兵器广角

今年1月，埃及军方组织的“卡迪尔-2020”大型军事演习中，其空军战机别具一格的涂装给人留下深刻印象。作为埃及空军主力战机的F-16，分别在垂尾、两侧机翼和机背使用了醒目的红色涂装。有关专家分析认为，这种涂装旨在有效区分该国与其他国家装备的同型战机，部分舍弃了战机涂装应有的低可视能力。

在世界各国普遍开始重视战机低可视涂装的背景下，埃及选择了这种特殊涂装，显然经过了一番精心权衡。那么，究竟是什么决定着战机的涂装类型和样式？战机的涂装为何受到如此重视？世界各国的战机都有哪些涂装类型？战机涂装的发展遵循着什么样的规律，又将向何处发展？让我们共同关注本期话题——

战机涂装：不可小视的“表面功夫”

■王 鹏

用途不一的涂装类型

所谓战机涂装，是指在战机表面涂上一些材料，以满足某些特定需求。这些材料既可以是油漆，也可以是吸波材料等。纵观战机涂装的发展历史，根据不同的用途，战机涂装主要可以区分为三种类型：

一是辨识类涂装，主要是指区分战机所属国家、部队的涂装。这是战机涂装最常见的用途。通常情况下，战机国籍的区分，一般是在飞机的显著位置如机翼、机身或尾翼上喷涂战机所属国的国旗或军徽作为识别标志。不仅如此，这类战机涂装甚至还可以区分具体的部队。二战时期，德国空军采用的数字字母编码和图形标志系统涂装就能够具体显示出该架飞机所在的联队、大队和中队；美国海军航空兵部队的识别色系统，则以6种颜色区分每个飞行中队的6个小队。除此之外，战机的辨识类涂装还包括体现飞行员个人特点的个性化涂装和战果涂装。如二战期间，德国空军飞行员阿道夫·加兰德就被允许在战机上采用“右手执战斧、左手拿雪茄”的米老鼠涂装，同期的苏联空军飞行员每击落敌一架战机就在驾驶舱侧面涂上一颗红星。这些涂装不仅起到了标识身份的作用，还能够用来鼓舞士气。

二是伪装类涂装，主要是指将战机色彩或信号特征融于背景环境中的低可视涂装。这类涂装的作用是隐蔽自己，延迟对方发现时间。如一战期间，一些飞行员将战机表面涂成绿色。飞机停在地面时，从上俯视，它与绿地同色，大大降低了被发现和攻击的危险。除此之外，这类涂装还被用来隐真示假，如一些国家的F/A-18C“大黄蜂”战斗机和A-10A攻击机的座舱下面喷涂有假座舱，这可以使敌方的飞行员在瞬间误判这些战机的飞行轨迹。现代战机的隐身涂装从一定程度上讲也属于伪装类涂装，旨在欺骗对方的雷达，通过对接收的雷达波束进行控制从而达到使战机隐形的目的。如美国的B-2轰炸机大部分表面都被特殊的弹性材料覆盖，其所用的雷达吸波涂料可将雷达波能量转换成热能，从而使战机的雷达反射面有所减小。

三是演示类涂装，主要是指训练、表演、救援和试验性飞机所用的高可视涂装。这种涂装要求色差明显，与背景对比度大，与低可视涂装目的截然相反。搜索救援飞机通常采用橙色与白色，教练机普遍采用机身上白、下红、红色翼尖的涂装。而在一些庆祝活动中，演示类涂装的色彩与图案更为明显。如北约每隔几年就举行一次的“老虎会”，与老虎有关的艳丽图形或在机头、机身，或在机翼、机尾，有的覆盖整个机身。

①

②

③

④

图①：法国“阵风”战机的虎纹涂装；图②：英国“台风”战机的“D日入侵”涂装；图③：约旦F-16战机的数码迷彩涂装；图④：加拿大CF-18战机的演示类涂装

或“有”或“无”皆为战

从战机涂装的发展历程来看，它也经历了起起伏伏、或“有”或“无”的不同阶段。对战机涂装来说，“变”是永恒的主题，但种种变化的起因始终源于为“战”服务。

战机涂装从“无”到“有”，因战而“盛”。20世纪初，设计师通常会在木质架构的战机身上涂抹油漆，这些油漆最主要的作用在于防虫蛀和防朽坏，保持战机的完好率。一战时期，除了使用辨识类涂装外，伪装类涂装开始大行其道，因为经过多方验证，拥有这类涂装的战机能占有一定优势。当时，各国战机普遍涂装上色。如英国战斗机以黄、绿色为标准涂装底色，机身两侧和主翼上表面、下表面绘制有圆环状的机徽。到二战爆发时，几乎所有的军用飞机都使用了上表面绿色或棕色、下表面白色或浅蓝色或灰色的涂装，而用于海上作战的飞机则普遍被涂成白色或灰色。当战火蔓延至非洲时，又出现了沙漠色涂装，由此可管窥不同战场环境对战机涂装的影响。

战机涂装从“有”到“无”，为胜而“减”。早在上世纪早期第一架全金属结构飞机出现时，由于考虑到油漆有重量、涂抹不匀易影响飞机重心和稳定性，曾经出现过战机裸露金属蒙皮的情况。特别是随着喷气式飞机的出现，机身表面的涂料有时会影响到飞机的气动性能，战机涂装逐渐式微。美国在二战末期对日本的核打击则进一步引发了对未来战略轰炸机涂装的思考。当时的相关研究发现，无涂装或白色涂装的战机能更好地反射核爆炸释放出的光辐射热量。冷战初期，以美苏为代表的各国战机不少采取了无涂装或白色涂装方式。如美国战略空军装备的B-47与B-52轰炸机都无涂装，苏联空军远程航空兵的米亚-4、图-16和图-95战略轰炸机也采用了类似模式。与此同时，随着可用于远距离交战的空空导弹的出现和机载雷达的发展，一些国家的设计人员一度认为战机低可视性涂装的必要性大大降低，因此如F-104、米格-21、“闪电”等一些喷气式战斗机也没有出现额外的涂装。

战机涂装从“少”到“多”，因战而“增”。随着越南战争的爆发与持续，美国空军发现越南的战场环境与此前设想的核大战场景明显不同。数量虽少却高度灵活的越南空军米格-17、米格-19战斗机，以及数量较大的地面高炮、萨姆-2地空导弹带来的严重威胁，迫使美国空军战机降低作战高度执行空战、轰炸以及近距离空中支援等一系列作战任务。再加上越南典型的东南亚丛林地形，直接促成了适应这一特殊战场环境的“东南亚迷彩”涂装方案的诞生。最为典型的就是美国空军的AC-47炮艇机等，其上表面涂有浅绿/深绿/棕三色迷彩，下表面则为黑色涂装，以适应夜战的需求。而如今，深浅不一的灰色渐渐成为多国战机的主流涂装，俄罗斯战机恢复使用的多色数码迷彩和不规则几何图案涂装，则进一步增加了战机涂装的可选样式。

由表及里，注重“内涵”

随着现代军事航空技术的发展和空战形式的演变，当前，一部分战机的涂装在注重“外表”的同时，已经走上了“内涵”式发展的道路，其目的就是为了进一步降低战机的可探测性。

一方面，为适应实战需求，现代战机涂装开始更多地在细节上下功夫。较为典型的就是对银色、灰色系涂装的深入研究与灵活运用。在此之前，已经有一些这方面的研究成果得到应用，如战机在中低空对流层作战最佳涂装是浅灰色，平流层为深灰色，更高空则以黑色为宜。而如今，对不少国家的战机来说，低可视化已经纳入战机的一体化设计，并开始综合考虑飞机的类型、活动区域等更多因素来进行相应的涂装。如俄罗斯就在苏-57战斗机和“猎人”无人机的浅灰色底色上涂设了计算机设计的深灰色数码色块，用来欺骗对手战机所载红外传感器，诱使对手产生误判。

另一方面，除了注重涂装颜色细节方面的变化外，现代战机的涂装更加看重涂料材质与功用。战机涂料的种类较多，如飞机蒙皮涂料、迷彩涂料、隐身涂料、隔热降噪阻尼涂料、高温部位耐温涂料、抗静电涂料、耐油涂料、防火涂料、耐磨防滑涂料等，而备受人们关注的是隐身涂料的使用与功效。当前，战机隐身涂料根据功用的不同，可分为雷达、红外、激光、声呐等多种类型的吸波涂料。这些涂料制造、使用工艺的不断改进，将使得战机隐蔽性更强，发动攻击更加突然、高效。

客观地讲，当下各国的战机涂装仍在不断演进过程中，对低可视涂装的研究与改进还将继续。毕竟对于战机来说，要做到不被敌人看见仍然很困难。现代战争中隐身战斗机和电子战飞机需要渗透到敌方空域较长时间作战，这意味着被看见仍是现代战斗机的“命门”所在，因此需要战机尽可能地具有目视隐身能力。

但是，从更高的层面来看，当前的战机涂装仅仅只是战机伪装的一部分。未来战争中，战机要具备更强的低可视性和低可探测性，还有很多工作要做。当前的战机涂装从本质上讲还是一种“被动式的静态伪装”，也许在不久的未来，随着新科技、新材料的不断涌现，一些“主动式的动态伪装”有可能出现，比如自适应伪装、智能伪装等等。目前，一些国家相关的研究已经部分展开，如果有朝一日达到实用化的程度，它也许将改变现有战机的涂装样式。但是，那时它会不会继续以“涂装”的形式出现，就不得而知了，至少现在很难对其下这个结论。

（作者单位：空军工程大学）

版式设计：梁 晨
供图：李 想

兵器连连看

炮口制退器没用了吗？

■王晓煊 刘超一

说到炮口制退器，人们很快会想到火炮口那个乍看上去很像大号枪械消音器的钢铁装置。但只要留心就会发现，这个让火炮看上去“威武又结实”的装置如今似乎正从大口径火炮身上慢慢消失。

那么，在火炮发展历程中，这个令大炮平添几分威仪的炮口制退器真的没用了吗？这得从炮口制退器的来源说起。

有军迷将炮口制退器形象地称作火炮的“笼头”。和马的笼头用来约束其奔跑速度与转向一样，炮口制退器的作用也是通过控制火药燃气气流、方向及速度，将燃气的部分动能引向侧后方喷射，从而借此减小发射时身管的后坐力，提高火炮射击稳定性。

作为火炮发展史上的一项重要设计，炮口制退器一经出现很快就得到了运用。二战中，德军“虎”式坦克和苏军IS-2重型坦克的坦克炮都配备有制退器。一些自行火炮和部分战舰上的火炮也装有它。据测试，效率较高的制退器一般能降低火炮近三成左右的后坐力。

但是，即使在那时，制退器也没法称之为“火炮标配”，因为有相当多的火炮没有采用这种设计。如德国“野蜂”150mm自行榴弹炮、美军的M115式榴弹炮等。这是因为，制退器在有其长处的同时也有其短板。之后，随着科技发展，对一些火炮来说，这种设计长处不再长而其短处却更加短，所以一些火炮告别了炮口制退器。如目前俄罗斯乌拉尔运输机械公司正在进行现代化升级改造的“马尔卡”自行榴弹炮，就没有加装炮口制退器。如今的现代化火炮，如美国M1A2坦克、德国豹2坦克上的坦克炮，大多取消了制退器。

炮口制退器的短板是什么？简而言之就是它在减少身管后坐力的同时，也卸载了炮弹部分动能，影响了火炮精度和射程。

首先，火炮开炮时原本是燃气推着炮弹在炮管内高速向前移动，但到炮口时，燃气却改变了路径，变成一部分向前、一部分拐弯向两边。虽然这只发生在一瞬间，但是仍然会对炮弹造成一定影响。尤其对旨在精确打击敌方战舰的舰载主炮来说，这种影响有时是致命的。

其次，炮口制退器的使用，客观上形成了燃气推力的“跑、冒、漏”，降低了炮弹出膛时的初速，进而影响射程。有时，它还会增大炮口处的火光、声响及扬尘，这种变化对阵地的隐蔽和炮手的安全来说非常不利。

再次，随着科技发展和弹药品种发生变化，炮口制退器的“不适应”状况日益增多。如炮射导弹的问世，就使炮口制退器的必要性大幅降低。除此之外，采用新科技、新材料研发的复进制退机构已经能够消化一些舰炮因取消炮口制退器多出来的这20%～30%的能量，而不会影响射击效果。

凡此种种原因，使得越来越多的大口径火炮渐渐告别了炮口制退器。但是，这并不是说，炮口制退器就没用了。

事实上仍有不少火炮还在使用炮口制退器。比如，去年法国媒体向外界公开了新型140mm坦克炮的试验场景，与以前使用的坦克炮不同，这型140mm坦克炮加上了炮口制退器。2018年，土耳其MKE公司首次展出的MKE 105mm空降轻型牵引榴弹炮同样设计有双室炮口制退器。

不仅如此，一些近防炮、小口径高射炮、中口径舰炮也在继续使用制退器，以使射击更加平顺。

过去几十年间，随着大口径高精度反器材武器列装一些国家的军队，这种口径甚至可以达到20mm和25mm的“狙击炮”也纷纷加入“炮口制退器使用者”行列。克罗地亚的RT-20型20mm反器材炮，既能打装甲车，也能打直升机，因为后坐力大，就使用了较大的炮口制退器。苏罗通S18-1000反坦克步枪在枪口上也套有一个较大的制退器。

由此可以看出，何时何处使用炮口制退器的基本原则没变，那就是——为战而生、因战而定。

兵器控

品味有故事的兵器

■本期观察：唐金凡 柴文谦 景淑彤

巡飞弹是介于巡航导弹和无人机之间的智能化导弹。它的最大特点是可以在目标区域飞行一段时间并进行侦察，在操作人员确定目标后再发起攻击。巡飞弹与巡航导弹的不同之处在于，前者可以在目标区域周围以较低速度巡航较长时间。而且，不同于大多数无人机的可回收，巡飞弹具有内置弹头，旨在攻击目标，其作为打击性武器的性能优于“自杀式”无人机。今天，给大家介绍3种较有代表性的巡飞弹。

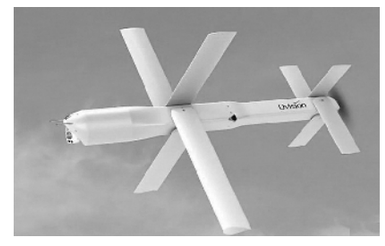
“柳叶刀”巡飞弹

去年，俄罗斯卡拉什尼科夫集团下属的Zala航空公司展示了“柳叶刀”巡飞弹。这种巡飞弹也被认为是多用途智能化无人机，但实际上，它更符合巡飞弹的特征，比如使用多种光电手段进行即时侦察、情报收集和传输目标图像确保打击成功等。

Zala航空公司推出的“柳叶刀”巡飞弹有大小两个版本，小版本的“柳叶刀-1”仅重5千克，相对较大的“柳叶刀-3”重约12千克。虽说体型上非常“迷你”，但它安装有侦察、通信、导航和打击组件。尤其是配备新型光学摄像机以及夜视、红外设备后，它的侦察能力进一步增强，所具备的“人在回路”智能化控制功能，能让其更加精确地攻击目标。

它对目标发起的是“自杀式”攻击，因此主要系统元件基本采用民用标准以降低成本。

“英雄”系列巡飞弹



以色列Uvision公司研发的“英雄”系列巡飞弹据称有6个型号。根据作战对象的不同，各型巡飞弹的装药量、巡飞时间等也不同。

“英雄-30”巡飞弹是该公司推出的单兵携带管式发射巡飞弹，能为步兵提供精确的视线监视和攻击能力，可续航30分钟，战斗部重0.5千克，用来打击人员、快艇等目标。改进后的“英雄-120”巡飞弹配备了系列多用途弹头，可针对不同目标灵活选择不同弹头，通过数据链对其下达控制指令。它的续航时间达1小时，能够在城市以及附近地区对中等距离的目标如车辆、防御工事等进行精确打击，且具备一定回收能力。“英雄-400EC”巡飞弹换装了10千克的多用途战斗部，具备“人在回路”实时控制功能。它可以集成在特定的地面、舰载和机载平台上，借助出色的侦察监视功能和长续航能力，对包括主战坦克在内的多种目标进行打击。

“弹簧刀”巡飞弹

美国航空环境公司研制的“弹簧刀”巡飞弹目前已发展出车载型、机载型等多种型号，但其基本型是一种单兵筒式发射巡飞弹。

它整体系统由发射器、巡飞弹及地面控制站等部分组成。巡飞弹重约2千克，装备有可折叠的串联弹翼，以小型电动马达驱动尾部的螺旋桨飞行，可续航20千米。头部安装有导引头，其后是战斗部和处理器等电子部件。弹体中部装有GPS天线和接收机，后部为电池、功率调节电路和动力组件。

借助所携带的彩色视频摄像机，该巡飞弹在飞行过程中可以实时传回彩色视频信号。操作人员通过传回的视频图像确认所要打击的目标，发送解除保险指令。它也具备“人在回路”实时控制功能，操作人员可通过数据链终止它对目标的攻击。