电子信息科技专著出版专项资金资助出版

和平时期电子战技术与应用

——雷达对抗篇

张锡祥　刘永坚 王国宏　著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书用大量文字、试验数据和图片介绍了电子战在历次战争中的地位和作用，特别分析了电子战在和平时期的应用和发展，以及电子战的重要组成部分——雷达对抗的诞生、成长和壮大的发展历程及其产生的重要影响；重点阐述了体制创新、理论创新和技术创新的过程和成果；对距离欺骗干扰源的产生和寻找，警戒引导雷达多目标欺骗干扰源的产生与寻找，开窗干扰的产生、寻找与判别，干扰机的收、发隔离技术，和平时期电子侦察的手段，电子侦察卫星的干扰等进行了介绍或探讨；探索了电子战，尤其是雷达对抗技术的未来发展。

本书内容丰富、新颖、实用，概念阐述清渐，理论推导严谨，结论明确，可作为高等院校电子对抗及相关专业的教材，也可作为相关技术人员的培训资料和各级军事指挥人员的参考用书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

和平时期电子战技术与应用. 雷达对抗篇/张锡祥等著. —北京：电子工业出版社，2005.1
ISBN 7-121-00499-2
Ⅰ.和… Ⅱ.张… Ⅲ.①电子战 ②雷达对抗 Ⅳ.E869
中国版本图书馆 CIP 数据核字（2004）第 109982 号

责任编辑：宋 梅
印 刷：
出版发行：电子工业出版社
北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036
经 销：各地新华书店
开 本：850×1168 1/32 印张：8.625 字数：228 千字
印 次：2005 年 1 月第 1 次印刷
印 数：3 000 册 定价：28.00 元
骼

凡购买电子工业出版社的图书，如有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系。联系电话：（010）68279077。质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。



张锡祥 1958 年毕业于西安电子科技大学，现任中国科技集团公司第二十九研究所研究员，所长顾问，中国工程院院士。曾在 1985 年获国家科技进步三等奖一项，1990 年获国家科技进步一等奖一项，1997 年获国家科技进步二等奖一项。此外还获电子部科技进步一等奖两项，国防工办技术改进二等奖一项，国防科工委技术进步二等奖一项。著有《现代雷达对抗技术》专著一本，在多种刊物和学术年会上发表论文数十篇，编写、整理内部技术资料约 400 万字。



刘永坚 1990 年硕士毕业于国防科学技术大学，现任空军司令部某部副部长、高级工程师，中国电子对抗学会专业委员，政府特殊津贴。曾获得国家、军队科技进步奖十多项，其中国家科技进步二等奖一项。军队科技进步一等奖四项；荣立二等功三次，三等功两次。



王国宏 1993 年硕士毕业于解放军电子工程学院，现任空军某研究所室主任，主要从事电子对抗总体论证、型号研制、跟踪管理及电子对抗设备研制等方面的工作。曾获全军科技进步一等奖一项，三等奖一项，其他奖多项。

前　言

信息战和电子战是近几年在军事领域里的一个热门话题。人们从海湾战争和科索沃战争中，不仅领略到了电子战的威严，更认识到了贯穿战争始终的电子战，已成为当代战争不可或缺的陆、海、空、天、电五大支柱之一。

实际上，电子战并不只是存在于战争时期，在和平时期，它也有非凡的表现。通过侦察卫星，可以侦察到任何地方的地形、地物和军事设施，为战争做好充分的准备。然而，和平时期的电子战是以较隐蔽、秘密的小规模方式进行的，被对方发现后也不会公开承认，因此与战争时期的电子战有着明显的差别。

在战争时期，电子战是大规模公开进行的，例如在突防前，可以派大批侦察飞机、无人侦察机和侦察卫星，对敌方的军事设施和军事布局进行不间断的侦察；在攻击时，派隐身飞机打前锋，派干扰支援飞机进行远距离电子战干扰，掩护和支援攻击飞机进行突防；攻击飞机除自身带有自卫干扰机外，还可带随队干扰支援飞机，大张旗鼓地进行电子战掩护空袭。

虽然和平时期电子战与战争时期电子战在进行的方式、规模、速度和时间紧迫性上有很大差别，但就其应用的设备技术而言还是有许多相同之处的。和平时期所用的电子战装备在战争时期也是可以使用的。从这个意义上讲，电子战是“天天在战斗”。和平时期的电子战可分为下列几种类型：

① 在意识到别国侦察监视时，可派机载侦察飞机、高空侦察机、无人侦察机和侦察卫星等侦察别国的军事设施、军事布局和新武器装备研制试验状况等；

② 对自己研制的电子战设备演示试验；

③ 进行综合军事演习；

④ 战前情报收集；

⑤ 制造一些不明空情骚扰别国，例如制造假目标等；

⑥ 对别国进行突袭时，用电子战打前锋。

然而，第三世界国家往往忽略和平时期的电子战，对可能发生的侦察和监视不加防范，一旦发生战争，对方早把军事设施和布局侦察得清清楚楚，因此，战争一开局就处于被动状态。如果在和平时期就对电子战有所防范，就使对方侦察不清军事布局，也就不敢贸然侵犯，因此可能避免发生战争。

本书就是要告诉读者电子战技术在和平时期是怎样应用的，为什么会产生一些异常现象，又怎样寻找那些欺骗辐射源。尤其希望能唤醒弱小国家在和平时期防范电子战的意识，对强权者提高警惕，严阵以待；有条件的发展中国家应建立防空电子战系统，时刻准备抵御强权者的空袭，以实现维护世界持久和平、减少战争的美好愿望。

本书主要讲述了和平时期电子战的形成、发展和表现形式，以及电子战在和平时期天天战的事实。全书共 8 章，内容涉及对距离欺骗干扰源的产生和寻找，对警戒引导雷达多目标欺骗干扰源的产生与寻找，开窗干扰的产生、寻找与判别，干扰机的收、发隔离技术，和平时期电子侦察的手段，对电子侦察卫星的干扰，雷达对抗的新概念研究等。

本书不但讲述了近代电子战的发展，还特别分析了电子战在和平时期的应用和发展，把电子战在和平时期的灵活应用与在战争时期的开展有机地结合起来，给人一个“电子战天天在战斗”的基本概念。

本书非常适合于从事电子战领域科研生产的专业技术人员、军事指挥员、操纵人员和军政领导阅读参考，更是广大读者扩大知识面，了解和平时期电子战技术与应用的良师益友。

本书得到了中国电子科技集团公司第 29 研究所所长陈润生和原所长李德成同志的大力支持，得到重点实验室刘永红和易正红的热情

帮助，还得到空军司令部领导和空军第二研究所领导的大力支持。特别是唐臻富教授对本书原稿的勘误和精心编排，李慕文同志的细心核对，以及空军第二研究所姜峰、齐子忠和刘振献等同志的大力协助。在此，对给予本书出版关心和支持的朋友们一并表示感谢！

作　者

目　　录

第 1 章　电子战概述 …… (1) ……

1.1　电子战的产生 …… (1) ……

1.2　电子战的发展 …… (2) ……

1.2.1　初见成效 …… (2) ……

1.2.2　电子战的兵力倍增器作用 …… (4) ……

1.2.3　电子战的侦察、干扰一体化 …… (5) ……

1.2.4　电子战的隐蔽性与突然性 …… (5) ……

1.2.5　电子战的综合应用 …… (6) ……

1.2.6　电子战以弱胜强 …… (7) ……

1.2.7　电子战综合化、系统化和立体化的应用 …… (8)

1.3　和平时期电子战 …… (10) ……

1.4　雷达干扰机的分类 …… (12) ……

第 2 章　对火控雷达和警戒引导雷达的距离欺骗干扰及识别 … (15)

2.1　对火控雷达的干扰 …… (15) ……

2.2　对警戒引导雷达的距离欺骗干扰 …… (17) ……

2.2.1　对警戒引导雷达距离欺骗干扰的干扰机基本组成 …… (18)

2.2.2　对警戒引导雷达进行距离欺骗干扰的航迹 …… (20)

2.3　对有源距离欺骗干扰源的识别 …… (30) ……

2.3.1　单站三坐标雷达对有源距离欺骗干扰源的定位 …… (30)

2.3.2　双站三坐标雷达对有源距离欺骗干扰源的交叉定位 (32)

2.3.3 双平面坐标雷达对有源距离欺骗干扰源的交叉定位 (34)
2.3.4 地面雷达站引导直升机侦察站对有源距离欺骗干扰源的定位 (35)
2.3.5 两个地面侦察站对有源距离欺骗干扰源的交叉定位 (36)
2.3.6 交叉定位系统的误差计算 (37)
第 3 章 对警戒引导雷达的多目标欺骗干扰及识别 (42)
3.1 对警戒引导雷达的多目标欺骗干扰 (42)
3.1.1 对警戒引导雷达产生多目标航迹欺骗的原理及设备组成 (42)
3.1.2 多目标欺骗干扰机参数的确定 (45)
3.1.3 多目标欺骗航迹的产生 (48)
3.1.4 同步方波干扰与同步脉冲干扰 (64)
3.1.5 高重频脉冲压制干扰与重频数值的选择 (68)
3.2 识别多目标欺骗干扰源的方法 (71)
3.2.1 常规雷达的显示原理 (72)
3.2.2 雷达目标回波起伏特性 (76)
3.2.3 测定雷达转速、转向的原理 (82)
3.2.4 判定欺骗干扰航迹的方法 (85)
3.2.5 对其他信号的综合分析与判定 (91)
第 4 章 开窗压制干扰及识别 (97)
4.1 开窗压制干扰 (97)
4.1.1 压制性开窗干扰的产生原理 (98)
4.1.2 开窗干扰机参数的选择 (100)
4.1.3 用无人机载干扰机形成开窗干扰的方法 (102)

4.1.4 对雷达实施镜频干扰形成开窗干扰压制区 (103)
4.1.5 对两部雷达的开窗干扰 (107)
4.2 对开窗压制干扰的寻找与判别 (107)
4.2.1 用侦察站发现开窗干扰源 (108)
4.2.2 在被干扰的雷达站附加检波放大和示波器发现开窗干扰信号 (109)
4.2.3 对开窗干扰源的频谱测量 (110)
4.2.4 对雷达脉内特征侦察与分析 (110)
4.2.5 对镜频干扰信号的判别与利用 (121)
第 5 章 干扰机的收、发隔离 (123)
5.1 收、发隔离的基本概念 (123)
5.2 连续波杂波干扰机的收、发隔离 (127)
5.2.1 收、发同时工作的噪声干扰机 (128)
5.2.2 收、发时间分隔工作的噪声干扰机 (132)
5.2.3 与雷达脉冲同步工作的噪声干扰机 (135)
5.2.4 对脉内多载频捷变频雷达进行干扰的干扰机收、发同步时间关系 (137)
5.3 收、发天线分开且装在一个平台上的时分隔噪声干扰机 (138)
5.3.1 开关 S1 断路损耗的分析计算 (139)
5.3.2 开关 S2 断路损耗的分析计算 (140)
5.4 收、发公用一个天线的噪声干扰机 (141)
5.4.1 开关 S1 的分析计算 (142)
5.4.2 开关 S3 的分析计算 (143)
5.5 高灵敏接收机的收、发隔离技术 (146)

5.5.1 开关 S1 隔离度分析计算 (146)
5.5.2 开关 S3 断路隔离度的分析计算 (147)
5.6 干扰警戒雷达用的多目标欺骗干扰机的收、发隔离 (148)
5.6.1 警戒雷达多目标欺骗干扰方程 (149)
5.6.2 开关 Sa 和 S1 的收、发隔离度分析 (150)
第 6 章 和平时期电子侦察 (153)
6.1 电子侦察飞机 (153)
6.2 卫星侦察 (159)
6.3 空中预警机 (162)
6.4 监视船 (183)
第 7 章 对电子侦察卫星的干扰 (185)
7.1 电子侦察卫星在现代战争中的作用 (185)
7.1.1 军用航天器的分类 (188)
7.1.2 军用侦察卫星的分类及特点 (189)
7.1.3 军用侦察卫星的发展趋势 (189)
7.1.4 导航卫星 (191)
7.2 一些主要国家发展军用卫星的情况 (192)
7.2.1 美国电子侦察卫星发展的近况 (192)
7.2.2 俄罗斯电子侦察卫星发射近况 (194)
7.3 对军用侦察卫星干扰的必要性和可行性分析 (198)
7.4 对有源星载合成孔径雷达的干扰 (209)
7.4.1 合成孔径雷达的工作原理 (210)
7.4.2 中低轨有源侦察卫星的默跟系统 (215)
7.4.3 星载雷达侦察设备干扰系统的组成 (217)

7.4.4 星载成像雷达干扰机参数分析……(217)
7.4.5 干扰星载合成孔径雷达干扰机的基本组成……(218)
第 8 章 雷达对抗新概念研究……(222)…
8.1 自卫干扰机兼导弹逼近告警……(222)……
8.1.1 自卫干扰机兼导弹逼近告警方案设想……(223)
8.1.2 噪声雷达的基本原理……(224)…
8.1.3 导弹逼近告警参数的分析与选择……(226)
8.2 超宽带、高重频干扰机用于干扰 L、P 波段警戒雷达……(229)
8.2.1 对超宽带、高重频干扰机的需求背景……(230)
8.2.2 超宽带干扰机的干扰方程……(233)·
8.3 不同体制雷达的干扰压制系数……(235)…
8.3.1 干扰火控雷达距离自动跟踪波门所需的
干扰压制系数……(235)……
8.3.2 对常规脉冲雷达连续噪声干扰所需的干扰压制系数·(239)
8.3.3 对新体制雷达干扰效果的分析……(239)
8.4 防空电子战系统的概念……(250)……
8.4.1 对入侵作战飞机的干扰……(251)··
8.4.2 对入侵作战飞机干扰，掩护己方歼击机攻击……(253)
8.4.3 防空电子战系统的效费比……(256)·
8.5 雷达对抗装备的发展方向……(256)……
8.5.1 向立体化综合化方向发展……(257)·
8.5.2 向小型化灵巧式和大功率方向发展……(259)
8.5.3 网络攻击战……(260)……
8.5.4 多功能一体化……(260)……

第 1 章　电子战概述

不同国家对电子战的理解和定义有所不同。原苏联称之为电子斗争；美国国防部在 1994 年给电子战下了一个更为具体的定义：电子战是一种军事行动，它包括利用电磁能来确定、削弱或阻止敌方使用电磁频谱的行动和保护己方使用电磁频谱的行动；我军总参军训部在 1995 年编辑出版的《军事高技术知识教材》中采用了“电子战”的叫法。

1.1　电子战的产生

电子战始于 1861 年至 1865 年的电报系统攻击事件。在第一次世界大战中，也偶尔出现了交战双方用无线电侦察设备侦收对方的信息和干扰对方的通信联络的情况。

侦收和窃听对方的通话属于侦察范围。干扰就是向敌方无线电设备发送噪声信号或假信号，扰乱或破坏敌方的信息，使对方的通信信息模糊，造成通信中断；或使对方信息传递错误，造成混乱。例如在 1914 年，德国巡洋舰格义班号和布瑞斯劳号，在地中海受到英舰古劳斯塔号的跟踪，英舰企图用无线电通信方式向基地报告德舰的活动情况，但是，德舰采用无线电通信干扰手段破坏了英舰对基地的通信联络，使英舰无法报告。

电子战的作战对象包括通信、导航、雷达、制导、光电、激光、电视、计算机、敌我识别、无线电引信、遥控遥测、水声设备和微波器件等。

1.2　电子战的发展

第一次世界大战后，随着磁控管的发明，出现了脉冲振荡器和定向天线。这些技术成果被科技发达国家用来研制雷达、导航设备、通信系统及干扰设备等。二战前夕，德国和英美等国除了制造新式武器准备战争外，还加紧收集对方的情报，其中有些情报来自情报部门，但也有些情报就来自侦听。

1.2.1　初见成效

在第二次世界大战中，导航和雷达已经得到较为广泛的应用。它一投入战斗就显现出了无以匹敌的威力。使人们很快认识到：如果能够有效制止对方雷达的使用，就可以在战场上处于优势。因而，雷达很快成为电子战的重要目标，并有力地推动了电子战的发展。

第二次世界大战后期，盟军首次综合运用了电子战。为了取得某一战役的胜利，盟军综合采用了通信欺骗、反雷达伪装、有源干扰和无源干扰等多种手段，使电子战进入了新的阶段。例如 1944 年的诺曼底战役，是世界战争史上规模最大的登陆战，为此双方均进行了大量的准备与铺垫。希特勒用了两年的时间，修建了自誉为“大西洋壁垒”的碉堡群。盟军投入诺曼底的总兵力约为 288 万人，飞机 13 700 架，舰艇 9 000 余艘，但盟军一直没暴露主攻方向。为此，美英方面首先使用了通信欺骗，设立假司令部，发出假电报，故意“泄密”，在加勒和布伦一带制造大规模登陆的假象，致使希特勒一直断言联军不会在诺曼底登陆，把重点兵力部署在布伦地区，而在诺曼底的守军仅有 9 万余人。

在登陆作战的准备阶段，联军用火箭、航空兵摧毁了德军 80% 以上的雷达，对残存的雷达又施放干扰进行压制，使德军无法查清联军的集结情况。另外，联军对德军建立的干扰站进行了多次集中

空袭，将其全部摧毁，保证联军的雷达和通信能够正常工作。

战役发起前夜，英美联军又巧妙地运用了无源干扰，他们一方面在佯攻的布伦方向放出一群群角反射体，并系有敷金属气球的小船；另一方面用飞机、舰炮和火箭向小船上空发射偶极子反射体，造成有大批护航机掩护大型军舰登陆的假象。此外，在附近海岸投放人体模型和偶极子反射体模拟的假伞兵，还以小批装载干扰发射机和敷金属条的飞机模拟飞向德军的大规模轰炸机群。这样的干扰时间持续数小时，使德军产生了错觉，调动大量海空军向布伦方向支援。

由于英美联军采取了多种电子战的综合措施，成功地把德军主力引向布伦地区，使得在诺曼底的登陆得以胜利进行。参加登陆的 2 127 艘舰艇，只有 6 艘被德军击沉。

第二次世界大战以后，虽然没有出现新的世界大战，但是局部战争不断，如朝鲜战争、越南战争、几次中东战争和马岛战争等，把军用电子设备的发展推向新高潮，使各种平台的军事电子设备发展得更加完善，雷达装备开发了许多新体制，抗干扰能力更强，通信设备、导航设备及精密制导武器也取得了飞速发展。电子战的威力在局部战争中显示得更加充分，例如在越南战争中，地对空导弹的命中概率，在没有干扰时平均为 14%，有干扰时平均为 1.4%。

从 1991 年的海湾战争到现在，电子战向立体化、综合化和数字化等更高层次发展，例如，警戒雷达最初是架在山头上；在越战中把它装在飞机上，成为预警飞机；随后把它装在卫星上，成为卫星侦察设备。从地面到机载和星载，这就是向立体化发展。在同一个平台上，用于瞄准的设备有光学、激光、红外和雷达，这是向综合化发展。

在某一地区或空域，要想达到现代化防空目的仅靠一部雷达是不行的，必须用多个频段、多种体制的雷达进行组网，才能收到较好的效果，这就迫使干扰机也必须变换频段、多种类地组网，用体系对体系的方式对付各种组网系统。

从电子战的发展过程我们可以归纳出电子战设备设计指导思想的“十六字”准则，那就是“敌有我有，敌变我变，攻防齐备，高敌一筹”。

这里所说的“敌有我有”是指敌人有了什么样的先进电子设备，我们就应有针对性较强的对应干扰设备和对抗措施。“敌变我变”是指敌人把雷达装上了飞机，称预警飞机，我们也必须改变我们的干扰设备，要研制针对预警飞机的干扰设备。“攻防齐备”是指交战双方有进攻，有防御，有进攻中的防御和防御中的进攻；我们研制的对抗系统，在进攻中能掩护我方突防，少受损失；在防御中对来袭的目标能进行干扰和毁伤，使其先进的电子设备不能发挥应有的作用，从而达到使自己少受损失的目的。“高敌一筹”是指在电子对抗措施的千变万化中，要高出敌方一招，最后制服对方。

1.2.2　电子战的兵力倍增器作用

在越南战争初期，美军对越南北方实施了大规模轰炸，其机群遭到了越南高炮和地空导弹的猛烈射击。这些防空武器都由雷达控制，其命中率很高。苏制萨姆－2 导弹每两发就能击落美机一架，因此战争初期美机损失惨重。

美机在轰炸中吃了亏以后，很快就在飞机上安装了雷达告警接收机和干扰机，并在一些飞机上加装了干扰吊舱。采用这些对抗措施后，越南由平均两发导弹击落一架飞机变成平均 80 发导弹击落一架飞机。

针对上述情况，越军在实战中摸索出一些行之有效的措施，发射欺骗性的电磁波，诱骗美机告警系统发出虚警，有时骗得美机惊慌失措，匆匆扔下炸弹就逃。1968 年以后，美方对电子战设备做了许多改进，越方相应地也采取了进一步的电子战措施。在越战末期，美机进行了大规模的轰炸，12 天内共出动了飞机 4000 多架次，进行地毯式的轰炸；越南发射了萨姆—2 导弹 1000 多发，击落美

机 26 架，其中 B—52 战略轰炸机 15 架。

越南战争的战例表明，美机上没有使用干扰设备时，平均两发导弹击落一架飞机；在飞机上安装电子战设备后，越方的地对空导弹命中率降低到 1.25%；后来越方采用对抗措施后，其命中率又变为 2.6%。这表明，电子战设备是飞机的保护神，也是兵力的倍增器。

1.2.3　电子战的侦察、干扰一体化

在 1967 年第三次中东战争前，以色列通过电子侦察掌握了阿拉伯国家的军事实力、空军部署和防空导弹及雷达配置。战争一开始，以色列动用了 24 架幻影—3 飞机，以超低空飞行潜入埃及雷达盲区，然后在尼罗河三角洲北部突然出现，在埃及机场上空，同时对埃及无线电通信和雷达设备施放压制式干扰，使埃及通信中断，指挥失控，20 个防空导弹连的制导雷达不能正常工作，经过几次攻击后，几乎将所有埃及机场的飞机及导弹防空阵地摧毁。

1.2.4　电子战的隐蔽性与突然性

在 1973 年第四次中东战争中，埃及不仅装备了连续波体制的萨姆—6 导弹，还装备了采用反对抗措施的红外制导体制萨姆—7 导弹，该导弹在红外制导系统中加有滤光镜，可区分飞机和曳光弹的红外光谱，使曳光弹不起作用。此外，埃及地面炮瞄雷达也采用了超出以色列电子侦察和干扰频段范围的新频段。而战前，以色列和美国不仅没有装备对萨姆导弹的侦察和干扰设备，也没有侦察到埃及的这些新情况，缺少对这些新频段的有效对抗措施。因此，在战争开始的一周内，以色列的飞机被击落 78 架，坦克被击毁 500 多辆，使埃及的坦克突破了以色列的巴列夫防线，取得了第四次中

东战争的初期胜利。经过卫星侦察，以色列发现埃及前沿阵地一个结合部有薄弱环节，便组织了突击队，渡过运河，抢回萨姆—6 导弹，经解剖分析，查明了萨姆—6 的制导性能，而后配制了 ALE—38 和 ALQ—99 型干扰机，施放强干扰，并在战区投放大量干扰物，形成空中电子屏障，掩护以色列飞机，使埃及的导弹失灵，扭转了战场的被动局面，致使第四次中东战争以以色列胜利而告终。

1.2.5　电子战的综合应用

1982 年，以色列在贝卡谷地上空发动了一场大规模的空战，即贝卡谷地战役（如图 1-1 所示）。

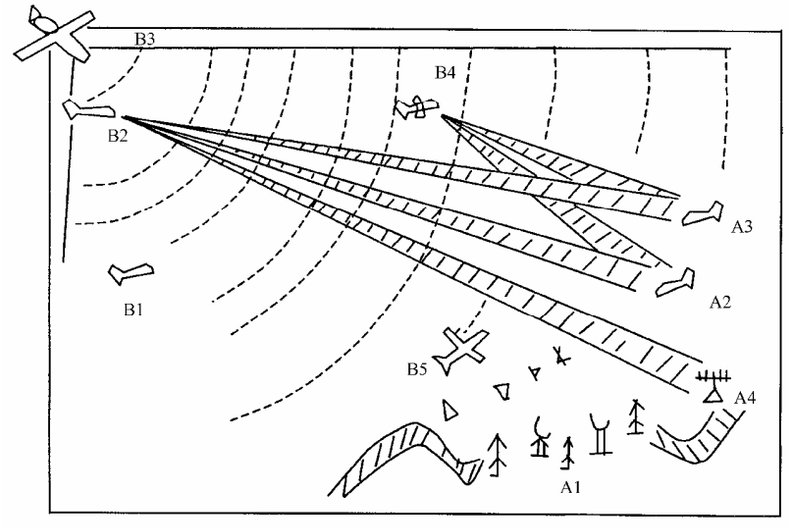


图 1-1　以军袭击贝卡谷地导弹阵地示意图

图 1-1 中 A1 为叙利亚导弹阵地群，A2 和 A3 为叙利亚战斗机，A4 为叙利亚警戒雷达；B1 为以色列 F—4G 战斗机，B2 为以色列