

导弹隐身技术的发展

□ 董月娟

提要：本文讨论了巡航导弹隐身外形、特点和效果。进而以电磁信号特征为机理分析了美国先进巡航导弹AGM—129和法国新的隐身导弹APTGD的隐身外形。

关键词：导弹 隐身技术 隐身外形

引言

雷达防御技术的发展，明显地改变了以往设计中对远程飞航导弹的要求。对敌方雷达防御体系的突防问题已成为远程导弹外形发展的一个最新因素，因此设计出具有低雷达散射截面(RCS)外形的飞航导弹是导弹设计者面临的新课题。这是一个重要而困难的课题，其主要原因有以下几个方面。

(1)不同目标在不同作战环境下受到威胁的部位、方位、雷达波长不同，进行外形缩减的重点也应有所不同。不同的巡航导弹由于它们的发射方式、飞行高度、速度、外形尺寸、弹道、作战任务、威胁手段等有一定差别，因而其雷达散射截面的缩减重点也会有所区别。敌方在远、中、近三个层次的防御体系中，对巡航导弹的探测手段是雷达，因此雷达隐身是提高发射初段和巡航中段生存能力和突防能力的主要措施。而在末段攻击时，则以红外隐身和战术隐身为重点。当巡航导弹在离地面15~150米的高度作超低空机动飞行时，地面防空雷达由于受地球曲率和雷达远角效应的限制，难以发现地平线以远的目标，这时敌方的空中监视雷达和机载俯视雷达将成为巡航导弹的主要威胁。所以作战环境分析对正确确定巡航导弹的隐身外形设计方案是至关重要的。

(2)在导弹气动外形设计和布局中，低RCS与高气动性能之间具有相容性，但更多的是矛盾性，如何处理好两方面的矛盾，设计出达到双重效果的飞行器外形和布局形式，将成为今后导弹气动外形设计者必须研究的新技术。

一种单纯从隐身效果考虑是十分理想的气动和结构布局，往往会对导弹的飞行性能和作战能力带来一些不利影响。按电磁理论设计观点来看相当有利的外形，从气动或其它要求来分析就不一定合理，因此导弹的雷达散射截面缩减(RCSR)是一项极为复杂的综合技术。在对各部件(翼、身、进气道等)RCSR机理研究的基础上，一枚隐身导弹究竟是否能达到隐身和技术指标，关键还在于设计者能否巧妙地利用各部件相互干扰进行权衡和折衷。

(3)由于未来战争对巡航导弹性能要求愈来愈高，迫使飞行弹道愈来愈复杂多变，射程也要求愈来愈远。在初始发射段不仅要考虑纵向平面的爬升、下滑机动，还要考虑航向平面的大扇面或方位机动。制导段不仅要考虑双平面或单平面制导，还要考虑迂回攻击。因此，大机动能力与高气动性能的协调、匹配和满足远射程要求的推进系统的部位安排是巡航导弹气动布局设计的另一难题。

隐身外形布局分析

隐身外形技术是隐身技术的主要内容之一。70年代中期，通过对飞行器散射特性的分析，找出了飞行主次散射源。在此基础上美国首先为飞行器设计者提出了低RCS设计准则，并进行了一系列试验研究，找出导弹部件的强散射源，有针对性地研究了低RCS部件和组合体的气动外形。研究表明：设计者在确定武器外形时可采用化镜面反射为边缘绕射，变边缘绕射为爬行波，变后向散射为非后向散射，消除角反射器效应等措施来降低武器系统的雷达信号特征。如将长球形弹头改为25°橄榄体弹头就可使RCS缩减30分贝。事实说明，外形技术已成为降低武器系统信号特征的重要技术手段之一。由此可见飞行器外形隐身技术之潜力。

究竟从何处着手来减少RCS?雷达后向散射是个极其复杂的物理现象，它涉及到入射场与整个反射结构的相互作用，对于大多数雷达，其波长大大小于目标的典型尺寸，电磁散射实际上是局部现象，为了较显著地降低RCS，必须首先对主散射体采取措施，以减小雷达散射截面。

目前国外巡航导弹的外形隐身技术已从初级发展到中高级，隐身巡航导弹由经海湾实战考核的“战斧”发展到已在装备的AGM—29，当前正在发展新的隐身巡航导弹APTGD和超音速巡航导弹SCM。下面将重点分析各类隐身巡航导弹所采用的外形隐身技术。

1. “战斧”巡航导弹

“战斧”的外形选用了长细比较大的一字形正常式中弹翼平面布局，这是一对窄梯形超临界折叠式直弹翼，且在翼尖修圆。将弹翼翼尖修圆是为了使弹翼前缘经过圆角逐渐过渡到弹翼后缘，这样可使边缘绕射的主散射源变为爬行波次散射源。从减少雷达散射源数量着想，采用了埋头螺钉，缩小尺寸公差，以消除突出物和间隙所产生的强散射源。另外，头部整流罩、弹翼、弹身尾部都涂有吸波材料，从而大大地降低了雷达散射截面。据称，“战斧”巡航导弹的RCS只有0.05平方米，相当于一只海鸥的反射面积。它是B-52的1/1000，F-16战斗机的1/100，“大猎犬”空地导弹的1/10。据此可推测出在相同的战场环境中，“战斧”巡航导弹被发现的距离相当于B-52的0.5623倍，F-16的0.3162倍，“大猎犬”的0.5623倍。由此可见，巡航导弹隐身技术带来的实际效果是非常显著的。

2. 先进巡航导弹AGM-129

先进巡航导弹AGM-129是按隐身技术研制的，在总体设计上的最大特点是采用了许多80年代开始研究的新技术。

(1)翼—身融合体

AGM—129在气动外形上大小与AGM—86B基本相同,但形状不同,采用了新的设计技术,选择了光滑大曲率半径流线型弹体和外表光滑尺寸较小的翼—身融合体。导弹弹体下部扁平,侧面为圆形。这种形状可避免直角反射体引起的强散射,可消除常规导弹外形存在的弹身—弹翼,弹翼—平尾间的角反射器效应,因而可大幅度减小导弹的侧向散射强度,使弹体不会形成较集中的后向散射雷达信号。尾部三个控制面可折叠成埋入的低阻构形。

(2)大后掠多面体的头锥设计

根据隐身外形的机理,如果一个平面与雷达波束成 90° 角,它就会产生极大的RCS,但当它倾斜偏离雷达波束 1° 时,其RCS就会明显减小,如果偏斜 30° 角其反射率就减小到 $1/1000$ (30分贝)。如果在同样的平面对角轴上也偏斜雷达波束,也就是使这个平面既倾斜而又后掠,那么其RCS就缩减得更多,以致偏离 8° 就能减小30分贝。这足以说明大后掠多面体所具有的隐身效果。在实际设计中是选择在宽的角度范围内具有低的后向散射的融合形结构,还是选择在窄的角度内具有高的后向散射的角状结构,这主要取决于战场环境中的威胁。例如美空军的B—2隐身轰炸机,设计者使用融合和保形结构,而美空军的F—117隐身战斗机外形除很少的曲面外,几乎全部采用了多面体外形设计,结果其前视RCS在 $0.001\sim 0.01$ 平方米范围内,由于雷达探测区域通常在飞机水平面上或以下 30° 范围内,所以大部分飞机表面与垂直方向夹角都大于 30° ,以便使来自发射机的雷达波能向上或向下反射出去。

而AGM—129导弹的隐身特征集中于最可能被探测到的前部和上部,沿长度方向大部分截面接近于恒定,前部为多面体头锥,由四个共点的大后掠面组成。由于雷达一般探测范围在导弹水平面上下 30° 的角度内,所以采用大后掠多面体能保证把大量的雷达能量从前部和左部偏转到其它方向,而不是反射回到敌方雷达,从而避开了辐射源;而增大后掠将增加从前面扇形区偏离出去的能量,因此降低了敌方雷达接收机的探测概率,所以其RCS只有 0.005 平方米。

(3)进气与排气

进气道可能成为迎面可见度最强部件,进气道中进气效率好的外露进气道将会产生大的RCS。对于超低空导弹,将进气道布置在弹身下部或上部遮挡起来是一可行的方案。这种弯曲进气道若装有导流片,则可以大大地减少发动机对RCS的影响。而埋入式进气道的优点在于雷达对进气口径的探测角度范围比常规进气道小,但这种将发动机隐藏起来的进气道,会在总压损失和畸变方向带来问题。而AGM—129进气道嵌平地装在导弹的扁平面上,采用传统的NACA埋入设计,在离头部 $2/3$ 弹身处,前端窄,后端随深度逐渐变宽,显然进气道可将空气送入位于后段的喷气发动机。排气装置是不可见的,二维开缝式排气口装在翘起的尾翼下面,喷口放在凹陷处,靠后弹身遮蔽,以减少发动机喷气流的红外信号特征,可躲避敌方战斗机下视雷达的探测。

3. 新一代隐身巡航导弹

常规导弹都采用圆截面弹身,而新一代隐身巡航导弹则往往选择了非圆截面。如美国海、陆、空三军联合研制的新型隐身巡航导弹TSSAM,从侧面看它象平行四边形,从下面看则象矩形;法国研制的“阿帕奇”(Apache),弹身采用梯形截面;而法国的APTGD隐身巡航导弹采用光滑的扁平体弹身和宽而薄的上弹翼。

非圆弹体截面的主要特点是平面组成的外形。平板在雷达照射下,具有曲面所没有的特性:即在平板的法向左右各偏 $10^\circ\sim 15^\circ$ 的很窄范围内,有一很强的镜面后向散射的高峰,而在其余广阔的姿态角范围内,后向散射变得很弱,其雷达散射截面值只有高峰时的百分之几或千分之几。根据平板外形对雷达散射这一重要特性,我们只要用倾斜的平板其后向散射的峰值就可获得低的RCS外形,达到隐身目的。这就是非圆截面弹身的设计原则。

五角形截面弹身同圆截面弹身相比,正侧向的雷达散射截面可减少 87.6% 。图3给出了同样长度的圆柱和矩形柱体侧向的雷达截面。很明显,圆柱弹身在任何侧面角时都有恒定较大的RCS,而矩形弹身 $CM(15)$ 截面除个别侧面角度具有较大的RCS外,其它侧面角度的雷达散射截面都比圆柱弹身小得多。

为提高APTGD导弹隐身突防能力,法国国防部在1994年中提出了研制APTGD导弹的意向,并于1995年春与马特拉公司正式签订合同,这是法国1995年至2000年军事预算中一项主要武器研制计划。它将作为法国未来一种非核威胁手段。主要用于对付来自中东和北非的潜在威胁,APTGD隐身导弹的弹体大部分蒙皮均采用碳纤维夹层结构,这可使大部分雷达入射波进入夹层后被泡沫材料吸收掉;尾翼用陶瓷吸波材料和类似于美国F—117隐身战斗机的小平面散射体使雷达波照射后产生大漫射,不能形成集中回波;双垂尾翼既有助于消除横向散射波,也可对发动机较强的红外辐射源起某种遮挡和隔热作用。光滑的扁平体弹身外形和宽而薄的上弹翼组合体既可使导弹在超低空飞行时正面回波减弱,又可使导弹在低飞行时有良好的机动飞行性能,这有利于导弹在复杂的地形和障碍物上空进行大的规避飞行,又易于使导弹在末段攻击时具有迅速爬升俯冲攻击能力。

4. 超音速隐身巡航导弹

超音速隐身巡航导弹一般采用大三角形翼面或飞翼外形,如美国正在研制中的SCM将采用为B—2轰炸机研究出的飞翼外形,或利皮希博士早在40年代前提出的大三角翼。飞翼设计的特点在于导弹重量沿翼展分布使其与升力分布相同,而常规导弹重量基本在弹身上,弹翼受到很大的弯曲力,飞翼可有效地消除弹身产生的废阻力。飞翼之所以能大幅度地减少雷达散射截面其原因有以下两方面。

(1)减少飞行器在雷达照射下的散射源数量,飞行器的外露部分如凸出物、窗口、缝隙等愈多,则飞行器在雷达照射下产生的散射源数量也愈多,后向散射也愈强,否则就弱。它不存在大的垂直表面,可消除弹身这一强散射源部件。

(2)用边缘衍射代替镜面反射。在一定条件下,边缘衍射比镜面反射的强度弱。飞翼取消了弹身等外露部件,因此在水平照射下消除了很多镜面反射,使弹身等外露部件均在弹翼内,而弹翼主要产生次散射源边缘衍射。

法国的ASLP,前苏联的Buvya等超音速巡航导弹都采用了大三角翼设计方案,后掠翼可减少弹翼前缘在迎头方向的RCS。但当后掠很大时,沿迎头方向入射的雷达波将沿弹翼前缘向后传播,在翼尖上由于前缘突变为后缘,将引起明显的行波散射。这将增大迎头方向的雷达散射截面。如果我们再将弹翼翼尖修圆,就可避免产生行波散射。

隐身技术的发展趋势

据报道,目前隐身飞行器的外形隐身设计可降低RCS $10\sim 15$ 分贝,利用吸波材料可降低 $4\sim 6$ 分贝。据此综合起来的雷达隐身技术可使隐身飞行器的RCS降低 $1\sim 2$ 个数量级,从而获得降低 $14\sim 21$ 分贝的隐身效果,如果再配合红外隐身措施,则飞行器的可探测性将更加降低。目前隐身巡航导弹已从两个军事强国向多个发达国家和其他国家扩展。旧型号导弹的RCS一般大于 0.5 平方米,而新型号的RCS将小于 0.05 平方米,预计到21世纪初,实现宽频带、全方位、多功能隐身将成为世界隐身技术发展的总趋势。

