

参赛密码 _____

(由组委会填写)



第十二届“中关村青联杯”全国研究生 数学建模竞赛

题 目 水面舰艇编队防空和信息化战争评估模型

摘 要：

本文采用几何法构建水面舰艇编队队形，采用聚类分析法对空中目标进行意图识别，利用层次分析法分析信息化战争模型的重要影响因子，分析并改进兰彻斯特战争模型，建立信息化战争评估模型以及信息化战争中的空袭模型。

针对问题一，考虑各舰的来袭导弹监控圈，建立了导弹护卫舰发现来袭导弹模型；根据各舰的水平射程圈，为保证两舰之间有足够大的火力纵深，验证了两舰间的距离小于两舰间的最大距离；综合考虑两种情况，确定了最佳舰队队形，四艘护卫舰将导弹可能来袭的 200 度等分，距离指挥舰 47324.03m。

针对问题二和问题三，求解舰队的抗饱和攻击能力，利用几何法进行分析，建立了单舰拦截模型以及协同拦截模型；问题二中，针对舰队最危险方向分析，整个舰队在依靠不考虑使用电子干扰和近程火炮等拦截手段的前提下，抗饱和攻击能力为 7 批次；问题三中，使用预警机进行来袭导弹的提前预警，扩大了发现

来袭导弹的区域，从而大大提高了整个舰队的抗饱和攻击能力，在预警机提前预警的前提下，整个舰队的抗饱和攻击能力为 20 批次，比未使用预警机时，提高了 13 批次。

针对问题四，对附件材料数据事先处理，主要运用 matlab 程序根据参数性质进行处理，得到方位角、距离、水平速度、航向角、高度以及雷达反射面积等数据信息，然后结合给出的样本参数数据信息采用聚类分析法，分析空中目标的参数指标，判断空中可疑目标的意图。

针对问题五，分析了信息化战争的定义、特点、武器装备构成以及制胜理念等相关概念，采用层次法着重分析了信息在信息化战争所起的作用，分析并改进兰彻斯特战争模型，结合影响信息化的相关影响因子，建立了信息化战争评估模型以及信息化战争中的空袭模型。

1 问题重述

根据 A 题资料，绘简图如下：

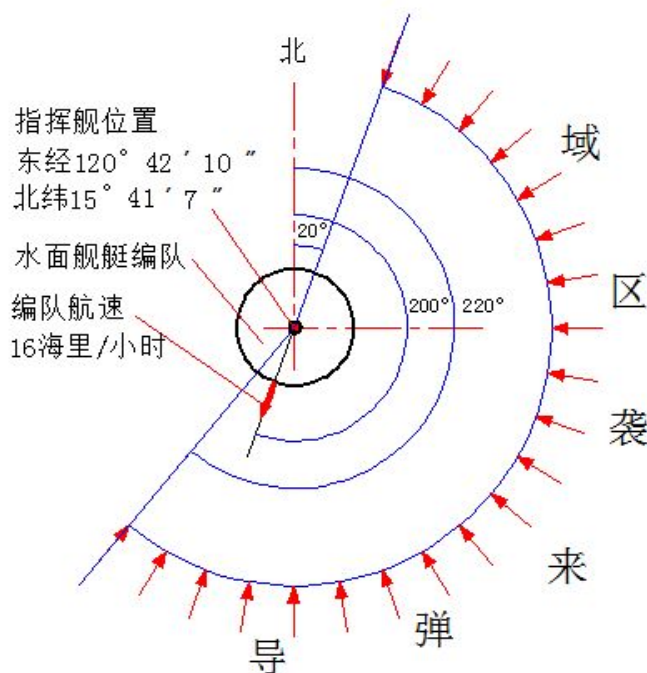


图 1 A 题简图

t 时刻，我指挥舰的位置：北纬 15 度 41 分 7 秒，东经 112 度 42 分 10 秒；编队航向 200 度（以正北为 0 度，顺时针方向），航速 16 节（即每小时 16 海里）即 8.231m/s。舰载导弹水平最小射程为 10 千米，最大射程为 80 千米，高度影响不必考虑（因敌方导弹超低空来袭），平均速度 2.4 马赫（即音速 340 米/秒的 2.4 倍）即 816m/s。

导弹的来袭范围是以我指挥舰为原点的 20 度至 220 度扇面内，来袭导弹的飞行速度 0.9 马赫，射程 230 千米，航程近似为直线，一般在离目标 30 千米时来袭导弹启动末制导雷达，其探测距离为 30 千米，搜索扇面为 30 度（即来袭导弹飞行方向向左和向右各 15 度的扇面内，若指挥舰在扇形内，则认为来袭导弹自动捕捉的目标就是指挥舰），且具有“二次捕捉”能力（即第一个目标丢失后可继续向前飞行，假设来袭导弹接近舰艇时受到电子干扰丢失目标的概率为 85%，并搜索和攻击下一个目标，“二次捕捉”的范围是从第一个目标估计位置算起，向前飞行 10 千米，若仍然没有找到目标，则自动坠海）。

由于来袭导弹一般采用超低空飞行和地球曲率的原因，各舰发现来袭导弹的随机变量都服从均匀分布，均匀分布的范围是导弹与该舰之间距离在 20-30 千米。

可以根据发现来袭导弹时的航向航速推算其不同时刻的位置，故不考虑雷达发现目标后可能的目标“丢失”。编队发现来袭导弹时由指挥舰统一指挥编队内任一舰发射防空导弹进行拦截，进行拦截的准备时间（含发射）均为 7 秒，拦截的路径为最快相遇。各舰在一次拦截任务中，不能接受对另一批来袭导弹的拦截任务，只有在本次拦截任务完成后，才可以执行下一个拦截任务。指挥舰对拦截任务的分配原则是，对每批来袭导弹只使用一艘舰进行拦截，且无论该次拦截成功与否，不对该批来袭导弹进行第二次拦截。不考虑每次拦截使用的防空导弹数量。

编队仅依靠自身雷达对空中目标进行探测，但有数据链，所以编队中任意一艘舰发现目标，其余舰都可以共享信息，并由指挥舰统一指挥各舰进行防御。每批来袭导弹的数量小于等于 4 枚（即由同一架或在一起的一批飞机几乎同时发射，攻击目标和导弹航向都相同的导弹称为一批）。

编队防御敌来袭导弹对我指挥舰攻击时抗饱和攻击能力指的是当指挥舰遭遇多批次导弹几乎同时攻击时，在最危险的方向上，编队能够拦截来袭导弹的最大批数。

问题一：在未发现敌方目标时，设计编队最佳队形，应对所有可能的突发事件，保护好指挥舰，使其尽可能免遭敌导弹攻击。即所设计的编队队形能够及时的发现来袭导弹，并由指挥舰统一指挥拦截来袭导弹，还尽可能多的拦截来袭导弹批次。

问题二：当不考虑使用电子干扰和近程火炮（包括密集阵火炮）等拦截手段，仅使用防空导弹拦截来袭导弹，上述编队防御敌来袭导弹对我指挥舰攻击时的抗饱和攻击能力如何？

问题三：如果编队得到空中预警机的信息支援，对距离我指挥舰 200 千米内的所有来袭导弹都可以准确预警（即通报来袭导弹的位置与速度矢量），编队仍然保持上面设计的队形，仅使用防空导弹拦截敌来袭导弹对我指挥舰攻击时的抗饱和攻击能力提高多少？

问题四：预警机发现前方有 12 批可疑的空中目标，从 t 时刻起，雷达测得目标的位置信息，以及各目标雷达反射面积。参照样本数据，分析识别空中各目标可能的意图。

问题五：如果我方的预警机和水面舰艇编队的雷达和通信系统遭到敌方强烈

的电子干扰，无法发现目标，也无法传递信息，这时，后果将是极其严重的，我编队防空导弹的拦截效能几乎降低到零。由此引起人们的深思，信息化条件下作战对传统的作战评估模型和作战结果已经产生重要的甚至某种程度上是决定性的影响！在海湾战争的“沙漠风暴”行动开始前，一些军事专家用传统的战争理论和战争评估模型进行预测，包括用兰彻斯特战争模型预测战争进程，结果却大相径庭，战争的实际结果让他们大跌“眼镜”。那么信息化战争的结果应该用什么样的模型来分析或预测呢？这是一个极具挑战性，又十分有意义的课题。请尝试建立宏观的战略级信息化战争评估模型，从一般意义上反映信息化战争的规律和特点，利用模型分析研究信息系统、指挥对抗、信息优势、信息系统稳定性，以及其它信息化条件下作战致胜因素的相互关系和影响。并通过信息化战争的经典案例，例如著名的海湾战争，对模型加以验证。

2 模型假设

在数学建模的过程中，在不影响模型意义与计算精度的前提下，为了使模型简单明确，并且计算建立了如下假设：

- （1）假设导弹攻击目标都是指向驱逐舰；
- （2）因敌方导弹都是超低空来袭，所以模型方位都以二维平面模型来进行模拟计算；
- （3）因为每批来袭导弹的数量小于等于 4 枚，且对每批来袭导弹都使用一艘舰进行拦截，无论成功不进行二次拦截，并不考虑拦截使用的防空导弹数量，所以可以假设每批导弹数量为一枚；
- （4）假设在计算敌方飞机速度时，敌方飞机的飞行高度相对于地球半径可以设为零。

3 符号说明

在问题二与问题三求解过程中，采用数学几何学符号，比如 O 点与 Q 点两点间的距离用 OQ 表示。

符号	含义
$x(t)$ 、 $y(t)$	战争红蓝双方的士兵人数，t 为战争时间；

$x_0、y_0$	战争红蓝双方在开战初始时的兵力；
$f(x,y)、g(x,y)$	战争红蓝双方的战斗减员率；
$\alpha、\beta$	战争红蓝双方非战斗减员率系数；
$\mu(t)、\nu(t)$	战争中红蓝双方的增援率函数；
$\varepsilon_J(t)、\varepsilon_Y(t)$	战争中红蓝双方对战场信息的掌握率函数；
$\rho_J(t)、\rho_Y(t)$	战争中红蓝双方物质力量聚合函数；
$\lambda_J(t)、\lambda_Y(t)$	战争中红蓝双方结构力量聚合函数；
$\kappa_J(t)、\kappa_Y(t)$	战争中红蓝双方行动力量聚合函数；
$\xi_J(t)、\xi_Y(t)$	战争中红蓝双方信息应用率函数；
$\delta_J(t)、\varphi_J(t)$	战争中红方对蓝方破坏和制约对方信息网的破坏和制约率函数；
$\delta_Y(t)、\varphi_Y(t)$	战争中红方对蓝方破坏和制约对方信息网的破坏和制约率函数；
β_c	红方对蓝方准确目标区域内单个战斗成员的毁伤系数；
β_d	红方对蓝方不准确目标区域内单个战斗成员的毁伤系数；
α_c	蓝方对红方准确目标区域内单个战斗成员的毁伤系数；
α_d	蓝方对红方不准确目标区域内单个战斗成员的毁伤系数；
A_c	蓝方准确目标的区域面积；
A_d	蓝方不准确目标的区域面积；
B_c	红方准确目标的区域面积
B_d	红方不准确目标的区域面积；
$\rho_{\beta c}$	蓝方准确目标区域内战斗人员的密度；
$\rho_{\beta d}$	蓝方不准确目标区域内战斗人员的密度；
$\rho_{\alpha c}$	红方准确目标区域内战斗人员的密度；

ρ_{ad}	红方不准确目标的区域内战斗人员的密度;
P_x	红方获取蓝方目标的准确度概率;
P_y	蓝方获取红方目标的准确度概率;
P_{xf}	红方采取防御行动的概率;
P_{yf}	蓝方采取防御行动的概率;
β_{cf}	蓝方采取防御措施后, 红方对蓝方准确目标区域内单个战斗成员的毁伤系数;
β_{df}	蓝方采取防御措施后, 红方对蓝方不准确目标区域内单个战斗成员的毁伤系数;
α_{cf}	红方采取防御措施后, 蓝方对红方准确目标区域内单个战斗成员的毁伤系数;
α_{df}	红方采取防御措施后, 蓝方对红方不准确目标区域内单个战斗成员的毁伤系数;

4 问题分析

4.1 问题一分析

题目要求设计编队最佳队形, 应对所有可能的突发事件, 保护好指挥舰, 使其尽可能免遭敌导弹攻击。由于编队对关键目标的掩护能力主要体现在防御区的大小上, 即防空武器对各方向上来袭目标的防御纵深最大。基于题目指定的条件, 仅在以我指挥舰为原点的 20 度至 220 度扇面内, 等可能的有导弹来袭。掩护舰的位置是由相对于被掩护舰的舰间距 R 和舷角(方位角) A 唯一确定的, 故整个队形对被掩护舰的掩护效果受这 2 个因素影响。掩护舰与被掩护舰之间的距离主要影响编队的目标探测能力以及目标的防御纵深。掩护舰相对于被掩护舰的舷角则直接影响编队整体防御区的大小和对目标的拦截效果。另外, 受防空武器作战能力和通信等问题的制约, 掩护舰应在一定的区域以被掩护舰为原点进行部署, 即部署区存在近界与远界, 部署远界记为 R_{max} , 近界记为 R_{min} 。针对问题, 本文给出了相应的优化约束条件, 建立部署方案优化模型, 并对模型进行求解。

4.2 问题二分析与问题三分析

问题二和问题三均为求解编队的抗饱和攻击能力, 问题二中, 仅仅依靠自身的雷达监测系统, 发现来袭导弹, 而问题三中, 预警机提前预警, 将指挥舰方圆 200km 的范围内进行监视, 提高了预警范围。因此针对问题二与问题三的求解,

采用几何模型，运用数量关系求解。

4.3 问题四分析

水面舰艇要很好地完成防空反导任务，先决条件之一是对战场态势有全面和准确地把握，而空中目标意图识别是战场态势分析的一个重要部分。本题就是要求根据提供的战场空中目标信息，判断目标可能的意图，为威胁判断、火力分配和抗击来袭目标奠定基础。

对空中目标的发现主要依靠水面舰艇上安装的雷达和侦查预警机上安装的雷达，雷达的原理是通过定向发射雷达波，然后接收经过空中目标发射回来的反射波，计算得出目标的方位、距离、高度和目标的雷达反射面积，通过不同时间点的数据，还可以算出目标的速度和航向角等。需要说明的是，目标的雷达反射面积并非目标的实际大小，其中，还有隐身设计等影响因素。

4.4 问题五分析

问题五中，阐述了信息在信息化战争中的重要地位，而传统的战争模型不再适合信息化战争，信息化条件下作战对传统的作战评估模型和作战结果已经产生重要的甚至某种程度上是决定性的影响。那么对信息化战争的结果应该用模型来分析或预测就显得十分重要。尝试建立宏观的战略级信息化战争评估模型，从一般意义上反映信息化战争的规律和特点，利用模型分析研究信息系统、指挥对抗、信息优势、信息系统稳定性，以及其它信息化条件下作战致胜因素的相互关系和影响，运用层次分析法对信息化战争中的各影响因素进行分析，结合兰彻斯特方程对信息化战争模型进行改进。建立了信息化战争评估模型以及信息化战争中的空袭模型。

5 模型建立与求解

5.1 问题一的模型建立与求解

5.1.1 问题一的分析

在未发现敌方目标时，设计编队最佳队形，应对所有可能的突发事件，保护好指挥舰，使其尽可能免遭敌导弹攻击。为此设计编队时应考虑如下因素：

①严密观察可能的导弹来袭方向，不应有技术和目视器材观察不到的扇面，确保来袭导弹全部被发现；

②应尽可能大的确定编队的最大纵深和宽度,以保障机动自由、可靠的舰间超短波通信及舰艇导航雷达的相互观察;

③为保障拦截导弹的有效使用,必须建立火力协同和选择必要次数的杀伤区,并尽可能大的提高编队防御敌来袭导弹对我指挥舰攻击时的抗饱和攻击能力;

④为降低敌空中打击效果,应规定舰间最小距离,以防止敌同时杀伤相邻两个舰艇^[1]。

5.1.2 编队模型的建立与求解

(一) 导弹护卫舰发现来袭导弹模型

由于来袭导弹一般采用超低空飞行和地球曲率的原因,各舰发现来袭导弹的随机变量都服从均匀分布,均匀分布的范围是导弹与该舰之间距离在 20-30 千米。可以根据发现来袭导弹时的航向航速推算其不同时刻的位置,故不考虑雷达发现目标后可能的目标“丢失”。因此导弹一经发现,就可确定其位置,进行拦截。

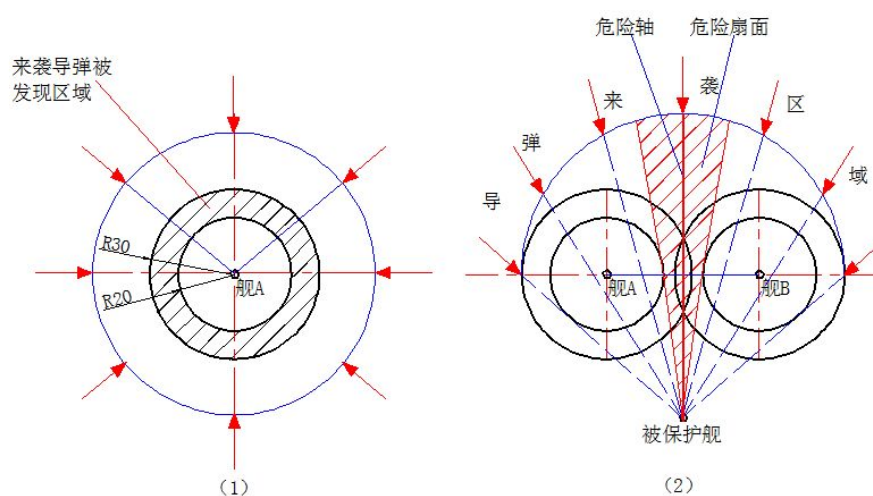


图 5.1.1 相邻两舰的监视区域

如图 5.1.1 (1) 所示,对于舰 A,假设各个方向均有可能有导弹来袭,该舰发现来袭导弹的区域为:导弹与该舰之间距离在 20-30 千米,如图中阴影部分所示。来袭导弹在距离舰 A 20 千米处,均会被发现。

如图 5.1.1 (2) 所示,相邻两舰,舰 A 和舰 B,假设导弹以 180 度扇面来袭击被保护舰,来袭导弹在通过阴影部分时,有可能均未被舰 A、B 发现,而穿过 A、B 舰的监视区,去袭击被保护舰,称图中阴影部分为危险扇面,中间轴为危

险轴，导弹通过危险轴方向最容易穿过 A、B 舰的监视区。

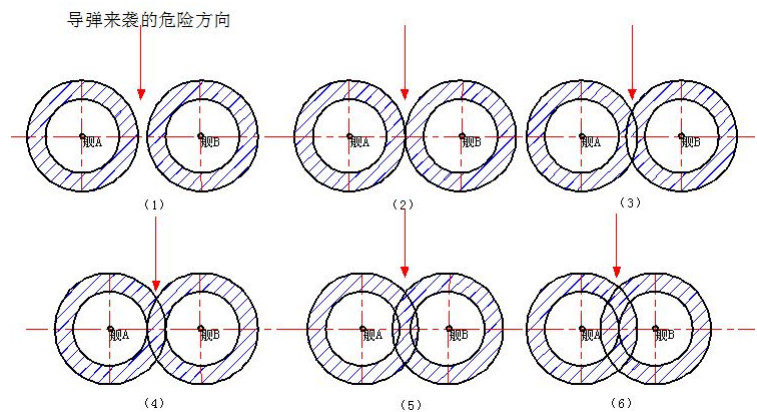


图 5.1.2 相邻舰的相对位置

图 5.1.2 中，箭头所在轴线即相邻两舰监视区危险轴线的方向，即来袭导弹最容易通过 A、B 舰的监视区的入射方向，图中（1）所示，导弹穿过了 A、B 舰的视区，没有被发现，（2）为 A、B 舰的监视区的外界临界状态。（3）、（4）、（5）为 A、B 舰的监视区的相交状态，导弹有可能穿过 A、B 舰的监视区，且穿过的可能性越来越小，（6）为 A、B 舰的监视区的小界临界状态，此时即使导弹通过危险轴方向进行袭击，也会被百分百的发现，即（6）A、B 舰所示位置，来袭导弹在 A、B 舰的监视区被发现的概率为 1。

设计编队时，为严密观察可能的导弹来袭方向，不应有技术和目视器材观察不到的扇面，确保来袭导弹全部被发现。因此采用（6）A、B 舰所示位置。

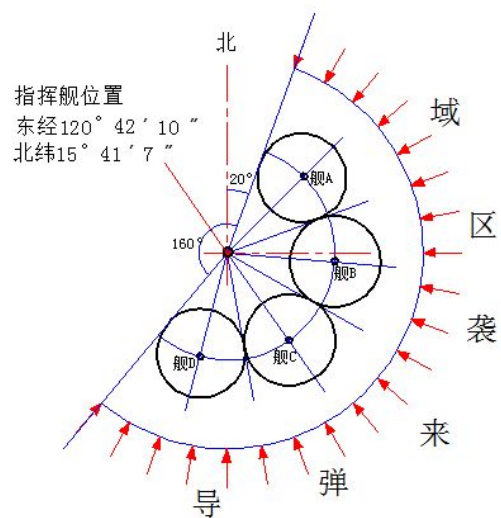


图 5.1.3 编队位置

为确保来袭导弹全部被发现，因此采用各舰的监视近界为边界，监视导弹可

能来袭的区域，如图 5.1.3 所示。舰 A、B、C、D 将导弹可能来袭的 200 度范围均分为四份，因此舰 A 位于指挥舰 45 度方向上，舰 B 位于指挥舰 95 度方向上，舰 C 位于指挥舰 145 度方向上，舰 D 位于指挥舰 195 度方向上。

导弹护卫舰拦截导弹射程模型如图 5.1.4 所示。

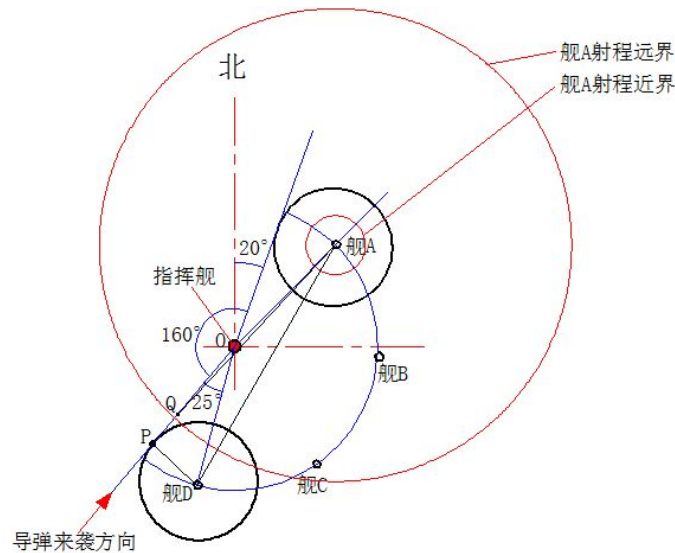


图 5.1.4 导弹护卫舰拦截导弹射程

为考虑应尽可能大的确定编队的最大纵深和宽度,以保障机动自由、可靠的舰间超短波通信及舰艇导航雷达的相互观察;为保障拦截导弹的有效使用,必须建立火力协同和选择必要次数的杀伤区,并尽可能大的提高编队防御敌来袭导弹对我指挥舰攻击时的抗饱和攻击能力;为降低敌空中打击效果,应规定舰间最小距离,以防止敌同时杀伤相邻两个舰艇。在图 5.1.3 所示编队位置模型的基础上,验证舰 A 的射界能否拦截距离 A 舰最远方向上的来袭导弹，如图 5.1.4 所示。

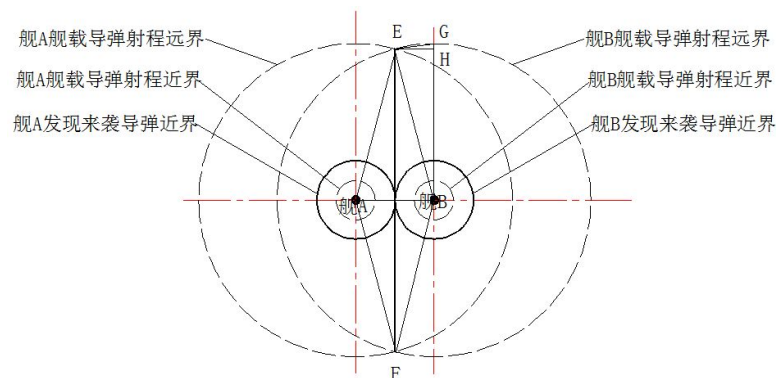


图 5.1.5 相邻两舰火力重叠区计算示意图

为更好地进行协同防御,防空舰单舰防御区之间应有一定的重叠区,以使得

在各个方向上来袭的目标均可防御, 重叠区的大小由防空舰间间距和单舰作战能力决定。间距越小, 重叠区越大, 反之则重叠区变小。根据舰艇机动、电子干扰等方面的要求, 两舰间距不能过小, 记该值为 L_{\min} ; 另一方面, 一般要求两艘相邻舰艇的防空导弹对从两者之间飞过的目标进行射击时, 其射击次数应不小于其中每艘舰艇的防空导弹对直接在其上空飞过的目标(零航路捷径)所实施射击次数的数学期望。为简化计算过程, 在求解间距最大值时, 将打击次数要求直接转化为纵深要求, 认为重叠区最长纵深(重叠区最长距离)不应小于单舰零航路捷径时火力纵深。根据这一要求, 下面求防空舰间距 L 的最大值^[2]。满足重叠区火力纵深要求时的间距即为 2 舰间距最大值 L_{\max} , 故 $L_{\max} = \sqrt{3}D$ 。

模型中已知: $PD=20\text{km}=20000\text{m}$;

$$OA=OB=OC=OD=PD/\sin 25^{\circ}=47324.03\text{m};$$

$$OP=PD/\tan 25^{\circ}=42890.14\text{m};$$

图 5.1.5 中, 设公共弦 EF 的交点为 I, 则在 $\triangle AIE$ 中, 由勾股定理得,

$$EI = \sqrt{AE^2 - AI^2} = \sqrt{80^2 - 20^2} = 77.46\text{km} < \sqrt{3} \cdot 80 = 138.56$$

满足相邻两舰之间火力纵深要求。

5.1.3 问题一的总结

综上所述, 问题一中编队模型为图 5.1.6 所示,

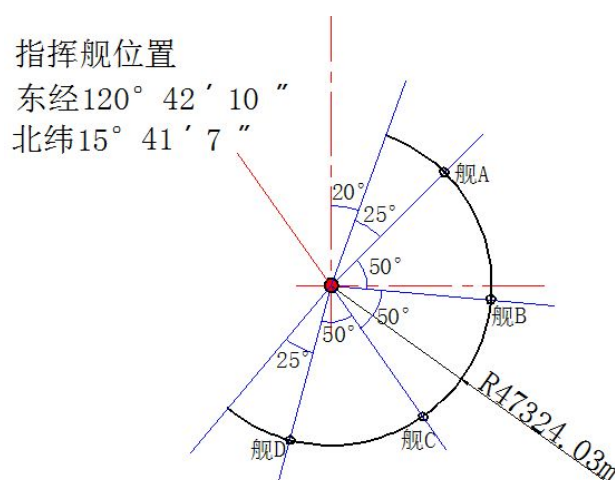


图 5.1.6 编队模型

舰 A、B、C、D 将导弹可能来袭的 200 度范围均分为四份, 因此舰 A 位于指挥舰 45 度方向上, 舰 B 位于指挥舰 95 度方向上, 舰 C 位于指挥舰 145 度方向上, 舰 D 位于指挥舰 195 度方向上。距离指挥舰的位置均为 47324.03m。

5.2 问题二的模型建立与求解

5.2.1 问题二的分析

为方便计算抗饱和攻击能力，将舰队模型简化为数学模型，如图 5.2.1 所示，

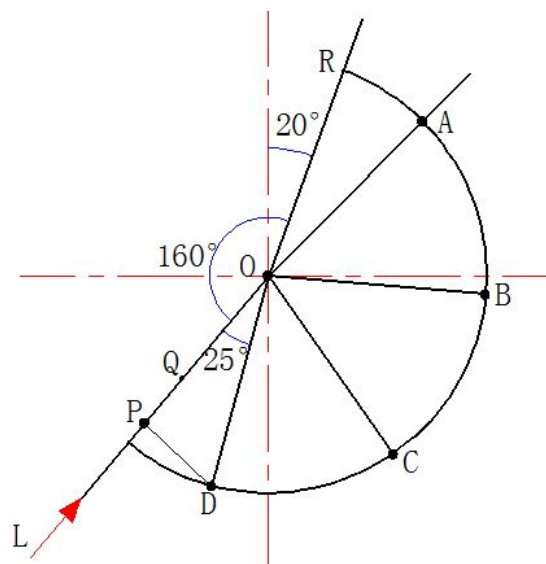


图 5.2.1 舰艇编队数学模型

图 5.2.1 舰艇编队数学模型描述：

扇形区域 ORP 为导弹可能来袭区域，为 200 度扇面；A、B、C、D 为四个护卫舰位置，四个护卫舰将导弹可能来袭区域等分为 4 份，即每份 50 度；O 为指挥舰位置；P 点为来袭导弹的发现点；PD 为舰 D 的近界检测区域，为 20km；L 为导弹来袭方向；Q 点为拦截导弹与来袭导弹相遇点。来袭导弹的速度 $v_{\text{袭}} = 306\text{m/s}$ ，射程 230km，航程近似为直线；拦截导弹速度为 $v_{\text{拦}} = 816\text{m/s}$ ，水平最小射程为 10km，最大射程为 80km。

当不考虑使用电子干扰和近程火炮（包括密集阵火炮）等拦截手段，仅使用防空导弹拦截来袭导弹，上述编队防御敌来袭导弹对我指挥舰攻击时的抗饱和攻击能力如何（当指挥舰遭遇多批次导弹几乎同时攻击时，在最危险的方向上，编队能够拦截来袭导弹的最大数。）？

5.2.2 单舰抗饱和攻击能力的求解

在计算编队抗饱和攻击能力时，编队的航速为 8m/s，而来袭导弹的速度为 306m/s 和拦截导弹的速度为 816m/s，编队的航速相对导弹的速度慢的多，因此在计算编队抗饱和攻击能力时，编队的航速可以忽略不计。

简化的数学模型，如图 5.2.2 所示，

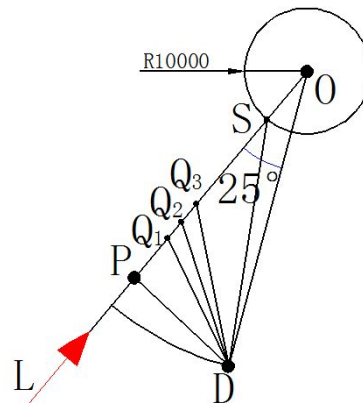


图 5.2.2D 舰拦截模型

对 L 向来袭导弹，攻击指挥舰 O，为避免拦截过程中对指挥舰造成的危害，以 O 为原点，10km 范围内禁止进行拦截任务。因此，D 舰对来袭导弹的拦截要在 S 点以前。

$$DS = \sqrt{OS^2 + OD^2 - 2 \cdot OS \cdot OD \cdot \cos 25^\circ}$$

求得, $DS=38493.62\text{m}$ 。

拦截任务完成的标志是它发射的拦截导弹与来袭导弹相遇。D 舰在拦截过程中, 发射的最后一颗拦截导弹要在 S 点之前与来袭导弹相遇。

D 舰在执行多次拦截任务时, 应满足的数学模型如模型 1 所示,

$$\left\{ \begin{array}{l} OQ \geq 10000m \\ 10000m \leq DQ \leq 80000m \\ DQ = \sqrt{OD^2 + OQ^2 - 2OD \cdot OQ \cdot \cos 25^\circ} = v_{\text{拦}} \cdot t_D \\ OQ = OP - v_{\text{袭}} \cdot 7 - v_{\text{袭}} \cdot t_D \\ OD = PD / \tan 25^\circ \\ OP = PD / \sin 25^\circ \\ v_{\text{袭}} = 306m/s \\ v_{\text{拦}} = 816m/s \\ PD = 20000m \end{array} \right. \quad (\text{模型 1})$$

来袭导弹在 P 点被 D 舰发现，由指挥舰向 D 舰发送拦截指令，此时，D 舰执行第一次拦截任务，则此时应满足的数学模型为，

$$\left\{ \begin{array}{l} OQ_1 \geq 10000m \\ 10000m \leq DQ_1 \leq 80000m \\ DQ_1 = \sqrt{OD^2 + OQ_1^2 - 2OD \cdot OQ_1 \cdot \cos 25^\circ} = v_{\text{拦}} \cdot t_{D1} \\ OQ_1 = OP - v_{\text{袭}} \cdot 7 - v_{\text{袭}} \cdot t_{D1} \\ OD = PD / \tan 25^\circ \\ OP = PD / \sin 25^\circ \\ v_{\text{袭}} = 306m/s \\ v_{\text{拦}} = 816m/s \\ PD = 20000m \end{array} \right.$$

计算得, $t_{D1} = 27.76S$, $OQ_1 = 32253.58m$, $PQ_1 = 10636.56m$, 此时, $OQ_1 > 10000m$, 满足拦截条件。

在拦截导弹与来袭导弹相遇后, 完成第一次拦截任务, 未拦截来袭导弹同样到达相遇点 Q_1 , 指挥舰向 D 舰发送第二次拦截命令, 此时, D 舰执行第二次拦截任务, 则应满足的数学模型为,

$$\left\{ \begin{array}{l} OQ_2 \geq 10000m \\ 10000m \leq DQ_2 \leq 80000m \\ DQ_2 = \sqrt{OD^2 + OQ_2^2 - 2OD \cdot OQ_2 \cdot \cos 25^\circ} = v_{\text{拦}} \cdot t_{D2} \\ OQ_2 = OQ_1 - v_{\text{袭}} \cdot 7 - v_{\text{袭}} \cdot t_{D2} \\ OD = PD / \tan 25^\circ \\ OP = PD / \sin 25^\circ \\ v_{\text{袭}} = 306m/s \\ v_{\text{拦}} = 816m/s \\ PD = 20000m \end{array} \right.$$

解得, $t_{D2} = 38.94S$, $OQ_2 = 18195.94m$, $Q_1Q_2 = 14057.64m$, 此时, $OQ_2 > 10000m$, 满足拦截条件。

在拦截导弹与来袭导弹相遇后, 完成第一次拦截任务, 未拦截来袭导弹同样到达相遇点 Q_1 , 指挥舰向 D 舰发送第二次拦截命令, 此时, D 舰执行第三批拦截任务, 应满足的数学模型为,

$$\left\{ \begin{array}{l} OQ_3 \geq 10000m \\ 10000m \leq DQ_3 \leq 80000m \\ DQ_3 = \sqrt{OD^2 + OQ_3^2 - 2OD \cdot OQ_3 \cdot \cos 25^\circ} = v_{\text{拦}} \cdot t_{D3} \\ OQ_3 = OQ_2 - v_{\text{袭}} \cdot 7 - v_{\text{袭}} \cdot t_{D3} \\ OD = PD / \tan 25^\circ \\ OP = PD / \sin 25^\circ \\ v_{\text{袭}} = 306m/s \\ v_{\text{拦}} = 816m/s \\ PD = 20000m \end{array} \right.$$

解得, $t_{D3} = 60.87S$, $OQ_3 = -2573.01m$, 此时, $OQ_3 < 10000m$, 不满足拦截条件。

综上,若只有 D 参与拦截任务,则最多能够拦截 2 次,即抗饱和攻击能力为拦截来袭导弹 2 批次。

（二）C 舰拦截模型

简化的数学模型，如图 5.2.3 所示，

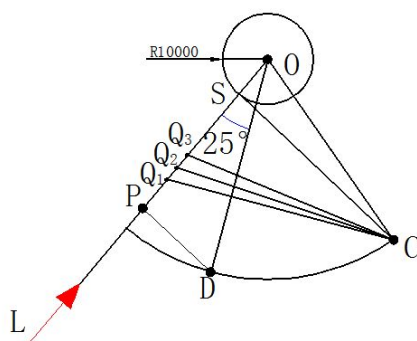


图 5.2.3 C 舰拦截模型

对 L 向来袭导弹，攻击指挥舰 O，为避免拦截过程中对指挥舰造成的危害，以 O 为原点，10km 范围内禁止进行拦截任务。因此，C 舰对来袭导弹的拦截要在 S 点以前。

拦截任务完成的标志是它发射的拦截导弹与来袭导弹相遇。C 舰在拦截过程中, 发射的最后一颗拦截导弹要在 S 点之前与来袭导弹相遇。C 舰在执行多次拦截任务时, 应满足的数学模型如模型 2 所示,

$$\left\{ \begin{array}{l} OQ \geq 10000m \\ 10000m \leq CQ \leq 80000m \\ CQ = \sqrt{OC^2 + OQ^2 - 2OC \cdot OQ \cdot \cos 75^\circ} = v_{\text{拦}} \cdot t_C \\ OQ = OP - v_{\text{袭}} \cdot 7 - v_{\text{袭}} \cdot t_C \\ OC = OD = PD / \tan 25^\circ \\ OP = PD / \sin 25^\circ \\ v_{\text{袭}} = 306m/s \\ v_{\text{拦}} = 816m/s \\ PD = 20000m \end{array} \right. \quad (\text{模型 2})$$

来袭导弹在 P 点被 D 舰发现，由指挥舰向 C 舰发送拦截指令，此时，C 舰执行第一次拦截任务，则应满足的数学模型为，

$$\left\{ \begin{array}{l} OQ_1 \geq 10000m \\ 10000m \leq CQ_1 \leq 80000m \\ CQ_1 = \sqrt{OC^2 + OQ_1^2 - 2OC \cdot OQ_1 \cdot \cos 75^\circ} = v_{\text{拦}} \cdot t_{C1} \\ OQ_1 = OP - v_{\text{袭}} \cdot 7 - v_{\text{袭}} \cdot t_{C1} \\ OC = OD = PD / \tan 25^\circ \\ OP = PD / \sin 25^\circ \\ v_{\text{袭}} = 306m/s \\ v_{\text{拦}} = 816m/s \\ PD = 20000m \end{array} \right.$$

计算得， $t_{C1} = 57.58S$ ， $OQ_1 = 23128.66m$ ， $PQ_1 = 19761.48m$ ，此时， $OQ_1 > 10000m$ ，满足拦截条件。

在拦截导弹与来袭导弹相遇后，完成第一次拦截任务，未拦截来袭导弹同样到达相遇点 Q_1 ，指挥舰向 C 舰发送第二次拦截命令，此时，C 舰执行第二次拦截任务，则此时应满足的数学模型为，

$$\left\{ \begin{array}{l} OQ_2 \geq 10000m \\ 10000m \leq CQ_2 \leq 80000m \\ CQ_2 = \sqrt{OC^2 + OQ_2^2 - 2OC \cdot OQ_2 \cdot \cos 75^\circ} = v_{\text{拦}} \cdot t_{C2} \\ OQ_2 = OQ_1 - v_{\text{袭}} \cdot 7 - v_{\text{袭}} \cdot t_{C2} \\ OC = OD = PD / \tan 25^\circ \\ OP = PD / \sin 25^\circ \\ v_{\text{袭}} = 306m/s \\ v_{\text{拦}} = 816m/s \\ PD = 20000m \end{array} \right.$$

解得， $t_{C2} = 52.64S$ ， $OQ_2 = 4878.82m$ ， $Q_1Q_2 = 18249.84m$ ，此时， $OQ_2 < 10000m$ ，

不满足拦截条件。

综上，若只有 C 参与拦截任务，则最多能够拦截 1 次，即抗饱和攻击能力为拦截来袭导弹 1 批次。

（三）B 舰单独拦截

简化的数学模型，如图 5.2.4 所示，

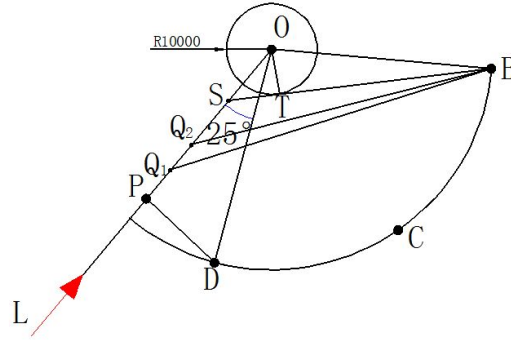


图 5.2.4 B 舰拦截模型

对 L 向来袭导弹，攻击指挥舰 O，为避免拦截过程中对指挥舰造成的危害，以 O 为原点，10km 范围内禁止进行拦截任务，为防止拦截导弹误伤指挥舰 O，拦截导弹弹道不能穿过圆 O，过 B 点作圆 O 的切线延长与 OP 相交于 S 点，切点为 T。因此，B 舰对来袭导弹的拦截要在 S 点以前。OS=14713.2m（通过作图测量所得）

拦截任务完成的标志是它发射的拦截导弹与来袭导弹相遇。B 舰在拦截过程中，发射的最后一颗拦截导弹要在 S 点之前与来袭导弹相遇，即 $OQ \geq OS$ 。B 舰在执行多次拦截任务时，应满足的数学模型如模型 3 所示，

$$\left\{ \begin{array}{l} OQ \geq OS = 14713.2m \\ 10000m \leq BQ \leq 80000m \\ BQ = \sqrt{OB^2 + OQ^2 - 2OB \cdot OQ \cdot \cos 125^\circ} = v_{\text{拦}} \cdot t_B \\ OQ = OP - v_{\text{袭}} \cdot 7 - v_{\text{袭}} \cdot t_B \\ OB = OD = PD / \tan 25^\circ \\ OP = PD / \sin 25^\circ \\ v_{\text{袭}} = 306m/s \\ v_{\text{拦}} = 816m/s \\ PD = 20000m \end{array} \right. \quad (\text{模型 3})$$

来袭导弹在 P 点被 D 舰发现，由指挥舰向 C 舰发送拦截指令，此时，B 舰执行第一次拦截任务，则应满足的数学模型为，

计算得, $t_{B1} = 73.24S$, $OQ_1 = 18336.70m$, $PQ_1 = 24553.44m$, 此时, $OQ_1 > 14713.2m$, 满足拦截条件。

(四) A 舰拦截模型

对 L 向来袭导弹，攻击指挥舰 O，为避免拦截过程中对指挥舰造成的危害，以 O 为原点，10km 范围内禁止进行拦截任务，为防止拦截导弹误伤指挥舰 O，拦截导弹弹道不能穿过圆 O，来袭导弹在 P 点就被发现，连接 AP，与圆 O 相交，即发现来袭导弹，A 舰立即将其拦截，弹道 AP 仍然穿过圆 O，会对指挥舰造成危害，因此，A 舰不能拦截来自 L 向的来袭导弹，即抗饱和攻击能力为拦截来袭导弹 0 批次。

简化的数学模型，如图 5.2.6 所示，

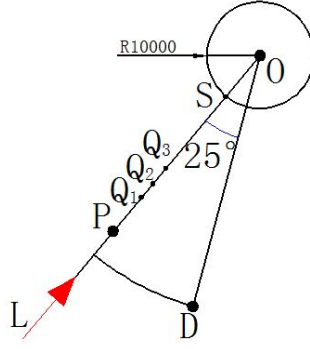


图 5.2.6 指挥舰拦截模型

来袭导弹从 L 向攻击指挥舰，指挥舰 O 本身执行拦截任务，舰载导弹的水平射程近界为 10000m，来袭导弹在 P 点被发现，指挥舰自身执行拦截任务，指挥舰发射拦截导弹，与来袭导弹相遇在 Q 点，相遇点应满足在 S 点之前。指挥舰应满足的数学模型如模型 4 所示，

$$\left\{ \begin{array}{l} OQ \geq OS = 10000m \\ OQ = v_{\text{拦}} \cdot t_o \\ PQ = v_{\text{袭}} \cdot (7 + t_o) \\ OQ + PQ = OP \\ OP = PD / \tan 25^\circ, PD = 20000m \\ v_{\text{拦}} = 816m/s, v_{\text{袭}} = 306m/s \end{array} \right. \quad (\text{模型 4})$$

来袭导弹在 P 点被 D 舰发现，由指挥舰自身执行拦截任务，此时，指挥舰执行一次拦截任务，应满足的数学模型为，

$$\left\{ \begin{array}{l} OQ_1 \geq OS = 10000m \\ OQ_1 = v_{\text{拦}} \cdot t_{o1} \\ PQ_1 = v_{\text{袭}} \cdot (7 + t_{o1}) \\ OQ_1 + PQ_1 = OP \\ OP = PD / \tan 25^\circ, PD = 20000m \\ v_{\text{拦}} = 816m/s, v_{\text{袭}} = 306m/s \end{array} \right.$$

解得， $t_{o1} = 36.32S$ ， $OQ_1 = 29635.01m$ ， $PQ_1 = 13255.13m$ ，此时， $OQ_1 > 10000m$ ，

满足拦截条件。

在拦截导弹与来袭导弹相遇后，完成第一次拦截任务，未拦截来袭导弹同样到达相遇点 Q_1 ，指挥舰执行二次拦截任务时，应满足的数学模型为，

$$\left\{ \begin{array}{l} OQ_2 \geq OS = 10000m \\ OQ_2 = v_{\text{拦}} \cdot t_{O2} \\ PQ_2 = v_{\text{袭}} \cdot (7 + t_{O2}) \\ OQ_2 + Q_2Q_1 = OQ_1 \\ OP = PD / \tan 25^\circ, PD = 20000m \\ v_{\text{拦}} = 816m/s, v_{\text{袭}} = 306m/s \end{array} \right.$$

解得, $t_{O2} = 24.50S$, $OQ_2 = 19994.92m$, $Q_1Q_2 = 9640.09m$, 此时, $OQ_2 > 10000m$, 满足拦截条件。

在拦截导弹与来袭导弹相遇后, 完成第二次拦截任务, 未拦截来袭导弹同样到达相遇点 Q_1 , 指挥舰执行三次拦截任务时, 应满足的数学模型为,

$$\left\{ \begin{array}{l} OQ_3 \geq OS = 10000m \\ OQ_3 = v_{\text{拦}} \cdot t_{O3} \\ PQ_3 = v_{\text{袭}} \cdot (7 + t_{O3}) \\ OQ_3 + Q_3Q_2 = OQ_2 \\ OP = PD / \tan 25^\circ, PD = 20000m \\ v_{\text{拦}} = 816m/s, v_{\text{袭}} = 306m/s \end{array} \right.$$

解得, $t_{O3} = 15.91S$, $OQ_3 = 12983.94m$, $Q_3Q_2 = 7010.98m$, 此时, $OQ_3 > 10000m$, 满足拦截条件。

在拦截导弹与来袭导弹相遇后, 完成第二次拦截任务, 未拦截来袭导弹同样到达相遇点 Q_1 , 指挥舰执行三次拦截任务时, 应满足的数学模型为,

$$\left\{ \begin{array}{l} OQ_4 \geq OS = 10000m \\ OQ_4 = v_{\text{拦}} \cdot t_{O4} \\ PQ_4 = v_{\text{袭}} \cdot (7 + t_{O4}) \\ OQ_4 + Q_4Q_3 = OQ_3 \\ OP = PD / \tan 25^\circ, PD = 20000m \\ v_{\text{拦}} = 816m/s, v_{\text{袭}} = 306m/s \end{array} \right.$$

解得, $t_{O4} = 9.66S$, $OQ_4 = 7885.05m$, 此时, $OQ_4 < 10000m$, 不满足拦截条件。

若指挥舰独自拦截来袭导弹, 可以拦截 3 次, 即抗饱和攻击能力为拦截来袭导弹 3 批次。

5.2.3 舰队协同拦截模型的求解

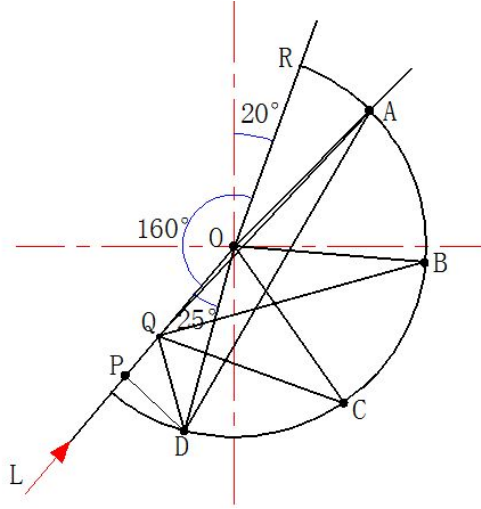


图 5.2.7 舰艇编队数学模型计算

将各舰的拦截模型整合在图 5.2.7 舰艇编队数学模型计算图中, 设各舰发送的拦截导弹在 Q 点与来袭导弹相遇, 完成拦截任务。则该编队需要满足的数学模型为:

设各舰发射拦截导弹后, 分别经过 t_A, t_B, t_C, t_D, t_O S, 在 Q 点与来袭导弹相遇。

则各舰在拦截来袭导弹时, 应满足的数学模型如模型 5 所示:

$$\left\{ \begin{array}{l} 10000m \leq AQ \leq 80000m \\ 10000m \leq BQ \leq 80000m \\ 10000m \leq CQ \leq 80000m \\ 10000m \leq DQ \leq 80000m \\ 10000m \leq OQ \leq 80000m \\ AQ = \sqrt{OQ^2 + OA^2 - 2 \cdot OQ \cdot OA \cdot \cos 175^\circ} = v_{\text{拦}} \cdot t_A \\ BQ = \sqrt{OQ^2 + OB^2 - 2 \cdot OQ \cdot OB \cdot \cos 125^\circ} = v_{\text{拦}} \cdot t_B \\ CQ = \sqrt{OQ^2 + OC^2 - 2 \cdot OQ \cdot OC \cdot \cos 75^\circ} = v_{\text{拦}} \cdot t_C \\ DQ = \sqrt{OQ^2 + OD^2 - 2 \cdot OQ \cdot OD \cdot \cos 25^\circ} = v_{\text{拦}} \cdot t_D \\ OQ = OP - v_{\text{袭}} \cdot 7 - v_{\text{袭}} \cdot t (t = t_A, t_B, t_C, t_D, t_O) \\ OP = PD / \tan 25^\circ \\ OA = OB = OC = OD = PD / \sin 25^\circ \\ v_{\text{袭}} = 306m/s \\ v_{\text{拦}} = 816m/s \\ PD = 20000m \end{array} \right. \quad (\text{模型 5})$$

(一) 一批导弹来袭模型

假设只有一批导弹来袭, 则离来袭导弹距离最近的舰 D 执行拦截任务, 此

时拦截模型如图 5.2.8 所示，

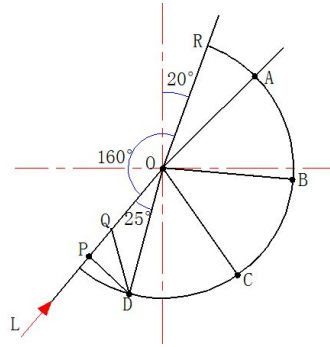


图 5.2.8 一批来袭导弹模型

在 P 点发现来袭导弹后，指挥舰向舰 D 发送拦截命令，舰 D 发射拦截导弹，执行拦截命令，设在舰 D 发射拦截导弹 t_D S 后，拦截导弹与来袭导弹在 Q 点相遇，完成拦截任务。此时，满足的数学模型如下：

$$\left\{ \begin{array}{l} 10000m \leq DQ \leq 80000m \\ DQ = \sqrt{OQ^2 + OD^2 - 2 \cdot OQ \cdot OD \cdot \cos 25^\circ} = v_{\text{拦}} \cdot t_D \\ OQ = OP - v_{\text{袭}} \cdot 7 - v_{\text{袭}} \cdot t_D \\ OP = PD / \tan 25^\circ \\ OD = PD / \sin 25^\circ \\ v_{\text{拦}} = 816m/s \\ v_{\text{袭}} = 306m/s \\ PD = 20000m \end{array} \right.$$

计算得， $t_D = 27.76S$ 。此时， $OQ = 32253.58m$ ， $PQ = 10636.56m$ 。满足拦截条件，完成拦截任务。

（二）两批来袭导弹模型

假设有两批导弹同时来袭，则离来袭导弹距离最近的舰 D, C 执行拦截任务，此时拦截模型如图 5.2.9 所示，

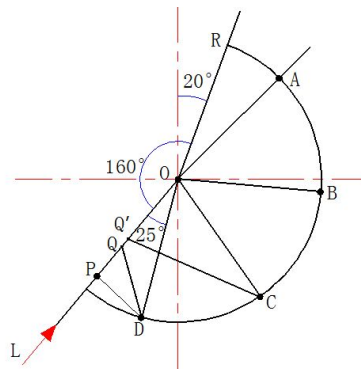


图 5.2.9 两批来袭导弹模型一

$$\left\{ \begin{array}{l} 10000m \leq DQ \leq 80000m \\ 10000m \leq CQ' \leq 80000m \\ DQ = \sqrt{OQ^2 + OD^2 - 2 \cdot OQ \cdot OD \cdot \cos 25^\circ} = v_{\text{拦}} \cdot t_D \\ CQ' = \sqrt{OQ'^2 + OC^2 - 2 \cdot OQ' \cdot OC \cdot \cos 75^\circ} = v_{\text{拦}} \cdot t_C \\ OQ = OP - v_{\text{袭}} \cdot 7 - v_{\text{袭}} \cdot t_D \\ OQ' = OP - v_{\text{袭}} \cdot 7 - v_{\text{袭}} \cdot t_C \\ OP = PD / \tan 25^\circ \\ OD = PD / \sin 25^\circ \\ v_{\text{拦}} = 816m/s \\ v_{\text{袭}} = 306m/s \\ PD = 20000m \end{array} \right.$$

$OQ'=23128.66\text{m}$, $PQ'=19761.48\text{m}$; $QQ'=9124.92\text{m}>2142\text{m}$ 。满足拦截条件，完成拦截任务。

在 P 点发现来袭导弹后, 指挥舰向舰 D 发送拦截命令, 舰 D 发射拦截导弹, 执行拦截命令, 执行完第一次拦截任务后, 再进行第二次拦截任务, 设在舰 D 发射拦截导弹 t_D, t'_D S 后, 拦截导弹先后与来袭导弹在 Q, Q' 点相遇, 完成拦截任

务。此时，满足的数学模型如下：

$$\left\{ \begin{array}{l} 10000m \leq DQ \leq 80000m \\ 10000m \leq CQ' \leq 80000m \\ DQ = \sqrt{OQ^2 + OD^2 - 2 \cdot OQ \cdot OD \cdot \cos 25^\circ} = v_{\text{拦}} \cdot t_D \\ DQ' = \sqrt{OQ'^2 + OD^2 - 2 \cdot OQ' \cdot OD \cdot \cos 75^\circ} = v_{\text{拦}} \cdot t'_D \\ OQ = OP - v_{\text{袭}} \cdot 7 - v_{\text{袭}} \cdot t_D \\ OQ' = OQ - v_{\text{袭}} \cdot 7 - v_{\text{袭}} \cdot t'_D \\ OP = PD / \tan 25^\circ \\ OD = PD / \sin 25^\circ \\ v_{\text{拦}} = 816m/s \\ v_{\text{袭}} = 306m/s \\ PD = 20000m \end{array} \right.$$

解得， $t_D = 27.76S, t'_D = 38.94S$ 。此时， $OQ=32253.58m$ ， $PQ=10636.56m$ ；

$OQ'=18195.94m$ ， $PQ'=19761.48m$ ； $QQ'=14057.64m$ 。满足拦截条件，完成拦截任务。

由 A 题题意知，拦截的路径为最快相遇。当有两批导弹来袭时，比较两种拦截方式，舰 D、C 同时拦截时，共需要 57.58S，舰 D 单独执行拦截任务时，需要 66.7S，因此采用舰 D、C 同时拦截的拦截方案，更为安全有效。两种拦截模型均满足拦截条件，均能完成拦截任务。比较以上两种模型及单舰拦截模型，假设从 L 向同时来足够多批次的来袭导弹，每艘舰都能达到自身的抗饱和攻击能力，则该舰队达到最大的抗饱和攻击能力，此时，整个舰队的抗饱和攻击能力即为各舰的抗饱和攻击能力之和。

因此，当不考虑使用电子干扰和近程火炮（包括密集阵火炮）等拦截手段，仅使用防空导弹拦截来袭导弹，所设计编队防御敌来袭导弹对我指挥舰攻击时的抗饱和攻击能力为拦截来袭导弹 7 批次。

5.3 问题三的建立及求解

5.3.1 问题三的分析

如果编队得到空中预警机的信息支援，对距离我指挥舰 200 千米内的所有来袭导弹都可以准确预警（即通报来袭导弹的位置与速度矢量），编队仍然保持上面设计的队形，即扩大了发现来袭导弹的区域，如图 5.3.1 所示，

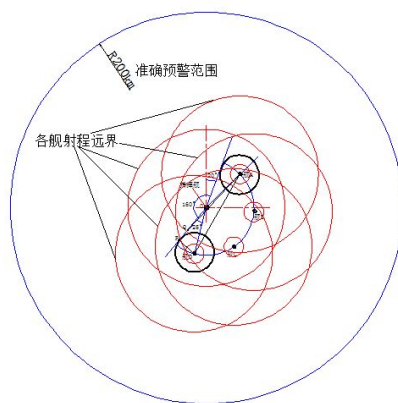


图 5.3.1 舰队预警范围

由图 5.3.1 可知，各舰的射程远界均在来袭导弹的准确预警范围内，因此在准确预警范围内，计算仅使用防空导弹拦截敌来袭导弹对我指挥舰攻击时的抗饱和和攻击能力时，仅需考虑各舰的射界。

5.3.2 单舰拦截模型

(一) D 舰拦截模型

简化的数学模型，如图 5.3.2 所示，

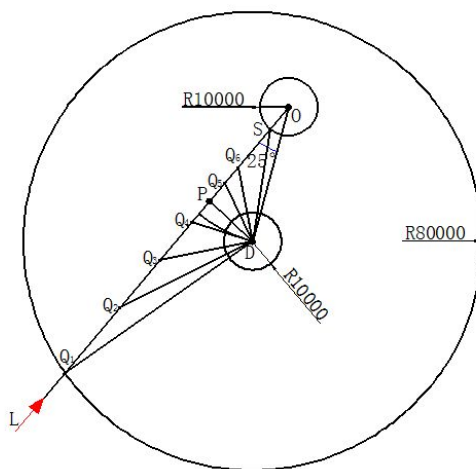


图 5.3.2 D 舰拦截模型

D 舰的射程远界与 L 向导弹来袭方向的交点 Q_1 点，为第一次拦截来袭导弹的相遇点，拦截二批及以后批次的导弹，应满足的数学模型为模型 6 所示，

$\triangle Q_1OD$ 中， $OD=PD/\tan 25^\circ$ ， $PD=20\text{km}$ ， $DQ_1=80\text{km}$ ， $\angle DOQ_1 = 25^\circ$ ，由余弦定理得，

$$\cos 25^\circ = \frac{OD^2 + OQ_1^2 - DQ_1^2}{2OD \cdot OQ_1}$$

解得， $OQ_1=120349.80\text{m}$

$$\left\{ \begin{array}{l} OQ \geq OS = 10000m \\ 10000m \leq DQ \leq 80000m \\ DQ = \sqrt{OD^2 + OQ^2 - 2OD \cdot OQ \cdot \cos 25^\circ} = v_{\text{拦}} \cdot t_D \\ OQ = OQ_1 - v_{\text{袭}} \cdot 7 - v_{\text{袭}} \cdot t_D \\ OD = PD / \tan 25^\circ \\ OP = PD / \sin 25^\circ \\ v_{\text{袭}} = 306m/s \\ v_{\text{拦}} = 816m/s \\ PD = 20000m \end{array} \right. \quad (\text{模型 6})$$

D 舰执行二次拦截任务，则此时应满足的数学模型为，

$$\left\{ \begin{array}{l} OQ_2 \geq OS = 10000m \\ 10000m \leq DQ_2 \leq 80000m \\ DQ_2 = \sqrt{OD^2 + OQ_2^2 - 2OD \cdot OQ_2 \cdot \cos 25^\circ} = v_{\text{拦}} \cdot t_{D2} \\ OQ_2 = OQ_1 - v_{\text{袭}} \cdot 7 - v_{\text{袭}} \cdot t_{D2} \\ OD = PD / \tan 25^\circ \\ OP = PD / \sin 25^\circ \\ v_{\text{袭}} = 306m/s \\ v_{\text{拦}} = 816m/s \\ PD = 20000m \end{array} \right.$$

若 D 舰执行三次拦截任务，则此时它应满足的数学模型为，

$$\left\{ \begin{array}{l} OQ_3 \geq OS = 10000m \\ 10000m \leq DQ_3 \leq 80000m \\ DQ_3 = \sqrt{OD^2 + OQ_3^2 - 2OD \cdot OQ_3 \cdot \cos 25^\circ} = v_{\text{拦}} \cdot t_{D3} \\ OQ_3 = OQ_2 - v_{\text{袭}} \cdot 7 - v_{\text{袭}} \cdot t_{D2} \\ OD = PD / \tan 25^\circ \\ OP = PD / \sin 25^\circ \\ v_{\text{袭}} = 306m/s \\ v_{\text{拦}} = 816m/s \\ PD = 20000m \end{array} \right.$$

通过问题二的求解，以及以上两次拦截，需要满足的数学模型，可以得知，后一次拦截任务时在前一次拦截任务的基础上进行，即后一次拦截任务的起始位置是前一次拦截任务完成的位置，即拦截导弹与来袭导弹相遇点。因此，通过 Matlab 进行编程计算以及相关分析得表 5.3.1，

以 O 为原点，10km 范围内禁止进行拦截任务。因此，C 舰对来袭导弹的拦截要在 S 点以前。

拦截任务完成的标志是它发射的拦截导弹与来袭导弹相遇。C 舰在拦截过程中，发射的最后一颗拦截导弹要在 S 点之前与来袭导弹相遇。

C 舰在执行多次拦截任务时，应满足的数学模型如下，

$$\left\{ \begin{array}{l} OQ \geq OS = 10000m \\ 10000m \leq CQ \leq 80000m \\ CQ = \sqrt{OC^2 + OQ^2 - 2OC \cdot OQ \cdot \cos 75^\circ} = v_{\text{拦}} \cdot t_C \\ OQ = OQ_1 - v_{\text{袭}} \cdot 7 - v_{\text{袭}} \cdot t_C \\ OC = OD = PD / \tan 25^\circ \\ OP = PD / \sin 25^\circ \\ v_{\text{袭}} = 306m/s \\ v_{\text{拦}} = 816m/s \\ PD = 20000m \end{array} \right. \quad (\text{模型 7})$$

C 舰执行二次拦截任务，则此时应满足的数学模型为，

$$\left\{ \begin{array}{l} OQ_2 \geq OS = 10000m \\ 10000m \leq CQ_2 \leq 80000m \\ CQ_2 = \sqrt{OC^2 + OQ_2^2 - 2OC \cdot OQ_2 \cdot \cos 75^\circ} = v_{\text{拦}} \cdot t_{C2} \\ OQ_2 = OQ_1 - v_{\text{袭}} \cdot 7 - v_{\text{袭}} \cdot t_{C2} \\ OC = OD = PD / \tan 25^\circ \\ OP = PD / \sin 25^\circ \\ v_{\text{袭}} = 306m/s \\ v_{\text{拦}} = 816m/s \\ PD = 20000m \end{array} \right.$$

通过 Matlab 进行编程计算以及相关分析得表 5.3.2，

序号	OQ (m)	tc(S)	拦截是否成功(OQ>OS)
1	OQ ₁ =77902.44	tc ₁ =98.04	成功
2	OQ ₂ =52836.50	tc ₂ =74.91	成功
3	OQ ₃ =32018.19	tc ₃ =61.03	成功
4	OQ ₄ =12733.41	tc ₄ =56.02	成功
5	OQ ₅ =-8185.07	tc ₅ =61.36	不成功

表 5.3.2 C 舰拦截任务

综上，若只有 C 参与拦截任务，则最多能够拦截 4 次，即抗饱和攻击能力

（三）B 舰单独拦截

B 舰的射程远界与 L 向导弹来袭方向的交点 Q_1 点, 为第一次拦截来袭导弹的相遇点, 拦截二批及以后批次的导弹, 应满足的数学模型为模型 8 所示,

$$\cos 125^\circ = \frac{OC^2 + OQ_1^2 - CQ_1^2}{2OC \cdot OQ_1}$$

对 L 向来袭导弹，攻击指挥舰 O，为避免拦截过程中对指挥舰造成的危害，以 O 为原点，10km 范围内禁止进行拦截任务，为防止拦截导弹误伤指挥舰 O，拦截导弹弹道不能穿过圆 O，过 B 点作圆 O 的切线延长与 OP 相交于 S 点，切点为 T。因此，B 舰对来袭导弹的拦截要在 S 点以前。OS=14713.2m（通过作图测量所得）。

B 舰在执行多次拦截任务时, 应满足的数学模型如下,

$$\left\{ \begin{array}{l} OQ \geq OS = 14713.2m \\ 10000m \leq BQ \leq 80000m \\ BQ = \sqrt{OB^2 + OQ^2 - 2OB \cdot OQ \cdot \cos 125^\circ} = v_{\text{拦}} \cdot t_B \\ OQ = OQ_1 - v_{\text{袭}} \cdot 7 - v_{\text{袭}} \cdot t_B \\ OB = OD = PD / \tan 25^\circ \\ OP = PD / \sin 25^\circ \\ v_{\text{袭}} = 306m/s \\ v_{\text{拦}} = 816m/s \\ PD = 20000m \end{array} \right. \quad (\text{模型 8})$$

B 舰执行二次拦截任务，则此时应满足的数学模型为，

$$\left\{ \begin{array}{l} OQ_1 \geq OS = 14713.2m \\ 10000m \leq BQ_2 \leq 80000m \\ BQ_2 = \sqrt{OB^2 + OQ_2^2 - 2OB \cdot OQ_2 \cdot \cos 125^\circ} = v_{\text{拦}} \cdot t_{B1} \\ OQ_2 = OQ_1 - v_{\text{袭}} \cdot 7 - v_{\text{袭}} \cdot t_{B1} \\ OB = OD = PD / \tan 25^\circ \\ OP = PD / \sin 25^\circ \\ v_{\text{袭}} = 306m/s \\ v_{\text{拦}} = 816m/s \\ PD = 20000m \end{array} \right.$$

通过 Matlab 进行编程计算以及相关分析得表 5.3.3，

序号	OQ (m)	t _B (S)	拦截是否成功(OQ>OS)
1	OQ ₁ =42836.26	t _{B1} =98.04	成功
2	OQ ₂ = 18295.89	t _{B2} =73.19	成功
3	OQ ₃ =-1314.54	t _{B3} =57.09	不成功

表 5.3.3 B 舰拦截任务

综上，若只有 B 参与拦截任务，则最多能够拦截 2 次，即抗饱和攻击能力为拦截来袭导弹 2 批次。

(四) A 舰单独拦截

简化的数学模型，如图 5.3.5 所示，

指挥舰应满足的数学模型为，

$$\left\{ \begin{array}{l} OQ \geq OS = 10000m \\ OQ = v_{\text{拦}} \cdot t_o \\ Q_1Q = v_{\text{袭}} \cdot (7 + t_o) \\ OQ + Q_1Q = OQ_1 \\ OP = PD / \tan 25^\circ, PD = 20000m \\ v_{\text{拦}} = 816m/s, v_{\text{袭}} = 306m/s \end{array} \right. \quad (\text{模型 9})$$

指挥舰执行二次拦截任务时，应满足的数学模型为，

$$\left\{ \begin{array}{l} OQ_1 \geq OS = 10000m \\ OQ_2 = v_{\text{拦}} \cdot t_{o1} \\ Q_1Q_2 = v_{\text{袭}} \cdot (7 + t_{o1}) \\ OQ_2 + Q_1Q_2 = OQ_1 \\ OP = PD / \tan 25^\circ, PD = 20000m \\ v_{\text{拦}} = 816m/s, v_{\text{袭}} = 306m/s \end{array} \right.$$

通过 Matlab 进行编程计算以及相关分析得表 5.3.4，

序号	OQ (m)	t _o (S)	拦截是否成功(OQ>OS)
1	OQ ₁ =80000.00	t _{o1} =98.04	成功
2	OQ ₂ =56624.00	t _{o2} =69.39	成功
3	OQ ₃ =39623.27	t _{o3} =48.56	成功
4	OQ ₄ =27259.11	t _{o4} =33.41	成功
5	OQ ₅ =18266.99	t _{o5} =22.39	成功
6	OQ ₆ =11727.27	t _{o6} =14.37	成功
7	OQ ₇ =6971.11	t _{o7} =8.54	不成功

表 5.3.4 指挥舰拦截任务

综上，若只有 D 参与拦截任务，则最多能够拦截 6 次，即抗饱和攻击能力为拦截来袭导弹 6 批次。

5.3.3 问题三的总结

求我编队在得到空中预警机的信息支援（距离我指挥舰 200 千米内的所有来袭导弹都可以准确预警）下，我编队保持队形不变，仅使用防空导弹拦截敌来袭导弹对我指挥舰攻击时的抗饱和攻击能力提高多少，假设足够多批次导弹几乎同时攻击我指挥舰，即每个舰艇都能完成自身的最大饱和攻击能力，整个舰队的总的抗饱和攻击能力，即是各个舰的抗饱和攻击能力之和，如下式所示，

$$\text{舰队的抗饱和攻击能力} = \sum \text{各舰的抗饱和能力}$$

即：舰队的抗饱和攻击能力 = $8 + 4 + 2 + 0 + 6 = 20$

我舰队编队在得到空中预警机的信息支援下，抗饱和攻击能力为 20 批次，比没有预警之前，提高了 13 批次。

5.4 问题四的模型建立与求解

5.4.1 问题分析

首先，根据已给出的目标 ID 的经度和纬度，先把它们转化成角度值，然后通过转化后的坐标值（其中经度为 x 轴，纬度为 y 轴方向，中间的五角星为护航舰的坐标位置，经度：112.7028 纬度：15.6853），用 MATLAB 画出 12 批目标相对于指挥舰的全局分布图。如图 5.4.1 所示：

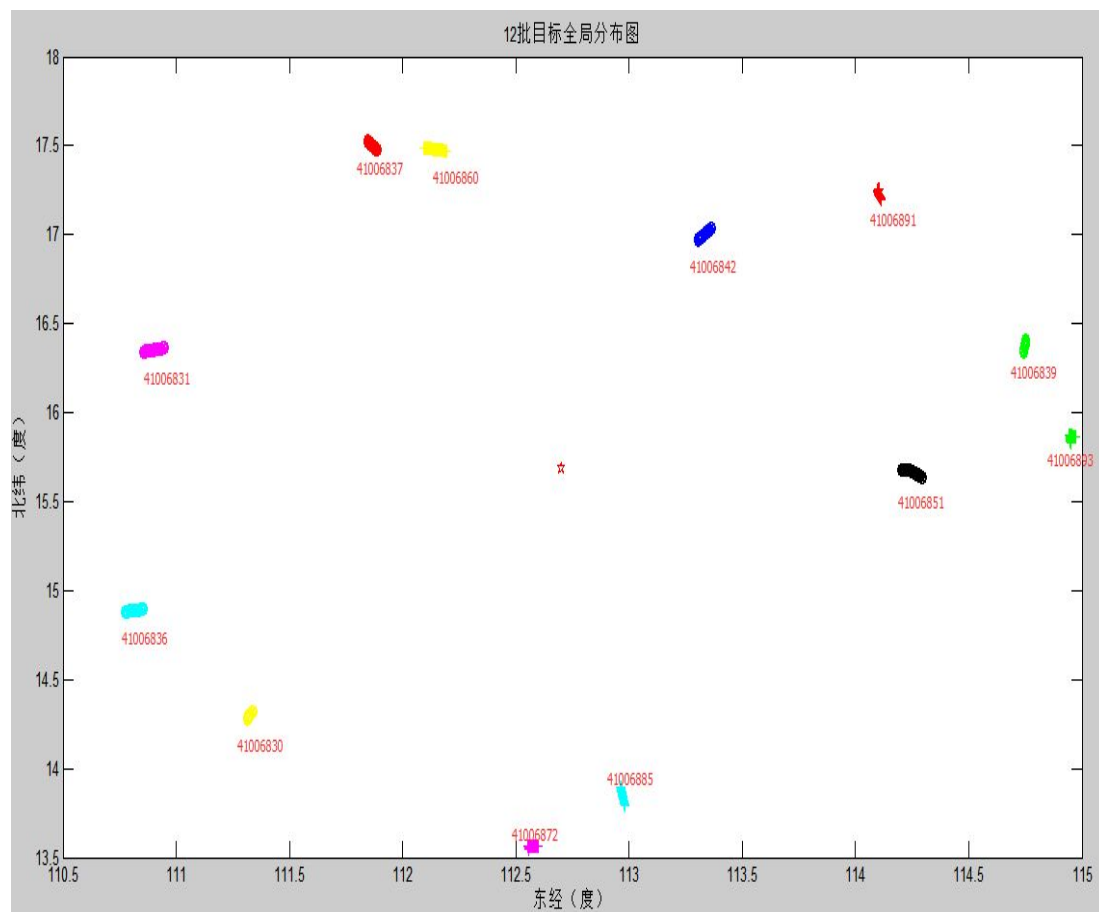
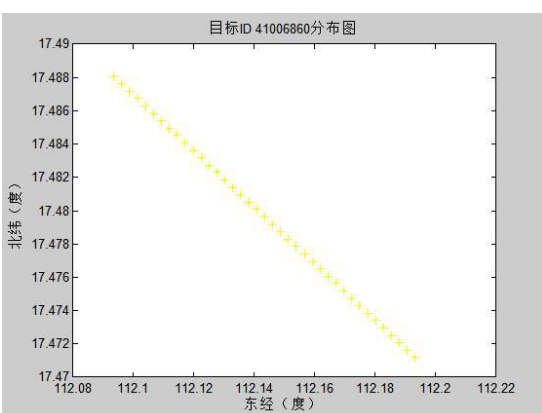
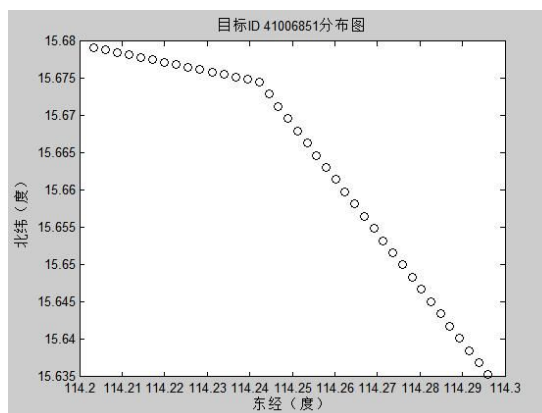
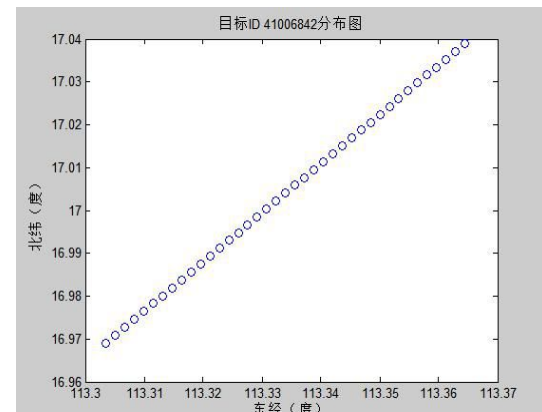
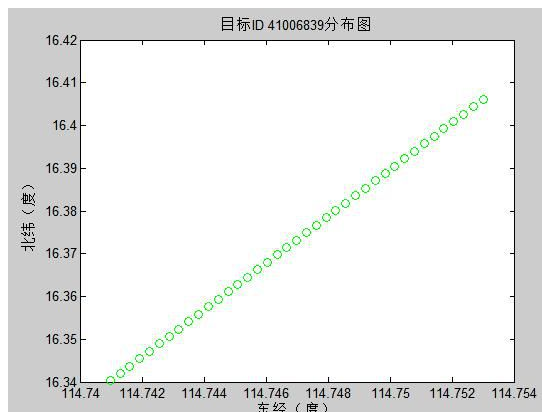
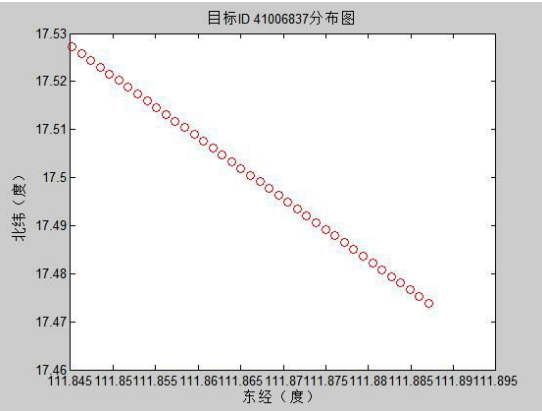
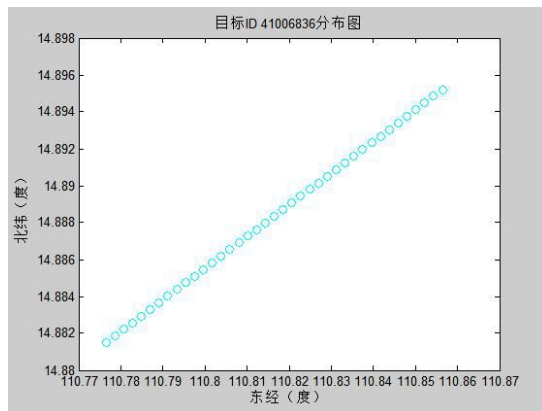
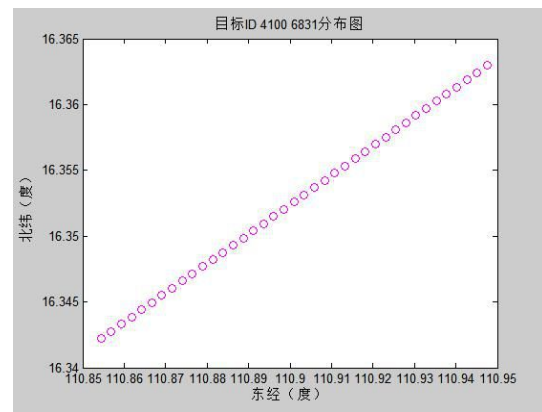
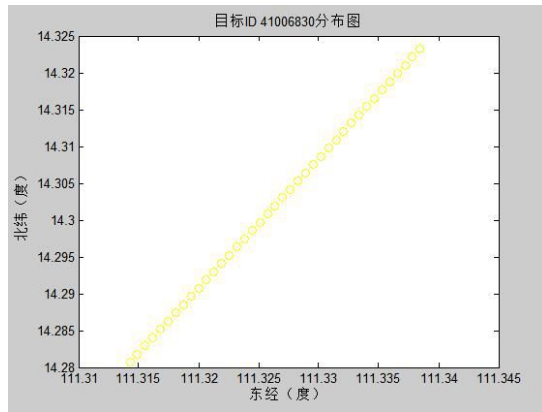
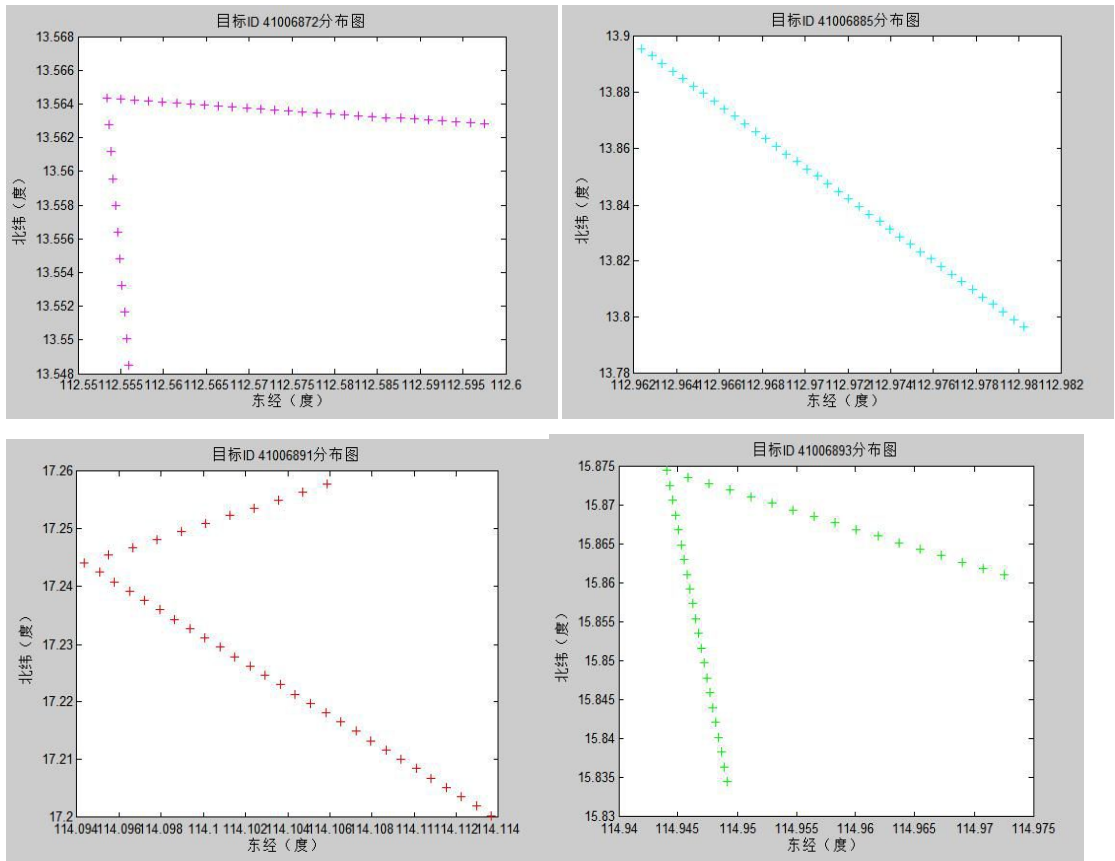


图 5.4.1 批空中目标全局分布图

为详细分析目标的动向意图，还需要单独的对目标和指挥舰的位置和方位进行更加深层的分析。其中各目标的在这段时间的运动轨迹如下图所示。





通过 12 批目标全局分布图和各批目标的运动轨迹图，可以直观的了解每一批可疑目标的运动特征，虽然，不能够精确的表达出它们各自的水平速度大小、方位角、和指挥舰的距离、以及航向角。但是，可以帮助我们更好的理解全局的形式，对它们的意图有更精确的把握。

为了满足评判规则的样本参数，还要求出方位角、距离、水平速度、航向角。（目标高度以及雷达反射面积和目标属性可以直接获取，如表 5.4.1 所示）

目标 ID	雷达反射面积 (m ²)	目标属性	高度
41006830	3.5	中目标	7000
41006831	5.7	大目标	9200
41006836	1.9	小目标	4600
41006837	4.3	大目标	5200
41006839	5.5	大目标	5200
41006842	2.6	中目标	3400
41006851	5.5	大目标	2600
41006860	6.2	大目标	9400
41006872	1.7	小目标	6000

41006885	1.1	小目标	1400
41006891	3.6	中目标	4800
41006893	3.1	中目标	8600

表 5.4.1 各雷达反射面积

5.4.2 计算方位角和航向角（程序见附件）（以目标 ID 41006830 为例进行求解）

由于题中给出的经纬度坐标都是在 37s 内，而且数量只有 38 组和 39 组两种类型，所以假定 1s 中采集一次数据。设，用 x 表示目标的经度， y 表示目标的纬度，目标在 t 时刻的坐标为在第一秒时刻的坐标，则在第 i 秒时刻的坐标表示为 $(x(i), y(i))$ ，同理，在第 $i+1$ 秒时刻的坐标为 $(x(i+1), y(i+1))$ 。指挥舰的坐标为 (x_0, y_0) 。

$$\theta = \arctan\left(\frac{|y(i) - y_0|}{|x(i) - x_0|}\right) \quad (一)$$

注意：1 $(x(i), y(i))$ ， (x_0, y_0) 都是转化为角度后的坐标值；

2 θ 值计算出来后还需要把弧度转化为角度，用公式 $\frac{\theta * 180}{\pi}$

3 为保证相对于正北方向的角度，需要进行坐标方位的判断，再进行二次计算。

4 加绝对值的原因是因为在程序中需要对 $y(i)$ 与 y_0 ，和 $x(i)$ 与 x_0 的大小进行判定，已推出点 $(x(i), y(i))$ 所在的位置象限，进而结合 θ 值得出最终相对于正北方向的角度值。

计算步骤：

1、按照公式一，计算出 θ 。

2、转化角度，用公式 $\frac{\theta * 180}{\pi}$

3、坐标方位判断，如果 $y(i) > y_0, x(i) > x_0$ 则最终角度为 $90 - \frac{\theta * 180}{\pi}$ ，如果 $y(i) > y_0, x(i) < x_0$ 则最终的角度为 $270 + \frac{\theta * 180}{\pi}$ ，如果 $y(i) < y_0, x(i) < x_0$ ，则最终的角度为 $270 - \frac{\theta * 180}{\pi}$ ，否则 $y(i) < y_0, x(i) > x_0$ ，则最终的角度为 $90 + \frac{\theta * 180}{\pi}$ 。

4、因为方向角的单位为 mil，一周分为 6400mil。所以，转化后的方位角为 $(n \pm \frac{\theta * 180}{\pi}) * 6400 / 360$ 。（ n 的大小根据步骤 3 来确定）

同理，可以求得目标的航向角，公式如下：

$$\theta = \arctan\left(\frac{|y(i+1) - y(i)|}{|x(i+1) - x(i)|}\right) \quad (二)$$

注意：1 因为目标是时刻在运动的，所以航向角也是时刻在变化的，故根据相邻数据的方位角就可以判断每一时刻的航向角。

- 计算步骤：1、根据公式二求得 θ 值。
2、按照计算方位角的步骤 2、3 进行计算即可。

5.4.3 计算距离 D 和水平速度

距离 D (km) 是指从我指挥舰位置到空中目标的距离，所以距离也是随着时间在不停地改变。在求解时，目标的飞行高度相对于地球的半径比较小，并且为了和其他目标公式吻合，计算时不计其高度。（注意，计算时直接用弧度值进行计算）公式如下：

$$D = \sqrt{((y(i) - y0) \times R)^2 + ((x(i) - x0) \times R)^2} \quad (三)$$

注释：R 为地球的半径，大约 6370 千米。(x(i),y(i))为目标的在第 i 秒的经纬度，(x0,y0)为指挥舰的经纬度。

水平速度的计算公式：

$$v = \frac{\sqrt{((y(i+1) - y(i)) \times R)^2 + ((x(i+1) - x(i)) \times R)^2}}{t} \quad (四)$$

注释：t 的取值为 1 秒即可，可以从给出的数据中看出时间间隔。

综上，所有在样本表中的参数我们都可以通过程序算法求得。

5.4.4 分析并建立模型

5.4.4.1 聚类分析方法的提出

通过求解可以得到各参数的数据组合，例如在第 1 秒时刻的数据组如图所示。

空中目标	方位角	距离	水平速度	航向角	高度	雷达反射		意图
						面积	目标属性	
41006830	3994	219	143	30	7000	3.5	中目标	
41006831	5148	217	279	77	9200	5.7	大目标	
41006836	4397	231	237	80	4600	1.9	小目标	
41006837	5956	225	198	142	5200	4.3	大目标	
41006839	1256	241	195	190	5200	5.5	大目标	
41006842	462	167	271	221	3400	2.6	中目标	
41006851	1631	170	308	306	2600	5.5	大目标	
41006860	6115	206	296	280	9400	6.2	大目标	
41006872	3269	238	178	350	6000	1.7	小目标	

41006885 3051	212	349	302	1400	1.1	小目标
41006891 742	234	199	220	4800	3.6	中目标
41006893 1521	253	219	295	8600	3.1	中目标

表 5.4.2 各参数的数据组合

图中数据只是各目标 ID 在第一秒的时刻对应的参数值,通过上面分析可知,因为每一个 ID 都是在连续的运动,且时间间隔按 1 秒计算,所以每一个 ID 都对应着 38 组或 39 组的数据。

然后, 根据表 2 给出的样本数据, 如表 5.4.3 所示

空中目标	方位角	距离	水平速度	航向角	高度	雷达反射面积	目标属性	意图
	(mil) β	(km) D	(m/s) V	(°) θ	(km) H	(m ²) σ		
e1	810	281	250	202	6	3	中目标	侦察
e2	820	280	245	201	6.5	5.4	大目标	侦察
e3	830	282	255	200	4.2	4.7	大目标	侦察
e4	825	284	250	204	5	2.6	中目标	侦察
e5	4 000	110	300	50	3.4	2.1	中目标	掩护
e6	4 020	120	280	52	3.6	1.7	小目标	掩护
e7	5120	110	210	52	3.6	3.7	中目标	其它
e8	4800	140	220	18	9.6	5.7	大目标	其它
e9	480	295	292	245	9.9	6.9	大目标	其它
e10	2 450	210	230	210	5	1.2	小目标	其它
e11	2 800	260	215	260	7.7	6.8	大目标	监视
e12	2 300	210	300	310	4	1.2	小目标	攻击
e13	2 325	215	320	324	4.2	2.8	中目标	攻击
e14	2 250	150	300	155	5	3.3	中目标	攻击
e15	2900	290	272	350	5.6	5.2	大目标	攻击

表 5.4.3 样本数据

通过分析表 2 给出的样本数据, 结合我们得到的目标 ID 的参数表, 我们可以想到用矩阵的方法, 对两个向量的对应元素进行比对, 所以我们想到用聚类分析的方法。

5.4.4.2 模型的建立

聚类分析是研究 (样品或指标) 分类问题的一种多元统计方法, 为了使对目标 ID 意图的精确判定, 分析每一个目标 ID 的意图时使用该 ID 的 6 个不同时刻的参数数据组, 分别是第 1s、8s、15s、22s、29s、36s 的时刻。

(1) 数据分布如图有 15 组样本数据（E1-E15）和 6 组待分析数据组（41006830 和 A16-A20）。

以目标 ID41006830 为例。

E1	810	281	250	202	6	3
E2	820	280	245	201	7	5
E3	830	282	255	200	4	5
E4	825	284	250	204	5	3
E5	4000	110	300	50	3	2
E6	4020	120	280	52	4	2
E7	5120	110	210	52	4	4
E8	4800	140	220	18	10	6
E9	480	295	292	245	10	7
E10	2450	210	230	210	5	1
E11	2800	260	215	260	8	7
E12	2300	210	300	310	4	1
E13	2325	215	320	324	4	3
E14	2250	150	300	155	5	3
E15	2900	290	272	350	6	5
41006830	3994	219	143	30	7	4
A16	3996	218	143	30	7	4
A17	3997	218	143	30	7	4
A18	3998	217	143	30	7	4
A19	3999	216	143	30	7	4
A20	4000	215	143	30	7	4

表 5. 4. 5 SPSS 中数据组分布图

(2) 进行各项参数的设计，如图所示

其中，最小聚类数设为 5 类，因为只有侦察、监视、攻击、掩护、其它这五类。



5. 4. 5 问题四的总结

通过树状图可以得出，本次输入的 6 组待识别的向量组是聚合度最接近的，其次是这六组与 E8 组的聚合度最为相近。所以可以判定该目标 ID41006830 的意图和 E8 一样。参考该题中的样本表 2，可知意图为其它。

阶	群集组合		系数	首次出现阶群集		下一阶
	群集 1	群集 2		群集 1	群集 2	
1	19	20	.000	0	0	3
2	17	18	.000	0	0	4
3	19	21	.001	1	0	5
4	16	17	.001	0	2	5
5	16	19	.004	4	3	16
6	5	6	.106	0	0	13
7	1	4	.282	0	0	10
8	12	13	.843	0	0	12
9	2	3	1.715	0	0	10
10	1	2	3.672	7	9	17
11	11	15	5.648	0	0	15
12	10	12	7.641	0	8	14
13	5	7	9.951	6	0	18
14	10	14	12.484	12	0	18
15	9	11	17.136	0	11	17
16	8	16	23.362	0	5	19
17	1	9	31.898	10	15	20
18	5	10	44.476	13	14	19
19	5	8	80.121	18	16	20
20	1	5	120.000	17	19	0

将空中目标的意图归结为表 5.4.6

ID	与何样本值相近	意图
ID 41006830	E8	其它类
ID 41006831	E7	其它类
ID 41006836	E10	其它类
ID 41006837	E8	其它类
ID 41006839	E1 和 E13	侦察类或攻击类
ID 41006842	E14	攻击类
ID 41006851	E13 和 E14	攻击类
ID 41006860	E8 和 E13	其它类或攻击类
ID 41006872	E8	其它类
ID 41006885	E14、E12、E13	攻击类
ID 41006891	E1、E2、E4	侦察类
ID 41006893	E1E2E4 或 E9E11	其它类或侦察类

表 5.4.6 空中目标意图结果

5.5 问题五的模型建立与求解

5.5.1 问题五的分析

信息化条件下,战争对抗出现了新的特点,陆海空天多维力量得到运用,体系对抗成为主流^[3]。材料中指出战略级模型是以描述战争特点和规律为目标,战争是由若干场战役组成的军事对抗活动,模型粒度一般为执行作战任务的某一个军种或整个武装力量,如执行作战任务的海军、空军和陆军,常用黑箱模型。

信息化战争是信息时代的基本战争形态，是信息化军队在陆、海、空、天、信息、认知、心理等七维空间，运用信息、信息系统和信息化武器装备进行的战争。信息化战争中充满了侦查与反侦查、干扰与反干扰、欺骗与反欺骗，摧毁与反摧毁，破坏与反破坏，控制与反控制，以及指挥决策和谋略的较量。

信息化战争的基本特征:信息资源急剧升值，信息的主导作用增强；武器装备高度信息化；作战空间超大多维；作战节奏迅疾快捷；作战要素一体化；作战指挥扁平化；作战行动精确化。

信息化的武器装备系统构成：信息武器、单兵数字化装备和 C4ISR 系统。
信息化战争作战行动的精确化主要体现：一是精确侦察、定位控制；二是精确打击；三是精确保障。

信息化战争的制胜理念是控制敌人、瘫痪敌人，通过破击敌人作战体系，达到巧战而屈人之兵的目的。

信息化战争中的信息作战样式：电子战、空间战、网络战、情报战、心理战。

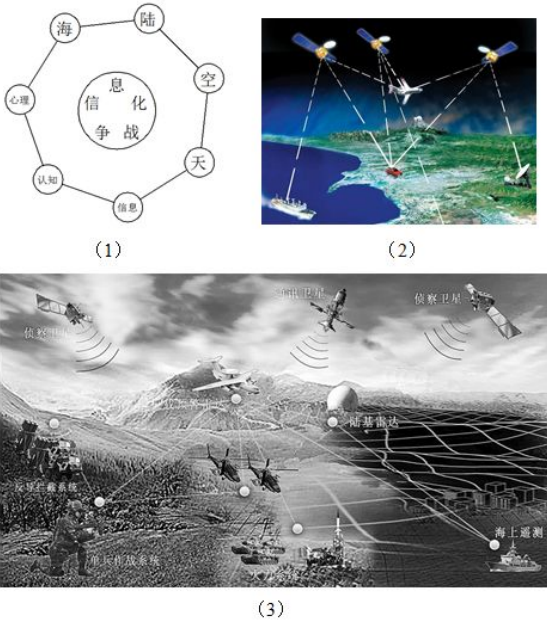


图 5.5.1 信息化战争

在图 5.5.1 信息化战争图中，（1）表述的是在信息化战争中，信息化军队在陆、海、空、天、信息、认知、心理等七维空间，运用信息、信息系统和信息化武器装备构成一个网络体系，将战场信息及时的传达至每一个参战单位，参战单位再及时的下达作战部署，在信息化战争中取得胜利。（2）^[4]、（3）^[5]形象的表达出了信息化战争中的武器装备，作战行动的精确化等特点。信息化战争离不

开信息，那么信息在信息化战争中所起的作用主要有哪些呢？主要表现在以下四个方面：信息威慑力、信息聚合力、信息控制力以及信息毁伤力。

信息威慑力是指拥有信息优势的一方对作战对象行动的遏制能力。主要表现在：一是战场对信息优势一方“单向透明”，能让对方产生一种“暴露于敌而自己浑然不知”的恐惧感，使其不敢轻举妄动。二是信息优势一方能迅速将信息优势转化为认知优势、决策优势和行动优势，具备“先机制敌”的实战威慑力。

信息聚合力是指信息对作战力量诸要素的融合和链接能力。主要表现在：一是聚合物质力量。物质力量主要指参战的人员、装备、物资等。聚合物质力量，就是在注重物质力量内部，即人员、装备与技术强大的基础上，发挥信息“调配”功能，使它的有机融合，形成 $1+1>2$ 的功效。二是聚合结构力量。结构力量指构成战争力量的体制、机构、作战编成等。聚合结构力量，就是发挥信息的“融合”功能，对作战结构力量进行“基因重组”，如基于信息流程和资源共享建立军种界限趋于模糊的一体化作战力量和“网络扁平”的一体化联合指挥网络，达成作战力量的最佳组合。三是聚合行为力量。行为力量指直接用于作战行动的侦察力、干扰力、机动力、突击力、防护力、摧毁力、保障力等。聚合行为力量，就是发挥信息的“链接”、“放大”功能，依托战场综合信息化系统，实现侦察、干扰、机动、突击、防护、摧毁、保障等作战行动的实时联动，形成作战能量的高度集中。

信息控制力是指信息对作战行动在空间、时间和节奏上的制约能力。信息技术给战场带来的变革始于指挥领域，集中体现在对作战行动的高效控制上。首先，指挥手段的网络化发展，使信息终端的“触角”紧随每一个作战单元扩展到陆、海、空、天的每一个角落，大大拓展了指挥控制的范围。其次，战场态势共享和指挥体制的进一步优化，使信息的实时传输性得到有效利用，实现了战场控制的连续、动态和实时。其三，指挥控制自动化和信息处理智能化，使高度分散的战场行动形成有序流动和效能融合，实现了控制的精确高效。

信息毁伤力信息毁伤是兵力毁伤、火力毁伤的延续，是信息化战争的重要致胜手段，具有软硬结合、多能释放、精确可控的特征。在毁伤效果上，既有实体摧毁的硬打击，又有功能破坏的软杀伤；在能量释放上，既有热能和机械能，又有定向能、电磁能、智能等信息能。信息毁伤力的强化，改变了传统战场上的打

击手段，是信息技术运用于战场的集中体现。

总之信息威慑力、聚合力、控制力、毁伤力是一个密不可分的整体，在战斗中相辅相成，共同发挥作用。信息威慑力是信息战斗力诸要素形成的合力，是信息优势的综合体现；信息毁伤力是信息化毁伤兵器直接作用的结果，是信息战斗力的直接体现，两者同时作用于作战对象，是信息能量的释放过程。信息聚合力和信息控制力作用于作战实体自身内部，是信息能量的集中过程，其能力通过威慑力和毁伤力来体现，是信息战斗力构成的基础。在信息化战争中，只有着眼于信息能量的集中和释放，善于运用和“激发”信息“深藏”的各种潜力，才能最大限度地发挥信息这把“利剑”的强大威力。

发现目标就意味着打击目标,而打击目标就意味着摧毁目标。因此,及时准确地发现目标,是精确打击目标的基础和前提。发现目标,主要由侦察监视和预警系统实现^[4]。战场胜负不再仅仅取决于军队数量的多寡、火力与机动力的强弱，信息力成为现代军队作战能力的关键因素。信息成了整个军队的核心，成为一种武器^[5]。

5.5.2 传统的战争评估模型

5.5.2.1 正规作战模型

(1) 模型假设

①不考虑增援，并忽略非战斗减员；

②红蓝双方均以正规部队作战，每一方士兵的活动均公开，处于对方士兵的监视与杀伤范围之内，一旦一方的某个士兵被杀伤，对方的火力立即转移到其他士兵身上。因此，红蓝双方的战斗减员率仅与对方的兵力有关，简单的设为是正比例关系，以 b 、 a 分别表示红蓝双方单个士兵在单位时间的杀伤力，称为战斗有效系数。若以 r_x 、 r_y 分别表示红蓝双方单个士兵的射击率，它们通常主要取决于部队的武器装备；以 p_x 、 p_y 分别表示红蓝双方士兵一次射击的（平均）命中率，它们主要取决于士兵的个人素质，则有 $a = r_y \cdot p_y$ 、 $b = r_x \cdot p_x$ 。

(2) 模型建立

根据模型假设①，结合一般的战争模型，可得正规作战数学模型的形式应为：

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = -f(x, y) \\ \dot{y}(t) = -g(x, y) \\ x(0) = x_0, \quad y(0) = y_0 \end{cases}$$

又由假设②，红蓝双方的战斗减员率分别为

$$f(x, y) = ay, \quad g(x, y) = bx。$$

于是得正规作战的数学模型：

$$\begin{cases} \dot{x} = -a \cdot y \\ \dot{y} = -b \cdot x \\ x(0) = x_0, \quad y(0) = y_0 \end{cases}$$

(3) 模型求解

定义：相平面是指把时间 t 作为参数，以 x, y 为坐标的平面。

轨线是指相平面中由方程组的解所描述出的曲线。

现在，我们来求解轨线方程。将模型方程的一式除以二式，得到

$$\frac{dx}{dy} = \frac{-ay}{-bx},$$

即

$$bx \cdot dx = ay \cdot dy,$$

进而得该模型的解满足：

$$bx^2 - ay^2 = K,$$

其中令 $K = bx_0^2 - ay_0^2$ 。

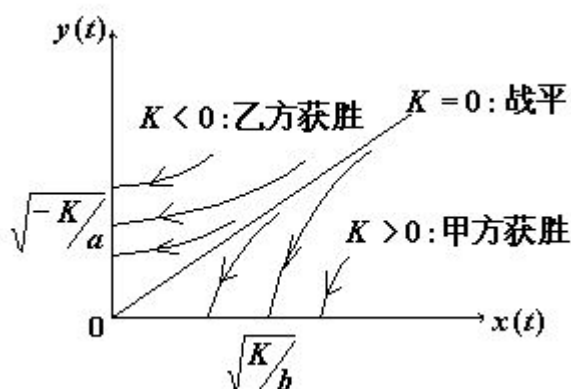


图 5.5.2 平方律的双曲线

5.5.2.2 游击作战模型

(1) 模型假设

①不考虑增援，忽略非战斗减员；

②红蓝双方均以游击作战方式，每一方士兵的活动均具有隐蔽性，对方的射

击行为局限在某个范围考虑可以被认为是盲目的。因此，红蓝双方的战斗减员率不光与对方的兵力有关，同样设为是正比关系；而且与自己一方的士兵数有关，这主要是由于其活动空间的限制所引起的，士兵数越多，其分布密度会越大，显然二者服从正比例关系，这样对方投来的一枚炮弹的平均杀伤力（期望值）也会服从正比例关系增加；若以 S_x 、 S_y 分别表示红蓝双方的有效活动区域的面积，以 s_x 、 s_y 分别表示红蓝双方一枚炮弹的有效杀伤范围的面积，以 r_x 、 r_y 分别表示红蓝双方单个士兵的射击率， s_x 、 s_y 、 r_x 、 r_y 主要取决于部队的武器装备的性能和贮备； r_x 、 r_y 也取决于士兵的个人素质。所以红方的战斗有效系数

$$d = \frac{r_x s_x}{S_y}, \quad \text{蓝方的战斗有效系数} \quad c = \frac{r_y s_y}{S_x}。$$

(2) 模型建立

与正规作战模型相同，据模型假设①，得游击作战模型的形式也为：

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = -f(x, y) \\ \dot{y}(t) = -g(x, y) \\ x(0) = x_0, \quad y(0) = y_0。 \end{cases}$$

由假设②，红蓝双方的战斗减员率分别为

$$f(x, y) = cxy, \quad g(x, y) = dxy。$$

结合以上两表达式，并代入 c 、 d 的值，可得游击作战的数学模型：

$$\begin{cases} \dot{x} = -\frac{r_y \cdot s_y \cdot x}{S_x} \cdot y \\ \dot{y} = -\frac{r_x \cdot s_x \cdot y}{S_y} \cdot x \\ x(0) = x_0, \quad y(0) = y_0 \end{cases}$$

(3) 模型求解

从模型方程得到

$$r_x \cdot s_x \cdot S_x \cdot dx = r_y \cdot s_y \cdot S_y \cdot dy，$$

进而可得该模型的解满足：

$$r_x \cdot s_x \cdot S_x \cdot x - r_y \cdot s_y \cdot S_y \cdot y = L，$$

结合初始条件，知

$$L = r_x \cdot s_x \cdot S_x \cdot x_0 - r_y \cdot s_y \cdot S_y \cdot y_0。$$

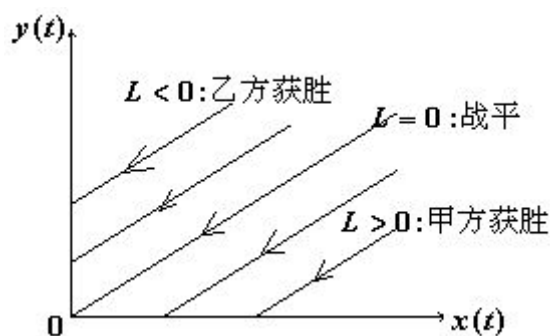


图 5.5.3 线性律

5.5.2.3 混合作战模型

(1) 模型假设

①不考虑增援，忽略非战斗减员；

②红方以游击作战方式，蓝方以正规作战方式；以 b 、 c 分别表示红蓝双方的战斗有效系数，若以 r_x 、 r_y 分别表示红蓝双方单个士兵的射击率，以 p_x 、 p_y 分别表示红蓝双方士兵一次射击的（平均）命中率，以 S_x 表示红方的有效活动区域的面积，以 S_y 表示蓝方一枚炮弹的有效杀伤范围的面积，则 $b = r_x \cdot p_x$ ，

$$c = \frac{r_y \cdot S_y}{S_x}。$$

(2) 模型建立

根据对正规作战和游击作战的分析，得混合作战的数学模型：

$$\begin{cases} \dot{x} = -c \cdot x \cdot y \\ \dot{y} = -b \cdot x \\ x(0) = x_0, \quad y(0) = y_0 \end{cases}$$

(3) 模型求解

从模型方程得到该模型的解满足：

$$2bx - cy^2 = M，$$

其中 $M = 2bx_0 - cy_0^2$ 。

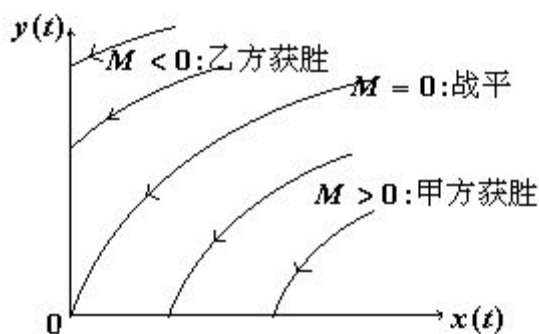


图 5.5.4 抛物律

5.5.3 信息化战争评估模型的建立与求解

通过前面几种传统战争模型的介绍，从模型假设来看，将作战双方兵力作为主要的影响因子，正规作战模型、游击作战模型以及混合作战模型，均不考虑增援以及非战斗减员，无论是在冷兵器时代、热兵器时代以及信息时代背景下，这些传统的作战模型仅仅适用于局部的小战争，小冲突。在信息高速发展的今天，战争致胜的因素不仅仅是兵力、火力以及机动力等的强弱，信息力成为现代军队作战能力的关键因素，过去 12 年间,美军先后发动了海湾战争、科索沃战争、阿富汗战争,三场战争前后递进,不断创新,不仅验证了新军事变革的阶段性成果,而且促使战争形态从机械化向信息化一步步逼近^[4]。

信息作为信息化战争中核心，通过相关文献以及信息化战争的相关介绍，运用层次分析法将信息化战争致胜因素归结为图 5 所示，

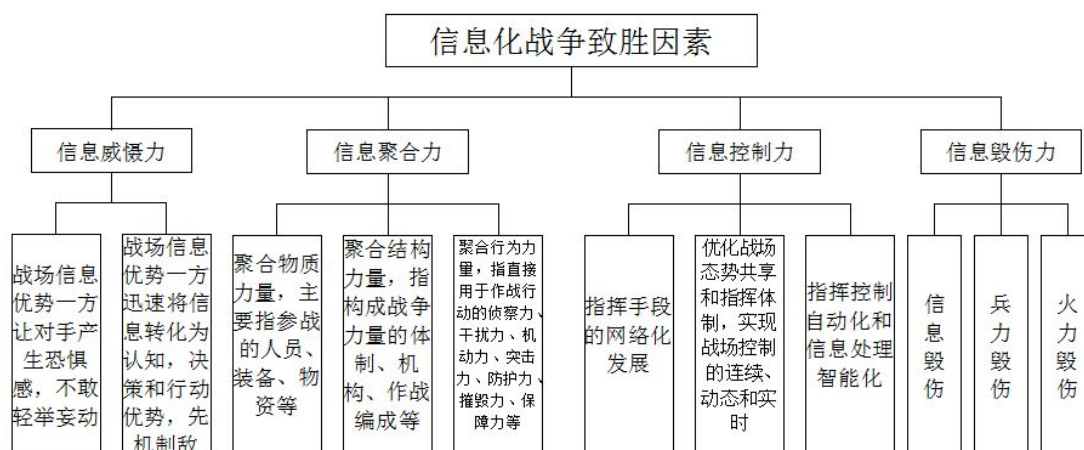


图 5.5.5 信息化战争致胜因素

5.5.3.1 一般战争模型

(1) 问题的提出

如果我方的预警机和水面舰艇编队的雷达和通信系统遭到敌方强烈的电子干扰，无法发现目标，也无法传递信息，这时，后果将是极其严重的，我编队防空导弹的拦截效能几乎降低到零。由此引起人们的深思，信息化条件下作战对传统的作战评估模型和作战结果已经产生重要的甚至某种程度上是决定性的影响。信息化战争的结果应该用什么样的模型来分析或预测呢？建立宏观的战略级信息化战争评估模型，从一般意义上反映信息化战争的规律和特点，利用模型分析研究信息系统、指挥对抗、信息优势、信息系统稳定性，以及其它信息化条件下作战致胜因素的相互关系和影响。并通过信息化战争的经典案例，例如著名的海湾战争，对模型加以验证。

(2) 问题假设

红蓝两支部队互相交战，设 $x(t)$ 、 $y(t)$ 分别表示红蓝交战双方在时刻 t 的兵力，其中 t 是从战斗开始时以天为单位计算的时间。 $x(0)=x_0$ 、 $y(0)=y_0$ 分别表示红蓝双方在开战时的初始兵力，显然 x_0 、 $y_0 > 0$ 。在整个战争期间，双方的兵力在不断发生变化，而影响兵力变化的因素包括：士兵数量以及种类、战斗准备情况以及战争中的信息处理能力、武器性能和数量、指挥员的素质以及大量的心理因素和无形因素（如双方的政治、经济、社会等因素）。这些因素转化为数量非常困难。为此，我们作如下假定把问题简化。

①设 $x(t)$ 、 $y(t)$ 为双方的士兵人数；

- ②设 $x(t)$ 、 $y(t)$ 是连续变化的，并且充分光滑；
- ③每一方的战斗减员率取决于双方的兵力，不妨以 $f(x,y)$ 、 $g(x,y)$ 分别表示红蓝双方的战斗减员率；
- ④每一方的非战斗减员率（由疾病、逃跑以及其他非作战事故因素所导致的一个部队减员），它通常可被设与本方的兵力成正比，比例系数 α 、 $\beta > 0$ 分别对应红蓝双方；
- ⑤每一方的增援率，它通常取决于一个已投入战争部队以外的因素，红蓝双方的增援率函数分别以 $\mu(t)$ 、 $\nu(t)$ 表示；
- ⑥不考虑无法定量化表示的因素，如无形因素（如双方的政治、经济、社会等因素）。

(3) 模型建立

根据简化问题模型，可以得到一般的战争模型如下，

$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = -f(x,y) - \alpha \cdot x + \mu(t) \\ \frac{dy(t)}{dt} = -g(x,y) - \alpha \cdot y + \nu(t) \\ x(0) = x_0, y(0) = y_0 \end{cases}$$

在不同的战争类型中，战斗的减员率是不同的，影响减员率的因素也不同，下面针对信息化战争来讨论战斗减员率 $f(x,y)$ 、 $g(x,y)$ 的具体形式。

5.5.3.2 信息化战争模型

信息是信息化战争中的核心，信息在信息化战争中主要起着威慑、聚合、控制以及毁伤力。那么如何定量的描述信息的威慑、聚合、控制和毁伤力，以及建立与战斗减员率之间的关系是构建信息化模型的关键。

(1) 信息的威慑、聚合、控制和毁伤力的定量描述

信息威慑力是指拥有信息优势的一方对作战对象行动的遏制能力。主要表现在：一是战场对信息优势一方“单向透明”，能让对方产生一种“暴露于敌而自己浑然不知”的恐惧感，使其不敢轻举妄动。二是信息优势一方能迅速将信息优势转化为认知优势、决策优势和行动优势，具备“先机制敌”的实战威慑力。要想在信息化战争取得信息威慑力的能力，那就要求在战争中取得信息优势，要想

取得信息优势，就得需要先进的技术及设备获取战场信息，取得大量信息，获得信息优势。将对战场信息的掌握率函数 $\varepsilon(t)$ 作为信息威慑力的定量表示。假定 $\varepsilon_J(t)$ 、 $\varepsilon_Y(Jt)$ ——战争中红蓝双方对战场信息的掌握率函数。

信息聚合力是指信息对作战力量诸要素的融合和链接能力。主要表现在：一是聚合物质力量。物质力量主要指参战的人员、装备、物资等；二是聚合结构力量。结构力量指构成战争力量的体制、机构、作战编成等；三是聚合行为力量。行为力量指直接用于作战行动的侦察力、干扰力、机动力、突击力、防护力、摧毁力、保障力等。要想取得信息聚合力，首先要有一定的物质、结构以及行为力量，其次要求在获得信息后，作战力量诸要素能快速的融合和链接在一起。因此将物质力量聚合函数 $\rho(t)$ 、结构力量聚合函数 $\lambda(t)$ 以及行为力量聚合函数 $\kappa(t)$ 作为信息聚合力的定量表示，且在表示信息聚合力的函数中对应的比例系数分别为 k_1 、 k_2 、 k_3 。假定 $\rho_J(t)$ 、 $\rho_Y(t)$ ——战争中红蓝双方物质力量聚合函数； $\lambda_J(t)$ 、 $\lambda_Y(t)$ ——战争中红蓝双方结构力量聚合函数； $\kappa_J(t)$ 、 $\kappa_Y(t)$ ——战争中红蓝双方行动力量聚合函数。

信息控制力是指信息对作战行动在空间、时间和节奏上的制约能力。信息技术给战场带来的变革始于指挥领域，集中体现在对作战行动的高效控制上。首先，指挥手段的网络化发展，使信息终端的“触角”紧随每一个作战单元扩展到陆、海、空、天的每一个角落，大大拓展了指挥控制的范围。其次，战场态势共享和指挥体制的进一步优化，使信息的实时传输性得到有效利用，实现了战场控制的连续、动态和实时。其三，指挥控制自动化和信息处理智能化，使高度分散的战场行动形成有序流动和效能融合，实现了控制的精确高效。要想在信息化战争中取得信息控制能力，首先要求在战争中获得信息优势，取得信息主动权，在空间、时间和节奏上对作战行为进行制约。因此将对战场信息的掌握率函数 $\varepsilon(t)$ 和战场信息的应用率函数 $\xi(t)$ 作为信息控制量的定量描述，且在表示信息控制力的函数表达式中比例系数为 l_1 、 l_2 。

信息毁伤力。信息毁伤是兵力毁伤、火力毁伤的延续，是信息化战争的重要

致胜手段，具有软硬结合、多能释放、精确可控的特征。在毁伤效果上，既有实体摧毁的硬打击，又有功能破坏的软杀伤；在能量释放上，既有热能和机械能，又有定向能、电磁能、智能等信息能。信息毁伤力的强化，改变了传统战场上的打击手段，是信息技术运用于战场的集中体现。要想在信息化战争中获得大的信息毁伤力，就要破坏和制约对方的信息搜集网。因此，将破坏对方信息网的破坏和制约率函数 $\delta(t)$ 作为信息毁伤力的定量表示。在本文中假定 $\delta_J(t)$ ——战争中红方对蓝方破坏和制约对方信息网的破坏和制约率函数； $\delta_Y(t)$ ——战争中蓝方对红方破坏和制约对方信息网的破坏和制约率函数；

（2）符号说明

$\varepsilon_J(t)$ 、 $\varepsilon_Y(t)$ ——战争中红蓝双方对战场信息的掌握率函数；指的是在信息化战争中，对战场信息的掌握程度。与信息化战争中投入信息获取的装备以及装备的质量有关。

$\rho_J(t)$ 、 $\rho_Y(t)$ ——战争中红蓝双方物质力量聚合函数；指的是在信息化战争中，对物质力量的聚合能力，与参战的人员、装备、物资等有关。

$\lambda_J(t)$ 、 $\lambda_Y(t)$ ——战争中红蓝双方结构力量聚合函数；指的是在信息化战争中，对结构力量的聚合能力，与构成战争力量的体制、机构、作战编成等有关。

$\kappa_J(t)$ 、 $\kappa_Y(t)$ ——战争中红蓝双方行动力量聚合函数；指的是在信息化战争中，对行为力量的聚合能力，与直接用于作战行动的侦察力、干扰力、机动力、突击力、防护力、摧毁力、保障力等有关。

$\xi_J(t)$ 、 $\xi_Y(t)$ ——战争中红蓝双方信息应用率函数；指的是在信息化战争中，在获取战场信息后，对信息的处理并成功应用的能力。

$\delta_J(t)$ 、 $\delta_Y(t)$ ——战争中红方对蓝方破坏和制约对方信息网的破坏和制约率函数；破坏率函数表达的是，在信息化战争中，对敌方信息网的破坏和制约程度。

（3）问题假设

①信息化战争模型中，不考虑无形因素（如双方的政治、经济、社会等因素）等；

- ②在战争过程中，能够及时准确的判断信息流向，并作出相应的归纳总结；
- ③在信息化战争模型中，不考虑同类武器装备中的性能差异等影响因素；
- ④对战场信息的掌握程度，仅与投入使用的信息化装备数量以及侦查次数有关，与同类装备间的性能差异无关；
- ⑤物质力量的聚合能力，与参战的人员、装备、物资的数量有关，与个体之间的细微差异无关；
- ⑥结构力量的聚合能力，与构成战争力量的体制、机构、作战编成有关，与个体之间的细微差异无关；
- ⑦行动力量的聚合能力，与直接用于作战行动的侦察力、干扰力、机动力、突击力、防护力、摧毁力、保障力的数量有关，与个体之间的细微差异无关；
- ⑧在信息化战争中，对信息的处理并成功应用的能力与收集信息的数量、速度以及传递能力有关；
- ⑨对敌方信息网的破坏和制约程度，与对敌信息网进行破坏的作战行动次数与频率有关，并考虑发射的破坏导弹数量；
- ⑩战斗减员率与对方的信息威慑、聚合、控制以及毁伤力有关，且其对应的比例系数为 K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 。

(4) 模型建立

根据假设⑩，建立数学模型为：

$$\begin{aligned} f(x, y) &= K_1 \varepsilon_Y(t) + K_2 (k_1 \rho_Y(t) + k_2 \lambda_Y(t) + k_3 \kappa_Y(t)) + K_3 (l_1 \varepsilon_Y(t) + l_2 \xi_Y(t)) + K_4 \delta_Y(t) \\ g(x, y) &= K_1 \varepsilon_J(t) + K_2 (k_1 \rho_J(t) + k_2 \lambda_J(t) + k_3 \kappa_J(t)) + K_3 (l_1 \varepsilon_J(t) + l_2 \xi_J(t)) + K_4 \delta_J(t) \end{aligned}$$

敌对方的信息威慑、聚合、控制以及毁伤力高了，自身的战斗减员率也会相应的提高，因此要想在战争中处于优势，尽量掌握信息主动权，以信息制敌，快速精确的打击敌人。

根据假设④，可以得到以下数学模型，

$$\varepsilon(t) = k_{\varepsilon 1} \cdot Q + k_{\varepsilon 2} \cdot N$$

式中， Q ——信息化战争中，信息化装备投入的数量；

N ——信息化战争中，侦查次数；

$k_{\varepsilon 1}$ 、 $k_{\varepsilon 2}$ ——信息化装备数量及侦查次数影响因子的比例系数。

根据假设⑤⑥⑦⑧⑨, 分别可以得到物质力量聚合函数、结构力量聚合函数、行动力量聚合函数、信息应用率函数以及破坏和制约对方信息网的破坏和制约率函数模型, 在各类函数模型中, 要考虑个影响因素及其比例系数。

$$\text{将以上定量关系代入一般战争模型} \left\{ \begin{array}{l} \frac{dx(t)}{dt} = -f(x, y) - \alpha \cdot x + \mu(t) \\ \frac{dy(t)}{dt} = -g(x, y) - \alpha \cdot y + \nu(t) \\ x(0) = x_0, y(0) = y_0 \end{array} \right. \text{中, 得到信}$$

息化战争模型,

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx(t)}{dt} = -[K_1 \varepsilon_Y(t) + K_2 (k_1 \rho_Y(t) + k_2 \lambda_Y(t) + k_3 \kappa_Y(t)) + K_3 (l_1 \varepsilon_Y(t) + l_2 \xi_Y(t)) + K_4 \delta_Y(t)] - \alpha \cdot x + \mu(t) \\ \frac{dy(t)}{dt} = -[K_1 \varepsilon_J(t) + K_2 (k_1 \rho_J(t) + k_2 \lambda_J(t) + k_3 \kappa_J(t)) + K_3 (l_1 \varepsilon_J(t) + l_2 \xi_J(t)) + K_4 \delta_J(t)] - \alpha \cdot y + \nu(t) \\ x(0) = x_0, y(0) = y_0 \end{array} \right.$$

5.5.4 信息化战争中的空袭模型

信息化战争主要以空袭为主, 在获取战场信息后, 运用空袭战, 快速精确的打击目标, 消弱地方势力。空袭模式为电子战飞机先开辟通道, 攻击型飞机在掩护型飞机的掩护下进行攻击, 对选定目标实施多方向、多波次、高强度的持续空袭, 最大程度的削弱敌方的 C³I (指挥、控制、通信和情报) 能力、战争潜力和战略反击能力, 为进行地面战争奠定了坚实的基础。

5.5.4.1 兰彻斯特线性律方程数学模型

基本假定为交战双方互相隐蔽;

$$\text{数学模型为: } \left\{ \begin{array}{l} \frac{dx(t)}{dt} = -\beta_l xy \\ \frac{dy(t)}{dt} = -\alpha_l xy \end{array} \right.$$

式中, x 、 y ——红蓝双方兵力数量;

α_l 、 β_l ——红蓝双方作战效能。

$$\beta_l = \frac{A_x}{A_l} n_y p(y), \alpha_l = \frac{A_y}{A_l} n_x p(x)$$

式中, A_1 、 A_2 ——红蓝战斗成员的平均分布面积;

A_x 、 A_y ——红蓝战斗成员的易损面积；

n_x 、 n_y ——红蓝战斗成员的战术速射；

$p(x)$ 、 $p(y)$ ——一对格斗中红蓝战斗成员对对方的毁伤概率。

将数学方程组中，两式相除并积分得到：

$$\beta_l(y_0 - y(t)) = \alpha_l(x_0 - x(t))$$

5.5.4.2 兰彻斯特平方律方程数学模型

基本假定为交战双方互相隐蔽；

数学模型为：

$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = -\beta_s y \\ \frac{dy(t)}{dt} = -\alpha_s x \end{cases}$$

式中， $x(t)$ 、 $y(t)$ ——红蓝双方兵力数量；

α_l 、 β_l ——红蓝双方作战效能。

$$\beta_s = n_y p(x), \alpha_s = n_x p(y)$$

将数学方程组中，两式相除并积分得到：

$$\beta_l(y_0^2 - y(t)^2) = \alpha_l(x_0^2 - x(t)^2)$$

5.5.4.3 信息化战争中的空袭模型

兰彻斯特线性律方程和平方律方程，考虑的是单兵素质，而且线性律方程假定交战双方相互隐蔽和平方律方程假定交战双方相互暴露，而在空袭模式中，单兵素质不再是重要影响因素，在信息化战争中，由于信息的支持，交战双方的兵力都有可能相对隐蔽和暴露，而主要考虑的因素是打击目标的准确性（即所打击的目标要么是准确的目标，要么是不准确的目标），对战场信息的感知能力，敌方采取的反干扰模式。

（1）模型假设

①假设发现目标后，迅速出击，对方没有时间采取防御措施；

②假设每次攻击目标区域，攻击区域内投弹密度相等，即在考虑对目标区域内单个战斗成员的毁伤系数时，无需考虑每次攻击目标的面积及投放的导弹数量。

(2) 模型建立

$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = -P_y \cdot \alpha_c \cdot B_c \cdot \rho_{ac} - (1-P_y) \alpha_d B_d \rho_{ad} \\ \frac{dy(t)}{dt} = -P_x \cdot \beta_c \cdot A_c \cdot \rho_{\beta c} - (1-P_x) \beta_d A_d \rho_{\beta d} \end{cases}$$

式中, $x(t)$ 、 $y(t)$ ——红蓝双方兵力数量; $x_0 = x(0), y_0 = y(0)$ 为战争初始的红蓝双方兵力数量, 且满足 $x_0 > 0, y_0 > 0$;

β_c ——红方对蓝方准确目标区域内单个战斗成员的毁伤系数;

β_d ——红方对蓝方不准确目标区域内单个战斗成员的毁伤系数;

α_c ——蓝方对红方准确目标区域内单个战斗成员的毁伤系数;

α_d ——蓝方对红方不准确目标区域内单个战斗成员的毁伤系数;

A_c ——蓝方准确目标的区域面积;

A_d ——蓝方不准确目标的区域面积;

B_c ——红方准确目标的区域面积;

B_d ——红方不准确目标的区域面积;

$\rho_{\beta c}$ ——蓝方准确目标区域内战斗人员的密度;

$\rho_{\beta d}$ ——蓝方不准确目标区域内战斗人员的密度;

ρ_{ac} ——红方准确目标区域内战斗人员的密度;

ρ_{ad} ——红方不准确目标的区域内战斗人员的密度;

P_x ——红方获取蓝方目标的准确度概率;

P_y ——蓝方获取红方目标的准确度概率。

上述模型中, 未考虑敌方的防御行为, 假设被攻击方得知要被攻击, 而采取防御措施, 则上述模型可变形为:

$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = (1-P_{xf})[-P_y \cdot \alpha_c \cdot B_c \cdot \rho_{ac} - (1-P_y) \alpha_d B_d \rho_{ad}] - P_{xf}[-P_y \cdot \alpha_{cf} \cdot B_c \cdot \rho_{ac} - (1-P_y) \alpha_{df} B_d \rho_{ad}] \\ \frac{dy(t)}{dt} = (1-P_{yf})[-P_x \cdot \beta_c \cdot A_c \cdot \rho_{\beta c} - (1-P_x) \beta_d A_d \rho_{\beta d}] - P_{yf}[-P_x \cdot \beta_{cf} \cdot A_c \cdot \rho_{\beta c} - (1-P_x) \beta_{df} A_d \rho_{\beta d}] \end{cases}$$

式中, P_{xf} ——红方采取防御行动的概率;

P_{yf} ——蓝方采取防御行动的概率;

β_{cf} ——蓝方采取防御措施后, 红方对蓝方准确目标区域内单个战斗成员的毁伤系数;

β_{df} ——蓝方采取防御措施后, 红方对蓝方不准确目标区域内单个战斗成员的毁伤系数;

α_{cf} ——红方采取防御措施后, 蓝方对红方准确目标区域内单个战斗成员的毁伤系数;

α_{df} ——红方采取防御措施后, 蓝方对红方不准确目标区域内单个战斗成员的毁伤系数;

参考文献

[1] 谭安胜, 邱延鹏, 汪德虎. 新型驱护舰编队防空队形配置[J]. 火力与指挥控

制. 2013. 12. 6(28).

[2] 赵建印, 刘芳. 海上编队双舰防空队形部署优化研究[J]. 兵工学报. 2010. 6. 6(3).

[3] 张啸天, 李志猛, 邓红艳. 多维战争中兰彻斯特方程探讨[J]. 火力与指挥控制. 2008. 2. 2(33).

[4] http://image.haosou.com/v?ie=utf-8&src=hao_360so&q=信息化战争&fromurl=http%3A%2F%2Fwww.armystar.com%2Fcnjs%2F2013-02-20_7058_2.html#ie=utf-8&src=hao_360so&q=%E4%BF%A1%E6%81%AF%E5%8C%96%E6%88%98%E4%BA%89&fromurl=http%3A%2F%2Fwww.armystar.com%2Fcnjs%2F2013-02-20_7058_2.html&lightboxindex=5&id=e4b34cd33d1d587d55de82d0a2b5724c&multiple=0&itemindex=0&dataindex=488

[5] http://image.haosou.com/v?ie=utf-8&src=hao_360so&q=信息化战争&fromurl=http%3A%2F%2Fm.cnr.cn%2Fent%2F20150618%2Ft20150618_518875923.html#ie=utf-8&src=hao_360so&q=%E4%BF%A1%E6%81%AF%E5%8C%96%E6%88%98%E4%BA%89&fromurl=http%3A%2F%2Fm.cnr.cn%2Fent%2F20150618%2Ft20150618_518875923.html&lightboxindex=5&id=287d3c7cb35cce32824ac6501e7b8ea5&multiple=0&itemindex=0&dataindex=474

[6] 张召忠. 伊拉克战争对我军信息化建设的启示.[J]. 国际技术经济研究. 2003. 7. 3(6).

[7] 于海, 陈文敏. 信息化战争浅议.[J]. 科技情报开发与经济. 2005. 5(15).

附件

附件 1

```
%导入目标 ID 对应的 经纬度 x y; 目标高度 H; 反射面积 s;
H=;
s=;
y=[];
x=[];
%画出目标和指挥舰相对位置分布图
x1=x*180/pi;%角度经度
y1=y*180/pi;%纬度
for i=1:length(y)
h(i)=plot(x1(i),y1(i),'b-o');
hold on
end
zy0=0.27375974131212;
zx0=1.967034548365;
zx1=zx0*180/pi;%指挥舰角度经度
zy1=zy0*180/pi;%指挥舰纬度
o=plot(zx1,zy1,'r-o');
r=6370;

%求距离 D(km)
for i=1:length(y)
D(i)=(((x(i)-zx0)*r)^2+((y(i)-zy0)*r)^2)^0.5;%距离 用弧度计算
%D(i)=r*((x(i)-zx0)^2+(y(i)-zy0)^2)^0.5;%距离 用弧度计算 cuo
end

%求水平速度 v (m/s)
for j=1:length(y)-1
d(j)=(((x(j+1)-x(j))*r)^2+((y(j+1)-y(j))*r)^2)^0.5;%最近的两次 测量的距离
v(j)=d(j)*1000/1 ; % 两点间速度 m/s
v(length(y))=0;%%

%求航向角 hxj (度)
hxj(j)=(atan(abs(y1(j+1)-y1(j)))/abs(x1(j+1)-x1(j))))*180/pi;%分象限
就要加上绝对值
if y1(j+1)<y1(j)&& x1(j+1)>x1(j)
hxj(j)=90+hxj(j);
else if y1(j)<y1(j+1)&& x1(j)>x1(j+1)
hxj(j)=270+hxj(j);
```

```

        else if y1(j)<y1(j+1) && x1(j)<x1(j+1)
            hxj(j)=90-hxj(j);
        else
            hxj(j)=270-hxj(j);
        end
    end
end
    hxj(length(y))=0; % % % %
end

%求方位角 fwj (mil)
for i=1:length(y)
    fwj(i)=(atan(abs(y1(i)-zy1)/abs(x1(i)-zx1)))*180/pi;%分象限 就要加上绝对值
    if y1(i)<zy1 && x1(i)>zx1
        fwj(i)=90+fwj(i);
    else if zy1<y1(i) && zx1>x1(i)
        fwj(i)=270+fwj(i);
    else if zy1<y1(i) && zx1<x1(i)
        fwj(i)=90-fwj(i);
    else
        fwj(i)=270-fwj(i);
    end
end
end
    fwj(i)=fwj(i)*6400/360;%转换单位

end

%求目标属性 shux
if (0<=s&&s<2)
    shux=1;
else if (2<=s&&s<4)
    shux=2;
else
    shux=3;
end
end

%程序返回参数有
%[方位角 fwj  距离 D  水平速度 v  航向角 hxj  高度 H  雷达反射面积 s  目标属性 shux ]

```

附件 2

```
%目标 ID 4100 6830
y=[];
x=[];
x1=x*180/pi;%角度经度
y1=y*180/pi;%纬度
for i=1:39
h(i)=plot(x1(i),y1(i),'yo');
hold on
end
%画 指挥舰位置
zy0=0.27375974131212;
zx0=1.967034548365;
zx1=zx0*180/pi;%指挥舰角度经度
zy1=zy0*180/pi;%指挥舰纬度
o=plot(zx1,zy1,'rp');
hold on

%目标 ID 4100 6831
b3=[];
a3=[];
for i=1:39
h3(i)=plot(a3(i)*180/pi,b3(i)*180/pi,'mo');
hold on
end
%目标 ID 4100 6836
b4=[];
a4=[];
for i=1:39
h4(i)=plot(a4(i)*180/pi,b4(i)*180/pi,'co');
hold on
end
%目标 ID 4100 6837
b5=[];
a5=[];
for i=1:39
h5(i)=plot(a5(i)*180/pi,b5(i)*180/pi,'ro');
hold on
end
%目标 ID 4100 6839
b6=[];
a6=[];
```

```

for i=1:39
h6(i)=plot(a6(i)*180/pi,b6(i)*180/pi,'go');
hold on
end
%目标 ID 4100 6842
b7=[];
a7=[];
for i=1:39
h7(i)=plot(a7(i)*180/pi,b7(i)*180/pi,'bo');
hold on
end
%目标 ID 4100 6851
b8=[];
a8=[];
for i=1:39
h8(i)=plot(a8(i)*180/pi,b8(i)*180/pi,'ko');
hold on
end
%目标 ID 4100 6860
b9=[];
a9=[];
for i=1:39
h9(i)=plot(a9(i)*180/pi,b9(i)*180/pi,'y+');
hold on
end
%目标 ID 4100 6872
b10=[];
a10=[];
for i=1:38
h10(i)=plot(a10(i)*180/pi,b10(i)*180/pi,'m+');
hold on
end
%目标 ID 4100 6885
b11=[];
a11=[];
for i=1:38
h11(i)=plot(a11(i)*180/pi,b11(i)*180/pi,'c+');
hold on
end
%目标 ID 4100 6891
b12=[];
a12=[];
for i=1:38
h12(i)=plot(a12(i)*180/pi,b12(i)*180/pi,'r+');

```

```

hold on
end
%目标 ID 4100 6893
b13=[];
a13=[];
for i=1:38
h13(i)=plot(a13(i)*180/pi,b13(i)*180/pi,'g+');
hold on
end
title('12 批目标全局分布图');
xlabel('东经 (度) ');
ylabel('北纬 (度) ');

```

附件 3

```

%目标 ID 4100 6893
b13=[];
a13=[];
for i=1:38
h13(i)=plot(a13(i)*180/pi,b13(i)*180/pi,'g+');
hold on
end
hold on
title('目标 ID 41006893 分布图');
xlabel('东经 (度) ');
ylabel('北纬 (度) ');

```

- 1、程序 U2.m 为求某一个目标 ID 的参数数据组的程序 附加该目标与指挥舰的位置分布图
- 2、程序 U4.m 为求全部目标 ID 相对于指挥舰的位置分布图
- 3、程序 U5.m 求单独一个目标 ID 相对于指挥舰位置图

附件 4

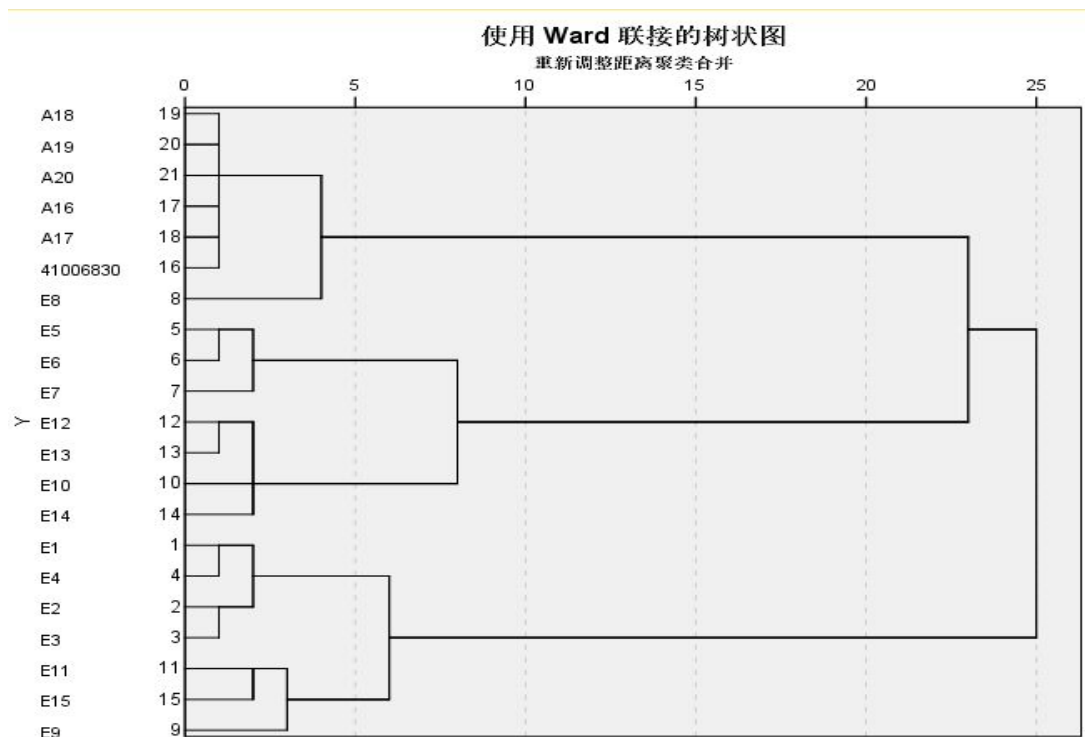
表 1 每个 ID 对应的 6 次数据集合

空中目标	方位角	距离	水平速度	航向角
41006830	3.99E+03	2.19E+02	1.43E+02	29.60920707
	4.00E+03	2.18E+02	1.43E+02	29.61006951
	4.00E+03	2.18E+02	1.43E+02	29.61093242
	4.00E+03	2.17E+02	1.43E+02	29.61179583
	4.00E+03	2.16E+02	1.43E+02	29.61253634

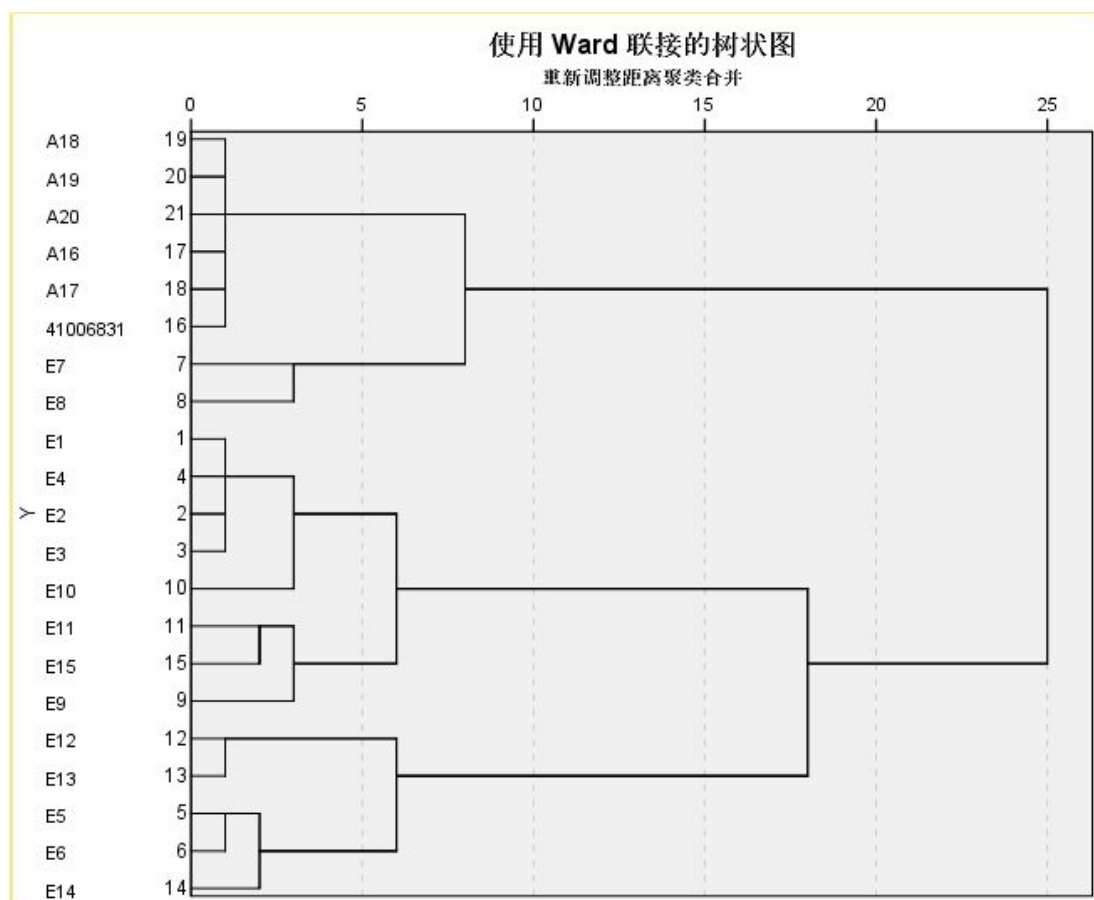
	4. 00E+03	2. 15E+02	1. 43E+02	29. 61340072
41006831	5. 15E+03	2. 18E+02	2. 79E+02	77. 43050845
	5. 15E+03	2. 16E+02	2. 79E+02	77. 43074823
	5. 16E+03	2. 15E+02	2. 79E+02	77. 43098806
	5. 16E+03	2. 13E+02	2. 79E+02	77. 43122795
	5. 17E+03	2. 12E+02	2. 79E+02	77. 43143361
	5. 17E+03	2. 10E+02	2. 79E+02	77. 4316736
41006836	4. 40E+03	2. 32E+02	2. 37E+02	80. 2674429
	4. 40E+03	2. 30E+02	2. 37E+02	80. 26755547
	4. 39E+03	2. 29E+02	2. 37E+02	80. 26766807
	4. 39E+03	2. 27E+02	2. 37E+02	80. 26778069
	4. 39E+03	2. 26E+02	2. 37E+02	80. 26787723
	4. 39E+03	2. 24E+02	2. 37E+02	80. 26798988
41006837	5. 96E+03	2. 26E+02	1. 99E+02	1. 42E+02
	5. 96E+03	2. 24E+02	1. 99E+02	1. 42E+02
	5. 96E+03	2. 23E+02	1. 99E+02	1. 42E+02
	5. 96E+03	2. 22E+02	1. 99E+02	1. 42E+02
	5. 96E+03	2. 20E+02	1. 99E+02	1. 42E+02
	5. 96E+03	2. 19E+02	1. 99E+02	1. 42E+02
41006839	1. 26E+03	2. 42E+02	1. 96E+02	1. 90E+02
	1. 26E+03	2. 41E+02	1. 96E+02	1. 90E+02
	1. 27E+03	2. 40E+02	1. 96E+02	1. 90E+02
	1. 27E+03	2. 40E+02	4. 31E+03	10. 34911538
	1. 28E+03	2. 39E+02	1. 96E+02	1. 90E+02
	1. 28E+03	2. 38E+02	1. 96E+02	1. 90E+02
41006842	4. 63E+02	1. 67E+02	2. 71E+02	2. 21E+02
	4. 60E+02	1. 65E+02	2. 71E+02	2. 21E+02
	4. 57E+02	1. 64E+02	2. 71E+02	2. 21E+02
	4. 53E+02	1. 62E+02	5. 97E+03	41. 08604946
	4. 51E+02	1. 60E+02	2. 71E+02	2. 21E+02
	4. 47E+02	1. 58E+02	2. 71E+02	2. 21E+02
41006851	1. 63E+03	1. 77E+02	3. 09E+02	3. 06E+02
	1. 62E+03	1. 75E+02	3. 09E+02	3. 06E+02
	1. 62E+03	1. 73E+02	3. 09E+02	3. 06E+02
	1. 61E+03	1. 72E+02	6. 79E+03	1. 26E+02
	1. 61E+03	1. 70E+02	3. 12E+02	2. 77E+02
	1. 60E+03	1. 68E+02	3. 12E+02	2. 77E+02
41006860	6. 12E+03	2. 07E+02	2. 96E+02	2. 80E+02
	6. 11E+03	2. 08E+02	2. 96E+02	2. 80E+02
	6. 10E+03	2. 08E+02	2. 96E+02	2. 80E+02

	6.09E+03	2.09E+02	6.51E+03	99.60716276
	6.08E+03	2.10E+02	2.96E+02	2.80E+02
	6.07E+03	2.11E+02	2.96E+02	2.80E+02
41006872	3.27E+03	2.38E+02	1.78E+02	3.51E+02
	3.27E+03	2.37E+02	1.78E+02	3.51E+02
	3.27E+03	2.36E+02	1.82E+02	91.95693469
	3.26E+03	2.36E+02	1.82E+02	91.95693793
	3.26E+03	2.36E+02	1.82E+02	91.95694117
	3.25E+03	2.36E+02	1.82E+02	91.95694441
41006885	3.05E+03	2.12E+02	3.03E+02	3.50E+02
	3.05E+03	2.10E+02	3.03E+02	3.50E+02
	3.05E+03	2.08E+02	3.03E+02	3.50E+02
	3.05E+03	2.06E+02	3.03E+02	3.50E+02
	3.05E+03	2.04E+02	3.03E+02	3.50E+02
	3.05E+03	2.02E+02	3.03E+02	3.50E+02
41006891	7.42E+02	2.34E+02	1.99E+02	2.20E+02
	7.42E+02	2.33E+02	1.99E+02	2.20E+02
	7.45E+02	2.32E+02	1.97E+02	1.56E+02
	7.51E+02	2.31E+02	1.97E+02	1.56E+02
	7.57E+02	2.31E+02	1.97E+02	1.56E+02
	7.62E+02	2.30E+02	1.97E+02	1.56E+02
41006893	1.52E+03	2.53E+02	2.19E+02	2.95E+02
	1.52E+03	2.52E+02	2.19E+02	2.95E+02
	1.52E+03	2.50E+02	2.19E+02	2.95E+02
	1.52E+03	2.50E+02	2.14E+02	1.73E+02
	1.52E+03	2.50E+02	2.14E+02	1.73E+02
	1.53E+03	2.50E+02	2.14E+02	1.73E+02

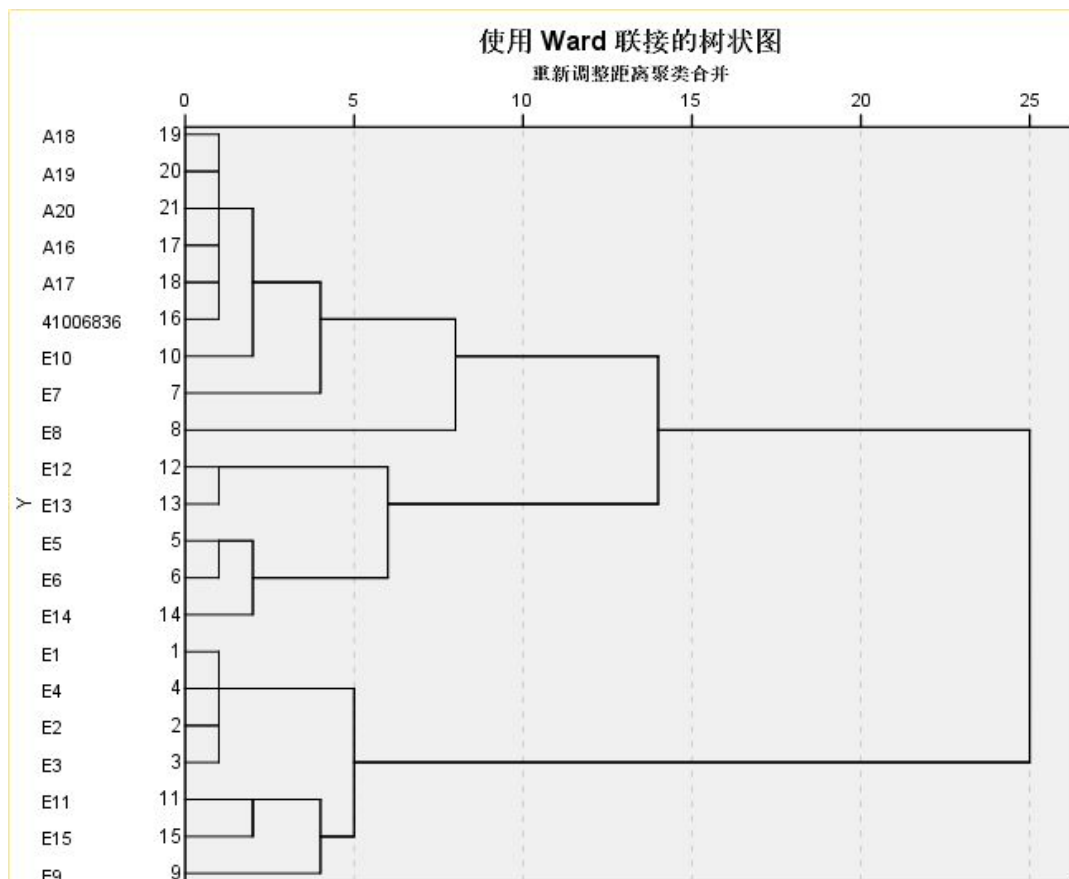
附件 5 问题四结果分析图表及过程



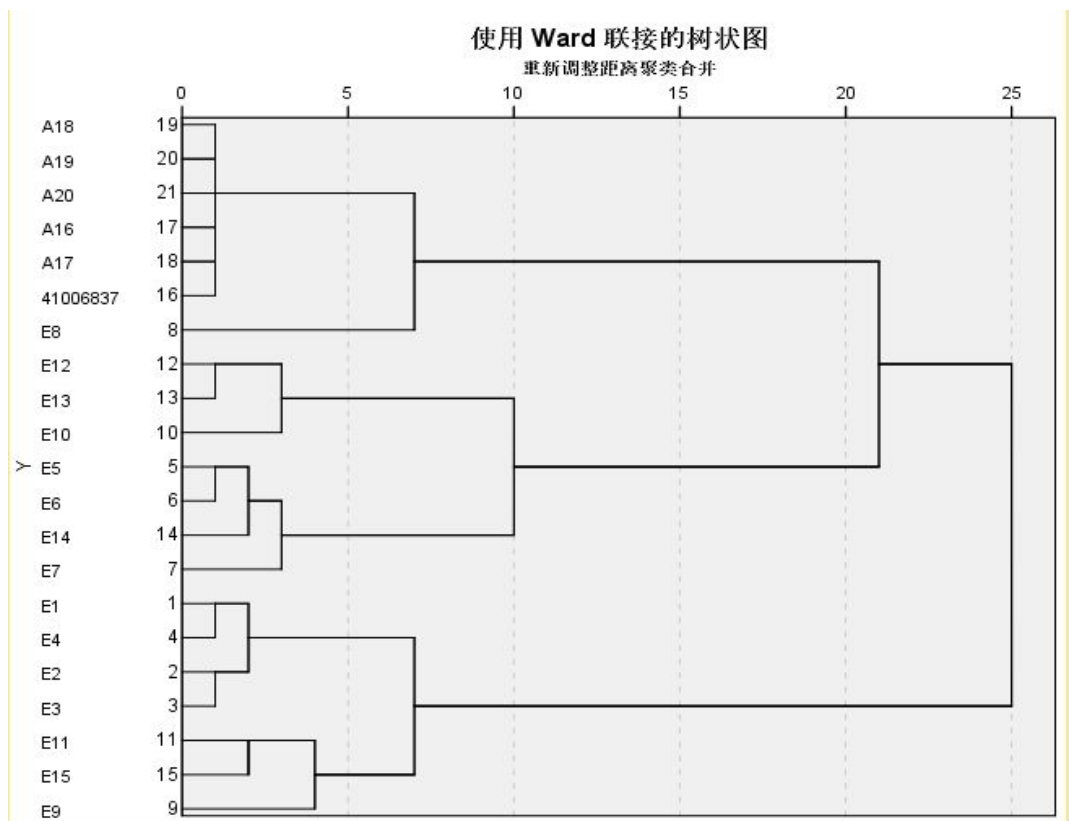
分析判断：ID 41006830 的意图和 E8 相近，为其它类。



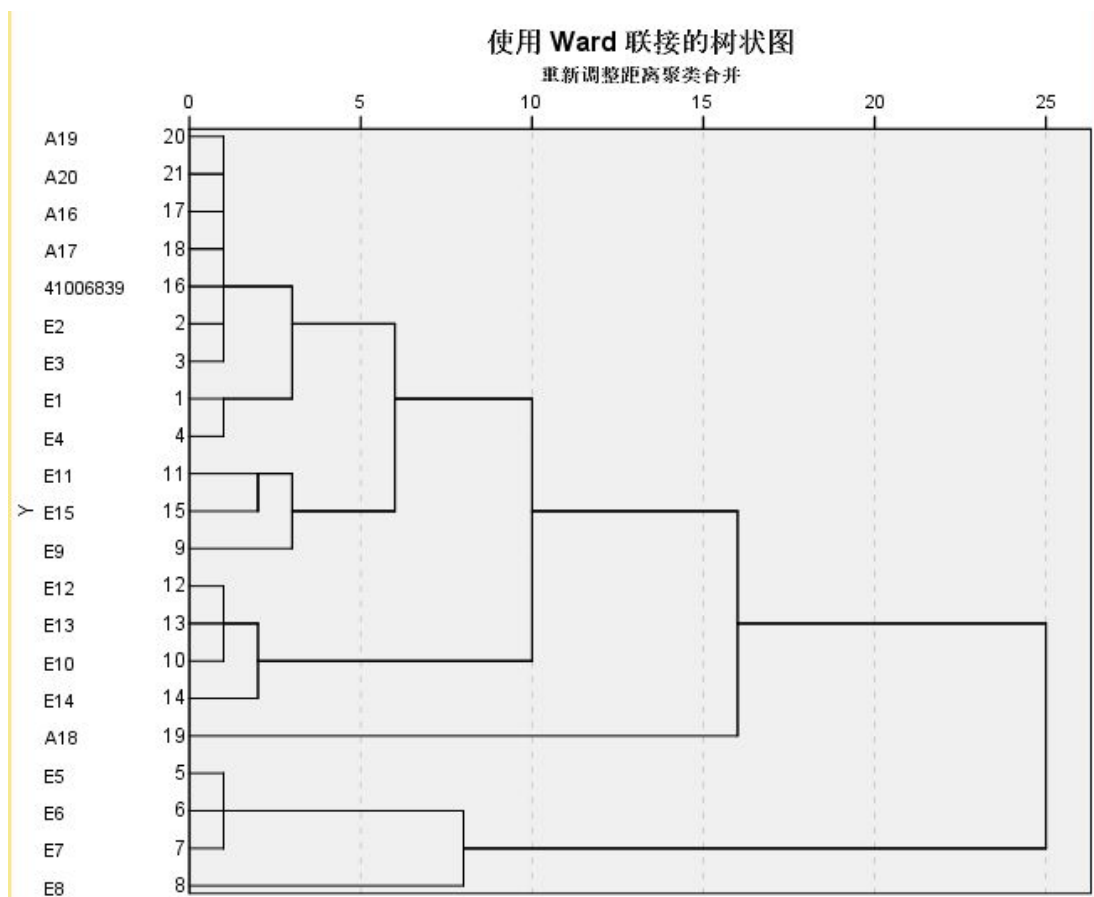
分析判断：ID 41006831 的意图和 E7 相近，为其它类。



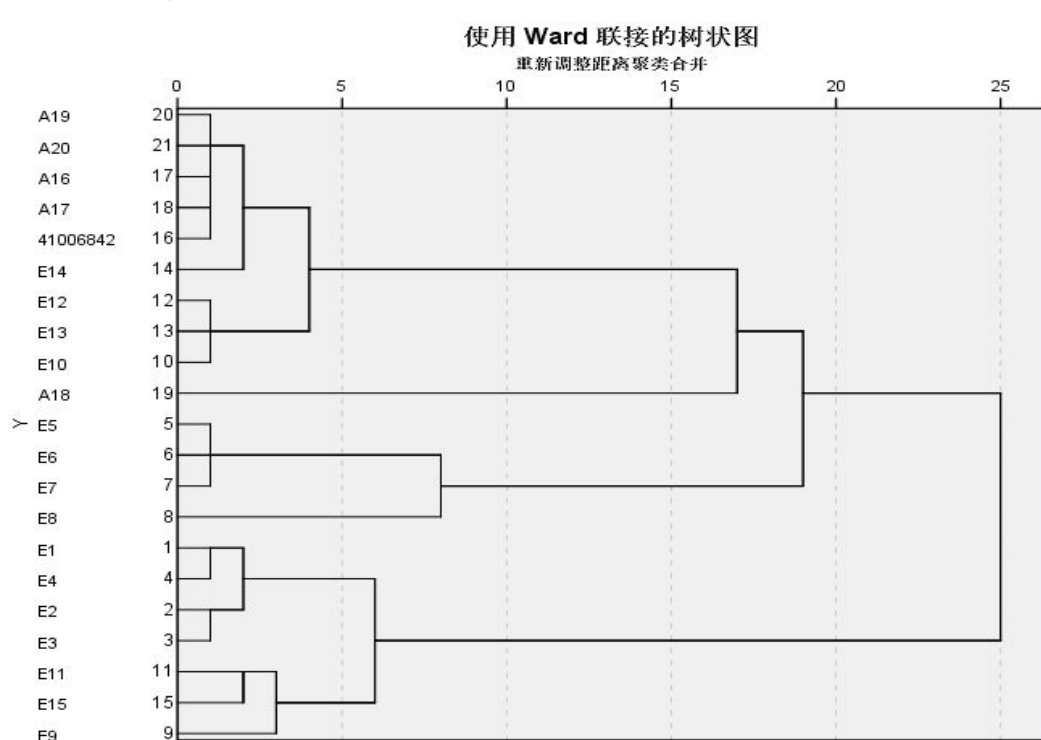
分析判断：ID 41006836 的意图和 E10 相近，为其它类。



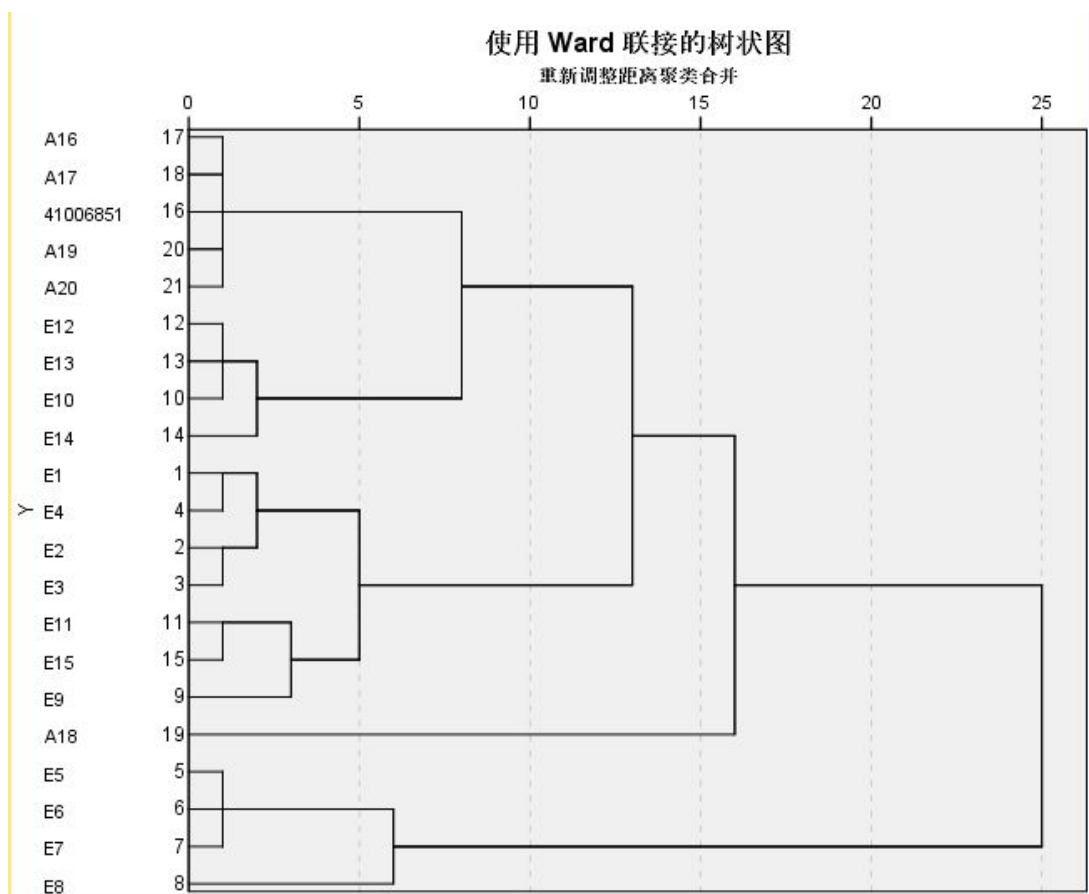
分析判断：ID 41006837 的意图和 E8 相近，为其它类。



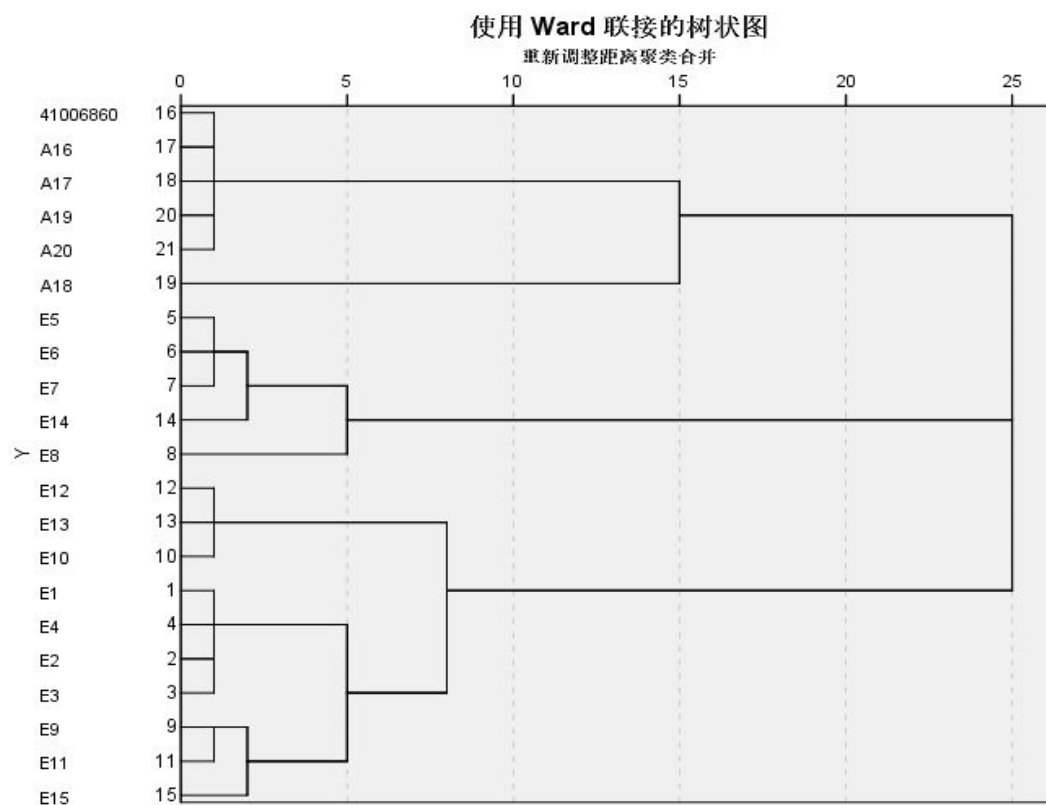
分析判断：ID 41006839 的意图和 E1 相近，为侦察类。且 A18 与 E13 也相近，可能为攻击类。



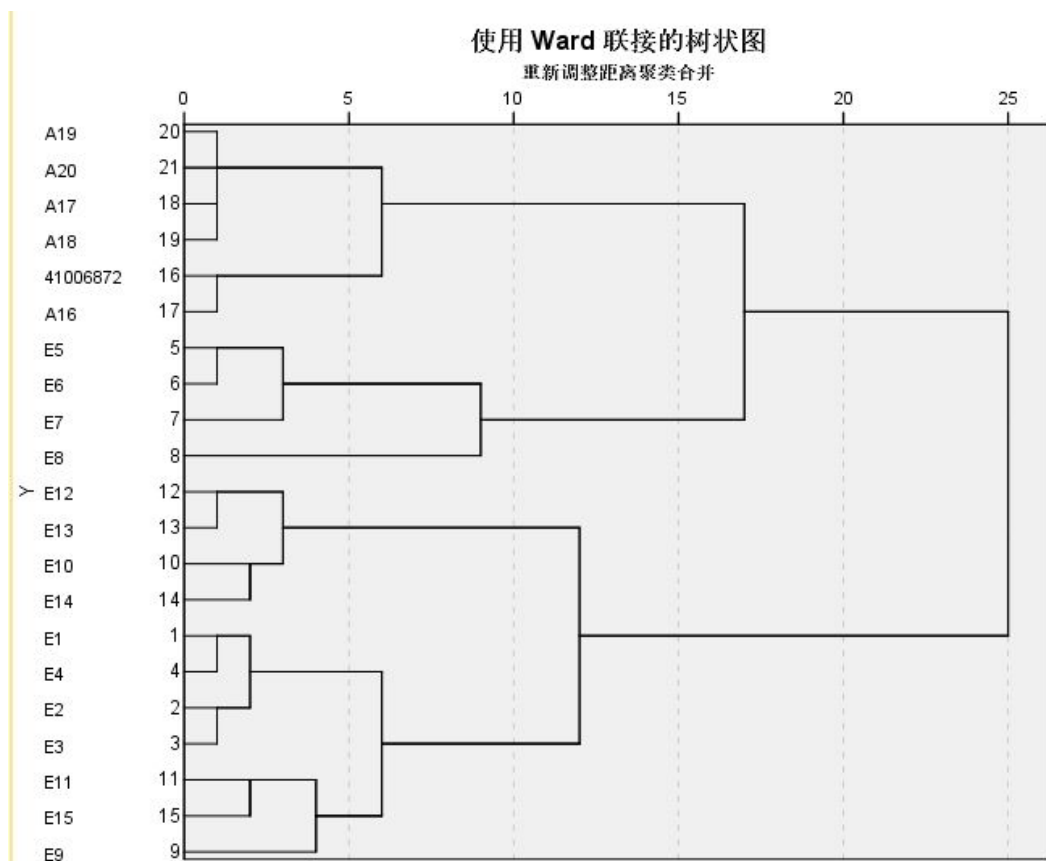
分析判断：ID 41006842 的意图和 E14 相近，为攻击类。



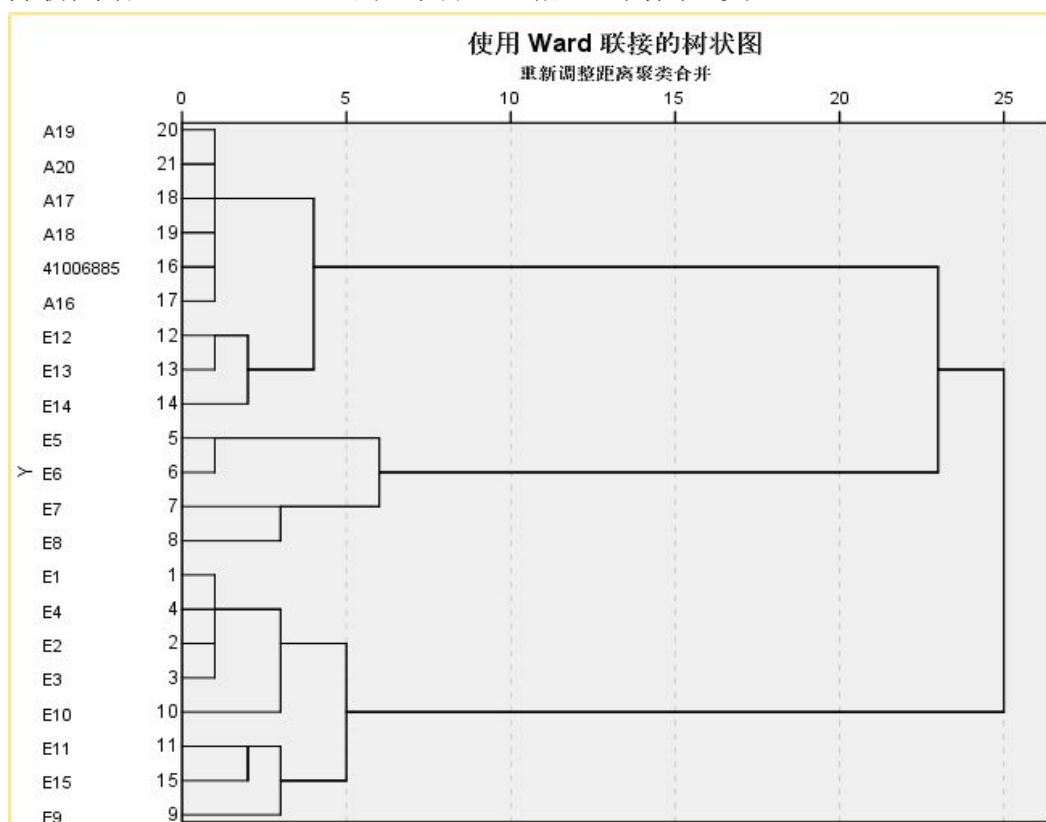
分析判断：ID 41006851 的意图和 E13 和 E14 相近，为攻击类。



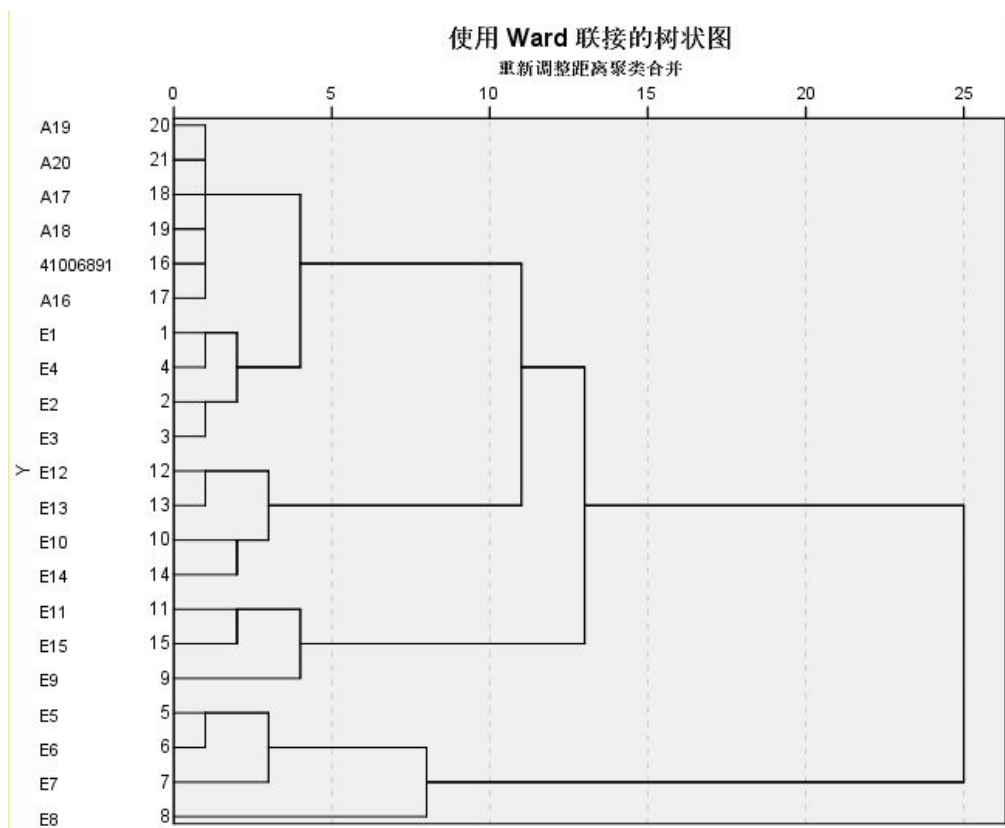
分析判断：ID 41006860 的意图和 E8 和 e13 相近，为其它类或攻击类。



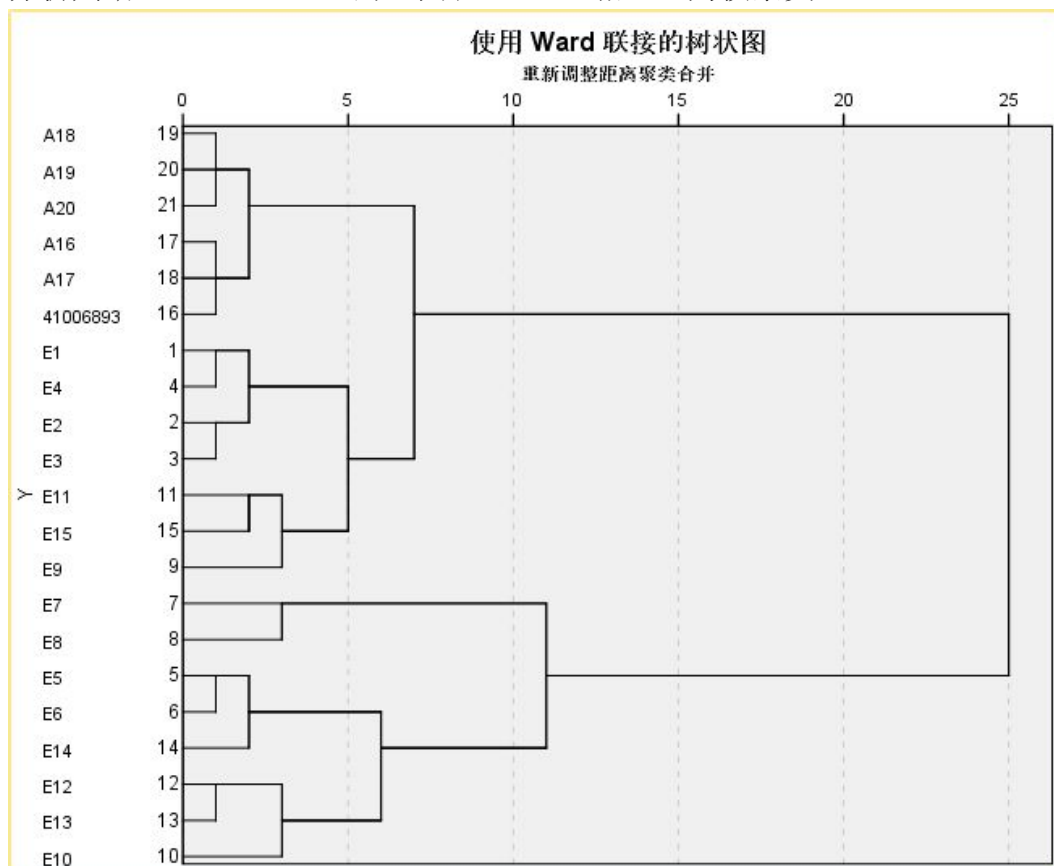
分析判断：ID 41006872 的意图和 E8 相近，为其它类。



分析判断：ID 41006885 的意图和 E14、E12、E13 相近，为攻击类。



分析判断：ID 41006891 的意图和 E1E2E4 相近，为侦察类。



分析判断：ID 41006893 的意图和 E1E2E4 或 E9E11 相近，为其它类或监视类。

