

地对空导弹：从"萨姆"到反隐身，人类怎么把飞机从天上打下来

飞机刚参加战争那会儿，打它只能用机枪扫射、用炮弹轰。可飞机越飞越快、越飞越高，靠人操炮瞄准越来越吃力——炮弹还没飞到那个高度，飞机早就没影了。于是有人提出一个大胆的想法：既然炮弹追不上，那就让一枚会"自己找目标"的飞行器去追。这个想法最后变成了地对空导弹。从此，防空作战从"打得到"变成了"算得准"，天空不再是飞机独来独往的地方。

一、二战末年的第一次尝试

地对空导弹的种子，是在二战最吃紧的时候埋下的。1944年起，德国本土天天挨盟军轰炸，高射炮已经拦不住成群的重型轰炸机。德国人于是启动了代号"瀑布"的急造项目——研制一种从地面发射、能自动追踪轰炸机的火箭弹。

"瀑布"走的是一条今天看起来很基础的路：靠地面雷达跟踪目标，用无线电把修正指令传给飞行中的火箭，引导它去撞敌机。这套"地面指挥"的思路，成为后来绝大多数地对空导弹的雏形。

但"瀑布"还没研制成功，战争就结束了。真正把地对空导弹变成现实的，是战后两个超级大国——美国和苏联。它们接过了德国留下的技术资料 and 科学家，各自造出了自己的地对空导弹。苏联的第一种型号叫"萨姆-1"，美国的叫"波马克"，之后又有了"奈基"系列。地对空导弹的时代，就此开始。

二、萨姆-2：把U-2从两万米高空打下来

如果说有一种导弹改变了历史，那一定是萨姆-2。1960年5月1日，苏联斯维尔德洛夫斯克上空，一架美国U-2高空侦察机被一枚萨姆-2击落，飞行员加里·鲍尔斯被活捉。

这件事在当时震动了世界。U-2能飞到两万米以上，超出了当时所有战斗机和多数高射炮的作战高度，美国人以为它在苏联上空是"来去自由"的。萨姆-2却把这个神话打破了一——它用一枚火箭弹，把不可一世的侦察机打了下来，还让美国在全世界面前陷入被动。

萨姆-2的原理在今天看来并不花哨：地面雷达跟踪目标，计算弹道，导弹发射后由地面指挥引导，接近目标时引爆弹头，用破片摧毁飞机。它打不了机动目标，抗干扰能力也差，但它能干一件高射炮干不了的事——飞到两万米高空去够一架侦察机。就这一条，足以写进历史。

此后多年，萨姆-2及其各国改进型在越南战争、中东战争中大量使用。越战中美军吃够了它的苦头，才加速发展反辐射导弹和电子战飞机——这反过来推动了防空与反制之间的长期竞赛。

三、导弹怎么"找到"飞机

地对空导弹最核心的本领是制导。它不像炮弹那样打出一条固定弹道，而是能在飞行中不断修正方向，直到命中。常见的制导方式有几种：

- 雷达指令制导：地面或舰上的雷达持续跟踪目标和导弹，由火控计算机算出偏差，用无线电指令告诉导弹"往左一点、抬高一点"。这套办法简单可靠，但要求地面雷达一直"盯着"目标，容易被干扰。
- 雷达半主动制导：地面雷达把飞机"照亮"，导弹本身不带发射机，只接收从飞机反射回来的雷达波，顺着这个信号追过去。这样导弹飞得越近越准，但对照射雷达有依赖。
- 红外制导：导弹头部装红外导引头，直接锁定飞机尾喷口和机体散发的热量，追着热源打。这种方式抗干扰能力强，发射后不用管，但受天气影响大——云、雨会削弱红外信号，而且从正前方接近时，飞机尾焰的热信号不明显，锁定就难。
- 复合制导：一枚导弹分段使用不同方式——中段用惯性加雷达指令，末段切红外或主动雷达。这是现代主流做法，兼顾射程和精度。

弹头也在不断进化。早期靠直接撞击目标；后来普遍采用近炸引信——导弹不必直接命中，飞到目标附近便自动引爆战斗部，把预制破片撒向飞机，命中概率大幅提高。

四、远、中、近：分层防空网

现代军队的防空不是靠一种导弹包打天下，而是分成远、中、近多层，像一把"伞"一样把要保护的目标罩住：

- 远程/要地防空：射程上百公里甚至更远，负责在敌机还没飞到目标上空时就发起拦截。这类导弹体积大，通常车载或固定阵地部署，配远程相控阵雷达。它们是国家、战区级别的"保护伞"。
- 中程防空：射程几十公里，跟随部队机动，保护指挥部、机场、后勤枢纽这类高价值目标。苏联的"山毛榉"、美国的"爱国者"都属于这一层。
- 近程/末端防御：射程几公里到十几公里，靠高射速炮弹和小型导弹结合，专门拦截已经突破外层防线的漏网之鱼。它们反应快、射速高，是最后一道屏障。
- 单兵便携式导弹：最"轻"的一层，一个士兵扛着就能走。"毒刺""针""前卫"这类导弹靠红外锁定飞机热源，射程几公里，专门对付直升机、低空攻击机。它们便宜、量大、机动灵活，是步兵和特种部队的重要威慑。

这套分层体系的关键在于覆盖：任何高度、任何方向来的飞机，都会先遇到远层拦截，

冲过去还有中层，再近还有近程和单兵导弹。飞机要突防，就得同时突破这么多层。

五、防空与突防的猫鼠游戏

地对空导弹出现后，"飞机怎么突破防空"就成了军事技术里最长青的竞赛。一方造更好的导弹，另一方造更难打的飞机，几十年下来手段层出不穷。

飞机这边有这些办法：低空/超低空突防，躲过远程雷达的探测范围；电子干扰，让导弹的雷达和导引头失灵；反辐射导弹，先打掉对方的雷达，让导弹"失明"；隐身，把飞机的雷达反射面积压到最小，让对方"看不见"。

防空这边也在升级：用低空补盲雷达填补低空盲区，用多基地雷达从不同角度照射，专治隐身飞机的特定反射方向；用米波反隐身雷达在更长的波段上发现隐身目标；把不同来源、不同距离的信息联网，让整个防空体系变成一张协同的网，而不是一个个孤立的火力点。

这场竞赛到今天也没结束。隐身飞机的出现确实让传统防空压力倍增，但反隐身雷达、预警机、体系化探测又让隐身不再是"万能通行证"。矛与盾的螺旋，还在继续转。

六、它改变了什么

地对空导弹最大的意义，是让"制空权"第一次变得可以防守。在它出现前，天空基本属于飞机的一方；有了它，飞机再也不敢随心所欲地低飞慢飞，突防成本急剧上升，空袭的组织难度大大增加。天空从此成了一个由雷达、导弹、电子对抗和隐身共同构成的复杂战场。

从"瀑布"到萨姆-2，从单兵肩上的红外小导弹到层层叠叠的防空网，地对空导弹让"够不着天"的地面部队，第一次拥有了把飞机从天上拽下来的能力。

冷知识 - 地对空导弹最早的技术源头，是德国二战末年的"瀑布"计划——用雷达跟踪轰炸机，无线电指令引导火箭去撞它。 - 1960年萨姆-2击落美国U-2侦察机，打破了"两万公里高空来去自由"的神话，震惊了全世界。 - 红外制导导弹追的是飞机尾喷口的热量，所以从正前方接近目标时反而最难锁定。 - 现代防空导弹普遍用"近炸引信"：不必直接命中，飞到目标附近自动引爆，撒出预制破片形成杀伤区。 - 防空分成远、中、近多层，像一把伞把目标罩住——飞机要突防，就得同时突破所有层。