

〈综述与评论〉

四代火力打击体系的信息化特征

蔡 毅

(中国兵器科学研究院, 北京 100089)

摘要: 根据火力打击体系的信息化特征将其分为4代: 第一代火力打击体系的信息化特征为“惯性打击”——按发射时初始条件确定的弹道、由惯性保持弹丸/炸弹飞行直至命中目标; 第二代火力打击体系的信息化特征为“相对打击”——依靠目标与背景之间信号的对比度产生制导信号控制/修正弹道, 使导弹/制导炸弹精确命中目标; 第三代火力打击体系的信息化特征为“绝对打击”——依靠目标的地理坐标、用全球卫星定位系统的信息作为控制/修正弹道的信号实现精确打击; 第四代火力打击体系的信息化特征为“绝对打击+相对打击+数据链+人在环路”——即依靠目标的地理坐标、用全球卫星定位系统的信息作为控制/修正弹道的信号完成导弹/制导炸弹的中段制导, 再利用“相对打击”、双向数据链和“人在环路”实现末制导, 不仅能精确命中目标, 还具有主动选择打击位置、控制打击程度、评估毁伤效果的能力。

关键词: 四代火力打击体系; 信息化特征; 惯性打击; 相对打击; 绝对打击; 数据链; 人在环路

中图分类号: TJ765.3

文献标识码: A

文章编号: 1001-8891(2014)03-0169-11

Informationization Characteristics of Four Generations Weapon Systems

CAI Yi

(Academy of ordnance science, Beijing 100089, China)

Abstract: In this paper, weapon systems were divided into four generations according to their informationization characteristics. The first generation weapon system features “Inertial Weapon”, with which the munitions approaches the target following the ballistic trajectory that preset by the launching platform using initial conditions. The second generation weapon system’s informationization characteristic is “Relative Striking”, which utilizes contrast signatures (e.g. radar, laser, wire, visible, or infrared signatures) between the target and the background to produce the signal to guide the precision weapon to aim at the target. “Absolute Striking” is the main attribute of the third generation weapon system. The guided weapon is guided to acquire the target via its geographical coordinate and a GPS signal. The fourth generation weapon system integrates “Absolute Striking” with “Relative Striking”, “Data Link” and “Human In The Loop”. During midcourse guidance, the target is identified by its location (height above sea level, latitude, and longitude) with respect to the GPS. Then “Relative Striking”, double-directional “Data Link” and “Human In The Loop” are employed in the phase of terminal guidance. Not only can the target be hit precisely, but also the combat position is chosen autonomously, the combat extent is controlled, and the damage effect is evaluated.

Key words: four generations weapon systems, informationization characteristics, inertial weapon, relative striking, absolute striking, data link, human in the loop

收稿日期: 2014-02-10.

作者简介: 蔡毅(1959-), 男, 云南昆明人, 研究员, 主要从事红外技术、光电系统总体的研究。E-mail: caiy69@163.com。

基金项目: 国防基金资助项目。

0 引言

火力打击体系包括指挥控制系统、发射平台（火炮、战斗机等）和弹药（弹丸、火箭弹、导弹和航空炸弹、制导炸弹等）。火力打击体系的信息化既包括目标信息获取（例如侦察、监视、评估等）、通信、指挥控制、发射平台等体系的信息化，又包括弹药的信息化。

20 世纪 60 年代之前，火力打击体系以第一代为主。20 世纪 60 年代之后，以越南战争为标志，火力打击体系进入第二代——精确制导武器的“相对打击”时代。20 世纪末，以科索沃战争为标志，火力打击体系进入第三代——精确制导武器的“绝对打击”时代。目前，火力打击体系进入第四代——精确制导武器的“绝对打击+相对打击+数据链+人在环路”时代。

1 第一代火力打击体系的信息化特征

第一代火力打击体系的信息化特征是“惯性打击”，即根据发射平台建立的初始条件确定的弹道，弹丸/火箭弹发射或炸弹投掷后依靠惯性稳定飞行直至命中目标，而非本文后面涉及的惯性制导精确打击。

第一代火力打击体系的信息化是从弹药和发射平台两个方向进行的，解决“打不准”的问题。信息化的第一代火力打击武器装备可视为一代半，以自行高炮武器系统和狙击步枪为典型代表，但其信息化首先表现在发射平台上，之后再表现在弹药上。

1.1 高炮武器系统的信息化

随着空中目标的变化、威胁的多样化、空袭战术的创新，例如飞机飞行速度的提高、精确制导空地武器的大量使用、攻击直升机的超低空突击等，依靠人工指挥和操作的高炮已经不能有效的进行防空作战。为提高高炮武器系统的作战效能，分别从高炮和炮弹两个方向进行信息化，其发展路线图见表 1。

表 1 高炮武器系统的信息化过程

| Table 1 Informationization process of antiaircraft gun | | | |
|---|-------------------------|---------------------|----------------------|
| 发展阶段 | 高 炮 | 炮 弹 | 特 点 |
| 第一代 | 机械瞄准具、光学瞄准镜 | 机械定时引信、电子定时引信、无线电引信 | 炮弹简单的信息化引信 |
| 一代半 | 炮瞄雷达/光电系统+火控系统+炮口装订时间引信 | 定向抛撒破片炮弹、电子定时引信 | 复杂的发射平台信息化+较复杂的信息化引信 |
| 第二代 | 炮瞄雷达/光电系统+火控系统 | 制导炮弹 | 复杂的发射平台信息化+复杂的信息化弹药 |

第二次世界大战期间，轰炸机、战斗机采用“高空-高速”战术突防。二战结束后，军用飞机迅速喷气化，这为飞得更高、更快提供了技术基础，先实现了“双 2”——2 倍音速、20000 m 高度，之后又实现了“双 3”——3 倍音速、30000 m 高度，将机械化时代“高空-高速”突防战术发展到极致。

远程预警雷达和远程高空防空导弹武器系统的发展使“高空-高速”突防战术受到严重挑战，进而发展了利用远程预警雷达“盲区”的“低空/超低空-高速”突防，这也使得第一代火力打击体系中的小口径高炮有了用武之地。由于目标出现突然、拦截时间窗口短，而人工直接操作小口径高炮的作战效能低，因此必须对其进行信息化改造。3CY-23-4“石勒喀”自行高炮武器系统就是苏联在这一背景下发展成功的一种近程低空/超低空防空高炮武器系统，是高炮信息化的典型代表。瑞典发展的“天盾”35 毫米高炮-多束定向预制破片炮弹武器系统由一体化集成的搜索雷达、炮瞄雷达、光电瞄准系统、火控系统、35 毫米高炮、多束定向预制破片炮弹等组成，是发射平台和弹药同时实现信息化的代表。

1) 3CY-23-4“石勒喀”(ШИЛКА)自行高炮武器系统

3CY-23-4“石勒喀”是世界上第一个将炮瞄雷达、火控系统、高炮与履带车底盘集成为一体的自行高炮武器系统，信息化水平较高，具备全天候、全天时、全自动和独立作战能力，大量装备坦克师和摩托化步兵师，用于野战近程防空，拦截固定翼飞机、直升机、无人机和巡航导弹等目标，其主要技术特点为：

①由炮瞄雷达、4 门 23 mm 小口径高炮、双向稳定装置、火控系统、履带装甲车底盘等组成，集探测、火

力和火控为一体。

②采用炮瞄雷达（图 1^[1]）和光学/光电瞄准镜。炮瞄雷达可独立于炮塔在方位角 360°、高低角±45°转动，以跟踪和测距为主，具有一定的搜索能力，可探测高度在 60 m 以上、距离在 20 km 以内的战斗机，可有效跟踪距离在 8 km 以内的空中目标。此外，炮瞄雷达与光学瞄准镜联动，在炮瞄雷达受到电子干扰时使用光学瞄准镜射击。车长光学瞄准镜采用潜望镜式结构，其视场范围与火炮的射界相同。

③为避免在“压制敌方防空系统”（SEAD）作战中遭到反辐射导弹攻击，在后续型号改进中，光学瞄准镜改进是重要内容，增加了光电探测系统（图 2^[2]），实现被动探测和射击，提高在电子战条件下的生存能力；并增加“针”（ИГЛА）便携式防空导弹构成弹-炮一体武器系统，进一步提高信息化水平。



图 1 3CY-23-4 自行高炮



图 2 增加光电系统的 3CY-23-4MP

Fig.1 3CY-23-4 self-propelled anti-aircraft gun

Fig.2 3CY-23-4MP fitted with electro-optical system

2) “天盾”（Skyshield）35 毫米高炮-多束定向预制破片（AHEAD）炮弹武器系统

“天盾”35 毫米高炮-多束定向预制破片炮弹武器系统（图 3^[3]）的作战原理：搜索雷达探测到目标后，引导炮瞄雷达截获、跟踪目标，火控系统根据炮瞄雷达的测量数据解算射击诸元，炮弹发射通过炮口时电磁感应测速装置精确测量出弹丸的初速，火控系统根据初速和与目标交汇点的距离计算出引信起爆时间，再由炮口的电磁感应装置进行装订，弹丸飞到与目标的预定交汇点时引信爆炸，定向抛撒出集束预制破片毁伤目标，相当于提高了弹幕的密度，因而其拦截概率、命中精度、毁伤效能都得以提高。



图 3 “天盾”高炮武器系统的发射平台及其 Mk2 防空加农炮

Fig.3 Skyshield fire control unit and its Mk2 anti-aircraft cannon

1.2 狙击步枪的信息化

狙击步枪的信息化过程与高射炮武器系统的类似，也分别从发射平台——枪和子弹两个方向进行，其发展过程见表 2。

1) 光学瞄准镜

光学瞄准镜的光学口径典型值为 30 mm~50 mm，接收光的面积比人眼（瞳孔的典型值 5 mm）大 140~400 倍，从而更多的获得目标信息，解决了良好气象条件下昼间瞄准的问题。有的光学瞄准镜还具有放大作用，可以更清楚的瞄准目标。

2) 光电瞄准镜

光电瞄准镜解决了狙击步枪在低能见度条件和夜间的瞄准问题。光电瞄准镜包括微光增强夜视瞄准镜和热成像瞄准镜两类，构形有并联（图 4 左^[4]）和串联（图 4 右^[5]）两种；并联式光电瞄准镜包括可见光、微光瞄准镜和激光测距机等，优点是每个瞄准镜可以独立获取目标信息且便于将目标信息进行融合处理；串联式光电

瞄准镜包括可见光、微光夜视瞄准镜或热成像瞄准镜，优点是可以利用光学瞄准镜作为微光或热成像瞄准镜的目镜观察显示屏上的图像，同时也容易实现光学瞄准镜和微光或热成像瞄准镜的同轴调整。

表 2 狙击步枪的信息化过程
Table 2 Informationization process of sniper rifle

| 发展阶段 | 枪 | 子 弹 | 特 点 |
|------|-------------|---------------|------------------|
| 第一代 | 光学瞄准镜 | 标准子弹、狙击步枪专用子弹 | 提高瞄准精度、降低子弹的散布 |
| 一代半 | 光电瞄准系统+火控系统 | 狙击步枪专用子弹 | 较复杂的发射平台信息化 |
| 第二代 | 光电瞄准系统+制导系统 | 制导子弹 | 复杂的发射平台信息化和信息化弹药 |



图 4 光电瞄准镜



Fig.4 Electro-optical rifle scopes

3) 轻武器光电瞄准镜/火控系统

轻武器光电瞄准镜/火控系统由可见光/热成像瞄准镜、激光测距机、火控计算机等组成，在解决了低能见度条件和夜间的瞄准问题的同时，还采用火控系统降低瞄准难度，使普通士兵也能像狙击手一样准确射击。图 5^[6]是韩国研制的带有火控计算机的 Daewoo K11 先进突击步枪。

4) 光电瞄准系统/制导系统和制导子弹

光电瞄准镜只能解决瞄准的问题，解决不了射击后子弹在飞行过程中受到干扰的问题。光电瞄准系统/制导系统和制导子弹同时解决了这个问题，将狙击步枪的信息化水平推进到第二代，使普通士兵也能达到最高水平狙击手的射击能力。



图 5 带有火控系统的 Daewoo K11
Fig.5 Daewoo K11 assault rifle

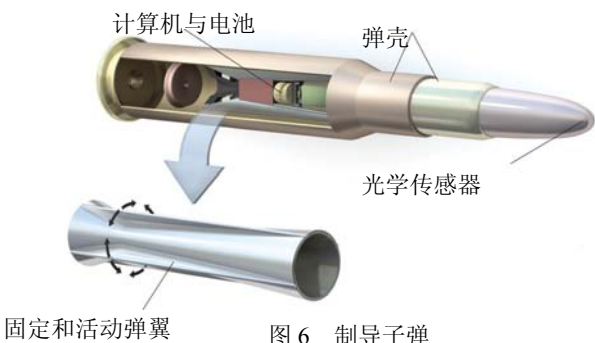


图 6 制导子弹
Fig.6 Schematic diagram of Self-guided bullet

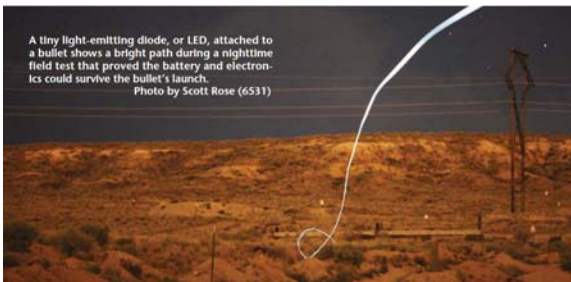


图 7 制导子弹的弹道
Fig.7 Flight path of a self-guided bullet

12.7 mm 口径制导子弹采用整装式和次口径结构（图 6^[7]），用制导子弹外的圆筒弹托满足线膛枪管（旋转）内弹道的要求，飞出枪口后制导子弹与圆筒弹托分离，制导子弹利用弹翼形成的空气动力进行弹道修正。弹身中后部的收缩-扩展结构形成弹翼结构，尾部的扩展段为拉瓦尔喷管和控制弹翼。

制导子弹由头部、中段和尾段 3 部分组成，头部用高密度材料（钨或贫化铀材料）制成并带激光探测装置。制导子弹内无炸药，依靠动能杀伤目标。中部为制导电子学和电池部分，尾部为火药和控制伺服装置。制导子弹采用半主动激光制导，只要用激光束照射目标即可，既简化了导引头的结构，又简化了瞄准-照射装置，激光照射器为超轻型激光照射器。2012 年，美国桑迪亚国家实验室成功完成了世界上首发 12.7mm 口径制导子弹的射击试验，图 7^[8]显示了子弹在飞行过程中变化的弹道。

2 第二代火力打击体系的信息化特征及其影响

2.1 第二代火力打击体系的信息化特征

第二代火力打击体系的信息化特征表现为常规武器/弹药制导化、多种制导技术并行发展。

1) 常规武器/弹药制导化

精确制导技术的发展使常规武器/弹药实现了制导化, 各型制导武器和“灵巧弹药”构成第二代火力打击体系见表3。

2) 多种制导技术并行发展

在第二代火力打击体系中, 近程导弹一般采用一种制导方式, 远程导弹采用复合制导, 主要制导方式如下:

①雷达制导(包括主动雷达、半主动雷达、被动雷达——反辐射、雷达驾束)用于防空导弹、空空导弹、反舰导弹、大型远程空地导弹等。

②激光制导(包括半主动激光、激光驾束)用于空地导弹、制导炸弹、反坦克导弹、便携式防空导弹、制导火箭弹、制导炮弹等。

③电视制导利用目标和背景对可见光信号的反射差(对比度)用于制导炸弹、空地导弹、反舰导弹、巡航导弹、弹道导弹等。

④图像匹配制导可视为一种特殊的电视制导用于巡航导弹、战役/战术弹道导弹等。

⑤红外寻的制导(包括点热源寻的和红外成像)用于空空导弹、防空导弹、空地导弹、反舰导弹、反坦克导弹、巡航导弹、弹道导弹等。

⑥无线电指令制导主要用于防空导弹。

⑦有线指令制导主要用于反坦克导弹。

上述制导方式各有优缺点, 适用于不同的作战环境, 共同点是利用目标和背景的信噪比(或对比度)——即目标和背景信号的相对变化量实现精确制导的, 所以本文将第二代火力打击的信息化特征概括为“相对打击”。

2.2 第二代火力打击体系的影响

1) 在电子战条件下作战效能降低

第二代火力打击体系催生了攻防一体的电子战(包括光电)体系, 雷达、可见光、激光、红外对抗技术和装备得以发展并集成在现役武器装备上, 或是遮挡来袭武器获取信息的传输通道, 或是干扰来袭武器对目标的识别, 或是诱偏来袭武器、或是直接拦截来袭武器(末端点防御), 另外还发展了低可探测度技术——“隐身”, 降低目标和背景之间的信号差(或对比度、信噪比)。因此, 在高强度电子战条件下, 第二代火力打击体系的作战效能降低。

1999年科索沃战争是南联盟军队利用较为简陋的技术装备、大规模应用电子战抵抗美国北约军队优势空中力量的成功案例。在为期78天的空袭中, 美国北约空军参战的1200架各型军用飞机共出动36000多架次, 发射和投放23000余枚空地导弹和炸弹, 其中35%为精确制导武器, 宣布“重创南联盟军队, 摧毁120辆坦克、220辆装甲车、超过450门火炮”。南联盟军队在处于明显劣势的情况下, 仍然积极进行大规模的主动和被动的电子对抗, 通过大量设置假目标、释放烟雾、进行无线电静默、电子和光电干扰等, 有效的保存了实力。在战争结束时, 部署在科索沃的南联盟军队仍然成建制的撤出。战后美军进入科索沃进行实地调查表明: 空袭只摧毁南联盟军队的14辆坦克、18辆装甲车、20门火炮。

2) “相对打击”制导方式局限性较大

“相对打击”的每一种制导方式都存在不足, 任何一种制导方式都不能同时满足全天候、全天时和复杂环境、特别是复杂电磁环境条件下的作战要求, 例如雷达制导难以满足对地面小目标进行稳定的跟踪和制导。虽然使用复合制导可以互补, 但也造成精确制导武器的复杂性和成本的进一步增加。

3) 大量使用精确制导武器“打不起”

第二代火力打击体系的制导方式使用由昂贵电子元器件构成的复杂制导系统, 成本居高不下, 另外在保存、维护、维修、运输、使用过程中也消耗不菲, 即使是财大气粗的美军也面临着“打不起”战争的问题。以伊拉克战争为例, 美军共发射AGM-86空射巡航导弹153枚、BGM-109“战斧”巡航导弹802枚, 以1枚BGM-109

“战斧”巡航导弹价值 150 万美元计算，仅 955 枚巡航导弹采购价就达到 14.325 亿美元。

表 3 第二代火力打击体系

Table 3 The second generation weapon system

| 武器平台 | 按用途分类 | 按射程分类 | 制导方式 |
|-------------------|--|------------------|------------------------------|
| 空基平台 | 空空导弹 | 近程格斗 | 红外寻的 |
| | | 中程拦射 | 中段+末段 |
| | 空地导弹 （包括反辐射 导弹） | 远程 | 中段+末段 |
| | | 中程 | 中段+末段 |
| | | 近程 | 电视、激光、红外成像、无线电指令 |
| | 反舰导弹 | 远程 | 中段+末段 |
| | | 中程 | 中段+末段 |
| | | 近程 | 无线电指令、雷达、红外寻的/成像、 电视 |
| | 巡航导弹 | —— | 中段惯性制导+景像匹配+地形匹配 |
| 制导炸弹 | | 电视、激光、红外成像、无线电指令 | |
| 舰艇 （舰射、潜 射） | 巡航导弹 | —— | 中段惯性制导+景像匹配+地形匹配 |
| | 反舰导弹 | 远程 | 中段+末段 |
| | | 中程 | 中段+末段 |
| | | 近程 | 无线电指令、雷达、红外寻的/成像、 电视 |
| | 舰空导弹 | 远程 | 中段+末段 |
| | | 中程 | 中段+末段、无线电指令 |
| | | 近程 | 无线电指令、雷达、红外寻的/成像、 电视、激光 |
| | 反潜导弹 | —— | （空中）中段+（水下）声制导 |
| | 陆基平台 | 战役/战术弹 道导弹 | —— |
| 巡航导弹 | | —— | 中段惯性制导+景像匹配+地形匹配 |
| 防空导弹 | | 远程 | 同舰空导弹 |
| | | 中程 | |
| | | 中近程 | |
| | | 近程防 | |
| | | 便携式 | 无线电指令、红外寻的/成像、激光 |
| 反坦克导弹 | | —— | 有线指令、无限指令、激光、红外成像、电视、 毫米波 |
| 制导炮弹 | | —— | 激光 |
| 岸舰导弹 | 同反舰导弹 | 同反舰导弹 | |
| 备注 | 表中未完全列出：第二代精确制导武器的所有种类、第二代精确制导武器的所有制 导方式、中程以上的弹道导弹和灵巧弹药 | | |

3 第三代火力打击体系及其信息化特征

第三代火力打击体系的信息化特征是采用卫星全球定位系统（GPS）与惯性导航系统（INS）或惯性测量单元（IMU）组合、高精度地理测绘数据库、天-空-地一体化的 C⁴ISR 系统。GPS 提供精确的空间-时间基准，制导武器可获得自身空间坐标随时间的变化规律，一旦确定目标的精确地理坐标，就可以计算出从制导武器位

置到目标位置的最佳路径,即依靠接收 GPS 产生的制导信号控制或修正弹道,使制导武器精确命中目标。固定目标客观存在于地球表面,大地坐标系一旦确认后,目标位置坐标就是唯一的、绝对的,因此这种依靠目标和制导武器坐标实现精确打击的方式可以称为“绝对打击”。

INS/IMU 惯性制导的核心组件是加速度计和速率陀螺,对输出数据积分 1 次得到运动物体角速度/速度与时间的关系,积分 2 次得到姿态角度/位置与时间的关系。因二者都是积分型器件,误差会随时间的增加而累积。惯性制导是完全的自主制导,只取决于制导武器的运动状态,不受外界干扰,所需要的外界信息仅为自身和目标的地理坐标。惯性制导存在的累积误差量可采用 GPS 校正。因此,INS 或 IMU 与 GPS 耦合即可构成高精度的 GPS/INS、GPS/IMU 复合制导系统,为提高精确制导武器的作战效能提供了解决方案。“绝对打击”依靠体系作战,需要高精度天基/空基/地基侦察、监视、定位和测量系统获得目标地理坐标。

第三代空地火力打击体系以美军的“3J”精确制导武器(均采用 GPS/INS 或 GPS/IMU 复合制导)为代表:“联合直接攻击弹药”(Joint Direct Attack Munitions, JDAM)系列、AGM-154“联合防区外武器”(Joint Stand-Off Weapon, JSOW)系列、AGM-158“联合空地防区外导弹”(Joint Air-to-Surface Stand-off Missile, JASSM)。下面以 JDAM 的发展为例阐述第三代火力打击体系的信息化特征。

3.1 “联合直接攻击炸弹”(JDAM)系列

“联合直接攻击炸弹”(JDAM)系列由 GPS/IMU、制导控制尾翼组件、弹体连接件、末制导导引头和高爆型 Mk80 系列(包括 900 kg 级 Mk84、450 kg 级 Mk83、227 kg 级 Mk82 和 125 kg 级 Mk81)、穿透型 BLU-100 系列(包括 900 kg 级 BLU-109/B、450 kg 级 BLU-117/B 和 BLU-119/B、227 kg 级 BLU-111/B 和 BLU-126/B)传统低阻航空炸弹构成,用于从空中投放,对敌方的地面高价值目标进行精确打击。

JDAM 发展的第一阶段是改装重磅炸弹,将 Mk 系列通用航空低阻重磅炸弹、BLU-100 系列侵彻炸弹改装成 GBU-31、GBU-32、GBU-35 和 GBU-38 JDAM;第二阶段是发展增程型 JDAM-ER(GBU-54、GBU-55、GBU-56)和“小口径炸弹”(Small Diameter Bomb, SDB),提高命中精度、射程和信息化程度,扩展应用领域。

JDAM 主要由弹体、中间连接件和制导尾翼组件等三部分构成(图 8^[9]),GPS/IMU 复合制导装置、可编程引信、热电池和尾翼及其伺服机构等均集成在制导尾翼组件中。

JDAM 可以被美国空、海军现役的轰炸机、战斗机挂载和投掷,已成为美军通用精确制导炸弹。1999 年的科索沃战争、2001 年开始的阿富汗战争、2003 年开始的伊拉克战争中,美军大量使用了 JDAM。2011 年 3 月 19 日,美国空军在干涉利比亚内政的“奥德赛黎明”行动中,从本土起飞 3 架 B-2A 隐身战略轰炸机投掷 45 枚 907 kg 的 GUB-31/B JDAM 轰炸利比亚。

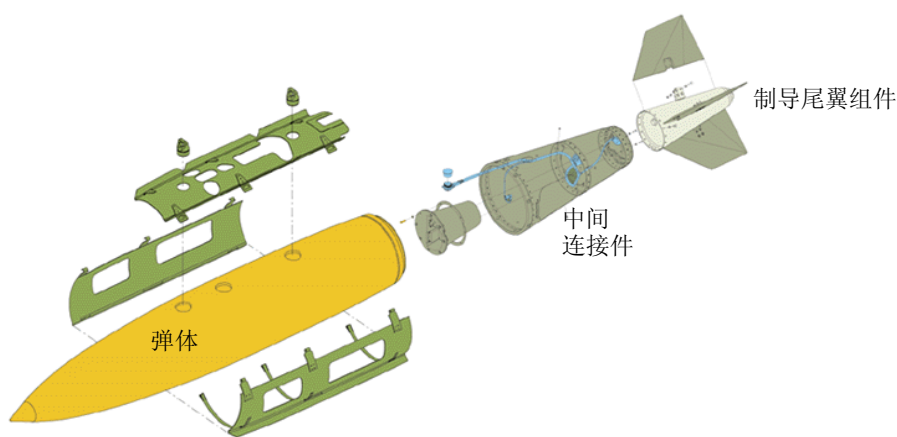


图 8 JDAM 的组成示意图

Fig.8 Schematic diagram of JDAM

3.2 JDAM 的主要特点

1) 采用“发射后不管”的 GPS/IMU 复合制导,将传统航空炸弹的命中精度(用圆概率误差表征)从 100 m 量级提高到 7~13 m,独立 IMU 制导模式的圆概率误差为 30 m。两种工作模式使其具有良好的抗 GPS 干扰的能力。

2) 采用 MIL-STD-1760 武器控制数据总线,具有在载机上重新装定目标数据的能力,在战场上可以随时改变轰炸目标,极大的提高作战灵活性。

3) 采用新型引信 FMU-143 和 FMU-152A/B “联合可编程引信”, 可以延时、触发和近炸, 以适应多种目标的攻击, 包括在指定的楼层起爆。

3.3 JDAM 的作战使用模式

JDAM 有多种作战使用模式: ①轰炸机高空 (高度 6350 m~10160 m) 水平轰炸, 射程 13 km~27.7 km; ②轰炸机低空 (高度 66 m) 上仰抛投轰炸, 射程 5.5 km~9.2 km; ③同时投掷多枚炸弹攻击同一目标或不同目标, 既可以在地面上装订目标数据, 又可以在空中重新装订目标数据。例如, F-15E “攻击鹰” 重型战斗机能够同时投放 5 枚 GBU-31 JDAM, 如图 9^[9], 可在 10000 m 以上的高空、25 km 的距离外对同一或不同方向的多个地面固定点目标进行“外科手术”式的精确打击, 并且不需要目标都在战斗机的飞行方向, 这种战术美国空军已在 1999 年的科索沃战争中实战使用过, 即由 B-2A 隐身战略轰炸机从美国本土实施远程奔袭, 同时投掷 5 枚侵略型 GBU-31(V)3/B JDAM 轰炸了中国驻南斯拉夫大使馆; ④载机在空中发现目标后再将目标数据装订到 JDAM。例如, 如图 10^[10], 美国空军 F-16 战斗机使用 JDAM 进行反辐射作战, 利用其机腹挂载的电子侦察吊舱确定雷达阵地、通信中心、广播电台等目标的坐标数据后, 装订到 GBU-31(V)1/B JDAM 后再投掷。



图9 F-15E 战斗机可同时投掷 5 枚 JDAM

Fig.9 F-15 can drop 5 JDAMs simultaneously



图10 F-16 战斗机可同时投掷 5 枚 JDAM

Fig.10 F-16 can drop 5 JDAMs simultaneously

3.4 JDAM 的改进

为持续提高 JDAM 的作战效能, 美军不断对 JDAM 进行技术改进和战术应用创新, 主要措施有:

1) 增加“16 号数据链”(Link16)。E-8 “联合监视目标攻击雷达系统”(JSTAS/MC2A) 空中指挥机接收无人侦察机 (Surveillance UAV) 获得的战场信息, 对目标进行识别和评估, 将要打击的目标数据传给附近有“16 号数据链”的轰炸机, 轰炸机将数据装订到 JDAM (Bomber Deliver JDAMs), 轰炸机投掷 JDAM 后脱离, GMTI 雷达透过云层 (Overcast) 对目标持续跟踪 (GMTI Radar Track) 并实时刷新弹上瞄准点数据 (Datalink Aimpoint Update), 在保证命中精度的同时可打击运动目标, 增大作战的灵活性, 形成“侦察-监视-打击-评估”一体化。

2) 增加半主动激光制导、非制冷红外成像制导、主动毫米波雷达制导的“直接攻击炸弹低成本导引头”(Direct Attack Munition Affordable SeeKer, DAMASK) 实现末段制导, 构成增强型 JDAM, 将圆概率误差提高到 3m, 并可打击地面机动点目标和海上舰船目标。由于 JDAM 增加了红外/电视导引头和数据链套件, F-22A 和 F-35 战斗机可以利用“人在环路”的制导方式, 从 10160 m (40000 ft) 的高空在 24.7 km~41 km (15~25 NMI) 的距离以外投放 JDAM, 对小型机动目标进行精确打击而不受云层的影响, 在中程采用 GPS/INS 制导, 在末段利用宽带数据链上传红外/电视导引头的视频 (WIDEBAND IIR/TV VIDEO LINK), 利用窄带数据链下传 LPI 指令 (NARROWBAND LPI COMMAND LINK), 利用数据链更新末段的瞄准点 (DL AIMPOINT UPDATE/TERMINAL PHASE) (图 11^[11])。

3) 加装专门研发的水雷引信, 使“联合直接攻击炸弹”变为沉底水雷, 用 B-2A 隐身战略轰炸机或 F-22A 战斗机秘密进行空中攻势布雷, 执行海上封锁任务, 既隐蔽、突然和快速, 又可以精确的布雷、控制雷场和解除封锁时的扫雷。预置瞄准点 GPS 坐标 (PREBRIEFED AIMPOINT GPS COORDINATES) 后, 载机从 10160 m (40000 ft) 的高空、在 24.7 km~41 km (15~25 NMI) 的距离以外投放沉底水雷 (MINE RELEASE) 一由 JDAM 改造而成, 水雷在中程采用全球卫星定位系统辅助的惯性导航系统制导 (GPS/INS MIDCOURSE), 为减小入水时的冲击力, 水雷接近水面时拉起再在瞄准点 (AIMPOINT) 入水 (ENERGY MANAGEMENT MANOEUVRE) (图 12^[11])。封锁目标包括航道和港口的入口 (SHIPPING LANE OR HARBOUR ENTRY), GPS

的使用便于精确的布雷和结束任务后的扫雷。

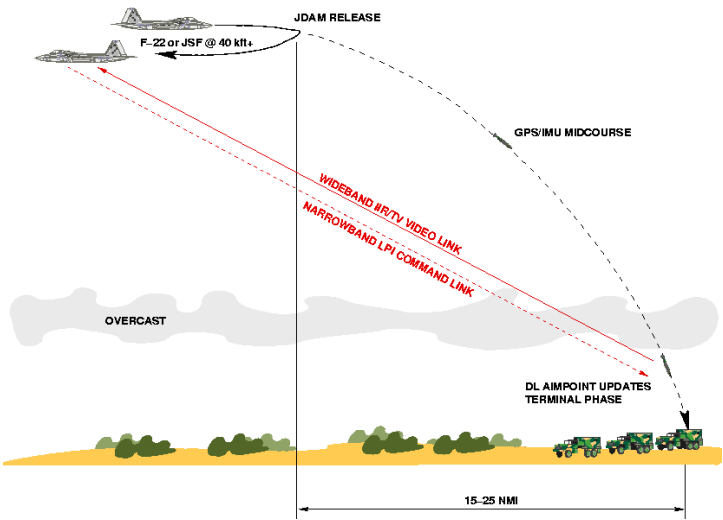


图 11 F-22A 和 F-35 战斗机使用带有导引头 JDAM 的作战示意图

Fig.11 Delivery profile for GPS/INS guided and IIR/TV seeker equipped JDAM

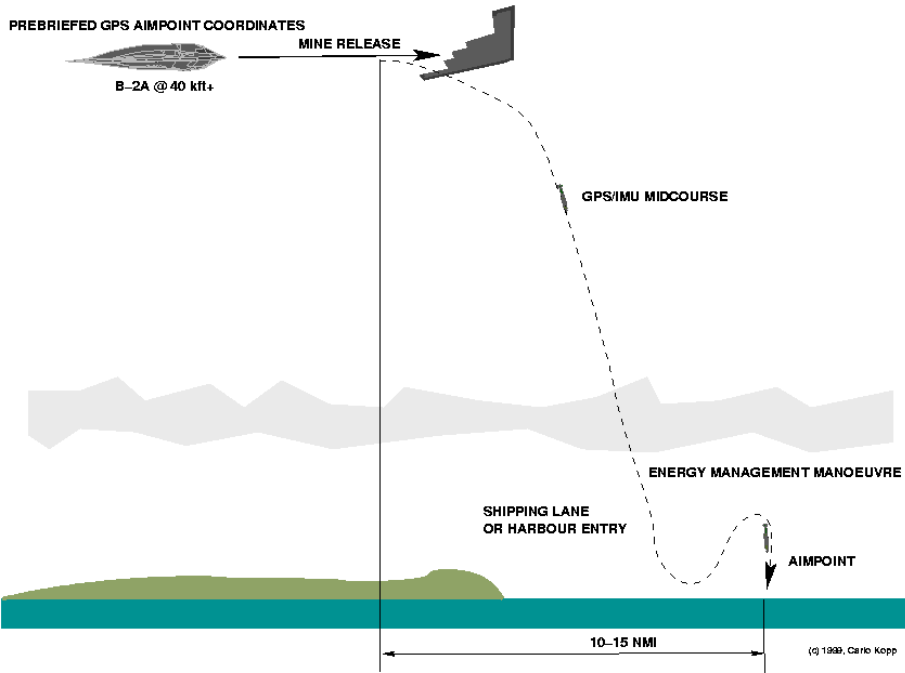


图 12 B-2A 隐身战略轰炸机攻势布雷作战示意图

Fig.12 Fig.11 Delivery profile for naval mine kit JDAM

4) 将中间连接组件发展成具有一对折叠滑翔弹翼的弹翼组件，构成“增程联合直接攻击炸弹”(Joint Direct Attack Munitions-Expendable Range, JDAM-ER)，射程提高到 64 km，预计 2015 年可提高到 110 km，具有防区外精确打击能力（图 13^[12]）。

4 第四代火力打击体系及其信息化特征

第四代火力打击体系的信息化特征是“绝对打击+相对打击+双向数据链+人在环路”，依靠目标的地理坐标和作为控制/修正弹道信息的 GPS 定位信号，将精确制导武器引导至目标附近（“绝对打击”），再利用末制导（“相对打击”）、双向数据链和人在环路，不仅实现精确命中目标，还实现打击位置选择、打击控制和毁伤评估一体化。

美军作战飞机向隐身化发展,与之配套的机载武器也采用内置弹舱挂载。为在一次出动中打击更多的地面目标并降低摧毁目标的费用,美军发展了新型的 GBU-39/B、GBU-40/B、GBU-41/B、GBU-42/B 和 GBU-53/B “小口径炸弹”(Small Diameter Bomb, SDB)——一种小型滑翔制导炸弹,满足了低成本精确打击固定和机动目标的要求,空中作战效能从以前“摧毁一个目标要出动多少架次飞机”变为“出动一个架次的飞机可以摧毁多少个目标”。



图 13 增程 JDAM Fig.13 JDAM-ER

“小口径炸弹”的发展分两个阶段:①增大射程,提高精度,为此采用“钻石背”折叠滑翔弹翼、GPS/IMU 等新技术(图 14^[13]),把 JDAM 的圆概率误差提高到 5 m~8 m;②打击机动目标,导弹网络化。通过增加非制冷红外成像、电视、合成孔径雷达等导引头和数据链,发展 GBU-53/B “小口径炸弹”(图 15^[14]),将圆概率误差进一步提高到 1 m~3 m。此外,美国空军开始实施“航空炸弹组网数据链”(Weapon Data Link Architecture, WDLA)计划,为“小口径炸弹”安装数据链,在具备精确打击机动和点目标能力的同时,还具有被其它平台“在网络中控制”的能力,因此称为第四代精确制导武器。



图 14 GBU-39/B “小口径炸弹”

Fig.14 GBU-39/B small diameter bomb



图 15 GBU-53/B “小口径炸弹”

Fig.15 GBU-53/B small diameter bomb

GBU-53/B “小口径炸弹”长度 1760 mm,翼展 1680 mm,弹径 150 mm~180 mm,重量 93 kg,最大射程 100 km,其主弹翼为结构简单的大展弦比平直弹翼且无翼尖倒角,尾部各有一竖起的针形和刀形天线,分别用于接收 GPS 和“武器数据链结构”(WDLA)的信号。GBU-53/B 的组成见图 16^[14],由导引头、全球卫星定位系统辅助的惯性导航系统(GPS/INS)、电子设备舱、聚能-爆破多效应战斗部、热电池、数据链舱、尾翼/伺服舱、弹翼等部分组成,图中表现了导引头光学设计的基本结构——卡塞格林光学结构。

GBU-53/B “小口径炸弹”的作战模式为:

1) 标准攻击:炸弹预先装订目标数据,利用 GPS/INS 制导攻击地面静止目标,以末制导方式攻击地面的机动目标^[15]。

2) 协同攻击:炸弹通过数据链获取其它飞机、地面人员的目标数据而被引导和制导,对目标进行攻击。如图 17,①通过从通用武器数据链、地面人员等获取目标数据,②分配作战任务到发射平台,③投放炸弹,④炸弹在飞行途中不断从通用武器数据链获取信息,⑤炸弹搜索目标和优化飞行路线,⑥命中目标。

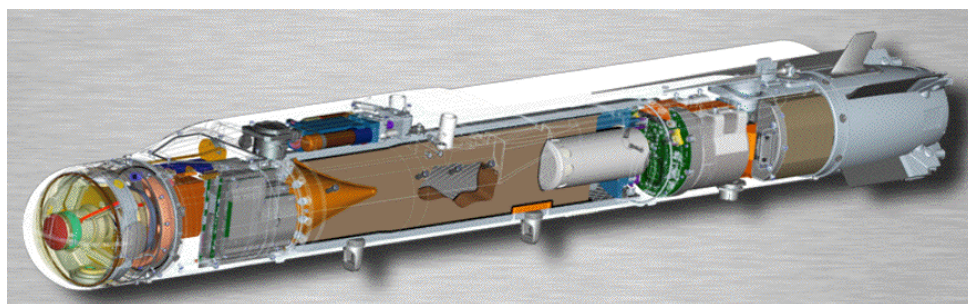


图 16 GBU-53/B “小口径炸弹”的组成示意图

Fig.16 Schematic diagram of GBU-53/B small diameter bomb

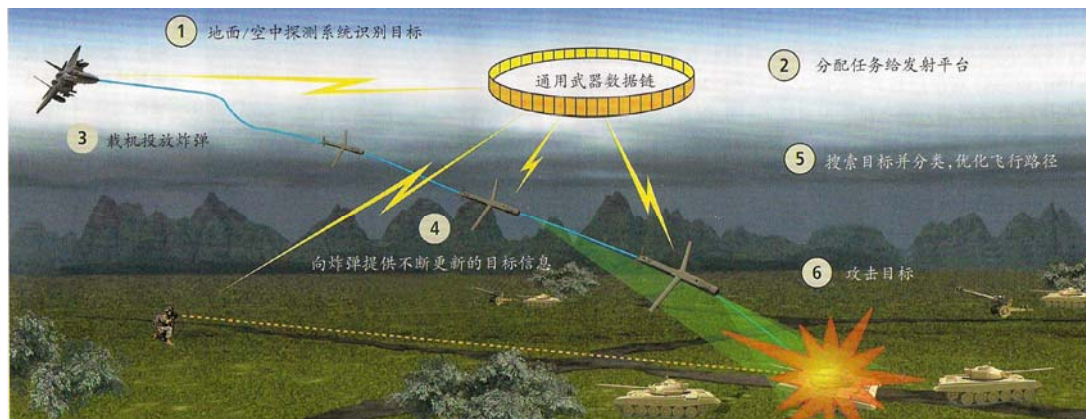


图 17 GBU-53/B “小口径炸弹”协同攻击作战示意图 Fig.17 Cooperative attack using GBU-53/B small diameter bomb

3) 即时攻击: 炸弹利用末制导对时敏目标进行攻击, 或在飞行过程中通过数据链重新装订新的目标数据, 对新目标进行攻击^[16]。

4) GBU-53/B “小口径炸弹”采用 GPS/IMU+半主动激光+毫米波+红外成像+双向数据链+人在环路制导方式, 其协同攻击和即时攻击的作战模式充分体现了第四代火力打击体系的信息化特征。

5 结语

本文分析了火力打击体系的信息化特征, 将其分为 4 代: 第一代——“惯性打击”, 第二代——“相对打击”, 第三代——“绝对打击”, 第四代——“绝对打击+相对打击+数据链+人在环路”。第四代火力打击体系依靠目标的地理坐标、由接收卫星定位系统产生的引导(制导)信号作为控制/修正弹道的信息、完成导弹/制导炸弹的中段制导, 利用末制导(“相对打击”)和双向数据链实现了精确命中目标, 此外还实现了“人在环路”中主动选择打击位置、控制打击程度、效果和毁伤评估一体化。通过对典型武器装备的信息化特征和作战使用的分析, 可以看出火力打击体系信息化的进步深刻改变着作战模式和战争形态。

致谢

北京理工大学光电学院王岭雪副教授对文章进行了文字修改和完善, 翻译了摘要、图题和表题, 特此表示感谢。另外, 对图 17 的版权所有者致以谢意。

参考文献

- [1] Carlo Kopp. *Russian/Soviet Point Defence Weapons*[M]. Air Power Australia, Technical Report APA-TR-2008-0502, 2008.
- [2] http://infowsparcie.net/wria/o_auatorze/zsu_23_4_mp.html#zsu_02[EB/OL].
- [3] Rheinmetall Air Defence AG. *White paper of Oerlikon Skyshield MOOTW/C-RAM system*[M]. Switzerland, 2013.
- [4] <http://arstechnica.com/gadgets/2013/01/17000-linux-powered-rifle-brings-auto-aim-to-the-real-world/>[EB/OL].
- [5] <http://www.nightvisionguys.com/night-and-day-clipon-scopes/atn-ps28-3p-night-vision-clipon-sight>[EB/OL].
- [6] http://www.teargas.kr/launcher&rifle/military_rifle_daewoo_k11_rifle.html[EB/OL].
- [7] Mark Anderson. Smart bullets[J]. *IEEE spectrum*, 25 May 2012.
- [8] Heather Clark. Riding the bullet: self-guided bullet prototype developed at Sandia can hit target a mile away[J]. *Sandia Labnews*, 2011, 63(24): 1.
- [9] Carlo Kopp. *JDAM matures*[M]. Air power Australia, August, 2008.
- [10] <http://www.f-16.net/f-16-news-article2145.html>[EB/OL].
- [11] Carlo Kopp. *Expanding the Envelope-Stealth and Other Strike Roles*[M]. Air power Australia, 26 July 2000.
- [12] Boeing. Boeing winged Joint Direct Attack Munition completes 1st round of tests, Boeing news release/Statements[Z]. Aug. 30, 2012.
- [13] Andreas Parsch. Boeing / Lockheed Martin SDB (Small Diameter Bomb), Directory of U.S. Military Rockets and Missiles[Z]. 2008.
- [14] Raytheon. Moving Target: Raytheon's GBU-53 Small Diameter Bomb II, Defense Industry Daily[Z]. Nov. 05, 2013.
- [15] 王小鹏, 梁燕熙, 纪明. *军用光电技术与系统概论*[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
- [16] 蔡毅, 王岭雪. 红外成像技术中的 9 个问题[J]. *红外技术*, 2013, 35(11): 671-682.