

★ 军工T型台

电影《流浪地球2》中有这样一段画面：一架双发战机转动发动机喷口，向地面喷出火红烈焰，战机腾空而起，快速升空。酷炫的科幻场景，让影迷直呼过瘾。

谈起战机起飞方式，“垂直起降”一

直是热点话题：从二战后期为应对机场跑道毁坏而生的第一代垂直起降战机“云雀”，到英阿战争在货船上起飞的英国“鹞”式战机，再到适用于中小型航母的F-35B战机，垂直起降技术在战机的迭代更新中不断发展。

在过去70多年里，发展垂直起降战机一直饱受争议，高油耗、高故障率、低载弹量等技术和战术短板依然存在。那么，战机垂直起降技术有多复杂？需要攻克哪些技术难关？未来如何发展？请看本文为您一一解读。

垂直起降战机面面观

■姜子晗 李子豪 潘孟涛



图①：“鹞”式垂直起降战机。
图②：F-35B垂直起降战机。
图③：雅克-38垂直起降战机。

资料照片

“起得来”又要“落得稳”，一升一降考验战机能力

如果将垂直起降战机比赛场上的“举重选手”，那么战机每一次起落都是一场20000公斤级别以上的较量。不仅要“起得来”，还要“落得稳”，这对战机平衡力要求很高。

众所周知，垂直起降战机无法利用机翼升力来平衡重力，只能靠发动机向下喷射燃气产生向上推力。战机要想“起得来”，不仅发动机的推力要足够大，设计布局还要满足战机平衡力要求，“多点平衡”是大多数国家研制垂直起降战机的首选方案。英国第一代垂直起降战机——“鹞”式战机采用了这样的平衡方式，在机身两侧对称布置可旋转喷口。发动机工作时，四处喷口协同用力，像抬轿子一样把战机举起来，通过调整喷口角度保持平衡。

英阿马岛战争，英国皇家海军“鹞”式战机共击落22架阿根廷空军战机。能取得这般成绩，得益于多喷口矢量发动机的优异性能——小盘旋半径、高转向率和高速飞行时的定向控制能力，使得“鹞”式战机脱颖而出。

随着F-35B垂直起降五代机诞生，“鹞”式战机逐渐落伍，先进的垂直起降战机大多采用“推力矢量发动机+升力风扇”复合推进系统。这种推进系统无需将发动机动力分成4份，而是在战机中轴线上加装升力风扇，使用发动机连接驱动，通过大气压力差的原理来平衡重力，具有动力损耗小、结构设计简单等优点。

不过，复合推进系统在战机垂直降落时会出现“地面效应”，导致燃气吸入升力风扇，战机会出现强烈抖动。此时，要想保证战机“落得稳”，飞行员需要根据风力、地面距离等数据实时调整油门和操纵杆，保持战机飞行姿态平稳。

如何让飞行员轻松完成战机降落任务？各国航空设计师在改进战机“大

脑”上下功夫——科研人员为垂直起降战机量身打造闭环智能控制系统，通过分布在机身各处的传感器代替飞行员的态势感知，只需在系统中输入坐标，便可生成推力方案，自动调整喷管角度和推力大小控制战机平稳降落。

事实上，设计验证垂直起降战机是一个漫长过程。在飞行试验阶段，科研人员对战机开展悬停留驻试验，获取悬停状态的气流场，评估动态控制能力。因此，为实现垂直起降战机的高效起降，需要技术体系、系统设备与试验配套条件的同步革新。

重“面子”又要“里子”，战机“装修”牵一发而动全身

去年，国外某军工企业公开展示了一种垂直起降战机的悬停功能。该战机机身6处喷口同时打开，向地面喷射燃气，酷似一只张开翅膀的大黄蜂。

航空界有一句话：“战机颜值即是战斗力。”设计人员在垂直起降战机的“面子”上煞费苦心，为了能装下庞大的复合推进系统，战机身不仅要满足进气和排气的需要，还要保持简洁流畅的外形，活动部件和喷口设置成为垂直起降战机的显著特征。

设计人员在垂直起降战机座舱后部为升力风扇设置了进气口盖，背部喷口设计可避免发动机再次吸入喷出的废气，有利于提高发动机功率，并减少异物吸入的危险。此外，设计人员在升力风扇进气口给战机设置了一个双开门的“天窗”，用以辅助发动机进气，改善战机的进气能力。

在原本平整的机身上加装风扇以及各类喷口，将引起气动特性发生变化，战机可操作性和稳定性也会下降。因此，设计人员给机翼加装副翼，增大活动舵面提高升力；取消外挂物和挂架，采用机内弹舱方式优化气动性能，增强飞行稳定性。

如果说机身设计是“面子”，那么机

体内部结构设计就是战机的“里子”。可以说，“室内装修”步骤更多、设计更细、标准更高。

一方面要作为动力系统腾出空间。设计人员一般将战机中间宽敞的舱段“清理”出来，留作动力系统的“客厅”。例如，国外某型垂直起降战机为了加装升力风扇，将主弹舱安置在发动机两侧，进气道改为S型，就连机电设备也是见缝插针。此外，他们还改变油箱形状，使战机“里子”既有型又贴合。

另一方面要整合配套设备。发动机功率的提升，需要增设大功率供电、液压和冷却系统，打造“一体化家具”是破解空间难题的关键。目前，一些国家设计人员初步实现了垂直起降战机辅助动力系统和应急动力单元的整合，高压气瓶通过存储压缩气体，直接驱动动力涡轮实现自启动，减少了辅助动力生成系统的涡轮数量，达到了“一专多能”的效果。

相比“室内装修”“增减家具”，各系统之间的“磨合”同样重要。发动机与升力风扇需要通过一根传动轴连接，由于离合器与升力风扇的速度差极大，在接合瞬间会产生极高温度。因此，设计人员通常会使用碳耐磨材料，并对其表面进行硬化处理，使离合器更轻、更有力量，提升传动效率和响应速度。

垂直起降战机问题频出，战场表现不尽如人意

上世纪70年代初，时任美国海军作战部部长艾尔默首次提出建造更小、性价比更高的“制海舰”，并搭配垂直起降战机。这一方案遭到军方高层的否决。

美国军方否决该项目，理由很简单。按照当时垂直起降战机的战场表现看，其空战能力难堪重任——苏联研制垂直起降战机雅克-38，可靠性低、事故率高，被称为“桅杆保卫者”；美国引进英国“鹞”式战机，并研制出垂直起降战机AV-8B，投入巨额资金为其设计提升载油量和载弹量，但在海湾战争中

依然因火力不足被频频换下。

进入新世纪，随着垂直起降战机F-35B列装多国海军，有关F-35B战机发生事故的新闻接连不断。2020年，美军一架F-35B战机在空中加油时，撞上了“空中奶妈”KC-130J加油机，导致“空中奶妈”在附近田地迫降，而它自己则直接坠毁。2021年11月，英军一架F-35B战机从航母起飞时，由于进气道防水保护罩和发动机盖板没有摘除，导致F-35B战机因“呼吸不畅”而坠机。事后，有媒体为这种外形臃肿的F-35B战机起了一个“肥电”的绰号。2022年12月，美国沃斯堡海军航空站联合储备基地，一架F-35B战机在垂直降落时失控坠毁。受此次F-35B坠机事故影响，洛马公司宣布暂停新机验收和交付。细数近年来的飞行事故，让F-35B战机背上了“熊孩子”的名声。

其实，F-35B战机在列装前就饱受争议，美军曾一度想要下马垂直起降战机项目。当时，如果放弃F-35B战机，意味着美国海军的多艘两栖攻击舰将失去固定翼作战飞机的能力，“沦落”为直升机母舰，对替换“鹞”式战机翘首以待的一些国家也将陷入类似的困境。鉴于此，F-35B战机只能勉强上马，从之后10多年的战场表现来看，确实不尽如人意。

2022年，欧洲多国联合推出的“未来空中作战系统”方案，提出六代机的六大能力需求，却唯独将垂直起降排除在外。欧洲各国的选择，并不无道理。高额的研发和保障资金投入，让各国难堪重负。综合考量后，欧洲六代机决定放弃垂直起降技术。

近年来，面对不景气的军贸市场，科研人员选择另辟蹊径，在研制垂直起降舰载无人机方面下功夫。垂直起降舰载无人机可以省去一系列飞行员必备的机载内部设备，机身内部空间更大，可以装载更多的燃油和弹药，扩展更多的作战任务。几年前，美国发布了垂直起降战机的无人版方案，英、法、俄等国也陆续推出具备垂直起降能力的无人机型，使用AI飞控设备实现无人化，成为垂直起降战机发展的新方向。未来，垂直起降舰载无人机能否“破圈”顺利腾飞，让我们拭目以待。

★ 历史钩沉

有人评价：“毛瑟枪是枪械界的神话。”一个世纪以来，毛瑟枪及其仿制枪已生产约4亿支，并服役于全球不同国家军队。

谈及毛瑟枪，必然离不开其研制者毛瑟兄弟。19世纪30年代，德国南部符腾堡州奥本多夫小镇，威廉·毛瑟和保罗·毛瑟两兄弟相继出生。父亲安德斯·毛瑟是当地兵工厂一名枪械制造师，跟着父亲学习造枪成为毛瑟兄弟的童年记忆。

直到有一天，接受“成人礼”后的弟弟保罗·毛瑟选择参军。在军队，他接触到了当时最先进的德莱塞撞针步枪，并开始抓住一切机会研究撞针步枪原理。退役后，保罗·毛瑟与哥哥威廉·毛瑟开始了他们的造枪生涯。

创业之初，毛瑟兄弟在一家兵工厂当学徒，但一切并不顺利。期间，他们仿制出多款步枪，均未得到德军认可。毛瑟兄弟开始意识到：模仿别人不如做出自己的产品。随后他们以破釜沉舟的勇气，买下昔日打工的兵工厂，创立了以制造枪械为主的毛瑟公司。

1871年，毛瑟兄弟成功研制出世界上第一支11毫米口径的枪机直动式步枪——M71式。这款枪首创了凸轮式自动待击、机头闭锁、弹性拉壳钩、手动保险等新原理和新结构，使枪的安全性大大提高。使用时，射手将枪机向上转动90度后拉退弹壳，再前推枪机将子弹送入枪膛，向下转动枪机90度，即可完成闭锁。

M71式步枪的独特设计，成为当时军用电枪的主流。在随后近20年时间里，M71式步枪经过多轮改进，并衍生出多款升级型号。

无烟火药的出现给毛瑟步枪带来质的改变，也促使了毛瑟M98式步枪的诞生。这是一款跨时代的经典名枪，采用拉壳钩装置、旋转后拉枪机等设计，让毛瑟步枪赢得良好的市场口碑。

经典都逃脱不了被“山寨”的命运。在美国、英国、波兰、西班牙等国，都有毛瑟M98式步枪的“枪版”。美国的M1903式、英国的李恩菲尔德步枪等都是M98的仿造型号。

经典永不过时。时至今日，不少突击步枪和狙击步枪仍沿用M98的结构，传承了毛瑟枪的设计基因。

值得一提的是，曾有两款毛瑟枪流入中国，一款是C96手枪（俗称驳壳枪），另一款是98K步枪。这两款名枪不仅在战场上大放异彩，战场之

■程春蕾 齐呈荣

将「毛瑟」打造成传奇符号

德国枪械设计师毛瑟兄弟——

外也演绎出不少精彩故事。当宋庆龄决意嫁给孙中山时，孙中山送给她的礼物就是一把小巧的驳壳枪。毛泽东曾拿毛瑟枪作比较，赞扬丁玲的一支笔：“纤笔一枝谁与似？三千毛瑟精兵。”

经典缔造传奇。在奥本多夫毛瑟枪械博物馆，毛瑟兄弟的塑像静静矗立，坚毅的眼神中仿佛诉说着百年沧桑。他们用尽一生，书写了世界枪械史上的传奇故事。

美国空军一架B-1B轰炸机发动机爆燃——

“老兵”迟暮难堪大任

■李 训 赵镜然 侯嘉麟

★ 军工世界观

2022年4月，美国空军一架B-1B轰炸机进行发动机维护时起火，导致2人受伤。此次事故，受损最严重的是B-1B轰炸机左翼，爆燃引起的大火熔化了机身外壳，导致金属部件脱落。今年2月，美国空军公布这起事故的调查结果：B-1B轰炸机发动机的风扇盘裂纹扭曲有近2.5厘米的缺口，导致发动机爆燃。

据了解，这架B-1B轰炸机发动机上一次大修是在2017年，距离下一次大修尚有一段时间。2021年4月，该发动机曾进行过油箱泄漏修复，并于次年1月重新安装到B-1B轰炸机上。

近20年来，随着B-1B轰炸机的全球部署，战机损耗也在加速。2006年，B-1B逐渐取代B-52，成为美国部署在中东地区、持续参加作战的轰炸机。在亚太地区，B-1B轰炸机频繁参加多国联合军事行动。2017年，美国空军表示，现役62架B-1B轰炸机只有一半处于战斗状态；2年后，只剩6架B-1B轰

炸机具备执行完全任务能力。

现役B-1B轰炸机平均机龄为35年。战机维护难度越大，成本越高。为节约经费开支，这些年，美国空军一边推动新型轰炸机B-21的研发，一边退役老旧的B-1B轰炸机，通过精简数量提高现役战机的出动率。2021年，美国空军获准退役17架B-1B轰炸机，并将其拆解以维持其余战机的正常运行。

虽然这些年美国国防预算不断增加，但能够分摊给B-1B轰炸机机队的预算依然有限。以美国2022财年国防预算为例：2022财年美国空军获得2040亿美元的经费支持，相比2021财年，增加了88亿美元，但这些预算大多被用于高新技术开发、机载精确制导武器采购等，用于维护和保养现役战机的经费相对不足。

有报道称，2021年，B-1B轰炸机机队执行任务率远低于B-52和B-2。可以看出，未来美国空军必然会优先退役B-1B轰炸机，为“新秀”B-21的全球部署让位。

下图：B-1B轰炸机。

资料照片

