



# 空军在积极导弹防御中的作用

## The Role of Airpower in Active Missile Defense (English)

迈克·科贝特，美国空军退役上校 (Col Mike Corbett, USAF, Retired)；保尔·扎切恩 (Paul Zarchan)

TBM = 战区弹道导弹  
ALHK = 空射型撞毁拦截弹  
IRBM = 中程弹道导弹

**围**绕弹道导弹防御争议不断。有人视之为重要工具，为保障现代安全必不可少；

也有人认为它挤占关键资源，耽误了更迫切的需求。<sup>1</sup> 自从德国第一枚 V-2 飞弹于 1944 年在欧洲战场亮相以来，有关导弹的探索从未停止。在小布什总统执政期间，军方部署了防御远程导弹的初步能力，还提高了现有的战区防御系统的数量和质量。<sup>2</sup> 但是，随着新的危险涌现，我们面临的战区弹道导弹 (TBM) 威胁也在发生变化。<sup>3</sup> 鉴于美国正把近期关注重点转移到防范区域威胁，我们或许应抓住时机，重新思考空军在这个挑战性使命领域中的定位。<sup>4</sup>

在构建积极导弹防御方面，空军应如何发挥作用？它能提供陆/海基和天基部队所缺乏的哪些独特能力？空军作战部队是否应在这个使命领域担当主角？进一步，我们能否在不削弱空军作战部队传统核心作战能力的情况下承担新的防导使命？

### 空射型撞毁拦截弹概念

本文介绍一种拦截弹道导弹的方式，它与拦截常规喷气动力兵器类似，遵循相近的作战准则，也运用当今空军作战部队采用的许多相同技术。这种拦截方式称为“空射型

撞毁拦截弹” (Air-launched Hit-to-Kill, 缩写为 ALHK)，它采用小型动能拦截弹，由警戒红外搜索跟踪系统导引到目标。拦截弹目前由战斗机携带升空，但将来可由遥驾空中作战系统携带。ALHK 不是一个新概念，但是我和武装部队、国防工业及学术界的一些人对此概念进行了改造，形成本文阐述的概念。我们认为，空军具备实施这个分布式作战概念的条件，能够在大多数来袭弹道导弹的助推段、上升段 (中段早期) 和末段实施拦截并击毁。

本文提出的性能估算参照了美国物理学会 2004 年出版的关于导弹助推段拦截系统的报告及其中所列的威胁模型和时段线，都属公开资料。<sup>5</sup> 我们采用该学会的模型，将它们化入整个拦截过程的三自由度三维端到端模拟，从中产生本文论述的结果。这种蒙特卡罗模拟 (即通过反复模拟试验生成统计性能预测数据) 包括传感器杂讯、切合实际的预测拦截点误差，以及经过实战验证的制导和筛选技术，这些技术可用于击中处于助推段、上升段和末段的目标。这种拦截模拟是对笔者之一原先发表的模拟方式的进一步延伸。<sup>6</sup> 我们到目前为止的研究结果表明，ALHK 拦截系统从概念上看，可在弹道导弹最易受攻击的时段将其撞毁，更重要的是，其费效比更合理。

但是在审视 ALHK 概念之前，我们需要认真评估威胁。我们所讲的威胁，除了成品导弹数量及拥导国家之外，是否的确还在增加？到目前为止，常规（非核）TBM 从未构成能够威胁关键资产或阻止实现关键目标的重要军事能力——尽管它们能够突破大多数防线。<sup>7</sup> 核弹头虽有改变局势的能量，但是我们可以认为，我方的威慑足以遏制那些有研核能力的敌人不至轻举妄动。那么，TBM 威胁是否确实在变化？

各种迹象表明，此言不虚。伊朗等国家正在建造弹道导弹武库，并且给导弹配备精确制导能力。<sup>8</sup> 在技术上，这算不上是大跨越，因为现在很容易获得全球定位系统或具有同样功能的其他系统，它只是将弹头导向目标的手段，在许多方面类似于联合直接攻击弹药。两者的区别是：联合直接攻击弹药是从飞机丢下去，而 TBM 则是作为弹头“抛射”出去的，但是两者在最后 15 秒的飞行状态非常相似，都使用空气动力修正制导误差。我们还必须考虑其他制导方法（反辐射、激光照射等），决定它们是否也可用于弹道导弹运载系统。我们认为，在未来某个时候，甚至移动装备都可能受到弹道导弹的精确攻击。

## 敌方获得精确制导战区弹道导弹的后果

若要更好地了解精确制导的重要性，我们应回顾第二次世界大战期间德国飞弹对荷兰安特卫普港的攻击，设想如果德国人当时掌握了精确制导技术，将如何改写那场关键战役的结局。从 1944 年秋到 1945 年春，盟军依赖作战物资源源不断运入欧洲，而安特卫普是当时盟军可以使用的少数卸货港之一。德国人对盟军的空中优势束手无策，于是改为采用 V-1 和 V-2 飞弹来攻击港口，试图延阻盟军的后勤运输。

在那段时间里，德国人对安特卫普地区发射了 1,700 多枚 V-2 和 4,000 多枚 V-1，但只有约 30% 击中市区。<sup>9</sup> 飞弹攻击杀死了 3,700 多人，击沉了一艘船舶，阻碍了物资供应线的运作，但始终未能终止港口的运行。当时，“突出部之役”正处于胶着状态，德国飞弹如果能够瞄准具体的船舶、码头和仓库，也许会对战役结局产生决定性的影响。

对越南清化大桥的轰炸可看作弹药向精确制导武器过渡的历史范例。在六年多的时间里，美国空军总共出动了 871 个架次，用无制导炸弹多次轰炸清化大桥，却无法如愿。后来，美军在 1972 年 5 月 13 日发射第一枚实战激光制导炸弹，直接命中桥墩，导致桥面中间一拱垮塌江中，遂致大桥关闭。<sup>10</sup> 尽管美军早就意识到精确攻击的价值，至今为止，我方从来没有受到精确攻击的威胁。但是，敌方拥有精确制导 TBM 之后就可能改变整个局面。

此外，我们还应考虑敌方在某个特定时间集中攻击某个特定目标的能力。统筹规划多枚弹道导弹同期发射并同时到达目标并非难事，足够数量的来袭导弹可使任何陆/海基防御无以招架。这种密集攻击能力（亦即许多武器同时到达目标，而现在有些潜在敌方已拥有这种能力）与精确制导相结合，能够压制任何陆/海基防御系统，摧毁其关键的跟踪雷达。一旦传感器失去作用，防御系统的弹道导弹拦截能力将荡然无存，此后，敌方可阻止盟军使用港口和机场。

我们认为威胁确实在变化，将影响未来作战的方式和地点。敌方作战能力的增强，不在于弹道运载系统与大规模杀伤武器结合，而在于和精确制导系统结合，再加上对重要

阵地的密集攻击能力，因而能够在未来作战中显著遏制盟军的兵力投送选择。

## 对威胁的深入分析

TBM 的发射位置很难确定，而且在发射前不需发出任何可能暴露行踪的信号。发射装置可长期隐蔽，然后毫无预警地突然出现、竖架和发射。发动机点火之后，TBM 变得清晰可见，很容易与战场上遇到的其它导弹区别。例如，地对空导弹加速很快，其发动机喷焰加速时间通常不到 20 秒，导向目标的飞行路径有些不规则。<sup>11</sup> 相比之下，弹道导弹加速较慢，发动机燃烧时间要长得多。射程较远的弹道导弹（中程至洲际导弹）起初几乎垂直上升，可用长达一分钟的时间爬升到 10 公里的高度。根据弹道导弹的尺寸和射程的不同，发动机燃烧时间可能超过四分钟，而且导弹可能不止一级。有些弹道导弹在发动机燃料燃尽或熄火分离之前可达到 8g 至 15g 或更大的加速度。<sup>12</sup>（参看图 1 所示的单级普通中程弹道导弹 [IRBM] 飞行高度和加速度模拟曲线。）需要注意的是，IRBM 的轴向加速中有一部分似乎是为了躲避追击的拦截弹而采取的目标机动，拦截弹为了击中

目标而需要的加速度则与此目标机动的幅度有关。

拦截弹若要在来袭导弹的助推段将其击落，必须在拦截发生环境中以类似来袭导弹的加速度进行加速。在 35 公里高度以下，TBM 的加速度较低，但是随着燃料消耗，其加速度会迅速提高。升到 50 公里高度后，TBM 的加速度可能超过 5g（图 1）。拦截弹相对于来袭导弹所需的增强加速度取决于拦截几何和所用的制导类型。按照传统的比例制导，拦截弹的机动优势必须显著超过来袭导弹（比例为三比一或更大）。但是，笔者认为如果优化制导能力，可大幅减小这个机动优势比，也许只需比来袭导弹的加速能力稍强即可。<sup>13</sup>

在助推段之后，弹头与助推器分离，还可能会放出假目标等作为防御性对抗手段。此时，除非有后助推系统施加推力，纠正助推段的制导误差或针对移动目标进行制导补偿，否则，导弹的中段飞行路径将保持弹道轨迹，有很高的可预测性。根据导弹至目标的距离，这段弹道飞行段可持续好几分钟，从而让防御飞机有足够的时间从区域地面待

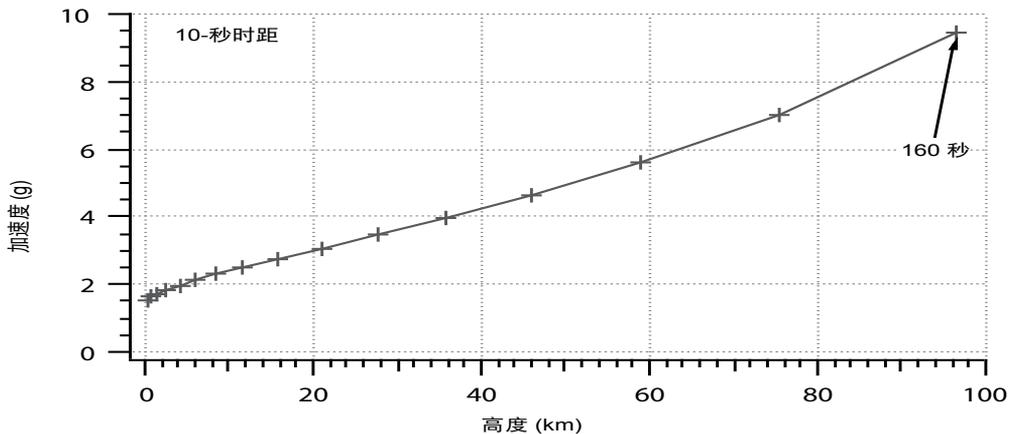


图 1：普通 IRBM 在助推段中加速度与高度的函数关系

机场做出响应。在本文所举的普通 IRBM 例子（图 2）中，我们看到飞行中段大约从第 200 秒开始，在第 1,050 秒结束，表明拦截目标的飞行路径在这大约 14 分钟的时段内有很高的可预测性。

然后弹头下降，在约 80 公里高度再入上部大气层，表示弹道导弹进入飞行末段。尽管此高度空气非常稀薄，但还是会产生阻力。导弹上的重部件开始升温，干扰箔条和诱饵气球等轻部件则往后掉落，各自都有识别特征。随着导弹继续降落，空气密度越来越大，这些效应也越来越明显。燃料箱等形状不规则的重部件开始翻转，最终解体。在大约 30 公里高度，空气密度大到足以使锥形弹头的操纵面微幅机动，以补偿制导误差或开始自动寻的。在末段仍未受损的部件开始减速，并处于极高温状态。等降到 15 公里以下高度时，即使速度最快的弹头（射程最大的弹头）也已经减速到每秒低于 5 公里，并且通常和地平线成 20 度或更大夹角接近目标。从 15 公里高度到最终击中目标大约需要 15 秒，其间因空气动力作用，导弹的潜在机动幅度为最大。<sup>14</sup> 做一个简单的计算

机模拟，将若干个物体的弹道系数作为常数，即可显示这些物体（诱饵气球、燃料箱和再入弹头）以每秒 3 公里的速度再入大气层后的减速状况（图 3）。<sup>15</sup> 阻力越大（即弹道系数  $\beta$  越小）的物体，在更高的高度就达到最大减速度。该图说明所有物体的减速曲线都不相同，我们可以利用和减速度相关的量值来识别不同的物体。

万用拦截弹只是一厢情愿，事实上没有任何一种拦截弹能够在地面以上任何高度拦截住所有导弹。在 35 公里高度以下大气层中实施拦截的拦截弹可利用空气动力进行机动，但必须能承受速度增快带来的温度升高。我们将这些拦截弹称为低层拦截弹，根据熄火时 1.75 km/sec 的飞行速度显示其性能。在更大高度上实施拦截的拦截弹必须使用横向火箭推力或推力矢量来实现机动，而且与导弹壳体空气动力性能形成复杂的互动关系，因而在高度不足 50 公里时极易造成问题。这些高层拦截弹还需更快的速度，不过在 50 公里以上高度实施拦截，可以避免温度升高问题。我们根据熄火时 3.5 km/sec 的飞行速度显示其性能。

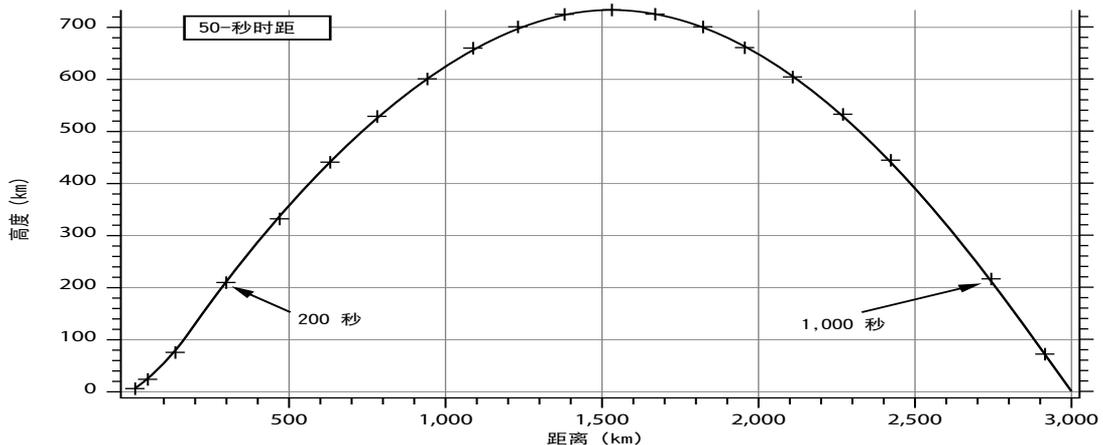


图 2：普通 IRBM 在弹道中段的持续时间和高度

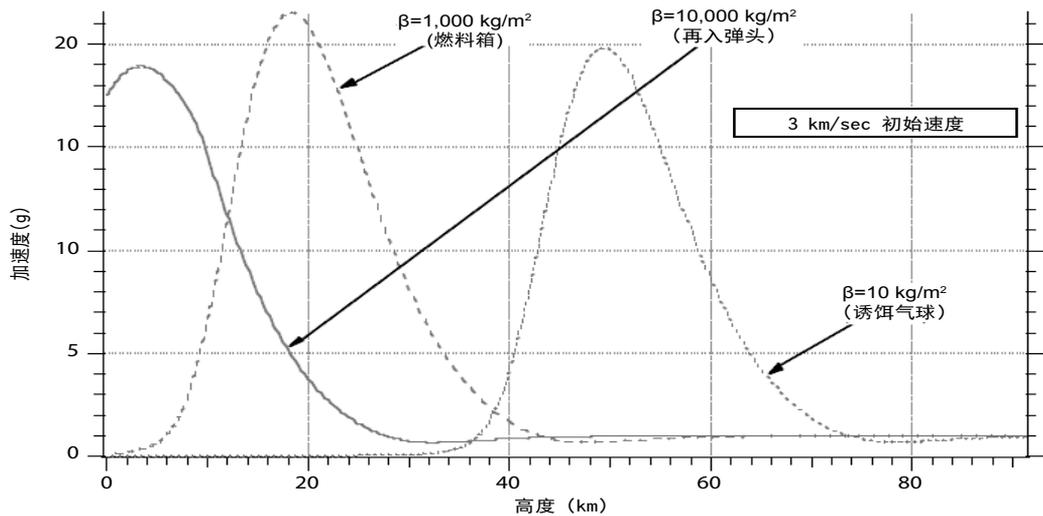


图 3：物体的阻力越大（即弹道系数  $\beta$  越小），就越早达到最大减速度。

无论是高层还是低层拦截弹，如拦截飞行末段的来袭导弹，各自都有优缺点。高层拦截弹没有来袭导弹高空减速的问题，并具备在高层助推段实施拦截的敏捷能力，既具备此能力，在拦截飞行末端导弹时也可做高速机动，但需克服来袭导弹放出诱饵后与大气摩擦形成的复杂互动，以准确撞中弹头。低层拦截弹必须应对来袭导弹更大的减速度，其可拦截区段极短窄，亦即来袭导弹的无拦截航程更长；但是由于最小拦截高度很低，因此如果第一次拦截失败，还可补射一枚拦截弹。

## 空军的用武之地

空军按照分布式作战概念，运用普通空射型拦截弹和普通机载传感器，可在来袭 TBM 的助推段、上升段（中段初期）和末段实施拦截。空军参与导弹防御，不仅只提供一个能够最接近对方导弹发射点并在其助推段或上升段进行拦截的作战平台，或是一个能够从地面待机场快速响应并在来袭导弹飞

行末段进行拦截的作战平台；<sup>16</sup> 更重要的是，指挥官能将进攻作战中常见的速度和灵活性应用于防导作战。指挥官无需依赖基于固定雷达站的固定防导手段，而能够快速建立或加强防导态势，调动飞机到作战前沿，实施助推段或上升段拦截，或者运用空中战斗巡逻机实施末端拦截，以保护地面部队的移动。

此外，在 12 公里以上高度发射拦截导弹对其性能有重大影响。尽管超音速战斗机的飞行速度也许只有 0.3 km/sec，但是在大气层内 90% 以上的高度发射拦截导弹可以减少导弹遇到的气动阻力，因而也许可使拦截弹的熄火时速度增加 1 km/sec 以上。

例如，根据以前所做的拦截模拟研究结果，假设一枚 3,000 公里射程的 IRBM（图 4 和 5）从伊朗北部向罗马发射，将在大约 17 分钟后落地爆炸。<sup>17</sup> 在伊朗空域内飞行的攻击或护航飞机将能自主侦测并拦截处于助推段的来袭弹道导弹。此外，在土耳其东部空域执行空中战斗巡逻任务的飞机能够自主侦测到处于助推段的来袭导弹，并在其上升段

拦截摧毁，同时将来袭导弹的精确轨迹数据传送给下游单位，以准备好在其飞行末段继续拦截。假设侦测导弹发射、发出警报、紧急起飞和开始爬高所需的时间都符合标称值，驻守在意大利艾维亚诺空军基地的地面待命战斗机将有足够的时间起飞、捕获和跟踪来袭导弹，然后发射拦截弹进行末段拦截。<sup>18</sup>文中的两幅图显示战机升空保卫罗马和拦截从伊朗发射的 IRBM 的作战区域，其中图 4 显示低层拦截弹的作战能力，图 5 显示高层拦截弹的作战区域。我们从图 4 可以看到，低层系统不具备在来袭导弹上升段实施拦截的能力。

每架飞机都可以自主作战，在来袭导弹助推段或上升段实施拦截，也可以作为防导网络的一部分参与末段防卫。防卫飞机可以集结在某个地点，或者分散到一个大区域的若干地点。它们可以部署到持久性陆/海基防御系统中的某个港口或机场，提供有时间限制的末段防卫，也可在战斗机巡弋作战中

实施助推段拦截以削弱对方导弹攻击波。最后，也许是最重要的，本文提出的这个防导概念立足于研发一种小型拦截弹，其成本应该低于它试图拦截的导弹，符合费效比要求，从而使基于空中力量的防导概念更加可行。

## 空射型武器

这些防导武器应具备哪些特征？武器的大小与其最大应用范围直接相关。空射型拦截弹必须高速飞行，才能快速到达预期的拦截点；但同时又必须高速机动，才能精确进入拦截目标的位置。空射型拦截弹还需要具有足够的横向加速度，才能实际撞击到来袭导弹。低层拦截弹可利用空气动力实施机动；但若试图在超过 150 公里的高度拦截，拦截过程将发生在大气层以上，从而需要有推力装置，才能根据制导指令实施机动。若试图在来袭导弹助推段的最大拦截范围中拦截目标，就要求拦截弹必须能在助推段末期即来袭导弹加速值最大的时刻撞击到目标，



图 4：战机携带低层拦截弹保卫罗马拦截伊朗 IRBM 的作战区域

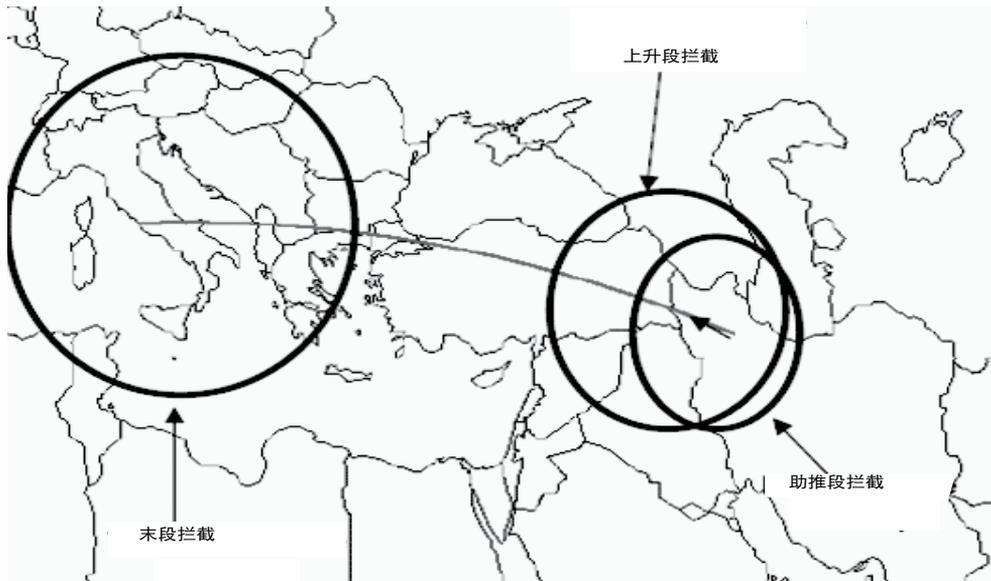


图 5：战机携带高层拦截弹保卫罗马拦截伊朗 IRBM 的作战区域

因此拦截弹必须具有极好的机动能力。但是，我们必须解决两个主要的技术风险：一个是拦截武器在大气层外的机动能力，另一个是上升段/末段之判别。本文稍后将详细讨论这两个问题。

### 低层拦截系统

美国雷神公司导弹系统部研制的网络中心机载防御单元 (NCADE) 是一种尺寸类似目前的先进中程空对空导弹的拦截弹。这种两级拦截弹的形状与空对空导弹相似，没有弹头，但有一个红外寻的头。<sup>19</sup> 在 2007 年 12 月进行的试验中，寻的头准确导引和命中处于助推段的目标；随后的试验进一步显示这种拦截弹也具有良好的末段拦截能力。<sup>20</sup> NCADE 拦截弹的燃料与质重比值很高，采用两级结构，而且制导系统很轻，因而其速度很有可能超过空对空导弹若干倍。<sup>21</sup> 如此快的速度使它高速接近助推段导弹，并使其最大应用范围达到约 150 公里。但是这个应

用范围取决于来袭导弹的相对位置、加速度和拦截弹发射时来袭导弹已飞行的距离。<sup>22</sup> NCADE 拦截弹的设计中还包括一个横向推力装置，使它能够在远高于 35 公里高度上实施某些拦截。

美国洛马公司提议的空射型撞毁拦截概念是使用“爱国者先进能力”3 型导弹 (PAC-3) 作为拦截弹。<sup>23</sup> PAC-3 的体型较大，速度超过上述 NCADE 拦截弹，并配备一个类似上述中程空对空导弹的主动式雷达寻的头。因为 PAC-3 拦截导弹的长度大，增加了飞机携带的难度并限制了携带数量。但是这种定型拦截弹的卓越性能已经实战验证，几乎不需要修改就能从飞机上发射，并且目前已在生产。

雷神拦截弹和洛马空射型拦截弹都采用动能拦截概念来摧毁来袭导弹，不携带爆破弹头。设计无弹头的拦截弹似乎不合常理，但是在反导武器设计中，逼近目标的速度极高，故而增加近发引信的难度，并降低爆破

弹头的效用。此外，在逼近速度大于 2.9 km/sec 时，拦截弹撞击目标的动能超过同等质量 TNT 炸药的化学能。<sup>24</sup>

### 高层拦截系统

高层拦截系统的研发涉及两方面的挑战：(1) 如何制造出能满足机动性和燃料要求的动能杀伤飞行器；(2) 如何研制出能判别上升段拦截和末段拦截的飞机传感器。实施远程拦截，就要求拦截导弹体型加大，速度加快，并且杀伤飞行器具有足够的大气层外机动能力，以能撞击到加速度达到 15g 的目标。根据其他文献论述的拦截模拟参数分析，我们应该建造一种重量为 750 公斤的武器，其熄火时速度至少为 3.5 km/sec，并保留足够的燃料额外加速 1.5—2 km/sec（亦称为转向速度），且其横向加速度超过 10 g，能击中中程、中远程和洲际弹道导弹。<sup>25</sup> 给这种武器设置设计要求时，应保证能由 F-35 或海军遥驾空

中作战系统内载，且能由 F-15、F-16 或 F-18 外挂。

建议的高层拦截系统只在 50 公里以上高度实施拦截，但这个极限不是硬性规定。不过，能够在远高于 50 公里的高度上实施拦截，可扩大助推段拦截包线，并获得上升段拦截能力。如必须在末段拦截，要尽量把拦截时机定在低至 50 公里的高度，在这个高度范围中，来袭导弹的诱饵对抗手段被大气削弱其效能，此特征对末段拦截非常重要。

遗憾的是，尽管本文认为这种系统是可行的，至今却无人明确演示此概念。又考虑到钝感弹药涉及的各种问题和海军不愿使用自燃液态燃料的现状，这种武器的设计就更具挑战性。<sup>26</sup> 上文说过，这个反导系统概念需要面对两个主要技术挑战，其中之一就是要求具备卓越的大气层外机动能力，但受到这些作战要求的限制。



图 6: 助推段作战区域, 假设在伊朗发射 IRBM 后 10 秒时发射一枚 3.5 km/sec 拦截弹。

图 6 和图 7 是保卫罗马的一枚 3.5km/sec 拦截弹在伊朗 IRBM 助推段和上升段实施拦截的作战区域示例。飞机携带一枚 3.5km/sec 拦截弹，可在图中任一小白方块代表的拦截点成功拦截 IRBM。请注意，若要实施助推段拦截，发射平台可能需要在伊朗空域内或者非常接近伊朗空域的部位作战。如果实施上升段高层拦截，发射平台的作战区域可以远在伊朗边境之外。

## 飞机传感器

空射型撞毁拦截反导武器要求具有远达 1,000 公里的精确跟踪能力。战斗机能够快速爬升到云层以上，因此被动式红外传感器可替代主动式雷达。红外传感器只能提供角度信息，但这些角度数据比雷达测量的数据要精确的多；此外，战斗机中的雷达或激光

测距器（作为选项加装到红外传感器中的一种测距功能）所提供的主动测距数据可作辅助，配合使用，形成非常精确的跟踪能力。如果距离太远或目标特异性而无法实施主动式测距，可用大致相隔 100 公里的两个传感器进行立体跟踪，这样也能提供足够精确的跟踪数据，应用于助推段和上升段拦截。

研究分析显示，孔径约为 15—20 厘米的红外传感器可达到所需的性能要求。<sup>27</sup> 换言之，该传感器将非常类似目前使用的 Sniper 和 LITENING 瞄准吊舱。事实上，在 2008 年 12 月于加州范登堡空军基地外进行的地面导弹防御（GMD）系统飞行试验（FTG-05）期间，空军从爱德华空军基地起飞两架 F-16，在来袭导弹的整个助推段跟踪 GMD 拦截弹，已经成功验证了 Sniper 瞄准吊舱的性能。<sup>28</sup>

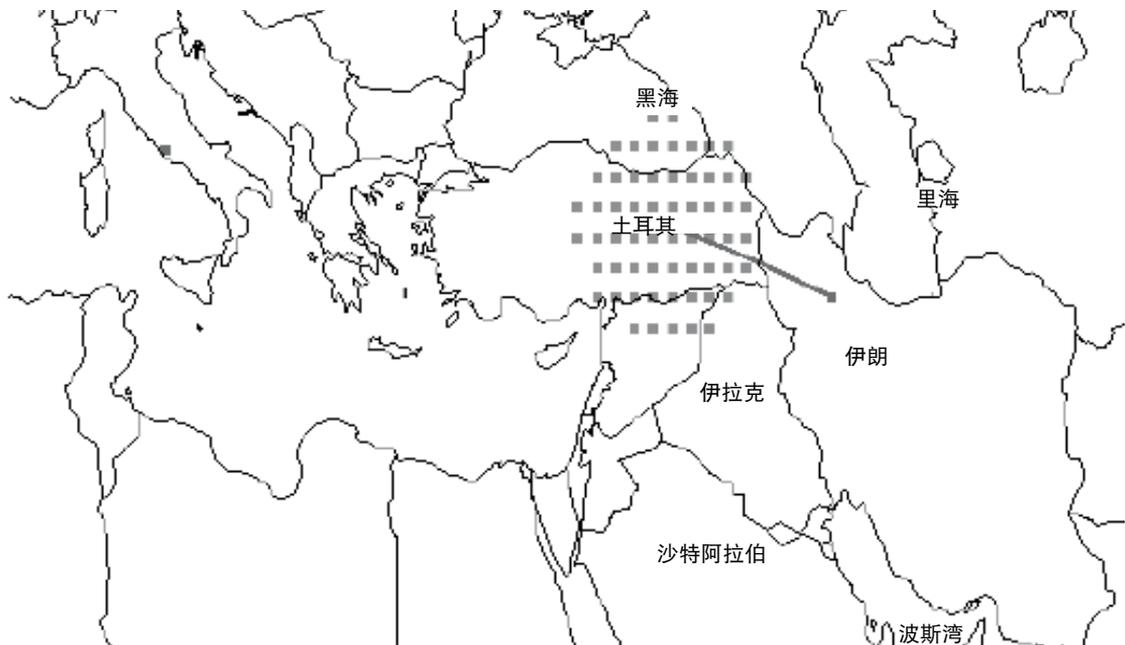


图 7：上升段作战区域，假设在侦测到来袭的 IRBM 后 80 秒发射一枚 3.5 km/sec 拦截弹，并在 270 秒后（IRBM 熄火后两分钟）拦截目标。

但这种红外搜索跟踪系统传感器除了侦测和跟踪之外，还必须具备更多功能：它必须能够协助拦截弹判别弹头和其他物体，例如诱饵物——而真实的空中杂物与故意施放的诱饵相互混杂，使得判别过程很困难。本文认为无论是红外搜索跟踪系统传感器还是拦截弹寻的器，皆无法独立完成判别，这两者必须相互配合，才能成功实施拦截。另一方面，我们分析了过去由类似系统进行的反导试验，觉得有理由相信能够做到成功判别。这种上升段和末段拦截判别能力是本文所述防导概念的第二个主要技术挑战。

## 尺寸要考虑，小一点更好

在导弹成本分析中，有趣的是成本与重量有密切关系。大型导弹的成本高于小型导弹，这一点原本不言而喻；但用图表列出最近制造的所有导弹的单位生产成本与导弹重量的关系，则将此关系更清楚地显示出来，甚至还可归纳出一个计算公式。尤金·弗里曼（Eugene Fleeman）指出：作为初步设计考虑因素之一，生产成本与重量成函数关系。也就是说， $C1000 \sim \$6,100 WL0.758$ ，其中 C 代表第 1000 枚导弹的单位成本，而 WL 则是以磅为单位的重量。<sup>29</sup> 弗里曼的数据库只包括最大重量为 1,500 公斤的武器，因此将该计算公式延伸到 25,000 公斤显然不妥，但是历史数据表明小型导弹的制造成本远远低于大型导弹。根据他的公式，一枚 500 公斤拦截弹的制造成本是一枚 25,000 公斤拦截弹（陆基中段防导拦截弹）制造成本的 5.2%；因此，既可提高生产率，又有助于降低单位成本。单位成本降低之后，从经济角度看，增加试验次数的可行性升高，从而增加对反导系统性能的信心。而空军提供运载

平台，使运用小型拦截弹实施空射撞毁拦截成为可能。

## 结语

许多潜在敌人正在竭力提高弹道导弹运载系统的精确制导能力。这些对手中的大多数难以运用作战飞机与美军正面交锋，于是弹道导弹成为他们的一个替代选择，也许可利用这种运载系统突破我们的防线。我们认为，空射型撞毁拦截弹即 ALHK 能够以符合成本效益的方式击败 IRBM 威胁。尽管本文只论述 IRBM 威胁，有研究分析显示 ALHK 也能拦住其他多种弹道导弹。

从一架在作战空域内或附近飞行的隐形战斗机发射一枚小型拦截弹，其动能打击性能同从远离该区域发射的一枚大型陆/海基拦截弹一样。在大多数情况下，实施助推段拦截要求作战行动发生在 IRBM 发射国境内，因而需要不易发现的平台。实施上升段和末段拦截则不需要这样的隐形平台，因而可使用第四代战斗机。红外搜索跟踪系统可用于被动式侦测和跟踪，其成本只占陆/海基雷达的一小部分，而且可广泛装备于美国和盟国的空中作战部队。小型拦截弹和红外搜索跟踪系统相结合，形成生存能力强和高度灵活的防/反导能力，挫败敌方的计划，甚至提供超出防/反导功能以外的其他能力。例如，军方可设计能执行远程侦测、跟踪和识别空中目标的红外搜索跟踪系统，以及在极远距离拦截来袭导弹的低层拦截弹。

当然，这项使命对作战飞机提出了新的要求。它要求有地面预警，在某些情况下还要有持续空中预警，以及可能需要的突破对方防空网的突防能力，这些要求对目前的空中作战部队增加了很大负担。今后，海军的

遥驾空中作战系统等飞机预计将具有 100 小时的续飞能力，而且其雷达信号特征很弱，因而可满足持续预警和突防能力要求。<sup>30</sup> 但是，即使海军在目前的航母演示计划之后启动“初始作战能力”计划的研发，到真正拥有这种能力起码还需要 10 年。在这 10 多年期间，战斗机仍是主要的可用平台。

第五代战斗机，例如 F-35，将具有支持高层和低层拦截弹实施助推段拦截所必需的所有内传传感器能力。我们的分析显示，只要视线无障碍，F-35 的分布式孔径雷达系统能立即侦测和跟踪相对于飞机任何方向和任何高度的助推段 TBM。装备红外搜索跟踪系统的第四代战斗机将具有携带高层和低层拦截弹实施上升段和末段拦截的能力，而低层拦截弹的初始作战能力最早可望在 2015 年成为现实。假定有一个技术开发计划不久能解决敏捷性要求，高层拦截弹的初始作战能力可望在随后两至四年内实现。

在 2009 年，美国空军参谋长和导弹防御局局长批准了一个 ALHK 联合研究项目，

该项目认定这个防导概念在技术上可能，在作战层面可行，但需将重大决策推迟到完成详细的成本效益分析之后。<sup>31</sup> 到目前为止，尽管空军带头倡导这个概念，所有相关人士都意识到，只有作为一个联合系统，它才能具备充分的作战能力。用舰载飞机增强撞毁拦截弹作战能力，可赋予联合部队指挥官更大的防御灵活性，也使敌方更难确定我们的意图。

但是，像任何新的作战能力一样，ALHK 研发成本很高，需要彻底评估计划外费用以及对作战飞行的影响，还需要仔细评估和检视敌方可能采取的对抗措施。我们必须考虑敌方今后可能取得的技术发展，在各种未来作战模型中融入这些考虑，以此检验我们拥有的防御能力。我们还必须客观地评估这种能力，然后再作出采购决定。但是，在我们慎重考虑是否要让空军承担这项防 / 反导使命时，还应该衡量：如果不这么做，从长远看会有什么后果。♣

## 注释：

1. 1st Lt Alexi A. LeFevre, "A Strategic Conversation about National Missile Defense" [关于国家导弹防御的战略对话], *Strategic Studies Quarterly* 2, no. 4 (Winter 2008): 117, <http://www.au.af.mil/au/ssq/2008/Winter/lefevre.pdf>; 以及 Jeff Sessions, "Ballistic Missile Defense: A National Priority" [弹道导弹防御：国家首要任务], *Strategic Studies Quarterly* 2, no. 2 (Summer 2008): 22-30, <http://www.au.af.mil/au/ssq/2008/Summer/sessions.pdf>.
2. Department of Defense, *Ballistic Missile Defense Review Report* [弹道导弹防御评估报告], (Washington DC: United States Department of Defense, February 2010), 15-19, [http://www.defense.gov/bmdr/BMDR%20as%20of%2026JAN10%200630\\_for%20web.pdf](http://www.defense.gov/bmdr/BMDR%20as%20of%2026JAN10%200630_for%20web.pdf).
3. George Jahn, "IAEA Fears Iran Making a Warhead" [国际原子能机构担忧伊朗正在制造核弹头], *Associated Press*, 19 February 2010, [http://www.boston.com/news/world/asia/articles/2010/02/19/iaea\\_fears\\_iran\\_making\\_a\\_warhead/](http://www.boston.com/news/world/asia/articles/2010/02/19/iaea_fears_iran_making_a_warhead/).
4. 见注释 2，第 i 章。
5. David K. Barton et al., *Report of the American Physical Society Study Group on Boost-Phase Intercept Systems for National Missile Defense: Scientific and Technical Issues* [美国物理学会全国导弹防御助推段拦截系统研究小组报告：科学和技术问题], (College Park, MD: American Physical Society, 5 October 2004), [http://rmp.aps.org/pdf/RMP/v76/i3/pS1\\_1](http://rmp.aps.org/pdf/RMP/v76/i3/pS1_1).

6. Paul Zarchan, Tactical and Strategic Missile Guidance [战术和战略导弹制导], 5th ed. (Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2007), 721–768.
7. Thomas A. Keaney and Eliot A. Cohen, Gulf War Air Power Survey: Summary Report [海湾战争空中力量调查: 概述], (Washington, DC: US Government Printing Office, 1993), 177, 179; 以及 Freeman J. Dyson, Disturbing the Universe [搅乱宇宙次序], (New York: Harper & Row, 1979), 108, <http://books.google.com/books?id=RHzoMeU2bxsC&pg=PA108#PPA108.M1>.
8. Mohammad-Ali Massoumnia, Q-Guidance in Rotating Coordinates [旋转坐标的 Q 值制导], AIAA-91-2784-CP (Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1991). 这篇论文的作者是伊朗德黑兰夏利夫科技大学电气工程系教师, 论文显示伊朗人熟悉 ICBM 精确制导技术, 并且正在研究这些技术在短程导弹中的应用。
9. Gregory P. Kennedy, Rockets, Missiles, and Spacecraft of the National Air and Space Museum [国家航空航天博物馆的火箭、导弹及航天器], (Washington, DC: Smithsonian Institution Press, 1983), 20–23.
10. Eugene L. Fleeman, “Technologies for Future Precision Strike Missile Systems: Introduction/Overview” [未来精确攻击导弹系统的技术: 简介/概述], in North Atlantic Treaty Organization, Research and Technology Organization, Technologies for Future Precision Strike Missile Systems, RTO Lecture Series, no. 221 (Neuilly-sur-Seine Cedex, France: North Atlantic Treaty Organization, Research and Technology Organization, 2000), <http://handle.dtic.mil/100.2/ADA387602>.
11. 利用谷歌 (Google) 搜索 “tactical surface to air missile burn times” (战术地对空导弹发动机燃烧时间), 可得到许多战术导弹示例, 它们的发动机加速时间都少于 20 秒。
12. Peter J. Mantle, The Missile Defense Equation: Factors for Decision Making [导弹防御方程式: 决策考虑因素], (Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2004), 85–92.
13. 见注释 6, 第 143–161 页。
14. 见注释 12, 第 371–381 页。
15. 此模拟基于 Zarchan 的论著《战术和战略导弹制导》, 见注释 6, 第 721–768 页。
16. Dean A. Wilkening, “Airborne Boost-Phase Ballistic Missile Defense” [助推段弹道导弹的空中防御], Science and Global Security 12 (June 2004): 2, [http://www.princeton.edu/sgs/publications/sgs/pdf/12\\_1-2\\_wilkening.pdf](http://www.princeton.edu/sgs/publications/sgs/pdf/12_1-2_wilkening.pdf).
17. 见注释 6, 第 721–755 页。
18. Thomas H. Kean et al., The 9/11 Commission Report: Final Report of the National Commission on Terrorist Attacks upon the United States [9.11 委员会报告: 调查对美国恐怖攻击事件的全国委员会最终报告], (Washington, DC: US Government Printing Office, 2004), 20–27, <http://govinfo.library.unt.edu/911/report/911Report.pdf>. 该文件论述了 2001 年 9 月 11 日发生恐怖攻击时战斗机紧急起飞的反应时间。尽管公开文献提到紧急待命态势时间为 15 分钟, 警戒战斗机通常的反应速度要快的多。在 9 月 11 日, 马萨诸塞州奥蒂斯空军国民警卫队机场的战斗机在七分钟之内升空, 弗吉尼亚州兰利空军基地的战斗机在六分钟之内升空。
19. Michael Leal and Philip Pagliara, “NCADE: Air Launched Boost Phase Intercept Demonstrated” [网络中心机载防御单元 (NCADE): 空射型助推段拦截演示], (paper presented at the 2008 Multinational Ballistic Missile Defense Conference, Honolulu, HI, 10 September 2008), 3. (Raytheon 公司备有此文件副本, 供公众索取。)
20. 同上, 第 8–12 页。
21. 同上, 第 3 页。
22. 同上, 第 7 页。
23. “Patriot PAC-3[ALHK]” [爱国者 PAC-3 型空射摧毁拦截弹], Deagel.com, [http://www.deagel.com/Anti-Ballistic-Missiles/Patriot-PAC-3\\_a001152003.aspx](http://www.deagel.com/Anti-Ballistic-Missiles/Patriot-PAC-3_a001152003.aspx).
24. 见注释 5, 第 242 页。该文件论述了击毁一枚弹头所需的实际杀伤力。若要了解动能与化学能之比较, 请参看 Richard A. Muller, Physics for Future Presidents: The Science behind the Headlines [未来总统必读的物理学: 新闻大标题

- 背后的科学], (New York: W. W. Norton & Co., 2008), chap. 1. TNT 炸药的化学能是每公斤 4.18 千焦耳。动能方程式 ( $1/2$  质量乘以速度平方) 显示, 在接近速度为 2.9 km/sec 时, 拦截弹每一公斤质量产生 4.18 千焦耳能量。
25. 见注释 6, 第 291–316 页。
  26. 主管采购、技术和后勤的国防部副部长 Ashton Carter 给武装部队各部部长等人士的备忘录, 主题: Joint Insensitive Munitions Test Standards and Compliance Assessment [联合钝感弹药试验标准和遵守评估], 1 February 2010.
  27. 见注释 5, 第 192–197 页。
  28. 加州爱德华空军基地第 416 试飞中队的三架 F-16 在 2008 年 12 月 5 日根据与导弹防御局先进技术武器处主任订立的协议, 观察从加州范登堡空军基地发射的携带 Sniper 瞄准吊舱的陆基中段防卫拦截弹 (GBI) 的发射和整个助推段飞行状况。
  29. Eugene Fleeman, Tactical Missile Design [战术导弹设计], 2d ed. (Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2006), 286.
  30. Thomas P. Ehrhard and Robert O. Work, Range, Persistence, Stealth, and Networking: The Case for a Carrier-Based Unmanned Combat Air System [航程、续航性、隐形性和联网作战: 舰载遥驾空中作战系统案例研究], (Washington, DC: Center for Strategic and Budgetary Assessments, 2008), [http://www.csbaonline.org/4Publications/PubLibrary/R.20080618.Range\\_Persistence\\_/R.20080618.Range\\_Persistence\\_.pdf](http://www.csbaonline.org/4Publications/PubLibrary/R.20080618.Range_Persistence_/R.20080618.Range_Persistence_.pdf).
  31. Marina Malenic, “Companies Await MDA Verdict on Air-Launched Hit-to-Kill Programs” [企业界等待导弹防御局对空射型撞毁拦截弹研发计划的裁决], Defense Daily, 20 August 2009, [http://findarticles.com/p/articles/mi\\_6712/is\\_36\\_243/ai\\_n35676077/](http://findarticles.com/p/articles/mi_6712/is_36_243/ai_n35676077/); 以及 “DOD News Briefing with David Altwegg on Fiscal Year 2011 Budget for Missile Defense Agency” [国防部新闻简报介绍 David Altwegg 谈论导弹防御局 2011 财政年度预算], GlobalSecurity.org, 1 February 2010, <http://www.globalsecurity.org/space/library/news/2010/space-100201-dod01.htm>.



迈克·科贝特, 美国空军退役上校 (Col Mike Corbett, USAF, Retired), 俄勒冈州立大学理学士, 普渡大学理科硕士, 奥本大学蒙哥马利分校理科硕士, 曾于 2006 年至 2009 年间担任导弹防御局尖端技术武器主任, 领导一个小组支持用于先进弹道导弹防御系统的动能和定向能技术开发。他主导了空射型撞毁拦截概念的开发及“爱国者-3”型导弹衍生拦截弹与战斗机整合的可行性与工程评估, 并主导了导弹防御局对网络中心机载防御单元的评估, 这是一项由国会指定的使用现有空空导弹寻的器开发导弹防御新型拦截弹的计划。科贝特上校的军旅生涯包括在空军空中作战司令部及空军国民警卫队担任各级指挥职务, 拥有超过 5,000 小时、驾驶以战斗机为主的多种机型的飞行经验。2005 年自空军退役后任职于导弹防御局。



保尔·扎切恩 (Paul Zarchan), 纽约州立大学电机理科学士, 哥伦比亚大学电机理科学士, 拥有四十余年设计、分析与评估导弹制导系统的经验。他曾担任雷神公司导弹系统部主任工程师、以色列国防部资深研究工程师, 以及 C. S. Draper 实验室的主要技术成员。扎切恩先生目前担任麻省理工学院林肯实验室的技术成员, 致力于导弹防御有关问题的研究。他的著作包括《战术与战略导弹制导》(美国航空航天学会第五版) 及合著《Kalman 筛选实用方法基础》(美国航空航天学会第三版)。扎切恩先生是《制导、控制和气动力学杂志》的副主编。

## 免责声明

凡在本杂志发表的文章只代表作者观点, 而非美国国防部、空军部、空军教育和训练司令部、空军大学或美国其他任何政府机构的官方立场。