

doi: 10.7690/bgzd.2021.05.013

固定翼飞机近距离空中支援作战能力评估

高宇¹, 胡慧¹, 邢丽¹, 孟凡娜²

(1. 海军航空大学航空作战勤务学院, 山东 烟台 264000;

2. 中国人民解放军 91033 部队, 山东 青岛 266000)

摘要: 针对传统空对地作战能力评估指数模型存在的权重分配不合理等问题, 对固定翼飞机近距离空中支援作战能力评估进行研讨。依据现代条件下近距离空中支援强调快速、持续、精确的特点, 利用层次分析法建立近距离空中支援作战能力评估指标体系, 参考传统空对地作战能力指数模型, 构建近距离空中支援作战能力评估综合指数模型, 通过多用途战斗机进行算例分析验证模型有效性。该研究有一定的实际参考价值。

关键词: 近距离空中支援; 作战能力评估; 层次分析法; 综合指数模型

中图分类号: E917 **文献标志码:** A

Operational Capability Evaluation of Close Air Support for Fixed-wing Aircraft

Gao Yu¹, Hu Hui¹, Xing Li¹, Meng Fanna²

(1. School of Aviation Operations & Support, Navy Aviation University, Yantai 264000, China;

2. No. 91033 Unit of PLA, Qingdao 266000, China)

Abstract: Aiming at the problems such as unreasonable weight distribution in traditional air to ground operational capability evaluation index model, discuss the operational capability evaluation of close air support for fixed-wing aircraft. According to the combining modern close air support emphasis on the characteristics of fast, continuous, accurate, analytic hierarchy process (AHP) is adopted to establish the close air support operational capability evaluation index system, and then establish the air support operational capability evaluation comprehensive index model based on traditional air to ground operational capability evaluation index model. Then, take multi-use fighter aircraft example to analyze and verify the model is effective. The research has some practical reference value.

Keywords: close air support; operational capability evaluation; AHP; comprehensive index model

0 引言

近距离空中支援^[1]是战机对己方力量近距离内敌方目标实施打击的空中行动, 可由固定翼飞机、旋翼飞机或无人机实施。近距离空中支援是联合火力打击的重要组成部分, 也是未来我军作战中夺取胜利的重要手段。我国航空兵部队虽然成立时间晚、实战经验少, 但早在 20 世纪 50 年代就在解放一江山岛作战中成功地应用了近距离空中支援^[2]。随后几十年, 由于武器装备的相对落后和作战行动的匮乏, 我军近距离空中支援相关理论和能力建设发展缓慢。近年来, 伴随我军高新技术装备加快列装, 涌现不少近距离空中支援创新理论。文献[3-7]从不同角度对近距离空中支援进行了研究, 但目前未见近距离空中支援作战能力评估研究的相关文献, 开展相关研究无论是对装备研发还是对我军近距离空中支援运用都有积极意义。

1 近距离空中支援作战过程

以美军近距离空中支援标准流程(如图 1)为例, 分析近距离空中支援作战过程。

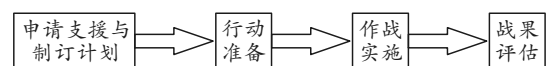


图 1 美军近距离空中支援标准化流程

第 1 阶段申请支援与制订计划, 包括 5 个步骤: 1) 受领任务; 2) 任务分析; 3) 制定行动方案; 4) 行动方案分析/兵棋推演; 5) 生成命令。

第 2 阶段行动准备, 包括 4 个步骤: 1) 演练; 2) 通信检查; 3) 机动; 4) 观察。

第 3 阶段作战实施, 包括 2 个步骤: 1) JTAC/作战中心协同; 2) 目标交战。

JTAC/作战中心协同事项包括战斗跟踪、目标提名、消除空域冲突和协调、同步化、明确终端攻击控制类型等内容。如图 2 所示, 目标交战部分包

收稿日期: 2021-01-17; 修回日期: 2021-02-21

作者简介: 高宇(1988—), 男, 山东人, 硕士, 从事军事指挥理论与运用研究。E-mail: 546602529@qq.com。

括战机接入、情况更新、目标交战授权、传送目标指示简报、攻击开始、进入攻击阵位、目标标识/防空压制开始、确认目标/目标标识、准备武器投射、下达开火核准指令、武器投射等流程。近距空中支援实施过程如图 2 所示。

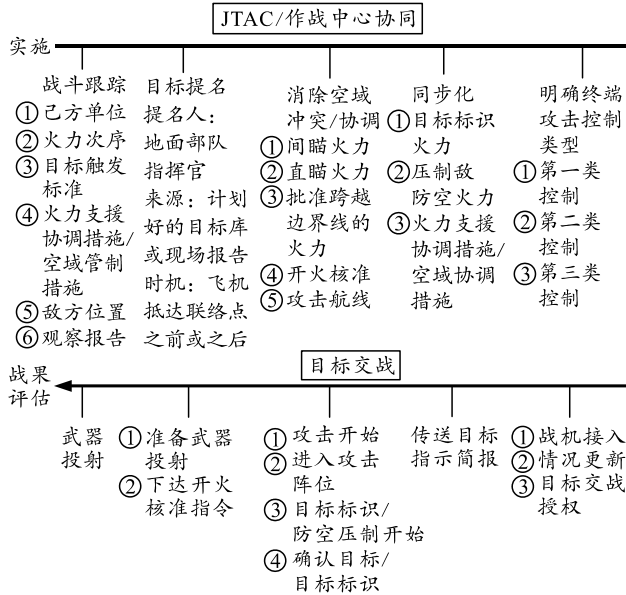


图 2 近距空中支援作战实施过程

第 4 阶段战果评估则包括以下内容：1) 规模——观察到的人员/装备类型及数量；2) 活动——运动方向、运动状态、挖掘工事掩蔽等；3) 位置——攻击或观察到的目标所处的位置；4) 时间——攻击或观察到目标的时间；5) 备注——弹药损耗、观察到的敌方损毁情况(被摧毁坦克数量、仍活动的数量以及建议)、任务编号以及任务完成情况。

2 传统空对地作战能力指数模型分析

飞机作战能力的评估方法主要有性能对比法、计算评估法、计算机模拟法、专家评估法和实验统计法^[8]5 类。计算评估法按其计算特点和评估方式又可分为参数计算法、概率分析法和需要量估算法，对数法属于参数计算法。对数法是采用自然对数来“压缩”飞机指标数值大小，作为相对参数衡量飞机作战能力的一种办法，具有透明性好、易于了解、计算简便等特点^[9]。长期以来，其在评估飞机对地攻击作战能力及效费分析中都有着广泛的应用。

2.1 传统空对地作战能力指数模型

传统飞机对地攻击作战能力指数由航程指数和武器效能指数 2 部分组成，计算公式如下：

$$N=C_{电} \cdot [\ln(\text{当量航程})+\ln(\text{当量载弹量})], \quad (1)$$

$$\text{当量航程}=R_{\max} \cdot C_{突} \cdot C_{远} \cdot C_{导}, \quad (2)$$

$$\text{当量载弹量}=W_{\max} \cdot C_{效}, \quad (3)$$

$$C_{突}=0.25 \times C_{生}+0.15 \times C_{装}+0.1 \times (O_{\max}/9)+0.25 \times (100/H_{突})+0.25 \times (V_{突}/1200), \quad (4)$$

$$C_{远}=(R/3) \times K \times \sqrt{N_{武}}+1, \quad (5)$$

$$C_{效}=0.2 \times N_{挂}/15+0.4 \times C_{精}+0.4 \times C_{目}, \quad (6)$$

$$C_{生}=[(10/W) \times (15/L) \times (5/RCS)]^{0.0625}. \quad (7)$$

式中： $C_{电}$ 为电子对抗能力系数； R_{\max} 为最大航程； $C_{突}$ 为突防系数； $C_{远}$ 为远程武器系数； $C_{导}$ 为导航能力系数； W_{\max} 为最大载弹量； $C_{效}$ 为对地攻击效率系数； $C_{生}$ 为生存力系数； $C_{装}$ 为装甲系数； O_{\max} 为最大允许过载； $H_{突}$ 为突防最低高度； $V_{突}$ 为最高突防速度； R 为武器射程； $N_{武}$ 为武器数量； K 为修正系数； $N_{挂}$ 为机上挂点数量； $C_{精}$ 为武器精度系数； $C_{目}$ 为发现目标能力系数； W 为翼展； L 为全长； RCS 为迎头或尾后方位角 120° 左右对应 3 cm 波长雷达的平均值。

2.2 问题分析

通过分析可以发现，上述指数模型综合考虑了飞机的电子对抗能力、最大航程、突防能力、远程武器射程、导航能力、最大载弹量和攻击效率等 7 个因素^[10]，将式(1)–(3)合并整理可得公式如下：

$$N=C_{电} \times [\ln(R_{\max})+\ln(C_{突})+\ln(C_{远})+\ln(C_{导})+\ln(W_{\max})+\ln(C_{效})]. \quad (8)$$

众所周知，现代战争大都是在复杂电磁环境下进行，飞机的电子对抗能力与其自身的突防能力、导航能力和攻击效率均呈正相关性，而与其最大航程、远程武器射程和最大载弹量等参数值无关，显然模型中将电子对抗能力系数与其他 6 个因素的对数值一一相乘是不合理的。

除此之外，式(8)中各因素量级定义也不合理。从结构上看 6 个因素同等比重，但实际上由于计算式不同，6 个因素的数值并不在一个数量级，评估时会因为某一参数的突出而使结果出现较大变化，造成误导。

另外，各因素的计算方法也不尽合理。以突防系数的计算公式为例，从式(4)中可见生存力系数 $C_{生}$ 、装甲系数 $C_{装}$ 、最大允许过载 O_{\max} 、最低突防高度 $H_{突}$ 和最高突防速度 $V_{突}$ 5 个因素按照 0.25、0.15、0.10、0.25、0.25 的权重分配。实际上就突防能力而言，飞机的隐身性能远比最低突防高度和最高突防速度 2 项指标重要，显然三者都取 0.25 的权

重分配与实战不符。

综上所述，传统空对地作战能力指数模型已不适用于现代条件下评估飞机对地攻击作战能力，而近距空中支援相对于一般理解的空地打击又有其自身特点，需要建立一种新的近距空中支援作战能力综合指数模型，为评估飞机近距空中支援作战能力提供依据。

3 近距空中支援作战能力评估指标

3.1 近距空中支援作战能力评估指标体系

构建近距空中支援作战能力评估指标体系，必须考虑作战任务对飞机的能力需求。对此，参考美军开发最经典的攻击机 A-10 时提出的研制要求：

- 1) 坚固，生存能力强；
 - 2) 有足够长的留空时间；
 - 3) 可挂载重型武器，包括反装甲武器；
 - 4) 具备优秀的低速机动性；
 - 5) 相对较短的起飞及着陆滑跑距离。
- 当前，世界各国都在发展多用途飞机以替代攻击机实施近距空中支援，但从受援部队的角度看，其所盼望的支援飞机作战能力基本没有变化，体现在以下方面：1) 响应时间短，能够快速支援；2) 留空时间长、生存能力强，能够持续支援；3) 制导武器多，能够精确支援。

从任务飞机角度展开分析，响应时间主要与飞机最大飞行速度有关；留空时间主要与续航时间有关，也会受到导航能力影响，通俗理解就是导航能力越强则航线越精准，可以节省燃油延长战场留空时间；生存能力主要与装甲防护能力、隐身能力、防区外攻击能力、电子对抗能力和机动性有关；精确支援能力主要与可挂载制导武器数量和对应武器命中精度有关。笔者构建近距空中支援作战能力评估指标体系如图 3 所示。

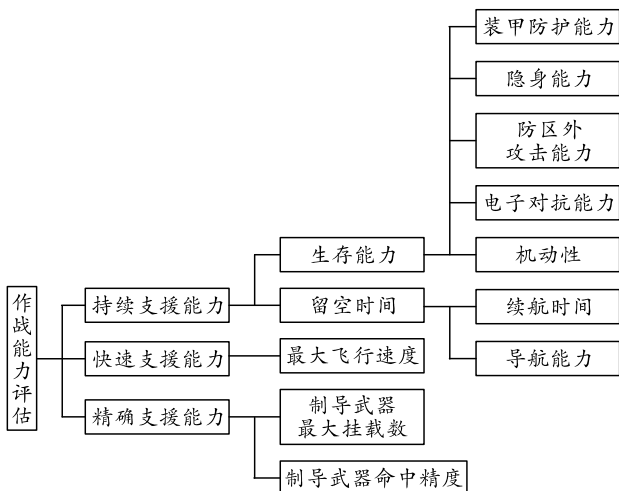


图 3 近距空中支援作战能力评估指标体系

3.2 近距空中支援作战能力综合指数模型

依据近距空中支援作战能力评估指标体系，参考传统空对地作战能力指数模型，近距空中支援作战能力综合指数模型也由当量支援时间和当量制导武器效能指数组成，计算公式为：

$$N = T_{响} \cdot [\ln(\text{当量支援时间}) + \ln(\text{当量制导武器效能})] \quad (9)$$

式中， $T_{响}$ 为响应时间系数，用最大飞行速度表示，值越大越好，计算公式为：

$$T_{响} = \sqrt[3]{V_{max} / 3\ 000} \quad (10)$$

式中， V_{max} 为最大飞行速度 3 000 km/h，相当于现役战斗机最快飞行速度约 850 m/s(F22)。显然，近距空中支援需要任务飞机的快速支援能力，但必须要清楚它不是最主要的，为避免该系数差异太大对其数值做开 3 次方处理。

当量支援时间与生存能力系数和留空时间有关，计算公式为：

$$\text{当量支援时间} = T_{留} \cdot C_{生} \quad (11)$$

式中， $T_{留}$ 为留空时间，与续航时间 $T_{续}$ 和导航能力系数 $C_{导}$ 有关，计算公式为：

$$T_{留} = T_{续} \cdot C_{导} \quad (12)$$

续航时间 $T_{续}$ 可以通过查阅资料确定。导航能力系数 $C_{导}$ 因为保密原因，很难掌握其具体指标量化处理，此处按飞机代数划分和制造国信息技术水平简化处理，一代机、二代机、三代机、四代机分别按 0.5 ± 0.05 、 0.6 ± 0.05 、 0.7 ± 0.05 、 0.9 ± 0.05 取值，处于两代之间的机型则取中值，如三代半飞机歼 10，取 0.8 ± 0.05 。

式(11)中，生存能力系数 $C_{生}$ 与装甲系数 $C_{装}$ 、隐身能力 $C_{隐}$ 、防区外攻击能力 $C_{攻}$ 、电子对抗能力系数 $C_{电}$ 和机动性(用最大允许过载 O_{max} 代表)有关。显然，5 个相关因素里，从实用性和发挥作用的先后顺序看，依次为防区外攻击能力、隐身能力、电子对抗能力、机动性和装甲系数。5 个因素的权重可通过比较判断矩阵获得，结果如表 1 所示。

表 1 权重判断矩阵

生存能力影响因素	防区外攻击能力	隐身能力	电子对抗能力	机动性	装甲系数
防区外攻击能力	1	3/2	2	3	4
隐身能力	2/3	1	4/3	2	8/3
电子对抗能力	1/2	3/4	1	3/2	2
机动性	1/3	1/2	2/3	1	4/3
装甲系数	1/4	3/8	1/2	3/4	1
权重	0.36	0.24	0.18	0.12	0.10

指标权重分配如图 4 所示。

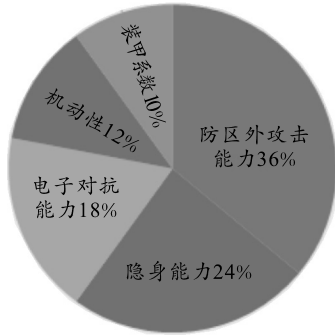


图 4 生存能力系数各要素权重分配

因此，生存能力系数 $C_{生}$ 计算公式为：

$$C_{生} = 0.36 \times C_{攻} + 0.24 \times C_{隐} + 0.18 \times C_{电} + 0.12 \times (O_{max}/9) + 0.1 \times C_{装} \quad (13)$$

式中防区外攻击能力 $C_{攻}$ 与飞机能挂载的射程超过 10 km 的空面武器最大数量 $N_{远}$ 有关，计算公式为：

$$C_{攻} = N_{远}/10 \quad (14)$$

需要说明的是：近距离空中支援的先决条件是己方获得制空权或取得制空优势，同时行动实施环节还会组织防空压制。这种情况下，任务飞机面临的主要威胁往往是些近程防空导弹、便携式防空导弹、高射炮、高射机枪等射程相对较近的防空武器。这时，任务飞机射程超过 10 km 的空面武器就可以实施防区外攻击。

式(13)中，隐身能力 $C_{隐}$ 计算公式与式(7) $C_{生}$ 计

表 2 5 型飞机基本参数

机型	$V_{max}/(km/h)$	$T_{接}/h$	$C_{导}$	$C_{电}$	L/m	W/m	RCS/m^2	O_{max}	$C_{装}$	$N_{远}$	K	N
Su-25T	960	1.5	0.65	0.65	15.33	14.52	7.0	6.5	0.5	20	1.0	22
A-10C	900	4.5	0.75	0.75	16.26	17.53	14.8	5.9	0.7	19	0.5/1	13/6
苏 33	2 652	3.0	0.70	0.70	21.20	14.70	12.0	9.0	0.2	0	0	0
F/A-18C	2 205	1.0	0.75	0.75	17.07	11.43	5.0	7.0	0.2	8	1.0	8
F-35C	1 960	2.5	0.95	0.95	15.67	10.70	0.1	9.0	0.2	2	0.5	2
F-35C 带外挂	1 960	2.5	0.95	0.95	15.67	10.70	1.0	9.0	0.2	6	0.5	6

根据表 2 中参数和建立的近距离空中支援作战能力综合指数模型，求得各分项能力值和综合指数，结果如表 3 所示。

表 3 5 型飞机近距离空中支援作战能力指数

机型	$T_{响}$	$T_{留}/h$	$C_{生}$	当量支援 时间/h	当量制导 武器效能	综合 指数
Su-25T	0.32	0.98	1.20	1.17	5.69	1.298
A-10C	0.30	3.38	1.18	3.99	5.25	2.037
苏 33	0.88	2.10	0.48	1.01	1.00	0.014
F/A-18C	0.74	0.75	0.77	0.58	3.83	0.719
F-35C	0.65	2.38	0.69	1.63	1.71	0.889
F-35C 带外挂	0.65	2.38	0.79	1.88	2.22	1.240

通过表 3 可知：5 型固定翼飞机的近距离空中支援作战能力苏 33 最差、F/A-18C 次之、F-35C 第三、Su-25T 第二、A-10C 最好。主要原因是苏 33 的火

算公式相同。电子对抗能力系数 $C_{电}$ 采取和导航能力系数 $C_{导}$ 一样的方式简化处理。装甲系数 $C_{装}$ 取值准则为：全装甲防护取 1，座舱、引擎等关键部位装甲防护取 0.7，座舱装甲防护取 0.5，无装甲防护取 0.2。需要指出的是：现代多用途战斗机为追求高速度、高机动性，不采取装甲防护手段提高生存能力，执行近距离空中支援任务的飞机主要是攻击机和武装直升机采用装甲防护。

当量制导武器效能与所挂载制导武器精度系数 K 和数量 N 有关，计算公式为：

$$\text{当量制导武器效能} = \sum K \cdot \sqrt{N} + 1 \quad (15)$$

式中常数 1 是为了载机不能使用制导空面武器时当量制导武器效能不至于为 0。 K 的取值准则为：普通炸弹和火箭弹取 0、制导炸弹取 0.5、半主动制导型导弹取 0.75、发射后不管导弹取 1。如有多种制导武器挂载方案，结果取其最大值。

4 算例分析

笔者列举 2 型攻击机 Su-25T 和 A-10C 以及 3 型多用途战斗机苏 33、F/A-18C 和 F-35C 进行对比，并对 F-35C 飞机只使用内置弹舱和使用外挂架 2 种形式进行比较，以检验模型应用的广泛性和合理性。5 型固定翼飞机的基本参数^[11-16]如表 2 所示。

控系统相对陈旧，无法使用制导空面武器，虽然飞行速度快、响应时间短，但无法弥补持续支援能力和精确支援能力的不足；而 F/A-18C 和 F-35C 则分别因为持续支援能力和精确支援能力不足影响了其整体近距离空中支援作战能力，然而当 F-35C 以损失一定隐身性为条件使用外挂架时，其近距离空中支援作战能力显著提高，可媲美一架专用于近距离空中支援的攻击机；Su-25T 虽然精确支援能力不错，但是快速支援能力和持续支援能力不足限制了其整体作战能力；A-10C 则凭借突出的持续支援能力和精确支援能力弥补了快速支援能力的不足。从整体看，攻击机的近距离空中支援作战能力明显优于多用途战斗机，而多用途战斗机要想提高其近距离空中支援作战能力必须补齐持续支援能力和精确支援能力不足

的短板。评估结果与苏 33 更注重制空、对地攻击能力弱, 以及 F/A-18C 和 F-35C 分别因“短腿”和内置弹舱挂载能力不足限制其作战能力的实际相符。另外, 因为近距空中支援任务的需要, 美国空军仍然在升级 A-10C, 美国海军依然在采购 F/A-18E 和 F 都说明目前无论是空军的 F-35A 还是海军的 F-35C 近距空中支援作战能力都不强^[17], 还不能取代 A-10C、F/A-18E 和 F, 这也说明近距空中支援作战能力并不完全取决于飞机的信息化水平。需要说明的是: 由于难以收集到原始数据, 评估的结果存在偏差, 差别在 0.2 以内可以认为二者能力相当。

5 结束语

多用途战斗机取代攻击机成为近距空中支援飞机已是大势所趋, 但兼具多用途势必减弱了其近距空中支援作战能力。针对这一突出矛盾, 装备部门可以用改造、研发的手段从源头解决, 指挥机构则可以调整兵力部署从运用的角度克服, 而近距空中支援作战能力评估指标体系和综合指数模型能为决策者提供参考。

参考文献:

- [1] The Joint Chiefs of Staff. 3-09.3 Close Air Support[S]. USA: Joint Publication, 2019.
- [2] 刘纯, 刘洁, 吴静青, 等. 引导打击与近距空中支援作战分析[J]. 火力与指挥控制, 2019, 44(9): 7-12, 17.
- [3] 刘纯, 徐卫国, 刘洁, 等. 从缩短杀伤链时间角度看近

(上接第 7 页)

4 结论

根据试验结果得出有效性验证结论: 防火隔热涂层对发动机受热的温升速率和响应时间有延迟作用, 延迟效果为 ZS 混合型 > ZS1000 > ZS2000, 使内部温度升到 550 °C 的时间明显延长, 可以有效延缓发动机内部推进剂的反应速率。总体延迟效果最好的涂层为 ZS 混合型涂料, 可作为解决固体发动机热安全性问题的一个新方向。

参考文献:

- [1] 曾兴华, 吴炎平, 朱群敏, 等. 陶瓷微珠在轻质高强保温砂浆中的应用研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2017(4): 72-75.
- [2] 汪艳. 陶瓷微珠填充改性聚丙烯的研究[J]. 武汉工程大学学报, 2011, 33(5): 57-58, 66.

- 距空中支援空地协同作战[J]. 兵器装备工程学报, 2020, 41(1): 43-47.
- [4] 姚春青. 近距空中支援研探[J]. 中国军事科学, 2016(3): 90-97.
- [5] 刘纯, 吴家锋, 吴静青, 等. 美国联合末端攻击控制员装具发展特征[J]. 兵器装备工程学报, 2018, 39(4): 6-10.
- [6] 赵露露. 美军无人机近距空中支援作战行动规则研究[J]. 舰船电子工程, 2020, 40(1): 1-5.
- [7] 张洪波. 海军陆战队近距空中支援作战研究[J]. 教练机, 2020(1): 27-31.
- [8] 高璇, 王光磊. 基于模糊层次分析法评估作战飞机的对地攻击效能[J]. 信息化研究, 2014, 40(4): 61-64.
- [9] 谭小卫, 方卫国. 一种新的飞机作战效能评估方法[J]. 系统工程理论方法应用, 2004(1): 75-80.
- [10] 董彦非, 王礼沅, 张恒喜. 空-地攻击作战效能评估的综合指数模型[J]. 航空学报, 2007(6): 1374-1377.
- [11] 阿东. 大洋鹰群: 苏霍伊设计局研制的舰载战机[J]. 国际展望, 2001(1): 58-60.
- [12] 征惠玲. F-35 作战能力综述[J]. 国防科技, 2013, 34(2): 51-54.
- [13] 王璐菲. F-22 与 F-35 的能力与成本对比[J]. 防务视点, 2016(11): 53-55.
- [14] 吴思亮, 韩兵, 陈宇. F-35 联合攻击机发展动态[J]. 航空世界, 2017(8): 40-43.
- [15] 刘大勇, 刘佳, 杨慧君, 等. 美国 F-35 联合攻击战斗机的机载武器[J]. 飞航导弹, 2015(8): 7-11.
- [16] 朱宝塗, 朱荣昌, 熊笑非. 作战飞机效能评估[M]. 2 版. 北京: 航空工业出版社, 2006: 84, 218.
- [17] 李洪兴. F-35 将与 A-10 比较测试近距离空中支援能力[J]. 现代军事, 2015(10): 21.
- [3] 渠亚男, 米海惠, 苏振国, 等. 空心微珠泡沫材料的导热性能研究[J]. 功能材料, 2017, 48(1): 1073-1077.
- [4] 谢超, 秦岩, 黄志雄, 等. 空心玻璃微珠对膨胀阻燃硅橡胶复合材料性能的影响[J]. 复合材料科学与工程, 2020(1): 95-100.
- [5] 李宏文, 李文兵, 柴华伟. 某火箭尾翼气动热烧蚀研究及其防护措施[J]. 兵器装备工程学报, 2017, 38(12): 201-206.
- [6] 李亮亮, 沈飞, 屈可朋, 等. 不同密封及包覆下 HAE 装药快速烤燃的响应特性[J]. 含能材料, 2018, 26(8): 696-700.
- [7] 刘子德, 智小琦. DNAN 熔铸混合炸药的慢烤试验与模拟[J]. 兵器装备工程学报, 2018, 39(12): 178-181.
- [8] 汪衡, 程伟, 刘俞平, 等. 装药防护结构外隔热方案自动优化研究[J]. 兵器装备工程学报, 2018, 39(10): 83-86.
- [9] 殷琪, 闻泉, 王雨时, 等. 北约不敏感弹药标准试验方法[J]. 兵器装备工程学报, 2016, 37(10): 1-7.