

doi: 10.7690/bgzd.2024.12.002

空面同时多目标攻击自主重规划技术研究

殷春霞¹, 梅利彬², 楚涛¹

(1. 航空工业第一飞机设计研究院, 西安 710089; 2. 航空工业洛阳电光设备研究所, 河南 洛阳 471000)

摘要: 针对越来越复杂的作战环境问题, 对空面同时多目标攻击自主重规划技术研究。通过分析空中攻击自主重规划的必要性, 阐述以 F-35 为代表的国外研究现状, 重点对空面同时多目标攻击重规划系统设计开展研究, 包括功能组成、工作逻辑以及对设计中难点问题——同时多目标高效毁伤的投射管道重规划、攻击航路重规划、打击次序重规划、杀伤力预估进行思路梳理。结果表明, 该研究可为进一步工程实现夯实基础。

关键词: 同时多目标攻击; 攻击重规划; 投射管道; 攻击航路; 杀伤力预估

中图分类号: TJ765 **文献标志码:** A

Research on Autonomous Re-planning Technology for Air-to-surface Simultaneous Multi-target Attack

Yin Chunxia¹, Mei Libin², Chu Tao¹

(1. The First Aircraft Institute, Aviation Industry Corporation of China, Xi'an 710089, China;
2. Luoyang Institute of Electro-optical Equipment of AVIC, Luoyang 471000, China)

Abstract: Aiming at the increasingly complex combat environment, the autonomous replanning technology of air-to-surface simultaneous multi-target attack is studied. By analyzing the necessity of autonomous replanning of air attack, this paper expounds the foreign research status represented by F-35, and focuses on the design of replanning system of air and surface simultaneous multi-target attack. It includes functional composition, working logic and the difficult problems in the design, such as the re-planning of the projection pipeline, the re-planning of the attack route, the re-planning of the attack sequence and the pre-estimation of the lethality. The results show that the study can lay a solid foundation for further engineering implementation.

Keywords: simultaneous multi-target attack; attack re-planning; projection pipeline; attack route; lethality prediction

0 引言

现代作战指导思想已经完成了以“最优的战争投入和最小的损失代价”取代“普遍打击”, “外科手术式”空对地精确打击替代“地毯式”轰炸为标志的转变^[1]。纵观海湾战争、科索沃战争、阿富汗战争和伊拉克战争 4 场高技术局部战争, 可以看出空对地精确打击已成为现代高技术局部战争的主要作战方式。

自主制导武器的大量使用使得作战飞机在目标区附近一次通过即可准确地攻击多个目标, 或者投放多枚武器攻击同一个目标的不同部位。现代战机通常可同时携带多种制导与非制导、防区外发射和临空打击的武器, 在单次出击中打击多样性目标集合。在科索沃战争中, 每架 B-2A 轰炸机在每次出动中可以同时攻击 16 个不同的目标^[2]。

尽管多目标攻击在很多方面具有优势, 但当作战飞机空中临时受命或随遇多个打击目标时, 对机

组人员技战术水平提出了非常高的要求。机组人员需要在极短时间内(几十秒钟至几分钟)快速完成目标集合选定、攻击排序、“弹-目”分配、占位轨迹设定等一系列复杂的规划决策。其中, 对于不同类型的目标, 可能需要设定不同的攻击阵位、攻击姿态、投放机动战术动作; 在制定安全脱离航线时还需要考虑如何衔接好下一轮攻击。此外, 同时多目标攻击的武器投放条件相对单目标攻击而言要苛刻许多, 投放时机稍纵即逝, 对驾驶员的操控精度也提出了更高要求; 因此, 为驾驶员提供自动攻击规划和控制手段, 将是现代空对地作战发展的必然趋势。

未来战场环境愈加复杂多变, 尤其对于高价值飞机所面临的突发威胁和随遇打击目标显然会众多, 此时地面预先规划方案不再可行。国内对空面同时多目标攻击自主重规划技术的系统性研究甚少, 目前未见公开报道; 另外, 国外公开报道的相关研究也甚少, 国内无法获得更多有效参考, 急需

收稿日期: 2024-06-25; 修回日期: 2024-07-20

基金项目: 装发航空科学基金(2019ZC003001)

第一作者: 殷春霞(1979—), 女, 河南人, 博士。

开展空面同时多目标攻击自主重规划技术研究。作战飞机同时攻击面目标的数量超过 8 h, 归属为空面同时超多目标攻击范畴。

1 国外研究及装备现状

21 世纪初, 美国开展了面向攻击/侦察直升机的飞行操纵辅助认知决策的“旋翼机驾驶员助手系统”项目研究^[3], 以提高飞行员应对重大任务变化的能力为目标, 在机载系统中集成了多种自动规划器, 包括传感器规划、航路规划、通信规划、攻击规划和生存规划等功能。1999 年由阿帕奇长弓原型机 AH-64D 进行了试飞评估: 任务失败减少了 78%, 目标摧毁增加了 42%, 危险暴露时间缩短了 21%, 任务再规划时间减少 32%。

F-35 航电任务系统划分为 8 大功能域, 任务域聚焦实现机上实时任务重规划功能。F35 空中自主任务重规划系统包括危险评估环、任务规划环、任务目标环。危险评估环用于产生新的战场态势图像, 包括评估突发敌威胁的探测、跟踪、发射、拦截。任务规划环包含搜索规划器、攻击规划器、规避规划器和防御规划器, 规划器基于最新战场态势来产生应对动态威胁和目标环境的有效解决措施。任务目标环基于监控的重规划事件调度匹配的规划器, 将规划环产生的规划方案形成正式计划下发给飞机各分系统。

升级后的 B-2^[4]具备突发威胁自主规避、高价值目标确认及打击等, 不但能对固定目标实施打击, 还能对地面、海面时敏目标实施打击。在指定区域巡逻待命时, 从联合空中作战中心获得实时目标更新数据, 可中途修改作战计划, 实施攻击。

2 空面同时多目标攻击重规划系统设计研究

2.1 基本概念

2.1.1 空面同时多目标攻击

空面同时多目标攻击: 所谓“同时”, 并非在同一时刻投放多枚制导武器, 也不是在同一时刻击毁多个面目标, 而是指在同一时间段内, 发射多枚制导武器攻击多个面目标或目标上的多个期望命中点 (desired mean point of impact, DMPI)。

“空面同时多目标攻击”作战方式主要适用于攻击相隔比较紧密的目标集合或同一个目标的不同部位。当制导武器可达区范围能够覆盖目标集合时, 同时投放的多枚制导武器就能够分别命中对应目标, 如图 1 所示。

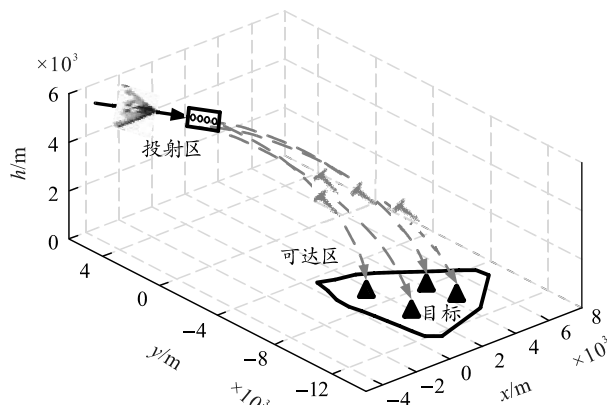


图 1 空面同时多目标攻击概念

2.1.2 空面多目标序贯攻击

当多个目标地域跨度较大时, 载机很难在同一时段、同一空域内攻击到所有目标, 就需要采用多目标序贯攻击^[5]的方式。在任务执行过程中, 载机根据武器性能、战场态势及任务要求, 在不同的时段和空域内依次攻击不同目标。图 2 为一个典型的作战想定, 可以看出空面多目标序贯攻击实际是由多个“单”目标攻击按时间顺序“串联”而成。

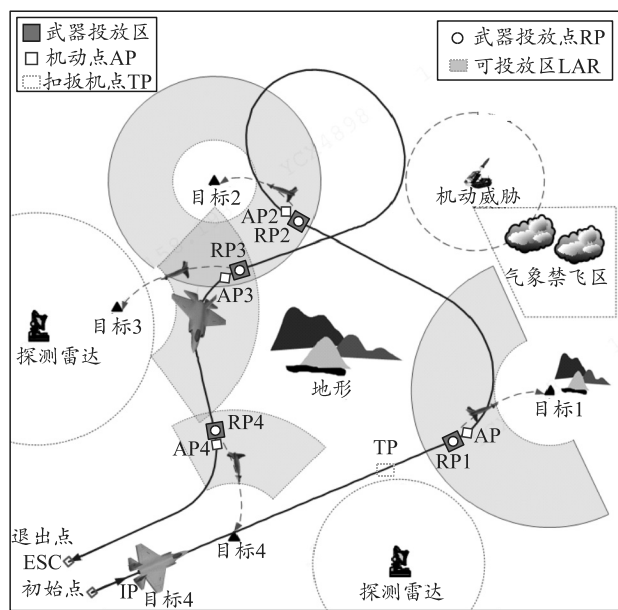


图 2 空面多目标序贯攻击概念

2.2 功能组成及工作逻辑

以飞机战斗资源的生存力、面目标毁伤要求为约束, 需要对多个新打击目标进行目标打击次序规划、火力分配规划、武器投射规划。杀伤力预评估是获得期望毁伤效果的基本途径, 目标打击优先次序是武器投射重规划的基础。

2.2.1 功能组成

图 3 为空面同时多目标攻击重规划功能组成。

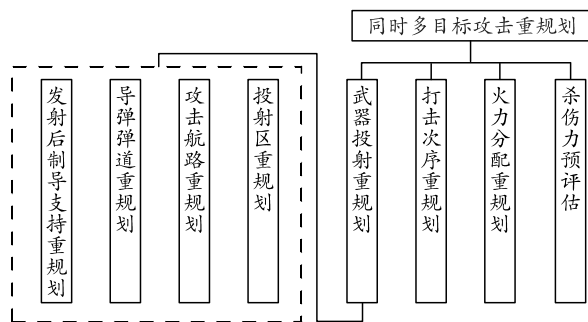


图 3 空面同时多目标攻击重规划功能组成

1) 杀伤力预评估。以目标毁伤要求和武器末端生存力为约束，利用飞机上装载的武器悬挂方案、目标模型、武器战斗部模型、弹目交汇模型，并根据当前战场威胁分布及特征，解算出满足武器末端生存力和毁伤要求的目标毁伤要素。

目标毁伤要素包括：目标上 DMPI 及分布，对每个 DMPI 所需的武器类型、数量、末端攻击条件。

末端攻击条件包括武器进入方向、引信设置等。

2) 火力分配重规划。依据杀伤力预评估结果、武器突防概率、武器命中概率、武器毁伤概率及武器悬挂方案解算出打击多个目标的火力分配方案。火力分配方案包括：针对每个 DMPI，达到期望毁伤效果所需武器的数量及在机上的武器挂位。

3) 目标打击次序重规划。依据飞行员或预先制定的目标打击次序约束、目标战术价值、目标存在时间窗口、威胁紧迫程度解算出对多个目标的打击次序。

4) 武器投射重规划。包括投射区重规划、攻击航路重规划、导弹弹道重规划、发射后制导支持重规划。

投射区重规划：以火力分配方案、目标打击次序、目标毁伤要素、武器最小投放间隔、武器性能和战场威胁为约束，解算出满足载体生存力和目标毁伤要求的武器投射区。根据目标的分散情况，可能存在多个武器投射区，此时投射区重规划的输出为 N 个排好攻击次序的武器投射区方案。

攻击航路重规划：以武器投射区方案和战场威胁为约束，解算出满足载体生存力的串起 N 个投射区的飞行航路。该飞行航路被称为实施攻击操作的攻击航路，详见 2.4 节。

导弹弹道重规划：以据战场威胁、导弹弹道约束以及导弹末端攻击条件为约束，解算出该导弹被载体投射后的飞行弹道。

发射后制导支持重规划：有些武器发射后需要载机制导，如激光制导武器本投本照时需要载机制

光照射目标。发射后制导支持方案包括制导支持的类型、时间长度和飞机驶向计划。该方案需依附到攻击航路上实施，因此也可将发射后制导支持重规划作为攻击航路重规划的子功能。

2.2.2 工作逻辑

图 4 为空面同时多目标攻击重规划的工作逻辑。响应管理监控到新的攻击目标、攻击目标的位置发生了变化、收到了取消打击目标的指令等攻击重规划事件后，响应管理调度攻击重规划功能。全局评估最后将满足飞行安全约束、生存力约束、任务完成约束下的攻击重规划方案反馈给响应管理。响应管理将攻击方案推至飞行员确认后，将其送往待飞任务方案管理以供后续形成完整的飞行任务方案。

在对空面同时多目标攻击重规划系统设计过程中发现，同时多目标高效毁伤的投射区重规划、攻击航路重规划、打击次序重规划、杀伤力预估是设计的难点，国内对其进行的系统性研究甚少。下面分别对其设计思路进行梳理，为进一步工程实现夯实基础。

2.3 同时多目标高效毁伤的投射区重规划

美军机上攻击区规划聚焦目标毁伤效果，综合考虑目标、弹药、传感器以及地理、气象、电磁和威胁等环境因素，规划形成“以目标毁伤为中心”的投弹区。飞行员操纵载体进入投弹区，进而瞄准、投弹。

武器投射区规划必须掌握攻击武器的弹道特性、投放条件限制以及载体运动对武器命中效果的影响等。

当同时多目标攻击时，多个目标分别对应的武器投射区可能不存在交集。为达到高效毁伤效果，美军提出武器投射管道概念。武器投射管道是现代战争中同时多目标高效毁伤的产物，是平行于飞机当前地面航迹的一个空中打击通道，在这个通道内按照指定的投放条件投放武器，可以保证目标以期望毁伤概率被毁伤。

投射管道内武器投放点的解算约束：

1) 与第 i 个目标期望命中点 $DMPI_i$ 对应的投射管道内投放点，存在于以 $DMPI_i$ 、末端攻击条件为约束解算出的投放区内。

2) 投射管道内所有武器投放点在同一高度，保证武器投放时飞机直飞，降低飞行员操纵负担。

3) 以武器最小投放间隔为约束，投射管道确保

武器舱门处于“开”状态的时间最短,提高载机在复杂作战环境下的生存力。

4) 对每个武器投放点,在横向和纵向均留有操

纵误差,横向操纵误差呈现了图 5 的投射管道宽度,第一个投放点纵向操纵误差和最后一个投放点纵向操纵误差呈现了图 5 的投射管道前后边界。

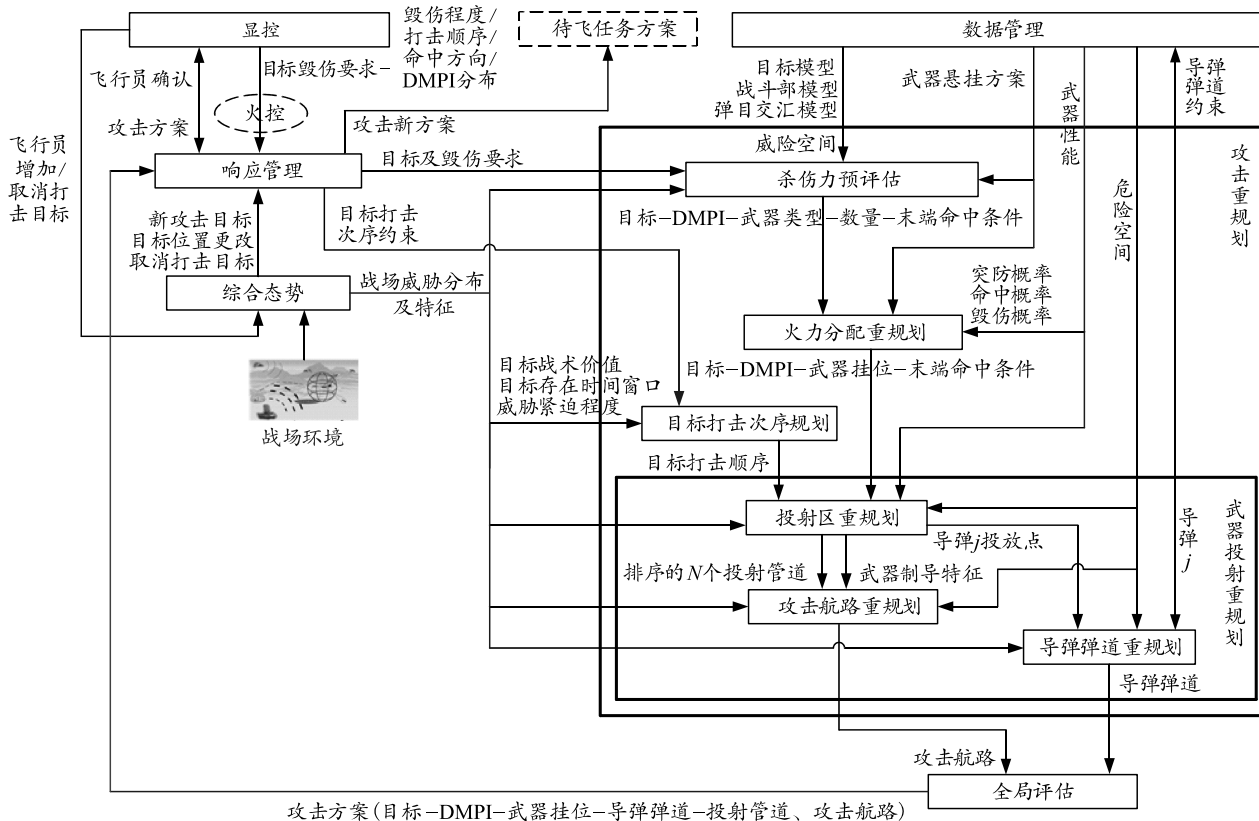


图 4 空面同时多目标攻击重规划工作逻辑

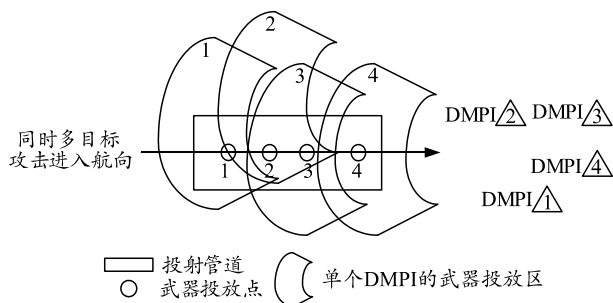


图 5 空面同时多目标高效毁伤的投射管道

2.4 攻击航路重规划

在战场环境、飞机生存力、飞机性能、剩余燃油、武器投射管道等约束下,攻击航路重规划自动生成从攻击进入点 IP 到攻击退出点 ESC 的攻击航路。飞机突入敌目标区后需按照重规划好的目标攻击顺序、弹目分配方案、武器投放轨迹依次执行对地面多个目标的攻击。在每次攻击过程中,飞机都需要调整好飞行姿态机动到目标所对应的武器投射管道内,完成武器发射,然后选择合适的方向迅速脱离,以便转入下一段攻击。

采用拉起-平飞投放战术攻击方式时,一次不间

断的攻击过程所需的攻击航路包括攻击进入点 IP、转弯操纵开始点 AP、俯仰拉杆操纵点 PUP、稳定爬升点 Climb、俯仰压杆及转向点 PDP 或仅俯仰压杆点 Push、改平点 Level、扣扳机点 TP、武器投放点 RP、弹目交汇点 WIP、攻击退出点 ESC 等一系列动作特征点,如图 6 所示。

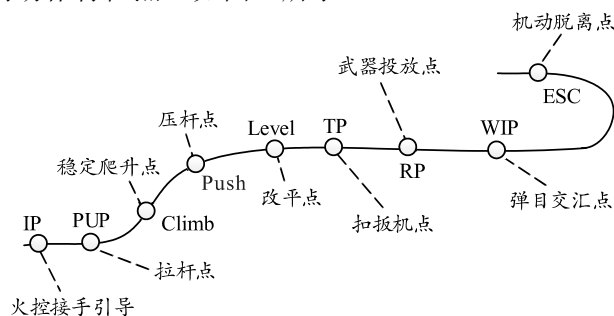


图 6 拉起-平飞投放战术攻击方式时攻击航路

一次不间断的攻击过程称为一个攻击批次。从 IP 点开始,火控接手对飞机的引导。安全脱离阶段需要载机选择敌防空火力薄弱方向脱离,在脱离过程中常需要执行突防机动。

采用仅平飞投放战术攻击方式时,一次不间断

的攻击过程所需的攻击航路仅包括 IP、TP、RP、WIP、ESC 等一系列动作特征点，如图 7 所示。

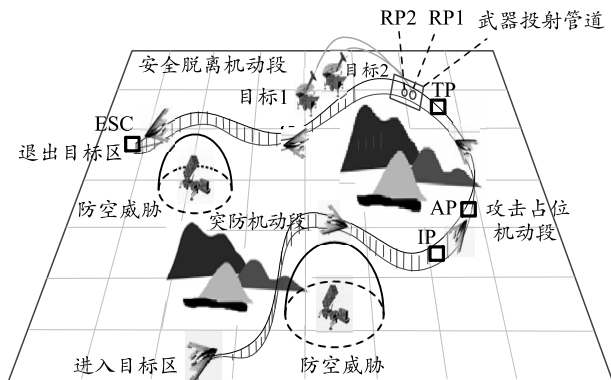


图 7 空对地同时多目标攻击的典型任务剖面

当多个攻击目标位置上比较分散时，一个攻击批次中会存在多个武器投射通道。

攻击航路保证载机能够完成武器投放前准备、进入投射通道完成武器投放以及安全退出攻击。

飞机的航路重规划功能完成攻击航路与基础飞行航路的对接。

攻击航路动作特征点描述包括位置参数、武器投射管道进入参数、转弯参数、脱离参数等。位置参数包括经度、纬度、高度；武器投射管道进入参数包括进入方向、进入速度；转弯参数包括转弯半径、转弯速度、保持时间；脱离参数包括爬升/俯冲角度、脱离方向、脱离速度、过载、保持时间。

2.5 打击次序重规划

在空面多目标攻击中，目标打击顺序直接决定载机自身的生存与任务的完成程度。空面多目标攻击优先权决策最终目的在于使预期的攻击效果最好，而已方损失降到最小，并以此为依据进行武器系统的调度。

目标打击优先顺序问题是多属性决策问题^[6]，应分析影响目标攻击次序决策的因素，构建目标打击次序决策模型。决策因素主要分为目标特性和我方飞机特性 2 类因素，如图 8 所示。在目标打击排序过程中，目标时敏约束、目标重要度约束、目标毁伤概率等是重要代价指标。在多目标攻击决策中，每一个目标点可以看作一个备选方案，全部的决策要素则构成决策的属性集。

从决策要素分析中看出，多目标攻击任务中，影响任务打击次序的因素繁杂，使得简单的线性加权不能给出合理的排序结果。目前主流方法为基于信息熵法的权重赋值方法^[7]，该方法计算各影响因素权重，最后得到目标优先权决策结果。

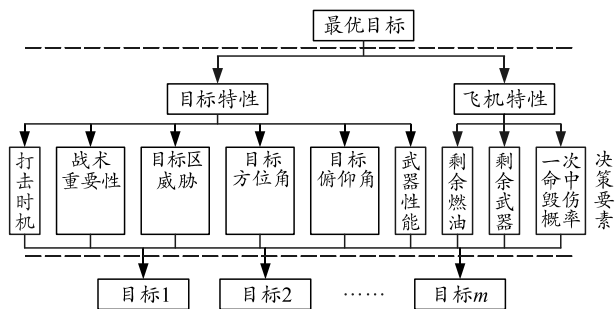


图 8 目标打击次序决策模型

1) 目标特性。

目标打击时机是打击紧迫性指标。作战时，目标位置发生变化导致己方的有效毁伤攻击角度变化、防御能力变化。使得我方对其攻击时，存在一个“最佳打击时间段”，常称为攻击时间窗口。根据攻击时间窗口与当前时间的“距离”，从而得到打击紧迫性指标。

目标战术重要性：在不同任务背景下，打击目标的目标战术价值将有所不同，例如执行突防任务，地面指挥所和防空武器系统目标的战役价值更高。

目标区威胁：目标附近敌方威胁的分布及威胁程度。

敌我态势包括目标方位角、目标俯仰角、武器性能等。选择打击目标时应首先攻击对我方威胁最大或对我机优势最明显的目标。

2) 本机特性。

在作战过程中，我机剩余载荷状态和防御能力是作战目标排序的重要影响因素，都对任务能否完成具有重要影响。剩余燃油意味着攻击机可飞航程，剩余武器则与目标毁伤所需杀伤力对应，防御能力意味着我机被敌方武器命中时的毁伤概率。

2.6 杀伤力预评估

影响毁伤效果的主要因素：目标易损性^[8]、武器杀伤性能、弹目交会条件^[9]等。

在目标打击前，对武器的目标毁伤能力^[10]进行预评估可为选择武器类型、数量、瞄准点、进入方向、爆炸高度等提供重要依据，进而有利于作战指挥人员进行科学的机上打击重规划。杀伤力预评估是进行火力分配和武器投射区规划的基础。

以目标毁伤计算模型、期望毁伤效果为输入，解算出目标的 DMPI 以及与每个 DMPI 匹配的武器类型、数量、引信参数、末端进入方向、落角和落速等。目标毁伤计算模型通常以毁伤效能数据库形式存在，如图 9 所示。