2018年第二届全国大学生军事数学建模竞赛题目

A题水面舰艇防御鱼雷问题

未来海战中，水面舰艇面临的来自水下主要威胁是鱼雷攻击。随着鱼雷高能、定向战斗部，以及智能识别和制导技术的发展，鱼雷对水面舰艇的威胁越来越严重。鉴于此，世界各国纷纷投入巨资开展水面舰艇防御鱼雷的装备和方法研究，包括研制对抗鱼雷的各种高性能软硬武器。但无论武器装备如何发展，水面舰艇对抗鱼雷的过程一般都是舰艇机动和对鱼雷的拦截（或干扰、诱骗等）两种措施配合实施。所以，舰艇的机动方案优化计算在鱼雷防御方案计算中至关重要。

以水面舰艇防御声自导鱼雷攻击方案为例。声自导鱼雷攻击水面舰艇的过程一般为：鱼雷发射平台搜索发现舰艇后，通过一定的算法对舰艇的运动要素进行解算，然后根据解算出的舰艇运动要素计算鱼雷攻击参数（如鱼雷航向等）并发射鱼雷，鱼雷发射入水后边航行边搜索，一旦发现并识别出要攻击的目标，便对目标进行锁定并转入追击机动。鱼雷发现并识别出目标也称鱼雷捕获目标。

简单起见，可以将声自导鱼雷对目标的搜索区域简化为位于鱼雷首部前方关于鱼雷中轴线左右对称的扇形区域。该区域范围可用该扇面半径和扇面半角表示，其中也称为鱼雷对目标的自导作用距离或鱼雷对舰艇的探测距离。

舰艇航行过程中，若通过其搜索声纳发现来袭鱼雷并进行鱼雷报警，便开始通过机动等方式进行防御。根据机动的目的，可称为规避机动或防御机动。根据舰艇的鱼雷防御战术，舰艇的规避机动原则包括：

1）尽可能避免被鱼雷自导装置捕获；

2）尽量远离鱼雷搜索扇面，降低被捕获的可能性；

3）在不能避免被被捕获的情况下，尽量延缓被捕获的时间，以便尽最大可能地消耗鱼雷航程，为舰艇的成功防御争取机会。

舰艇的机动措施包括变速、转向以及同时变速和转向。假设某型舰艇的转向机动可以简化为匀速圆周运动，不同航速下的转向圆周半径如表1所示，并通过实验测得该舰艇的加速时间和冲距（加速时间内的航程）如表2所示。同时，由于舰艇和鱼雷速度对各自辐射级和自噪声级的影响，不同航速下的鱼雷和舰艇相互之间的探测距离不同。鱼雷不同航速下对不同航速舰艇的自导作用距离以及不同航速下的舰艇对鱼雷的探测距离如表3所示。

问题1：假定鱼雷按照正常提前角攻击，考虑实战中对鱼雷自导作用距离的估计存在误差以及鱼雷后续可能进行的机动搜索，只考虑转向机动，设计合理的舰艇防御机动方案优化指标，建立舰艇机动方案优化模型，针对表4中所给数据，给出最优方案结果。

问题2：考虑到鱼雷攻击发起方进行鱼雷攻击提前角计算时，使用的目标运动要素值存在误差，在不考虑舰艇防御措施的情况下，建立声自导鱼雷攻击最佳攻击提前角的计算模型，并对计算结果进行分析，针对表4和表5所给出的数据，给出计算结果，并对结果进行分析。

问题3：考虑舰艇鱼雷报警后可能采取的规避机动策略（转向、加速、转向的同时加速），建立相应的声自导鱼雷攻击提前角优化计算模型，并针对表4和表5给出的数据，给出最优方案结果。

问题4：假设鱼雷攻击要求捕获目标的概率不小于最小捕获概率，建立鱼雷可攻性判断模型，并针对前述参数，给出可攻性分析结论。

表1 不同航速下舰艇转向半径

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 航速 | 12节 | 18节 | 26节 | 30节 |
| 转向半径 | 300米 | 500米 | 1200米 | 1400米 |

表2 舰船加速时间和冲距

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 起始速度 | 终止速度 | 变速时间 | 冲距 |
| 1节 | 6节 | 3分50秒 | 780米 |
| 1节 | 10节 | 5分50秒 | 1280米 |
| 6节 | 16节 | 4分20秒 | 1580米 |

表3 舰船和鱼雷探测性能数据

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 舰船速度 | 鱼雷速度 | 舰船对鱼雷探测距离 | 鱼雷对舰船探测距离 |
| 8节 | 35节 | 30链 | 8链 |
| 8节 | 45节 | 40链 | 5链 |
| 12节 | 35节 | 30链 | 10链 |
| 12节 | 45节 | 40链 | 7链 |
| 16节 | 35节 | 30链 | 12链 |
| 16节 | 45节 | 40链 | 10链 |
| 22节 | 35节 | 30链 | 15链 |
| 22节 | 45节 | 40链 | 11链 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 水面舰艇速度 | 鱼雷速度 | 鱼雷搜索扇面半角 | 鱼雷可用航程 |
| 22节 | 35节 | 60度 | 6海里 |

表4 水面舰艇防御鱼雷问题参数

注：鱼雷可用航程是指鱼雷可用于搜索目标的航程，其值等于鱼雷总航程减去鱼雷已消耗航程和鱼雷追击目标所需的航程。

表5鱼雷发射平台解算目标运动要素误差水平

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 目标距离误差均方差 | 目标舷角误差均方差 | 目标速度误差均方差 |
| 1海里 | 5度 | 2节 |

背景知识：

（一）长度和速度单位

潜艇作战效能和方案优化模型中经常使用的长度单位为海里和链。其中，海里的定义为“地球子午线上维度1分对应的弧长”。由于地球子午线是一个椭圆，它在不同的维度上的曲率是不同的，故维度一分对应的弧长也不相同，一般取1海里米。链的定义为“十分之一海里”，故1链米。

潜艇作战效能和方案优化模型中，水中兵力和兵器的速度一般用节表示，其定义为“海里每小时”，即1节=1海里/小时公里/小时米/秒。

（二）常用的角度

角的概念为“角是平面内一条射线绕着它的端点，从一个位置旋转到另一个位置所形成的图形。可以用度或弧度进行度量，从起始位置没有旋转形成的角为零度，正向旋转角度增大，反向旋转角度变小，从起始位置正向旋转一周形成的角的大小为360度或π，从起始位置反向旋转一周形成的角的大小为-360度或-π，旋转到其它位置的角度按比例计算”。

潜艇作战效能计算和方案优化模型中经常用的角度包括：航向、方位、舷角等。它们具体含义：

航向——航向是指实体的运动方向。其定义为“以实体所在位置指向正北方向为起始位置，旋转到兵力运动方向所形成的角，顺时针旋转为正，逆时针旋转为负，航向范围一般取为或”；

方位——方位是相对于某基准位置而言的方向。其定义为“从基准位置指向正北方向的位置旋转到基准位置指向目标位置方向所形成的角，顺时针旋转为正，逆时针旋转为负，方位角范围一般取为或”；

舷角——舷角是相对于基准兵力航向而言的方向。其定义为“从基准兵力指向该兵力运动方向的射线旋转到基准兵力指向目标位置方向所形成的角，目标位于基准兵力右舷为正，目标位于基准兵力左舷为负，规定舷角范围为或”。

（三）鱼雷攻击提前角及计算原理



图1 基于相遇三角形的提前角计算原理图

提前角的概念来自鱼雷直进攻击（攻击过程中鱼雷保持一个航向不变），指的是以鱼雷所在位置为顶点，由目标方位线转到鱼雷航向的角度。根据鱼雷和目标相遇条件计算提前角（也称正常提前角）的原理如图1所示，图1中点和点分别为目标和鱼雷位置点，为鱼雷到目标的距离，为鱼雷所处的目标舷角，为鱼雷和目标相遇位置，为提前角，和分别为目标和鱼雷的速度。由图1可知，提前角满足公式



进一步可得

