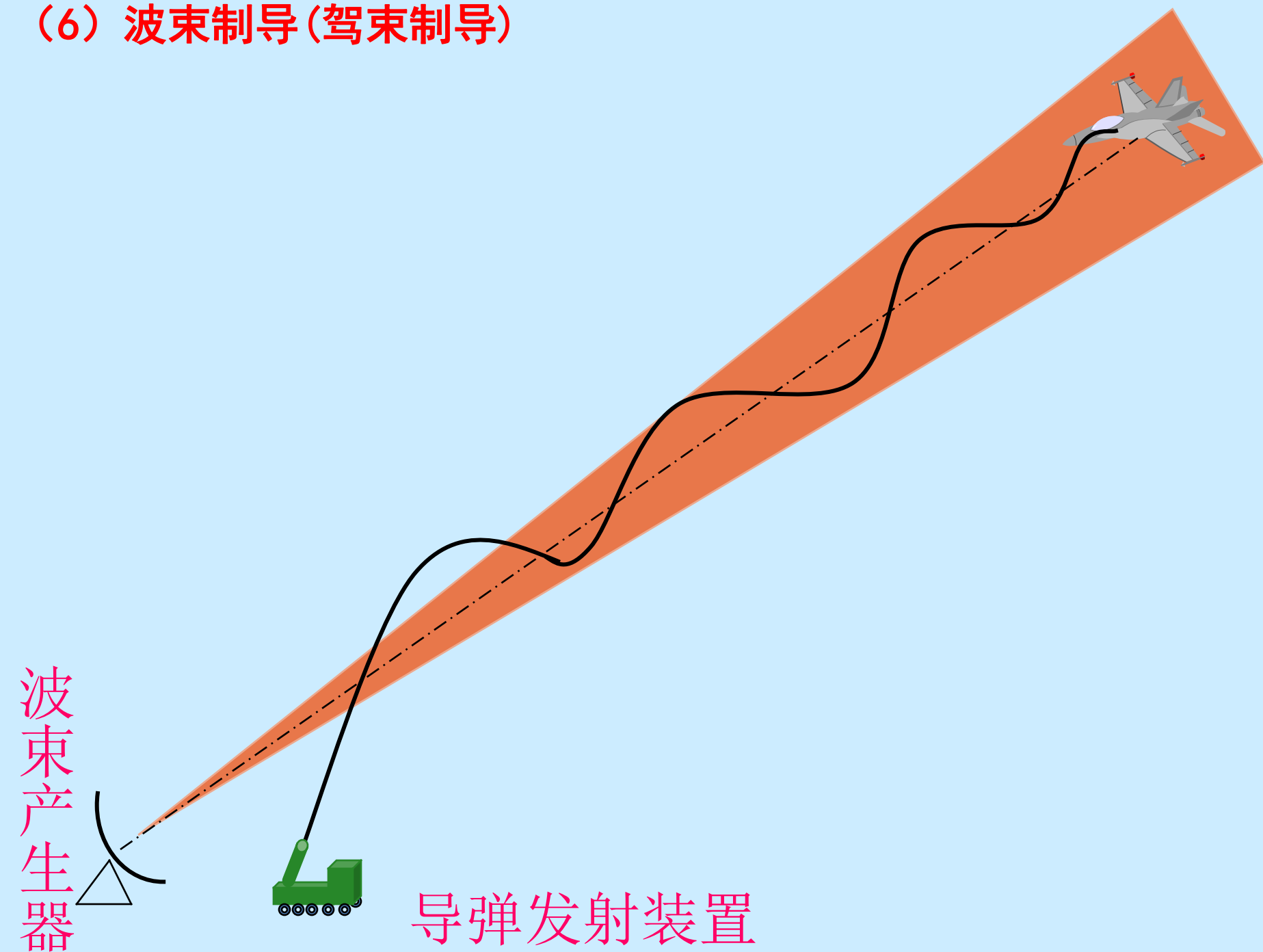
(6) 波束制导(驾束制导)



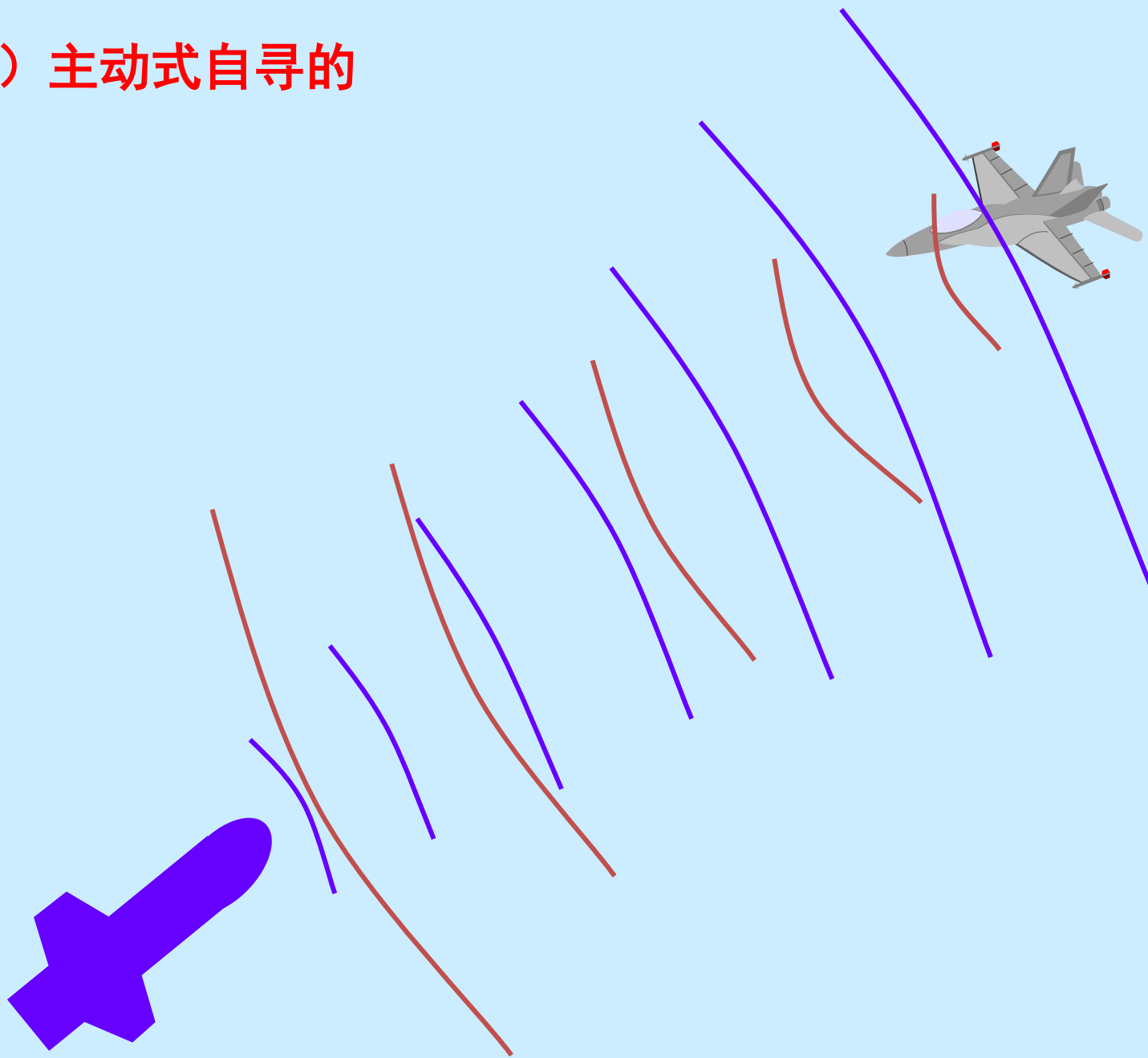
波束产生器

导弹发射装置

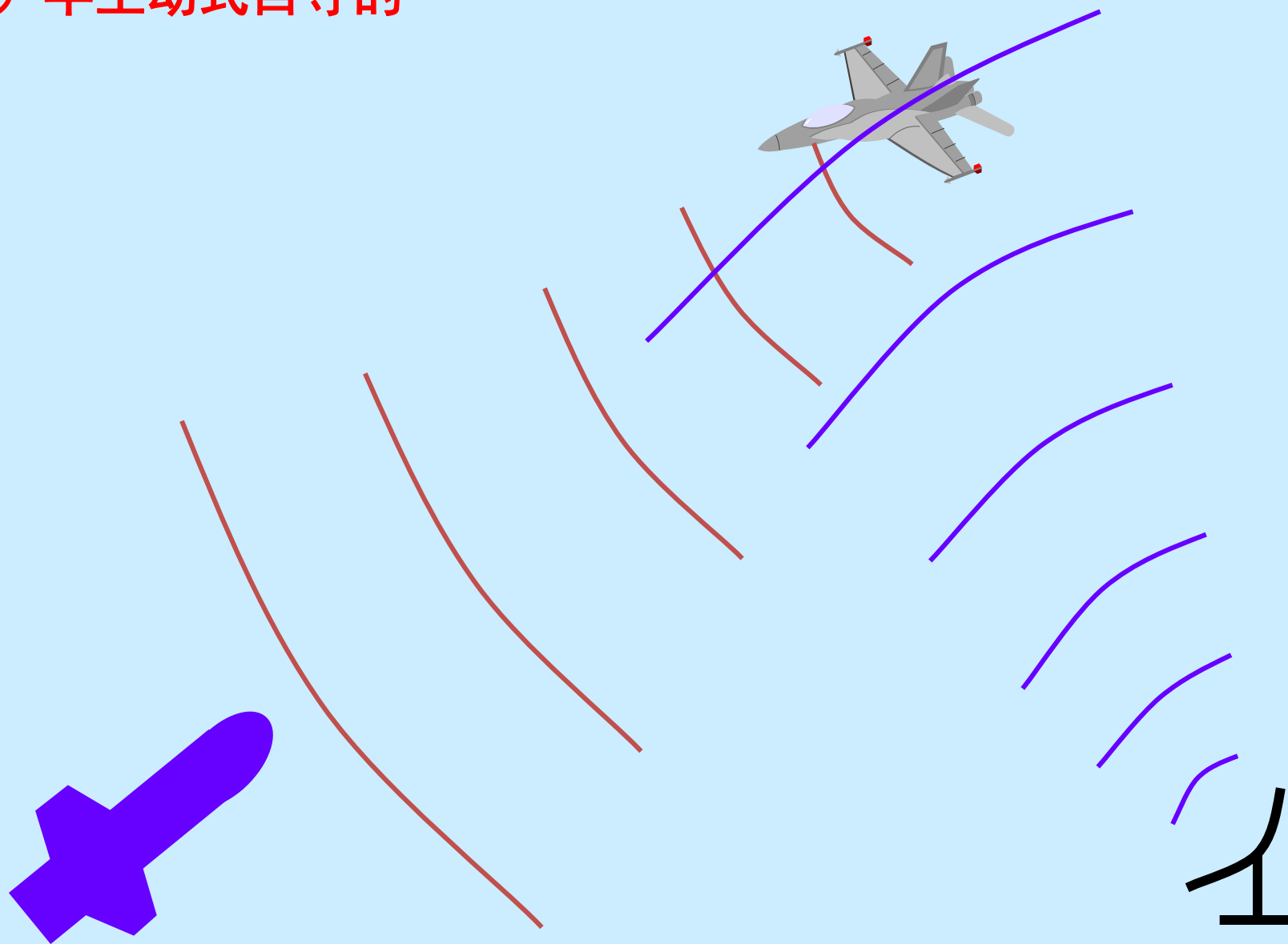
(6) 波束制导(驾束制导)



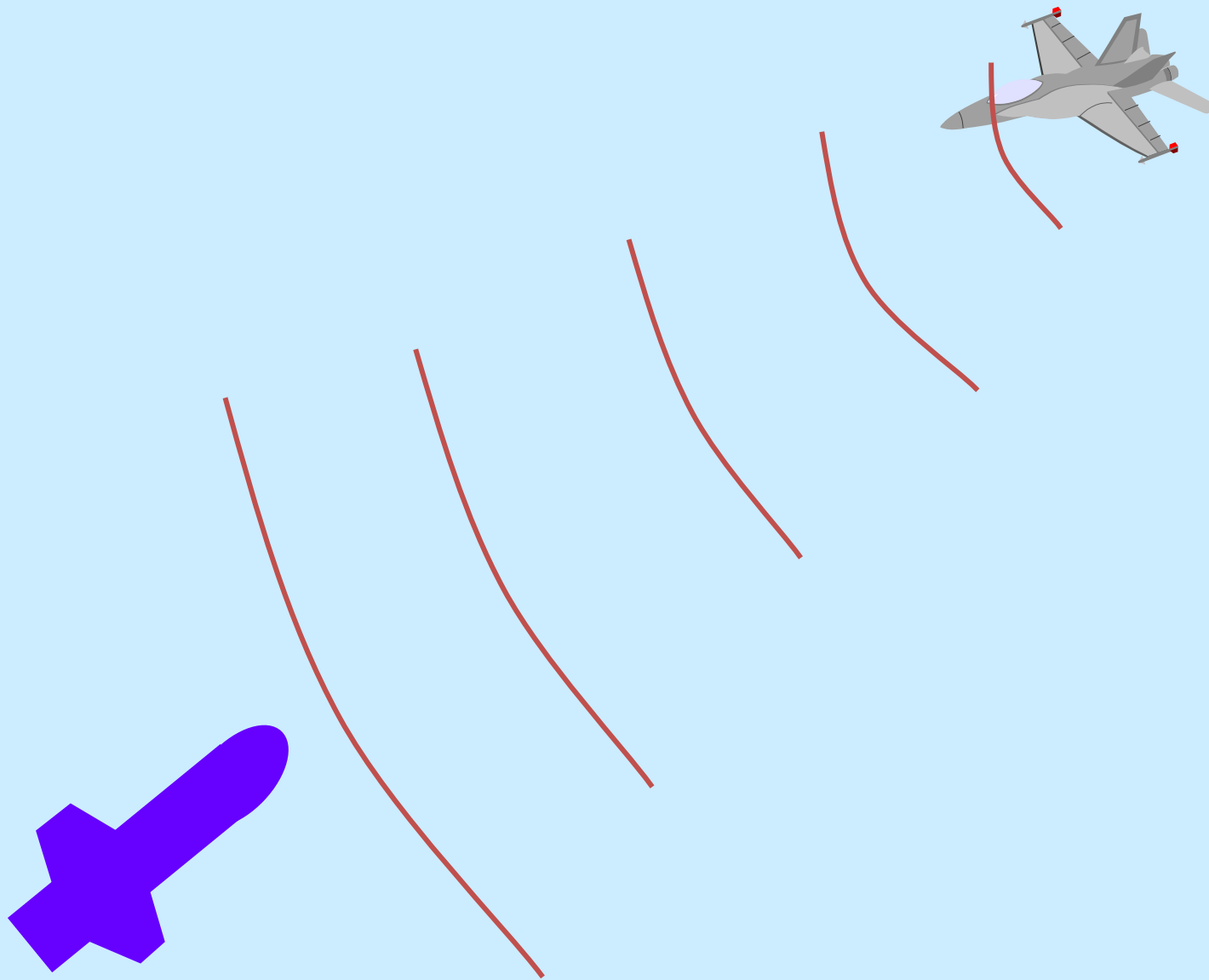
(7) 主动式自寻的



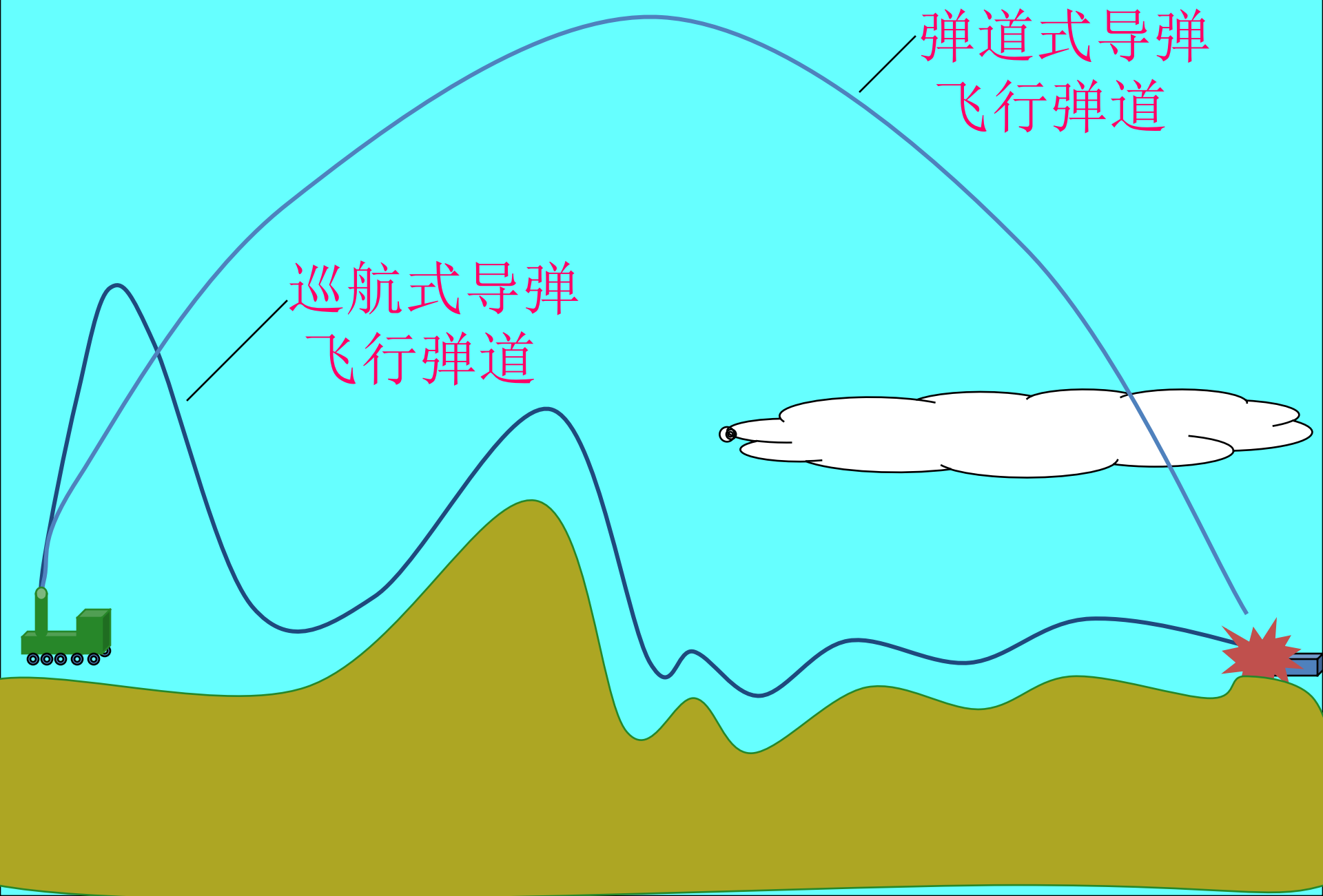
(9) 半主动式自寻的



(10) 被动式自寻的



典型导弹的飞行弹道





5. 导弹和火箭推进原理

目前主要的推进方式：

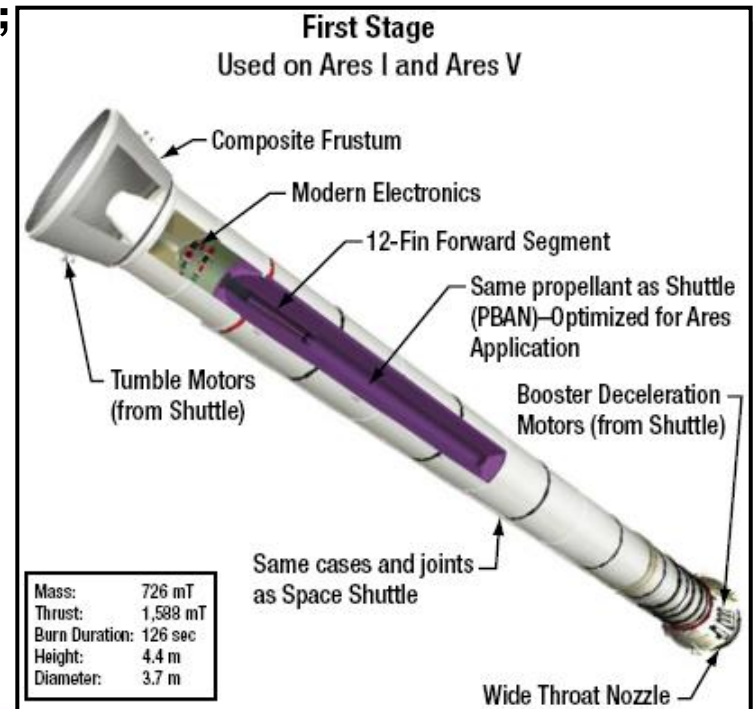
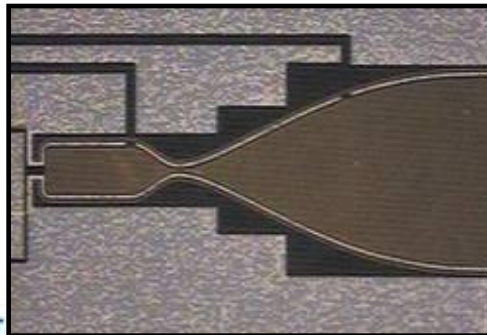
运载火箭：液体火箭发动机，各种推力；

战略战术导弹：固体火箭发动机，液体火箭冲压发动机，涡喷发动机，液体火箭发动机，固液混合火箭发动机；

正在发展推进方式：

超燃冲压发动机；

各种形式的组合推进。





5. 导弹和火箭推进原理

(1) 基本概念

动力装置是提供导弹和火箭飞行动力的系统。由**推进剂**和**发动机**两部分组成。

为了比较各种推进剂的优劣，需了解有关运载火箭发动机的几个性能参数，主要如下：

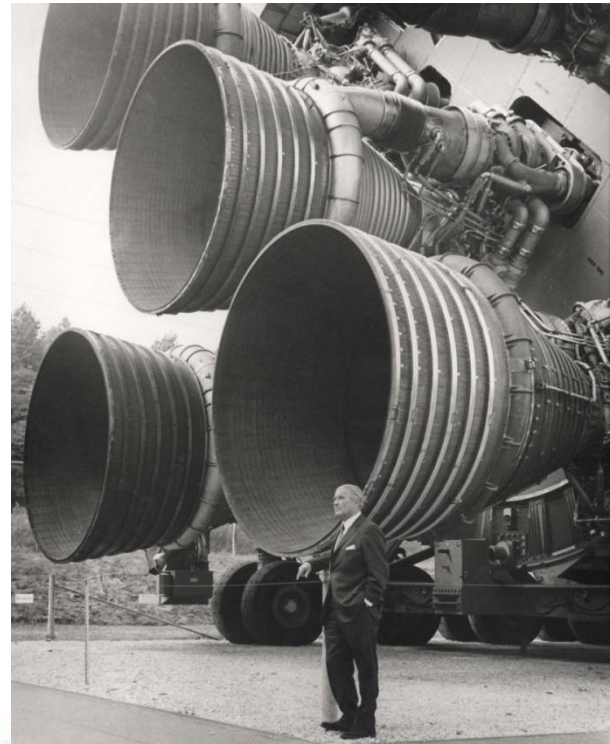
□ **推力** $P = \dot{m}\mu$

□ **冲量、总冲** $I = Pt$

火箭的总冲决定火箭的射程与有效载荷的质量。

□ **比冲、比推力**

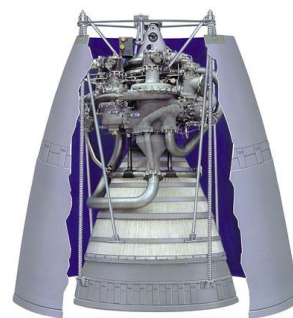
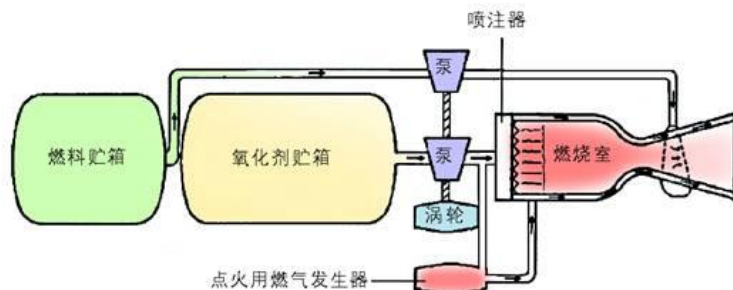
把燃烧1千克质量的推进剂所产生的冲量称为比冲；比推力是每秒燃烧1千克推进剂所产生的推力大小。此两者用来比较火箭发动机的性能。



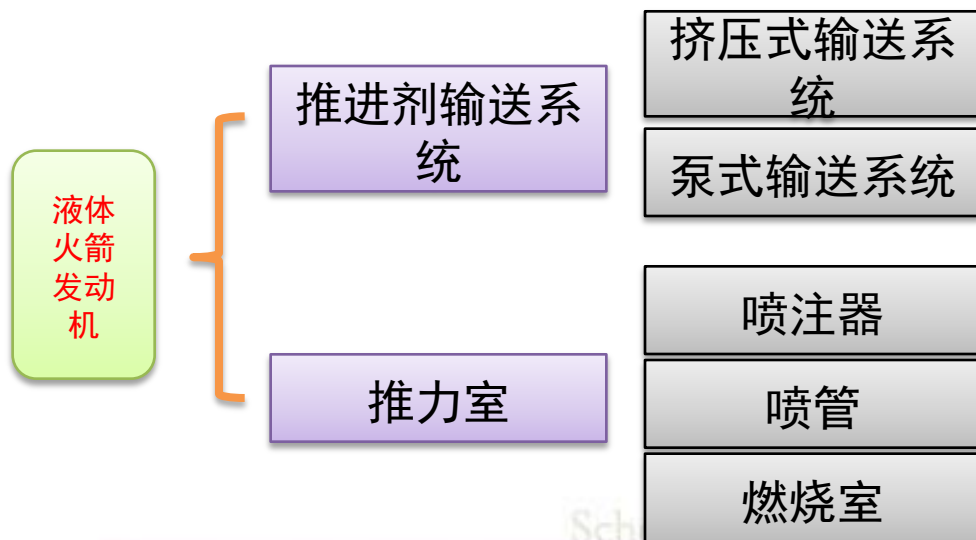


(2) 液体火箭发动机

液体火箭发动机（Liquid Rocket Engine——LRE）是液体推进剂火箭发动机的简称，属于喷气式发动机，是使用液态化学物质作为能源和工质的化学火箭发动机。



液体火箭发动机主要由推力室组件、推进剂供应与控制系统、涡轮驱动系统（燃气发生器、预燃室等）、电动和气动控制器系统和发动机总装元件等组成。



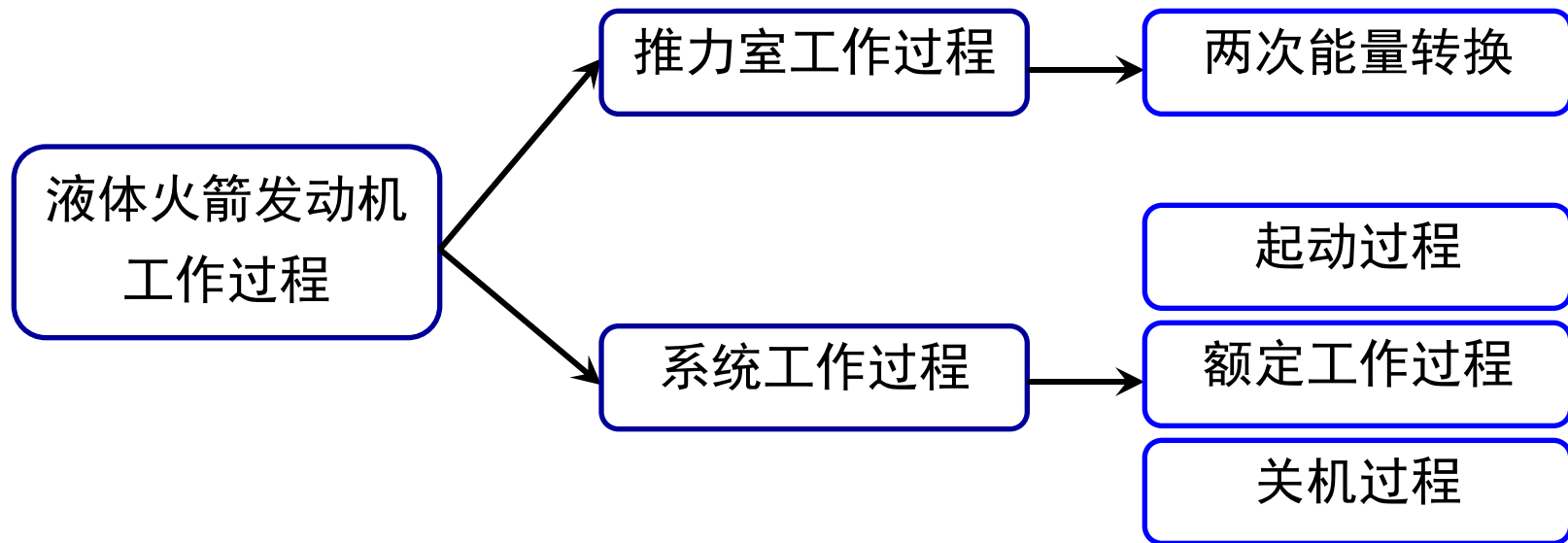


工作原理和过程：

液体火箭发动机工作原理：

-----基于牛顿的作用力与反作用力原理。

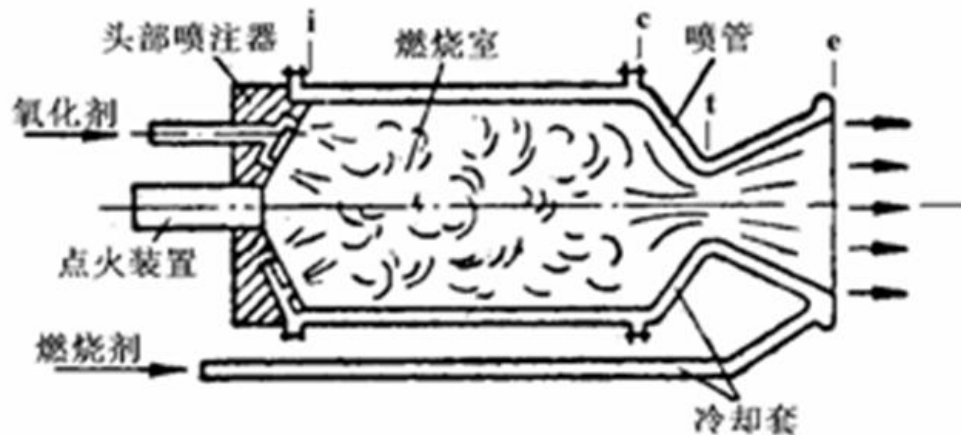
液体火箭发动机的工作过程包括推力室工作过程和发动机系统工作过程两部分。





工作原理和过程：

推力室工作过程：液体推进剂以规定的流量和混合比通过**喷注器**喷入**燃烧室**，在**燃烧室**内经过**雾化、蒸发、混合和燃烧**等过程，产生的高温、高压燃气在**喷管内膨胀加速**，以超声速排出，从而产生反作用力——推力。

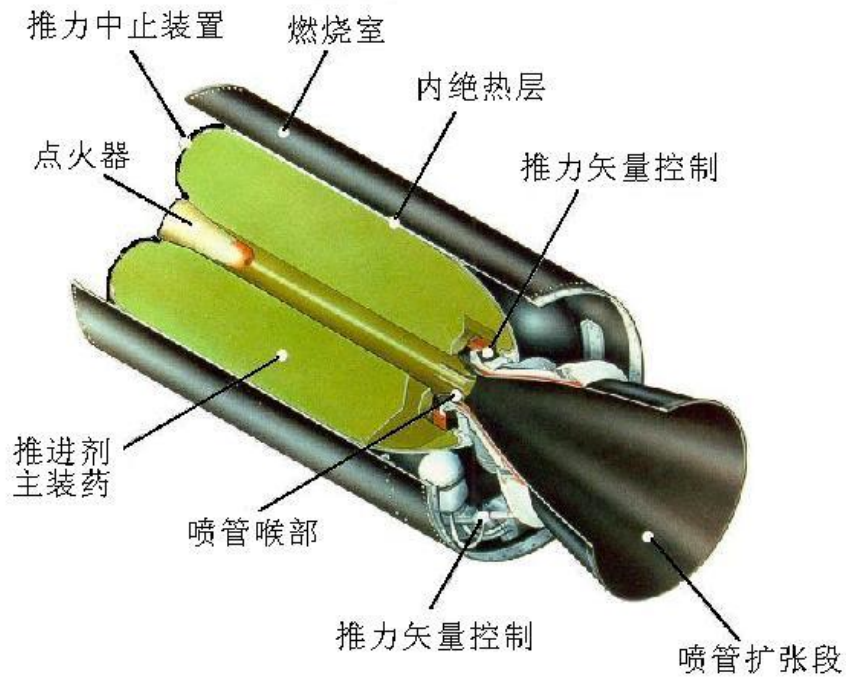


推力室特点：**高压强**，可达20MPa；**高温度**，3000~4000℃。

推力室工作特点：化学反应速度很快；**燃烧前准备过程**决定燃烧速度。



(3) 固体火箭发动机



主要部件：

燃烧室

Combustion Chamber

主装药

Propellant Grain

点火器

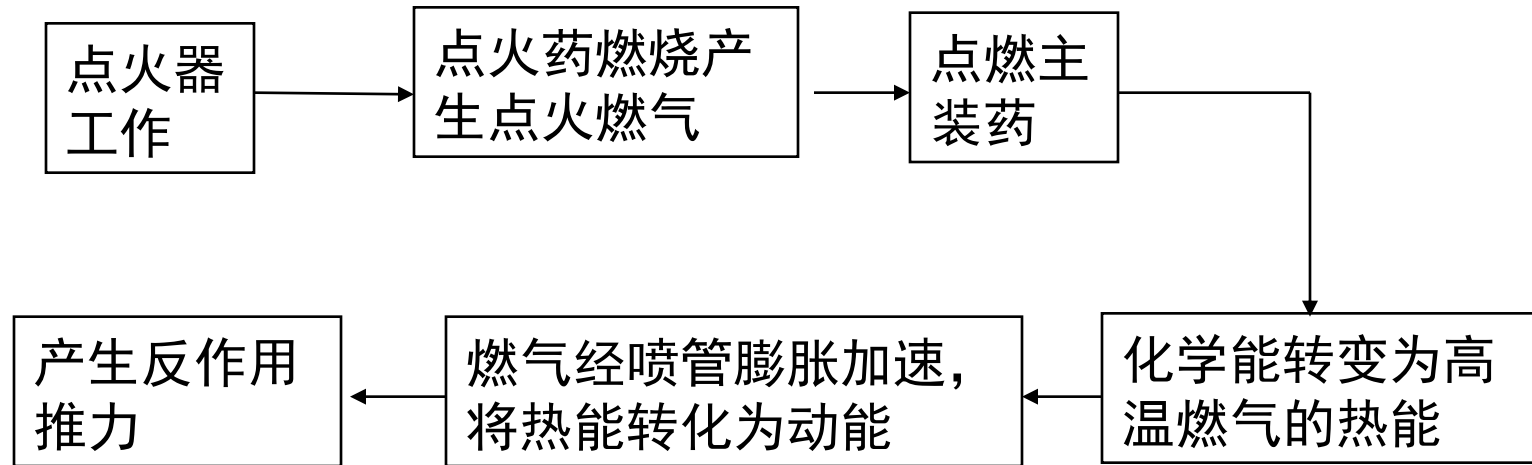
Ignition System

喷管

Nozzle



工作过程:



优点:

1. 结构简单。
2. 使用、维护方便，操作简单。
3. 可长期贮存、随时发射。
4. 可靠性高。
5. 可以实现较高的质量比。

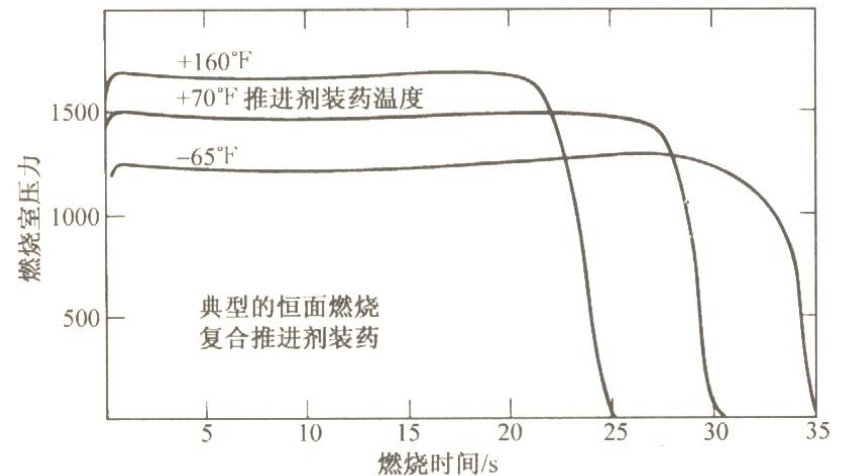
$$\text{质量比} = \frac{\text{推进剂质量}}{\text{发动机总质量（包括推进剂）}}$$

目前，国外战略导弹固体发动机的质量比已达到0.93~0.94，我国为可以达到0.92。



主要缺点:

1. 性能较低。固发比冲：2000m/s~2500m/s
液发比冲：2500m/s~5000m/s
2. 工作时间短。工作时间短的可以在1秒以下，甚至以毫秒计；长的可以达几十秒甚至100多秒。
3. 发动机性能受气温影响较大。
4. 可控性能差。





(4) 冲压发动机

1. 冲压发动机工作原理

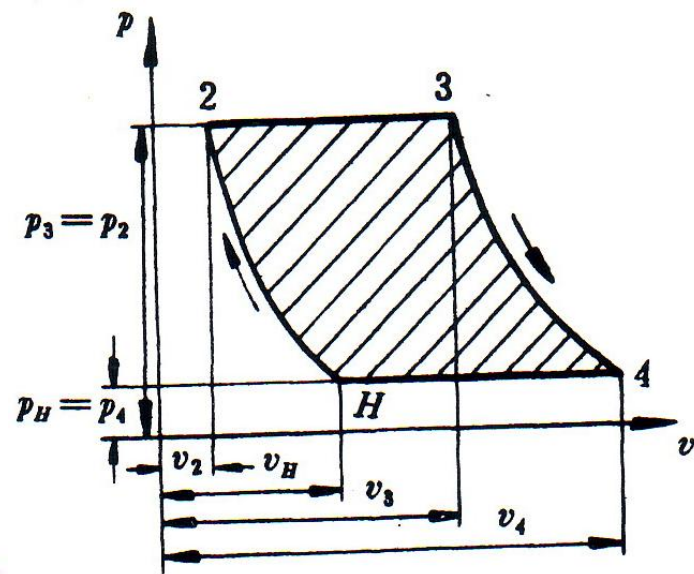
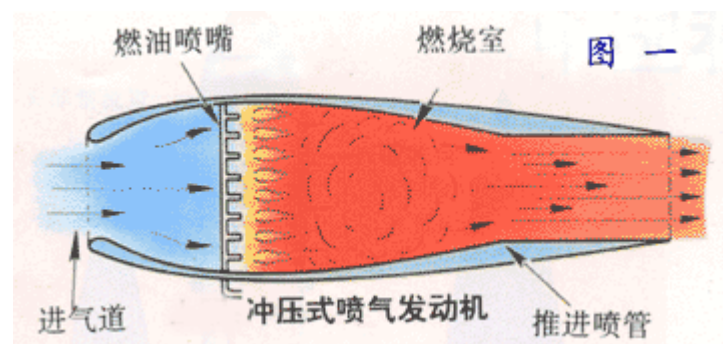
冲压发动机由进气道、燃烧室和尾喷管组成。理想冲压发动机的工作循环如图所示。

H-2为等熵压缩，在进气道中实现；2-3为等压加热，在燃烧室中进行；3-4为等熵膨胀，在尾喷管中完成；4-H为工质在大气中冷却的过程。

以上循环为勃莱顿循环。在实际工作中，由于有流动损失，实际循环的热效率低于勃莱顿循环的热效率。

1) 进气道

发动机的迎面来流首先进入进气道，其功用是将来流滞止，将来流的速度能转变为压力能，完成压缩过程。



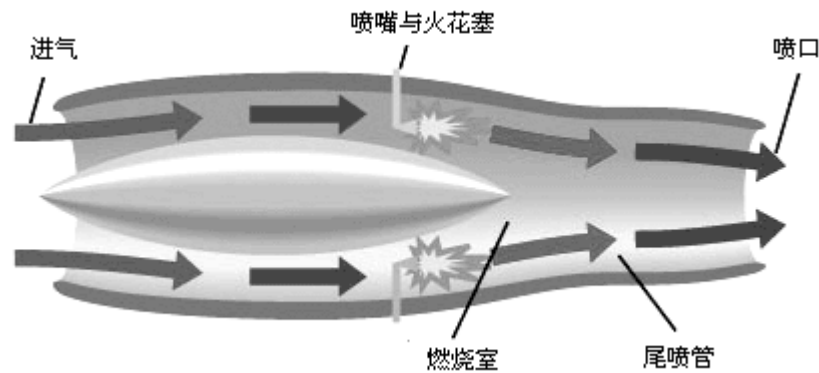


2) 燃烧室

滞止到一定速度的气流进入燃烧室，与燃料迅速掺混，在接近等压条件下进行燃烧，提高气体的温度和焓值，完成加热过程。

3) 尾喷管

燃烧后的高压、高温燃气，经收敛或收敛-扩张喷管加速后排出，完成膨胀过程。由于排气动量大于来流动量，因而产生反作用力，即发动机推力。





冲压发动机的特点

冲压发动机利用大气中的氧气作为氧化剂，在高速远航程的飞行中具有独特的优越性。

1) 冲压发动机的优点：

冲压发动机在超声速飞行时，经济性显著优于涡喷发动机，是在大气层内高速飞行的理想动力装置；

内部没有转动部件，结构大为简化，质量小，成本低，推重比高；

由于不受转动部件耐热性的限制，燃烧室中可以加入更多热量。

2) 冲压发动机的缺点：

不能自启动，要使用助推器加速到一定速度才能工作；

单位迎面推力较小；

对飞行状态的改变比较敏感，在宽马赫数范围飞行时，要对进气道和喷管进行调节。



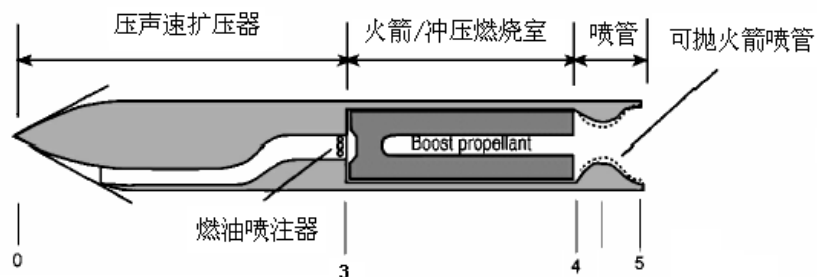
冲压发动机与其他发动机的比较

1) 与涡喷发动机比较

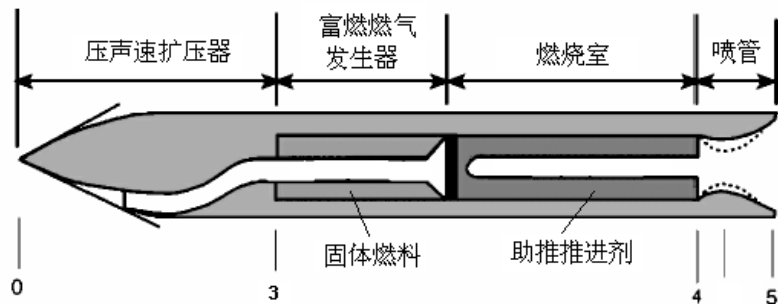
- (1) 在亚、跨声速范围内，涡喷发动机在燃油消耗量和推力系数两方面都有明显的优势。
- (2) 当马赫数 >2 后，涡喷发动机燃油消耗量低的优势不再存在。
- (3) 涡喷发动机存在其他负担（质量、复杂性，以及与安装整体式助推器有关的问题等）。
- (4) 启动问题。涡喷发动机具有自身起动特性的优越性，但在导弹应用中一般需要附加助推器以提供足够的推力，使导弹尽快地加速到主速度。

2) 与火箭发动机比较

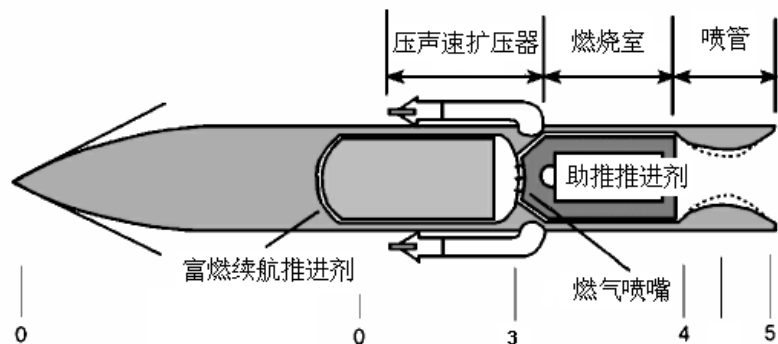
- (1) 在导弹质量和尺寸严格限制的条件下，火箭发动机已无法满足新一代导弹高速、远射程的要求。
- (2) 冲压发动机与火箭发动机相比，有燃料消耗量低的优点，但不得不承受附加结构质量的缺点。
- (3) 为了合理使用冲压发动机，导弹射程应超过某一最低值，中等或远射程导弹使用冲压式发动机的具有其优越性。



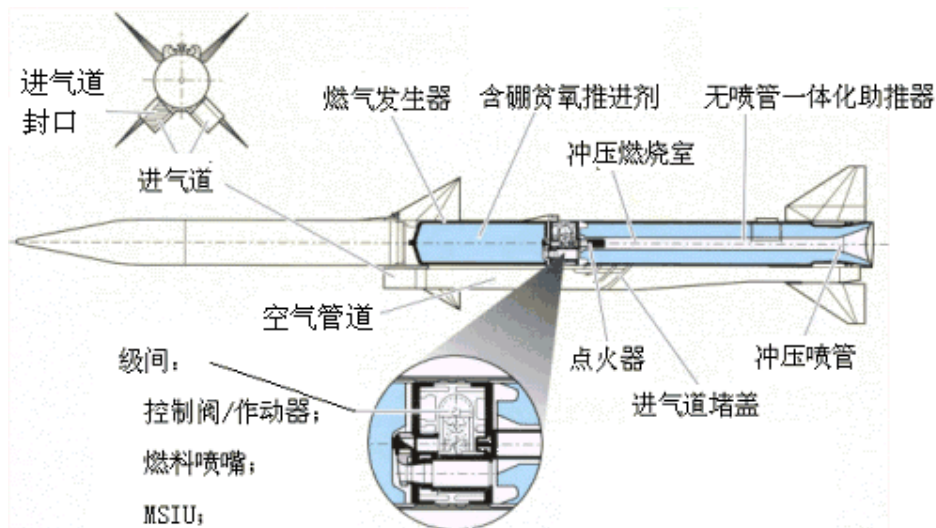
a) 整体式液体燃料冲压发动机 (LFIR)

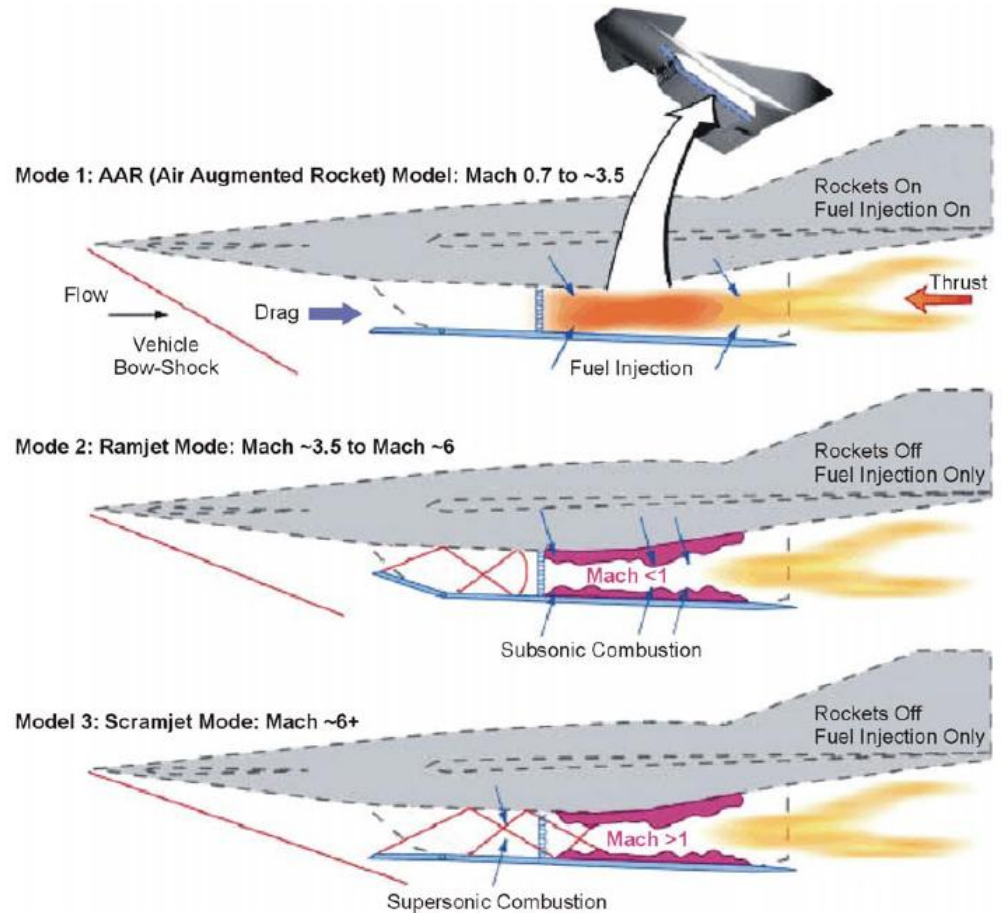
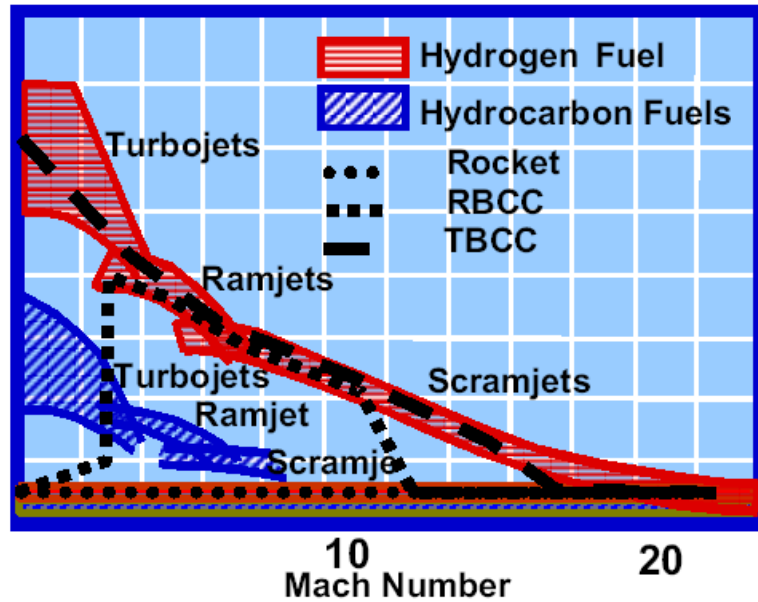
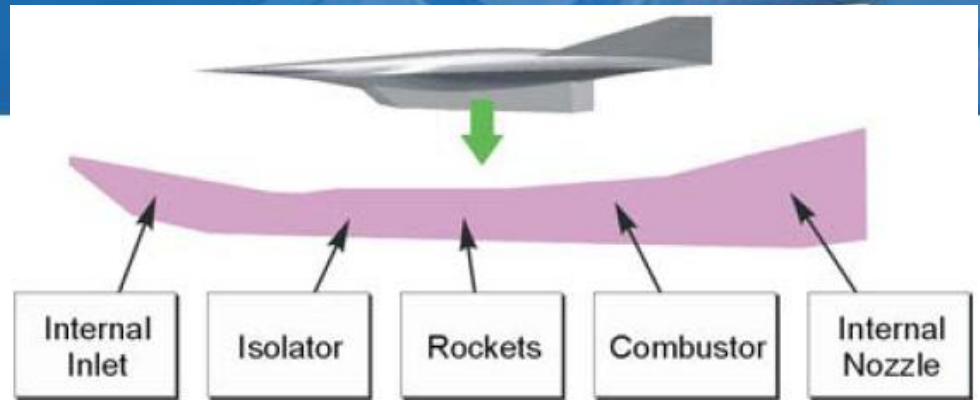


b) 整体式固体燃料冲压发动机 SFIR



c) 整体式固体火箭冲压发动机 DR







美国研制了三架X-43A试验机。

2001年6月2日进行了X-43A的首次试飞，由于助推器爆炸而失败；

2004年3月27日成功地进行了飞行试验，达到约8000km的时速（7马赫）；

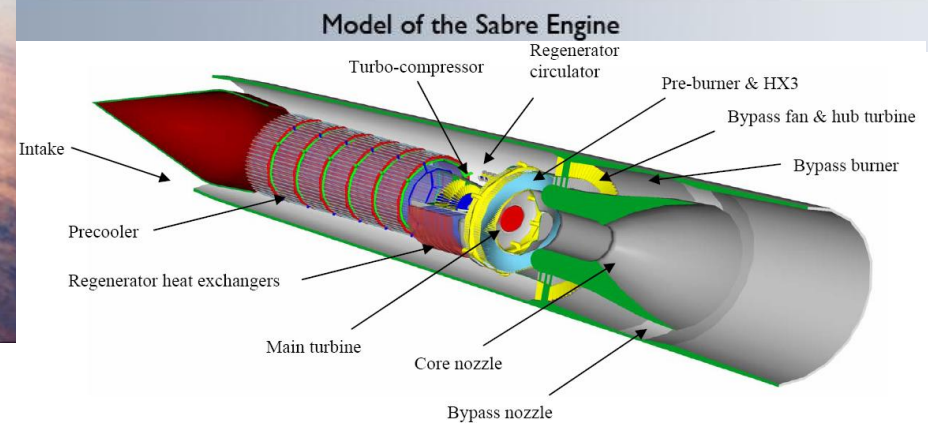
2004年11月16日进行了 $M=10$ 的超声速飞行试验，飞行时速接近7000英里（约11265km），大约9.6马赫。





SKYLON空天飞机和SABRE发动机

可重复使用的单极入轨运载器，吸气式火箭概念。



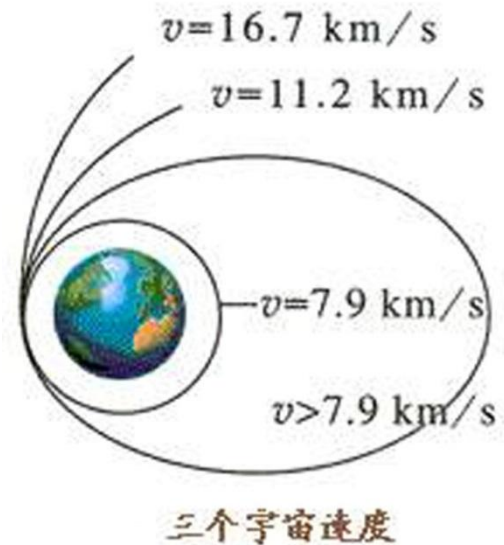


6. 运载火箭的组成与原理

运载火箭：是一种航天运载工具，其用途是把人造卫星、飞船、空间站或空间探测器等有效载荷送入预定轨道。

在如何挣脱地球引力的束缚的问题上，科学家们进行过很多的探索。如牛顿的炮弹。据此，人们得到了宇宙速度。

- 第一宇宙速度 7.9 km/s ：绕地球做圆周运动
- 第二宇宙速度 11.2 km/s ：逃逸速度，飞出地球，行星际航行
- 第三宇宙速度 16.6 km/s ：飞出太阳系





齐奥尔科夫斯基公式

1903年，齐奥尔科夫斯基在著名论文《**利用喷气工具研究宇宙空间**》通过严密的力学论证及数学推导得到了火箭最大速度公式，即著名的**齐奥尔科夫斯基公式**

$$V = W \ln \frac{m_o}{m_k}$$

- W 是发动机向后喷射物质的相对速度
- m_o 是起飞质量（含推进剂）
- m_k 是推进剂燃烧完后的质量
- m_o/m_k 称之为质量比。



苏联质子号运载火箭



齐奥尔科夫斯基公式

要想达到火箭第一宇宙速度 7.9km/s ，需要的质量比大概是10，也就是起飞时**推进剂的质量占整个火箭质量的90%**。

根据当时机技术水平，**采用单级火箭难以达到第一宇宙速度**

- 提过火箭速度的两条途径，提高喷射速度和提高质量比，在没有研制出新型推进剂之前只有提高质量比。
- 在起飞质量 m_0 一定的情况下，减小 m_k 可以提高质量比，也就是可以再飞行一段时间以后抛掉多余的 m_k ，这就是**现代多级火箭**的思想。



齐奥尔科夫斯基设想的火箭与飞船



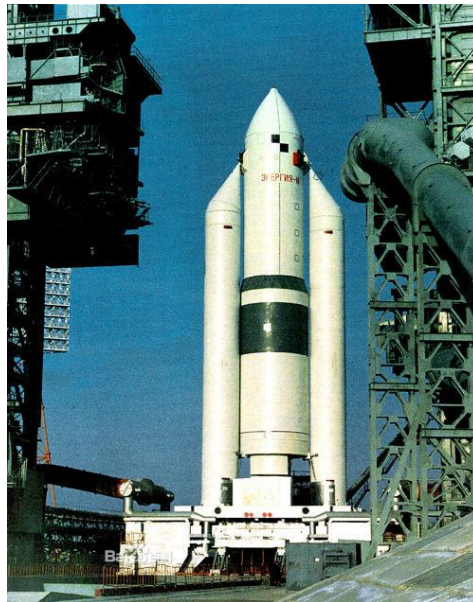
多级火箭连接方式

根据各单级火箭连接在一起的方式不同，多级火箭有三种不同的布局。

- ❑ **串联方案**：各级火箭前后同级布置
- ❑ **并联方案**：各级火箭并列布置
- ❑ **混合连接方案**：各级火箭既有串联布置又有并联布置



串联——长征三号甲



并联——能源号

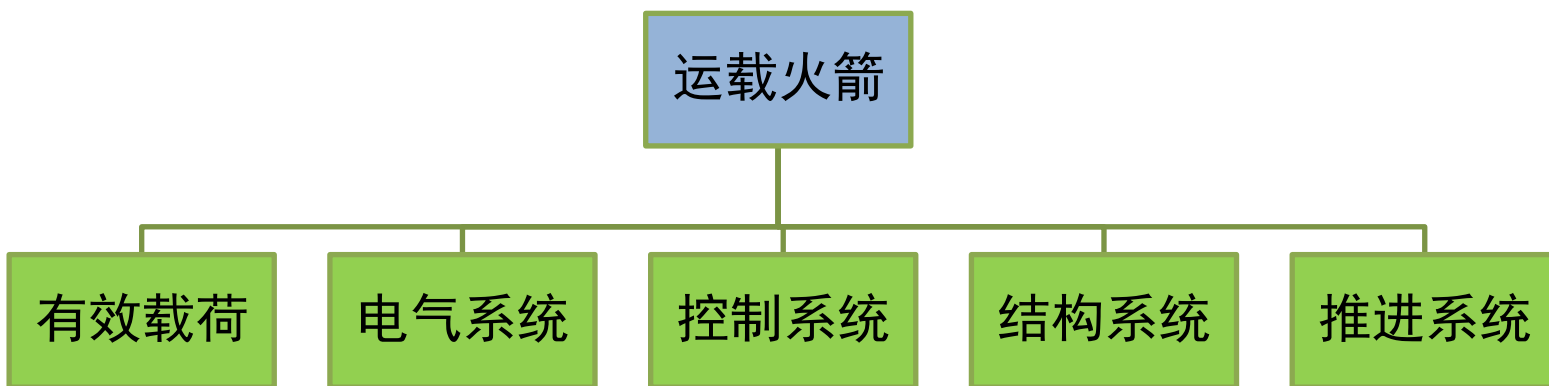


混联——长征二号F



运载火箭系统组成

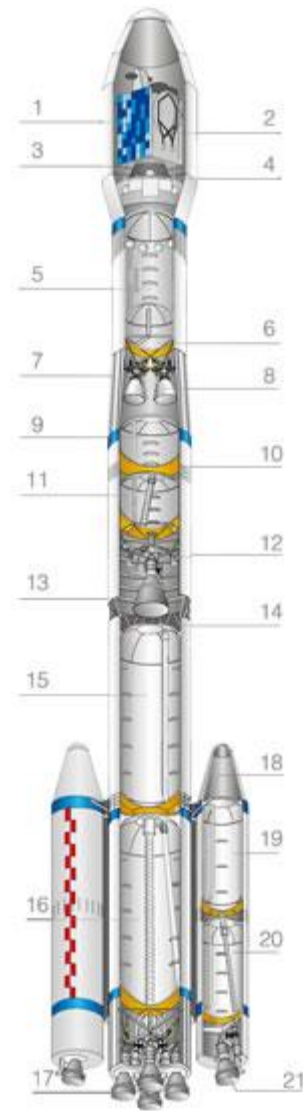
- **运载火箭**由多级火箭组成的航天运输工具。把人造地球卫星、载人飞船、空间站、空间探测器等有效载荷送入预定轨道。主要由以下几个部分组成：





运载火箭系统组成

- | | |
|------------|------------|
| 1. 整流罩 | 12. 二级游标发动 |
| 2. 有效载荷 | 机 |
| 3. 有效载荷适配器 | 13. 二级发动机 |
| 4. 仪器舱 | 14. 级间桁架 |
| 5. LH2 贮箱 | 15. 氧化剂箱 |
| 6. LOX 贮箱 | 16. 燃烧剂箱 |
| 7. 级间段 | 17. 一级发动机 |
| 8. 三级发动机 | 18. 助推器头锥 |
| 9. 氧化剂箱 | 19. 助推器氧化剂 |
| 10. 箱间段 | 箱 |
| 11. 燃烧剂湘 | 20. 助推器燃烧剂 |
| | 箱 |
| | 21. 助推器发动机 |



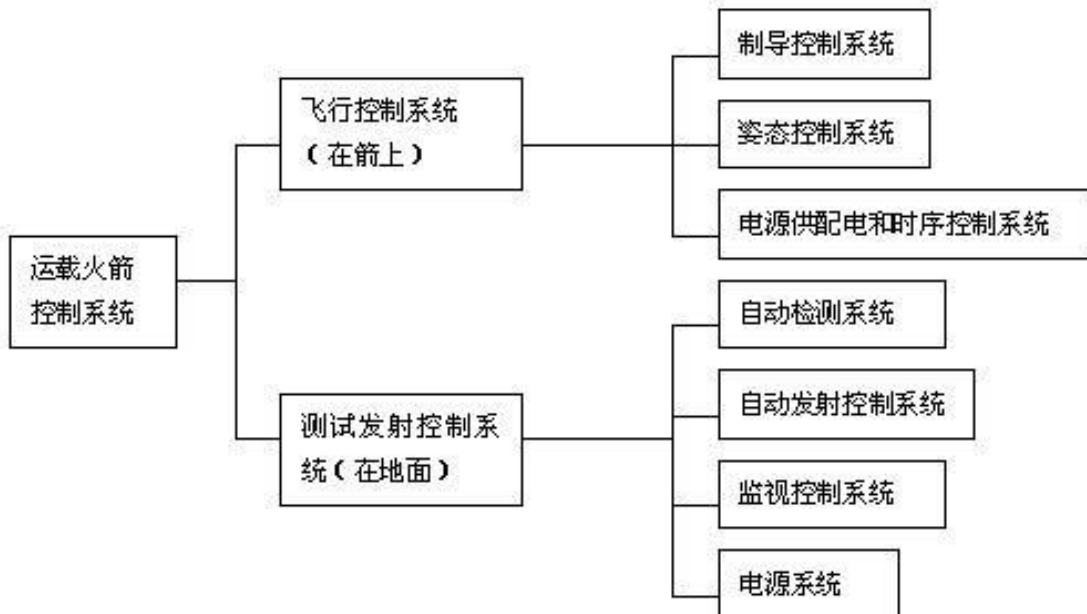
中国长征3C运载火箭结构图



火箭飞行控制系统

为了使航天器准确入轨，运载火箭必须严格按照设计的发射弹道飞行。预设的发射弹道称之为“标准弹道”。对火箭进行控制，有三个作用

- ❑ 发现火箭实际飞行弹道与标准弹道的平偏差
- ❑ 根据偏差，发出控制指令
- ❑ 把火箭的实际弹道纠正到标准弹道上来





多级火箭飞行轨迹

运载火箭从地面发射
起飞到将有效载荷（航天
器）送到运行轨道的这
一段飞行轨迹称之为**发射弹道**。整个弹道分为几段：

- ❑ 垂直起飞段
- ❑ 程序转弯段
- ❑ 过渡飞行段（自由飞行）
- ❑ 入轨
- ❑ 再入段（返回式航天器）

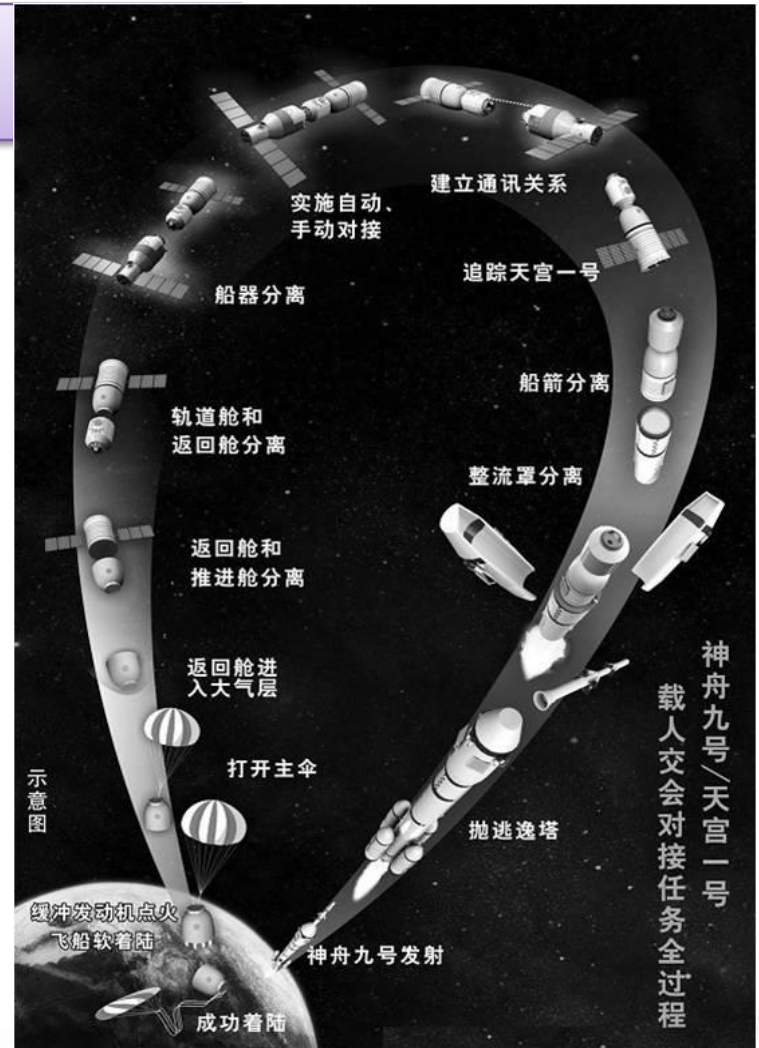




1. 视频链接：神舟七号发射过程三维动画

2. 神舟九号的发射阶段

1. 长征二号F点火起飞
2. 抛逃逸塔
3. 整流罩分离
4. 船箭分离
5. 追踪天宫一号
6. 交会对接
7. 船器分离
8. 轨道舱和返回舱分离
9. 返回舱和推进舱分离
10. 返回舱返回大气层
11. 开伞降落
12. 着陆回收





西北工业大学

航天学院



谢谢！

School of Astronautics