

doi: 10.7690/bgzd.2019.03.002

防空雷达和雷达干扰装备协同方法

余 巍, 朱 岩, 王博琦, 罗 江, 李 坤

(陆军炮兵防空兵学院郑州校区火力系, 郑州 450052)

摘要: 针对防空兵和电子对抗兵协同作战过程中雷达干扰装备对防空雷达的干扰问题, 对防空雷达和雷达干扰装备协同方法进行研究。分析基于频域、时域和空域的协同方法, 并综合运用 3 种方法对典型实例进行了分析和计算。实例结果证明, 防空雷达和雷达干扰装备的作战协同能在实现电磁兼容的基础上充分发挥作战能力。

关键词: 防空雷达; 雷达干扰装备; 协同; 方法

中图分类号: TP202 **文献标志码:** A

Cooperative Method of Air Defense Radar and Radar Jamming Equipment

Yu Wei, Zhu Yan, Wang Boqi, Luo Jiang, Li Kun

(Fire Department, Zhengzhou Campus, Army Artillery & Air Defense Forces Academy, Zhengzhou 450052, China)

Abstract: Aiming at the interference problem between radar jamming equipment and air defense radar in the cooperative operation of air defense forces and electronic countermeasure forces, the cooperative methods are analyzed based on the frequency, time and airspace. 3 methods are used synthetically to analyze and calculate of the typical example. The results of the example show that the operational coordination of air defense radar and radar jamming equipment on the basis of the realization of electromagnetic compatibility give full play to their operational capabilities.

Keywords: air defense radar; radar jamming equipment; coordination; method

0 引言

雷达干扰装备通过对敌方空袭雷达实施有效的干扰和欺骗, 削弱敌雷达的作战效能, 掩护己方兵力、兵器及重要目标^[1], 是电子对抗兵的重要武器装备。在防空兵和电子对抗兵的协同作战过程中, 各种雷达信号和电磁干扰信号共同充斥着战场的电磁空间。整个战场电磁态势呈现出信号密集、样式繁杂、冲突激烈、动态交迭的状况, 电磁环境十分复杂^[2]。在这种环境下, 为了充分发挥防空雷达和雷达干扰装备的作战能力, 同时又不影响各自功能状态, 实现电磁兼容, 笔者对防空雷达和雷达干扰装备协同方法进行研究。

1 协同方法分析

频域、时域和空域是考虑防空雷达和雷达干扰装备协同的 3 个基本要素。在协同作战过程时, 只有当频域、时域和空域 3 个要素同时满足条件, 两者才能产生互扰。防空作战指挥员应从 3 个基本要素着眼, 灵活采用各种措施, 实现两者的协同。

1.1 基于频域的协同方法

基于频域的协同方法是指防空雷达和雷达干扰

装备在频率上采取各种管控措施, 尽量避开和保护重要频率, 避免干扰设备对己方雷达形成干扰。频域重叠, 是电子设备形成干扰互扰的前提。

1.1.1 通报频率信息

防空兵和电子对抗兵应主动协同, 互相了解和熟悉防空雷达、雷达干扰装备的工作频率信息, 如雷达工作频率范围、跳频方式、发射接收带宽、调制方式、干扰频率范围、干扰样式等。电子对抗兵还应及时向具有频谱管理权限的指挥部门^[3]上报已掌握的敌方用频清单, 为指挥部门统一调整用频提供依据。防空兵和电子对抗兵指挥员应掌握特别重要的防空雷达工作频率信息, 避免出现各打各的现象。

1.1.2 确定保护频率

美军规定: 联合限制频率是一个基于地理位置安排好、具有时效性、保护及守护功能的网络和频率列表。为保证友方部队实现目标, 它应当被限制频率数量^[4]。防空雷达的保护频率应属于联合限制频率的一部分, 可由防空兵部队汇总确定, 经具有频谱管理权限的指挥部批准后颁发实行。这些频率对于雷达的工作十分重要, 应禁止电子对抗兵干扰。除非绝对必要, 并报指挥部批准后, 才能干扰。必

收稿日期: 2018-11-22; 修回日期: 2018-12-17

作者简介: 余 巍(1980—), 男, 江西人, 硕士, 副教授, 硕士研究生导师, 从事雷达作战使用、雷达反干扰效能建模和分析研究。

须注意,保护频率通常具有时间性,应当定期更新。

1.1.3 严格用频管理

防空兵需要制订严格的用频计划,特别是区分防空雷达平时的工作频率、保护频率,明确保护频率使用的时机、批准的权限,并通报给电子对抗兵。严禁装备操作人员在未经批准的情况下使用保护频率。目前有些新型防空雷达装备具有频率管控功能,可以直接在软件操作系统上很方便地管理和设定雷达工作的频率,给操作人员带来方便的同时,要防止相关误操作的发生。

1.1.4 适时调整主次关系

要根据战场电磁态势和兵种作战需要适时调整主次关系。在对重要目标的作战行动中,如果防空兵与电子对抗兵频率使用上发生了冲突,作战指挥员要重点掌握主要方向、重要阵地、关键时节和主战武器装备的电磁频谱使用情况,明确电子攻击和火力打击的主次地位,及时调整装备的工作频段,重点保障主战兵种的用频需要。

1.2 基于时域的协同方法

基于时域的协同方法是指防空雷达与雷达干扰装备在作战行动时机、持续时间及先后次序上进行协同,使整体防空作战行动统一有序。随着现代兵袭兵器性能的提高,留给防空系统的反应时间不断减少,要求防空兵和电子对抗兵在时间上的协同配合越来越精确高效。

1.2.1 统一作战时间

统一作战时间是基于时域协同的基础,直接关系到防空兵与电子对抗兵协同的精确性。现有雷达干扰装备与防空雷达都有自己的本地时钟,不同装备的晶体振荡器频率在温度和电磁波的干扰下可能会产生一定的偏差。雷达干扰装备与防空雷达可以采用北斗导航系统、BPM授时系统等方法校准各自时钟,保持时间的高精度同步,才能按照上级规定的作战时间及时投入或终止作战行动。

1.2.2 精确规划协同时间

可根据空袭目标情况、防空雷达和雷达干扰装备的技术性能等情况精确规划协同时间。一是规定时刻点,即用明确的时刻点来统一不同方向上防空雷达和雷达干扰装备的行动或协调对同一目标实施作战;二是划分时间段,即经过计算,把防空作战

行动区分为若干阶段,规定各阶段防空雷达和雷达干扰装备的行动。如根据作用距离、目标飞行速度、航路等参数,可以划分为同时开机时间段、防空雷达开机时间段、雷达干扰装备时间段。在各时间段,雷达和雷达干扰装备在指挥信息系统联网下相互接收目标空情。

1.2.3 及时调整协同时间

空袭反空袭战场环境和态势不是一成不变的,应不间断地掌握防空兵与电子对抗兵作战情况,分析推算下一步行动的时间节点,按照整体作战计划和时间节点把控防空作战协同时间,及时发现协同作战上的时间偏差,使其严格按照规定的顺序和时间行动。当战场情况出现重大变化时,应及时调整防空兵与电子对抗兵行动的顺序和时间,确保两兵种在行动时间上的紧密衔接。

1.3 基于空域的协同方法

基于空域的协同方法是指雷达干扰装备与防空雷达在作战配置、作用区域、方向和高度上进行合理规定,使雷达威力范围和干扰作用区域合理重叠、严密衔接、互相支援,同时又保证相互间电磁兼容的方法。根据作战任务和装备性能的不同,达到雷达威力范围和干扰作用区域合理重叠、严密衔接、互相支援的具体规定和要求不尽相同,可以灵活掌握。此处只探讨保证两者间电磁兼容的配置问题。

1.3.1 防空雷达的干信比模型

当防空雷达收到雷达干扰装备施放的噪声干扰时,防空雷达接收到的干信比^[5]为:

$$\frac{P_{ij}}{P_{ns}} = \frac{P_j G_j}{P_t G_t} \cdot \frac{4\pi \gamma_j}{\sigma} \cdot \frac{G'_t}{G_t} \cdot \frac{R_t^4}{R_j^2} \cdot \frac{\Delta f_t}{\Delta f_j} \quad (1)$$

式中: P_j 为干扰装备的发射功率; G_j 为干扰装备天线在雷达方向上的增益; γ_j 为干扰信号对雷达天线的极化系数,一般取 $\gamma_j = 0.5$; R_j 为干扰装备与雷达之间的距离; Δf_t 为干扰带宽; P_t 为雷达的发射功率; G_t 为雷达天线主瓣方向上的增益; σ 为目标有效反射面积; R_t 为目标与雷达之间的距离; Δf_j 为雷达接收机带宽; G'_t 为雷达天线在干扰装备方向上的增益。

在考虑副瓣干扰情况时,可以按3种方式计算: 1) 严格按雷达和干扰装备的天线方向图情况进行计算,前提是必须精确标绘出两者的天线方向图,此方式在实际操作中较难实现; 2) 考虑到方向图分

为水平面方向图和竖直面方向图，表达式多种多样且十分复杂，一般采用简化的天线方向图^[5]；3) 为简化情况和便于分析，将干扰装备和雷达的相对位置关系分为干扰装备主瓣对雷达主瓣、干扰装备主瓣对雷达副瓣、干扰装备副瓣对雷达副瓣，干扰装备副瓣对雷达主瓣 4 种情况^[6]，当出现副瓣干扰情况时，取一个副瓣增益区间或取平均副瓣增益进行计算。由于天线副瓣增益很难在公开文献中找到，文献^[7]以常规天线的相对副瓣增益为-13~-30 dB 为由，采用中点附近-21 dB 作为各类典型的地空导弹雷达、截获雷达和高炮雷达天线相对主瓣的平均副瓣增益。当出现干扰装备主瓣对雷达主瓣、干扰装备副瓣对雷达主瓣进行干扰情况时，则式(1)中 $G'_i = G_i$ 。

若干扰有效，则干信比应大于等于压制系数 K_j 。压制系数是指雷达发现的概率下降到 0.1 时，雷达接收机输入端所需要最小干扰信号与雷达回波信号功率之比^[8]。对于常规的脉冲雷达、捷变频雷达、频率分集雷达等，干扰压制系数的取值一般为 3 dB^[9]。

此外，通过式(1)计算干扰装备与雷达之间的距离 R_j 与干信比的关系时，需要先明确目标与雷达之间的距离 R_i 。由于雷达配属于各种防空系统，在借鉴文献^[10]提出的最大开火距离和压缩开火距离的概念下，可取满足防空系统战术所需的雷达最大作用距离和最小作用距离代入式(1)分别计算。最大作用距离和最小作用距离需要根据不同雷达所配属的不同防空系统的要求和具体目标分别进行确定。

1.3.2 非理想干扰信号对模型的修正

对于式(1)的计算，雷达接收机输入的干扰信号是高斯噪声。由于高斯噪声分布随机变量的幅值要覆盖到无穷大，在实际设备中无法实现，可用噪声质量因素来衡量实际干扰信号的质量^[8]。噪声质量因素表示在相同遮盖效果条件下，理想干扰信号所需的功率 P_{j0} 与实际干扰信号所需的干扰功率 P_j 之比，即

$$\eta = \frac{P_{j0}}{P_j} \tag{2}$$

对正在服役或研制的干扰机测试的结果表明：实际产生的干扰信号的噪声质量因素与理想高斯噪声相比，有 17 dB 的损失^[11]，即 $\eta = 0.02$ 。

1.3.3 采用脉冲压缩技术后对模型的修正

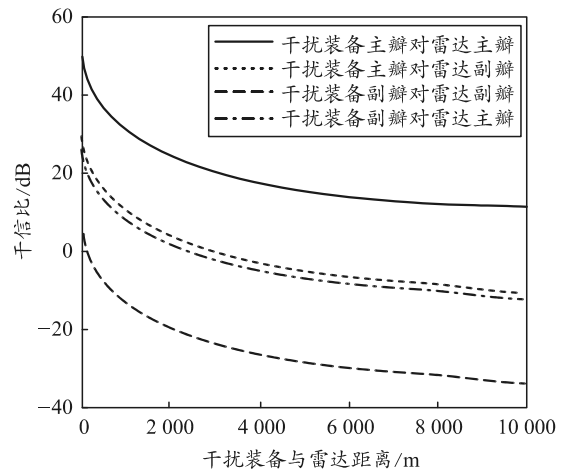
雷达采用脉冲压缩技术后，当所有其他条件都相等时，由于匹配滤波器对宽脉冲的滤波作用，结果压制系数将增大 B 倍^[9]：

$$B = \frac{\tau_s}{\tau_{sc} K_0} \tag{3}$$

式中： τ_s 为接收机输入端的脉冲信号宽度； τ_{sc} 为经过脉冲压缩后的脉冲信号宽度； K_0 为雷达发射脉冲宽度变宽后引起矩形参数变化的一个系数，可取值为 1.5。

2 实例分析

在防空雷达与雷达干扰装备协同防空作战时，指挥员根据防空雷达和雷达干扰装备的性能参数，分析可能的用频冲突情况。假设某雷达干扰装备完全覆盖了某制导雷达的用频范围。制导雷达参数假设为： $P_t=100$ kW， $\Delta f_1=3$ MHz，采用脉冲压缩技术，可将脉冲宽度由 6 μ s 压缩为 0.3 μ s；主瓣增益为 37 dB；当出现副瓣干扰情况时，雷达相对主瓣的平均副瓣增益取-21 dB。雷达干扰装备参数假设为： $P_j=20$ kW，噪声干扰带宽 $\Delta f_1=1\ 000$ MHz；干扰装备主瓣增益为 20 dB，相对主瓣的平均副瓣增益取-23 dB。干扰压制系数取 3 dB。在满足防空导弹系统对 $\sigma=1$ m² 目标火力打击的要求下，制导雷达的最大作用距离取 40 km 和最小作用距离取 10 km。计算制导雷达对 1 m² 目标在 40 和 10 km 时，干扰装备主瓣对雷达主瓣、干扰装备主瓣对雷达副瓣、干扰装备副瓣对雷达副瓣和干扰装备副瓣对雷达主瓣 4 种情况下，干扰装备和雷达配置间距在 100~10 000 m 时雷达的干信比情况，结果如图 1 所示。



(a) 目标在 10 km

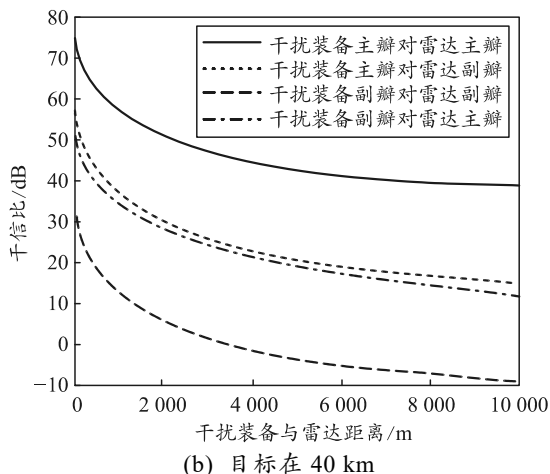


图1 配置间距与干信比关系

对于上述作战背景，从计算结果可以看出：1) 干扰装备主瓣对雷达主瓣时，干扰装备对雷达将造成很大影响，雷达已基本丧失工作能力。此时干扰装备和雷达的配置间距在实际作战可接受的范围内已没有意义，必须考虑频域、时域等其他协同方法。2) 当干扰装备主瓣对雷达副瓣、干扰装备副瓣对雷达主瓣时，干扰装备和雷达间距在 3 km 以上，可以满足雷达最小作用距离的需要，但配置间距扩大也难以达到满足雷达最大作用距离的需要。3) 当干扰装备副瓣对雷达副瓣时，干扰装备和雷达间距在 150 m 以上，可以满足雷达最小作用距离的需要；间距在 2.4 km 以上，可认为雷达不受干扰装备影响。

因此，在防空作战协同时，应注意避免出现干扰装备主瓣对雷达主瓣、干扰装备主瓣对雷达副瓣、干扰装备副瓣对雷达主瓣的情况，即干扰装备的天线主瓣不能指向雷达，雷达的天线主瓣不能指向干扰装备。实际作战时，当雷达或干扰装备天线进行圆周搜索时难以避免上述情况，但这时干扰的时间短，干扰的角度范围局限在干扰装备和雷达天线主瓣内，范围有限。一般情况下，干扰装备和雷达处

于副瓣对副瓣的情况，此时，需根据系统战术要求和具体战技术性能，将干扰装备和雷达配置间距保持在要求距离以上，可以基本保证两者间的电磁兼容。在配置间距无法满足要求的情况下，可以灵活采用频域、时域方法进行协同，一般以频域方法为主，时域方法为辅。

3 结束语

实例结果证明：防空雷达和雷达干扰装备协同方法能更好地实现防空兵和电子对抗兵的协同作战，实现电子防空和火力防空的有效融合。

参考文献：

- [1] 王汝群. 防空作战革命—电子防空[M]. 北京：解放军出版社, 2009: 102-103.
- [2] 王汝群. 战场电磁环境[M]. 北京：解放军出版社, 2008: 27-59.
- [3] 黄玉亮. 联合作战电磁频谱管理[M]. 北京：国防大学出版社, 2011: 65-105.
- [4] ADAM T. Elsworth. 电子战[M]. 胡生亮, 等. 译. 北京：国防工业出版社, 2013: 115-116.
- [5] 邵国培. 电子对抗战术计算方法[M]. 北京：解放军出版社, 2010: 1-15.
- [6] 林涛. 俄罗斯地空导弹兵战术[M]. 北京：军事科学出版社, 2005: 184-192.
- [7] ADAMY D L. 应对新一代威胁的电子战[M]. 朱松, 等. 译. 北京：电子工业出版社, 2017: 31-33.
- [8] 张永顺. 雷达电子战原理[M]. 北京：国防工业出版社, 2006: 85-105.
- [9] 张锡祥. 新体制雷达对抗导论[M]. 北京：北京理工大学出版社, 2010: 79-96.
- [10] 倪忠仁. 地面防空作战模拟[M]. 北京：解放军出版社, 2001: 50-60.
- [11] 周一宇. 电子对抗原理[M]. 北京：电子工业出版社, 2009: 93-98.