

# 海上编队多兵力对海火力规划技术研究

杨华东<sup>1,2</sup>, 邱志明<sup>2</sup>

(1. 海军工程大学, 武汉 430033; 2. 海军研究院, 北京 100161)

[摘要] 针对规划海上编队多兵力、多武器协同对海打击方案难的问题,提出了多兵力火力规划作战模型体系的概念,给出了作战模型的主要内容和模型体系构建方法;然后,以多武器作战能力仿真计算为基础,提出了兵力行动计划和火力机动方案等规划要素的设计方法;最后,基于模型体系和火力规划要素,设计了火力规划系统框架及其工作流程。该系统可辅助实施作战方案编制和作战资源优化配置,完成对海联合快速作战筹划和精确指挥控制,提升海上编队对海综合作战指挥能力。

[关键词] 海上编队; 多兵力; 多武器; 模型体系; 火力规划

[中图分类号] TJ01

[文献标识码] A

## Research on the Firepower Planning Technology of Multi-type Weapons of Sea Formation

Yang Huadong<sup>1,2</sup>, Qiu Zhiming<sup>2</sup>

(1. Naval Engineering University, Wuhan 430033, China; 2. Naval Academy, Beijing 100161, China)

**Abstract:** In order to solve the difficultly problem of multi-force and multi-weapon coordinated maritime strike planning at sea planning, the concept of multi-force fire planning combat model system is first proposed, and the main content of combat model and the construction method of model system are given. Then, based on the simulation and calculation of combat capability, the designing methods of the planning elements such as the troop action plan and the firepower plan are put forward. Finally, based on the model system and fire planning elements, the firepower planning system framework and its workflow are designed. The system can assist in the preparation of operational plans and the optimal allocation of operational resources, and it is also useful to complete the rapid joint operations and precise command and control to improve the maritime formative command of the sea combat capability.

**Keywords:** sea formation; multi-forces; multi-type weapons; model system; firepower planning

## 1 引言

使用远程打击武器对敌海上目标或沿岸重要军事、经济目标进行打击、予以摧毁或压制,对处理

沿海地区危机和影响陆上事态,具有重要的战略意义。对海打击作战一般由侦查、预警指挥、电子战压制、突击、掩护、保障等一系列作战群体组成,在统一指挥下协同作战、共同完成攻击任务。多平台、多武器协同作战要求编队能制定作战计划,

[作者简介] 杨华东,高级工程师,博士研究生。

[收稿日期] 2017-09-30

编队内各平台能按计划对传感器与武器进行管理与控制,实现协同作战。如何根据战场态势、作战任务,灵活选用最有效的作战方案、配置最合适的作战兵力、设计最优的航路,这些都将是必须考虑的问题<sup>[1-2]</sup>。因此,有必要深入研究海上编队对海协同打击作战火力优化及控制技术,通过研究适用于海上编队对海打击所需的作战模型、交战规则、基础数据需求,构建编队对海作战模型体系,解决作战过程中参战力量多元、手段多元、空间多维带来的指挥难度大、协同复杂问题<sup>[3-5]</sup>,为海上机动编队遂行对海协同打击作战奠定技术基础。

对海突击武器主要是反舰导弹、鱼雷、水雷等。由于反舰导弹、鱼雷、水雷等武器性能各异,使用方式不尽相同,在多兵力联合作战中,如何使多平台、多型号的雷、弹实现火力协同,发挥协同作战效能,已成为海上协同作战的关键<sup>[6]</sup>。虽然,各武器往往具备一定功能的任务规划能力,但多仅用于单一平台、特定类型武器的打击方案制定和航路规划<sup>[7-9]</sup>,难以适应海上机动编队多平台、多型号雷、弹的协同作战规划,更难以满足岸、潜、机、水面舰艇等多兵力联合作战和海上联合机动编队作战中对海作战筹划的要求。刘刚<sup>[10-11]</sup>、曾家有<sup>[12]</sup>等在国内较早的研究了舰艇编队使用一种反舰导弹实施对海攻击的航路协同问题,但未涉及多兵力、多武器之间的协同。国外在多平台协同任务规划方面的研究多集中在无人航空器(UAV)领域<sup>[13-16]</sup>,对多平台、多武器火力协同规划方法的研究还鲜有报道。本文针对海上编队多兵力联合作战中,对海火力规划的需求,以海上多兵力对海作战运用与多武器火力规划技术为研究对象,开展海上多兵力对海火力规划技术研究,对实现对海联合作战筹划、精确指挥控制具有重要意义。

## 2 海上多兵力火力规划作战模型构建

### 2.1 作战模型主要内容

海上多兵力火力规划模型内容包括:

#### (1) 目标识别与可攻性计算

根据传感器探测的战场态势信息和基础数据库

中预先储存的各类目标特性数据,先进行目标运动特征识别、辐射源特征识别、敌我识别、民用目标识别等特征识别,再基于目标综合识别框架进行多源综合识别,提示目标身份冲突告警,获得目标最终身份估计;然后根据敌我相对态势、敌目标可能对我造成的损伤大小及抵达时间、我方投送兵力和打击武器的性能等对目标进行可攻性计算,给出目标攻击排序表。

#### (2) 作战任务分配

任务分配的本质是在合适的时间和地点,运用最为合适的作战兵力去执行合适的任务,以提高作战任务的整体执行质量。对海协同打击任务分配是一个多目标决策问题,各个目标是相互影响、相互制约的,必须综合考虑各目标对任务分配的影响,以海上编队对海作战的根本任务为依据,建立科学合理的任务分配模型,形成与任务匹配的对海协同打击兵力行动调配能力。在一般情况下,由于受任务的地理位置、作战兵力自身的机动性能等因素的影响,海上编队对海打击任务分配问题必须考虑任务“是否可达”这一基本约束条件,该约束条件在一定程度上会影响海上编队对海打击整体的任务分配方案。根据目标威胁程度、敌我相对态势以及我方兵力和武器的性能,进行打击目标选择与武器分配,对不同类型目标给出合理的多武器协同打击分配方案。

#### (3) 多类型武器火力分配

多兵力、多类型武器协同对海打击中,协同火力分配一般是在指挥节点进行统一的规划计算。在兵力筹划层面,可将多武器协同火力分配问题建模为分布式约束优化问题(Distributed Constrained Optimization Problem)进行求解,得到多武器的最优火力分配方案。分布式约束优化问题已成为分布式人工智能研究中的一个基础问题和热点问题<sup>[17]</sup>,它一般由一系列变量(每个变量对应于多智能体系统中的某个智能体)、变量相应的值域以及变量之间的约束关系组成,要求为这些变量找到一组满足所有约束关系的赋值,且使问题求解的目标成本函数最优。多类型武器火力分配,强调的是火力协同突防效能最优,可先计算各类型武器的使用方案(包括投送平台的机动占位方案、武器发射数量、攻击

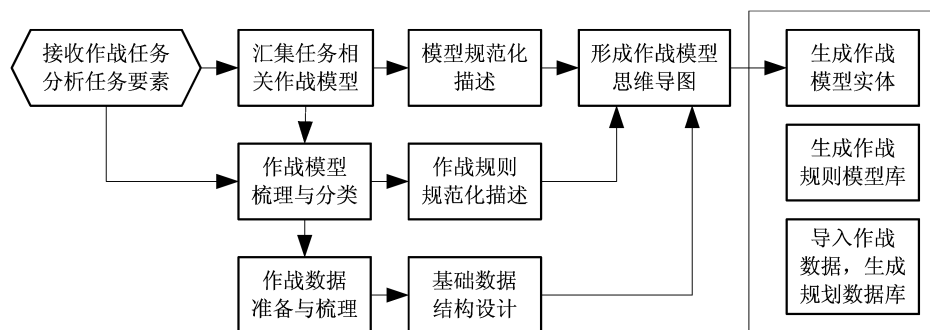


图1 作战模型体系构建示意图

方向、攻击波次、攻击波次间隔时间等针对确定的武器打击分配方案)，然后进行贴近实战条件的攻防对抗仿真，根据仿真结果和期望达到的效果进行武器分配方案的调整优化，以达到协同突防效能最优的目的。

#### (4) 多武器航迹规划

武器(雷、弹)航迹规划一般分为射前航迹规划和航行/飞行中自主航迹规划。射前航迹规划，是武器控制系统根据打击目标信息、武器性能约束、战场环境及地理信息离线进行的航路寻优计算，计算完成后向雷/弹封装航路参数。当雷/弹航行/飞行中需要变更任务打击预案外的目标时，需要调整作战行动方案 and 导弹打击方案，进行实时自主规划，重新进行任务调整计划的制定和决策以及任务调整动作的执行，自主航迹规划技术需要重点解决航路特征信息的快速选择和检索难题。

#### (5) 水下路径规划

与空中、陆地上的路径规划不同，由于水中的阻力要远远大于空中和陆地上的阻力，对水下航行器进行路径规划时，除了要考虑路径长度、路径中障碍物、路径的平滑程度之外，还需要考虑航行器的能量消耗。影响水下航行器的能量消耗的因素除路径长度外，海流或水流的速度和方向也会对水下航行器的能量消耗产生影响，尤其是当航行器速度较慢时，对航行器进行路径规划时必须要考虑海流对航行器运动的影响。通过建立重点海区海流环境模型，可在综合考虑路径长短和海流对能源消耗的影响下，对水下路径进行合理规划。

#### (6) 作战预案管理及匹配

海上编队作战方案调整困难，难以应对态势变化，通常需要对作战预案格式化描述、组成数据离散化存储、数据组合标识编码关联，通过设计作战预案文件格式，将目标分配、武器使用、航迹规划等作战方案进行统一存储，实现对海上作战行动预案的管理，为预案的快速匹配提供基础支撑。在此基础上，针对典型海上作战行动样式，基于预案匹配规则，对预案匹配要素进行分析和选取，实现预案的快速匹配：一是要根据目标、气象、兵力、武器、兵力行动和指挥结构等几大类要素，建立每种要素的匹配度量模型；二是要针对海上作战行动预案的匹配要素属性值为实数、区间数、模糊数和随机变量等几种混合形式的信息，进行每种形式的匹配度计算，建立预案匹配要素权值计算模型。

### 2.2 作战模型构建方法

如图1所示，多兵力对海作战模型构建采用组件化建模、模型组装、组件调度的仿真支持技术，提供全要素仿真推演能力，对多武器作战模型、交战规则、预案匹配进行多轮循环迭代，保证模型的正确性和实用性。同时对与模型使用关系紧密的作战规则进行分类研究，根据模型和规则涉及到的数据，进行基础数据结构设计，形成基础数据库，用以支撑模型库、规则库的实现。建立数据、模型、规则三者之间的关联关系描述，形成图表兼有的作战模型描述文件和典型模型的实体库。

## 3 海上多兵力火力规划要素设计

围绕体系化作战需求，多兵力火力规划要素设

计理念上从“以设计者为中心”转变到“以指挥者为中心”，兵力筹划粒度从“以部队为单位”转变到“武器平台为单位”。针对指挥信息系统对多兵力火力规划功能要求，从全流程、全要素体系闭合条件下，制定海上编队多兵力、多类型武器（导弹、鱼雷、水雷）合同对海突击火力作战方案，解决多兵力、多类型武器火力规划作战使用中涉及的作战指挥关系、作战使用流程、信息流程、信息保障等问题，预估打击效果，为作战指挥提供战役级辅助决策。

多武器火力规划首先需要开展贴近实战的攻防对抗仿真，获取对抗条件下多武器独立或组合作战的战斗能力，并以此为基础，科学的计算对攻击目标的弹药基数；然后，基于弹药基数需求，合理的配置攻击兵力，制定兵力行动计划，规划武器火力打击方案。

### 3.1 多武器作战能力仿真计算

首先，通过开展多武器（鱼雷、水雷、导弹）对主要作战对象（蓝方）典型舰艇/编队在对抗条件下（包括远、中、近、末端多层防空导弹和近程火炮等硬武器拦截和电子干扰等软对抗）作战能力仿真研究，获得单型雷/弹打击单艘敌舰、多型雷/弹组合/分波次攻击单舰、多型雷/弹组合/分波次攻击编队等较典型作战想定条件下的仿真计算结果数据；然后，将结果数据部署于数据库。制定作战方案时，根据输入信息，通过检索查询配置在数据库的雷/弹战斗能力计算结果数据，推荐对打击目标/编队达到期望打击效果的雷/弹打击方案，或者对指挥员提出的雷/弹（或雷、弹组合）打击方案进行攻击效果辅助评估，如图 2 所示。

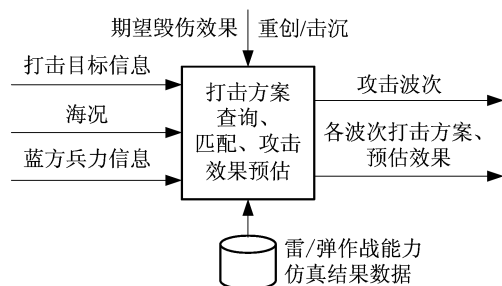


图 2 雷/弹作战能力仿真评估

雷/弹作战能力计算评估作为多兵力联合火力规划的一个核心功能，根据指挥员的作战决心和战役意图（对指定目标/编队期望达到的攻击效果），以及参加战役行动的兵力、火力编配情况，通过检索查询配置在数据库的雷/弹作战能力计算结果数据，推荐对打击目标/编队达到期望打击效果的导弹打击方案（毁伤打击目标各波次所需要的雷/弹种类、攻击波次、用弹量及每枚雷/弹的突击方向），或者对指挥员提出的雷/弹打击方案（如兵力配置、发射雷/弹类型、数量）进行攻击效果辅助评估（估算对目标的毁伤概率），确定雷/弹打击方案（包括雷/弹型、数量、攻击方向和攻击波次等）。

### 3.2 兵力行动计划制定

兵力行动计划制定包括任务分析、兵力编组和兵力行动筹划等内容。

#### (1) 任务分析

任务分析阶段，需要对我方兵力部署及兵力状态、作战范围等进行分析判断，对敌我双方对空、对海、反潜装备的作战能力进行统计对比分析，辅助进行对敌情、我情、战场环境、综合情况判断，在情报研判的基础上，根据受领的作战任务和作战目标，确定打击的目标。

#### (2) 兵力编组

兵力编组一般基于部队编成、结合作战任务，根据作战规则，敌目标情况、毁伤要求和我方兵力及雷、弹等武器装备情况进行兵力选择确定。包括编组兵力组成与编组兵力关系。编组兵力包含编组兵力类型及部署情况，通常按照所属部队、作战群队、实体兵力等层次关系以目录树形式进行编排选择，完成编组兵力录入，编组关系设定和装备资源映射。

#### (3) 兵力行动筹划

兵力行动筹划即规划参战舰艇、航空兵、潜艇等兵力的行动计划。根据兵力部署位置、任务目标和地域，结合参战平台的安全空域、武器性能、速度、规避目标和打击时刻等要素，依据武器弹药性能模型和参战平台特性，对作战行动的任务节点进行时间倒推，自动形成兵力的行动航线，包含关键点、航向、航速等要素。通常，由于参战兵力类型多，制定多兵力行动计划，还应当开展作战预案冲

突判断,特别是兵力、时间、空间等方面的冲突判断,对作战方案进行适当的改进。最后,还需要根据平台出动量、任务兵力生成概率、弹药发射量、方案持续时间和任务完成程度等进行作战方案评估。

### 3.3 火力机动方案计算

多武器火力机动方案的主要内容是鱼雷、导弹的预计航路/弹道规划。首先,根据目标位置和运动参数进行打击目标运动趋势分析,确定目标的运动预估航迹;然后,根据3.2节所述兵力行动筹划的计算结果,结合参战的兵力类型、运动参数以及突击地域位置,进行突击时刻分析,形成火力分配预案(包括参战舰艇、航空兵和岸基兵力的火力配置、发射平台及数量、发射阵位、突击波次编组、发射雷/弹数量、雷/弹航路、突击时刻、临空时刻、打击目标等);然后,根据火力分配方案进行多平台武器火力机动方案规划,根据各攻击平台载弹类型、武器性能参数、平台运动位置、打击目标位置、规避区域,计算不同平台各武器的发射时刻、攻击方向,攻击航路/弹道,临空时刻等战术要素。

## 4 火力规划系统框架和流程设计

### 4.1 火力规划系统的框架设计

火力规划属于较高层次的作战使用规划,重点解决地理信息处理、目标预处理、兵力行动规划、武器航路规划、匹配制导、末段突防规划等技术,火力规划周期较长、武器匹配制导数据处理量大、系统配置资源需求庞大。而且,由于海上打击对象为活动目标,对规划的实时性要求较高,需要进行实时规划并快速更新。因此,海上火力规划系统在整体效率、智能化水平、平台的友好性、模式多样性、结果适应性等方面的要求必然较高。客观上就需要设计系统框架合理、规划流程高效的软硬件系统,以保证海上规划任务的完成。火力规划系统由硬件平台和火力规划软件系统构成,其中,硬件平台构成较简单,系统的核心是火力规划软件。火力规划软件由综合保障信息处理软件、系统管理软件、规划软件及数据库等几部分组成,其中综合保障信息处理软件、系统管理软件和规划软件是通常设计为三个相对独立的软件,运行于工作站,数据

库部署于服务器,工作站和服务器之间通过以太网进行信息交互。火力规划系统软件架构如图3所示。

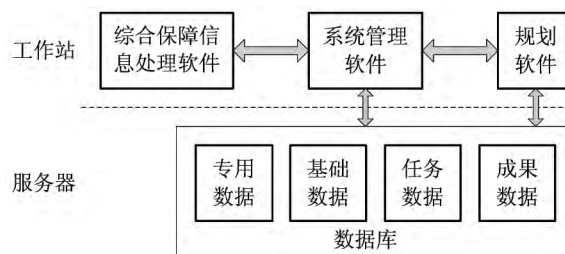


图3 火力规划系统软件架构示意图

### 4.2 工作流程设计

火力规划系统功能实现的主要内容是目标分析、兵力行动计划制定、火力打击方案拟制等,具体表现形式即“一图一表”(作战行动图、火力协同表)。火力规划系统从接收到作战任务和保障数据,到完成兵力-火力行动规划、输出规划成果的典型流程如图4所示。

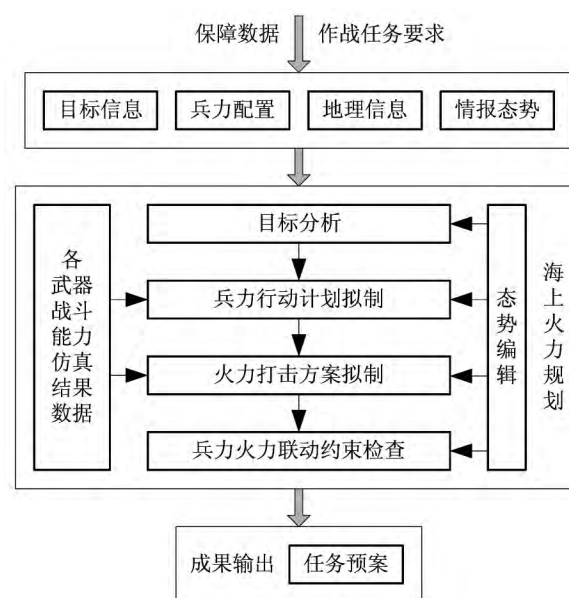


图4 火力规划系统工作流程示意图

#### (1) 规划准备

##### 1) 信息处理

将作战任务所需要的各类地理信息、我方兵力配置信息(含携带武器种类、数量和状态)、情报信息以及目标等数据进行处理,生成规划内部格式数据。

## 2) 战场态势处理

以数据导入或人工编辑的方式,将本次任务中的目标信息、禁飞区、预定发射区等态势信息进行处理,生成并录入任务态势数据。

## (2) 决策与规划

### 1) 任务管理

根据作战要求创建任务、根据任务区域范围设定任务区的基准数据,设定可能发射区、目标等信息。根据实际需要,更新态势信息,或者对当前态势进行编辑。

### 2) 目标分析

选择打击目标,并确定期望达到的打击效果。结合目标特性和各武器战斗能力仿真结果数据分析,确定打击目标所需要用的武器类型、数量、攻击波次、攻击部位和攻击方向。

### 3) 兵力行动计划拟制

首先,根据目标打击要求的武器类型和弹量,进行兵力—火力分配。当在我方参战兵力所携带武器满足分配需求时,将各武器合理分配至携带对应武器的各参战兵力;当我方参战兵力所携带武器类型或数量不足时,则需要按现有兵力的武器配置,调用武器战斗能力仿真结果数据重新进行打击效果预估,计算对目标的打击效果;然后,根据预设的发射区域,拟定兵力行动计划,计算兵力各机动阵位和对应的行动时间。

### 4) 火力打击方案拟制

针对兵力机动阵位和选取的攻击目标及其攻击部位、方向等信息,规划雷/弹航路,并根据实际需要,利用软件提供的规划功能和辅助工具,修改航路点位置、属性及各项参数。

### 5) 兵力火力联动约束检查

对规划航迹进行雷/弹性能约束检查,并对火力与兵力机动关联关系的协调性进行约束检查,如航程约束、高度约束、转弯约束、通视约束等。当不满足约束时,提示用户对兵力机动阵位或雷/弹航路进行修改,确保雷/弹航路的正确可用,且兵

力的行动方案满足指挥意图。

## (3) 成果输出

对经过检查、已经满足约束条件或经过用户确认可以输出的规划成果,按照火力规划设备输出格式要求,形成任务预案,制作任务规划数据包,供兵力行动和武器控制使用。

在以上步骤的规划过程中,规划人员可以随时根据需要,对当前态势、兵力行动计划、武器规划航迹等信息进行修改、保存,反复迭代进行。

## 5 结束语

古往今来“运筹帷幄之内,决胜千里之外”一直是军事指挥人员的追求目标。现代海上作战环境非常复杂,呈现出作战空间广阔、作战节奏快速、作战力量多样、突出“精准打击”等特点,海上编队要在如此复杂的战场环境中掌握作战主动权、实施涵盖平台、装备、人员、认知、时间等要素的战斗行动,做到合理集成和优化使用探测、通信、武器等资源,亟需一个先进的火力规划系统来辅助编队指挥员实施科学准确的决策和组织,实现计划编制、作战资源优化配置和业务流程自动控制。通过开展海上编队多兵力对海火力规划技术研究,涵盖导弹、鱼雷、水雷等多类型武器,可构建多兵力、多武器联合对海火力规划体系,辅助岸、海指挥员完成对海联合快速作战筹划、精确指挥控制,提升海上编队对海综合作战指挥能力。

## [参 考 文 献]

- [1] 车延年,闫耀祖,程龙春. 火力筹划论[M]. 北京: 军事科学出版社, 2009.
- [2] 李骥. 火力作战新论[M]. 北京: 中国人民解放军金盾出版社, 2013.
- [3] 李骥. 火力作战目标决策分析[J]. 指挥控制与仿真, 2013 (3): 23-26.
- [4] 章水林,肖利辉. 基于多属性系统结构模型的火力打击方案评估[J]. 舰船电子工程, 2014, (9): 32-34.
- [5] 钟波,王博. 基于数据化作战指挥筹划决策浅探[J]. 装甲兵, 2014 (1): 12-13.
- [6] 黄建球. 联合火力打击火力筹划探析[J]. 沈阳炮兵学院学报, 2012 (6): 34-35.
- [7] Wang Qijiang, Peng Jun, Ni Baohang, et al. Route

- planning for military aircrafts based on waypoint searching method [J]. Computer Engineering, 2014, 40(2): 280-283.
- [8] Liu Ye. Design and implementation of obstacle assessment in flight route [J]. Command and Information System and Technology, 2012, 3(6): 25-29.
- [9] Yao Peng, Wang Honglun, Su Zikang. Real-time path planning of unmanned aerial vehicle for target tracking and obstacle avoidance in complex dynamic environment [J]. Aerospace Science and Technology, 2015, 47(4): 269-279.
- [10] Liu Gang, Lao Songyang, Hou Lvlin et al. A simulation system of anti-ship missile path planning oriented ship formation [J]. Advanced Materials Research, 2012, 532(6): 645-649.
- [11] 刘刚. 基于几何模型优化的反舰导弹航路规划方法研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2013.
- [12] 曾家有, 王国卫, 钟建林, 等. 多平台舰舰导弹饱和攻击几个协同问题与模型[J]. 兵工学报, 2014, (2): 256-261.
- [13] Luitpold Babel. Flight path planning for unmanned aerial vehicles with landmark-based visual navigation [J]. Robotics and Autonomous Systems, 2014, 62(60): 142-50.
- [14] Roberge V, Tarbouchi M, Labonte G. Comparison of parallel genetic algorithm and particle swarm optimization for real-time UAV path planning [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2013, 9(1): 132-141.
- [15] Ragi S, Chong E K P. UAV path planning in a dynamic environment via partially observable Markov decision process [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic System, 2013, 49(4): 2397-2412.
- [16] Chen H D, Chang K C, Agate C S. UAV path planning with tangent-plus-Lyapunov vector field guidance and obstacle avoidance [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic System, 2013, 49(2): 840-856.
- [17] 段沛博, 张长胜, 张斌. 分布式约束优化方法研究进展[J]. 软件学报, 2016, 27(2): 264-279.

## (上接第50页)

- [2] Anon. USAF plans road map to operational hypersonics [J]. Aerospace Daily & Defense Report. 2017, (7).
- [3] Department of Defense Fiscal Year (FY) 2018 Budget Estimates, Air Force Justification Book Volume 1 of 3 [R]. Research, Development, Test & Evaluation, Air Force 2017, (5).
- [4] Department of Defense Fiscal Year (FY) 2018 Budget Estimates, Air Force Justification Book Volume 2 of 3 [R]. Research, Development, Test & Evaluation, Air Force Vol-II. May 2017.
- [5] Department of Defense Fiscal Year (FY) 2018 Budget Estimates, Defense-Wide Justification Book Volume 1 of 1 [R]. Research, Development, Test & Evaluation, Defense-Wide, Defense Advanced Research Projects Agency Force Vol-III. May 2017.
- [6] Department of Defense Fiscal Year (FY) 2018 Budget Estimates, Defense-Wide Justification Book Volume 3 of 5 [R]. Research, Development, Test & Evaluation, Defense-Wide, Office of the Secretary of Defense. May 2017.
- [7] Air Force Materiel Command. Hypersonic conventional air-launched strike weapon [EB/OL]. 2017-07-21. http://www.fbo.gov.
- [8] Anon. DOD flies experimental hypersonic payload, claims success [EB/OL]. 2017-11-03. http://insidedefense.com.
- [9] Anon. Russia's hypersonic Zircon anti-ship missile reaches eight times speed of sound [EB/OL]. 2017-04-15. http://tass.com.
- [10] Anon. Skunk Works Hints At SR-72 Demonstrator Progress [EB/OL]. 2017-06-06. http://awin.aviation-week.com.
- [11] Anon. Lockheed Martin Confirms: SR-72 Plans Will Move Ahead [EB/OL]. 2017-06-08. http://www.engineering.com.
- [12] Anon. Boeing beats out competitors to build hypersonic space plane [EB/OL]. 2017-05-24. http://defense-news.com.
- [13] Australian Government, Department of Defence. Hypersonic flight test a success [EB/OL]. 2017-07-10. http://www.minister.defense.gov.au.
- [14] 胡冬冬. 2016年国外高超声速飞行器技术发展综述[J]. 战术导弹技术, 2017, (1): 28-31.