

赵通、李彬，“美国遵守 MTCR 规定吗”，《国际政治科学》，2007 年第 2 期第 1-33 页。
Zhao Tong and Li Bin, “US Compliance of MTCR,” Quarterly Journal of International Politics,
Vol. 10, No. 2, (2007). Pp. 1-33.

美国遵守MTCR规定吗？*

赵 通 李 彬

20 世纪 70 年代，弹道导弹及其技术在世界范围内的扩散开始引起美国的严重不安。为避免由自己单枪匹马出面应对的困境，美国积极谋求建立一个多国机制，防止导弹及其技术的扩散。从 1983 年到 1987 年，美国、英国、加拿大、法国、意大利、西德和日本就此问题进行了连续会谈。1987 年 4 月 16 日，上述西方七国公布了“导弹及其技术控制制度”（MTCR），首次就控制导弹及其技术的扩散达成了国际协议。

MTCR 的核心是限制大推力弹道导弹及其技术的扩散，其核心标准可简称为“500 千克/300 千米”标准，即严格限制能够将 500 千克载荷投送到 300 千米之外的导弹的出口。按照用于上述导弹的可能性，相关导弹部件和技术划分为两类，具体包括“第一类物项”，即能够直接用于上述导弹的部件和技术，“第二类物项”，即有可能转用于导弹的两用品和技术。MTCR 对第一类物项的出口进行了严格限制，凡属于第一类物项的导弹、部件、技术、生产设备等均禁止出口，对达到 500 千克/300 千米标准的完整导弹的限制最为严格；对于第二类物项的出口，MTCR 的规定较为灵活，在具有最终用途保障（保证所出口的导弹、部件及技术等不能用于制造大推力导弹）的基础上可以出口。

需要提及的是，MTCR 对其伙伴国之间的出口行为也做了明确的规定，即 MTCR 的伙伴国之间也应像伙伴国与非伙伴国之间一样遵守 MTCR 的出口限制；MTCR 伙伴国的身份并不意味着他们之间可以出口 MTCR 不允许的物项。^①因此，美国作为 MTCR 的伙伴国，它在导弹及其技术的出口方面也应严格遵守 MTCR 的规定。但事实上，关于美国是否较好地遵守了 MTCR 的问题一直没有受到关注。比如，美国与日本共同研究开发“标准-3”（SM-3）反导弹等行为就涉嫌违反了 MTCR，但目前对此依然没有可信的说法与结论。

基于以上背景，本文的核心问题是：美国是否遵守 MTCR？它实际上包括以下两个问题：（1）美国在具体行为上是否事实上违反了 MTCR？（2）美国是否有意愿遵守 MTCR？

* 在本文的写作过程中，清华大学访问学者吴日强老师提供了宝贵意见，在此表示感谢。文中的错误与不当之处由作者承担。

① 参见 MTCR 官方网站的相关介绍：<http://www.mtcr.info/english/trade.html>。

换句话说，如果问题（1）得到证实，即美国在具体行为上违反了 MTCR，那么这种违反是一种不小心的偶然行为，还是美国政府实质上无意于认真执行 MTCR？本文的考查将有助于推动人们关注一个过去被长期忽略的国际安全问题，并对以 MTCR 为代表的导弹防扩散机制作用发挥的讨论提供有意义的案例。

一、研究方法

本文采用主要研究方法包括：个案研究法、技术研究法和文献研究法。

（一）个案研究法

笔者借助这一方法考查了美国与日本在导弹防御系统研发中的技术合作、美国与以色列关于“箭”式导弹防御系统研发的合作等主要案例。与一般的案例研究不同，本文的案例非常隐蔽，不容易发现。因此，本文采用如下思路缩小搜索范围，以考察那些可能违反了 MTCR 的案例。

美国与其他国家关于 MTCR 的互动主要表现为美国敦促其他国家遵守 MTCR，从这个角度无法考查美国自己是否遵守了 MTCR。因此需要考查美国自己在出口相关物项及技术方面的行为。本文主要关注美国是否有意识地扩散导弹技术，因此，将研究范围限定为军用物项及技术，暂不涉及民用物项及技术（例如运载火箭等）。对于军用物项及技术，可能的违反 MTCR 的行为存在于以下两个方面：第一、传统进攻性导弹（本文主要指地对地弹道导弹）及技术的出口；第二、导弹防御系统（以反导弹为主体）及技术的出口。

在传统进攻性导弹的出口方面，由于美国与苏联（及其后继国）之间签订了《苏联和美国消除两国中程和中短程导弹条约》（《中导条约》），美国目前已经没有中程弹道导弹可供出口，美国导弹库中的此类导弹已经替换为中程巡航导弹。因此，进攻性导弹方面，如果美国存在违反 MTCR 的行为，那么只可能发生于战略导弹出口。在战略导弹出口行为中，美国向英国出口“三叉戟”弹道导弹曾被人们关注和置疑。美国向英国出口这种导弹的行为明显违反了 MTCR，但是这个案例发生较早（20 世纪 90 年代初），可能是美国和英国更早期核合作的一部分，所以，这一案例不列入本文的主要研究范围之内。这样，导弹防御系统的出口成为本文关注的一个重点。

近些年来，美国与他国在导弹防御技术合作方面动作频繁，有些合作可能违反 MTCR，因此本文将重点关注美国与他国关于导弹防御相关技术的合作。这些合作项目包括美国与日本的导弹防御合作、美国与以色列的导弹防御合作、美国与欧洲的“中距增程防空系统”项目等。其中美国与日本以及美国与以色列之间的技术合作是两个典型案例。这两个项目是美国与他国相关技术合作中的主要项目，并且其所涉及的导弹拦截器的推力较大，也是最有可能属于 MTCR 管控范围的导弹。其中，日本是我国近邻，其参与导弹防御发展的动态值得我国关注。因此，在美日技术合作和美以技术合作两个案例中，本文将着重关注美日之间的

技术合作。

综上，由于反导拦截器与一般弹道导弹在用途、载荷等方面的不同，人们易于忽略美国在这方面可能存在的违反 MTCR 的行为。本文经过排查，将研究重点集中到美日、美以反导技术合作两个案例上来。

（二）技术研究法

过去几年间，美国等国家为了提高其反导系统的拦截范围，不断增大反导系统的尺寸，增加推进系统的级数。使其所发展的反导系统的推力大幅度提高。在运载 MTCR 限定的大载荷（500 千克）的情况下，可能有能力将目标投送到 MTCR 限定的射程（300 千米）以上。以对美日共同研究开发的 SM-3 导弹为例，本文在讨论 SM-3 导弹的投送能力时采用了技术分析的方法，建立了 SM-3 的飞行模型。将 SM-3 的拦截弹头更换为 500 千克的载荷，计算导弹在这种情况下的射程，再与 300 千米进行比较。在这种情况下，为了得到导弹的射程，需要知道导弹的关机点速度和高度。为了求得这两个量，就需要知道导弹各级发动机的比冲（Isp）和导弹各级质量分布。这些数据需要通过查找资料或者推算获得。

本文数据的获得主要依靠以下来源：美国军方向国会提交的（或以其他形式公布的）项目计划、试验数据和分析报告等；军事科技类期刊上有关该拦截导弹的介绍和数据；国内外各类新闻报道中对该拦截导弹的介绍；相关专著（例如介绍美国导弹防御系统的专著）中对该导弹的介绍；学者和各类非政府组织的研究成果中对该导弹的描述；国内外军事类网站对该导弹的介绍；以及通过搜索引擎找到的其他各类网络资源中对该导弹的介绍。

之后是对数据可靠性的验证。在上面提到的各种数据来源中，美国军方向国会提交的（或以其他形式公布的）项目计划、试验数据和分析报告中的数据可信性较高。以这些数据为基础，可以对其他一些数据进行推算，判断其基本取值范围，并以此为依据对其他数据进行检验。譬如，在已知导弹各级质量以及其他一些基本数据的情况下，可以通过导弹某一级的末速度来推断这一级发动机比冲的大概范围，从而对已有的数据进行验证。有些不容易获得的数据也可以用此办法先进行大概的推测，然后再通过数据之间的相互推算关系来检验这个推测。如果发现推测不合适的话再进一步修改，并进一步检验。

在此基础上使用空气动力学的知识进行计算，如果结果证实该反导弹携带 500 千克的载荷时确实能够飞行 300 千米以上（技术分析的具体过程可见附录）。这就证明此导弹属于 MTCR 的第一类物项，美国向外出口这类导弹，或者与其他国家进行这类导弹的技术合作是违反 MTCR 的。我们推测出来的 SM-3 导弹模型也许与真实的 SM-3 导弹参数不能够精确地一致。但是，根据上述原则推算的模型应该基本反映了发展中的 SM-3 导弹的基本特征。根据这一模型来估算 SM-3 导弹携带 500 千克载荷时的射程，可能存在一些误差，但是，将其用来比对 MTCR 的标准可能是足够的。在结论部分，我们还将对此进行进一步的讨论。

（三）文献研究法

文献分析用于两个方面。第一，SM-3 导弹的数据散见于各种不同的资料。本研究经过不同文献数据的比对、不同型号导弹数据的比对，最终建立了SM-3 的模型，使得我们可以考察SM-3 在大载荷情况下的射程。第二，本论文通过美国政府的文件，判断美国政府对于遵守MTCR的态度。即从以下资料入手进行分析判断：美国政府内部对于是否要遵守MTCR的政策研究、美国国内关于执行MTCR是否符合其自身利益的讨论、美国政府的表态、美国政府在各种场合对其具体出口管制政策的阐述以及对其执行MTCR情况的解释和说明、美国政府针对那些被指责为违反了MTCR的行为所做的辩解和阐释等。例如，美国政府在 2003 年 5 月的一份政策文件中说过，“美国准备在不妨碍与盟国的导弹防御合作的条件下执行 MTCR。”^①其含义是，如果美国与其盟国之间的导弹防御合作违反了MTCR，美国将绕过 MTCR的限制以保证他与盟国之间的合作。诸如此类的材料可以帮助我们分析和判断美国政府对待MTCR的实际态度，并得出相对可信的结论。

二、美日导弹防御合作与 MTCR

（一）简要回顾

美、日两国在导弹防御领域的技术性合作大致可以分为三个阶段。

1. 论证阶段

1985 年 3 月 18 日，美国国防部长温伯格(Caspar Weinberger)邀请包括日本在内的 18 个盟国政府参加美国的 SDI 计划，即所谓的“星球大战计划”。当时，为了回避 SDI 计划中涉及的太空武器化与核武器等敏感的政治问题，同时也由于对美国的邀请心存疑虑，日本表示了支持，但没有采取实际行动加入这一计划，只是停留在声援的水平。

后来，日本的态度逐渐发生转变。1987 年日本与美国签署了参与SDI计划研究的谅解备忘录。在1988 年末召开的安全保障会议上，日本提出“冷战结束后，根据以核为首的大量破坏性武器和弹道导弹的扩散情况，弹道导弹防御作为以专守防御为主旨的国家防御政策的重要课题，对日本的防御主体的构成很有必要”，^②并决定实质上参加美国的导弹防御计划。此后日本开始着手与美国共同进行弹道导弹防御的技术研究。1989 年日本确定了其感兴趣的研究题目：“西太平洋导弹防御系统结构研究”，由日本公司出面与美国公司合作，研究保卫西太平洋地区和日本的可行性。这项耗资 800 万美元的研究工作计划历时四年，于 1994 年完成，建议日本发展陆基与海基结合的双层防御系统。

2. 合作研究阶段

^① “National Policy on Ballistic Missile Defense,” Bureau of Nonproliferation, Washington, D. C., May 20, 2003, <http://www.state.gov/t/ac/md/fs/45592.htm>.

^② 迟少强：《日本自卫队构想的弹道导弹防御（上）》
http://military.china.com/zh_cn/mj/03/11028805/20050404/12216085.html。

1989年，日本开始参与美国“海军全战区防御”的部分研究。具体参加了“海军全战区防御系统”四个关键部分的研究：“标准-3”（SM-3）反导弹的研究、集束式弹头的研究、红外线导引的研究和第二级火箭发动机的研究。

1990年下半年日本防卫厅和美国国防部交换了备忘录。此时日本海上自卫队总共有四艘“金刚”型宙斯盾驱逐舰服役，日本在与美国共同进行研究开发之际开始对“金刚”型驱逐舰进行弹道导弹防御的改装。^①

1993年，朝鲜向日本海试验发射了一枚“劳动”弹道导弹后，美国国务卿、国防部长和日本外相、防卫厅长官组成的日美安全顾问委员会，于同年12月成立了“日美联合战区导弹防御工作组”（TMD WG），定期讨论战区导弹防御的技术、政治与战略问题。

1994年8月，日本首相的特别顾问组建议，日本应该与美国合作发展和部署弹道导弹防御系统。随后，日美两国于同年9月达成开展双边弹道导弹防御研究的协议，并于1995年1月开始研究工作，包括进行广泛的仿真和系统分析，鉴定各种可供选择的导弹防御系统方案。与此同时，日本防卫厅也于1995年4月成立弹道导弹防御研究办公室，与美国国防部的弹道导弹防御局共同协调研究工作。依据双边的合作研究结果以及日本海上自卫队与工业部门的意见，日本防卫厅内部于1997年确定，日本应该重点参与美国“海军全战区防御系统”的技术研究。日本原本期望在1998年就宣布与美国合作发展“海军全战区防御系统”技术，但由于日本内部意见还不一致，加之来自东亚其他国家的压力，只好予以推迟宣布。

②

在朝鲜发射的飞跃日本上空的三级火箭残片溅落到日本附近海域后，日本与美国在1999年8月正式签署合作研究“海军全战区防御系统”技术的谅解备忘录，日本国会也最终同意为这项合作研究计划拨款。联合技术研究涉及SM-3导弹（海基中段导弹防御系统的拦截导弹）的设计、样件开发以及必要的拦截导弹测试。日本具体负责的导弹部件包括：（1）能识别并跟踪目标的双色红外探测器；（2）导弹的鼻锥（负责保护导弹的红外线传感器等不受因空气摩擦所产生的热能损害）；（3）拦截导弹第二级火箭的推进装置；（4）拦截并摧毁敌方弹道导弹弹头的动能弹头。^③

3. 开发阶段

2005年2月，日本防卫厅与美国国防部达成协议，把日美双边的导弹防御技术研究计划推进到开发阶段，目的是要研制性能更强的“标准”-3 II型拦截弹，改进型的SM-3导弹

① 迟少强：《日本自卫队构想的弹道导弹防御（上）》。

② 温德义：《盾与刀：日本加速建立弹道导弹防御系统及影响》，《现代兵器》2006年第1期，第9—12页。

③ CRS Report for Congress: “Japan-U.S. Cooperation on Ballistic Missile Defense: Issues and Prospects,” p. 14, <http://fpc.state.gov/documents/organization/9186.pdf>. 另一说为：（1）设计、研发和生产先进的轻型高强度导弹鼻锥，其中要使用先进的合成材料和技术；（2）设计、研发和生产拦截导弹的轻型高强度动能拦截弹；（3）设计、研发和生产低成本的先进轻型固体火箭发动机，其中要使用减轻重量的技术和材料；（4）设计和研发拦截弹的多色聚焦平面阵列（multicolor focal plane array）技术。参见Sourabh Gupta, “Constitution and Shield: Dilemmas, Obstacles and Choices on Japan’s Path to Naval Ballistic Missile Defense,” <http://www.princeton.edu/~jpia/pdf2003/Ch%205%20Japan-Gupta-JPIA%202003.pdf>.

通过采用日本参与研究的直径更大的第二级助推火箭，使其最大飞行速度可达到 4.0~4.5 千米/秒，从而可以将防御区域的半径从数百千米扩大到 1000 千米左右，^①能防御射程更远的弹道导弹；通过采用日本参与研究的双色红外导引头，将有可能提高拦截器识别目标的能力。这项计划于 2007 年正式开始，拟于 2012 年完成，届时日美双方部署的海基中段防御能力将大大提高。^②

2005 年 12 月 24 日，日本政府召开安全保障会议和临时内阁会议，正式决定从 2006 年度开始同美国就下一代新型导弹防御系统的拦截导弹进行共同开发。并且，日本政府明确表示，美日导弹防御系统共同开发工作将不受“武器出口三原则”的限制。^③

在这个阶段的共同开发中，日本主要负责以下三方面的工作：（1）导弹头部“鼻锥”；（2）导弹第二阶段的火箭发动机以及上下段分离部；（3）参与第三段火箭发动机的主要研制工作。美国主要负责以下三个方面的工作：（1）直接摧毁式动能弹头；（2）红外制导装置；（3）导弹制导系统。新型导弹的红外装置也很可能沿用日本已有的技术。

日本政府已经决定在 2006 年度预算中为共同开发工作投入 30 亿日元。该项共同开发工作计划于 2014 年完成，并于 2015 年投入量产。预计日本方面将承担 10~12 亿美元左右的费用，而美国方面承担 11~15 亿美元左右。^④因此，在研发反导弹方面，美国与日本进行了长期、深入、广泛的技术合作。为了判断这一合作行为是否违反 MTCR，需要在掌握了改进型 SM-3 导弹的基本构造与性能的基础上，对其射程进行计算。

（二）改进型 SM-3 导弹的性能及其射程计算

改进型 SM-3 导弹在设计构造、工作原理等方面与 SM-3 导弹基本相同，二者的主要区别在于：改进型 SM-3 导弹第二级的直径由 SM-3 的 34.3cm 增加到 53.4cm，因此增加了可携带的燃料量，提高了导弹的投送能力。而 SM-3 导弹是美国海基战区导弹防御系统的重要一环，既可用于拦截中短程导弹，也可拦截远程导弹。它分为三级火箭推动：第一级助推火箭点火，从“宙斯盾”军舰上垂直发射升空；Mk 72 第一级助推火箭工作大约 9 秒钟后关机并分离，Mk 104 第二级助推火箭点火，工作大约 40 秒后关机并分离，把拦截弹推进到大气层外，并达到预定的速度；然后，第三级火箭工作。

第三级助推火箭是双脉冲工作的固体火箭，首先进行第一次脉冲点火，工作时间大约为 10 秒，然后，抛掉头锥；接着进行第二次脉冲点火，工作时间也大约为 10 秒，并由动能弹头上的导引头进行校准。第三级助推火箭分离后，动能弹头立即用红外感应、跟踪、识别目标，确定瞄准点；在制导系统的控制下，自行接近目标，最后通过直接碰撞拦截并摧毁目标。

① 《日美联手将导弹防御系统推到中国跟前》，
<http://www.southcn.com/news/international/military/200601110282.htm>。

② 温德义：《盾与刀：日本加速建立弹道导弹防御系统及影响》，第 9—12 页。

③ 1967 年，日本政府制定了“武器出口三原则”，规定不准向共产主义国家、联合国武器禁运国家和冲突当事国出口武器。

④ 尤文虎：《日正式决定与美国共同开发下一代导弹防御系统》，人民网，2005 年 12 月 24 日，
<http://military.people.com.cn/GB/1077/52987/3971044.html>

为了建立合适的动力学模型，计算改进型 SM-3 导弹的射程，本文根据能够获得的公开资料，对改进型 SM-3 导弹的部分基本性能进行了推测。SM-3 导弹的部分参数能够从可靠的出处（例如，研发公司的报告）得到；另外的部分参数没有可靠来源。对于这类数据，我们需要根据已经公开的类似导弹部件的参数类推。这种类推是国际安全技术研究中的常用手段，其根据是技术发展与进步是不断传承的。这样类推得到的结果通常是可信的，但是，当技术发展出现跃升时，这样的类推可能过于保守。在这里，如果由于技术跃升而使得我们做出的推测过于保守，并不会影响本文的结论。因为我们的结论是，在携带 500 千克载荷时，SM-3 导弹的射程至少会达到 300 千米。如果依据已有导弹部件的参数推测得到的 SM-3 导弹技术参数过低，只会使我们推测出来的 SM-3 射程过小。依据这样保守性的估算，考查 SM-3 导弹出口是否违反 MTCR，其结论只会过于宽松，不会过于严苛。

本文最后确定了一套 SM-3 导弹和改进型 SM-3 导弹的基本性能数据，可参见表-1 和表-2。

表-1 SM-3 导弹的基本数据

	长度 (cm)	直径 (cm)	装药量 (kg)	导弹净重 (不装燃料) (kg)	燃烧时间 (s)	比冲 (m/s)
第一级 MK72 发动机	182	53.4	474.6	313.1	6	2200
第二级 MK104 发动机	288.3cm (带喷管) 或 249.9cm (不带喷管)	34.3	358.5	208.8	40	2500
第三级发动机	96.5	34.3	92	34.8	20	2400
动能弹头	56	25.4	4.5 ^①	13.7		

表-2 改进型 SM-3 导弹的基本数据

	长度 (cm)	直径 (cm)	装药量 (kg)	导弹净重 (不装燃料) (kg)	燃烧时间 (s)	比冲 (m/s)
第一级 MK72 发动机	182	53.4	474.6	313.1	6	2200
第二级 MK104 发动机	288.3cm (带喷管) 或 249.9cm (不带喷管)	53.4	867.6	208.8	70	2500
第三级发动机	96.5	34.3	92	34.8	20	2400
动能弹头	56	25.4	4.5	13.7		

① Scot D. Robinson, "Navy Theater-Wide Defense AEGIS LEAP Intercept (ALI)/STANDARD Missile Three (SM-3) Flight Test Program Overview".

由上面的两个表可以看出，SM-3 导弹和改进型SM-3 导弹的区别在于，改进型SM-3 导弹第二级的直径由原来的 34.3cm增加到 53.4cm（与第一级直径相同），^①并导致第二级装药量和燃烧时间等发生相应变化。在其他方面，改进型SM-3 导弹和SM-3 导弹是一样的。

改进型 SM-3 导弹的射程计算需要用到以上两表中列出的各种基本数据。这些数据中，部分具有明确的、可信的出处（例如出自“标准”导弹公司的试验计划综述报告）；也有部分没有直接的、可信的出处。对于这些数据需要进行进一步的推算和检验，以便为后续的计算提供可信的依据。相关数据的具体推算和检验过程可参见附录一。导弹射程的具体计算涉及到空气动力学的相关内容，计算的方法、步骤和相关说明可参见附录二。

经过以上的计算，得到结果如下：当改进型 SM-3 导弹不携带动能弹头，而代之以 500kg 的载荷时，其关机点速度是 1.69km/s；关机点高度是 62.7km；最大射程是 358km。因此，改进型 SM-3 导弹作为一种反导弹，其推力巨大，实际上也可将其作为弹道导弹来使用。通过以上的分析计算，可以得到以下结论：（1）当改进型 SM-3 导弹携带 500 千克的载荷，并按照弹道导弹的轨道飞行时，其射程至少可达到 358 千米。（2）MTCR 对于第一类物项的出口以及对外技术合作做了严格限制。没有最终用途保证而出口这类物项是严重违反 MTCR 的。依据 MTCR “500kg/300km” 的规定及本章的计算结果，改进型 SM-3 导弹属于 MTCR 的第一类物项。（3）美日两国在改进型 SM-3 导弹方面进行技术合作而导致的技术扩散，其最终用途无法核实。因此，双方的此类合作势必违反 MTCR。

三、美以导弹防御合作与 MTCR

美国与以色列之间有关“箭”式导弹的开发合作是国际上广受瞩目的导弹防御项目之一。“箭”2 系统是世界上第一个试验性实战部署的常规装药高层反战术弹道导弹武器系统，也称为“箭”2 战术弹道导弹防御系统，由以色列和美国联合研制，主要用于拦截近、中程战术弹道导弹。“箭”式系列导弹，尤其是“箭”2 导弹推进性能强，因此“箭”2 导弹是否属于 MTCR 的第一类物项以及美以之间有关“箭”2 导弹的技术合作是否违反了 MTCR 是值得探讨的问题。

“箭”2 系统从最初的起步到现阶段的发展共经历了四个阶段，^②均由美以两国联合协作进行。

（一）预研阶段

^① W. J. Kearney, et al., “High Performance Boost Propulsion for Navy Theater Missile Defense,” *Pentagon Report*, No. A272023, Sep. 1996.

^② 孙亚力：《“箭”2 高层反导地空导弹武器系统四次发展飞跃》，《地面防空武器》2005 年第 4 期，第 2—6 页。

1986年，以色列与美国签订谅解备忘录，启动弹道导弹防御系统研究计划。1988年，美国和以色列开始联合实施“箭”式导弹发展计划。两国在开发“箭”2前，首先开发了“箭”1，以此作为“箭”2的预研基础。通过“箭”1计划的实施，确定了“箭”式导弹的概念，并研制了“箭”式原型导弹和发射装置。1988年，美国导弹防御局和以色列飞机工业公司电子分公司签署了一份合同，制造并测试单级“箭”1反战术弹道导弹系统。“箭”1导弹由单级固体火箭助推器和一个作为弹头的“杀伤拦截器”两大部分构成，发射重量约2000千克。至1994年6月12日，“箭”1导弹共进行了九次试验，其演示验证试验结束，进入到全尺寸开发和预生产阶段。

（二）连续试验阶段

“箭”式导弹防御系统发展的第二阶段是“‘箭’式导弹连续试验（ACES）计划”。海湾战争促使以色列和美国加快“箭”式系统的研究进程，发展更先进的两级“箭”2导弹防御系统，该系统主要由以色列飞机工业公司下属的MLM系统工程部研制。至1998年9月14日，“箭”2导弹共进行了六次飞行试验。至此ACES计划完成，共耗资3.3亿美元，美国负担了其中的72%。^①

（三）部署计划阶段

“箭”式导弹部署计划的目的在于将整个“‘箭’式武器系统”（AWS）与规划的“用户作战鉴定系统”（UOES）结合起来。ADP的主要目标是完成“箭”式武器系统（AWS）各种不同部件的全部集成。1996年3月，美国和以色列签订了一项协议，计划用6年时间，投资5.56亿美元，用于“箭”2导弹的研制，以色列承担64%的研制费用。这将通过扩大对“箭”2导弹及其保障单元的试验予以完成，主要是进行各种模拟威胁的拦截试验。在第二次整套系统拦截试验成功完成后，2000年3月14日，以色列正式开始部署“箭”2战区弹道导弹防御系统；2000年10月17日，以色列国防军发表声明称，以色列同美国联合研制的“箭”2战区弹道导弹防御系统从即日起正式开始战备值班，至此这项历时12年之久的发展计划走向现役，以色列也因此成为世界上第一个部署战区弹道导弹防御系统的国家。之后，以色列对“箭”2导弹进行了多次飞行试验，第十次飞行试验于2003年1月5日结束。2002年11月7日，以色列在帕尔马希姆空军基地第一次公开展示了“箭”2导弹防御系统。在2003年1月伊拉克战争爆发前夕，“箭”2导弹连进行了第一次实战性部署。以色列共在全国境内部署了9个地空导弹连队以应对伊拉克在遭到美国军事打击时发动的报复性袭击。

2003年2月，以色列飞机工业公司与波音公司签署了一份协议，该协议规定在美国建立能够生产“箭”2导弹部件的基础设施，波音公司在美国负责生产大约50%的导弹部件，

^① 孙亚力：《“箭”2高层反导地空导弹武器系统四次发展飞跃》，第3页。

其中包括电子器件、助推器发动机外壳和导弹发射箱。波音公司还协调在美国的 150 多家生产“箭”2 导弹部件的公司，包括生产一、二级火箭发动机壳体 and 一级发动机喷嘴的 ATK 公司。以色列飞机工业公司在以色列负责导弹的集成和最后的组装。

（四）系统改进阶段

“箭”式导弹防御系统改进计划（ASIP）预计为期 5 年，其中部分试验在以色列进行，另一部分在美国进行。2003 年 12 月 16 日，“箭”2 导弹进行了第十一次飞行试验，整套系统第六次成功完成拦截试验。这次试验是正在进行的“箭”式系统改进计划的一部分，由以色列和美国共同参与。试验检验了系统的改进性能，包括更高的拦截高度。

2004 年 6 月，美国国会批准追加投资 8000 万美元，使“箭”式系统的研发得到了极大的推进。美国国会还同意在 2005 年为“箭”项目拨款 1.67 亿美元，这笔资金平分为两份分别用于研制和生产。^①这将使以色列现有的 2 个“箭”导弹连具有较充足的弹药储备，并开始为第 3 个“箭”导弹连进行生产。2004 年 7 月 29 日，以色列和美国继续对“箭”式导弹防御系统进行改进和发射试验。在位于加利福尼亚的美国海军 NAWCWPNS 试验场，由美国导弹防御局、以色列空军和以色列飞机工业公司共同完成了发射试验。试验中“箭”2 导弹在大气层的低层成功拦截了一枚“飞毛腿”B 近程战术弹道导弹。此次试验是以色列“箭”式导弹防御系统首次在国外进行试验，试验前整套系统被运送到加利福尼亚试验场，其中包括“箭”发射装置、“绿松”地面多功能雷达、“榛子树”发控中心和“香橼树”火控中心，美国的一些探测器也参与了试验。

2004 年 8 月 26 日，“箭”系统进行了一个月以来的第 2 次拦截试验，此次试验用于验证系统探测、识别并摧毁分离目标的能力。试验遇到了失败。以色列官员称，根据调查结果，以色列军方现存的“箭”2 导弹可能要更换新元件。此后，以色列航空工业公司与波音公司签定了一份合作生产协议，他们将共同开发“箭”2/3 导弹，该型导弹是“箭”2 导弹经过第三阶段改进的最新型号——“箭”2 Block 3 型的缩写，其主要部件和分系统由波音公司生产，然后在以色列进行总装。与原有的“箭”2 导弹相比，“箭”2/3 导弹主要进行了软件方面的升级改进。

自从 2000 年 3 月宣布“箭”2 具备作战能力以来，以色列空军已经部署了 2 个“箭”导弹连，保护 2 个主要城市（特拉维夫和海法，包括了以色列 85% 的人口）。以色列迫切希望部署第 3 个“箭”导弹连，但目前的工作重点是生产足够数量的“箭”2 导弹，供现有的 2 个导弹连使用。以色列计划降低“箭”2 导弹的生产成本，估计单价为 150 万美元。以色列飞机工业公司已经与波音公司签订协议共同生产“箭”2 导弹。以色列飞机工业公司为进一步降低成本，还希望得到美国的许可，向印度和土耳其出售“箭”式导弹。

使用与改进型 SM-3 导弹相同的公式和计算方法（可参见附录二），“箭”2 导弹的射程

^① 孙亚力：《“箭”2 高层反导地空导弹武器系统四次发展飞跃》，第 4 页。

计算结果如下：当“箭”2导弹不携带其弹头，而代之以500kg的载荷时：其关机点速度是2.01km/s；关机点高度是18.7km；最大射程是446km。

基于以上的讨论和计算结果，可以得出以下结论：美国与以色列共同研发的“箭”2导弹，在携带500千克载荷并按照弹道导弹轨道飞行的情况下射程可以至少达到446千米。因此，“箭”2导弹属于MTCR规定的第一类物项。美国与以色列之间有关“箭”2导弹的合作行为造成了对MTCR的严重违反。

四、美国的导弹防御出口与MTCR

根据以上论述，改进型SM-3和“箭”2导弹均属于MTCR的第一类物项。按照MTCR的规定，这些物项及其技术是严禁出口的。事实上，美国的相关出口行为除了部分涉及改进型SM-3和“箭”2导弹外，还涉及到SM-3导弹、SM-2 III导弹、SM-2 IV导弹的出口。

（一）Standard Missile 系列导弹的出口

美国从20世纪90年代初至今，多次向包括日本、韩国、澳大利亚、荷兰以及在内的多个国家和地区出口上述导弹防御系统。具体情况如下：

1993年至今，美国多次向日本出口了SM-2 III型和SM-2 IV型导弹；2005年6月开始，美国还同意逐年向日本出口SM-3导弹。1998年开始，美国向荷兰出口SM-2 III型导弹。2003年开始，美国向台湾出口SM-2 III型导弹。2005年开始，美国向澳大利亚出口SM-2 III型导弹。^①

通过对Standard Missile系列导弹的相关数据进行比较（参见附录三），可以发现，SM-3导弹、SM-2 III导弹、SM-2 IV导弹的投送能力略小于改进型SM-3导弹，按照“500千克/300千米”的标准，它们即使不属于MTCR的第一类物项，也属于第二类物项。按照MTCR的规定，第二类物项在没有经过最终用途核查的情况下也是禁止出口的。因此，即使从最为保守的角度出发，出口上述各种型号的Standard Missile导弹都与MTCR的相关规定和精神相违背。

（二）“箭”2导弹的出口

在“箭”式导弹迄今为止的四个开发阶段中，美国均进行了巨大的投入。根据可获得的材料，在四个开发阶段中的第二和第三阶段，美国的投入分别占总投入的72%和36%。^②从整个“箭”式导弹的研发过程来看，美国的投入大约占总投入的55%。^③虽然具体的比例在

^① 此部分信息及数据来源于中国国防科技信息中心制作的《每日防务快讯》网站（<http://express.cetin.net.cn/>），以及“国际关系和安全趋势”数据库（International Relations and Security Trends，简称FIRST，可见<http://first.sipri.org/>）。

^② 孙亚力：《“箭”2高层反导地空导弹武器系统四次发展飞跃》，第3页。

^③ 《以色列箭2反弹道导弹拟进入国际市场》，见

不同的报道中略有不同，但美国的投入占总投入的一半以上是获得一致承认的。在这种情况下，根据美国与以色列的协议，“箭”2 导弹的出口必须获得美国的批准；如果没有美国的允许，以色列是不能出口“箭”2 导弹的。

但是由于“箭”2 导弹防御系统在同类型系统中特有的优良性能，使得它具有较高的经济价值。以色列也一直希望能够打开“箭”2 导弹防御系统的国际市场，以补偿其研发过程中的高额投入。

美国迄今尚未允许以色列向第三国出售“箭”2 反导系统。但考虑到与盟友携手发展与部署导弹防御系统的重要性，美国对待以色列出口“箭”2 导弹的态度也有松动的趋势。曾有美国国防部高级官员表示，美国正在考虑允许以色列向印度出口“箭”2 导弹。^①而与改进型SM-3 导弹相比，“箭”2 导弹的投送能力更胜一筹，出口“箭”2 导弹将是严重违反MTCR 的行为。因此，美国放宽“箭”2 导弹出口限制的趋势反映了美国对于MTCR相关规定的轻视。

五、对于美国执行 MTCR 的意愿分析

为了考察美国政府是否有意愿执行 MTCR，本文从以下两个角度进行讨论：第一，考察美国政府在 MTCR 相关各领域的实际作为，以间接反映美国政府的真实态度；第二，考察美国政府在 MTCR 相关方面的政策和表态，以直接反应美国政府的意愿和态度。

（一）实际作为

本文所说的美国政府在 MTCR 相关领域的实际作为主要是指美国在出口 MTCR 相关物项及技术方面的具体作为。在本文所限定的军用物项及技术的研究范围内，可能违反 MTCR 的行为存在于以下两个方面：第一，传统进攻性导弹及技术转让，其中包括中程导弹和战略导弹的转让。由于《中导条约》限制了美国的中程导弹，因此，其中只剩下战略导弹转让可能违反 MTCR。第二，导弹防御系统及技术转让，这包括了导弹防御系统的技术合作中出现的技术转移和导弹防御拦截器的产品转让。总结如下，美国违反 MTCR 的行为可能存在于以下三个领域。1. 战略导弹出口；2. 导弹防御技术合作中的技术转移；3. 导弹防御拦截器的出口行为（参见图-1）。

<http://express.cetin.net.cn:8080/cetin2/servlet/cetin/action/HtmlDocumentAction;jsessionid=155FD7A1BB5E4A5C03ED29C999DFE71D?baseid=108&docno=6700>.

^① “Washington Considers Allowing Transfer of Arrow Interceptor,”
http://www.nti.org/d_newswire/issues/newswires/2002_7_30.html.

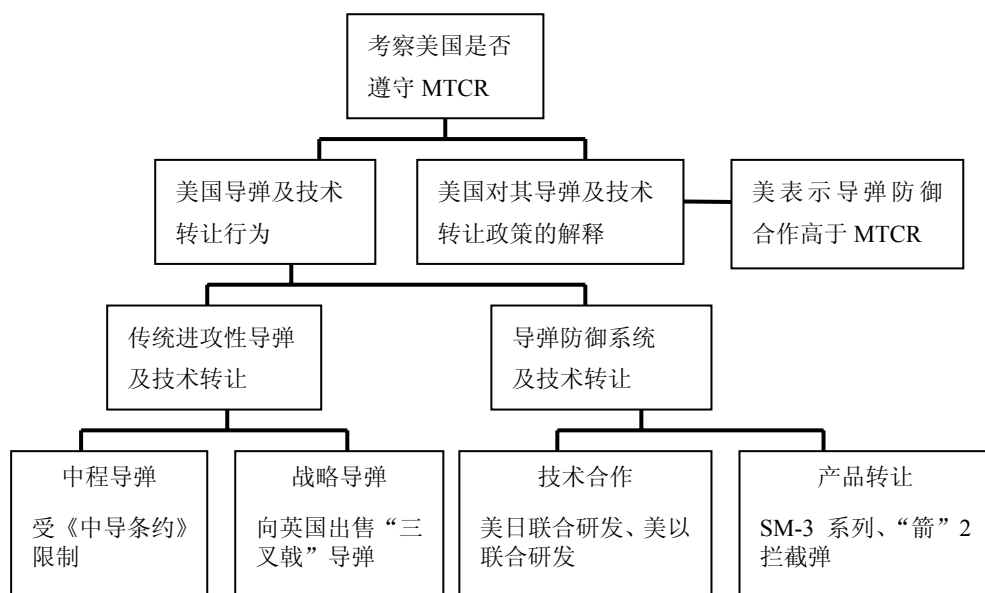


图-1 美国执行 MTCR 的意愿分析图

1. 战略导弹的出口

导弹根据射程可大致划分为短程导弹、中程导弹和战略导弹（洲际导弹、远程导弹）。对于美国的直接导弹出口行为，下文将根据上述分类来加以分析。由于短程导弹投送能力小，不属于 MTCR 的管控对象，因此本文不再予以讨论。

中程导弹。由于美国与苏联于 1987 年签订了《苏联和美国消除两国中程和中短程导弹条约》（《中导条约》），美国目前已经没有中程弹道导弹（已经替换为巡航导弹），^①因此我们无法得知美国对于出口中程导弹的态度。

战略导弹。在战略导弹出口行为中，美国在 20 世纪 90 年代初曾向英国出售过“三叉戟”潜射弹道导弹。英国于 1994 年开始部署的 48 枚弹头当量在 10 万吨到 30 万吨之间、射程大于 7400 千米的 Trident II D-5 潜射弹道导弹即来自美国。^②“三叉戟”潜射弹道导弹是当时投送能力最大的导弹之一，远远超出了 MTCR “500kg/300km” 的标准，属于 MTCR 严格禁止出口的物项。因此美国向英国出口“三叉戟”导弹是严重违反 MTCR 的行为。

^① 按照《中导条约》的规定，中程弹道导弹是指射程从 1000 千米到 5474 千米的弹道导弹。

^② 根据“国际关系和安全趋势”数据库（International Relations and Security Trends，简称 FIRST）提供的数据。见 <http://first.sipri.org/>。

总之，在直接的导弹出口行为中，美国在短程导弹和中程导弹方面不具备违反 MTCR 的条件，而其在唯一具有违反 MTCR 可能性的战略导弹出口方面则违反了 MTCR。

2. 导弹防御系统的出口

严格地说，导弹防御系统中的拦截导弹不同于一般意义上的进攻型导弹，因此有必要将导弹防御系统的出口单独予以讨论。美国迄今已向包括日本、韩国、澳大利亚、荷兰、台湾在内的多个国家和地区出口了 SM-3、SM-2 IV、SM-2 III 等拦截导弹及配套设施。本文经过计算认为改进型 SM-3 导弹属于 MTCR 的第一类物项；对于 SM-3、SM-2 IV、SM-2 III 等型号拦截导弹的属性，本文未逐一进行计算和讨论，但即使从最保守的角度来看，SM-3、SM-2 IV、SM-2 III 等拦截导弹也属于 MTCR 的第二类物项。在没有最终用途核查的情况下，出口上述各种型号的导弹也均违背了 MTCR 的相关规定和精神。

此外，对于向印度等国家出口美以共同开发的“箭”2 导弹防御系统的可能性，美国的态度有逐渐松动的趋势。鉴于“箭”2 拦截导弹属于 MTCR 的第一类物项，如果最终“箭”2 导弹被允许出口的话，将是对 MTCR 的严重违反。

3. 导弹防御技术合作中的技术转移

对于导弹防御技术合作中的技术转移，与其有关的是美国与他国在导弹防御系统方面的合作项目。本文之前的计算和分析表明，美国与日本共同研发的改进型“标准”-3 导弹、美国与以色列共同研发的“箭”2 导弹均属于 MTCR 的第一类物项，美国与日本、以色列联合研发导弹防御系统的行为均违反了 MTCR。

综合以上各个方面，美国在所有涉及 MTCR 的领域内均存在违反 MTCR 的行为，这说明美国并不是只在某个单独行为上“偶然地”、“不小心”违反了 MTCR；相反，美国并不关注自己对于 MTCR 的违反情况，因此才会在多个方面都有违反 MTCR 的行为发生。

（二）相关政策和表态

1. 对自己相关作为的态度

美国与日本联合研发改进型 SM-3 导弹，以及美国向日本出口 SM-2 IV、SM-3 导弹的行为均违反了 MTCR，但美国政府并未对此给予解释或其他回应。只有美国国会研究部的一份报告间接体现了美国的态度或者说反映了其关注点。^①在没有美国官方文件对美日联合研发导弹防御系统及美国向日本出口拦截导弹作出解释说明的情况下，美国国会研究部的报告相对能够反映美方对此问题的关注方向。

这份题为《日本弹道导弹防御合作的问题与前景》的国会研究部报告，^②全面详细的阐

^① 国会研究部是美国国会在图书馆下成立的专为国会、委员会及议员提供研究咨询服务的立法咨询服务部，原称 Legislative Reference Service，后国会对其依赖程度逐渐增加，并通过立法不断扩充其编制。1970 年，国会将其改名为国会研究部（Congressional Research Service，又译作国会信息服务部），向其增派高级专家，以增强其分析研究能力。现在国会研究部已成为议员立法遇到困难时首先想到的助理机构。美国一些研究国会问题的专家将其称为国会的思想库。可见：蔡晨风：《美国国会研究部：议员的思想库》，《人大研究》2001 年第 7 期（总第 115 期），第 28—30 页。见 <http://www.rdyj.com.cn/2001/rdqk-7-13.html>。

^② “Japan-U.S. Cooperation on Ballistic Missile Defense: Issues and Prospects,”

述了美日在导弹防御合作方面的演进过程，总结了日本在合作项目中所涉及的技术领域；从美国国内、日本国内、国际社会等诸多角度分析了围绕美日导弹防御合作产生的争论、各方立场、态度及其原因，深入探讨了美日相关合作对国内外社会各个层面的影响，包括对《反导条约》的违反和影响等。但唯独没有提及美日合作对MTCR的影响。这即使不被认为是有意回避，也至少说明了美方并不关心此合作项目是否与MTCR相违背的问题。

对于美以联合研发“箭”式导弹防御系统涉嫌违反MTCR的问题，也未见美国政府的任何相关表态和解释说明。对于以色列将“箭”2导弹防御系统出口到印度的愿望，美国到目前为止尚坚持否定态度。美方对此给出的理由是，将“箭”2导弹防御系统出口到印度会打破南亚的军事平衡，引发南亚的军事竞赛，不利于地区稳定。并且，正如美国国会参众两院军事委员会的研究报告所指出的，美国国会对以色列要求出售“箭”式导弹的建议持保留态度的两个理由是：第一，出售“箭”2导弹的结果只会使以色列获得较大的经济利益，而投入了巨额资金的美国并不会获得太大好处；第二，国会担心以色列将“箭”式导弹转移给其他国家后，可能导致美国自己的“爱国者3”导弹防御系统失去国际市场。^①因此，美国反对以色列出口“箭”式导弹防御系统也并非考虑到其与MTCR相违背的缘故。此外，对于向英国出售三叉戟弹道导弹的严重违反MTCR行为，美国也未就此与MTCR的关系做出解释。

2. 对他国相关出口行为的态度

从MTCR成立以来，美国一直严格地使用MTCR的规定对别国的相关出口行为进行约束，并采用了包括经济制裁、金融惩罚、进口限制、出口限制等手段，对其认为违反了MTCR的国家及公司进行惩罚。

以中国为例，1991年6月布什政府以向巴基斯坦转让东风11（M-11）导弹技术（属于MTCR的第二类物项）为由，对中国相关公司进行制裁，制裁涉及到超型计算机、卫星和导弹技术的进口限制。^②1993年8月24日，克林顿政府以中国向巴基斯坦转让东风11导弹的部分设备为由，对相关中国公司追加了新的制裁。^③2000年11月21日，克林顿政府称中国公司由于向伊朗出口属于MTCR第二类物项的导弹部件应该受到制裁，但由于中国政府做出了有关导弹防扩散的新的承诺，因此美国不再对其进行制裁。^④2001年9月1日，美国政府称中国冶金设备有限公司向巴基斯坦的沙欣-1（Shaheen-1）和沙欣-2（Shaheen-2）导弹项目提供了导弹部件（属于MTCR的第二类物项），并对此公司进行了制裁。^⑤

从上面这些例子可以看出，美国对待其他国家的相关出口行为的标准是非常严格的，出口MTCR第二类物项的行为也会被美国认为是对MTCR的违反并受到制裁，出口MTCR第一类物项的行为更是如此。因此，美国自身违反MTCR的行为难以归结为美国政府对于违

www.iwar.org.uk/news-archive/crs/9186.pdf

① 《料美将阻以售箭导弹给中东》，http://www.zaobao.com/special/realtime/2004/02/030204_5.html。

② CRS Report for Congress, “China and Proliferation of Weapons of Mass Destruction and Missiles: Policy Issues,” p. 5. www.fas.org/spp/crs/nuke/RL31555.pdf。

③ Ibid., p. 5.

④ Ibid., p. 10.

⑤ Ibid., p. 7.

反 MTCR 的判断标准比较宽松。

此外，以美国国务院 2001 年 9 月 1 日公布的《导弹防御和防扩散》情况说明书为例，^①美国政府在类似文件中均一贯强调加强其他国家导弹及其技术防扩散的重要性，而不提及自己的相关出口行为可能带来的扩散问题。这也从一个侧面反映了美国政府倾向于“狭隘地”对待导弹防扩散问题的态度。

3. 直接政策表态

可以更直接显示美国政府对待自己执行 MTCR 的态度的是另外一份美国国务院的情况说明书。这份 2003 年 5 月 20 日公布的《弹道导弹防御国家战略》情况说明书，详细阐述了 9/11 以来美国安全形势的变化、导弹防御项目的重要性及发展和部署计划，尤其是在最后阐述了美国与友国和盟国之间导弹防御合作方面的政策。其中提到：“作为加强与友国和盟国间导弹防御合作的努力，美国将寻求破除妨碍这些合作的障碍。怀着这样的目标，我们将重新审视控制导弹防御领域技术共享和合作的现行政策和做法，包括美国的出口管制条例和法规。”“导弹及其技术控制制度（MTCR）的目的是通过限制导弹及相关技术流入扩散国从而帮助减少全球的导弹威胁。在对抗全球的导弹威胁方面，MTCR 和导弹防御扮演着互补角色。美国准备以一种不妨碍与友国和盟国进行导弹防御合作的方式执行 MTCR。”^②

美国国务院公布的这一情况说明书，清楚地反映了美国政府对于执行 MTCR 的态度，即如果美国与盟国之间的导弹防御合作项目与 MTCR 相抵触，美国将绕过 MTCR 的限制，以保障导弹防御合作的顺利进行。

（三）小结

从图-1 我们可以看出，在实际行为方面美国在所有可能的领域均违反了 MTCR；另一方面，参考美国对其他国家出口行为的约束程度，美国对于自己与盟国之间的导弹防御合作项目和相关导弹出口行为的态度，并结合美国政府的政策表态，可以看出，美国并不关注自己是否遵守了 MTCR。换句话说，美国无意认真执行 MTCR。这个结论也与美国在 MTCR 整体演进过程中的表现相一致：

从上世纪 70 年代到 1983 年，美国开始逐步认识到并明确了导弹扩散对其国家安全的威胁，于是从 1987 年开始，美国开始与个别西方国家协商，并最终于 1987 年共同宣布了 MTCR 的成立，以控制导弹及其技术在世界范围内扩散。此后，正如怀恩·博文（Wyn Q. Bowen）所说，^③1987 至 1989 年，美国一直在忙着解决 MTCR 成立初期遇到的问题，1989 年开始着手 MTCR 的制度化建设并努力加强其管控力度，具体措施包括谨慎地扩大伙伴国范围、加强防扩散的出口管制力度、控制航天领域的技术出口、劝说非伙伴国遵守 MTCR 规则等等，以

^① “Missile Defense and Nonproliferation,” Bureau of Nonproliferation, Washington, D. C., September 1, 2001, <http://www.state.gov/t/isn/rls/fs/2001/4932.htm>.

^② “National Policy on Ballistic Missile Defense,” Bureau of Nonproliferation, Washington, D. C., May 20, 2003, <http://www.state.gov/t/ac/md/fs/45592.htm>.

^③ Wyn Q. Bowen, “U.S. Policy on Ballistic Missile Proliferation: the MTCR’s First Decade (1987-1997)”, *The Nonproliferation Review*, Fall 1997, pp. 22-39.

增强MTCR的有效性。从 1993 年开始，美国开始逐步放宽MTCR的门槛，以吸引更多的国家尤其是主要的导弹出口国加入MTCR，并尝试着从地区平衡的角度化解导弹扩散的推动因素，以打破单纯的供应方管制的局限性。

换句话说，美国主导和推动MTCR的目标一直是控制别国、尤其是其不信任的国家的导弹出口，而并不在意自己与盟国之间的导弹及技术扩散问题。正如美国国务院公布的情况说明书所说明的那样，MTCR和导弹防御系统一样，是美国用来抵御自身所面对的导弹威胁的两种工具，起着相互补充的作用。^①怀着这样的目的和态度，美国才会在实际行为中一再违反MTCR。

五、结 论

本文重点分析了美日联合研发导弹防御系统和美以联合研发导弹防御系统的案例。作为技术合作中技术转移的典型案列，美国参与的这两项双边合作均违反了 MTCR 的相关规定。在出口行为方面，美国向英国出口“三叉戟”潜射弹道导弹和美国出口 Standard Missile 导弹防御系统的行为也是 MTCR 所禁止的。概括而言，美国在所有可能的领域均有违反 MTCR 的行为发生。这从事实上证明了美国对 MTCR 的违背。而从美国政府有关导弹防御和导弹扩散的相关政策表态中，我们也可以看出美国政府对于 MTCR 的态度：美国把 MTCR 作为抵御导弹扩散威胁的工具，因此并不关注自己执行 MTCR 的情况。为了不妨碍与盟国的导弹防御合作，美国将愿意突破 MTCR 的限制。

需要说明的是，由于数据获取上的困难，本文中关于改进型 SM-3 拦截导弹和“箭”2 拦截导弹相关参数的推算可能存在一定的误差，并导致这两种拦截导弹负载 500 千克时最大射程的计算结果存在一定的不确定度。但是，我们在选取参数时注意向低端靠拢，也就是在不确定范围内，保守地估计这类导弹的推力和射程。这样，即便结果与实际有所差距，也不会改变我们对美国违反 MTCR 的判断。考虑到美国一直宣称其导弹防御系统的建设是完全透明的防御行为，因此美国政府有必要进一步公开相关情况和信息，使国际社会对其导弹防御合作行为有一个明确的认识和判断。从另一角度来看，如果美国政府有意愿认真执行 MTCR，就应该认真审核其各种相关行为，杜绝模糊性合作项目的开展。因此，即使本文的计算结果存在一定的不确定度，却依然可以反映出美国政府无意认真执行 MTCR 的态度。

美国对于 MTCR 的这种态度，至少具有以下几个方面的影响：首先，减弱了 MTCR 的公信力。作为 MTCR 的发起国和主要推动国，美国尚不能甚至不愿严格执行 MTCR，这必然相当程度上降低 MTCR 的可信度。当 MTCR 的其他伙伴国甚至非 MTCR 伙伴国有违反 MTCR 的出口行为时，MTCR 将没有足够的公信力来阻止和惩罚他们的违规行为。

其次，对国际社会导弹防扩散的努力带来负面影响。美国在相关的出口和技术转移行为

^① “National Policy on Ballistic Missile Defense”, Bureau of Nonproliferation, Washington, D. C., May 20, 2003.

中表现如此，其他国家难免效尤。这会使得 MTCR 难以在导弹防扩散方面发挥应有的作用，其有效性受到影响。并且，以美国为主导的 MTCR 伙伴国为了推动导弹防扩散，正在大力倡导反弹道导弹扩散的《国际行为准则》（ICOC），并将其看作是国际导弹防扩散领域的一大创举。然而，美国自身的违规行为难免使其他国家心生疑虑，为这项体制（ICOC）的有效性以及国际社会在导弹防扩散方面所做的努力蒙上了阴影。

第三，对中国的安全环境构成威胁。按照 MTCR 的规定，美国不应该与日本联合研发并在日本部署导弹防御系统。而美日双方目前的联合研发并在日本部署导弹防御系统的行为不利于亚太地区的战略稳定，对我国的国家安全造成负面影响。

最后，美国在过去几年中曾一直希望中国加入 MTCR，中国也表示有意愿成为 MTCR 的伙伴国。但美国自身对于 MTCR 的负面作为和消极态度可能会减弱中国政府对于 MTCR 的信心，并影响中国在导弹防扩散领域的相关决策。

本文的研究结论有助于推动相关领域的理论研究。一是国际机制的研究。概括说来，一个国家对待某个国际机制的态度有两种，一种是由于反对而选择不加入，一种是支持而选择加入。以美国为例，由于不满其未得到豁免起诉权，担心国际刑事法庭起诉及逮捕美国军人，美国拒绝参加“罗马规约”以及其后的国际刑事法院。由于美国对此机制持否定态度，它激烈地反对并阻挠国际刑事法庭的成立。另一方面，以国际货币基金组织为例。由于国际货币基金组织的建立、发展和运作很大程度上符合美国的金融利益，美国在国际货币基金组织的发展过程中一直起着积极的推动和引导作用，并很好的遵守和执行了国际货币基金组织的各项规则。而本文研究的案例却不同于这两种一般情况，也就是说美国对于 MTCR，一方面大力推动，另一方面自己却并不遵守，因此具有相对特殊的意义。

二是修正国家研究。权力转移理论将国家分成两类：维持现状国和改变现状国。传统上，人们未经证实地默认现存的霸权国必然是维持现状国，而改变现状国只能来自新崛起的国家。但本文的结论似乎提供了一个反例：现存的霸权国是改变现状国。它一方面建立和强化一些国际机制，并要求其他国家遵守这样的机制；另一方面，它不喜欢这些国际机制对自身的束缚，因此，不断地违反这些机制。总的来说，本文揭示了一个较为特殊的国际现象：机制的主要提倡者又是机制的违反者。这可能为国际关系理论研究带来新的思考。

附录一 SM-3 导弹和改进型 SM-3 导弹的数据推算与检验

SM-3 导弹的基本数据：

导弹质量：1501kg；^①弹长：6.55m；^②

^① 彦君：《标准-3 导弹固体推进系统概况》，《军情商情动态》。

^② 相关内容，可见<http://www.designation-systems.net/dusrm/m-161.html>。

第一级MK72 助推器：长 1.82m，直径 53.4cm，装有 474.6kgHTPB推进剂，燃烧时间 6s。^①

第二级MK104 续航发动机：长 288.3cm(带喷管)或 249.9cm（不带喷管），直径 34.3cm，助推推进剂装药量为 157.6kg，代号为TP-H1206C；续航推进剂装药量为 200.9kg，代号为TP-H/205C。^②发动机工作时间：40 秒。^③

第三级发动机(TSRM)：长 96.5cm，直径 34.3cm，采用石墨/环氧树脂复合材料壳体和添加铝粉的HTPB推进剂。^④TSRM使用大约 205 磅（92 千克）的TP-H-3340 铝/高氯酸氨（AL/AP）推进剂。发动机工作时间：20 秒。^⑤

第三级关机速度：4000m/s。^⑥

动能弹头：EX-142 动能弹头，重 18.2kg。^⑦

本文正文部分对以上数据进行了总结，可见正文中表-1 和表-2。

对于弹道导弹，不妨假设其助推段以竖直向上（飞行方向与地面成 90 度）的方式进行发射，在助推段结束时再通过轨控与姿控系统将飞行方向调整到所需角度。^⑧实际上，为了减少速度损失，弹道导弹通常在助推段的最初几秒竖直向上飞行，之后就开始按照一定程序转弯，直至助推段结束。因此，这种认为导弹在助推段一直竖直向上飞行的假设，方便了后续的计算，同时这也是一种保守的假设，不会影响最终的结论。这种假设下，导弹的飞行轨迹如下图所示：

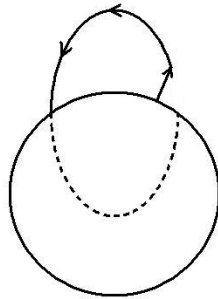


图-2 弹道导弹飞行轨迹示意图

设导弹第 n 级的末速度为 v_n ，第 n 级发动机比冲为 $I_{sp(n)}$ ，燃烧时间为 t_n ，第 n 级发动机的总质量为 $M_{0(n)}$ ，第 n 级发动机燃烧开始时整个导弹的总质量为 $M_{(n)}$ ，第 n 级的燃料质量

^① 彦君：《标准-3 导弹固体推进系统概况》，《军情商情动态》。

^② 彦君：《标准-3 导弹固体推进系统概况》，《军情商情动态》。

^③ Scot D. Robinson, “Navy Theater-Wide Defense AEGIS LEAP Intercept (ALI)/STANDARD Missile Three (SM-3) Flight Test Program Overview”.

^④ 彦君：《标准-3 导弹固体推进系统概况》，《军情商情动态》。

^⑤ Scot D. Robinson, “Navy Theater-Wide Defense AEGIS LEAP Intercept (ALI)/STANDARD Missile Three (SM-3) Flight Test Program Overview”.

^⑥ Robert Wall, “Intercept Starts Long Road To Sea-Based Missile Defense,” *AW&ST*, February, 4, 2002.

^⑦ 陈怡、彦君：《标准-3 导弹上升段拦截试验》。

^⑧ Peter J. Mantle, *The Missile Defense Equation: Factors for Decision Making* (Reston, Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 2003), p. 354.

为 m_n ，第 n 级的壳体质量（即第 n 级的总质量减去第 n 级的燃料质量）为 $M_{s(n)}$ 。由变质量系统的力学方程，可知导弹第 n 级的末速度为：

$$v_n = v_{n-1} - gt_n + I_{sp(n)} \ln \frac{M_{(n)}}{M_{(n)} - m_n} \quad \text{公式 1}$$

因此，只要知道了导弹各级的质量（ $M_{0(n)}$ ）、壳体质量（ $M_{s(n)}$ ）、发动机比冲（ $I_{sp(n)}$ ）和燃烧时间（ t_n ），根据公式 1 就可以依次求出导弹各级的末速度。

在正文表-1 和表-2 中所列的各项数据中，导弹各级的长度、直径、装药量和燃烧时间的数据是可信的，它们来自美国“标准”导弹公司 *Navy Theater-Wide Defense AEGIS LEAP Intercept (ALI)/STANDARD Missile Three (SM-3) Flight Test Program Overview* 这份报告和彦君的《标准-3 导弹固体推进系统概况》一文。^①

但是，正文表-1 和表-2 中所列的其他数据是没有直接的可信来源的，这些数据主要涉及导弹各级的净重和比冲。

由于导弹第一、二、三级的总净重是已知量（557kg），不妨假设导弹各级的净重与其表面积成正比，而这种假设不会与实际情况存在太大差异。在这种假设下，可认为导弹第一、二、三级的净重分别为：313.1kg、208.8kg 和 34.8kg。

对于发动机的比冲，它与推进剂的性能（燃气比热比、燃气温度、燃气千摩质量等）有较大关系，同时也与发动机的结构和工作条件（燃烧室压强、喷管扩张比、发动机工作高度等）有关。^②

SM-3 导弹第一级发动机是 MK-72 发动机，与其类似型号的发动机的比冲分别为：潘兴 2-1（Pershing 2-1）：2283.4~2606.8 m/s。^③ 潘兴 2-1（Pershing 2-1）固体火箭发动机是美国“潘兴 2”（Pershing 2）地地战术导弹的第一级发动机。

潘兴 2-2（Pershing 2-2）：2283.4~2606.8 m/s。^④ 潘兴 2-2（Pershing 2-2）固体火箭发动机是美国“潘兴 2”（Pershing 2）地地战术导弹的第二级发动机。

MK-11 Mod 2：2088.8m/s。^⑤ MK-11 Mod 2 固体火箭发动机是美国海军“黄铜骑士”（Talos）RIM-8 远程、中高空舰对空导弹的助推发动机。

MK-13 Mod 0：2167m/s。^⑥ MK-13 Mod 0 固体火箭发动机是美国海军“小猎犬”（Terrier）RIM-2（原代号为 SAM-N-7）舰对空导弹的助推发动机。

MK-39：2255m/s。^⑦ MK-39 固体火箭发动机是美国“百舍鸟”（Shrike）AGM-45A 反辐射导弹的发动机。

^① 可通过中国国防科技信息中心的图书馆查找到这份文献。

^② 张平等编著：《固体火箭发动机原理》，北京理工大学出版社，1992 年第 1 版，第 61 页。

^③ 中国航天工业总公司编：《世界导弹与航天发动机大全》，北京，军事科学出版社，1999 年第 1 版，第 533 页。

^④ 中国航天工业总公司编：《世界导弹与航天发动机大全》，第 534 页。

^⑤ 同上，第 542 页。

^⑥ 同上，第 543 页。

^⑦ 同上，第 571 页。

上述这些导弹发动机型号与 MK-72 邻近, 结构与 MK-72 相似, 所用燃料均为端羟基聚丁二烯 (HTPB), 它们的比冲均在 2088~2606m/s 范围内, 且集中在 2200m/s 附近, 因此我们可以推测 MK-72 发动机的比冲大约为 2200m/s。

推算第二级和第三级发动机比冲的过程略复杂一些, 基本思路如下: 由于第一级发动机比冲已经推算出来, 因此由公式 1 可以得出导弹第一级燃烧结束时的末速度 v_1 。假设第二级发动机比冲 $I_{sp(2)}$ 已知, 由公式 1 可以得出第二级的末速度 v_2 。在此基础上, 由于第三级的末速度 v_3 已知 (4000m/s), 由公式 1 可以推出第三级发动机的比冲 $I_{sp(3)}$ 。即, 由第二级发动机比冲 $I_{sp(2)}$ 可以推出第三级发动机比冲 $I_{sp(3)}$ 。

此思路依然适用于改进型 SM-3 导弹, 只不过改进型 SM-3 导弹第二级的直径由原来的 34.3cm 增加到 53.4cm (与第一级直径相同), 导致第二级的燃料质量相应的增加至 867.6kg、燃烧时间增加至 70s。而对于改进型 SM-3 导弹的第三级末速度, 在 W.J. Kearney 与 E.D. Casillas 的报告 “High Performance Boost Propulsion for Navy Theater Missile Defense” 中提到, 改进型 SM-3 导弹第三级末速度可以达到 5500m/s。^① 因此, 如果假设第二级发动机比冲 $I_{sp(2)}$ 已知, 同样可以推出第三级发动机的比冲 $I_{sp(3)}$ 。

综合上述两个条件 (实际为 $I_{sp(2)}$ 与 $I_{sp(3)}$ 之间的制约关系), 并在满足其他限制条件的情况下 (包括: 固体火箭发动机的比冲范围一般为: 2000~3000m/s; ^② SM-3 导弹第三级的末速度 $v_3 = 4000m/s$; 改进型 SM-3 导弹第三级的末速度 v_3 可达到 5000m/s 以上), 可以推出第二级发动机比冲 $I_{sp(2)}$ 大约为 2500m/s; 第三级发动机比冲 $I_{sp(3)}$ 大约为 2400m/s。

附录二 导弹射程的计算及将拦截导弹作为地对地弹道导弹使用的可行性分析

本部分介绍了射程计算的具体方法和所使用的主要动力学公式, 供有兴趣的读者参考。在已知正文中的表-1 和表-2 中的数据之后, 可以依照下面的方法计算导弹的最大射程:

$$v_k = \frac{r_k \cdot V_k^2}{\mu}$$

$$\text{最大射程 } L = 2R \cdot \arctan \sqrt{\frac{v_k(R \cdot v_k + 2(r_k - R))}{2(2R - v_k \cdot (r_k + R))}} \quad \text{公式 2}^{\text{③}}$$

上两式中, 引力常数 $\mu = 3.986 \times 10^{14} m^3 / s^2$, 地球半径 $R = 6371km$, V_k 是关机点速度, r_k 是关机点与地心之间的距离。

^① W. J. Kearney, E. D. Casillas, etc. “High Performance Boost Propulsion for Navy Theater Missile Defense,” p. 34.

^② 张平等编著:《固体火箭发动机原理》, 第 61 页。

^③ 张毅等编著:《弹道导弹弹道学》, 长沙, 国防工业出版社 1999 年版, 第 270 页。

根据齐奥尔科夫斯基第二问题，导弹在助推阶段的高度可以通过以下公式求出：

$$h_n = v_{n-1}t_n - \frac{gt_n^2}{2} + \frac{gI_{sp(n)}}{\alpha} [(1-\alpha t) \ln(1-\alpha t) + \alpha t] \quad \text{公式 3}$$

其中 h_n 是第 n 级燃烧期间导弹上升的高度， v_n 是导弹第 n 级的末速度， g 是重力加速度，这里取 $g=9.8\text{m/s}$ 。

同时，假设燃料匀速消耗， α 表示燃料消耗的速度。在这里， $\alpha = \frac{m_n}{t_n \cdot M_{0(n)}}$

上式中， t_n 是燃烧时间， $M_{0(n)}$ 是第 n 级发动机的总质量， m_n 是第 n 级的燃料质量。

利用公式 2，分别计算出导弹各级发动机运转期间导弹上升的高度 h_n 之后，就可以得出导弹的关机点高度：

$$h = h_1 + h_2 + h_3 \quad \text{公式 4}$$

综合公式 1、公式 2 和公式 3，便可以求出导弹的最大射程 L 。其中公式 2 中 $r_k = R + h = R + h_1 + h_2 + h_3$

在具体计算 SM-3 导弹和改进型 SM-3 导弹最大射程时，所用方法均如上所述，只是部分数据需分别使用表-1 和表-2 中的对应数据。

（一）关于空气阻力的补充说明

出于计算方便的考虑，在以上的计算过程中未涉及空气阻力对导弹飞行的影响。为保证结论的可靠性，现对此予以补充说明。

根据空气动力学的相关理论，导弹在上升阶段所受到的空气阻力可计算如下：

$$\text{空气阻力 } R_{air} = RHO \cdot CD \cdot A \cdot v / 2 \quad \text{公式 5}$$

公式 5 中， v 是导弹的速度。 RHO 是反映空气密度的修正系数，它的具体取值规则如下：

$$\text{当 } h/304.8 \leq 40 \text{ 时， } RHO = RHO_1 \cdot e^{-h/1000/H_1/0.3048} ;$$

$$\text{当 } h/304.8 > 40, \text{ 并且 } h/304.8 \leq 150 \text{ 时， } RHO = RHO_2 \cdot e^{-h/1000/H_2/0.3048} ;$$

$$\text{当 } h/304.8 > 150 \text{ 时， } RHO = RHO_3 \cdot e^{-h/1000/H_3/0.3048} \text{。}$$

以上式子中， h 代表导弹的飞行高度， RHO_1 、 RHO_2 和 RHO_3 是三个参考系数，它们的值分别是：

$$RHO_1 = 0.0023769, \quad RHO_2 = 0.0036771, \quad RHO_3 = 0.0007$$

H_1 和 H_2 是两个高度参考系数，它们的值分别是：

$$H_1 = 30.762, \quad H_2 = 21.617$$

公式 5 中 CD 是空气阻力系数，它由两部份构成： C_0 和 C_p 。其中两个常量系数分别为：

$$C_0 = 0.15; \quad C_p = 0.2。$$

当 $v \leq 0.9$ 马赫 = $306m/s$ 时， $CD = C_0$ ；

当 $v > 0.9$ 马赫 = $306m/s$ ，并且 $v \leq 1.1$ 马赫 = $374m/s$ 时， $CD = C_0 + C_p \cdot (\frac{v}{340} - 0.9) / 0.2$ ；

当 $v > 1.1$ 马赫 = $374m/s$ ，并且 $v \leq 3$ 马赫 = $1020m/s$ 时， $CD = C_0 + C_p \cdot (3 - \frac{v}{340}) / 1.9$ ；

当 $v > 3$ 马赫 = $1020m/s$ 时， $CD = C_0$ 。

此外，公式 5 中， A 是导弹的横截面积，即： $A = \pi r^2$ ，其中 r 是导弹横截面半径。

因此，在已知导弹横截面半径、导弹飞行高度、速度的情况下，可以根据公式 5 求出此时导弹所受的空气阻力。经过计算可知，导弹在上升阶段所受空气阻力与其自身重力相比非常小，可以忽略不计。

实际上，这里我们无需对空气阻力的影响进行如此定量化的计算，因为已知改进型 SM-3 导弹（搭载动能弹头）的末速度可达 $5500m/s$ 。也正基于此，上文推算出了导弹各级发动机的相关动力数据。需要提及的是，在这个推算过程中并未将空气阻力考虑在内，而空气动力会阻碍导弹的加速。换句话说，由于未把空气阻力考虑在内，上文所推算出的导弹的动力能力实际上要小于导弹实际的动力能力。由空气动力学理论可知，在其他条件不变的情况下，导弹在空气中飞行所受的空气阻力与其飞行速度的平方成正比。而当导弹搭载上 $500kg$ 的载荷时，其相同阶段的飞行速度以及最终的飞行高度都将小于仅搭载动能弹头的情况。因此，导弹搭载 $500kg$ 载荷时所受空气阻力的影响要小于其搭载动能弹头时所受的影响。所以，上文中由于未考虑空气阻力而对导弹动力能力所进行的保守估计部分将完全可以弥补这里的空气阻力影响。因此，如果要严格的考虑空气阻力影响的话，改进型 SM-3 导弹的最大射程还将超过 $358km$ 。

（二）拦截导弹作为地对地弹道导弹使用的可行性分析

本文对于拦截导弹射程的计算建立在将拦截导弹作为地对地弹道导弹使用的基础上，这在实际操作中是否可行？这里从物理学的角度对此进行简要分析，供有兴趣的读者参考。

对于将拦截导弹作为地对地弹道导弹使用可能遇到的问题，李彬教授认为，将拦截导弹重量较轻的拦截弹头替换为 500 千克的弹头，会带来两方面的问题：第一、这种替换改变了导弹整体的重心，因此会带来空气动力学不稳定性。但是空气动力学不稳定性不会对导弹的

运载能力带来致命影响,它只会影响导弹的命中精度或者导致导弹在助推段以后的飞行中翻滚。即使在这种情况下,导弹依然可以达到预定射程。例如伊拉克曾将飞毛腿导弹改造成侯赛因 (Al Hussein) 导弹以增加它的射程。虽然这造成了导弹的空气动力学不稳定性,但没有证据表明侯赛因导弹由于空气动力学不稳定性而无法到达预定射程。第二、形状不匹配。“标准”系列拦截导弹的直径比一般射程 300 千米的地对地导弹的直径要小。但由于化学、生物弹头可被较容易的制造成与导弹相匹配的形状,因此这一点并不影响导弹投送化学、生物弹头的能力。这同样也不会影响其投送枪式核弹头的能力,因为枪式核弹头的直径也比较细。^①例如,美国的 W33 枪式核弹头的直径就只有 40 厘米。但投送内爆式核弹头时就会遇到一些困难。内爆式核弹头的直径大约为 58~76 厘米,比拦截导弹的直径要大。所以当拦截导弹携带内爆式核弹头时会遇到形状不匹配的问题。但是形状不匹配对于导弹来说并不是致命的问题,因为其主要后果是造成空气动力学不稳定性,这并不会根本上影响导弹达到预定射程的能力。

附录三 Standard Missile 系列导弹的相关数据

由于导弹的长度、总质量等总体性指标与导弹的投送能力(表现为射程)有直接关系,因此我们不妨通过比较几种 Standard Missile 导弹的长度和总质量两个总体性指标以对它们的投送能力有大概的认识。

表-8 Standard Missile 系列导弹的相关数据

	长度(米)	质量(千克)
改进型 SM-3	6.55	2010
SM-3	6.55	1501
SM-2 IV	6.55	1466
SM-2 III	4.72	708

从上表中我们可以看出, SM-3 导弹和 SM-2 IV 导弹的投送能力可能比改进型 SM-3 导弹略微弱一些,但差距很小; SM-2 III 导弹的投送能力与改进型 SM-3 导弹存在一定的差距。由于改进型 SM-3 导弹属于 MTCR 的第一类物项,因此上述几种 SM 系列的导弹(尤其是 SM-3 导弹和 SM-2 IV 导弹)也很有可能属于,或者至少是接近 MTCR 第一类物项的划定范围。即使它们的投送能力达不到 MTCR 规定的“500 千克/300 千米”的划定标准,它们也将属于 MTCR 的第二类物项。按照 MTCR 的规定,第二类物项在没有经过最终用途核查

^① Li Bin, "Ballistics Missile Defense and the Missile Technology Control Regime", Paper presented at the VIII International Castiglione Conference "New Challenges in the Spread of Weapons of Mass Destruction" Castiglione, Italy, Sep. 23-26th, 1999, <http://learn.tsinghua.edu.cn:8080/2000990313/bmdmtr.htm>.

的情况下也是禁止出口的。