

# 大气环境对制导炸弹的影响分析

牛卉, 韩强, 李明

(湖南云箭集团有限公司, 长沙 410100)

**摘要:** 主要分析了大气环境中的雨、云、气溶胶等多种因素对制导炸弹在作战过程中的性能影响, 并提出了相关的改进措施。同时简要介绍了地理环境、城市环境等其他环境对制导炸弹造成的影响, 进一步地强调了战场环境影响分析对提高制导炸弹的作战效能具有重要意义。

**关键词:** 大气环境; 制导炸弹; 影响分析; 作战效能

中图分类号: TJ414

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2021)12-0007-06

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2021.12.002

## Impact Analysis of Atmospheric Environment to Guided Bombs

NIU Hui, HAN Qiang, LI Ming

(Hunan Vanguard Group Co., Ltd, Changsha 410100, China)

**ABSTRACT:** This paper mainly analyzes the influence of many factors in the atmospheric environment on the performance of guided bomb in the combat process, such as rain, cloud, aerosol and so on. And it puts forward the effective measures. At the same time, it briefly introduces the influence of geographical environment, urban environment and other environment on guided bomb. It further emphasizes that the battlefield environment impact analysis is of great significance to improve the operational effectiveness of guided bomb.

**KEY WORDS:** atmospheric environment; guided bomb; impact analysis; combat effectiveness

在现代战争中, 制导炸弹具有威力大、成本低、作战使用简单等优点, 战绩显著。其地位越来越重要, 并且精确制导炸弹的比例也在不断提高。为了提高制导炸弹的命中精度, 激光制导、红外制导、电视制导等制导方式相继出现, 导引头作为决定制导精度的关键器件, 其探测和识别能力尤为重要。当导引头在制导炸弹飞行过程中受到外界因素影响时, 会严重降低其探测和识别能力。随着战场环境的变化, 制导炸弹的作战环境也将面临各种恶劣环境的考验, 其中大气环境是最主要的影响因素。常见的雨雪、云雾、气溶胶、太阳光和昼夜变化等都会降低导引头的性能, 影

响制导炸弹的飞行弹道和命中精度。

## 1 大气环境

大气环境是军事活动中最重要的战场环境条件之一。充分认识大气环境, 对武器的研制试验以及顺利完成作战等任务具有重要意义。大气环境中, 气温、风、雨、云、雾等特殊天气以及太阳光、昼夜变化对军事行动影响严重, 经常使制导炸弹在飞行过程中受到影响, 这极大地限制了制导炸弹的作战效能。只有充分了解战场上大气环境的特点, 才能有效分析其对制导

收稿日期: 2021-04-23; 修订日期: 2021-06-21

Received: 2021-04-23; Revised: 2021-06-21

作者简介: 牛卉(1990—), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为航空炸弹总体设计。

**Biography:** NIU Hui (1990—), Female, Master, Engineer, Research focus: overall design of aviation bomb.

引文格式: 牛卉, 韩强, 李明. 大气环境对制导炸弹的影响分析[J]. 装备环境工程, 2021, 18(12): 007-012.

NIU Hui, HAN Qiang, LI Ming. Impact analysis of atmospheric environment to guided bombs[J]. Equipment environmental engineering, 2021, 18(12): 007-012.

炸弹的影响，避免不利因素，提高武器的作战效能<sup>[1]</sup>。

### 1.1 特殊天气

通常情况下，制导炸弹的使用高度在海平面上15 km左右，主要处于大气的对流层，天气过程也主要发生在该层，而晴空大气对制导炸弹的影响较小。当大气环境中存在云、雾、霾、气溶胶粒子、降水等恶劣气象环境时，采用激光、红外、电视等末制导体制的制导炸弹分别有以下影响。

#### 1.1.1 对激光末制导的影响

当大气存在恶劣气象环境时，会对激光产生吸收、散射、折射等现象，削弱激光的能量。激光大气透过率<sup>[2-3]</sup>通过入射光强和消光后光强的比值来确定，总的大气透过率的经验公式为：

$$\tau_t(L) = \tau_{sc}(L) \cdot \tau_{ab}(L) \tag{1}$$

式中： $\tau_{sc}$ 为散射透过率； $\tau_{ab}$ 为吸收透过率； $L$ 为传输距离。

大气中的二氧化碳、水蒸气、臭氧等分子对激光有明显吸收作用，制导炸弹中应用较多的波长是1.06  $\mu\text{m}$ ，针对1.06  $\mu\text{m}$ 激光只需要考虑水蒸气的吸收，其他分子可忽略不计。水蒸气吸收透过率的经验公式（适用于零海拔）为：

$$\tau_{ab}(L) = 1 - \text{ERF}(0.0617\sqrt{w}) \tag{2}$$

式中：ERF为误差函数； $w$ 为水蒸气含量；零海拔的水蒸气含量 $w_0=55 \text{ mm}$ 。

大气分子和气溶胶对激光有明显吸收作用，大气分子对1.06  $\mu\text{m}$ 的激光影响微弱，可忽略不计。气溶胶是分散在大气中的颗粒，最大半径可达20  $\mu\text{m}$ ，一般分为三类：烟雾和云、气溶胶、雨雪。

1) 烟雾和云引起的散射透过率为：

$$\tau_1(L) = \exp[-\gamma(\lambda)L] \tag{3}$$

$$\gamma(1.06) = \frac{3.912}{R_v} (1.93)^{-q} \tag{4}$$

式中： $R_v$ 为0.55  $\mu\text{m}$ 激光能见距离； $q$ 为常数。

$$q = \begin{cases} 1.3 & R_v \geq 11 \text{ km} \\ 0.585R_v^{\frac{1}{3}} & R_v < 11 \text{ km} \end{cases} \tag{5}$$

烟雾和云引起的散射透过率与传输距离、能见度的变化关系如图1所示。烟雾和云引起的散射透过率随着传输距离的增加而减少；相同传输距离时，烟雾和云引起的散射透过率随着能见度的增加而增加；能见度小于11 km时，烟雾和云引起的散射透过率随着能见度的变化较为明显；能见度大于11 km时，烟雾和云引起的散射透过率随着能见度的变化不太明显。

2) 气溶胶引起的散射透过率为：

$$\tau_2(L) = \exp\left[-\frac{3.912}{R_v} L\right] \tag{6}$$

从图2中可以看出，气溶胶引起的散射透过率随着传输距离的增加而减少；相同传输距离时，气溶胶

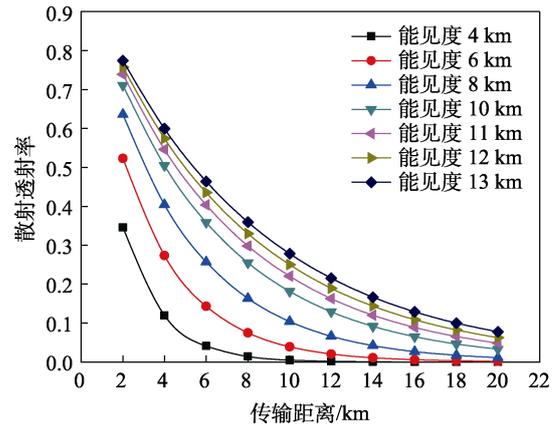


图1 烟雾和云引起的散射透过率与传输距离、能见度的变化关系

Fig.1 Relationship between scattering transmittance with transmission distance and visibility caused by smoke and cloud

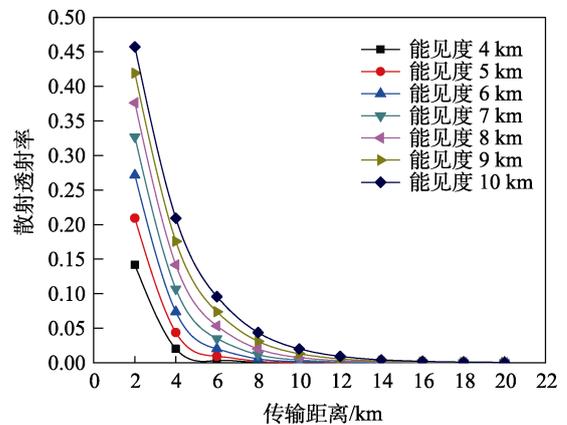


图2 气溶胶引起的散射透过率与传输距离、能见度的变化关系

Fig.2 Relationship between scattering transmittance with transmission distance and visibility caused by aerosol

引起的散射透过率随着能见度的增加而增加。

3) 雨雪引起的散射透过率为：

$$\tau_3(L) = \exp[-\delta L] \tag{7}$$

式中： $\delta$ 为雨或雪的衰减系数， $\delta$ 与降雨（雪）量的关系见表1<sup>[4]</sup>。

表1 不同天气条件对应的降雨和降雪量与 $\delta$ 的关系  
Tab.1 Relationship between rainfall and snowfall and  $\delta$  under different weather conditions

天气条件	降雨(雪)量/(mm·h <sup>-1</sup> )	$\delta$ /km
无雨或无雪	0	0
小雨或小雪	2.5	0.07
中雨或中雪	12.5	0.17
大雨或大雪	25	0.24
暴雨或暴雪	100	0.52

从图3中可以看出，雨或雪引起的散射透过率随着降雨（雪）量和传输距离的增加逐渐减小，下降非常明显。当传输距离为2 km时，小雨（雪）对应的

散射透射率为 0.87，相对较高；暴雨（雪）对应的散射透射率为 0.35，下降了 59.8%。

总的散射透射率为：

$$\tau_{sc}(L) = \tau_1(L) \cdot \tau_2(L) \cdot \tau_3(L) \quad (8)$$

总的透射率为：

$$\tau_t(L) = \tau_t(L) \cdot \tau_2(L) \cdot \tau_3(L) \tau_{ab}(L) \quad (9)$$

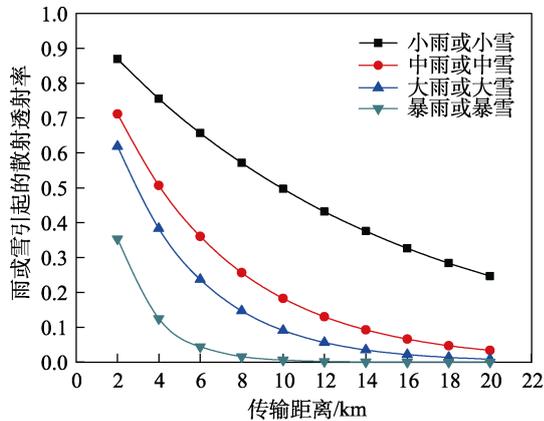


图 3 雨或雪引起的散射透射率与传输距离的变化关系  
Fig.3 Relationship between scattering transmittance with transmission distance caused by rain and snow

不同天气情况的总透射率与传输距离的变化关系如图 4 所示。总的透射率随着传输距离的增加逐渐减小，在 2~6 km 之间下降非常明显。随着激光大气透射率的减小，导引头对激光的探测距离减小，制导炸弹的作战效能受到影响；同时，机载照射器或地面激光指示系统发现目标的距离大大缩短，当云层以及浓雾遮挡地面目标比较严重时，甚至无法发现攻击目标物。

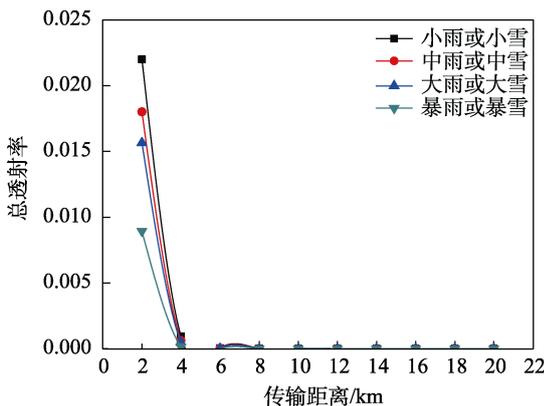


图 4 总透射率与传输距离的变化关系  
Fig.4 Relationship between total scattering transmittance with transmission distance

制导炸弹导引头具有记忆跟踪功能，在一定的记忆时间内，对云层具备一定的抗干扰能力。激光末制导的作用距离主要与大气能见度有关，还与照射器参数（脉冲能力、脉宽）、照射距离有关。通常情况下，激光的作用距离随着能见度的降低而降低。为避免激光大气后散射对导引头的影响，应尽量将照射器与激

光导引头模拟器摆放在不同位置，并根据照射器的参数，估算不同能见度下激光的作用距离，通过数值仿真和试验数据积累，得到激光导引头与照射器的最佳作用距离，从而满足制导炸弹的作战性能<sup>[5-7]</sup>。

### 1.1.2 对红外图像末制导的影响

在复杂的大气环境中，目标背景的红外特性通过大气传输到红外导引头时，会受到一定的衰减。研究表明<sup>[8]</sup>，在长波红外制导方式下，制导武器的作用距离可降低 60%左右。通常情况下，制导炸弹的红外导引头采用非制冷长波红外成像导引头。在恶劣的天气条件下，长波红外成像导引头的图像对比度急剧下降，图像质量退化，甚至无法探测到目标，红外探测距离随能见度的降低而降低。

对于红外成像制导，大气湿度和观测角度是较为关键的因素，红外透过率与观测角度和湿度的变化关系如图 5 所示。相对湿度越低，红外透过率越高；红外透过率随着观测角度的降低而降低。在湿度较低时，长波和短波红外均可正常工作，但在高温高湿条件下，长波红外受水汽的吸收较严重，其作用距离会急剧下降；红外探测距离随湿度的增大而降低<sup>[9-10]</sup>。在实际作战时，制导炸弹应尽量避免在十分恶劣的气象环境条件下使用，或通过任务规划调整飞行弹道，尽量减小天气的影响。

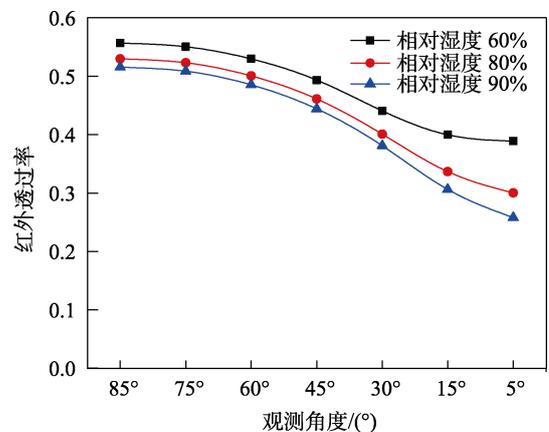


图 5 红外透过率与观测角度和湿度的变化关系  
Fig.5 Relationship between infrared transmittance and observation angle and humidity

### 1.1.3 对电视末制导的影响

电视末制导是利用目标反射的可见光信息进行制导。因此，在云雾引起的能见度较低的天气情况下，电视末制导的导引头探测距离降低，使最大探测距离小于当地的能见度，导致作战效能明显下降<sup>[11-12]</sup>。通过研究战场大气环境的衰减因数和目标背景的反射因数等参数，以及半实物仿真实验，对电视导引头性能进行评估，并针对性地采取有效的突防措施，增大电视导引头的作用距离，从而提高制导炸弹的作战效能。

### 1.2 太阳角

太阳角是光学制导武器的光轴与入射太阳光之间的夹角，也是影响作战效能的重要因素。当太阳光的光照强度强时，大气能见度好，炸弹以顺光或侧顺光进入目标，有利于提高目标与背景的对比度，便于稳定跟踪目标；一般在侧逆光条件下，也能稳定跟踪目标。但在逆光时，背景光很强烈，叠加到目标和背景上会造成对比度下降，甚至将信号淹没，图像呈现为低对比度。在实际作战时，可以根据导引头的参数确定制导炸弹正常工作的最小太阳角。尽量满足在末制导阶段导引头视场角大于最小太阳角，才能有效地保证制导炸弹的命中精度。

### 1.3 昼夜变化

在白天，由于太阳光的照射，目标和背景温度升高；而在夜晚，目标和背景温度逐渐降低。由于目标和背景物理特性的不同，两者的升温和降温过程也不同。在太阳照射下，不同的地物背景（如土壤、沙漠和植被等）昼夜 24 h 内的红外辐射温度的变化规律是不同的。不同目标类型在冬夏两个季节的 0 点和 12 点的温度变化如图 6 所示，夏季的温度变化比冬季大；道路昼夜时间内的温度变化相对较大；桥墩昼夜时间内的温度变化范围相对较小。制导炸弹在作战使用时，可根据典型目标和背景的参数，计算出该目标的不可分辨率时间窗口，避开该时间段，从而保证导引头的探测性能。

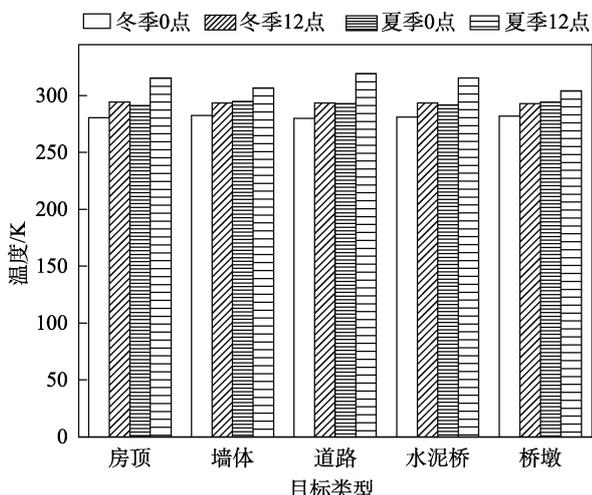


图 6 目标类型在冬夏 0 点和 12 点与温度的变化关系  
Fig.6 Relationship between target types and temperature at 0 and 12 o'clock in winter and summer

## 2 其他环境

### 2.1 地理环境

影响制导炸弹的战场地理环境主要包括山地、丘陵和高原等。当制导炸弹攻击的目标处于山地、丘陵

等地域时，起伏不连贯的山脊对目标具有遮蔽作用<sup>[13]</sup>，便于敌方隐藏作战意图，导致制导炸弹的进入方向和末制导时炸弹对目标的探测受到限制，最终造成无法命中目标。所以，在确定对该地域的目标实施打击任务时，要充分考虑地形对于末端炸弹弹道和末制导的影响。例如，可根据地形的不同，采用不同的入射角或大于该地形坡度的落角实施打击；或提升制导炸弹导引头的跟踪识别能力，对山地和丘陵地域的目标进行反斜面攻击<sup>[14]</sup>。

高原作战时，载机的飞行高度有限，目标高度的大幅增加，发射点和目标点相对高度的下降，以及高原空气密度较低等因素，均会降低制导炸弹在高海拔地区的滑翔性能和末端动能；而且在高原作战时，炸弹末端的动压较低、阻尼小、弹体响应慢，根据发射条件的不同，对命中精度也会有一定程度地影响。炸弹在飞行弹道上，风的分布不断变化，存在风切变。风切变的强度越大，对炸弹的射程偏差影响越大<sup>[15-17]</sup>。因此，应根据高原地区的作战特点制定制导炸弹的高原射表，并通过提高载机的投弹高度或投弹速度来提高制导炸弹的飞行稳定性和命中精度。

### 2.2 城市环境

城市作战环境的显著特点是建筑形成的复杂地形，城市楼群产生了类似山地、丘陵的地貌，目标周边的建筑有可能会挡住载机观察目标的视线、炸弹末制导时导引头的探测和炸弹的飞行弹道等。由于城市高层建筑大量使用的是玻璃幕墙，若制导炸弹采用激光照射，玻璃幕墙对激光产生透射和反射的影响，在未制导时会影响到目标的命中精度。随着城市的快速发展和建设，目标周边的环境不断地发生变化，会影响红外制导炸弹或电视制导炸弹图像的匹配概率<sup>[18-19]</sup>。因此，在进行任务规划时，要合理地规划弹道，充分考虑目标周边楼群对于炸弹进入方向的影响，使用具有大视角攻击能力的制导炸弹进行顶攻或侧攻，能够对高层建筑和地下（半地下）目标进行有效毁伤<sup>[20]</sup>。利用激光末制导时，合理地选择激光照射点，减小光滑楼层外的玻璃材质对激光照射光束的透射和反射的影响。利用红外末制导时，通过实时更新图像模板，提高图像模板的实效性，减小地面景物变化带来的影响，从而保证红外图像匹配的精度。

### 2.3 爆炸生成物

战场环境中还存在一些特殊因素，主要由各种爆炸产生的强光、燃烧物、扬起的烟尘、强冲击波造成的大气湍动等组成，这极大地影响了制导炸弹的作战效能。强光和热辐射的强度超过导引头探测器的数千倍，在 1 s 内会使探测器失去作用。爆炸后的气团温度高、热量大、辐射强，会降低光电导引头在各波段工作的探测能力。掀起的烟尘使战场硝烟弥漫，烟幕中的微粒对激光进行散射、吸收，从而损失了入射的

光, 对光电导引头有遮蔽和干扰作用。实验表明<sup>[21]</sup>, 与其他波长的激光束相比, 1.06  $\mu\text{m}$  的激光束被吸收得最多。强冲击波造成大气湍动, 使光束波前发生畸变, 造成光束漂移和图像跳动, 使目标图像模糊; 对激光波束, 还会使束散角变大。爆炸后, 目标外形轮廓的变化, 会造成红外成像末制导时无法与战前制备的目标图像模板匹配。因此, 制导炸弹应采用激光传输特性和穿透能力较好的导引头。同时, 在制导炸弹的使用上, 要避免与前面的攻击时间间隔过短, 从而影响制导炸弹的末制导性能<sup>[22-23]</sup>。

### 3 结语

综合上述分析, 大气环境是影响制导炸弹的主要因素。其中, 云雾、雨雪和气溶胶粒子等特殊天气以及逆光和昼夜变化等, 能够衰减激光的透射率, 降低红外成像导引头的图像匹配率, 缩短电视导引头的探测距离, 使制导炸弹的命中精度降低。其他的战场环境中, 山地、丘陵和高原等复杂地理环境以及建筑群遍布的城市环境, 会影响制导炸弹的瞄准和投放条件; 散布在战场环境中的强光、烟尘等爆炸混合物, 会遮挡和干扰制导炸弹的导引头, 使其丢失目标。

因此, 为了提高制导炸弹的环境适应能力, 前期需要开展试验数据的积累和战前侦察、搜集作战地形的情报信息, 对作战时间、作战方式和武器装备等进行合理规划, 充分发挥激光、红外、电视等导引头的优势, 针对不同的作战任务选择不同导引头的制导炸弹。同时, 要不断研究突破新的制导技术, 如复合制导。将两种或多种制导方式结合起来, 综合单一模式的制导特点, 增强导引头的抗干扰能力, 提高制导精度和导引头的全天候使用能力, 从而满足恶劣战场环境下进行精确制导的作战需求。

#### 参考文献:

- [1] 韩小冬, 高太长, 刘西川, 等. 大气环境对激光制导武器的影响[J]. 气象水文海洋仪器, 2009, 26(2): 26-30.  
HAN Xiao-dong, GAO Tai-chang, LIU Xi-chuan, et al. The influence on laser-guided weapons due to atmospheric circumstance[J]. Meteorological, hydrological and marine instruments, 2009, 26(2): 26-30.
- [2] 张玉发, 李双刚, 孙晓泉, 等. 激光大气传输投射原理及应用[J]. 光电技术应用, 2007, 22(3): 8-10.  
ZHANG Yu-fa, LI Shuang-gang, SUN Xiao-quan, et al. The transmission principle and application of laser atmospheric transmittance[J]. Electro-optic technology application, 2007, 22(3): 8-10.
- [3] 姚跃民, 温求迢, 刘小军, 等. 基于大气能见度的激光制导炸弹武器系统作战使用性能研究[J]. 航空兵器, 2017, 24(3): 74-80.  
YAO Yue-min, WEN Qiu-qiu, LIU Xiao-jun, et al. Research on laser guided bomb weapon system combat efficiency based on atmospheric visibility[J]. Aero weaponry, 2017, 24(3): 74-80.
- [4] 丛明煜, 邵成勋, 王学孝. 1.06  $\mu\text{m}$  激光半主动制导的目标与大气环境模型[J]. 红外与激光工程, 2000, 29(4): 71-77.  
CONG Ming-yu, SHAO Cheng-xun, WANG Xue-xiao. Target and atmospheric environment model of 1.06 micron laser[J]. Infrared and laser engineering, 2000, 29(4): 71-77.
- [5] 杜梓冰, 陈敬志, 段亚, 等. 复杂环境下激光制导导弹试飞技术[J]. 战术导弹技术, 2019(3): 82-87.  
DU Zi-bing, CHEN Jing-zhi, DUAN Ya, et al. Flight test technology of laser-guided missile in complex environment[J]. Tactical missile technology, 2019(3): 82-87.
- [6] 张岩岫, 王志清, 刘立武, 等. 大气散射对激光制导武器对抗态势构建影响研究[J]. 现代电子技术, 2012, 35(21): 38-40, 44.  
ZHANG Yan-xiu, WANG Zhi-qing, LIU Li-wu, et al. Influence of atmospheric scattering on confrontation building in laser guided weapon[J]. Modern electronics technique, 2012, 35(21): 38-40, 44.
- [7] 吕嵩, 马辉, 程彦杰, 等. 大气散射对激光制导武器对抗影响研究[J]. 舰船电子工程, 2014, 34(8): 162-165.  
LV Song, MA Hui, CHENG Yan-jie, et al. Atmospheric scattering effect on confrontation in laser guided weapon [J]. Ship electronic engineering, 2014, 34(8): 162-165.
- [8] 齐琳琳, 吉微, 白洁, 等. 大气对红外制导波段透过特性的影响分析[J]. 指挥控制与仿真, 2014, 36(1): 61-65.  
QI Lin-lin, JI Wei, BAI Jie, et al. Analysis of influence of atmosphere on the infrared transmittance[J]. Command control & simulation, 2014, 36(1): 61-65.
- [9] 齐琳琳, 吉微, 安洁. 基于区域实际大气的红外制导波段目标背景对比度变化特性数值计算[J]. 指挥控制与仿真, 2016, 38(1): 116-121.  
QI Lin-lin, JI Wei, AN Jie. Characteristic of target-background contrast of actual atmospheric infrared band[J]. Command control & simulation, 2016, 38(1): 116-121.
- [10] 张芳, 齐琳琳, 葛杰, 等. 气溶胶及能见度变化对标准大气中远红外传输的影响分析[J]. 红外技术, 2016, 38(12): 1047-1052.  
ZHANG Fang, QI Lin-lin, GE Jie, et al. Effect of typical-aerosol and visibility on the mid-and far-infrared light-wave transmission in the standard atmosphere[J]. Infrared technology, 2016, 38(12): 1047-1052.
- [11] 张志标, 高太长, 谢邦力, 等. 人造云雾对电视制导武器影响的半物理仿真研究[J]. 气象水文海洋仪器, 2009, 26(2): 5-8.  
ZHANG Zhi-biao, GAO Tai-chang, XIE Bang-li, et al. Half-physics simulating approach on the influence of man-made cloud and mist to TV guiding weapon[J]. Meteorological, hydrological and marine instruments, 2009, 26(2): 5-8.
- [12] 文戎, 曹邦武, 薛晓瑜. 光学干扰条件下电视导引头作用距离研究[J]. 弹箭与制导学报, 2003, 23(S3):

- 245-248.  
WEN Rong, CAO Bang-wu, XUE Xiao-yu. Research on operation distance of TV guider under optical disturbances[J]. Journal of projectiles, rockets, missiles and guidance, 2003, 23(S3): 245-248.
- [13] 黄鲁峰. 基于 GIS 的战场自然环境因子综合分析研究——以地形通行性能分析为例[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2008.  
HUANG Lu-feng. A study of the comprehensive analysis of natural environmental factors in battlefield based on GIS—a case of terrain through performance analysis[D]. Zhengzhou: PLA Information Engineering University, 2008.
- [14] 单继城, 刘蔚柯. 战场自然环境对军事行动影响[J]. 国防科技, 2017, 38(1): 108-112.  
SHAN Ji-cheng, LIU Wei-ke. Research on battlefield natural environment impacts on military operation efficiency[J]. National defense science & technology, 2017, 38(1): 108-112.
- [15] 檀望春, 夏群利, 刘小军, 等. 制导炸弹高原投放仿真研究[C]//2017年(第三届)中国航空科学技术大会论文集. 北京, 2017: 376-380.  
TAN Wang-chun, XIA Qun-li, LIU Xiao-jun, et al. The simulation about guided bombs delivery in plateau[C]//2017(the third) China aviation science and technology conference proceedings. Beijing, 2017: 376-380.
- [16] 高强, 庞志兵, 魏赫. 高原高寒环境对武器装备的影响研究[J]. 装备环境工程, 2013, 10(6): 118-122.  
GAO Qiang, PANG Zhi-bing, WEI He. Performance of weapon equipment influenced by plateau and high cold environment and its study[J]. Equipment environmental engineering, 2013, 10(6): 118-122.
- [17] 蒋明, 刘玉文, 李泳, 等. 我国高原气象条件及其对火炮外弹道特性影响[J]. 兵器装备工程学报, 2016, 37(5): 7-11.  
JIANG Ming, LIU Yu-wen, LI Yong, et al. Chinese plateau meteorological conditions and affects on external ballistic characteristics[J]. Journal of ordnance equipment engineering, 2016, 37(5): 7-11.
- [18] 牛卉, 韩强. 激光制导炸弹城市作战使用研究[J]. 兵器装备工程学报, 2019, 40(S2): 88-90.  
NIU Hui, HAN Qiang. Study on laser guided bombs of combat employment on urban environment[J]. Journal of ordnance equipment engineering, 2019, 40(S2): 88-90.
- [19] 刘娟. 现代城市战场环境研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2004.  
LIU Juan. Research on battlefield environment of modern city[D]. Zhengzhou: PLA Information Engineering University, 2004.
- [20] 韩庆贵. 适应城市作战特点 不断提升武器装备能力建设水平[J]. 国防, 2018(1): 74-79.  
HAN Qing-gui. Adapting to the characteristics of urban warfare and incessantly improving the building of the capacity of weapons and equipment[J]. National defense, 2018(1): 74-79.
- [21] 陈丽, 李涛, 李青. 烟幕对激光制导武器的影响[J]. 战术导弹技术, 2004(4): 66-67.  
CHEN Li, LI Tao, LI Qing. Influence of smoke curtain on laser guidance weapon[J]. Tactical missile technology, 2004(4): 66-67.
- [22] 武雪荣, 孙媛. 烟雾对某型激光制导炸弹战术性能干扰研究[J]. 信阳农业高等专科学校学报, 2012, 22(4): 119-120.  
WU Xue-rong, SUN Yuan. Study of tactical performance of laser-guided weapon obscured by smoke screen[J]. Journal of Xinyang Agricultural College, 2012, 22(4): 119-120.
- [23] 殷希梅, 张航. 浅谈制导技术的应用与发展[C]//OSEC 首届兵器工程大会论文集. 重庆, 2017: 582-584.  
YIN Xi-mei, ZHANG Hang. Application and development of guidance technology [C]// Proceedings of the first Ordnance Engineering Conference, 2017: 582-584.