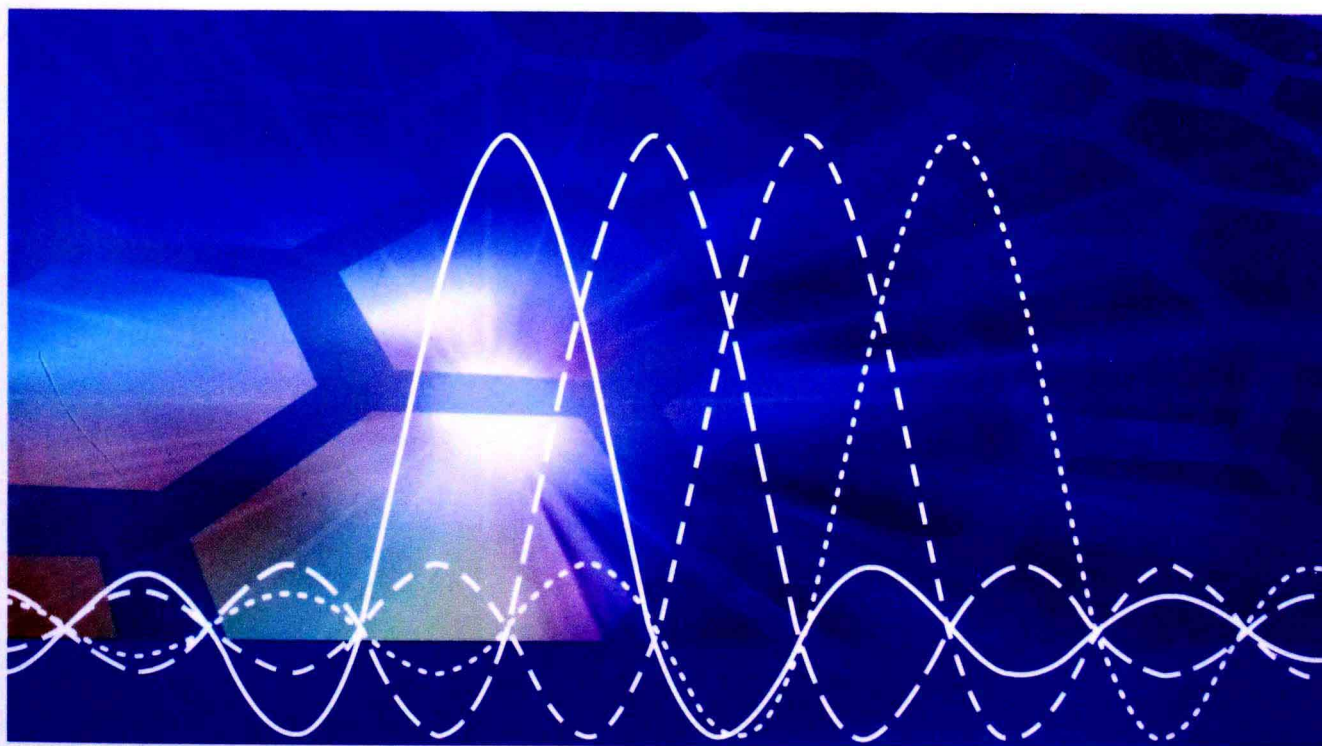


 电磁兼容与电磁防护系列著作

电磁脉冲防护 理论与技术

Electromagnetic Pulse Protection
Theory and Technology

■ 谭志良 胡小锋 毕军建 等著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

电磁兼容与电磁防护系列著

电磁脉冲防理论与技术

主 编 谭志良

副主编 胡小锋 毕军建

著 者 谭志良 胡小锋 毕军建 张 晨

谢鹏浩 王玉明 马立云

国防工业出版社

内 容 简 介

本书阐述了静电、雷电、核电磁脉冲及非核电磁脉冲效应,电磁脉冲能量耦合方式与耦合机理,电磁脉冲辐射与传导模拟及电磁缩尺模型,电磁效应测试方法与技术,电磁防护基本原理与技术,电磁脉冲防护加固设计与管理,电磁环境效应评估方法;例举了工程实际应用计算、测试与评估;展望了电磁防护新材料和新技术。本书从理论、技术、方法、工程应用等方面进行阐述,并吸收了作者最新研究成果,涉及面广且深,是电磁防护领域集理论、技术与工程应用于一体的一次新的尝试。

本书适合对电磁脉冲防护问题感兴趣的工程技术人员阅读,也可作为电磁场与微波技术及相关专业本科生及研究生教材。

图书在版编目(CIP)数据

电磁脉冲防理论与技术 / 谭志良等著. —北京:
国防工业出版社, 2013. 5
ISBN 978-7-118-08518-1

I. ①电… II. ①谭… III. ①电磁脉冲—辐射防护
IV. ①TL91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 041875 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷责任有限公司

新华书店经售

*

开本 710 × 960 1/16 印张 16¼ 字数 308 千字

2013 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 58.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

随着电气、电子技术的迅速发展,电磁环境日趋复杂,电磁脉冲干扰与防护问题日益突出,严重影响了现代生产、生活安全。在信息技术大大提高了武器平台作战效能的同时,也使这些武器平台强烈地依赖于电子设备及其所处的电磁环境,导致这些平台受到电磁脉冲攻击的威胁变得越来越现实。据报道,电磁炸弹的初次使用是在1991年的海湾战争期间。当时美国海军在“战斧”巡航导弹上装载了一些大功率微波弹头,试图干扰伊拉克的防空武器系统和指挥中心的电子设备。由于当时技术条件还不太成熟,发射的数量也有限,而且是与其他电子干扰武器同时使用的,因此对实战效果很难做出准确的评估,也没有引起外界的关注,只能说是电磁脉冲炸弹的一次试验。

时隔8年之后,电磁脉冲炸弹作为北约对南联盟实施信息打击的主要武器之一再度被使用,并且取得了不同凡响的效果。据报道,美军在科索沃战争中使用了EA-6B“徘徊者”电子干扰飞机,投放电磁脉冲炸弹,使南联盟部分地区的各种通信设施、电子设备受到不同程度的干扰和破坏,瘫痪逾3h。

在伊拉克战争中美英联军又重新使用了该武器。在对巴格达进行首轮攻击后,伊拉克的电子系统被干扰,巴格达所有电子信号被覆盖,许多军事专家认为美英联军使用的武器很可能是电磁脉冲炸弹。

电磁脉冲武器是未来战场新的威胁,而电磁脉冲防护是维持政府,军事指挥中心,国家金融、保险、电信,甚至精密电子制造等正常运行所必需的手段。因此,以美国为代表的西方发达国家,高度重视电磁脉冲武器的发展及防护研究,整体规划并落实电磁脉冲的防护,使电磁脉冲对电子系统的破坏降至最低。

本专著编委会由7人组成,谭志良任主编,胡小锋、毕军建任副主编,张晨、谢鹏浩、王玉明、马立云任编委。

全书共9章:第1章为概述;第2章介绍了电磁脉冲源及其效应;第3章介绍了电磁能量耦合机理及计算实例;第4章介绍了电磁脉冲模拟技术;第5章介绍了电磁环境效应测试技术;第6章为电磁防护原理;第7章为电磁防护新材料和新技术;第8章为电磁脉冲防护加固设计;第9章为电磁环境效应评估方法。

本书是在军械工程学院强电磁场环境模拟与防护技术国防科技重点实验室的大力支持下完成的。第1、7~9章由谭志良、张晨、王玉明撰写,第5章由毕军建、马立云撰写,第2~4、6章由胡小锋、谢鹏浩撰写。

由于电磁脉冲防护技术涉及多个学科,内容丰富,相关理论和技术发展迅速,工程要求不断提高,本书不能涵盖全部内容。加之作者水平有限,书中难免存在错误和不足,衷心希望广大读者批评指正。

作 者

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 未来高技术武器发展的特点和趋势.....	1
1.2 世界军事大国第三代武器装备的特点.....	6
1.3 未来的电磁脉冲武器.....	9
1.3.1 核电磁脉冲弹.....	9
1.3.2 非核电磁脉冲弹.....	9
1.3.3 高功率微波弹.....	11
1.4 电磁炸弹攻击方式与特点.....	11
1.5 电磁脉冲武器的作战效能.....	12
1.6 高功率微波的特点及优势.....	14
1.7 相关研究进展.....	15
第 2 章 电磁脉冲源及其效应	18
2.1 静电放电电磁脉冲及其效应.....	18
2.1.1 静电放电电磁脉冲.....	18
2.1.2 静电放电电磁脉冲效应.....	19
2.2 雷电电磁脉冲及其效应.....	23
2.2.1 雷电直接效应和间接效应典型参数.....	23
2.2.2 雷电电磁脉冲的分类.....	25
2.2.3 雷电电磁脉冲效应.....	26
2.3 核电磁脉冲及其效应.....	29
2.3.1 核电磁脉冲产生机理.....	31
2.3.2 核电磁脉冲波形参数.....	32
2.3.3 核电磁脉冲效应.....	34
2.4 非核电磁脉冲及其效应.....	35

2.4.1	非核电磁脉冲源	35
2.4.2	非核电磁脉冲的效应	37
2.5	几种电磁脉冲源对比	38
第3章	电磁能量耦合机理及计算实例	40
3.1	电磁能量耦合方式	40
3.2	传导耦合机理分析	42
3.2.1	电阻性耦合	42
3.2.2	电容性耦合	43
3.2.3	电感性耦合	45
3.3	辐射耦合机理分析	46
3.3.1	电磁辐射的概念	46
3.3.2	辐射场强的分析	48
3.3.3	辐射耦合常用天线模型	54
3.3.4	辐射耦合方式	57
3.4	HEMP对传输线的耦合分析实例	60
3.4.1	场线耦合传输线模型	60
3.4.2	实用算式的推导	61
3.4.3	HEMP作用下导线的场线耦合效应计算结果	63
3.5	ESD EMP在金属腔体内的场分布计算实例	75
3.5.1	腔体内场分布数值模型的建立	76
3.5.2	计算结果分析	76
第4章	电磁脉冲模拟技术	79
4.1	电磁脉冲辐射模拟	79
4.1.1	瞬态电磁脉冲场模拟	79
4.1.2	雷电脉冲磁场模拟	89
4.1.3	超宽谱电磁脉冲模拟	91
4.2	EMP传导模拟	93
4.2.1	典型电磁脉冲波形和基本注入参数	94
4.2.2	电磁脉冲注入方法	95

4.3	电磁缩尺模型	97
4.3.1	电磁缩尺模型理论	97
4.3.2	电磁缩尺模型实验场设计	99
第5章	电磁环境效应测试技术	101
5.1	基本要求与注意事项	102
5.1.1	试验仪器设备	102
5.1.2	测试注意事项	106
5.1.3	关于安全裕度	108
5.2	系统内电磁兼容性——接收机减敏测试	109
5.2.1	目的	109
5.2.2	适用性	109
5.2.3	试验设备	109
5.2.4	校准	110
5.2.5	试验步骤	110
5.2.6	数据记录	113
5.2.7	数据分析	113
5.3	外部射频电磁环境效应试验	116
5.3.1	目的	116
5.3.2	适用性	116
5.3.3	要求	116
5.3.4	试验设备	116
5.3.5	试验配置与连接	117
5.3.6	预测式评估	118
5.3.7	测试步骤	118
5.3.8	数据记录	125
5.3.9	数据分析	125
5.4	近距离闪电的效应测试	125
5.4.1	目的	125
5.4.2	适用性	125
5.4.3	要求	126

5.4.4	测试设备	126
5.4.5	测试设置	127
5.4.6	预测式评估	129
5.4.7	测试步骤	130
5.4.8	数据记录	130
5.4.9	数据分析	132
5.5	电磁脉冲效应测试	133
5.5.1	目的	133
5.5.2	适用性	133
5.5.3	要求	133
5.5.4	测试设备	133
5.5.5	预测式评估	135
5.5.6	测试步骤	136
5.5.7	数据记录	136
5.5.8	数据分析	137
5.6	垂直起吊和空中加油的静电放电测试	137
5.6.1	目的	137
5.6.2	适用性	137
5.6.3	要求	138
5.6.4	测试配置	138
5.6.5	试验步骤	141
5.6.6	数据分析	142
5.7	沉积静电干扰	143
5.7.1	目的	143
5.7.2	适用性	143
5.7.3	要求	143
5.7.4	测试设备	144
5.7.5	测试配置	146
5.7.6	预测试评估	149
5.7.7	测试步骤	150
5.7.8	数据记录	151

5.8	系统电场发射测试	152
5.8.1	目的	152
5.8.2	适用范围	152
5.8.3	测试设备	152
5.8.4	测试配置	153
5.8.5	测试步骤	155
5.8.6	数据记录	156
5.8.7	数据分析	157
第6章	电磁防护原理	158
6.1	空域防护	158
6.1.1	电磁屏蔽的基本原理	159
6.1.2	屏蔽效能的表征和计算	160
6.1.3	常用屏蔽材料	163
6.1.4	屏蔽体的防护措施	164
6.2	频域防护控制	167
6.2.1	滤波技术	167
6.2.2	频谱管制	176
6.2.3	调频	176
6.2.4	编码	177
6.2.5	电光转换	177
6.3	时域防护控制	178
6.3.1	主动时间回避法	178
6.3.2	被动时间回避法	179
6.4	能域防护控制	181
6.4.1	浪涌抑制器分类	181
6.4.2	浪涌抑制器主要特征参数	183
6.4.3	典型浪涌抑制器特性	184
6.4.4	浪涌抑制器失效模式分析和应对措施	189
6.4.5	瞬态抑制器件在电路中的应用实例	190
6.5	传导回路的防护控制	191

6.5.1	接地	191
6.5.2	搭接	194
6.6	电缆与 I/O 接口的 ESD EMP 防护设计实例	195
6.6.1	瞬变电压抑制器件的选用	195
6.6.2	电缆端口滤波	197
6.6.3	I/O 接口的 ESD 加固	198
第 7 章	电磁防护新材料和新技术	200
7.1	电磁斗篷技术	200
7.2	频率选择表面	202
7.3	能量选择表面	205
7.4	左手材料	205
7.5	自适应电磁干扰对消技术	207
7.6	旁瓣匿影技术	210
7.7	演化硬件技术	210
7.8	多功率射频系统技术	210
第 8 章	电磁脉冲防护加固设计	212
8.1	概述	212
8.2	电磁脉冲加固管理	213
8.3	电磁脉冲加固控制计划	214
8.3.1	加固分配	215
8.3.2	样机验收	215
8.3.3	生产	215
8.3.4	配送安装与维护操作及系统监测	216
8.4	加固分配的系统观	217
8.5	与电磁兼容性、电磁干扰和射频干扰的关系	218
8.6	电磁辐射、军械危害性电磁辐射效应及辐射危害	219
8.7	损伤防护的系统观	219
8.8	干扰防护的系统观	220
8.9	电路与子系统防护	222

8.10	系统加固分配	223
第9章	电磁环境效应评估方法	225
9.1	电子装备电磁脉冲效应评估准则	225
9.1.1	基于确定性电磁环境特征的设备性能评估准则	225
9.1.2	基于随机性电磁环境特征的统计分析评估准则	225
9.2	基于模糊综合评判法的电子设备抗电磁毁伤效能评估	231
9.2.1	指标体系	231
9.2.2	电子系统抗电磁效能评估指标体系	233
9.2.3	评价等级	233
9.2.4	权重系数	233
9.2.5	指标隶属度	235
9.2.6	效能评估综合算子(综合评判模型)	238
9.2.7	对多种电磁毁伤源进行综合评判	241
9.3	某型电子控制系统抗 UWB EMP 电磁毁伤效能评估示例	242
	参考文献	245

第1章 概述

美国的一份权威杂志曾对未来战争作过一次有趣的预测:下一次世界灾难降临的时候,你可能看不到蘑菇云,只听见一声遥远的“咔嚓”声,你还以为是无辜的闪电,你的计算机连同里边的所有数据都将被“烤焦”。这时你发现世界听上去开始有所不同——标志文明世界的声音都消失了,你听不到内燃机的轰鸣声。除了柴油机,所有引擎都罢工了,再也发动不了。世界仿佛倒退到200年前,而你却毫发未伤。这并非耸人听闻,因为电磁脉冲武器破坏后的世界就会是这样。

1967年7月29日,雷达产生的高功率辐射曾使美国一艘航母上的A-4舰载机挂载的导弹意外发火,导致一连串的爆炸,大火吞噬了134名官兵的生命,经济损失达7200多万美元,航母修复耗时7个多月。

英阿马岛之战中,英国的新型驱逐舰“谢菲尔德”号由于雷达与通信系统电磁不兼容,两者无法同时开机,最终被阿军的飞鱼导弹瞅准空当击中沉没。现如今电子技术既大大提高了武器平台的作战效能,但同时也使这些武器系统强烈地依赖于电子设备及其所处的电磁环境。

近年来爆发的几场高技术局部战争,美军在每次战争前都先派出多架电磁干扰飞机,对预定空袭区域进行定向强电磁干扰,“战斧”巡航导弹携带高功率微波弹,以非核爆炸方式产生类似于高空核电磁脉冲的强电磁辐射,直接摧毁或损伤各种敏感电子部件,使对手的雷达、计算机系统等电子装备和互联网失去工作能力,既剪除了对手的“耳目”,又挑断了对手的“神经”,为随后的军事打击铺平了道路。

1.1 未来高技术武器发展的特点和趋势

自“沙漠风暴”行动以来,从高技术战争和发达国家的武器装备发展计划大体上可以看出,2020年前后武器装备将进入信息化时代,将逐步实现体系化、信息化、网络化、精确化、隐身化和轻小型化,并可能呈现无人化的发展趋势。21世纪的战场将成为陆、海、空、天、电磁五维战场,作战空间将向外太空扩展。信息战武器、电子战武器、一体化C⁴ISR装备、隐身武器、精确制导武器、军用航天装备、无人机/机器人武器将成为军事大国21世纪的主导武器装备,也是发展中国家极力谋

求的军事手段,动能与定向能等新概念武器也将陆续实用化。未来高技术武器装备的发展将呈现以下的特点和趋势:

(1) 信息进攻与防御将成为未来信息化战争的焦点。计算机网络攻击与防御是信息战的重要内容,这种攻防对抗属于静悄悄的战争较量,其战略破坏性可与核生化大规模杀伤性武器相比。

海湾战争后,作为 21 世纪信息化战争的重要作战样式,信息战已引起世界各国的高度重视,作为信息战的重要物质技术基础,信息战武器装备的发展,特别是计算机网络攻击与防御手段的发展迅速。未来战争中,信息进攻武器将快速发展和采用计算机病毒软杀伤武器以及微米/纳米机器人、芯片细菌、非核电磁脉冲武器、低功率激光武器及电子破坏弹药等硬杀伤武器。其中,计算机病毒、网络“蠕虫”、“特洛伊木马”程序、逻辑“炸弹”、计算机“陷阱”等软杀伤手段对网络系统、计算机软件和硬设备的破坏将令人防不胜防,而且波及面广,战略破坏性强。信息防御手段也将不断完善和发展,威胁预警、多层防御、安全防火墙等技术已成为信息防御手段发展的重点。

据报道,从 1999 年 3 月 24 日北约发起空袭开始,北约成员国在因特网上的站点就不断遭到南联盟计算机“黑客”的攻击,迫使北约因特网站点从 3 月 28 日对公众关闭。此间,北约的电子邮件服务器被阻塞,北约的通信系统曾受到计算机病毒攻击而一度陷入瘫痪,美国海军陆战队所有作战单元的电子邮件服务器均被阻塞,美国白宫网站由于俄罗斯“黑客”入侵而无法工作,英国为北约空袭提供气象服务的气象局网站也遭到破坏。

(2) 电子战已成为信息化战争的“战略要素”,是夺取信息优势的重要手段。电子战装备是 21 世纪发展的重点。

不论是在“沙漠风暴”、“沙漠之狐”行动,还是北约空袭南联盟“盟军”军事行动中,都大量使用了电子战飞机、“哈姆”高速反辐射导弹和其他电子战手段,利用这些手段对伊拉克和南联盟的指挥控制系统、防空系统、通信设施等实施强大的电子压制,以期获取信息优势。不难看出,电子战武器装备已成为未来高技术战争的必备武器。

21 世纪电子战武器装备主要包括电子战飞机、海陆空三军综合防御电子对抗系统和机载自卫干扰系统。新一代电子战飞机将是指挥控制型飞机,能执行雷达对抗、通信干扰和发射反辐射导弹等任务,在“压制敌防空”作战中具有实时精密瞄准和战场毁伤评估能力。电子支援侦察装备将进一步扩展工作频段,预计 21 世纪初可达到 0.05GHz ~ 140GHz。未来电子对抗将扩展电子干扰频谱,提高干扰功率,发展多波束干扰技术,采用隐身、伪装技术并发展新一代反辐射导弹,此外还将增强己方电子设备的电子反对抗能力。

(3) 一体化指挥、控制、通信、计算机、情报、监视与侦察(C⁴ISR)系统的发展

和运用将使战场更透明,指挥近实时,行动更敏捷,夜间变“明亮”,陆海空天作战行动一体化。

自海湾战争结束以来,美国十分注重发展一体化 C⁴ISR 系统,把全球信息感知和全球指挥控制作为联合作战的重要能力之一。从北约“盟军”行动可以看出,战场态势感知能力、战场毁伤效果评估能力和指挥控制能力是未来战争取胜的关键,包括天基、空基、海基和地基在内的各种侦察、监视、预警、导航等手段,是确保这些能力有效运用的重要手段。今后,信息获取手段将朝着更加精确、实时、全天候方向发展。21 世纪将广泛应用高分辨率照相侦察卫星、新一代天基红外弹道导弹预警系统、空中作战相控阵预警机、空中对地纵深攻击的监视指挥飞机,大量采用无人侦察机和夜视装备,指挥员具有全球态势感知能力。美军十分重视夜视感知能力,除了依靠雷达成像卫星、天基红外系统、高性能无人侦察机外,还重视发展武器平台的夜视器材,提高夜间感知与夜战能力。此外,陆战、海战武器及单兵都将广泛采用微光夜视仪、微光电视、红外夜视仪、夜视眼镜和红外照明弹等夜视器材。

信息传递速度将以秒计量,组建“国防信息系统网”以保障全球军事行动所需信息传递实时性、可靠性及抗干扰能力。信息管理能力和产生质的飞跃,用户通过分布式信息管理系统,可随时调用所需信息。

(4) 具有高机动性和隐身性的武器平台将成为空中、海上和陆上的主力武器装备。主动隐身技术将得到更多的应用。隐身与反隐身攻防对抗将更加激烈。

具有高机动性的隐身飞机,采用精确制导武器,可实现对目标的隐蔽突然精确攻击。在未来,隐身飞行器将形成完整的体系配套格局,不仅有隐身战略轰炸机,而且有隐身战斗机、攻击机、侦察机、直升机,还将有隐身巡航导弹、防区外导弹。各国在发展隐身飞机时将更加重视提高其机动性、高速度和自主探测能力,以适应高技术条件下武器装备的攻防对抗。

发达国家目前正在发展的第四代隐身飞机,具备隐身性和机动性的双优品质。俄罗斯开创了等离子体隐身技术的新途径,正在研制性能可与美国 F-22 相媲美的“第五代战斗机”;英、法等发达国家的隐身飞机和导弹也将相继服役,从而打破美国一家独有的局面;发展中国家也正在积极谋求加入“隐身俱乐部”。与此同时各国家和地区还重视现役飞机的隐身改装,发展具有部分隐身特性的飞机。未来太空也将出现生存能力强的隐身卫星。

到 2020 年前后,发达国家具有局部隐身特性的舰艇将越来越多,完全隐身的舰艇也相继亮相,潜艇将具有更先进的隐身能力。它们将成为未来海上作战的主力军。

主战坦克和装甲车辆在今后几十年内仍然是陆战战场的主要突击力量。“未来作战系统”将具有良好的隐身特性和装甲防护能力;还可能出现隐身侦察车、隐身电动装甲车和隐身工事。

(5) 无人机、无人潜航器、无人车辆和战场机器人将成为发达国家 2020 年前后的重要武器,担当起侦察、探测、压制防空、战场毁伤评估等作战任务。

无人机作为空中机器人将朝小型化、自主式、隐身、全天候方向发展,并广泛用于高风险环境,完成以信息攻防对抗为主的作战任务。无人侦察机将可能取代有人侦察机,无人作战飞机将可能部分取代有人战斗机和轰炸机,起到远、中、近程精确打击作用。随着微电子、微机电技术的发展,将可能出现微小型无人机。陆上将出现“战术无人车”、“地面无人车”等机器人车辆,它们将采用 GPS 接收机、激光测距仪、热像仪及高分辨率相机等高技术,向全天候、全地形、自主式和小型化方向发展。有人预言,无人车辆将成为 21 世纪陆军的核心武器。水中将出现完全自主式无人潜航器(UUV),用于水下探雷、支持潜艇和水面舰艇作战行动。

(6) 导弹攻防对抗将成为未来高技术战争的重要组成部分,对应的武器系统将呈现明显的对抗性发展格局,中远程精确打击武器装备、防空反导一体化武器装备是发展的重点。

高精度、突防力强的中远程精确打击武器将在未来战争中发挥实战与威慑作用。这类武器较少依赖前沿基地,能减少参战人员伤亡,可独立实现战役战术作战意图,并且具备快速、灵活的反应能力,因此将得到越来越广泛的实际应用。地地战术弹道导弹具有威慑和实战双重能力,是美、俄、印等国发展重点。

巡航导弹是可与弹道导弹相比的中远程精确打击武器。自“沙漠风暴”以来,一些重大军事行动都使用了这种武器。在未来,巡航导弹的射程将远达 1800km ~ 2700km,精度更高(圆概率误差小于 9m),弹头威力更大,并具有毁伤效果评估能力和重新选定目标的能力。此外,隐身巡航导弹也将日渐增多。

防空、反导导弹系统是对抗空袭的重要手段。发达国家将保持和完善多层次、全空域、绵密无缝的防空系统,建成动能拦截弹、高能激光武器相结合的多层次、高性能、点面防御、主被动段拦截相结合的战区弹道导弹防御系统,美国还将建立国家导弹防御系统;将可能出现低成本巡航导弹防御系统或多军种联合防御巡航导弹的格局。在未来还可能实现陆基、海基、空基和天基防空反导一体化。

(7) 精确制导武器具有高效费比特征,已成为未来战争的基本手段。

精确制导武器在高技术战争中得到越来越多的应用,在越南战争中精确制导武器只占弹药总数的 0.2%,在“沙漠风暴”行动中占 9%,在“沙漠之狐”行动中达到 70%,而在“盟军”行动中,精确制导武器在前期的投入量高达 98%,即使在空袭后期由于巡航导弹库存量有限等原因影响到精确制导武器的投入量,但后期仍达到 60% 以上。在未来,如果精确制导武器成本显著下降,其应用将会更加广泛。

今后,新一代精确制导武器将广泛采用先进的毫米波、红外成像、导航卫星全球定位系统(GPS)等单一或复合制导技术,制导武器能实现命中点的选择,达到命

中即杀伤的效果。

未来将可能出现：近距格斗和远程拦截两用的双射程空空导弹；反舰及反岸上目标的远程舰舰导弹；带灵巧子弹药的高致命性空地导弹、反辐射导弹和反坦克导弹；具备精确攻击、多目标摧毁和钻地（入水）深度攻击的制导炸弹和水中兵器。

（8）以卫星为主体的军用航天系统将是一体化全球感知、全球交战系统的核心，全球卫星导航定位系统将成为未来精确指挥控制、中远程精确打击和精确兵力投送的关键装备。夺取空间优势和控制外层空间将成为 21 世纪航天研究的首要任务。

“沙漠风暴”行动是第一次有军用航天系统介入的战争，在随后的历次军事行动中，军用航天系统都起到了重要作用，仅在这次“盟军”行动中，北约就投入了 50 多颗军用和民用卫星支援作战。未来战争中，外层空间将可能由目前支持陆、海、空作战的辅助战场而转变为主战场之一，军用航天系统的支援保障能力更强，新的航天战斗装备将可能出现。

21 世纪将出现划时代的侦察、预警、通信、导航、气象等卫星和卫星星座，它们与各种情报系统、指挥控制系统和计算机互联网络相结合，最大限度地发挥空间力量在信息化战争中的支持作用。21 世纪卫星防御技术将取得较大进展，可能出现隐身卫星、抗毁加固卫星、能经受得起损耗的过量卫星、诱饵卫星和杀手卫星。由任务卫星、诱饵卫星和杀手卫星等微小卫星组网构成的小卫星星座将以严密的攻防对抗阵形部署在外层空间，执行各种任务。

未来反卫星武器将可能有动能、定向能和军用空天飞机等空间武器。在 2020 年以后，以空间控制与反控制为焦点的太空攻防对抗将不可避免。

（9）未来战争中，动能武器和定向能武器将成为防空反导及反卫星的利器，非致命武器将为未来军事行动提供新的选择，这些新概念武器的逐步应用将意味着作战方式的巨大变化。

动能武器发展势头强劲，作为核心装备的动能拦截器（KKV）正在得到广泛应用。

高能激光武器在技术上已基本成熟，其中空军的机载激光武器（ABL）具有在数万千米外，在弹道导弹助推段进行精确拦截的能力。在 2008 年后形成一个完整的战区反导机群。此外，其他战术飞机、无人机和天基武器平台也可能装备激光武器。

高功率微波武器将搭载于巡航导弹、防区外导弹及其他空地导弹上，用于压制敌防空系统和用作信息进攻武器。美国在“沙漠风暴”行动中已采用了微波弹。

未来的非致命武器有激光致盲（致眩）武器、非核电磁脉冲武器、次声波武器、光学弹药、失能剂、粘接涂料、材料脆化剂等 50 余种，它们将成为非战争军事行动的重要武器。