

# 多型反舰导弹协同攻击岛礁区目标攻击方向选择研究

陈榕, 沈培志, 张海峰, 李俊  
(海军航空工程学院, 山东烟台 264001)

**摘要:** 攻击岛礁区舰船面临背景复杂和岛礁阻碍的问题, 而使用不同飞行速度、不同飞行弹道、不同制导模式的多型反舰导弹多方向组合攻击可提高攻击的有效性。在考虑岛礁对导弹航路飞行和雷达导引头捕捉目标的影响以及相邻导弹攻击方向夹角的要求基础上, 建立了多平台多型号反舰导弹组合攻击岛礁区目标的攻击方向协同模型。示例验证表明, 所建模型可为各校导弹合理选择攻击方向提供理论依据。

**关键词:** 岛礁区; 舰船; 反舰导弹; 组合攻击; 攻击方向; 协同攻击

**中图分类号:** TJ761.1      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1671-637X(2016)05-0022-04

## Attack Angle Selection for Attacking Ships in Coral Island or Reef Area Using Multi-type ASMs

CHEN Rong, SHEN Pei-zhi, ZHANG Hai-feng, LI Jun  
(Navy Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China)

**Abstract:** In attacking the ships in coral island or reef area, there exist the disadvantages of complicated background and obstacles. Combination attack using multi-type Anti-Ship Missiles (ASMs) with different flight velocities, different trajectories and different guidance modes in multiple directions can improve the attack effect. Based on the influence of islands to missile path and target acquisition of radar seeker, and the angle required between adjacent missiles, an attacking angle coordination model is built up for coordinated attack of multi-type ASMs from multi-platform in attacking ships in coral island or reef area. The example shows that the model established can be taken as a theoretical reference for selecting reasonable angles for each missile.

**Key words:** coral island or reef area; ship; anti-ship missile; combination attack; attack angle; coordinated attack

### 0 引言

未来, 对近岸港内目标的打击将是反舰导弹面临的新作战任务<sup>[1]</sup>。相对于开阔海区的目标, 打击岛礁区目标的行动显得更为复杂<sup>[2]</sup>。时间协同、空间协同和频率协同不但是反舰导弹攻击目标的主要协同内容, 也是有效提高攻击效果的重要协同方式<sup>[3]</sup>。在近岸环境下, 采取不同飞行速度、不同飞行弹道、不同末制导模式的导弹协同对敌舰集中突击, 可充分发挥不同型号导弹的优势, 提高对敌舰船防空系统的突防概率。而合理确定不同导弹的攻击方向, 达到既分散敌

舰抗击效果, 又减小岛礁对导弹飞行和目标捕捉的影响, 同时避免弹间干扰的效果, 是目前急需研究且具有重要意义的问题。

本文根据反舰导弹攻击岛礁区目标协同方式, 综合考虑目标、岛礁、发射平台的相对位置关系, 导弹航路规划, 弹间干扰, 目标捕捉等因素, 分析攻击方向的确定原则, 研究多型反舰导弹攻击方向选择模型, 为导弹攻击方向选择提供理论依据。

### 1 反舰导弹攻击岛礁区目标协同方式

技术的发展使得现代反舰导弹亚、超并存, 雷达制导、红外制导兼具, 高、中、低弹道皆有, 可对敌水面舰艇形成“高低、快慢”, “雷达制导、红外制导”协同的突击方式。其协同方式主要有以下几点。

1) 时间协同, 就是按照导弹航程飞行时间长短的

收稿日期: 2015-04-13      修回日期: 2016-02-26

基金项目: 海军航空工程学院青年基金(14QNJ016)

作者简介: 陈榕(1984—), 男, 江西新余人, 博士, 讲师, 研究方向为海军兵种战术。

顺序来严格控制发射顺序和发射间隔,使得导弹同时到达目标,敌方的防空体系达到饱和,确保部分反舰导弹能够可靠突防,或使不同导弹以一定的时间间隔到达目标<sup>[4-5]</sup>。

2) 空间协同,就是对导弹的攻击空域进行合理划分,科学确定不同导弹的攻击高度、攻击方向和攻击时间,避免导弹间的碰撞和导引头之间的相互干扰<sup>[4,6]</sup>。

3) 频率协同,就是尽可能地混用不同波段的导引头,合理使用同波段导引头的不同频率,相对均匀安排波段和频段,避免相互干扰,增强抗干扰能力<sup>[4]</sup>。

当采用雷达制导与红外制导结合、亚音速与超音速结合、高弹道与低弹道结合对岛礁区目标舰艇进行组合攻击时,确定不同导弹的攻击方向是协同的重要问题之一。

## 2 攻击方向确定原则

根据航路特点,现代反舰导弹可分为不具备航路规划能力的导弹和具备航路规划能力的导弹。

不具备航路规划能力的反舰导弹的攻击方式即为直接攻击方式,此时导弹飞行航路只有一个导航点(目标现在点或目标坐标),导弹在发动机点火后,直接转向目标的现在点(或坐标)飞行。该类型导弹无法通过导弹的横向机动来规避航路上的岛屿等障碍,也不能通过导弹机动改变攻击角。换言之,其只能通过设定导弹航路飞行高度规避障碍,预先选定发射方位来满足攻击角的要求。

具备航路规划能力的反舰导弹的攻击方式有两种,即直接攻击方式和迂回攻击方式。直接攻击方式同上,不赘述。采用迂回攻击方式时,导弹飞行航路可设置数个导航点(包括目标位置,也叫航路点),导弹在发动机点火后按装定的航路飞行,首先以装定的转弯半径转向第一航路点飞行,达到第一航路点后,再转向第二航路点飞行,达到第二航路点后,再转向目标现在点或目标坐标(即第三航路点)飞行。导弹可通过航路点的位置和数量规避岛屿等障碍,改变攻击角,其发射方位的选择相对较灵活。

### 2.1 直接攻击方向选择

在以下几种条件下,可选择直接攻击方式:

1) 当目标距离大于最小射程且小于导弹能够进行航路规划的最小距离时,应选择直接攻击方式;

2) 当目标的防空导弹有效射程大于导弹的最大射程时,为保证载机的安全,可选择在导弹的最大作用距离用直接攻击方式攻击目标;

3) 当对指定目标只发射1枚导弹,且导弹直接攻击航路上及末制导雷达搜捕禁区内没有陆地或岛屿等

障碍时,可选择直接攻击方式。

### 2.2 迂回攻击方向选择

在以下几种条件下,部分或全部导弹可选择迂回攻击方式:

1) 当目标距离大于导弹能够进行航路规划的最小距离,而小于导弹最大射程时,可选择迂回攻击方式;

2) 当同一平台发射多枚导弹对目标进行饱和和攻击时,为避免导弹航路交叉,应进行航路规划,同一飞行高度最多只允许1枚导弹采用直接攻击方式,其他导弹应采取迂回攻击的方式攻击目标;

3) 当对指定目标同时发射不具备航路规划能力的导弹和具备航路规划能力的导弹进行组合攻击时,具备航路规划能力的导弹至多有1枚导弹可采用直接攻击方式,而不具备航路规划能力的导弹进行直接攻击时,不同导弹应合理选择弹道高度,避免导弹交叉。

## 3 攻击方向模型

攻击方向 $\theta$ 是指反舰导弹飞临目标时相对于目标的方向,通常以舷角表示,所以也称为攻击舷角。有利的攻击方向通常有一定的角度范围限制,不妨假定 $\theta \in [\theta^0, 180^\circ - \theta^0]$ (通常情况下 $\theta^0 \in [0^\circ, 90^\circ]$ )。

### 3.1 迂回攻击方向模型

若导弹具备航路规划能力,如图1所示,目标舰艇位于岛礁之间,发射平台(以飞机为例)与目标舰艇间有岛礁A。为规避岛礁A对低空突防的影响,导弹需采取迂回方式进行攻击。以发射点M为坐标原点,以过发射点M与目标位置点T的射线作为直角坐标系的X轴,参考文献[7]中有关反舰导弹突防水面舰艇论述,建立单枚导弹*i*一个航路点规避岛礁航路规划的简化模型(假定目标位于发射平台作战范围内,且只能从图1中左侧攻击)。

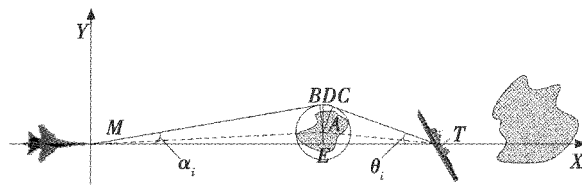


图1 单枚导弹一个航路点规避岛礁航路规划简化模型

Fig. 1 Simplified one waypoint path planning model of single missile for eluding island

图1中:MBDCT为导弹实际航程 $D_i$ ;MT为导弹发射距离 $D_0$ ;AB为导弹转弯半径 $r_i$ ; $\theta_i$ 为导弹攻击角;岛礁A的外径为 $l$ ,则其等效圆半径 $r_0 = l/2$ ;岛礁A距目标T的距离为 $AT = d_{AT}$ ,发射点M距岛礁A的距离 $AM = d_{AM}$ , $AE = d$ ,导弹最小转弯半径为 $r_{min}$ 。假定导弹飞行弹道为理想弹道,即在进入转弯点B和改出转弯点C时,

导弹飞行方向与圆弧  $\widehat{BDC}$  相切。则有

$$\begin{cases} \theta_i = \arcsin(r_i/d_{AT}) + \arcsin(d/d_{AT}) \\ D_0 = \sqrt{d_{AT}^2 - d^2} + \sqrt{d_{AM}^2 - d^2} \\ D_i = d_{AT} + d_{AM} + \frac{\arcsin(r_i/d_{AT}) + \arcsin(r_i/d_{AM})}{180^\circ} \pi r_i \end{cases} \quad r_i \geq (r_0, r_{\min}) \quad (1)$$

若从岛礁 A 另一面攻击, 则

$$\theta_i = \arcsin(r_i/d_{AT}) - \arcsin(d/d_{AT}) \quad (2)$$

由式(1)、式(2)可求得导弹攻击角  $\theta_i$  (第一象限为正, 第二象限为负), 下面根据如图 2 所示(图中,  $T$  为非坐标原点)的真北方向  $N$ 、目标航向、 $Y$  轴之间的关系, 建立攻击方向模型。

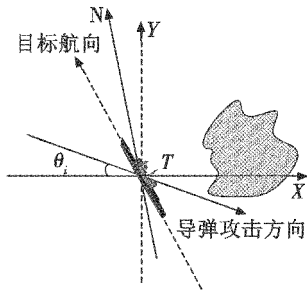


图 2 真北方向、目标航向、 $Y$  轴三者之间的关系

Fig. 2 Relationship of true north, target course and  $Y$ -axis

不妨令目标航向为  $\varphi_T$  (真北方向顺时针旋转到目标舰艏的角度),  $Y$  轴与真北方向的夹角为  $\varphi_Y$ , 则目标航向与  $Y$  轴的夹角为  $\varphi_T - \varphi_Y$ , 攻击方向与  $Y$  轴的夹角为  $90^\circ + \theta_i$ , 由此可知攻击方向为

$$\theta = \varphi_T - \varphi_Y - \theta_i - 270^\circ \quad (3)$$

联立式(1) ~ 式(3)可得导弹迂回攻击时的攻击方向模型, 即

$$\begin{cases} \theta = \varphi_T - \varphi_Y - \theta_i - 270^\circ \\ \theta_i = \arcsin(r_i/d_{AT}) \pm \arcsin(d/d_{AT}) \\ \theta \in [\theta^0, 180^\circ - \theta^0], \theta^0 \in [0^\circ, 90^\circ] \end{cases} \quad (4)$$

### 3.2 直接攻击方向模型

若导弹不具备航路规划能力, 或采取直接攻击方式, 为避免对低空突防产生影响, 则导弹直航航路须避开岛礁 A。如图 3 所示, 发射平台只能位于  $F(F')$  点所示区域, 即

$$\begin{cases} \theta^1 = \arcsin(r_0/d_{AT}) + \arcsin(d/d_{AT}) \\ \theta^2 = \arcsin(r_0/d_{AT}) - \arcsin(d/d_{AT}) \\ \theta_i \in \{-90^\circ \leq \theta_i \leq \theta^2 \cup \theta^1 \leq \theta_i \leq 90^\circ\} \end{cases} \quad (5)$$

联立式(3)、式(5)可得导弹直接攻击时的攻击方向模型, 即

$$\begin{cases} \theta = \varphi_T - \varphi_Y - \theta_i - 270^\circ \\ \theta_i \in \{-90^\circ \leq \theta_i \leq \theta^2 \cup \theta^1 \leq \theta_i \leq 90^\circ\} \\ \theta \in [\theta^0, 180^\circ - \theta^0], \theta^0 \in [0^\circ, 90^\circ] \end{cases} \quad (6)$$

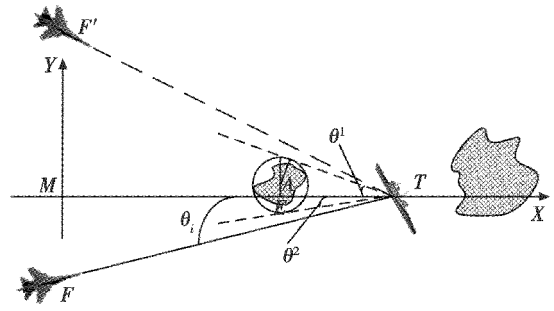


图 3 单枚导弹直接攻击航路简化模型

Fig. 3 Simplified path planning model of single missile while attacking straightway

## 4 多型导弹攻击方向选择

多平台齐射反舰导弹攻击角的分配应遵循的原则为:

- 1) 不具有航路规划能力的导弹目标方位线(挂载平台与目标连线)上不应有岛礁等障碍;
- 2) 同平台发射的不具有航路规划能力的导弹攻击方向相同, 但应为不同导弹设置不同的弹道飞行高度;
- 3) 具备航路规划能力的导弹之间、与不具备航路规划能力的导弹之间的攻击方向不同;
- 4) 相邻攻击方向之间应保持一定的差值, 即攻击差角  $\gamma$ , 且  $\gamma \in [\gamma_{\min}, \gamma_{\max}]$ ;
- 5) 各导弹的弹道在理论上不应有交叉;
- 6) 采取迂回攻击时, 同平台齐射的反舰导弹转弯半径相同。

另外, 由文献[8-9]可知, 雷达制导导弹的导引头受岛礁背景的影响较大, 垂直或平行于岛礁攻击都不利于目标捕捉, 故雷达制导导弹攻击时其攻击方向应与岛礁保持一定的角度。令雷达制导导弹攻击方向满足  $\theta \in [\theta_{\min}^{\text{radar}}, \theta_{\max}^{\text{radar}}] \cup [\theta_{\min}^{\text{radar}} + 90^\circ, \theta_{\max}^{\text{radar}} + 90^\circ]$ 。

如图 4 所示, 假定三平台挂载三型反舰导弹对目标舰船进行组合攻击, 平台  $M_1$  发射 4 枚具备航路规划能力的雷达制导反舰导弹, 平台  $M_2$  发射 4 枚具备航路规划能力的红外制导反舰导弹, 平台  $M_3$  发射 2 枚不具备航路规划能力的雷达制导反舰导弹(导弹飞行高度不同, 图中粗实线所示)。

平台  $M_1$  发射的 4 枚导弹的攻击方向模型为

$$\begin{cases} \theta_1^i = \theta_2^i - \gamma \\ \theta_2^i = \varphi_T - \varphi_Y - \theta^i - 270^\circ (\theta^i \geq \theta_i = \arcsin(r_i/d_{AT}) + \arcsin(d/d_{AT})) \\ \theta_3^i = \varphi_T - \varphi_Y - \theta^i - 270^\circ (\theta^i \geq \theta_i = \arcsin(r_i/d_{AT}) - \arcsin(d/d_{AT})) \\ \theta_4^i = \theta_3^i + \gamma \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \theta_i^i &\in [\theta_{\min}^{\text{radar}}, \theta_{\max}^{\text{radar}}] \cup [\theta_{\min}^{\text{radar}} + 90^\circ, \theta_{\max}^{\text{radar}} + 90^\circ], \\ \theta_i^i &\in [\theta^0, 180^\circ - \theta^0], \theta^0 \in [0^\circ, 90^\circ], i = 1, 2, 3, 4 \end{aligned}$$

平台  $M_2$  发射的 4 枚导弹的攻击方向模型为

$$\begin{cases} \theta_1^2 = \theta_4^1 + \gamma \\ \theta_2^2 = \theta_4^1 + 2\gamma \\ \theta_3^2 = \theta_4^1 + 3\gamma \\ \theta_4^2 = \theta_4^1 + 4\gamma \end{cases} \quad (8)$$

$$\theta_i^2 \in [\theta^0, 180^\circ - \theta^0], \theta^0 \in [0^\circ, 90^\circ], i = 1, 2, 3, 4$$

平台  $M_3$  发射的 2 枚导弹的攻击方向模型为

$$\begin{cases} \theta_1^3 = \theta_2^3 = \theta_1^1 - \gamma \\ \theta_i^3 \in [\theta_{\min}^{\text{radar}}, \theta_{\max}^{\text{radar}}] \cup [\theta_{\min}^{\text{radar}} + 90^\circ, \theta_{\max}^{\text{radar}} + 90^\circ] \\ \theta_i^3 \in [\theta^0, 180^\circ - \theta^0], \theta^0 \in [0^\circ, 90^\circ], i = 1, 2. \end{cases} \quad (9)$$

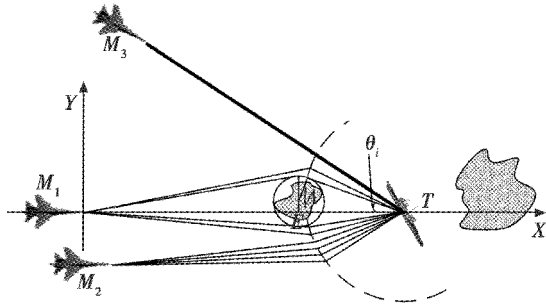


图4 三平台齐射三型导弹攻击方向模型  
Fig. 4 Attack angle model of tri-type missiles launched by three platforms

### 5 示例

如图4所示,在某次作战行动中,已知  $l = 16 \text{ km}$ ,  $r_0 = 8 \text{ km}$ ,  $d_{AT} = 60 \text{ km}$ ,  $d = 4 \text{ km}$ , 平台  $M_1$  挂载导弹最小转弯半径  $r_{\min} = 10 \text{ km}$ ,  $\theta^0 = 20^\circ$ ,  $\varphi_T = 355^\circ$ ,  $\varphi_Y = 5^\circ$ ,  $\gamma_{\min} = 5^\circ$ ,  $\gamma_{\max} = 20^\circ$ ,  $\theta_{\min}^{\text{radar}} = 30^\circ$ ,  $\theta_{\max}^{\text{radar}} = 60^\circ$ 。则由式(7)~式(9)可知,平台  $M_1, M_2, M_3$  发射各导弹攻击方向为

$$\begin{cases} \theta_1^1 = \theta_2^1 - \gamma \\ \theta_2^1 = 80^\circ - \theta' (\theta' \geq 14^\circ) \\ \theta_3^1 = 80^\circ - \theta'' (\theta'' \geq 6^\circ) \\ \theta_4^1 = \theta_3^1 + \gamma \\ \theta_1^2 = \theta_4^1 + \gamma \\ \theta_2^2 = \theta_4^1 + 2\gamma \\ \theta_3^2 = \theta_4^1 + 3\gamma \\ \theta_4^2 = \theta_4^1 + 4\gamma \\ \theta_1^3 = \theta_2^3 = \theta_1^1 - \gamma \end{cases} \quad (10)$$

$$\theta_i^1 \in [30^\circ, 60^\circ] \cup [120^\circ, 150^\circ], i = 1, 2, 3, 4$$

$$\theta_i^2 \in [20^\circ, 160^\circ], i = 1, 2, 3, 4$$

$$\theta_i^3 \in [30^\circ, 60^\circ] \cup [120^\circ, 150^\circ], i = 1, 2$$

由式(10)可知,可根据攻击差角  $\gamma$  和  $\theta', \theta''$  的取值范围合理确定各导弹的攻击方向。

### 6 结束语

雷达制导与红外制导结合、亚音速与超音速结合、高弹道与低弹道结合对目标舰艇进行组合攻击可有效提高对现代防空系统的突防概率。本文在考虑岛礁对导弹航路飞行的阻碍、对雷达导引头捕捉目标的影响以及弹间干扰的基础上,建立了多平台多型号反舰导弹组合攻击岛礁区目标的攻击方向协同模型,并举例给出一定背景下组合攻击的导弹攻击方向选择范围,验证了模型的有效性和实用性。多型导弹协同攻击时,不同导弹的攻击方向模型还会受到攻击过程中发射平台机动的影响,为更加准确地建立攻击方向模型,平台机动的影响也是值得下一步研究的问题。

### 参考文献

- [1] 赵峰民,刘焱,陈望达.反舰导弹近岸打击关键技术分析[J].飞航导弹,2012(3):13-19. (ZHAO F M, LIU H, CHEN W D. Analysis of key technology of attack target in shore by anti-ship missile [J]. Winged Missiles Journal, 2012(3):13-19.)
- [2] 邓力,马登武,郭小威.反舰导弹协同攻击近岸目标数据链组网研究[J].弹箭与制导学报,2013,33(1):28-33. (DENG L, MA D W, GUO X W. The research on data link networking algorithm about anti-ship missiles cooperative attack of nearshore target [J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2013, 33(1):28-33.)
- [3] 曾家有,钟建林,高青伟.舰艇编队组织反舰导弹协同饱和攻击任务规划问题分析[J].飞航导弹,2012(5):24-26. (ZENG J Y, ZHONG J L, GAO Q W. Analysis on ship-to-ship missile saturation attack mission programming problem of ship formation [J]. Winged Missiles Journal, 2012(5):24-26.)
- [4] 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,2014,35(2):256-261. (ZENG J Y, WANG G W, ZHONG J L, et al. Research on cooperative saturation attack problems and models of ship-to-ship missiles from multi-ship platforms [J]. Acta Armamentarii, 2014, 35(2):256-261.)
- [5] BU X J, ZHANG W S, DONG W H, et al. The evaluation of collaboration effect using the command control system response time [C]//Proceedings of International Conference of Modeling and Simulation, Nanjing: Nanjing University of Science and Simulation, 2008:1-6.
- [6] WANG G H, SUN X F, ZHANG L P, et al. Saturation attack based route planning and threat avoidance algorithm for cruise missile[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2011, 22(6):948-953.

(下转第98页)

到的曲线,此时 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度变化量对应的电压变化量约为 $225\text{ mV}$ ,图中,波形是经过示波器探针 $10$ 倍缩小后得到的波形,峰峰值约为 $10\text{ mV}$ (实际值约为 $100\text{ mV}$ ),对应温度波动峰峰值约为 $0.04\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,即稳态温度波动约为 $\pm 0.02\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,满足系统温差小于 $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的要求。

#### 4 结论

偏振仪器探测精度是一个复杂的系统性问题。本文通过对应用于气溶胶航天遥感的高精度偏振探测器相关参数的分析计算,得出温度对遥感探测精度有重要制约作用的结论,并获得了探测器工作温度波动 $\Delta T$ 不大于 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时才能实现红外波段偏振探测精度优于 $0.2\%$ 的技术指标,设计出了一套稳态温度波动 $\Delta T$ 优于 $\pm 0.02\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高精度温控系统,为探测器达到 $0.2\%$ 的测量精度提供了前提。

该温控系统不仅适用于本文所涉及的探测器温控,还可衍生应用于其他类似的高精度温度控制场合,具有广泛的航天、军工、商业应用前景。

#### 参 考 文 献

- [1] SCHWARTZ S E. Uncertainty requirements in radiative forcing of climate change[J]. Air & Waste Management Association, 2004, 54(11):1351-1359.
  - [2] SPINHIRNE J D, PALM S P, HART W D, et al. Cloud and aerosol measurements from GLAS: overview and initial results[J]. Geophysical Research Letters, 2005, 32(32):109-127.
  - [3] CAIRNS B, RUSSELLB E E, LAVEIGNEB J D, et al. Research scanning polarimeter and airborne usage for remote sensing of aerosols[J]. SPIE, 2003, 5158:33-44.
  - [4] 陈立刚, 洪津, 乔延利, 等. 一种高精度偏振遥感探测方式的精度分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2008, 28(10):2384-2387. (CHEN L G, HONG J, QIAO Y L, et al. Accuracy analysis on a sort of polarized measurement in remote sensing [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2008, 28(10):2384-2387.)
  - [5] FENG W W, CHEN L G. The impact of the orientation angles uncertainty of instrument polarizers on polarization measurement accuracy[J]. Optik, 2010, 121(24):2276-2279.
  - [6] BASS M, DECUSATIS C, ENOCH J, et al. Hand book of optics[M]. New York: McGraw-Hill Professional, 2010.
  - [7] CIZDZIEL A P, MERLO T, KORMOS K, et al. The santa barbara research center multimodule shortwave IR linear array and scene simulator[J]. Proc Spie, 1988, 972:83-106.
  - [8] MISHCHENKO M I, CAIRNS B, HANSEN J E, et al. Monitoring of aerosol forcing of climate from space: analysis of measurement requirements[J]. Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, 2004, 88:149-161.
  - [9] 鲍健, 孙力, 樊宏, 等. 高精度二极管激光温度控制器设计及参数整定[J]. 光电子·激光, 2005, 16(6):659-661. (BAO J, SUN L, FAN H, et al. Design of high precise temperature controller for LDs [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2005, 16(6):659-661.)
  - [10] 朱茂华, 谷彤昭, 钟福艳. 半导体激光器温度控制的研究[J]. 物理与工程, 2003, 13(4):40-41, 60. (ZHU M H, GU T Z, ZHONG F Y. Research on the temperature control of laser diode [J]. Physics and Engineering, 2003, 13(4):40-41, 60.)
  - [11] 吴宏鑫, 沈少萍. PID 控制的应用与理论依据[J]. 控制工程, 2003, 10(1):37-42. (WU H X, SHEN S P. Basic of theory and applications on PID control [J]. Control Engineering of China, 2003, 10(1):37-42.)
  - [12] 江孝国, 祁双喜, 王伟. 高精度半导体激光器自稳温控系统[J]. 电子技术, 2005, 29(5):56-59. (JIANG X G, QI S X, WANG W. Temperature controller of high precise semiconductor laser [J]. Electronic Technology, 2005, 29(5):56-59.)
  - [13] 陶永华. 新型 PID 控制及其应用[J]. 工业仪表与自动化装置, 1997(4):60-64. (TAO Y H. New type PID control and its application [J]. Industrial Instrumentation & Automation, 1997(4):60-64.)
  - [14] ESMAN R D, RODE D L.  $100\text{-}\mu\text{K}$  temperature controller [J]. Review of Scientific Instruments, 1983, 54(10):1368-1370.
- (上接第 25 页)
- [7] 汪浩, 胥辉旗, 马良. 基于饱和攻击的伴飞诱饵与反舰导弹协同突防能力研究[J]. 弹箭与制导学报, 2010, 30(5):29-31. (WANG H, XU H Q, MA L. Study of cooperation penetration capability of anti-ship missile and escort free-flight decoys based on saturation attack [J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2010, 30(5):29-31.)
  - [8] 董受全, 刘志强. 反舰导弹对近岸目标射击的研究[J]. 飞航导弹, 2000(11):12-14. (DONG S Q, LIU Z Q. Research on firing alongshore target with anti-ship missile [J]. Winged Missiles Journal, 2000(11):12-14.)
  - [9] 王建国, 沙卫晓, 刘涛, 等. 反舰导弹攻击近岸目标问题研究[J]. 弹箭与制导学报, 2010, 30(2):71-72. (WANG J G, SHA W X, LIU T, et al. Study of attacking alongshore target with anti-ship missile [J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2010, 30(2):71-72.)