

美国空间基础设施领域军民商一体化发展的经验及启示

郭姣姣^{1,2}, 李德仁³, 王礼恒^{2,4}, 马雪梅^{1,2}, 徐源^{1,2}

(1. 中国航天系统科学与工程研究院, 北京 100048; 2. 中国航天工程科技发展有限公司, 北京 100048;
3. 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430079; 4. 中国航天科技集团有限公司, 北京 100048)

摘要: 空间基础设施领域已成为军民商一体化发展的核心领域, 战略价值凸显。本文采用文献调研和情报分析相结合的研究方法, 梳理了美国空间基础设施的基本情况和 trends; 重点从顶层战略、政策法规、组织管理等方面着手, 对美国空间基础设施军民商一体化发展进行深入剖析, 总结提炼其成功经验, 以期为我国空间基础设施规划和建设提供参考借鉴。研究发现, 未来我国需进一步谋划空间基础设施领域军民商一体化发展; 设立专门机构, 统筹协调空间基础设施建设和应用相关单位; 加强卫星应用技术的研发与攻关, 奠定装备发展的技术基础; 完善政策法规体系, 保障空间基础设施领域军民商一体化发展。

关键词: 空间基础设施; 军民商一体化; 发展趋势; 美国

中图分类号: F416.5 **文献标识码:** A

Experience and Enlightenment on Military, Civil, and Commercial Integration in US Space Infrastructure Development

Guo Jiaojiao^{1,2}, Li Deren³, Wang Liheng^{2,4}, Ma Xuemei^{1,2}, Xu Yuan^{1,2}

(1. China Aerospace Academy of Systems Science and Engineering, Beijing 100048, China; 2. China Academy of Strategy on Aerospace Engineering Science and Technology, Beijing 100048, China; 3. State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China;
4. China Aerospace Science and Technology Corporation, Beijing 100048, China)

Abstract: Space infrastructure has become the core area of military, civil, and commercial integration. This study uses literature research and intelligence analysis to summarize the basic situation and development trend of the space infrastructure in the United States, and thoroughly analyze the military, civil, and commercial integration from the aspects of top-level strategy, policies and regulations, as well as organizational management. Several successful experiences are summarized, hoping to provide a beneficial reference for the planning and construction of the space infrastructure in China. To promote the military, civil, and commercial integration in the space infrastructure field, China should make overall planning at the national level; set up a specialized agency to coordinate agencies related to space infrastructure construction and application; strengthen the research and development of satellite application technologies to lay the technological foundation for equipment development; and improve the policy and law system to provide policy guarantee.

Keywords: space infrastructure; military, civil, and commercial integration; development trend; United States

收稿日期: 2019-08-26; 修回日期: 2019-11-29

通讯作者: 郭姣姣, 中国航天系统科学与工程研究院工程师, 研究方向为航天系统工程、资源与环境工程; E-mail: 994903685@qq.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“天基信息实时服务系统(PNTRC)发展战略研究”(2017-ZD-01)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

一、前言

空间基础设施是由运行在外层空间（含临近空间）的飞行器系统及其地面配套设备构成的工程系统，旨在开发利用空间资源和扩大人类活动空间，为国防安全、经济社会发展、民生改善和科技进步等提供长期、连续、稳定、通用的公共服务。空间基础设施领域的军用和民用功能整合具有重大意义：一方面，空间基础设施的建设和运营成本颇高，功能融合将有效缓解政府财政负担；另一方面，空间活动依托民营企业开发军用技术的同时，可实现相关技术的潜在民用价值。

美国作为世界航天强国，在军民一体化发展战略[1]的持续推动下，其空间基础设施领域的军民商一体化已由早期遵循“军事需求为核心，民、商用服务为军所用”原则，转变为“在顶层规划、组织管理、系统设计、应用服务等维度实现全要素、多领域、跨部门一体化”的发展主线。在系统组成方面，不再是某个独立的卫星工程系统，而是由分布于不同轨道、具有不同功能的多种应用型航天器系列以及地面应用系统构成，从而成为相互有机联系、不断发展和完善的天地一体化体系。在系统建设方面，不再是“一星一议”，而是统筹规划、整体推进。在系统应用方面，不再是试验性应用，而是注重提供标准化、规范化、规模化的产品服务，强调对产业发展的带动。

围绕军民商一体化、空间基础设施等方向，国内外开展了广泛研究，取得了一系列研究成果。1994年，美国国会技术评估局（OTA）将军民一体化定义为[2]：将国防科技工业基础与规模更大的民用科技工业基础结合起来，组成一个统一的国家科技工业基础的过程；换言之，国防工业和民用工业在融合的基础上，采用通用的技术、工艺、设备、材料和设施，满足军/民双重需要。在同一时期，美国国家科学技术委员会（NSTC）在《技术与国家利益》中首次提出军用与民用工业基础的一体化问题[3]，认为美国已经“不能继续维持相互分离的军用和民用工业基础”，而必须形成一个同时满足军/民需要的工业基础，主张“利用民用经济中产生的高新技术来实现国防科技的跨越式发展”。在国内，《中国的航天》白皮书（2000年）[4]最早提出了有关空间基础设施的概念。2001年，王

希季院士等专家较为系统地阐述了空间基础设施的内涵：在空间建立的、为开发利用空间资源和扩大人类生存空间、为多方面提供长期稳定功能服务的航天器及其地面配套设备构成的工程系统；可实现传统基础设施向现代化基础设施的跨越，应与陆基、海基、空基础设施处于同等地位。

本文分析国内研究现状发现，现有研究内容侧重于美国军民商一体化的整体发展；而空间基础设施这一细分而又非常关键的领域，有关军民商一体化的内容关注较少。为此，本文从顶层战略、政策法规、组织管理等方面着手，分析和研判美国空间基础设施领域军民商一体化的发展经验，以期为我国相关领域发展提供借鉴。

二、美国空间基础设施发展情况

（一）基本情况

冷战时期（1947—1991年），美国空间基础设施主要服务于军事应用。随着美国提出“军民一体化”发展战略，军用空间基础设施通过应用拓展，在国土、海洋、测绘、环境保护等民用领域展现出广泛的应用前景，自此空间基础设施成为服务于国防建设和经济建设的重要资源。在保障国防安全的前提下提升应用服务水平，一直是美国空间基础设施发展的核心问题之一。

多年来，美国秉承军民商一体化发展原则，建设了规模大、种类全、性能先进且军民功能互补的空间基础设施，在卫星通信广播商业化运营、全球定位系统（GPS）产业化、商业卫星遥感应用等方面引领世界潮流。截至2018年12月，美国在轨卫星数量为982颗，占全球总数量的45%（见图1）。美国正在发展由200多颗卫星构成的卫星通信基础设施；统筹政府各部门需求，拟建设由30多颗遥感卫星组成的地球观测系统（EOS）、由32颗星组成的新型GPS混合星座；依据国家空间数据基础设施计划，协调空间数据的使用、共享和分发。

（二）发展趋势

（1）美国高度重视空间基础设施建设和应用，发展格局正在由垄断封闭向多元化转变。

（2）空间基础设施领域核心技术更新换代迅速，应用方面以信息类公共服务为主；空间技术与信息

产业融合，成为传统产业升级和人类生活方式转变的重要推动力。

(3) 空间基础设施应用领域不断扩展，应用模式快速更新，面向终端用户的规模化扩展成为重点；应用主导、效益优先、技术引领、资源共享、持续发展成为建设准则。

(4) 进入以全球系统观测与服务为特色的阶段，空间基础设施的国际竞争与合作逐步加强，在维护国家空间权益、应对全球和人类共性问题、抵御自然灾害方面发挥重要作用。

(5) 商业卫星产业化迅猛发展，创造良好经济效益；企业成为卫星制造、应用和创新的主体，支撑新兴产业和新的经济增长点。

(6) 实行日益开放政策的同时，进一步加大对本国自主系统研发的扶持力度，强化对关键性高端技术出口与信息安全的监管。

三、美国空间基础设施领域军民商一体化经验分析

(一) 颁布国家航天政策/战略，引导空间基础设施领域的军民商一体化发展

国家航天政策是美国国家战略的重要体现，颁布的一系列政策/战略（见表 1）明确了国防部（DoD）、国家航空航天局（NASA）等机构的职

能，成为空间基础设施领域军民商一体化发展的基本指南，为解决美国空间基础设施领域多头管理、重复建设问题提供了政策基础。例如，规定了 NASA、地质勘探局（USGS）、国家海洋与大气管理局（NOAA）等机构和部门在空间基础设施建设与应用过程中应消除民用卫星运营职能设置方面的重复，实现各部门统筹管理；内政部（DoI）若向军队以外的组织或人员提供由国家安全空间系统获得的遥感信息，必须由 USGS 与 DoD、国土安全部（DHS）下属相关机构进行协调沟通 [5]。

(二) 制定系列法规政策，强调军民商一体化是空间基础设施发展的基本思路

作为航天领域的上位法，《美国航空航天法》规定，未来美国航天发展遵循军民商一体化原则；对于具有军用价值的科研成果，率先应用于军用部门；由军用部门将有市场价值的研究成果提供给民、商用部门，最大限度为民、商所用。

具体来说：①在卫星通信方面，美国将鼓励竞争、鼓励商业化作为通信卫星发展的主要方向，出台了《通信卫星法案》《轨道法案》等法规；②在卫星遥感方面，美国重点采取对高分辨率遥感卫星数据实行军民商共享共用来达到军民商一体化发展的目的，出台了《陆地遥感商业化法》《商业遥感政策》等法规；③在卫星导航方面，美国出台了《全

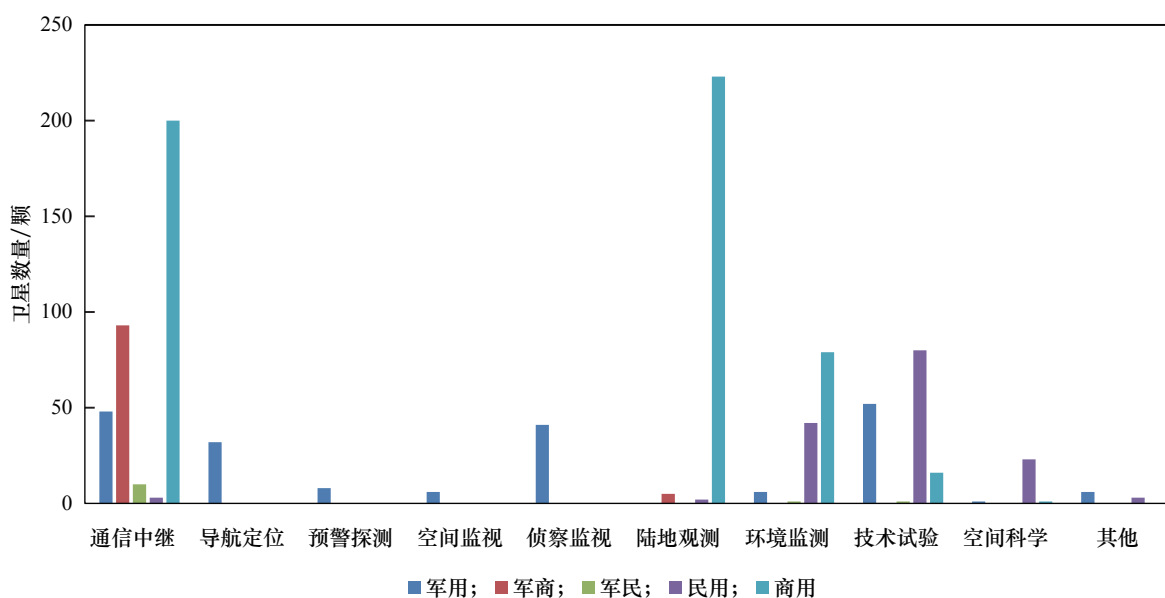


图 1 美国在轨卫星情况统计（截至 2018 年 12 月）

表1 美国国家航天政策（战略）颁布情况

时间/年	名称	版本号	说明
1978	国家航天政策	第1部	明确美国航天活动遵循的基本原则和战略目标
1982	国家航天政策	第2部	提出未来美国要在太空领域占据世界前列地位
1988	国家航天政策	第3部	重申美国要在太空领域占据世界前列地位；将国家航天活动按照军民商领域分类实施管理
1989	国家航天政策	第4部	提出尽快部署天基武器
1996	国家航天政策	第5部	继续实施航天飞机项目，启动国际空间站项目
2006	国家航天政策	第6部	提出使用商业空间能力来强化美国航天工业竞争力的目标
2010	国家航天政策	第7部	要求继续保持美国在太空领域的世界前列地位；政府依据国际合作协议推进商业采购和服务；从导航、通信、遥感3方面建设空间基础设施
2018	国家航天战略	第1部	要求继续保持美国在太空领域的世界前列地位；将国家利益摆在首要位置，加强与民用、商用机构的战略合作

球定位系统政策》《美国天基定位、导航和授时政策》等法规，规定了在保护国家安全和整体利益的基础上尽可能为民、商提供免费的标准定位服务。这些法规政策为具体指导美国空间基础设施领域军民商一体化发展起到了重要推动作用。

（三）系统的兼容性和安全性被视为空间基础设施领域军民商一体化发展的核心问题

美国的国家航天政策/战略多次提出，应将系统兼容和互操作作为空间系统建设的核心要素之一，逐步提升国家安全体系在军事作战、军事任务和军兵种领域建设的兼容性，优化国家安全体系的效益和效率。军用部门在利用民、商用空间系统发展成果的基础上，优先关心安全性是否达标以及应用兼容程度是否满足要求。

为了充分利用美国商业通信卫星资源，美军研制了多频段、智能化的通信终端，注重兼容与通用。①“海军多波段终端”可代替多种（不同波段的）军用卫星通信终端，实现对现有卫星通信资源的有效重组；②提出“宽带全球卫星”方案来提升海洋卫星的通信能力，发展一种对各类军事舰船具有普适性应用的商业卫星通信终端；③研制“分布式通用地面系统”，提高信号处理、传输、利用的水平和能力，实现军、民、商通用和信息共享，形成普适性、模块化的情报系统。

美国推动空间基础设施领域军民商一体化发展，还高度重视系统的安全性 [5]。为确保 GPS 的军用安全性和民用可持续性，采用了多种方式提高抗干扰性能：配置自适应调零天线技术，在 GPS 系统上增设军用密码，实行军民信号分离，增强对

外保护。同时，美国还将抗干扰措施应用于商业卫星：为保护租赁性商业通信卫星，购入全球卫星干扰源地理定位服务；部分卫星公司采取了类似于安全链路、加密软件等方式提升卫星终端的安全特性，如在铱星卫星终端通过安装加密软件，将数据的使用和共享限定在美军内部和部分用户。

（四）确立军民商一体化的航天管理模式和卫星运营管理模式

2017年，针对太空活动日益分化的现状，美国重新组建了国家航天委员会（NSC）（见图2），明确从国家层面推动军、民、商航天统筹管理。通过战略规划、政策法规、资源共享等多种方式，将开发太空资源与维护太空安全统一起来，增强航天部门在保障美国整体利益中的作用。

对于卫星运营管理，美国依据其卫星系统特点与应用需求、军民商一体化发展模式，以 NSTC 作为推行军民商一体化的管理机构，重点推动 DoD、USGS 以及 NOAA、国际通信卫星公司（Intelsat）、国家天基定位、导航和定时（PNT）委员会等部门及公司之间的联合协作（见表2）。

（五）将商业化作为卫星运行的核心模式之一

在通信卫星系统方面，美国波音公司（Boeing）、太空探索技术公司（SpaceX）等多个商业公司负责运行卫星通信系统，面向全球提供通信服务，并向美军提供军事通信服务。目前，美军可调用多套军用和商用通信卫星支持军队建设和战时任务需求：制定了商业卫星通信采购计划，为战时军事通信提供资源；为加强固定卫星带宽转发能力、提供终端

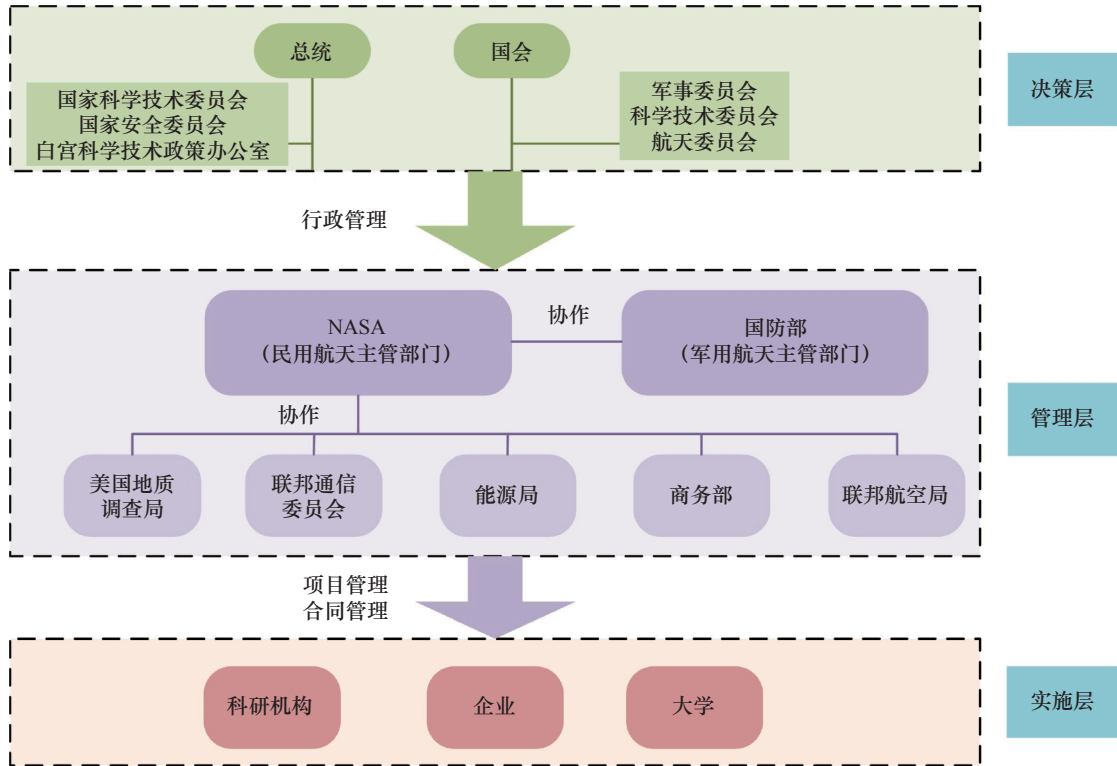


图 2 美国现行的航天管理架构

表 2 美国卫星运营管理部门（企业）分工情况

行业部门 / 企业	职能
NOAA	负责气象、海洋环境监测卫星业务
NASA	负责科学实验类卫星系统的运行管理
DoD 和军事情报部门	负责建设和运行军用通信和侦察卫星
USGS	承担公益性对地观测业务卫星的运营工作
Intelsat	负责通信卫星业务运营
国家天基 PNT 委员会	负责统筹管理 GPS 系统，加强部门协调和产业化推广

和带宽组合的订阅服务，制定了“国防信息系统网络卫星传输全球服务”采购计划。

在遥感 / 侦察卫星系统方面，美国制定了“清晰视景”计划和“下一代观测”计划，支持商业公司研制高分辨率成像卫星，促进其向政府提供卫星影像、附加产品和服务，同时保障军事和民用需求。美国制定并实施了“增强观测”计划，以支持研制和运行新一代高分辨率商业成像卫星。美国商业公司管理运行着“快鸟”“世景视景”“地球眼”等多个商用分辨率的卫星系统，为军队提供高分辨率观测数据支持 [6]。USGS 负责运营陆地系列卫星，组织全球数据获取和数据积累，为军方提供基础数据。NOAA 负责运行气象海洋卫星，执行气象海洋环境

监测，为军方提供大气海洋环境数据。DoD 支持建设和运行国防空间侦查计划、天基红外系统等专用侦查系统，用于保障军事行动的特殊需求。

在导航卫星系统方面，美国制定并实施长远战略规划，在 2005 年 GPS 投入完全运营后，自 2006 年起先后实施 GPS 现代化计划、GPS III 计划。在 GPS 建设之初，为解决军兵种之间的系统主管之争，专门成立了 GPS 计划联合办公室；为解决国防部和运输部之间的军民用主管之争，在 1996 年成立了部际协调执行委员会；2004 年专门成立国家天基 PNT 委员会，将 GPS 明确为国家系统，理顺了各个部门和机构的权利、义务和关系。通过持续推动技术革新，GPS 的空间段、运控段、用户段均

取得了令世人瞩目的成绩，实现了系统持续稳定的运营服务。

四、对我国相关领域的发展启示

美国在空间基础设施领域军民商一体化发展有其组织管理、政策法规、系统兼容方面的独特做法，通过较长时期的运行实践积累了丰富经验，可为我国空间基础设施领域的军民商融合发展提供有益借鉴。

（一）顶层规划空间基础设施领域的军民商一体化发展

当前，我国空间基础设施在经济建设和国防安全方面已有广泛应用，同时也处于转型发展的关键期。建议从国家层面推进空间基础设施的军民商融合发展，按照顶层规划、统筹协调、资源共享、技术共用的方针，进一步对空间基础设施体系的设计、建设、管理、使用等方面进行统筹，健全“军方主导、军民商融合发展”的空间基础设施建设与应用体系。

（二）设立专门机构，统筹协调空间基础设施建设与应用的相关单位

建议设立专门机构，具体落实我国空间基础设施顶层规划，统筹协调空间基础设施建设和应用的相关单位和部门，包括军委装备发展部、科学技术部、工业和信息化部、国家发展改革委等。完善空间基础设施建设和应用的管理协调机制，统筹管理空间基础设施的发展规划、法律法规、政策制定、经费投入、工程建设、应用共享等重大事项，做好军民统筹、天地统筹、规划统筹。

（三）加强卫星应用技术的研发与攻关，满足空间基础设施发展需求

在通信卫星应用技术方面，建议发展与5G/6G融合的天地一体化卫星通信技术、天基信息智能终端服务技术。在导航卫星应用技术方面，建议构建多个系统协同工作的国家综合导航系统，其中北斗卫星导航系统作为国家导航体系的核心，将提供满足最大共性需求的导航服务。在遥感卫星应用技术方面，建议针对未来卫星智能化以及

智能卫星应用需求，开展人工智能技术在对地遥感领域的应用研究。

（四）完善政策法规，为空间基础设施领域军民商一体化发展提供保障

建议加快国家航天立法步伐，立足我国空间基础设施建设现状、军民商应用和融合发展的特征，制定面向空间基础设施建设和应用需求的法规制度体系。结合国情，加快制定体现“技术共生、资源共享、人才共用”导向的制度政策；强化需求牵引，加快制定军民融合政策和卫星遥感数据共享政策等；制定军民标准融合与实施、保密管理、监管评估等法规制度；配套出台多元化资金支持政策等。

同时，建议借鉴美军在空间基础设施方面采用的多种商业化运营手段，制定我军的租赁带宽、商业化采购服务等专项计划，进一步拓宽航天商业采购服务的范围。吸引国内民营企业进入空间基础设施领域，重点发展商业卫星及其地面运营服务、信息服务等业务。引导和规范我国空间基础设施系统的兼容性和安全性。

参考文献

- [1] 胡正洋, 赵炳楠. 广发军工系列专题报告之六: 美国军民融合发展历程 [R]. 广州: 广发证券股份有限公司, 2018.
Hu Z Y, Zhao B N. Guangfa military industry special report series 6: Development history of US military-civilian integration [R]. Guangzhou: Guangfa Securities Co., Ltd., 2018.
- [2] Jacques S G. Democracy's arsenal: Creating a twenty-first-century defense industry [M]. Cambridge: MIT Press, 2011.
- [3] Office of Technology Assessment. Assessing the potential for civil-military integration: Technologies, processes, and practices [R]. Washington DC: Office of Technology Assessment, 1994.
- [4] 中华人民共和国国务院办公厅. 中国的航天 [J]. 中国航天, 2000 (12): 5-10.
The State Council Information Office of the People's Republic of China. China's Aerospace [J]. China Aerospace, 2000 (12): 5-10.
- [5] 杜人淮. 美国防科技工业军民一体化的政策选择 [J]. 军事经济研究, 2002, 23(11): 66-69.
Du R H. Policy selection of military-civilian integration of US national defense industry of science and technology [J]. Military Economic Research, 2002, 23(11): 66-69.
- [6] 孙鑫婧, 李东, 韩政. 推进国防科技建设军民融合深度发展 [J]. 国防科技, 2016, 37(3): 9-12.
Sun X J, Li D, Han Z. Thoughts on promoting civil-military integration in-depth development of the construction of national defense science and technology [J]. National Defense Science & Technology, 2016, 37(3): 9-12.