

第1章 基础篇

军用飞机是直接参加战斗、保障战斗行动和军事训练的飞机的总称，是航空兵的主要技术装备之一。军用飞机大量用于作战，使战争由平面空间发展到立体空间，对战略战术和军队组成等产生了重大影响。



→ 概述

一战初期，军用飞机主要负责侦察、运输、校正火炮等辅助任务。当一战转入阵地战以后，交战双方的侦察机开始频繁活动起来。为了有效地阻止敌方侦察机执行任务，各国开始研制适用于空战的飞机。

世界上公认的第一种战斗机是法国的莫拉纳·索尔尼埃 L 型飞机。它由于装备了法国飞行员罗朗·加罗斯的“偏转片系统”，解决了一直以来机枪子弹被螺旋桨干扰的难题。随后，德国研制出更加先进的“射击同步协调器”并安装在“福克”战斗机上，成为当时最强大的战斗机。“福克”战斗机的出现，从根本上改变了空战的方式，提高了飞机的空战能力，从此确立了战斗机武器的典型布置形式。

在飞机用于军事后不久，人们就开始了用飞机轰炸地面目标的试验。1911 年 10 月，意大利和土耳其为争夺北非利比亚的殖民利益而爆发战争。11 月 1 日，意大利的加福蒂中尉驾驶一架单翼机向土耳其军队投掷了 4 枚重约 2 千克的榴弹，虽然成果甚微，但这是世界上第一次空中轰炸。

随着空战的日趋激烈，作战飞机从此走上了“机动、信息、火力三者并重”的发展轨道，在速度、高度和火力等方面不断改进。飞机在一战中的地位从反对到不重视，再到重视，其地位的不断发展为以后的战争方式定下了基调。

由于在一战中后期飞机的战略作用被各个国家所认识，因此到二战开始时，作战飞机已经得到了很好的发展，各种不同作战用途的飞机也应运而生，如攻击机、截击机、战斗轰炸机、俯冲轰炸机、鱼雷轰炸机等。二战期间，各种舰船（包括航空母舰）得到了大范围的使用，使得各种舰载机在战斗中具有巨大的发挥空间，往往成为各种海战的主导者。

20 世纪 50 年代初，首次出现了喷气式战斗机空战的场面。苏联制造的米格-15“柴捆”和美国制造的 F-86“佩刀”都采用后掠后翼布局，飞行速度都接近音速，飞行高度为 15 000 米。机载武器已经出现口径 20 毫米以上的机炮，瞄准系统中装有雷达测距器。带加力燃烧室的涡轮喷气发动机便于改善飞机外形，使战斗机的速度很快突破了音障。20 世纪

60年代以后，战斗机的最大速度已超过两倍音速，配备的武器已从机炮、火箭弹发展为空空导弹。

现代空战要求飞机具有良好的机动性，即转弯、加速、减速和爬升性能，装备的武器则是机炮和导弹并重。因此，此后新设计的作战飞机不再追求很高的飞行速度和高度，而是着眼于改进飞机的中、低空机动能力，完善机载电子设备、武器和火力控制系统。近年来的一些局部战争甚至完全通过空中打击来实现战略目标。随着各种高新技术的不断加入，作战飞机在战争中的地位势必越来越重要。



飞行中的 F-86“佩刀”战斗机



F-15“鹰”战斗机的正面视角



米格-15“柴捆”战斗机



“台风”战斗机进行编队飞行

→ 当代战斗机怎么划分世代

从喷气战斗机开始服役之后，出现了对于各种战斗机在发展历史上的世代划分。划分方式有很多种，划分的基本原则是以较为普遍的共通点作为世代划分的分野。历史上，欧美和苏联对于战斗机的世代划分曾明显不同于俄罗斯，但现在划分标准已较为统一。

第一代战斗机

第一代战斗机可以追溯到二战末期开始服役的機種，这一时期的喷气战斗机主要是争取速度上的优势。这些战斗机最初使用喷气发动机为动力，摆脱螺旋桨在接近音速时的上限。这些飞机的外形设计仍然沿用过去的经验，像德国的 Me-262 和美国的 YP-59 战斗机等，与二战时期的双发动机飞机设计相去不远，大多是使用前三点起落架。

在性能上，第一代战斗机的平飞速度比螺旋桨飞机要高，航程则受到发动机效率的影响而较差，水平运动性能也较弱，对油门改变的反应低。发动机寿命受到材料与设计的影响，也不如当时最好的活塞发动机。平飞的最大飞行速度在音速以下，武器承袭自二战，以机枪或者机炮为主，并且能够携带副油箱、炸弹与火箭弹等武器。

在结构和使用的材料上，已经无法继续以非金属材料构成，而必须以全金属，尤其是高强度的铝合金作为主要的机体结构。此外，喷气发动机产生的高温也需要耐高温的材料维系操作和安全。当第一代战斗机发展到后期阶段，部分 20 世纪 30 年代的技术与科研成果陆续被运用，包括后掠翼、弹射座椅、雷达测距仪等。同时，外形设计也针对高速飞行进行改良，在作战战术上也随之改进。

第二代战斗机

第二代战斗机的发展路线延续了第一代强调速度、实用升限以及操作高度等方面，尤其是最大飞行速度从亚音速，经过超音速，一直到 2 马赫的范围，这让该时期的战斗机陆续出现了极端设计。为了达到这些目的，加力燃烧室在这个阶段开始成为战斗机必要的装备，空气动力领

域相关的研究成果也逐渐被广泛采用。除了增加后掠翼的角度以外，三角翼与几何可变翼是另外两类新形态的高速飞行机翼设计。而另外一项关键性的突破是机身采用面积律理论来设计。

第三代战斗机

第三代战斗机出现于1960年，这个阶段将先前积累的使用经验以及各种试验的成果加以整合。许多高速飞行时的现象和控制问题获得相当程度的解决，高后掠角度的机翼设计已经不受青睐，三角翼和几何可变翼与后掠角度小于 45° 的梯形翼成为设计的主流。发动机的输出通过耐高温特殊材料和冷却技术变得更好。雷达与各类航电逐渐成熟与复杂化，机鼻进气口已经几乎完全被放弃，以配合大型雷达天线的安装需求，而这个需求使得飞机的制造成本迅速高涨。

第四代战斗机

第四代战斗机于1970年陆续服役，这些战斗机吸收了第三代战斗机设计与使用上的经验，加上诸多空中冲突与演习显示出来的问题和需求，融合之后成为冷战结束前后最主要的角色。除了多用途和精密航电的发展方向大致不变以外，第四代战斗机放弃了对高速、高翼负荷的设计追求，转而扩展了战斗机在不同高速与速度下的运动性。第四代战斗机广泛应用新材料与技术开发的大推力涡轮扇发动机，新型发动机在推力提升的同时降低燃料的消耗，使得体积较小的机型也有机会拥有较长的航程。

第五代战斗机

第五代战斗机较前一代战斗机最大的特点就是第五代航空发动机的使用以及低可侦测性技术的全面运用，并具备高机动性、先进航电系统、高度集成计算机网络，具备优异的战场状况感知能力以及信息融合能力。



第一代战斗机——米格-15 战斗机



第二代战斗机——“幻影 III” 战斗机



第三代战斗机——F-15“鹰”战斗机



第四代战斗机——JAS-39 战斗机



第五代战斗机——F-22“猛禽”战斗机

→ 军用飞机最高时速能达到多少

进入 21 世纪以来，在军事实力方面，许多国家都有所提升，其中美国和俄罗斯都是不可忽视的存在。

在 20 世纪六七十年代，美国空军装备了高空高速战略侦察机——SR-71 侦察机，它的速度令大部分防空导弹都束手无策。根据当时驾驶过这种侦察机的空军少校所说，他可以驾驶 SR-71 侦察机随意在苏联上空进行侦察，苏联人发射的导弹根本碰不到它。对苏联空军来说，要应对 SR-71 侦察机所构成的威胁，就必须有更加先进的高空高速截击机，正是在这种作战需求的指引下，苏联研发了米格-25 和米格-31 战斗机。有数据显示，俄罗斯的米格-25 战斗机早在 1967 年 10 月进行的 500 千米战斗机竞速比赛中，速度曾达到 2982 千米/时，飞行马赫数达到 2.83。俄罗斯名将曾说过：“米格-25 战斗机就是为超音速而生的！”由此可见这架战斗机的速度有多快。而后生产的米格-31 战斗机飞行速度也能达到 2992 千米/时。不过米格-25 和米格-31 战斗机要达到如此之高的飞行速度必须满足飞机无外挂、少载油等符合高空飞行的条件。

目前,随着超燃冲压发动机技术的成熟,世界各国又开始了高超音速战斗机的角逐,即第六代战斗机的角逐。第六代战斗机的一个最大特征就是高超音速,一般认为,只有超过 5 马赫的飞机速度,才可以被称为第六代战斗机。全球首先实体化提案并公开的第六代战斗机只有波音公司的计划。在 2014 年 12 月美国华盛顿特区举行的美国海军协会大展上,波音公司公布了一款无垂直尾翼的第六代概念机构想图。该机分为双飞行员版本和无人机版本,两版外形完全相同,但详细性能不明。不过就目前而言,第六代战斗机距离实用还比较遥远。



高空飞行的 SR-71 侦察机



米格 -31 战斗机正在起飞

→ 军用飞机执行任务飞行时也有航线吗

飞行航线的方向和长度分别采用磁航线角和航线距离来表示。在航线的前期规划中，都是尽可能在最短的时间内飞抵目的地以便发挥航空器的飞行性能，规避拦截火力，避开国境线、空中禁区和地标稀少或不易辨认以及难以备降的地区等。

一般说来，飞行航线由航线起点、进入目标起点、返航起点、航线终点和必要数量的转弯点、检查点组成。

航线起点，是航空器进入航线飞行的起始点。航线的起始点一般不会选择“机场”。在大多数情况下是与机场有着足够距离的，以避免机场上空的拥挤、混乱，更是为了避免暴露机场位置或避免暴露行动意图。

如果要攻击一个城市的指挥节点，或者摧毁一个武器生产基地，都要制订具体的实施计划，以及相对突发事件的应对预案。攻击前要对目标区域进行详细侦察，获取对方的防空布局，比如导弹基地的位置、雷达基地的位置、防空火炮基地的位置、根据对方雷达探测范围找到新的雷达盲点，以此制定飞行路线，规划好航行路线。这个路线要尽可能地避开雷达扫描区域，远离导弹防空基地。同时，要摸准对方空中巡逻的时间和巡逻的次数。这样才能比较有效地缩短被对方发现的距离，以及尽可能避免与对方进行空战。合理的航线规划才能保证任务的实施。

以色列轰炸伊拉克的核设施就是一次不错的航线规划，甚至任务过程中是否要出动加油机，在哪个空域加油，是否要出动电子战飞机，是否需要出动预警机，预警机要在哪个空域进行活动，都需要提前规划，一环出现失误，很可能满盘皆输。



飞行中的图-22M“逆火”轰炸机



苏-25“蛙足”战斗机正在起飞



飞行中的图-160 轰炸机

→ 军用飞机在冬季如何进行除防冰作业

随着科学技术的不断进步，军用飞机在设计和制造时充分考虑了实用性、操纵性和安全性，飞机自身的可靠性不断提升，由飞机自身设计原因导致的事故数量显著减少。尽管如此，天气仍是影响飞行安全的重要因素之一，如颠簸、风切变、雷雨、积冰、低云及低能见度等危险天气。对于冬季飞行来说，影响飞行安全的最大因素就是飞机积冰。因此，军用飞机在冬季必须进行除防冰作业。

军用飞机之所以要进行除防冰作业，是因为飞机起飞是靠机翼在空气中相对运动形成的升力，飞机在达到一定的速度后，机翼会产生上浮的升力，而升力的大小依机翼的形状而变化，所以飞机起飞时机翼表面不能有任何附着物。如果机翼表面有积雪或积冰，气流就容易分离，飞机在空气中飘浮所需要的升力就会降低，而且机翼积冰有可能妨碍飞机的操纵系统，即便飞机飞起来也会处于不稳定状态。如果机身外部的空速管或静压探口发生堵塞或变形，还会导致产生错误的飞行数据。此外，机身上的冰块脱落还会使机体或发动机受损。因此，一旦确认机翼表面有霜、积雪、因低温导致的结冰，就必须实施除雪或除冰作业。

目前，大多数军用机场采用的除冰方法有停机位除冰和在机场指定区域进行的定点除冰。军用飞机的除防冰作业是除冰车向飞机喷洒除冰液将雪和冰融化，之后如果在飞机起飞前仍持续降雪或者判断机翼表面的水分会再发生积冰时，就要在机翼表面再度喷洒防冰液。除冰车上装有除冰液和防冰液两种液体。前者是水和原液的混合液，经过除雪车上的锅炉加热至 $65^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$ 后进行喷洒；后者也是水和原液的混合液，但一般不需加热。

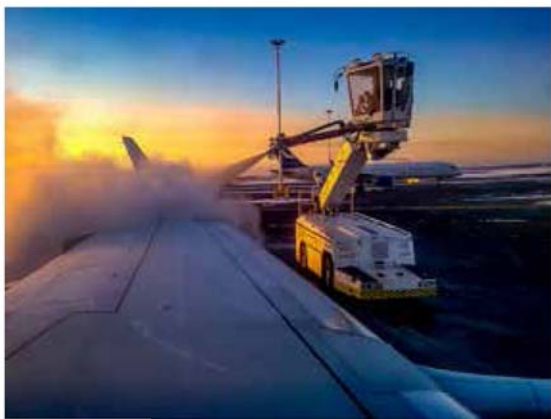
除降雪天气外，还有一种情况是需要对军用飞机进行除霜作业的。因为飞机在温度为 -50°C 的平流层飞行数小时后，燃油箱（通常位于机翼中）及其内部的燃油也会处于低温状态，当飞机降落后，地面湿度较高时附着在机翼外表面的水分就会结霜，这个时候就需要进行除霜作业。

另外，气温在零下时出现的浓雾，如果附着在冰冷的机体上也会形成一种肉眼看不见的冰膜，这时也需要实施除防冰作业。

除了军用飞机自身外，军用机场同样也需要进行除防冰作业。在遭遇降雪天气时，军用机场必须同时进行跑道的除雪作业和飞机的除雪除冰作业。如果跑道达不到飞机起飞标准，机场还要进行关闭。



F-16“战隼”战斗机进行冬季除冰



军用飞机机翼除冰

→ 战斗机为何不能飞到太空中

随着科技的发展，战斗机的速度越来越快，从亚音速向超音速再向超高音速发展。如今的战斗机一般都是超音速战斗机，能够进行超音速巡航。如果让战斗机垂直向上飞行，那么应该可以飞出地球进入太空，可是现实中却很少有战斗机能够飞进太空，这是为什么呢？

其实并非战斗机不想飞进太空，而是根本飞不进去。战斗机依靠的是尾部的发动机推力升空，然后依靠空气的升力实现升空飞行，这就是

空气动力学原理。众所周知，地球上的高度越高空气就越稀薄，按照地球的空域划分，如果超过2万米的高度，那么就属于外太空，也就意味着空气极其稀薄，在这样稀薄的空气区域战斗机根本无法获得足够的升力，这就是很多战斗机的飞行高度被限制在2万米以下的原因。

另外，从战斗机的发动机构造来说，战斗机的发动机的工作原理：发动机启动之后，需要吸收空气，然后对空气进行压缩，与发动机燃烧室的燃料混合燃烧，然后产生强大的推力，从而实现战斗机的向前行进。如果在超高空地区，空气稀薄、氧气不足，战斗机的发动机无法正常工作甚至根本无法启动，发动机启动不了，那么战斗机会因为地球的引力快速坠落，造成机毁人亡的严重后果。火箭发动机之所以能够升空，是因为它不需要从外界吸入空气，而是依靠自身携带的燃料和氧化剂产生燃烧推力，从而在太空飞行。

即使战斗机不受空气动力原理、发动机构造等因素影响，它依然无法直接飞出地球进入太空。万有引力定律阐明，如果一个物体要想摆脱地球的引力进入太空，那么这个物体的速度必须达到第一宇宙速度，第一宇宙速度为7.9千米/秒（2.8万千米/时），而世界上最快的战斗机米格-31的速度只不过为3200千米/时，速度上前者是后者的近9倍，这个速度相对于第一宇宙速度来说实在太慢了，这样的速度是逃不出地球引力的束缚的。

除了以上这些，还有很多因素制约了战斗机不能进入太空，比如战斗机飞行员在天空的供养问题、飞机的燃油充足问题、飞机返回地球抗热问题等，这些都决定了战斗机飞入太空就是自寻死路。



艺术家想象中的 X-20 试验机进入大气层过程



高速飞行的米格-31 战斗机

→ 战斗机量产后如何处理验证机

验证机全称为技术验证机，是一种用于测试某项新技术可行性的飞机。验证机是战斗机研发过程中在演示验证阶段所使用的飞行平台，主要用于展示战斗机的特点与能力，验证所采用的新技术的成熟度和可用性，所以，验证机的作用是承包商向军方用户展示其产品的能力特性与证明其产品的可行程度。

验证机与工程制造和发展阶段的量产型飞机还是有很大差异的。美国在先进战术战斗机（也就是后来的 F-22 战斗机）的研发过程中，演示验证阶段持续时间长达 50 个月，美国军方在 7 家参与项目竞标的公司中，选择 2 家公司展开方案竞争，各自使用自己研发团队的验证机（分别为

YF-22 和 YF-23) 及动力装置, 展示各自飞机设计方案的隐形性能和超音速巡航能力, 以及研发项目的风险控制方案和技术开发计划。两家公司分别制造了 2 架验证机, 分别采用 2 种不同的发动机。1990 年 9 月 29 日, 先进战术战斗机的验证机进行了首飞, YF-22 验证机的特点是采用推力矢量发动机, 机动性能更强, 成本更低, 风险更小; YF-23 验证机的特点是速度更快, 隐形性能更好。经综合评估, 美国国防部于 1991 年 4 月 23 日宣布洛克希德·马丁公司的 YF-22 方案胜出, 由此进入 F-22 战斗机的工程制造发展阶段。

量产型的 F-22 战斗机与 YF-22 验证机有较大的差异。例如, 量产型 F-22 战斗机的前缘后掠角从 48° 减至 42° , 垂直尾翼面积减少 20%, 座舱位置前移 18 厘米, 等等。所以, 进入量产阶段后, 验证机的使命就已经完成, 之后主要作为飞机制造公司开展后续研究的飞行试验平台使用, 继续发挥验证机的余热。



保存在美国空军国家博物馆的 YF-22 验证机



飞行中的 YF-23 验证机

→ 轻型战斗机与重型战斗机有什么区别

轻型战斗机是指战斗机中体型相对较小，航程相对较短，载弹量相对较少的战斗机。轻型战斗机是空军装备的重要组成部分，主要用于空战和战术支援任务。其载弹量一般不超过 8 吨，大都采用单发布局，外挂点在 10 个左右，航程在不进行空中加油时一般不超过 1000 千米。由于空中加油技术的成熟和航电技术的发展，轻型战斗机的作战能力已经开始向重型战斗机靠拢，再加上轻型战斗机相对比较廉价，因此世界各国都比较愿意开发轻型战斗机。

重型战斗机是指战斗机中体型相对较大，航程相对较远，载弹量相对较多的战斗机，具有纵深打击能力。重型战斗机的空重就有 15 吨左右，正常起飞重量为 20 ~ 22 吨，最大起飞重量能超过 30 吨，在战斗机中是名副其实的“大块头”。美国新推出的升级版 F-15X 战斗机，空空战斗状态可挂 22 枚空空导弹，空地战斗状态可挂 8 枚空空导弹和 28 枚 SDB 小圆径炸弹，加之配装有源相控阵雷达和先进电子战装备，其综合作战能力非轻型战斗机可比。因而一般来说，重型战斗机属于高端战斗机，轻型战斗机属于低端战斗机。

与重型战斗机相比，轻型战斗机也有其独特的优势。

(1) 起飞重量小，配装先进发动机后，单位重量剩余推力 SEP 比较大，在格斗空战中仍保有一定优势。

(2) 机体尺寸小，雷达反射面积平均比重型战斗机小一个量级，在中距空战中也有一定的生存优势。

(3) 使用经济性好，研发、采购、维护和使用综合成本明显低于重型战斗机，有利于大批量采购。在军费紧张时代，成本优势仍然具有很大的吸引力。

实际上，重型战斗机和轻型战斗机的优势都是相对的。一国空军在装备采办上一般遵循高低搭配的优化组合模式，各采购一定比例的重型战斗机和轻型战斗机。在作战使用中，强调的是优势互补，采用重型战斗机和轻型战斗机混编协同作战的方式，发挥混编作战效能的最大化。



印度“光辉”轻型战斗机



F-16“战隼”轻型战斗机



二战时期的 Bf 110 重型战斗机



苏-30“侧卫-C”重型战斗机

→ 美国战斗机的尾焰为何大都是红色

在各国都在努力发展军事的今天，在航天领域还是一直以制造战斗机为主。这些战斗机中，有的战斗机尾焰是红色的，有些却是蓝色的。比如美国的 F-22 战斗机，在起飞时，尾部喷射的尾焰是橘红色的，而俄罗斯的 T-50 战斗机的尾焰，却带一点蓝色，这是为什么呢？

有专家指出，战斗机所喷发的尾焰的颜色跟尾部燃料的温度有关，火焰的温度在 600°C 时颜色是暗红色； 700°C 时是深红色；在 1000°C 的状态下是橘红色；要想呈现天蓝色的火焰效果，战斗机尾部的温度必须高，只有发动机功率大才能提供足够的动力，所以温度起码要达到 2500°C 。这就说明相比之下，美国的战斗机尾焰温度低并不用消耗过多的燃料和动力就能够保持正常飞行。

发动机的性能优劣不只在推力方面，也在于使用时长，寿命越长越耐用，且损失的力度小。调查显示，美国的发动机的使用寿命在 7500 小时左右，而俄罗斯所研制的发动机的使用寿命为 3000 ~ 5000 小时，显得稍逊一筹。

对于发动机的使用，美国的技术是燃烧室位置比较靠前，并在尾气排出口采取降温措施，保证喷射的火焰温度能够有效降低，尽可能减少往外喷射的红色火焰，以便于作战时有更好的隐形效果。所以，对比俄罗斯的隐形战斗机，美国隐形战斗机在处理技术方面占据优势，在隐蔽性能上自然更好一些。



呈红色尾焰的 F-22 战斗机



呈淡蓝色尾焰的苏-57 战斗机

→ 为何战斗机的交付一般都由运输机领队

美俄两国是当今世界最大的两个战斗机输出国，很多国家的战斗机都来自这两个国家。我们常常可以在国际新闻中看到这样一个画面：俄罗斯在交付战斗机的时候，都会有一架或两架运输机进行开路。究其原因，有以下几点。

首先，虽然类似苏-27以及苏-35这样的战斗机具备远航能力，但是为了保证飞行安全，还是需要引导机来进行飞行引导的。用伊尔-76这样的大型飞机做引导机，可以保证战斗机的飞行密集度，避免战斗机在飞行途中发生事故。

其次，采购战斗机的时候，并不只是单单采购一架战斗机，往往会采用很多与战斗机匹配的零部件和武器，包括战斗机备用发动机、航电系统以及空空导弹等。这些备用零部件显然是不能依靠战斗机进行运输

的，而且战斗机也不能带着实弹飞跃他国的领空，所以在交付的时候，派一架运输机随行，可以将这些东西也带过去。

最后，交付战斗机的时候，一般由战斗机输出国的飞行员驾驶战斗机飞到目的地。如果交付的战斗机数量较少，飞行员交付完战斗机之后，一般会搭乘民航飞机回国。但是如果交付的战斗机数量较多，随机而来的飞行员也不少，这个时候，运输机就可以把飞行员带回去。

除了空运，战斗机输出国有时也会采取海运的方式运输战斗机。对于战斗机这种每台动辄数十吨的货物，使用海运相对性价比就高了不少。唯一的缺点是，由于海运所需时间较长，飞机在海上的安全有时得不到保证，还需要出售国或购入国派出海军舰艇接力保护。



苏-35 战斗机正在起飞



伊尔-76 运输机前侧方视角



苏-27 战斗机前侧方视角

➔ 单螺旋桨战斗机飞行时机身为何不会向螺旋桨反方向转动

一般来说，单发的螺旋桨战斗机是会受到螺旋桨副作用影响的。螺旋桨的副作用主要包括滑流、进动、扭矩等因素，这些副作用会影响飞机的姿态与航向。

螺旋桨因素是指在大迎角状态下，螺旋桨旋转时，下行桨叶迎角大，而上行桨叶迎角小，故下行桨叶的拉力大于上行桨叶的拉力，形成了偏转力，使飞机绕立轴向左偏。此种情况下，飞行员需要用方向舵予以修正。

滑流也跟螺旋桨旋转的方向有关。螺旋桨除了让空气加速往后流动以外，也会带着气流顺时针旋转。以右转螺旋桨为例，机翼上方的气流是由左向右的，这会产生一个左偏的力矩，需要飞行员蹬舵修正。随着飞机速度的加快，这个滑流的影响会逐渐减小。

进动是旋转物体（比如陀螺）的一种现象。以右转螺旋桨为例，飞行员操纵飞机抬头时，由于进动飞机会向右偏航，而飞机向右偏航时，又会自动低头，此种副作用需要飞行员拉杆抵消。

最后是旋转扭矩，飞机给螺旋桨一个顺时针旋转的力矩，那必然有一个反作用力，让飞机逆时针滚转，也就是向左滚转。只要螺旋桨在转，这个力矩就会存在。它会持续地带来与螺旋桨转向相反的力矩，令飞机滚转，此效应需要飞行员调整副翼抵消。

这些因素虽然影响飞行，但它们都是能够被抵消的，只要合理地操控飞机，就能安全飞行。现代飞机在自动飞行时能靠飞控软件自动补偿，但老式战斗机都是由飞行员实时进行控制



飞行中的 P-51 单螺旋桨战斗机

与补偿的，可以说，单螺旋桨战斗机飞行时，机身不会向螺旋桨反方向转动，正是飞行员飞行经验的体现。



飞行中的 Bf 109 单螺旋桨战斗机

→ 为何各国很少装备垂直起降战斗机

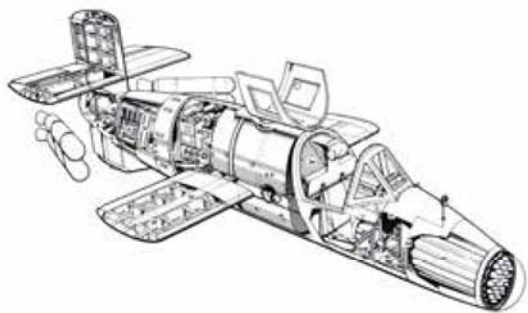
垂直起降战斗机是利用垂直起降技术起降的战斗机。垂直起降战斗机不需要滑跑就可以起飞和着陆，对跑道条件要求低，能在前沿和攻击舰上跟随地面部队进行部署和攻击，对前方支援回应速度快，使用非常灵活。垂直起降战斗机一直是作战飞机领域的尖端产品，但由于研制难度和研制成本过大，多个国家先后退出研制行列。迄今为止，包括美国、俄罗斯、德国、英国、法国在内的航空技术先进国家均在垂直起降战斗机领域有过研究，其中美国、俄罗斯、英国的垂直起降战斗机进入过量产阶段，德国、法国的垂直起降战斗机曾经发展过原型机进行飞行测试。

垂直起降战斗机虽然直到冷战期间才开始大放异彩，但早在二战末期就已经进入相对实用化的发展阶段。1944 年盟军开始对德国进行大规模空袭之后，由于空军基地、战斗机部队和战斗机生产线损失殆尽，德国空军逐渐丧失制空权。为此，德国开始研发火箭动力的 Ba 349 垂直起降截击机，准备将其部署于丛林隐蔽地带的临时基地中用以拦截盟军的

轰炸机部队。该机起飞时必须将机身垂直于地面，以便火箭发动机能提供足够的推力确保实现垂直起飞。因此，Ba 349 垂直起降截击机称不上是严格意义上的垂直起降战斗机，加之产量极少，对战局发展几乎没有产生影响。

进入 20 世纪 90 年代后，英国和俄罗斯也退出了垂直起降战斗机的研制国家行列。由于苏联解体造成北约国家空中安全压力降低、俄罗斯航空工业实力衰退，因此除美国以外各国都不再进行新型垂直起降战斗机的设计。

从技术角度而言，垂直起降战斗机可以认为是当今战术作战飞机方面技术含量最高的一种。除了常规起降作战飞机的必备技术以外，由于垂直起降涉及升力系统与平飞动力系统之间的操控转换、垂直起降时机体需承受高温燃气、发动机推力必须满足同时升力和平飞等特殊问题，其对于材料水准、发动机设计和操控系统都有极高的设计和制造要求，这也是半个多世纪以来研制垂直起降战斗机的国家越来越少的原因。



Ba 349 垂直起降截击机示意图



英国“鹞”式垂直起降战斗机



二战时期的 Ba 349 垂直起降截击机

→ 为何喷气式飞机飞过天空会留下一道白烟

当我们抬头仰望蓝天，看着喷气式飞机轰隆隆飞过头顶时，常常能看到飞机的尾部留下一道长长的白色烟迹，这种情况就是人们常说的“飞机拉烟”。气象学家称它为飞机尾迹，也叫“尾迹云”。其实，这种白色烟迹并不是飞机喷出来的烟，而是由于高空温度低，飞机排出来的废气与周围的空气混合后凝结而成的水汽成为一种特殊云系，看起来是白色的。其实，飞机在高空飞行时，排出的废气与高空空气相混合，混合气体的饱和程度取决于热量与水汽增量两者的净效应，当增湿效应占优势并超过临界值时，就会形成一道拖在飞机尾巴后面的长长的凝结尾迹；而当增热效应占优势时，则不会形成尾迹。相关工作人员根据经验总结出，一般飞机飞行在 7 千米到 11 千米之间的高度时，可能会发生该现象。

除了我们平时见到的飞机拉“白烟”，在重大节日庆典中还可以看到一种“彩烟”。这种“彩烟”一般是特技飞机在进行航空表演时为了营造气氛，有意识地在机尾拉出一条彩色的烟带，在空中绕出各种美丽的造型，这就是人为制造出来的“表演拉烟”。这两种拉烟的

原理大致相同，只不过在“彩烟”表演中，人们增加了一点配料，因而形成了“彩烟”。

拉烟飞行是观众非常喜爱的表演形式，之前的飞机表演大多采用固体拉烟弹。但固体彩烟有个缺点，就是颜色相对较淡，留空时间也短。经过优化，如今拉烟飞行表演中采用液体拉烟剂，将拉烟时间增加到7~8分钟。它主要依靠飞机机腹下加挂的液体拉烟吊舱，将高沸点的液体拉烟剂注入吊舱，通过氮气加压的方式，将烟剂从拉烟喷嘴里“吹”出来，送入发动机喷出的高温燃气中，形成的蒸气遇冷后凝结成雾，就成了浓浓的彩烟。



F-22 “猛禽”战斗机飞行时产生的白烟



F-35 “闪电 II”战斗机飞行时产生的白烟

→ 为何很少有国家研发轰炸机

为了更好地发展军事能力，各个国家都会研制各种各样的武器，比如轰炸机，自其问世以来就为国家做了很多贡献，战斗力也很强劲。但在现代战争中，却很少有国家继续研发轰炸机，究其原因，大概有以下几点。

第一，科研技术的开发。要知道想要成功研制出一种武器，其科研难度特别大。而轰炸机则是除了航母外研发技术难度最高的武器之一，一旦研发不当，就会导致机毁人亡，因此各个国家在研制它时总是会格外小心。现在轰炸机的研发技术则要求更高，除了在动力、载弹量等方面要精进外，还要升级电子系统。因此，如果一个国家没有一套完整的军事系统，很多科技人员根本研制不出来一架新型轰炸机。

第二，经济问题。虽然轰炸机的作战效果非常好，但制造它的成本却非常高，除了制造费用，还有轰炸机的保养费用，只有经常对其进行保养才能使它的零件不会很快老化，而这笔保养费用也是惊人的。因此，哪怕英国拥有研发轰炸机的技术也仍然不敢轻易研发。

第三，大环境因素。现在的社会正处于和平发展时期，因此更注重的是人才和高科技信息技术方面的培养，像这种军事性武器则很少被用到。而很多国家拥有其他的新型作战武器，即使真正作战也不会感到害怕，因此自然也很少用到轰炸机。

其实从能力上来看，很多国家都有机会研发轰炸机，不过他们都有其他武器的储备，碍于条件受限，因此也不会去研发轰炸机。



英国“兰开斯特”轰炸机



“火神”式轰炸机前侧方视角



-160 轰炸机在高空飞行