

复杂电磁环境对雷达与指控系统的影响

王玉明, 谭志良, 毕军建

(军械工程学院 电磁环境效应重点实验室, 石家庄 050003)

摘要: 防空群雷达与指控系统在信息传输、融合与处理过程中的媒介是电磁波,其作战效能的发挥在复杂战场电磁环境下面临严峻挑战。结合部队维修保障经验,归纳了防空群雷达与指控系统在复杂电磁环境下演习和训练中反复出现的3类问题,设备出厂性能检验合格,实际投入系统使用效果不佳;雷达与指控系统内部不能同时开机,自扰互扰问题严重;敏感设备、单元及端口极易受高功率电磁能量损伤。由此总结出一类共性问题——缺乏系统级电磁环境效应综合评估方法。最终给出解决问题所需开展的关键技术研究。

关键词: 复杂电磁环境; 雷达与指控系统; 电磁干扰; 电磁防护

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2013.03.004

中图分类号: TN956; TN974 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2013)03-0012-04

Effects of Complex Electromagnetic Environment on Radar and C2 System

WANG Yu-ming, TAN Zhi-liang, BI Jun-jian

(Key Laboratory of Electromagnetic Environment Effect, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: Information transmission, fusion and processing of radar and command and control (C2) system in air-defense group is based on electromagnetic wave. Its effectiveness faces with huge challenge under the battlefield complex electromagnetic environment. Combining with experiences in unit maintenance support, three problems appeared repeatedly in maneuvers and trainings were summarized, which were dissatisfied actual use effects of qualified products by leaving factory performance examination, serious interference of the two equipments causing unable to work simultaneously, and sensitivity unit easily damaged by high power electromagnetic energy. It was summarized that the common problem is short of system level electromagnetic environment effect assessment method. Finally, the key problem-solving technologies were put forward.

Key words: complex electromagnetic environment; radar and C2 system; electromagnetic interference; electromagnetic protection

信息化战争中,交战双方大量使用电子信息装备,在激烈对抗条件下所产生的多类型、全频谱、高密度的电磁辐射信号开辟了与陆、海、空、天相并列

的“第五维战争空间”——电磁空间。同时,形成了与传统社会环境、地理环境、气象环境等并重的、新的战场环境——战场电磁环境^[1-2]。

收稿日期: 2013-01-12

作者简介: 王玉明(1981—),女,河北玉田人,博士,讲师,研究方向为电磁兼容与防护技术。

由于联合作战、体系对抗、精确打击所依赖的信息获取、传递、控制等绝大部分要通过电磁波这个媒介完成,因此战场电磁环境不仅是战场上通信、雷达、计算机、光电设备的信号环境,也是电子对抗的基本环境。通过对电磁波收发设备及其传播途径的干扰,可以直接或间接地削弱甚至瘫痪武器系统,导致战场感知迷茫、指挥协同紊乱、用频装备效能下降,影响乃至误导指挥决策;令交战双方的作战能力差距增大,不对称优势逐渐扩大,进而影响作战进程甚至战争成败。因此,在未来一体化联合作战中,装备有高炮、地空导弹、雷达以及自动化指挥系统等信息化武器的防空战斗群首先面临的将是复杂密集的战场电磁环境,以及由此可能引发的战场感知难、指挥控制难、装备作战效能发挥难、支援保障难等一系列问题。

1 电磁威胁

对于典型的防空群而言,一次完整的作战行动主要包括侦察探测、指挥控制和火力打击等3个重要组成部分。防空群的侦察探测系统(简称侦测系统)与指挥控制系统(简称指控系统),在信息传输、融合及处理过程中以电磁信号为主,因此其作战效能的发挥在复杂战场电磁环境下面临严峻挑战^[3-5]。

作为作战指挥决策信息收集的“眼睛”,防空侦测系统是敌方电磁干扰的首要对象,也是制约我军作战指挥决策制定的首要环节。目前,防空侦测系统主要由地面预警雷达网组成,负责空中情报收集、传输、处理及指挥决策等一系列信息流程。该系统主要利用电磁波探测目标,即无论主动或被动侦测方式,都离不开电磁波的辐射传播。然而,包含空中目标信息的电磁波在战场复杂电磁环境中传播时,势必会受到电磁干扰的影响,严重时会导致目标真实信息的偏离甚至丢失,从而无法对目标进行稳定跟踪,甚至不能对目标建立航迹,并可能产生假目标态势。

防空群指控系统不仅是防空武器系统的组成部分,也是大规模防空网络的组成部分。它可以从预警网获得实时信息,与其他战斗部队协同,从上级指挥系统领受任务和作战原则,报告武器系统的状态等,实现防空作战的统一指挥。这种承上启下与横

向协同的要求,充分说明了指控系统在未来一体化联合防空战役中的重要地位。

指控系统实现信息流程自动化主要是基于雷达、通信、数据传输、计算机网络等信息化设备来实现的,一方面提高了指控系统的作战效能,另一方面也暴露出指控系统在战场复杂电磁环境下的弱点。信息传播路径及收发信号常受到电磁干扰或恶意攻击,无法将指挥控制的决策信息及时传递到位,导致指挥控制的稳定性和可靠性下降;信息失真、延误必然需要重复指挥控制过程,使决策的反应速度与要素的机动速度、攻击速度不成正比,无法形成协调作战能力,导致指挥决策的质量和效益降低;不对称性决定敌方可能会通过对信息节点或中枢的破坏,使我方战场指挥控制失去效用,或暂时在需要的时间内失去效用,如使用大功率的电磁脉冲炸弹,实施敌我不分的电磁毁灭性攻击,不仅使敌我交错混叠地区的信息系统全部失去效用,还可将双方的信息优势和作战平台的技术优势全部抹杀,令作战平台只能沦为失去大脑的“废铁”。

战场复杂电磁环境对防空群雷达与指控系统的影响是多方面、全过程的,也是极为复杂的。通过电磁波对防空群雷达与指控系统实施“软杀伤”和“硬摧毁”,导致雷达迷盲、通信中断、指挥协同紊乱以及用频装备效能下降,使防空火力打击指挥所依赖的各种因素发生变化,从而导致决策失误,群抗击率降低,进而使目标突防,给被掩护部队和目标造成严重损失。

战场复杂电磁环境产生的影响具体体现在防空群雷达与指控系统上,使其在演习和训练中反复出现3类问题,并由此归结出一个共性问题。

2 演习和训练中暴露的3类问题

2.1 系统使用效果与出厂性能差距大

设备本身出厂时缺乏面向当前设备的具体电磁兼容及电磁防护性能考虑指标,生产厂家也缺乏开展电磁环境效应试验的条件及手段。如对于指控系统中的电台,GJB 3434—98《跳频电台性能测量方法》、GJB 238A—97《战术调频电台测量方法》等现有体系中给出的电台性能评价指标,基本上是围绕传

统参数集增加个别特殊化参数得到。随着战场复杂电磁环境日益恶劣,现有参数集合的突出问题是,缺少对战场电磁环境条件下设备表现的描述参数。从技术角度看,现在的测试方法中,并没有包含对各级滤波器特性、功放线性度等局部特性的检测,而这些特性对于战场电磁环境下的通信实效恰恰是非常重要的。除此之外,也没有对无线通信设备电磁兼容及防护性能描述的技术参数。这就导致了在实际使用中经常出现一些特殊环境中“测量结果优良,通信实效不佳”的现状。

第二个问题是以设备考核代替系统考核,没有进行综合的系统级电磁环境效应考核。如同样是指控系统,目前实际上在考核时用“电台测试”替换了“指控装备无线通信设备测试”,即完全沿用了通信兵无线分队设备的模式。然而,指控系统无线通信设备的配备模式与通信兵无线分队的模式有很大差别,主要体现在多型号集中配置、多设备关联配置、多模式联合使用上,这就导致面向单型号、单设备、单模式的测试方法无法满足要求。在指控装备无线通信系统中,不仅要测试无线通信设备单机工作时的技术指标,还应考虑接收机保护条件、接收机阻塞特性等技术指标的测试。实际上就是要对接收机输入箝位电路、接收机射频前端和滤波器等部件的局部特性进行测试。这些电路的特性下降,在单台工作时对设备工作几乎没有影响,但是对于多设备集中工作环境,可能就是致命的。

2.2 自扰互扰问题严重

自扰互扰问题在我陆军防空群雷达与指控系统中表现非常明显。如为保证对隐身目标、小型突防目标有足够的预警距离和预警时间,防空群中的各种防空雷达通常具有较大的发射功率。在防空旅内,每个营还配备有功率较大的火控雷达,这就在高炮旅(团)防空空域内部形成了功率大、频谱宽、延续时间长的强电磁环境。这种电磁环境对雷达自身以及各种通讯、电子装备都会造成严重的干扰,甚至造成装备损伤。部队训练和协同作战中不时出现的雷达干扰无人机数据链及通讯电台,友邻雷达干扰、同频干扰等皆源于此。为适应微弱目标的回波信号,雷达天线增益通常较高,接收机前端灵敏度极高。尽管雷达前端一般都装有接收机保护器、限幅器等

保护装置,但仍不可避免地出现同频干扰,极端条件下甚至会出现大功率电磁信号直接导致接收机前端被烧毁、战斗力尽失的现象。

在2006年进行的“砺剑——防空2006”演练中,由于参演雷达数量多,很多雷达工作频率相互重叠,频率占用冲突激烈,雷达间互扰严重,阵地上多部雷达的显示器上出现了规律性的自扰干扰花纹。高炮装备中的某系统易受电磁干扰的影响,在电磁脉冲和连续波作用下出现了电路工作异常、波形不能正常显示、元器件工作参数变化、计算机存储信息变更甚至元器件烧毁等现象。此外,在部队的电磁环境电子对抗实战演习中,也多次出现不同型号的雷达不能同时开机的问题,严重影响了作战和防空能力的发挥。

实际上,这一问题在装备训练、使用时已经引起重视。由于防空群内雷达装备密集,成建制的同频段、不同频段雷达数量众多,防空群外干扰源密布,各种针对雷达的电子干扰源形式多样,功率强劲,严重影响了雷达对低可探测性突防目标的探测。为此,对于雷达动态范围内的电磁干扰信号,现代雷达通常采用频率捷变、波形捷变、参差重频等技术,发射具有编码调制特征的信号;在接收时通过旁瓣匿影、匹配滤波等技术压缩干扰功率,提高信噪比,保证雷达的作战能力。如何正确区别雷达编码信号的目标调制特征和干扰污染特征是一个难以解决的关键问题。与通信信号不同,雷达发射的编码信号必然受到目标特征的调制,因此雷达接收到的信号不可能完全恢复,如何区分雷达回波中的目标调制特征和电磁干扰特征就成为信号级雷达电磁防护的关键。与此类似的是,进入指控系统通频带内的电磁干扰严重影响了指控系统的性能。

2.3 敏感部位易受高功率电磁能量损伤

这一问题主要是针对能量型干扰,它是进行电磁防护首当其冲的问题,否则只要遇到高强度的电磁能量就出现损伤,其它性能再优越也无济于事。

对能量型干扰的防护主要是对强电磁脉冲的防护,防空群雷达与指控系统中的接收机、通讯设备以及计算机等硬件组成部分对电磁脉冲非常敏感。如雷达接收机中的小型高频晶体三极管极易被瞬态高压击穿,其输入端虽有保护电路,但当电磁脉冲能量

较大时,保护电路本身也会被击穿或烧毁,系统存在潜在的易损性。

另外,对于雷达系统中FPGA,DSP等高性能嵌入式处理器,尽管目前采取了一些防护措施,但仍有部分电磁能量耦合进入装备内部,造成嵌入式系统工作参数变异、存储信息变更、工作状态紊乱、控制操作失灵,甚至元器件损伤,从而引发雷达失灵、指挥失控等严重事故。

通常在防空群雷达与指控系统中,接收功率信号的系统利用接收机保护器、限幅器等设备保护接收机前端。常见的保护设备有铁氧体环形器、气体放电管、二极管限幅器等。采用气体放电管防护时,当较大的辐射能量进入接收通道,气体放电管电离,阻止能量进入接收机。常用的气体放电管通流量大、耐压等级高,但响应速度较慢(100 ns左右)。二极管限幅器可承受10~100 kW的峰值功率,但PIN管的本征层较厚,响应时间长,通流量较小,前沿泄露功率较大,有些情况下难以很好地保护前端。

3 共性问题

上述3类问题,都可归结为一个共同的问题,就是缺少系统级电磁环境效应评估方法。或者说,正是由于没有系统级电磁环境效应评估方法,导致了上述3类问题的发生。

系统级电磁环境效应评估难以实施源于两个方面,一是系统级电磁环境效应评估准则与指标体系难以确立,二是系统级电磁环境效应综合评估建模方法困难。

目前,即使是对具体装备某方面性能的评估,准则也存在多样性,这是由于影响评估准则的因素随研究目的不同而难以统一。如对火控雷达抗干扰能力的评估准则就有功率准则、信息准则、战术应用准则、概率准则、作战效能准则、时间准则、最终效果准则等至少7个准则。评估指标则由评估准则确定,对单个设备确立评估准则与指标体系尚且困难,系统级电磁效应综合评估指标体系的确定难度可想而知。特别是在现有设备、分系统级的评估准则基础上,相应的指标体系并非建立在考核系统电磁兼容及电磁防护性能的情况下。

对于系统级电磁环境效应的综合评估,更是缺

少一套成型的方法。目前对电磁效应及防护性能评估的研究主要分为两类。一类关注电磁环境效应试验方法,试验是评估的基础,但这类研究只给出试验结果,不给出明确的量化评估结果;另一类以能够明确评估准则和指标体系的具体装备为对象,研究量化评估方法,关注数学模型的建立^[4-9],但研究对象相对简单,且缺乏系统电磁环境效应试验与作用机理研究基础。因此,在防空群雷达、指控系统电磁效应试验与作用机理研究的基础上,建立一套系统级的量化评估方法是需要解决的关键问题之一。

目前与电磁兼容性测试相关的标准有GJB 151A《军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求》、GJB 152A《军用设备和分系统电磁发射和敏感度测量》以及GJB 1389A《系统电磁兼容性要求》。GJB 151A,GJB 152A主要考核军用设备和分系统的杂散电磁发射和工作频带外的电磁辐射敏感度,而对装备电磁防护性能影响巨大的其它因素,如用频装备工作带宽、带外辐射、旁瓣辐射、强场电磁脉冲辐射敏感度、带内电磁辐射敏感度、带内向带外过渡时辐射敏感度如何变化等都未进行考核。试验过程中,军用设备和分系统往往不连接互联互通线缆,导致其电磁发射敏感度在组成系统时变化较大。武器系统电磁环境适应性的考核标准GJB 1389A虽规定了相关技术指标,但目前国内在相应的试验方法和试验条件上还不够成熟。由于缺乏对系统级电磁环境效应的综合评估,导致我军许多新型装备联合运用时,出现“定型试验检验合格的系统,使用时却出现问题”的不正常现象,极大削弱了信息化武器装备的作战效能。

4 亟待解决的关键技术

1) 针对信息型干扰的抑制技术。信息型干扰指复杂电磁环境造成防空群雷达与指控系统信息损失的现象,它是一种软损伤。这类电磁干扰需要解决的共性问题,是对进入频带内的干扰进行有效抑制,最大限度获取有用信号。如对于指控系统,可以开展自适应同址干扰抵消技术研究、自适应跳频抗干扰技术研究,为防空群指控系统抗信息型干扰提供技术支持。对于雷达系统,可开展临近雷达装备之间的互扰抑制技术研究,为雷达邻近干扰提供解

(下转第20页)

参考文献:

[1] ECSS-E-20-06. Space Engineering—spacecraft Charging[S].
 [2] LEACH R D. Failures and Anomalies Attributed to Spacecraft Charging, NASA-RP-1375[R]. 1995.(余不详)
 [3] JEAN Pierre Catani. Electrostatic Discharges & Spacecraft Anomalies[C]// SCTC 7th. 2001:6—7.(余不详)

[4] MIL-STD-1541, Electromagnetic Compatibility Requirements for Space Systems[S].
 [5] ISO/DIS 14302, Space Systems—electromagnetic Compatibility Requirements[S].

(上接第15页)
 决方案等。

2) 针对能量型干扰的防护技术。能量型干扰是指电磁能量造成防空群侦测与指控系统信息损失,或系统性能损坏乃至出现硬件损伤的现象,它既可以是软损伤,也可以是硬损伤。能量型干扰的防护主要是对强电磁脉冲的防护,研究针对能量型干扰的射频前端敏感设备、单元、端口的防护技术是需解决的关键问题之一。射频端口是各类装备单体信号传输的“门户”。对强电磁脉冲给防空群雷达与指控系统射频端口造成的威胁,可利用瞬态抑制、滤波、高频宽带电路设计等技术,研制具有响应速度快、耐受功率大的射频端口强电磁脉冲防护模块,阻止外部强电磁脉冲信号进入系统内部,保护与射频端口连接的各种敏感电路或器件。

3) 研究系统级电磁效应综合评估模型。评估方法的科学性至关重要,评估方法应来源于实践,要根据实际系统的电磁特性、任务剖面、评估需求与目的等,与具体试验结合,确定的评估方法要能准确反映系统的电磁效应及防护性能水平。另一方面,评估方法应对系统电磁兼容及防护性能水平的提高具有指导意义。评估指标不仅要在装备论证、设计、验收时具有约束力,可提出、可分解、可考核、可验证,还要督促与指导电磁防护加固措施的改进与实施。

5 结语

信息化战争下,对防空群雷达与指控系统电磁

效应评估与防护关键技术开展专题研究,是当前亟待解决的重大课题之一,也是战场复杂电磁环境下指导防空群武器系统分配部署、评估防空群武器系统战斗力、提高防空群武器系统生存能力的重要手段和技术途径。相关研究理论、方法、技术和成果对未来一体化联合作战中,其他战斗群的电磁效应与防护技术研究也具有指导和借鉴意义。

参考文献:

[1] 王兴华. 空中战场复杂电磁环境分析[J]. 装备环境工程, 2009,6(2):93—97.
 [2] 刘帅,李智,周立新. 战场电磁环境复杂性内涵分析与研究[J]. 装备环境工程,2011,8(4):25—28.
 [3] 梁涛. 复杂电磁环境对活动目标侦察校射雷达的影响及对策[J]. 四川兵工学报,2010,32(9):84—86.
 [4] 王伟中,罗小明,王洪. 复杂电磁环境对雷达作战能力的影响及应对措施[J]. 四川兵工学报,2011,32(3):154—156.
 [5] 李维林,段静玄,赵复政. 复杂电磁环境对作战系统的影响及对抗策略[J]. 舰船电子工程,2010,30(5):179—181.
 [6] 余巍,王小念,张建科,等. 防空情报雷达反干扰能力综合分析和评估[J]. 雷达科学与技术,2012,10(1):17—20.
 [7] 陈平,沈鹏. 基于复杂电磁环境的雷达抗干扰效能评估[J]. 中国雷达,2010(2):1—4.
 [8] 王振全,欧阳中辉. 基于模糊综合评判的雷达抗干扰效能评估研究[J]. 舰船电子工程,2010,30(3):106—109.
 [9] 孙荣平,成本茂,郭龙. 复杂电磁环境下机载电子设备的电磁兼容仿真研究[J]. 装备环境工程,2012,9(2):27—30.