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。

作战研究

一个强化导弹预警的低风险方案

Missile-Warning Augmentation: A Low-Risk Approach

杰弗里·哈利斯（Jeffrey Harris）
吉尔伯特·西格特（Gilbert Siegert）

美国运用各种新天基能力取得的近期成功表明，我们决心依凭强大的太空计划保障国家安全。美国军事和情报部门担负着在世界范围开展行动的责任，要求我们提供及时的情监侦、预警和通信支持，确保各部队以高效能和高效益实施行动计划。我们向科研、开发、生产、运行等领域所做的大量投入，已经生成重要的天基使命能力，为美国及其盟国推行国家安全目标提供强大的独特优势。

美国的国家安全对太空的依赖越来越强。然而，各种调研、审计、演说、文章、国会证词等形成的舆论态势却传递出一个明确的信息：(1) 美国国家安全太空系统从概念讨论到实际部署成本过高，耗时过长；(2) 我们的太空能力面临严重且日益增大的威胁，若置之不理，我们的太空基础设施将出现更多漏洞，变得更加脆弱而防不胜防；(3) 目前的美国财政形势，包括可能毫不留情的国防预算砍削，对现行采购做法能否继续下去构成挑战。

公开文献指出，如果太空项目从卫星基线组合结构急剧过渡向新结构，如果这种急剧过渡涉及到采用不成熟的替代技术，就可能引发风险，本文针对这种风险进行实事求是的分析。所引文献主要是政府问责署以往的报告、研究、项目历史等。本文希望以此提高我们对重大风险的警觉，这就是，在太空项目中，当我们做出结构性过渡决策时，当这种决策所依赖的新技术设计并未经过实用验证，并且我们对承包商的生产能力及成本并无把握时，那么，采购项目以及太空系统的运行就难以成功。本文直接以太空持久红外监视卫星网（OPIR）结构为例，随着卫星载荷散宿做法的兴起，太空及导弹中心正在考虑将 OPIR 向新结构过渡。该中心提出的初步概念包括从天基红外系统（SBIRS）转变为宽视野（WFOV）载荷散宿做法。[1] 本文为此建议一种审慎的、从演示论证到原型机的低风险做法，来嵌入能力，规避风险，并提高对生产与制造成本的估算可靠程度。

OPIR = 太空持久红外监视卫星网
SBIRS = 天基红外系统
WFOV = 宽视野
AIRSS = 替代红外卫星系统
GEO = 地球同步轨道卫星
DSP = 美国国防支援计划
CHIRP = 商用卫星容宿红外载荷
RDT&E = 研究 / 开发 / 测试 / 评估

重塑太空的努力

近年来，空军领导人在努力探索新的卫星组合结构和采购战略，希望通过此途来解决现存太空项目继续实施和运行可能产生的高成本问题。空军目前大部分卫星网络都是由若干个大型的、能力超强（通常都能执行多种任务）的卫星组成。具体地说，空军正在考虑的新组合结构，是把各种任务能力分散载荷到多个平台中——多个商用或特制的小型卫星中。这个概念称为“载荷散宿”，它主张美国应“多次少量购买，逐步形成能力，

分布能力载荷，散宿到更多小卫星或容宿平台中，并把地面部分向（共用）模块化开放结构转移。”[2] 需要指出的是，目前的 OPIR 已经是一种散宿组合结构，该系统使用在多个不同轨道上的自由卫星和寄宿载荷，以及分布式地面结构，来支持多家任务用户。现在，如果转向购置更多新结构新能力的做法，启动这样一种大范围的、有人认为是冒进的结构性过渡——尤其是在我们认为目前的系统才刚刚开始显示出性能和功效显著提升甚至超越预期的时候——国家安全界做好这种准备了吗？[3]

OPIR 使命通过 SBIRS 和其它系统开展太空非成像红外监视已有数十年时间，现在又成了新宠，因为它把目标特征的细微差别、时间及位置信息整合到持续情报和作战产品之中，为作战人员带来令人振奋的新能力。把各种观测信息及时而近于无缝地整合为完整图像，就能提供辨别能力。用户们也开始相应采用分析工具和技术来有效地利用这些新能力，但这只是开始，他们将更深刻地了解如何利用这些令人惊奇的新数据。最近，陆军已试验把 OPIR 传感器数据直接下载到手握式装置上来增强战空态势感知，陆军希望通过建议的联合能力技术演示做进一步实验。[4] 而且，SBIRS 项目办公室正在研究利用 SBIRS 红外监视数据支持天气和气候信息的要求。[5]

扩展 OPIR 传感器能力

作为替代的红外卫星系统（AIRSS）是国防部在 2007 财年预算中启动的一个新计划，其目的是取代 SBIRS 高轨计划中的地球同步轨道（GEO）卫星部分，并替换美国国防支援计划（DSP）的导弹预警卫星。[6] 根据政府问责署 2007 年的报告，国防部没有像最初预期的那样把 AIRSS 作为“计划 B”来实施。该计划最初是为了保持原来的运作连续下去，现在国防部却把计划的重点改为发展新能力，而且是在高度压缩的时间框架内进行。鉴于以往关于太空项目采购的经验教训，国防部各利益相关者未能就该做法统一认识。[7]

目前的商用卫星容宿红外载荷（CHIRP）实验源自 AIRSS 项目，也被称为第三代红外监视遗留项目。AIRSS 项目被终止以后，作战响应太空办公室和 SBIRS 项目办公室继续进行散宿载荷飞行演示，旨在推进散宿载荷的研制，并以最低成本进行 CHIRP 焦平面阵列的在轨测试。科学应用国际公司的 WFOV 传感器被纳入了由轨道科学公司制造的 SES-2 商用 GEO 通信卫星，是以快速高费效比的方式验证运用 GEO 卫星的导弹预警技术。CHIRP 红外传感器包括一个固定望远镜，能从 GEO 卫星观察地球的四分之一。通过对这种红外传感器的测试将检验其 WFOV 监视技术和能力，最终将用于空军未来的 OPIR 使命。

CHIRP 实验包括的正在进行的 WFOV 技术演示，将有助于防止此技术嵌入到导弹预警结构中之后可能出现的风险，也向我们揭示把载荷分散寄宿于商业卫星可能发生的问题。然而，它仅代表着应对多次采购审计中所发现的有关性能、结构、制造可行性的众多风险的第一步。要把集许多任务—— 导弹预警、导弹防御、战空态势感知、技术情报——于一身的现有 SBIRS 结构转变成一种将主要依靠 WFOV 技术的载荷散宿式结构，在眼下还存在着重大的任务风险。

CHIRP 实验中的 WFOV 导弹预警（评估）传感器，利用了源自 AIRSS 项目的新传感器焦平面阵列芯片有限生产能力。伯德肖公司

（Burdeshaw Associates）最近完成的一项有关传感器性能的研究指出：

> 这些 WFOV 设计考虑使用大幅凝视阵列提供全地球覆盖——不用动态调整光路，而用一系列光学有效载荷。这种 WFOV 设计模式的主要优势据称（但未经实践检验）能减少复杂性，从而降低成本，主要通过以下简化措施：
>
> - 取消诸如镜像组件等光路元件
> - 取消移动机械装置
> - 取消移动机械装置的地面任务下达软件
> - 使用普通光学装置构建（较）低成本的望远镜。[8]

要扩展 OPIR 的任务能力，就需要精确的地理定位性能。因为这项为任务所必需的性能取决于对所有有效载荷位置的了解以确保它们协调运作，所以这种了解进一步对整合精确度、航天器稳定性、星历表、视线知识等提出要求。这样的复杂性还引出另一个后果，这就是，这些设计参数还必须容许各独立传感器载荷覆盖面之间重叠，以能插入像素来达到地球空间分辨率的任务要求。CHIRP 实验计划不包括对这项标准的验证。WFOV 独特依赖的基本技术——每面有数千像素的大型、高像素数目红外焦平面——相对于导弹预警及其他 OPIR 任务的严格目标探测需要来说，在均匀性和故障率方面还有待成熟。

目前正考虑把备选 WFOV 传感器作为有效载荷寄宿到其他卫星上或部署到一颗小卫星上。覆盖能力通过整合一个焦平面阵列得到扩展，该焦平面阵列包含与各种光学仪器选项（从 4 度到 14 度）相结合的 3000 x 3000 个探测器（3K x 3K 焦平面阵列）。通过使用这些选项，该焦平面阵列能监测更大的地理区域。然而，监测覆盖面积的扩大导致地理空间分辨率受损，因为分辨率随着覆盖面的扩大而降低，从而负面影响到对来自密集分布发射地点的发射个体的辨别能力，这种负面影响一直持续到各弹道之间充分分离之后才消失。OPIR 导弹预警任务中的战略及战区预警部分，要求评估空袭计数准确度和对助推段跟踪获得全面了解。只有达到这两项，我们才能做到快速预警，辨识出来袭导弹的特征，为响应决策提供可靠依据。这些设计要点对于确定整个系统的性能很重要。伯德肖公司的研究揭示出以下情况：

- WFOV 是理想的技术，但是由于设计和生产中还有一些挑战没有克服，因此无法在近期内使这种技术成熟。这些技术目前具备的灵敏程度还不足以对付现在的高阶威胁及许多新现威胁。
- 大型中波红外格式目前无法达到经济可行的均匀度和故障率，仍有待完善。
- 与现有大型焦平面结合的宽视野覆盖面限制了孔径尺寸，此孔径必须比 SBIRS 小许多。简单说就是，灵敏度需要光子，而光子数目是孔径尺寸的一个应变量。
- 在现实场景中的目标区分和计数能力还很差，这是一个切实的担忧。

为了帮助提高分辨目标的能力，WFOV 设计中为光路增加了一个活动滤光轮，以适应额外的红外光谱带。这就比一个类似 CHIRP 的凝视阵列增加了复杂性和成本。[9]

WFOW 有效载荷与容宿卫星结合的一些现实情况可能还需要更多的技术和工程设计。博德肖公司的研究引用了一份对工业基础分析的调查，该调查得出以下结论：

- WFOV 可能需要在光路上增加图像移动补偿镜以保持图像质量；否则，卫星舱震动、稳定性和偏航等特征，会破坏光学图像及其成像处理技术及地理定位所需要的配准。
- 相对纤细的 WFOV 多路望远镜设计，将需要一个足够坚硬的整合结构把姿态基准从一个望远镜传输到另一个望远镜，以保持微弧度级的绝对视轴知识，因此可能把较低成本的商用卫星舱选项排除于外。
- 内部自积累的视轴知识校准能力，将是 WFOV 有效载荷设计趋于完善的必不可少的一部分。
- 要完善 WFOV 有效载荷设计，必须首先拿出一个隔热、太阳能、太阳辐射防护设计。这对寄宿的 WFOV 有效载荷是一个特殊挑战，因为 CONOPS［作战概念］灵活性在这里也许会受到商用卫星自身优先任务的限制。[10]

若想采用 WFOV 设计，必须在采购早期解决上述复杂的问题，才能保证向新技术的转变过程顺利且可预测。

国防部长办公室参谋班子的评估结论是：由于所需的功能尚不充分具备，我们不可能在采购 SBIRS 项目 GEO 6 卫星之前就启动转变，因为替代技术研发时间表跟不上。如此，要满足 SBIRS GEO 7 卫星的需要日期——假定向新技术的转变从 2014 财年开始——则会有风险。在当今这种财政气候下，国防部长办公室要想一方面转向研发和采用新结构，同时又要完成和维持目前的导弹预警结构和项目，将十分困难。在 1990 年代，我们很容易就从 DSP 卫星组合结构（用于导弹预警探测的老一代 OPIR 卫星）向 SBIRS 转变作出决定，但此一时彼一时，我们现在没有备用的 DSP 或 SBIRS 卫星，一旦出现采购延误、性能不达标，或发射失败，导致新结构无法及时部署，就会对整个卫星网运作造成重大风险。把现在的形势和 1994 年对比，就能看出以下问题：

- 在 1994 年，导弹预警结构非常坚实可靠，当时，DSP 计划已持续运作了 20 多年，轨道上有备用卫星，另有 6 颗卫星（DSP 18-23）在制造中，其结果是运作风险低，而且我们也有时间来设计和发展 SBIRS。
- 当前，导弹预警结构显示存留的 DSP 卫星健康每况愈下，轨道上只有 SBIRS GEO 1 这一颗卫星，SBIRS GEO 2-4 号卫星仍在制造之中，表明目前状况远不如以前强健。

此外，国防采办历史也一再证明：对采用革命性新技术构建新结构的成本评估通常过于乐观，因为人们常常低估系统工程、项目管理、非重复性工程设计、运行整合、发射行动等所隐含的困难。在各种替代方案中，地面基础设施的成本常常被假定为中性。然而，在本文所讨论的有效载荷散宿组合结构中，将需要把许多传感器寄宿到不同卫星，由此引发的各种新的包括意外的问题，将频频出现于管理、基础设施、数据整合等领域。

一项可能的低风险强化方案

过去的几十年里，我们在航天系统发展（SBIRS、转型通信卫星、天基雷达等）中付出了许多沉痛的代价，也许其中最重要的教训，是不可忽视成熟技术的使用。要把新技术纳入一项综合国防采购计划，最好的做法是尽早投入努力，认真演示这些技术的性能，进一步演化为完整原型机，然后确定投入全面生产。这种情况非常值得我们现在选择 OPIR WFOV 替代方案时借鉴。

由此看来，我们需要一个结构化的方案，据此审慎地逐步地演示个别航天器研发和生产过程及性能，以及多颗卫星组合为整体结构后的性能与影响，从而降低性能风险和进度风险。这种方案的关键要点应该包括：(1) 在向新技术转换的整个期间维持能执行使命的基本能力；(2) 从演示器向原型机过渡期间充分评估新技术的运行性能；(3) 在原型机研发期间认真验证最终运行性能和生产成本；(4) 了解整个组合结构的影响。

博德肖公司的研究提供了一个进度示例，该示例中列出了一个以组合结构替代方案和 / 或后续项目为终点的低风险逐步成熟计划的主要元素。据此，本文给出一个结构化顺序方案（见图 1），该方案把新旧技术过渡期间的风险成本降到最低程度，同时也避免性能、生产、制造方面的隐患。深色和中深色色箭头（GEO1-4 和 HEO3-4）表示已经在生产中的 SBIRS 航天器，浅色箭头代表需要额外资金的航天器以及预估的交付日期，日期的设定中考虑了如何缓解潜在运行问题对整个使命的影响。图中给出了这个纳入新技术的强化计划的三个阶段，其中无色部分代表研发和生产；深色和浅色部分代表在轨评估时间线；五角星代表这项计划中决定切换到新的导弹预警卫星组合结构的第一个决策评估点。

维持新旧结构转换期间的正常使命运行

幸运的是，SBIRS 的性能超出预期。我们了解其生产成本和风险；此外，购置了 SBIRS GEO 7-8 号卫星和高椭圆轨道 HEO 5-6 号卫星之后，我们就能期望这样的维持能力将足以支持所有四项任务到 2030 年。这就为国防部提供了一个能力维持期，在此期间它能够透彻地评估和研发 WFOV 能力，并按照最低年度投资做法减少中期和长期风险。通过逐步完善 WFOV 卫星网的任务要求、技术能力、组合结构方案等，国防部能够全面了解新组合结构中新技术成份的成本、性能、生产及制造能力，达到向新结构转换的时间点。实现这个目的的第一步，是完整了解和

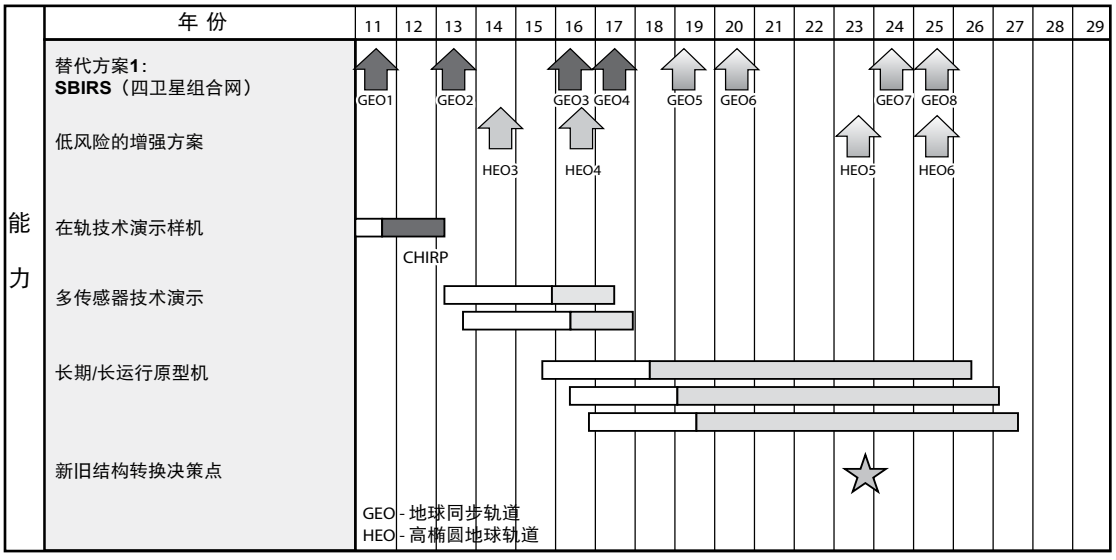

图 1：低风险的逐步强化方案

确认所有利益相关者对 WFOV 卫星网结构的预期要求。

从演示器向原型机过渡期间充分评估新技术的运行性能

目前的 CHIRP 演示，重点在评估第三代红外监视技术的研究 / 开发 / 测试 / 评估（RDT&E）期间进行的 WFOV 模拟的预期正确性。进一步，我们通过演示获得对 WFOV 基本性能、以及把载荷寄宿到商用卫星后的整合表现的基本了解。用 8 个月到 1 年时间评估测试结果，将有助于我们确定数据精确度和 WFOV 传感器在强化未来导弹预警能力方面的应用。前面已讨论过，众多数据获取和处理领域需要关注，以确定数据获取及其精确度在战略和战术上是否都足以支持导弹预警任务。为了验证数据精确度能力，我们也许需要增加一次后续的多传感器技术演示。

确定了性能要求、灵敏性、WFOV 均匀性和故障率之后，技术演示就能从验证 WFOV 技术的预期性能转为设计论证，即更仔细地审查国防部分派给导弹预警强化能力计划的具体任务和性能要求。如果该强化计划确实是为了重点加强多数关键 OPIR 任务需要的生存韧弹性，那么，我们就应该争取使整体任务性能达到在任何突发事件中都能维持战略和战区导弹预警能力的目标。我们必须证明其性能符合预期，能提供足够准确的信息，使导弹预警对所有地理区域的所有威胁环境都具备效能。该组合结构应该重点强化韧弹性，足以从其他任何核战略部队所能承受的一次核打击环境中生存下来。为了增强此组合结构的灵活性，我们必须通过演示论证 WFOV 传感器配置，确保它能从覆盖地球四分之一扩展到覆盖整个地球。同样，我们也必须同时加固卫星舱及合并处理多阵列，以确保 OPIR 任务需要的精确度。而且，我们还必须对超期服役的在轨卫星和传感器进行论证，因为要把短寿命航天器或传感器更换成大型、长寿命星座，就会大幅度提高涉及长期提供任务能力的生命周期成本。设计技术演示之后，导弹预警强化计划应该演进到对多卫星原型机的运行设计配置，对此进行演示论证确定达到预期要求。

在原型机研发期间验证最终运行性能和生产成本

在导弹预警强化能力的最终设计成熟之后，我们应该着手发展接近最终设计的原型机，以验证生产和制造成本，并制定生产线和供应商层面的组织、程序和成本。对照接近标准的设计对多卫星性能进行在轨评估，能使我们对星座任务能力有高度自信的了解，也使部署和运行的整体概念具体化。另外，更多的工业生产厂家对生产成本估计抱有信心，将有助于维持项目费用支撑更长的生产周期，确保生产出许多卫星。对项目估算成本的高度信心，使我们能对整个卫星组合结构做出更切实的生命周期成本估算，从而为过渡提供更准确的决策依据。

了解整个组合结构的影响

最后一点，这个低风险的强化方案给予我们时间来充分了解整体结构演变（包括地面配置演变）的成本，即演进为由多卫星——包括自由飞行卫星和容宿卫星——组成的“散宿组合结构”的成本。我们将有时间来调整作战概念和部队整编，以适应新的运行方式。对发射基础设施、通信升级、任务管理、跨多系统的任务数据处理、任务处理过程变化等相关成本的了解，都将随着传感器和航天器设计的发展而趋于成熟。

太空项目采购历史加深对急剧过渡做法的担忧

对太空项目采购多次审计得出的结论是，重复出现的风险继续困扰着新启动的太空项目，表明这种采购状况将导致项目成本增加和难以平稳向新能力转变。在 2012 年 3 月 21 日，政府问责署负责采办与招标管理的克里斯汀娜·夏普兰主任（Cristina T. Chaplain）在美国参议院武装部队委员会战略部队小组委员会作证如下：

> 我们通过审计发现了造成采购问题的许多原因，其中有几个原因一直很突出。在更高层，国防部总是倾向于启动太多的武器计划，超出自身财力，造成资金竞争，各竞争方一味高调宣传，而不顾及现实情况和健全管理。国防部还倾向于匆忙上马太空项目，往往并没有确定自己是否能在现有资源和时间限制内取得其所追求的能力。当该项目所依赖的关键性技术仍处在发现和发明的相对早期阶段时，根本无法准确估计设计、研制、建造一个卫星系统需要多长时间。最后，从历史角度看，许多项目都企图一步到位满足所有要求，而不顾设计的挑战或获得全部能力所需要的技术成熟性。国防部喜欢制造能执行多项任务的大而复杂的卫星，有时候技术挑战超出目前的能力。图 2 说明可能造成项目失败的主要负面原因。[11]

同样，在 2011 年，国防研究所分析了最近违反纳恩—麦科迪修正案（Nunn-McCurdy Amendment，目的是限制武器采办方面的成本增长）的根本原因，其分析结果使兰德公司总结出以下经验教训：

- 生产延误使得受私营市场条件变化的影响加大，由此可能导致成本增加。

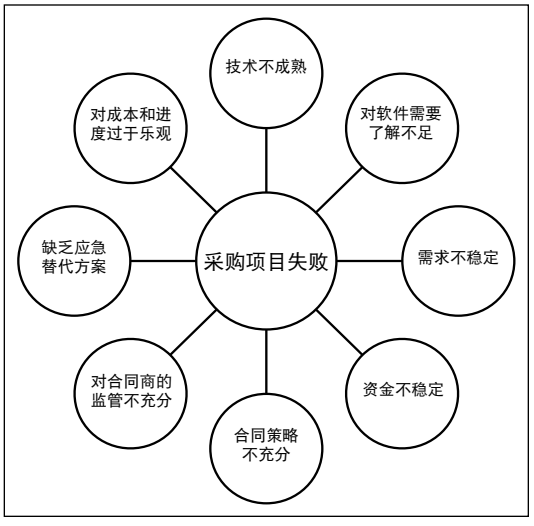

图 2：可能造成项目失败的负面原因

- 采购中过于灵活（比如一些项目反复启停）势必付出相应代价。
- 成本估算应该在不受项目经理影响的情况下进行。
- 把改装件和新造件结合使用会造成复杂性，也可能导致成本增加。
- 对制造程序的编排需要做更多的计划。
- 大幅度减少采购数量会显著提高单位成本。
- 必须经过充分的 RDT&E 过程才能保证项目的“可生产能力”。
- 对技术性复杂的项目，政府需对合同商进行更多监管。
- 需要对计划的风险部分设置更多“折冲”措施。
- 在设计规格和性价比权衡的讨论中需要更多合作。[12]

以上这些并非新论，教训的伤疤提醒我们在辩论中引以为戒。在本文讨论的项目中，有些纳入考虑的新技术将是我们构建载荷散宿组合结构的关键，但是这些技术可能才刚进入技术演示和论证期，它们的性能水平、

结构性影响（例如：降低对个别节点和任务网络运行的风险）、制造 / 产品可行性等，都还在评估过程中。如果我们还只能靠 PowerPoint 幻灯片来获得对这些技术设计的了解，那么就意味着可能有重大风险，意味着我们必须做更多研制努力和演示，才足以规避风险领域，满足任务保障的需要。制定一个财力能及、时间序列合理的方案来避免这些问题，就能筑起“折冲”篱笆，有助于我们避免项目的意外成本，实现更大组合结构内的预期性能。

复杂的国防部采办程序有众多的利益相关者，各家之间的关系盘根错节，各种程序互联纠结。那么，毫不奇怪，随着项目建议从 RDT&E 阶段演示演进到全面研发和生产，一系列新的组织结构、管理程序、新增人员、设施、设备投资等也开始发挥各自的作用。从历史上看，投标书中的成本估算，如果是基于成熟及熟知的工艺流程和结构，而不是基于新现的或未经实践验证的技术，往往更加准确。在当前向新技术结构转换的过程中，对风险的评估特别要关注以下几点。

控制需求

就 OPIR 而言，我们需要把强化方案应该提供的一组能力需求明确列出，从而排除向研制和生产过渡的期间发生混淆。显然，目前已演示的 WFOV 能力不能满足 OPIR 的全部需要。如果能加强关注，把这些系统为强化整个卫星结构所提供的各组需求规定清楚，将可缓解随着项目的演进而出现的需求增加，从而进一步防范项目成本因此而失稳。

改进系统工程

概念设计可以慢慢开发，此过程中应通过逐步推出表现力越来越强的演示样机，使人们加深了解这套系统的性能可靠性、结构整合情况、制造 / 生产过程成本，等等。把产量规划低些，就能给出时间来逐步改进和调整设计及生产工艺。这样，即使设计和生产中出现意外情况，必须做出某些重大增补，也不至于对项目成本和进度造成巨大冲击。

类似的教训也适用于太空系统和新旧两代组合结构的过渡。为了避免对制造可行性构成类似的风险，我们必须确保从传感器和航天器演示样机到原型机之间增加逐步演进的步骤。就 OPIR 而言，由于多传感器数据整合和交叉可能引发结构性影响，我们必须测试在轨多 WFOV 传感器，从而更好地领会它们可能对数据精确度和任务的履行产生的影响。除非我们对这些演示和原型机树立了相当的信心，否则，这个替代方案将一直处于成本失控甚至项目失败的高风险之中。

辨识使用商业基础可能面对的隐性成本

兰德公司的研究指出：

> 这个［宽带填隙卫星］项目给我们的更普遍的教训是：当国防部采购借助民间能力基础（尤其是一个特定公司的商业基础及其生态系统）时，它要承担一定的风险。这个基础也许会缩小，难以承担所有的运营成本。即使民间能力基础不缩小，它也会随市场形势逐步演变。如果国防部的需求不能与之平行演变的话——原本不需要与之齐头并进——那么两者之间就会出现分岔。这意味着，要么国防部的需求无法满足（虽然有时候可以接受），要么原本依赖民间能力基础的这个项目最终必须自起炉灶……。这就要求我们必须施加一些采购原则，否则，国防部就只能支付差额。那些反复启停的项目比稳态推进的项目（例如每年采购数量保持平稳）付出更高的成

本，而稳态项目又比总购项目（例如合同规定6颗卫星，造好交货）更加昂贵些。虽然由于多种原因（例如需求频变、风险管理、国会政治等），国防部不一定能保证平稳数量的采购，所有相关人士都应该明白：采购灵活度的增大会引发成本的增加。[13]

理解采购数量的变化

兰德公司的研究进一步指出：

数量的变化从来都不是成本变化的主要根源。确切地说，数量变化总是受某种其他因素（比如威胁或任务的变化）所驱动；是其它因素改变了需求或技术问题，从而增加了成本，也因此影响到采购能力。

最初为DD-21[驱逐舰]设想的32艘舰规模减少到了“里程碑B”基线中的10艘舰，减少的原因是造价超出购买能力。随着系统设计的成熟，而且通过EDM[工程设计改进]也获得了关键技术和子系统方面的经验，我们做出了更切实（更高的）的成本估计，故而降低了产量（批准在特定年份建造的舰只数目）和总数量。[14]

从WFOV焦平面阵列覆盖地球的目前状态来看，可能会需要多个传感器和航天器来提供相当于SBIRS所提供的覆盖面积。基于这个标准，也因为星座规模的扩大意味着必须增加生存韧弹性，结构数量将需增加到20或更多个平台。如果在论证设计向系统研制决策转换期间成本逐步攀升的话，对DD-21驱逐舰和其他计划产生的影响，可能也适用于导弹预警领域。这种风险再次提醒我们认真对待从演示到原型机开发的周期，以加深了解设计、性能、结构和生产成本中的潜在问题。

结语

在过去的几十年里，国会对国防部的计划采办困难给予了特别关注，并再三指示：国防部的内部报告，还有政府问责署和各种委员会的报告，都要审查太空和非太空采购计划和做法。这些审查结果使我们更加深刻地认识到：我们需要明智地发展技术，而且在决定投入生产之前要逐步测试和完善设计。在当今的财政气候下，如果无视这些教训而坚持在对新技术性能及生产能力的评估还不成熟时就追求结构转型，无异于做傻事。而且，计划延误或成本风险证明将对导弹预警任务的运行带来灾难性后果；因为，形势今不似昔，现在一旦计划中断，我们就没有一个强大的备用OPIR使命兵力结构来维持运行。♣

注释：

1. Lt Gen Ellen Pawlikowski, Doug Loverro, and Col Tom Cristler, “Space: Disruptive Challenges, New Opportunities, and New Strategies”[太空：破坏性挑战、新机遇、新战略], Strategic Studies Quarterly 6, no. 1, http://www.au.af.mil/au/ssq/2012/spring/pawlikowski.pdf.
2. Sara M. Langston, “USAF Official: Long Road For Distributed Sats”[美国空军官员：构建分布式卫星体系任重道远], Aviation Week, 31 August 2011, http://www.aviationweek.com/avnow/news/channel_space_story.jsp?id=news/asd/20.
3. Director, Operational Test and Evaluation, FY 2012 Annual Report [2012财年年度报告] (Washington, DC: Director, Operational Test and Evaluation, Office of the Secretary of Defense, 2013), http://www.dote.osd.mil/pub/reports/FY2012/pdf/other/2012DOTEAnnualReport.pdf.

4. Briefing, Space and Missile Defense Center, Huntsville, AL, subject: Theater InfraRed Proposed Joint Capability Technology Demonstration [简报：建议的战区红外联合能力技术演示], 2011.

5. Air Force Space and Missile Systems Center/ Weather Program Office, Los Angeles AFB, El Segundo, CA, "Defense Weather Satellite Follow-on Industry Briefing" [防御气象卫星后续工业简报], 25 April 2012.

6. SBIRS 是一个卫星混合系统，包括 4 颗 GEO 卫星、两颗高椭圆地球轨道（HEO）卫星载荷，以及地面相关硬件和软件，其传感器灵活度和敏感度有极大提高。像其前身那样，SBIRS 的传感器涵盖短波红外、扩展的中波红外和直视到地面的波段，所以能执行比 DSP 更广泛的多种使命和任务。HEO 传感器配置包括：一个重约 500 磅的红外有效载荷（扫描传感器）、三种颜色（短波、中波、直视地面）、传感器芯片组件、双光学瞄准的短筒施密特望远镜、灵活精密万向节瞄准与控制、被动热冷却、100 Mbps 传输到地面的数据率、战略及战区监测，等等。GEO 卫星配置包括：发射时约 10000 磅的预估湿重、由 0.05 度瞄准精确度和太阳能飞行器姿态控制所稳固的三根轴、RH-32 抗辐射并装有可重新装载飞行软件的单板电脑、由砷化镓太阳能电池阵产生的大约 2800 瓦电、装有特供 / 抗扰骗安全模块（SAASM）的 GPS 接收器、约重 1000 磅的红外有效载荷（扫描和凝视传感器）、三种颜色（短波、中波、直视地面）、传感器芯片组件、双光学瞄准的短筒施密特望远镜、敏捷精确瞄准和控制、被动热冷却、用于正常 / 可生存 / 持久运行的安全通信链接。

7. Government Accountability Office, Space Based Infrared System High Program and Its Alternative [天基红外系统高轨道计划及其备选方案] , GAO-07-1088 (Washington, DC: Government Accountability Office, 12 September 2007), http://www.gao.gov/assets/100/95166.pdf.

8. Burdeshaw Associates, Space Architecture Study [太空结构研究] (Bethesda, MD: Burdeshaw Associates, March 2013), 181.

9. 同上，151n3。

10. 同上。

11. Senate, Statement of Cristina T. Chaplain, Director, Acquisition and Sourcing Management, GAO, Testimony before the Subcommittee on Strategic Forces, Committee on Armed Services：Space Acquisitions: DOD Faces Challenges in Fully Realizing Benefits of Satellite Acquisition Improvements [航天采办：国防部需要加强努力，充分实现改进卫星采购方式所带来的利益], 112th Cong., 2nd sess., 21 March 2012, 15-16, http://www.gao.gov/assets /590/589487.pdf.

12. Irv Blickstein et al., Root Cause Analysis of Nunn-McCurdy Breaches [分析违反"纳恩—麦科迪法案"的根本原因], vol. 1 (Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2011), xvi, http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/monographs/2011/RAND_MG1171.1.pdf.

13. 同上，第 84 页。

14. 同上，第 27 页。

杰弗里·哈利斯（Jeffrey K. Harris），罗切斯特理工学院理学士，现任 JKH 咨询公司首席执行官。他曾在政府和业界服务，培育新技术和项目，为提升美国国家安全能力做出贡献。他曾担任洛克希德马丁公司导弹与太空分公司总裁及特别项目总裁，以公司主管身份自洛马公司退休。他也担任过太空图像公司总裁，该公司领先提供高分辨率卫星图像和信息产品，作为低价高效解决方案以满足全球商务需要。在从商以前，哈利斯先生担任过高级国家领导职务，包括空军部太空助理部长、国家侦察局局长，及全国情报副执行总监。在这些岗位上，他直接支持国防部长及中央情报总监。

吉尔伯特·西格特（Gilbert Siegert），加州大学圣芭芭拉分校理学士，怀俄明大学工商管理硕士，拥有超过 41 年国防部与业界航空航天经验，涵盖此期间涌现的许多太空运作和系统。他曾在美国空军服役 26 年，以上校军衔退役；在国防部长办公室担任支持职务 14 年，并任太空风险咨询公司总裁若干年，在此期间为 Burdeshaw Associates 公司做过多个太空相关项目。他在太空政策与战略制定、太空项目监督、美国政府流程、及商业太空项目等方面的专业知识对过去 40 余年太空事业的演进贡献良多。在担任太空政策副助理国防部长办公室太空政策、战略及规划特别助理期间，西格特先生奉命领导并参与了多个直接导致组织机构、项目规划及兵力结构经年改革的国会报告和跨机构与国防部研究分析。他的分析和建议奠定了历次"四年防务评估"文件太空部分及两次太空态势评估的基础。他致力贡献的许多基础性评估导致了全球定位系统、多项军事卫星通信系统、天基红外系统、电子光学侦察系统、天基雷达、导弹防御系统、防务支持系统计划、多个太空发射火箭、太空态势感知能力、以及支持技术等的发展。西格特先生对未来商业太空能力如商业太空发射合作、太空阳光发电技术、太空垃圾生成及领域后果、太空交通管理等概念的研究为太空产业预测及工业基础分析做出了贡献。