



以弹道导弹防御新方式对抗反介入/区域拒止环境中精确制导武器的威胁

A New Approach to Ballistic Missile Defense for Countering Antiaccess/Area-Denial Threats from Precision-Guided Weapons

迈克·科贝特, 美国空军退役上校 (Col Mike Corbett, USAF, Retired)

各式外国武器系统性能日益先进, 在过去十年间引发了有关“反介入/区域拒止”(A2/AD) 环境和能力的许多讨论。我们的对手借助这些武器功能, 能开展更准确、更远程的打击, 因此将影响联盟作战策略的许多方面。本文讨论 A2/AD 能力中的一个部分: 敌人可能采用的一种新弹道导弹技术, 这种导弹技术甚至可以将 1000 公里以外的机动部队置于其打击威胁之中。这涉及的不仅仅是中国的反舰弹道导弹, 有证据显示其它国家也在开发这些技术。¹ 他们一旦取得成功, 将对美国计划中的导弹防御系统产生重大影响。尤其是实施机动的导弹, 击中不设防目标的概率会更高, 威胁到更多的目标, 而且不易拦截。

这不是什么新的发现——弹道飞行的力学原理已为众所周知。但鲜为人知的是, 美国导弹防御局将导弹防御研发的几乎所有资源, 不是集中于对抗 A2/AD 的威胁, 而是集中于支持“欧洲分阶段适变反导计划”的“早期拦截”概念。自 2009 年以来, 导弹防御局将大部分研发努力用于改善海军的 SM-3 拦截弹和支持传感器。SM-3 已经是成熟的系统, 拦截纯弹道目标的

A2/AD = 反介入 / 区域拒止
EPAA = 欧洲分阶段适变反导计划
AWL = 机载拦截武器层
MRBM = 中程弹道导弹
ICBM = 洲际弹道导弹
PAA surrogate = 分阶段适变反导计划
模拟拦截弹

成功能力久经考验, 但是它不是针对机动导弹威胁而设计的。此外, 导弹防御局将几乎所有最新的研发工作集中于来袭导弹的飞行中段, 而导弹在此阶段最容易制造误导; 却忽视了来袭导弹的助推段和飞行末段, 而导弹在此两个阶段更容易被识别和摧毁。²

本文讨论的机动导弹威胁是根据公开英文技术文献中的外国研究结果。讨论只针对来袭导弹为避让跟踪和拦截所作的简单机动, 以及为击中预定目标采取的后续机动。来袭导弹的后续机动对灵活性有限的中段拦截弹可能有效, 但对专打助推段导弹的敏捷拦截弹的影响微不足道。本文的分析表明, 对于机动导弹威胁, 增加拦截弹的敏捷度比增加速度更有效。它还表明, 空军提议的“机载拦截武器层”可有效地对付这些机动威胁。³ 最后, 本文探讨是否应由美军各军种还是某单功能防御机构来做出关乎这项未来作战能力的决策以界定空中优势中的这个关键组成。

导弹防御局目前的计划和机动导弹威胁

SM-3 武器系统是导弹防御局研发计划的基石, 此武器用于对中程和中远程弹道导弹实施飞行中段拦截, 其假设是可能存在诱饵但不存在机动。⁴ 目前, 导弹防御局强调改善 SM-3 的传感器技术、鉴别算法和变向系统的可靠性, 以及大幅提高拦截弹速度。这种思路会导致动能拦截弹敏捷度降低——变

向速度低和横向加速度低——而主要致力于通过更高速度来增加有效距离。该思路的优点是允许一个发射点覆盖非常宽阔的范围，但不能解决潜在的鉴别和命中率评估问题。此外，如果来袭导弹在中段飞行中为对抗拦截而做机动——无论是否发射诱饵——都可能使拦截弹的效果大幅下降。

要充分理解这些问题，我们应该了解对手为实现这一机动能力必须做些什么，以及机动性为什么如此诱人。对手若想借助弹道导弹加强 A2/AD 能力，就必须使弹道导弹具备针对固定或移动目标的精确制导能力。打击固定目标相对容易，因为不需要实时跟踪，但无论是针对固定或移动目标，导弹都必须知道自己的位置（即导航），能确定实际和预期飞行路径之间的差异（即制导），并且能矫正到预期的飞行路径（即控制）。关于这一问题，美国航空航天协会 1991 年发表了一篇来自伊朗的论文，其中表明了伊朗对洲际弹道导弹精确制导技术的认识，并且揭示了伊朗将这些技术应用于战区弹道导弹的努力。伊朗研究人员最近在国际期刊上就该题目发表后续论文是 2008 年。⁵

中程弹道导弹（MRBM）或射程更远的导弹要攻击移动目标，必须在助推段以后实施修正机动，以去除因发射时间点和击中目标时间点之间不可预测的移动所导致的位置差异。当然，这需要一个外接传感器，以提供实时的目标跟踪数据，但是目前我们继续关注导弹本身。上述修正机动的另一个作用是可以避让中段拦截，机动中先将初始飞行路径朝向一个位置，然后通过延迟的推进射向预定目标。中段拦截弹通常是向着来袭导弹实施机动之前就确定的预期拦截点发射，在助推阶段结束后，其变向的灵活性非常有限。即使拦截弹能通过机动继续跟踪，终究变向不力，而最终可能让导弹逃脱拦截。这项分

析是一篇中国论文的研究主题，此论文在最近由美国航空航天协会举办的制导和控制研讨会上宣读，论文还探讨了优化防御规避的一套潜在可行的中国式方法。⁶

还有一点，只发射一枚拦截弹就评估成功，然后再进行下一次发射，这样的防御计划避免了多弹齐射昂贵拦截弹的做法。这种“发射-评估-发射”的思维方式形成了导弹防御局的早期拦截概念，它把重点放在对来袭导弹飞行路径前半部分的首次拦截。⁷ 遗憾的是，这样做就必须把跟踪传感器和拦截弹发射点设在远离防御区域（或空域）的前沿部位并保持存在（或布置特别昂贵的天基传感器网），而这种前沿部位往往处于对手努力禁止外部力量进入的同一区域。尽管我们能在来袭导弹的助推阶段结束后很快就对之设定准确跟踪，并发射拦截弹以期对来袭导弹作上升阶段拦截，但来袭导弹可能做后助推段机动而成功避让拦截弹的跟踪或胜过其变向能力。

由此而言，利用大型地射拦截弹不是解决这一问题的唯一途径。将近五年来，导弹防御局和空军联合开展了“机载拦截武器层”（AWL）研究，演示了一些关键技术。其中有一项试验（来自美国国会指定拨款，而非导弹防御局的决定）代表了导弹防御局对战区弹道导弹模拟弹首次实施助推段实弹拦截。遗憾的是，虽然多项联合研究认定了此概念的技术可行性和运作可行性，导弹防御局还是没有对此开发项目予以资助，而是决定采纳“欧洲分阶段适变反导计划”（EPAA）。⁸

但是，对于可做大气层外机动的来袭导弹的反介入环境而言，EPAA 有效吗？如果来袭导弹能通过机动突破反导系统，AWL 与刚始规划的 EPAA 系统相比孰优孰劣？当来袭导弹采取机动时，拦截弹的哪些属性对系统的成功至关重要？为回答这些问题，笔者

采用这两种方法进行了针对两种不同威胁的模拟，这两种威胁，一个是具备末端制导的“外机动”中程弹道导弹，另一个是能飞行过高弹道的洲际弹道导弹（ICBM）。以下分析解说速度和敏捷性都获改进的通用地射拦截弹，类似于计划研发的 SM-3，然后将由此产生的性能预测与基础型 AWL 上层拦截弹在作战范围进行比较。

不出预料，结果表明，假如来袭导弹在助推段后开始机动，EPAA 拦截弹如果仅提高速度，并没有什么作用。而如果增加敏捷性，则带来其它好处，包括获得助推段拦截能力——如果拦截弹的发射点充分靠近来袭导弹发射位置的话。与此同时，国防科学委员会 2011 年 9 月关于早期拦截的报告，在好几处批评了导弹防御局，但承认助推段拦截将解决早期拦截的主要不足（鉴别与命中率评估挑战）。该委员会还承认，以当前系统的性能而言，助推段拦截目前并不可行。⁹然而，如果拦截弹敏捷度足够高，而且充分靠近来袭导弹发射位置的话，则并非不可行。要强调的是，这里的关键是提高拦截弹敏捷度，以及空中力量能提供重要的就位能力——而此两者正是 AWL 的主要优势。

鉴于国防科学委员会的报告、本文的分析，以及导弹防御局决定采纳 EPAA 而推迟 AWL 研发计划的决策，人们不禁会问，象导弹防御局这样的单功能机构来决定未来的导弹防御能力建设是否恰当。导弹防御局于 2002 年在原“弹道导弹防御组织”的基础上成立，当时的政府针对北韩威胁要求尽快提供全国范围的保护，导弹防御局应此目标而生。而今这个组织的做法是否继续合适？它仍然是应对未来战场挑战的最佳方式吗？在探讨这一问题之前，让我首先来描述导弹机动威胁的建模与分析。

威胁模型

本文中的 MRBM 威胁模型大致是依据中国作者的论文“躲避监测系统的导弹机动战略”而设计的，这篇中国论文由郭扬、王石成、姚玉、杨宝清和张鹏（人名均为译音）提交给 2011 年 8 月美国航空航天协会主办的“制导、导航和控制研讨会。论文作者建议了多种躲避拦截的方法，包括单个和多个脉冲（图 1）。他们指出：“机动的目的是改变弹道，而不是直接躲避拦截弹。在拦截方面，由于飞行器的弹道机动，监测系统的估算和预测误差

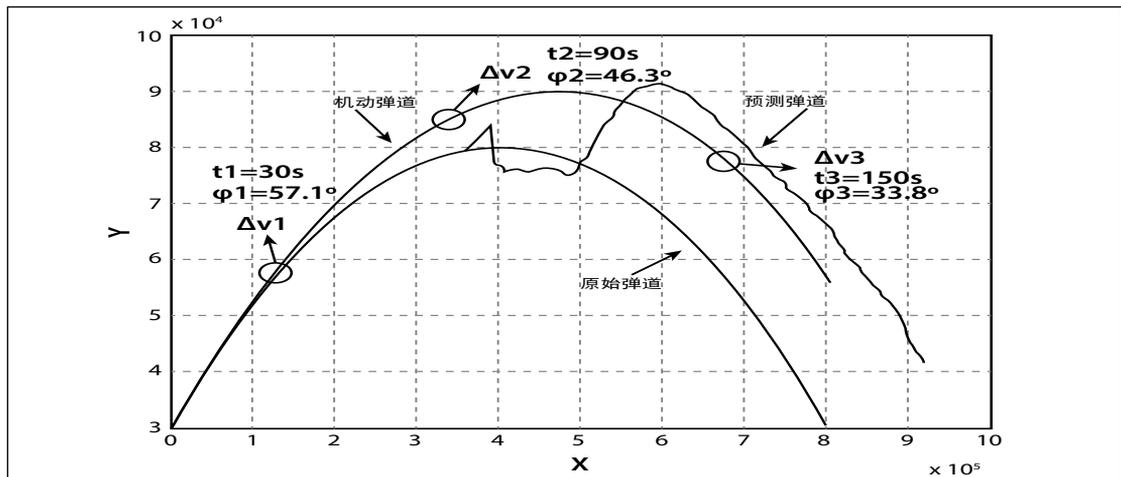


图 1：三倍机动轨迹（摘自郭扬等论文。见注 1。）

差将会增加。如果误差足够严重，拦截弹就无法满足发射要求（例如，目标位置不确定性，捕获区域），或者发射后失去目标。”¹⁰

以下分析按照 MRBM 威胁模型建立其单 / 双脉冲机动的模型（图 2）。上升期间发生在 200 公里高度以上的机动，在以下弹道弧线中几乎注意不到，但的确导致如图所示的弹着点的改变。下图 3 进一步对 ICBM 的最小耗能弹道和加高弹道进行建模。

然而，MRBM 的机动和 ICBM 的加高弹道导致性能上的代价，亦即要么缩短投射有效载荷的最大距离，要么降低有效载荷的最大重量。ICBM 能将原本用于加高弹道的能量用于在最小耗能弹道上将有效载荷投射得更远。同样，如果 MRBM 执行机动所需承载的重量是 250 公斤（合理估计），额外重量将导

致 MRBM 的最大射程由 3000 公里减至 2400 公里（减少约 20%）。尽管导弹射程因此而大幅降低，对手仍可能愿意付出这样的代价，以能顺利完成飞行并击中预定目标。

拦截弹模型

这个模型是以普通的地基发射拦截弹为原型，3.5 km/second 燃尽速度、250 m/second 变向、2g 加速度、以及寻的制导，这是一般地射拦截弹的最低性能，也是只用于中段拦截的低敏捷导弹的典型性能（在下列图表中称为“分阶段适变反导计划 [PAA] 模拟 [拦截] 弹”）。笔者将 PAA 模拟弹只当作一个分析出发点，由此审视通过提高拦截弹速度或者动能对撞拦截弹敏捷度所可获得的潜在性能优势。它不是 SM-3 的变种版本。

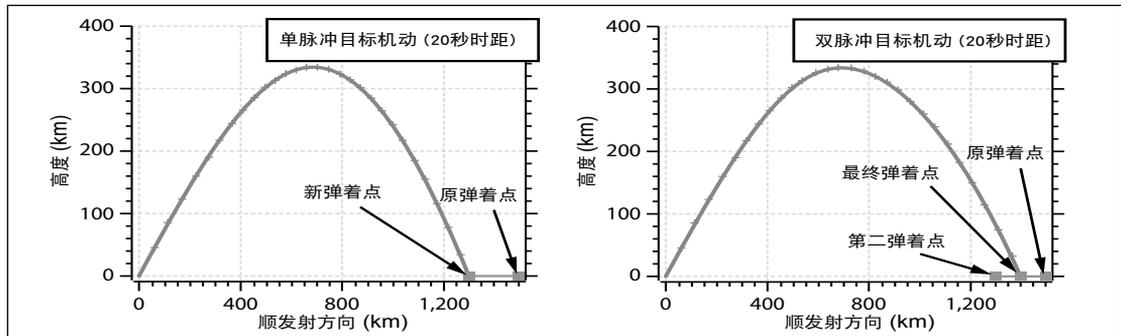


图 2：来袭的 MRBM 单 / 双脉冲中段避让 / 精确制导机动

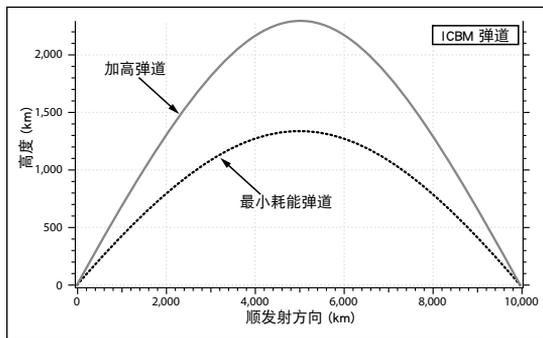


图 3：ICBM 最小耗能和加高弹道的对比

此分析假定规划中的前沿配置雷达、机载红外跟踪系统和“精密跟踪空间系统”都提供支援，能支持 PAA 模拟弹实现“完美跟踪”。这样虽可为拦截弹的性能比较提供一个共同的基础，但也会产生过于乐观的性能估计。分析中对 PAA 模拟弹的四种可能性进行了建模，一种情况是燃尽速度分别为 5 km/second 和 6 km/second，速度分别提高 40% 和 70%（同时都具备基本敏捷性），另一种情况

是以基本速度飞行，而敏捷度分别提高 200% 和 400%。

AWL 高层拦截弹的建模是以 F-35A 作为平台。¹¹ 一般来说，高层拦截弹的燃尽速度为 3.5 km/second，以及 2.0 km/second 的变向能力；另外，它具有 10g 横向加速度能力。对于助推段拦截和上升段早期拦截，它只依靠 F-35 本身的“分布式孔径系统，以及双机编队三角测量。

模拟结果：作战范围比较

公开信息来源对这种建模系统有详细介绍。¹² 本文只介绍结果，但感兴趣的读者应充分了解此建模分析方法，从而自己判断此方法是否恰当。建模的目的是确定成功拦截机动来袭导弹所必需的拦截弹属性。该分析方法包括模拟来袭的非机动导弹、添加机动、然后分析拦截弹速度和敏捷度的增强，以找出最重要的因素。

图 4 所示为一枚 3.5 km/second 拦截弹打击一枚非机动 MRBM 的作战范围。在来袭导弹没有机动的情况下，敏捷度不是区别因素，而由此产生的作战范围对 AWL 和 PAA 模拟弹来说没有变化。拦截弹可以在实施中段拦

截的预定目标的后方、正横方向或前方发射。然而，如果拦截被约束在远地点之前（上升段）发生，以支持“发射-评估-发射”原则，我们在图 4 中看到，对于同样的来袭导弹威胁，每种拦截弹现在必须在防御目标弹着点之前的足够距离上发射。

当来袭导弹采用单脉冲机动时，PAA 模拟弹的作战范围大幅减少，但 AWL 拦截弹的作战范围则保持相对不变。当来袭导弹采用双脉冲机动时，PAA 模拟弹对上升段失去所有拦截能力，而 AWL 拦截弹却保留了 90% 以上的原始作战范围（图 5 内上图）。我们如将 PAA 模拟弹的速度提高 40%，因而产生了一个相对接近拦截目标发射点的小作战范围。我们如将此拦截弹速度提高 70%，则稍扩大了其作战范围（图 5 内中图），但仍然要求拦截弹发射点远远前于防御目标点。接下来，我们保持 PAA 模拟弹的基本速度，并将敏捷度增加一倍，从而产生了一个有限的作战范围；如将敏捷度再增加一倍，作战范围可增加至原始区域的 80% 左右（图 5 内下图）。但是，只有将敏捷度增加到原始数据的六倍时，地射拦截弹的作战范围才能恢复到与 AWL 拦截弹相同。作战范围的明显不对称，起源于来袭导弹的平面外机动。

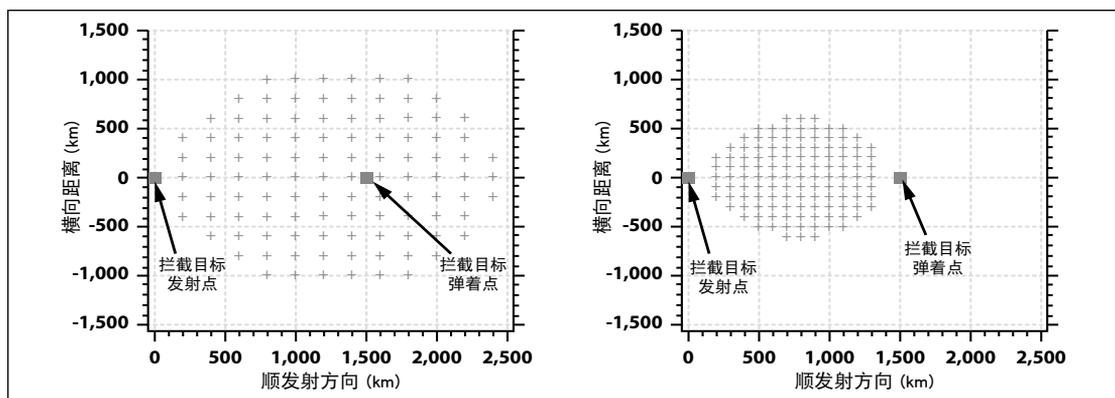


图 4：拦截非机动导弹的作战范围比较（左图为中段拦截；右图为上升段拦截）

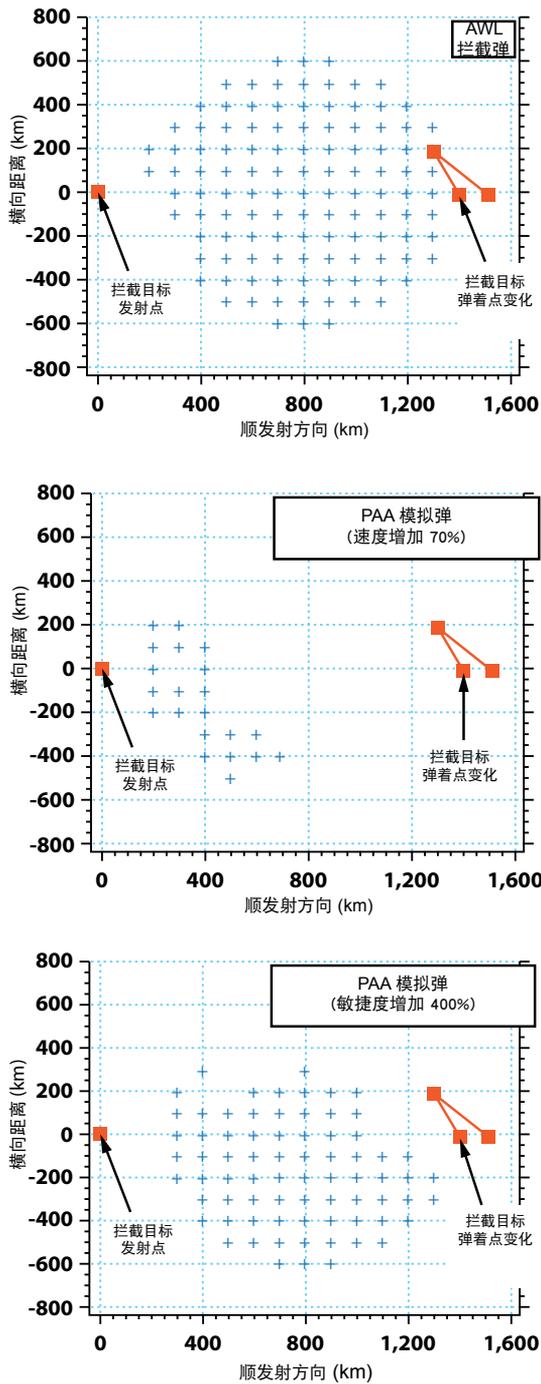


图 5：MRBM 拦截、双脉冲机动、仅上升段拦截 (增加敏捷度与增加速度相比)

拦截 ICBM

无论是 AWL 拦截弹还是 PAA 模拟弹——两者燃尽速度仅为 3.5 km/second——都不具备对以最小耗能弹道飞行的 10000 km ICBM 的上升段拦截能力。不过如果给予充分的跟踪支持，两者都将保持下降段拦截能力。在图 6 中，请注意距离比例的改变和 AWL 拦截弹的下降段作战范围是大约 1000 km x 1500 km。但是，高层 AWL 拦截弹的这一狭小作战范围，如果加上防空预警飞机的帮助，将能扩展成覆盖整个美国大陆的拦截下降段 ICBM 的防护层。

如将 PAA 模拟弹的速度增加 40% 至 5 km/second，能够在来袭 ICBM 的整个上升段和中段都有拦截机会，但是这仍需假定我们必须确保完美跟踪。其作战范围固然广阔而有吸引力，但是它仅仅说明 5 km/second 速度是在整个中段内拦截非机动 ICBM 的足够的运动速度。不幸的是，涉及完美跟踪的许多问题，以及中段鉴别和命中率评估等所有问题，并没有获得解决。如果把同一个拦截弹与进入加高弹道的 ICBM 相比，两者都保持了下降段的能力，但 5 km/second 速度拦截弹的上升段拦截能力却消失了。

现在对同一枚来袭 ICBM 作助推段拦截分析，结果表明，AWL 拦截弹具备有利于作战的拦截能力，其可行作战范围相当大。分析还表明，以基本敏捷度飞行的 PAA 模拟拦截弹只具备非常有限的助推段拦截能力，且是依靠本分析所假定的持续制导支持。如果我们假定制导支持能力类似于当前的系统，那么这种有限的助推段拦截能力也不存在。还应注意的是，导弹防御局从未声称规划中的 PAA 系统具备助推段拦截能力。将 PAA 模拟弹的敏捷度增加 200% 或者将其速度增加 40%，的确能够带来有限的助推段拦截能力。然而，即使其作战范围面积有所扩大，

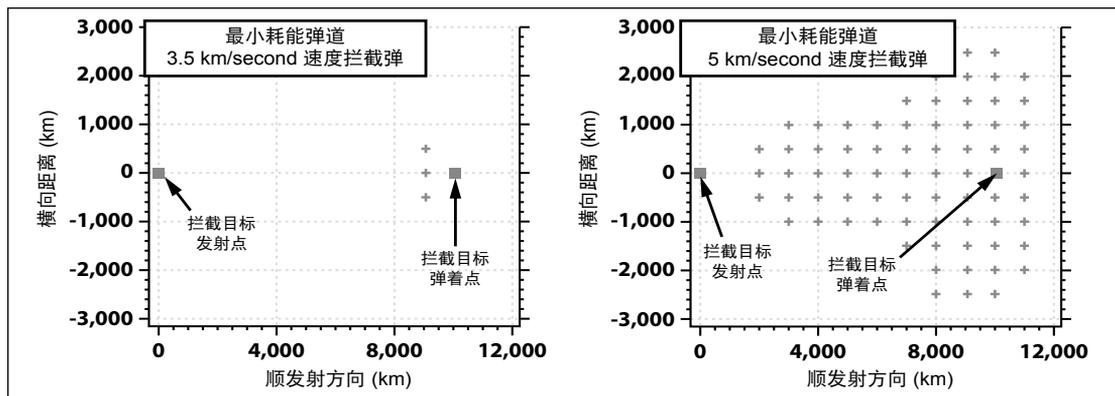


图 6: 洲际弹道导弹最低能源配置 (3.5 km/second 与 5 km/second 拦截弹比较)

它仍然必须靠近来袭导弹的发射点，其横向距离能力有限。

来袭的 ICBM 运用加高弹道实施避让，会导致 AWL 拦截弹的助推段作战范围稍微减少 (图 7 中左图)，同时也减少了敏捷度增强的 PAA 模拟弹的作战范围。请注意，即使 PAA 模拟弹以 6 km/second 燃尽速度而无大幅增强的敏捷度，其之作战范围仍然需要相对靠近来袭导弹的发射点，且其横向距离能力很有限 (图 7 中右图)。这清楚表明，即便是大幅提高拦截弹速度，也不能明显地加大拦截弹作战范围与来袭导弹发射点之间的距

离。对这一事实及其所含的作战限制的认识，是导致动能拦截弹计划失败的主要因素之一。

将地基发射拦截弹部署在不现实的地点来实施助推段拦截很可能行不通，但是这种限制对空射型拦截弹不构成约束。视局势的紧张程度，如果我们派遣低显型飞机在伊朗疑似 ICBM 发射地之 600-900 公里范围内飞行，应属可行。诚然，对伊朗这样的国家，若想一直保持助推段拦截能力且覆盖其境内所有潜在 ICBM 发射地点，我们可能力不从心；但是我们至少可以维持一段时间的覆盖，等到我军打击力量将这些发射设施摧毁为止。

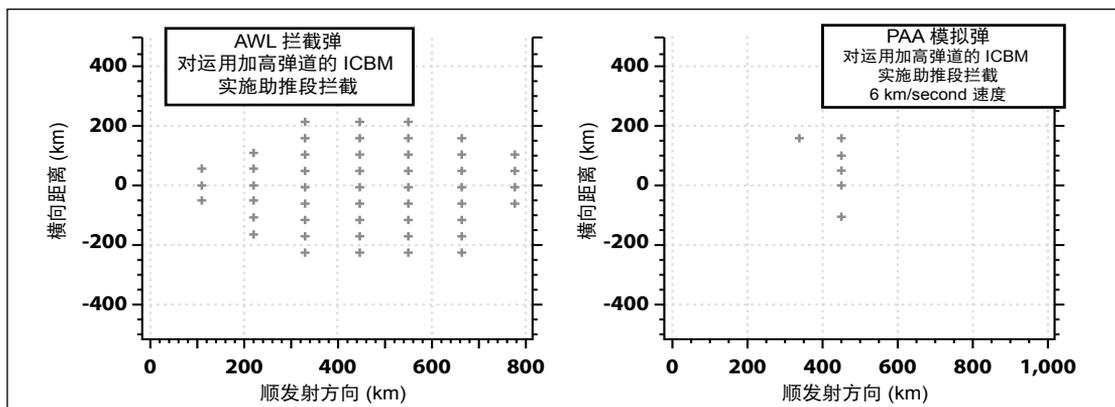


图 7 : 对运用加高弹道的 ICBM 实施助推段拦截 (AWL 拦截弹与 6 km/second 速度 PAA 模拟弹相比)

这一切意味着什么？

如果来袭导弹实施机动，仅从提高拦截弹速度而获得的作战范围的增大将迅速被抵消。事实上，如上文所述，如果 MRBM 采用双脉冲机动，PAA 模拟弹具备的上升段拦截能力将全部失去。如将拦截弹速度提高 40% 或 70%，可重新获得了一些拦截能力，但恢复不到拦截弹在来袭导弹无机动前提下的原始作战范围。

本分析表明，对机动的来袭导弹实施上升段拦截，就作战范围的增减而言，提高拦截弹敏捷度比提高速度效果更快得多。若要对 ICBM 实施准确的上升段拦截，要求拦截弹具备极高的速度，远远高于所拟议的 SM-3 系统（接近最初计划的欧洲地基中段防御系统的拦截武器速度），且仍必须解决大气层外有效鉴别和命中率评估的问题。而若想以高速拦截弹对 MRBM 实施上升段拦截，则要求拦截弹发射地远远超前于防御区域。再回到对 ICBM 的上升段拦截，即便我们拥有非常高速的拦截弹，其作战范围却很狭窄，难以找到愿意让我们部署发射地的友好东道国，也极难找到海基发射点。再者，在欧洲部署这种拦截弹，将会引发俄罗斯的关切与反对。相比之下，机载拦截武器保持着针对来自伊朗和其它国家 ICBM 的助推段拦截能力，在紧张局势加剧期间派遣低显型飞机可形成理想的拦截作战范围——除此之外，飞机和拦截弹还具备自主终端防御能力。

国防科学委员会专题组关于导弹防御局“早期拦截”概念的报告

2009 年 12 月，国防部次长要求国防科学委员会审查早期拦截弹道导弹防御的科学技术问题。该委员会在 2011 年 9 月完成审查工作后，提供了下列结论：

- “总体而言，[早期拦截] 本身并不是导弹防御的有用目标，也不是任何特定导弹防御系统的有用目标，” 它高度依赖非常高速的区域拦截弹的研发，并需要“区分（在大气层外）导弹弹头和来袭导弹的其它部件，如火箭筒体和其他各种硬件以及反拦截诱惑手段等。可靠的中段鉴别能力极为重要，不可轻视。”¹³
- 早期拦截概念的一个目标，是遵循“发射-评估-发射”拦截方式，避免多弹齐射做法，减缓拦截弹库存损耗，这样做就要求我们具备近乎完美的命中率评估能力。计算表明，鉴于命中率评估的虚报概率大于 2%，导致这种做法效果不彰。委员会的结论说：“遗憾的是，能否将命中虚报率降低到如此小的概率范围，这种评估能力仍有待证明。”¹⁴ 调查结果还承认，助推段拦截（评估为目前不可行）根本上违背了使用突防辅助装置或提前释放子弹药的原则。¹⁵
- 导弹防御局与各军种目前的努力相协调，应该制定未来计划，研发更先进的区域导弹技术，这些区域导弹应该“在更高速度、横向运动能力 [即敏捷度]、有效载荷重量，以及更短燃烧时间之间做好平衡，并且具备陆海部署双重潜力。”¹⁶

然而，国防科学委员会的报告没有考虑到来袭导弹实施机动所引起的复杂性。

美国全国研究理事会编写的一篇题为“理解弹道导弹防御：美国助推段导弹防御与其它方案相比之概念与系统评估”的保密报告在 2012 年 9 月 11 日发布。与之相关的致众议院武装部队委员会主席的非保密信件概述了该报告的结论：

- EPAA 的第四阶段……“对战区防御来说并非必要，对国土安全防御来说也非上策……至于国土安全防御，需要一种比战区防御

所需的速度快出许多的拦截弹，以避免飞越国土防御的前进基地。”¹⁷

- “理事会未[发现]研发 PTSS [精密跟踪空间系统] 的正当理由 它距离来袭导弹太远，无法提供有用的鉴别数据 PTSS 的花费将会是导弹防御局估算的二到三倍。”¹⁸
- 报告认定，“助推段拦截总体而言不可行，仅在非常有限的情况下可以考虑。”有限情况之一就是运用战术飞机在空中发射拦截弹，这要求“美国在冲突中拥有绝对空中优势，以允许[这些飞机]在靠近敌方基地或者基地区域上空安全行动。”¹⁹
- 报告建议，导弹防御局将重点放在改善拦截弹和地基中段防御传感器性能上——该建议受到其他人的质疑，质疑者认为此报告对雷达对弹头目标等效反射面积的估计是错误的。²⁰

但是，全国研究理事会的这份报告也没有思考来袭导弹实施机动所引起的复杂性。

如果目标实施机动，单靠增加拦截弹速度是不够的。因此，敏捷性成为拦截弹必不可少的性能要求，而不是速度。如果拦截弹设置在足够靠近来袭导弹发射地的区域，拦截弹可借助其敏捷性实现助推段拦截，这还可免除大气层外精确鉴别目标以及“发射-评估-发射”拦截法所必需的命中率精确评估需要。

在敏捷性和速度都相同的情况下，空射拦截弹和地射拦截弹都可对抗机动来袭导弹，但就助推段拦截而言，只有空射拦截弹不受发射地的限制。此外，AWL 提供一种生存性强、灵活性大且规模可调的拦截能力，并能快速部署到战区。

敏捷性拦截武器受钝感弹药的束缚，其研发需要解决一些独特的挑战，但并非不可克服。导弹防御局在先前的努力中已经发现一些能够满足敏捷性要求的潜在技术，但却在 2009 年终止了这些努力，而专注于“早期拦截”和 EPAA 计划。

尽管许多批评人士认为在存在诱饵的情况下，中段拦截即使可能也十分困难。导弹防御局却已将目前研发资金的大部分都投入到加强中段拦截系统的研发。但如果来袭导弹能实行飞行机动，这将对为 EPAA 设计的拦截武器构成更大的挑战。

有多项研究已经肯定了 AWL 的技术可能性和作战可行性，对以 SM-3 为中心的拦截概念而言，AWL 无疑是一个替代选项，且不需考虑中段拦截中的目标鉴别要求，并为空中优势带来重大的和额外的潜在能力。²¹ AWL 低层拦截弹与先进中程空对空导弹的尺寸及重量相当，但是速度可能要快一倍（且拦截距离也大一倍），因为它不携带弹头，而靠直接动能撞击实施摧毁。

以色列政府认识到空中优势系统可能具备的合力效能，目前正在考虑研发“拉斐尔”未来空对空导弹，此型导弹基于以色列“大卫投石器”反导系统中“致昏者”拦截弹的上一级，²²“致昏者”本身派生于“巨蟒”空对空导弹，目前该拟议中的项目将把“撞击摧毁”拦截技术运用于空对空导弹，如果言至成功，可能具备比先进中程空对空导弹更强大的动能杀伤力。自 2006 年以来，导弹防御局和以色列共同管理“大卫投石器”研发项目，美国国会已批准拨款超过 4 亿美元用于该项目开发。²³

约为 2000 磅炸弹大小的 AWL 上层拦截弹，能够覆盖与更大的 SM-3 Block 2 所可覆盖的大致相等的作战范围，而不需要地面基

基础设施。并且，此选项不要求在形势严峻没有基地条件的地区配备地面支持；它也不像EPAA反导系统那样需要前方传感器和数据通信链接。然而，这个选项几乎得不到导弹防御局的支持。

该机构的负责人就总统2013财年的预算细节，于2012年3月7日在国会作证，再次把重点放在已经规划的EPAA反导系统的未来开发。²⁴ 导弹防御局不理睬国防科学委员会和全国研究理事会的调研结果，继续开发早期拦截技术，并着手对SM-3进行所提议的改进。它没有申请资金来支持为增强拦截弹敏捷性的技术、AWL拦截技术，或者针对反介入/区域拒止环境中导弹威胁的任何具体反导技术研发努力。

导弹防御局没有任何动力（甚至有人认为它没有权力）去开发导弹防御以外的配备辅助能力的系统。其章程严格限制该机构只能局限在导弹防御研制领域，无论其它的多任务系统能带来多少好处都与它无干。导弹防御局的记录表明了它曾有意愿使用支持弹道防御的其它系统（配备“宙斯盾”的舰船、天基红外系统和早期预警雷达等），但它只将研发资源运用于纯粹的导弹防御功能。双功能系统，诸如“爱国者”和“宙斯盾”SM 2 Block IV等，其研发都源于导弹防御局成立之前的决定。

即使导弹防御系统的研发对空中优势使命具有重大意义，导弹防御局仍没有热情去推动研发，因为它必须克服阻挡此类解决方案的种种障碍。毕竟，要想牺牲任何导弹防御方面的功能，而增加与导弹防御无关的功能，这样的决策将多么困难。从导弹防御研发单位的角度来看，以“烟囱”式单功能组织形式自是更易应对和管理。但从作战人员的角度来看，这是否是最好的解决途径？或许那些对作战有重大影响的决策，应该留给

各军种来做，而不是由诸如导弹防御局这样的工程和研发机构来做。

结语

弹道导弹防御系统是世界上最大的单一国防采购项目，它已拨出其2012财年的大部分资源用于中段拦截弹系统的研制。²⁵ 但是有关助推段拦截所需的拦截弹敏捷度的技术研发，或者有关能同时有助于导弹防御和空中优势的辅助技术的研发，则都被排除在外。²⁶ 当各军种都在面向未来转为以多功能兵器系统为主的时候，国防部应思考是否以同样的思维指导导弹防御能力建设。在武器系统的购置方面，一个单一职能的研发机构能否继续适用于各军种需要？

空军的作战指导思想明确将弹道导弹防御纳入其进攻性防空作战和防御性防空作战使命中，但是空军的作战能力中缺少在敌人发射弹道导弹之后的必要应对能力。至此，地面发射拦截系统构成唯一的积极防御能力，其中绝大部分依赖中段拦截。这样的态势包含着巨大的风险——我们没有分层防御和助推段或移动末段拦截能力——而对手的导弹威胁能力却在不断增强。不幸的是，导弹防御局的项目计划不能解决这一风险。

只要从导弹防御局2013年拨款权限中拨出1%，就能够建立起启动空军或联合AWL项目办公室的基础。在五年期间将这笔分流的款项增加到该机构年度预算权限的不到10%，就可能研发并采购空中高层和低层拦截弹，同时也能够促使空军、海军和海军陆战队F-35机群的全面整合。²⁷ 十年以后，积极导弹防御能力将可以充分融入作战空军部队的空中优势作战之中，为我们提供符合空中防御和导弹防御一体化作战思想的必要手段。

各军种已经一再地证明，他们可以平衡目前需求和未来需求，他们有能力在需求竞争环境中支配资源，能够根据作战人员的需要研发和购置武器系统。国防部高层领导人应该赋予他们这样的机会，引导导弹防御资源用于 AWL 的研发。

作战理论承认，任何努力，尽管意图可能是好的，通常不能一做就对：“实现军事效

能的关键因素，在于能够及时认识到战前预期愿景的缺陷和改变的必要性。”²⁸ 如果我们中段拦截的长期可行性存有怀疑，那么就应考虑其他选项，以避免损失或者至少减轻风险。我们应该抽拨一些资源研发其他合理的选择，并向决策者提供有关这些选项的真实分析。将 AWL 研发交给空军负责就是一个极好的开端——事不宜迟，时不我待。♣

注释：

1. 有关弹道导弹防御拦截机动的外国研究，参看 Yang Guo 等人的“Maneuver Strategy of Evader Considering Detection System”[躲避监测系统的导弹机动战略]，AIAA 2011-6713。此论文提交给美国航空航天协会于 2011 年 8 月 8-11 日在美国俄勒冈州波特兰市召开的“制导、导航和控制研讨会”，后以“Maneuver Control Strategies to Maximize Prediction Errors in Ballistic Middle Phase”[弹道导弹运用机动控制以尽量扩大拦截弹中段拦截的预测误差]为标题发表在该协会《制导、控制和动力学杂志》；另参看 J. Z. Ben-Asher, “The Influence of a Maneuvering Target RV on Radar Predictions”[机动目标 RV 对雷达预测的影响]，(paper presented at the 7th International Conference on Missile Defence: Challenges in Europe, Spain, May 2011); 另参看 Erez Druckmann and J. Z. Ben-Asher, “Optimal In-Flight Trajectory Modifications for Ballistic Missile and Free Rockets”[弹道导弹和自由火箭最优飞行弹道修正]，Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 2013, forthcoming. 此外，有非技术性公开文献称印度 Prahaar 导弹和巴基斯坦 Shaheen-1, 1A, 2 型导弹采用机动避让拦截，具体参看维基百科网站词条：“Prahaar (missile)”[Prahaar 导弹]，http://en.wikipedia.org/wiki/Prahaar_%28missile%29；以及“Shaheen-1”[Shaheen-11 导弹]，<http://en.wikipedia.org/wiki/Shahen-1>。
2. 导弹防御局预算申请中包括激光研究与机载激光 (ABL) 项目的资金，以及一些有前途但属新起技术的研发资金。然而，由于 ABL 项目因缺乏可行助推段拦截作战概念及其它原因而被终止，那些声称接下来的研究将解决助推段和末段拦截技术的说法并不可信。
3. 笔者与 Paul Zarchan 合著的早期文章对 AWL 作战概念做了详尽描述，参看 Col Mike Corbett and Paul Zarchan, “The Role of Airpower in Active Missile Defense”[空军在积极导弹防御中的作用]，Air and Space Power Journal, (Summer 2010): 57-71; 另参看 Corbett and Zarchan, “The United States Should Develop a Missile Defense System That Builds Confidence”[美国应研发能建立信心的导弹防御系统]，Air and Space Power Journal, (Fall 2011): 74-90。
4. Ronald O'Rourke, Navy Aegis Ballistic Missile Defense (BMD) Program: Background and Issues for Congress, [海军宙斯盾弹道导弹防御 (BMD) 项目：向国会汇报的背景与问题]，CRS Report for Congress (Washington, DC: Congressional Research Service, 18 March 2012), 3-5.
5. Mohammad-Ali Massoumnia, Q-Guidance in Rotating Coordinates, [旋转坐标中的 Q-制导]，AIAA-91-2784-CP (Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1991).
6. 见注释 1 中 Yang Guo 文。
7. Defense Science Board, Defense Science Board Task Force Report on Science and Technology Issues of Early Intercept Ballistic Missile Defense Feasibility [国防科学委员会专责小组关于早期拦截弹道导弹防御可行性之科技问题的报告]，(Washington, DC: Defense Science Board, September 2011), 9-12, <http://www.acq.osd.mil/dsb/reports/ADA552472.pdf>.
8. Unclassified Statement of Lieutenant General Patrick J. O'Reilly, Director, Missile Defense Agency, before the House Armed Services Committee Subcommittee on Strategic Forces Regarding the Fiscal Year 2013 Budget Request [导弹防御局局长 Patrick J. O'Reilly 中将的非机密声明，在众议院军事委员会战略力量小组委员会就 2013 财年预算申请的证词]，Tuesday, March 6, 2012, http://armedservices.house.gov/index.cfm/files/serve?File_id=6fc80696-e878-49cb-b429-7a5b72fca2d4.
9. 见注释 7，第 9 页。
10. 见注释 1 中 Yang Guo 文。

11. 见注释 3 中“空军在积极导弹防御中的作用”文。
12. Paul Zarchan, “Kill Vehicle Guidance and Control Sizing for Boost-Phase Intercept” [撞毁拦截弹助推段拦截制导与控制规模], *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, March-April 2010, 513-21.
13. 见注释 7, 第 33, 8 页。
14. 见注释 7, 第 11 页。
15. 见注释 7, 第 9 页
16. 见注释 7, 第 34 页。
17. 全国研究理事会共同主席 L. David Montague 和 Walter B. Sloccombe 致信众议院军事委员会战略力量小组委员会主席 Michael R. Turner 众议员, 谈及美国助推段导弹防御与其它替代方案的概念与系统评估, letter, 30 April 2012, 2, http://hosted.ap.org/specials/interactives/documents/nas_response.pdf.
18. 同上, 第 2, 3 页。
19. 同上, 第 4, 5 页。
20. George N. Lewis 和 Theodore A. Postol 致信众议院军事委员会战略力量小组委员会主席 Michael R. Turner 众议员和军事委员会资深成员 Loretta Sanchez 众议员, letter, 20 August 2012.
21. 见注释 3 中“美国应研发能建立信心的导弹防御系统”文。
22. Bill Sweetman, “Real Money” [真正的钱], *Aviation Week and Space Technology*, 174, no. 11 (19/26 March 2012): 70.
23. Jeremy M. Sharp, U.S. Foreign Aid to Israel [美国对以色列外援], CRS Report for Congress (Washington, DC: Congressional Research Service, 12 March 2012), 15, http://assets.opencrs.com/rpts/RL33222_20120312.pdf.
24. 见注释 8。
25. Government Accountability Office, Missile Defense: Actions Needed to Improve Transparency and Accountability [导弹防御: 需采取行动改善透明度和问责制], GAO-11-555T (Washington, DC: Government Accountability Office, 13 April 2011), 1, <http://www.gao.gov/assets/130/126047.pdf>.
26. “MDA Fiscal Year 2012 Budget Outline” [导弹防御局 2012 财年预算概要], <http://www.mda.mil/global/documents/pdf/budgetfy12.pdf>; 以及 “Missile Defense Agency (MDA) Fiscal Year 2013 Budget Outline” [导弹防御局 2013 财年预算概要], <http://www.mda.mil/global/documents/pdf/budgetfy13.pdf>.
27. 导弹防御局的拨款授权总额在 2012 财年为 84.19 亿美元, 只需从中拨出 1% (8500 万美元) 就可支持建立一个联合项目办公室和最初的技术开发。在未来五年中每年拨款提高到 10% (约 8.5 亿美元), 将提供足够资金用于开发类似规模和复杂程度的系统。参看 Eugene L. Fleeman's *Tactical Missile Design* [战术导弹设计], (Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2001), 此书展示了战术导弹的 21 种不同系统设计和开发阶段的实际成本 (第 285 页)。然而这只是一个粗略的估计, 精确的开发成本只有等到完成初步设计以后才能确定。
28. Air Force Doctrine Document 1, Air Force Basic Doctrine, Organization, and Command [空军作战准则 AFDD 1: 空军基本准则、组织与指挥], 14 October 2011, viii, <http://www.e-publishing.af.mil/shared/media/epubs/afdd1.pdf>.



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。他在 2012 年十月退休前, 曾任地球同步运作环境卫星 R 系列 (GOES-R) 的助理系统项目总监, 该项目是国家海洋与大气管理局气象卫星采购计划, 总额达 108.6 亿美元。他于 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 2005 年自空军退役后任职于导弹防御局。他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。