

# 反辐射导弹 防御技术导论

司锡才 著



哈尔滨工程大学出版社

# 反辐射导弹防御技术导论

司锡才 著



哈尔滨工程大学出版社



## 内容简介

本书简介了反辐射导弹 (Anti-Radiation-Missile-ARM)的发展与现状,分析了 ARM 的特点与局限性。比较详细地论述了电子干扰与主动进攻的各种 ARM 防御技术。论述了原理,推导了计算公式,分析了防御效果。

对电子干扰防御 ARM,重点论述了诱饵诱骗、低截获概率 (LPI) 雷达、雷达组网、双基地雷达与分置雷达、低空连续波分置雷达等防御技术,并对米波雷达、毫米波雷达防御 ARM 进行了论述;对主动进攻防御 ARM,重点论述了激光武器、电磁导轨炮、核电磁脉冲导弹拦截摧毁 ARM,并对粒子束武器、高功率射束武器、火炮方阵拦截手段进行了叙述。指出主动进攻防御 ARM 是积极、有效的防御措施。

本书可作为高等院校电子战学科领域的教学参考书;也可供从事电子战方面的人员参考。

### 反辐射导弹防御技术导论

司锡才 著

责任编辑 李英

\*

哈尔滨工程大学出版社出版发行

哈尔滨工业大学印刷厂印刷

\*

开本 787mm×1092mm 1/32 印张 8.25 插页 1 字数 179 千字

1997年4月第1版 1997年4月第1次印刷

印数 1~1000 册

ISBN 7-81007-784-8

TN·13 定价: 18.00元

# 目 录

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 引言 .....                              | 1   |
| 第 1 章 反辐射导弹 .....                     | 5   |
| 1.1 反辐射导弹的发展与现状 .....                 | 5   |
| 1.1.1 防空武器系统的发展必然促使 ARM 的产<br>生 ..... | 5   |
| 1.1.2 ARM 的产生 .....                   | 6   |
| 1.1.3 ARM 的发展过程与现状 .....              | 7   |
| 1.2 反辐射导弹在战争中的作用 .....                | 9   |
| 1.2.1 ARM 在战斗中的作用 .....               | 9   |
| 1.2.2 ARM 战斗使用方式 .....                | 10  |
| 1.2.3 ARM 的战例 .....                   | 14  |
| 1.3 反辐射导弹的基本工作原理 .....                | 17  |
| 1.3.1 武器系统 .....                      | 18  |
| 1.3.2 ARM 的组成及其功能 .....               | 20  |
| 1.4 反辐射导弹的特点和局限性 .....                | 24  |
| 1.4.1 ARM 的特点 .....                   | 24  |
| 1.4.2 ARM 的局限性 .....                  | 26  |
| 第 2 章 电子干扰的方法防御反辐射导弹 .....            | 31  |
| 2.1 反辐射导弹防御概述 .....                   | 31  |
| 2.1.1 电子干扰的方法防御 ARM .....             | 31  |
| 2.1.2 主动攻击 ARM .....                  | 37  |
| 2.2 两点源诱偏(骗)ARM .....                 | 40  |
| 2.2.1 非相干两点源诱偏 .....                  | 40  |
| 2.2.2 相干两点源防御 ARM .....               | 79  |
| 2.3 雷达网防御 ARM .....                   | 118 |

|       |                                       |     |
|-------|---------------------------------------|-----|
| 2.3.1 | 多点干扰源干扰原理 .....                       | 118 |
| 2.3.2 | 搜索雷达网防御 ARM .....                     | 127 |
| 2.3.3 | C <sup>3</sup> I 防空体系雷达组网防御 ARM ..... | 133 |
| 2.4   | 双(多)基地雷达与分置式雷达防御 ARM .....            | 134 |
| 2.4.1 | 双基地雷达防御 ARM .....                     | 134 |
| 2.4.2 | 分置式雷达防御 ARM .....                     | 141 |
| 2.5   | 低截获概率(LPI)雷达防御 ARM .....              | 142 |
| 2.5.1 | LPI 雷达 .....                          | 142 |
| 2.5.2 | 低截获概率(LPI)雷达防御 ARM 原理 ...             | 147 |
| 2.6   | 收发分置单站连续波雷达防御 ARM .....               | 148 |
| 2.6.1 | 收发分置可保存自身生存 .....                     | 149 |
| 2.6.2 | 采用连续波防御 ARM .....                     | 150 |
| 2.7   | 发展米波雷达和毫米波雷达避免 ARM 的攻<br>击 .....      | 152 |
| 2.7.1 | 注重发展米波雷达 .....                        | 152 |
| 2.7.2 | 发展毫米波雷达 .....                         | 153 |
| 2.8   | 综合运用各种防御 ARM 技术措施 .....               | 154 |
| 2.8.1 | 第一层次 雷达隐蔽技术 .....                     | 154 |
| 2.8.2 | 第二层次 诱饵引偏技术 .....                     | 157 |
| 2.8.3 | 第三层次 硬杀伤武器拦截 ARM .....                | 158 |
| 2.8.4 | 对抗 ARM 系统应具有抗多批次 ARM 的功<br>能 .....    | 159 |
| 第 3 章 | 用硬杀伤武器拦截摧毁 ARM .....                  | 160 |
| 3.1   | ARM 告警 .....                          | 160 |
| 3.1.1 | ARM 雷达回波信息特征 .....                    | 160 |
| 3.1.2 | 雷达告警 .....                            | 163 |
| 3.1.3 | 红外、电视告警体制 .....                       | 177 |



|       |                               |     |
|-------|-------------------------------|-----|
| 3.2   | 激光武器拦截摧毁或杀伤 ARM .....         | 177 |
| 3.2.1 | 高能激光武器的破坏力 .....              | 178 |
| 3.2.2 | 使用激光防空武器的优点 .....             | 185 |
| 3.2.3 | 激光致盲武器 .....                  | 189 |
| 3.2.4 | 国外激光武器举例 .....                | 190 |
| 3.2.5 | 激光武器拦截 ARM .....              | 215 |
| 3.3   | 电磁导轨炮拦截 ARM .....             | 215 |
| 3.3.1 | 电磁导轨炮的组成和原理 .....             | 215 |
| 3.3.2 | 导轨炮的关键技术和解决的技术途径 ...          | 218 |
| 3.3.3 | 电磁导轨炮和激光武器的比较 .....           | 226 |
| 3.4   | 核脉冲弹拦截 ARM .....              | 229 |
| 3.4.1 | 核电磁脉冲(NEMP)产生的机理和特<br>征 ..... | 229 |
| 3.4.2 | NEMP 的破坏效应 .....              | 236 |
| 3.4.3 | 发展核脉冲弹防御 ARM .....            | 240 |
| 3.5   | 粒子束武器防御 ARM .....             | 241 |
| 3.6   | 微波射束武器防御 ARM .....            | 242 |
| 3.6.1 | 高能微波射束对电子设备的影响 .....          | 242 |
| 3.6.2 | 高能微波对人体的影响 .....              | 244 |
| 3.6.3 | 高功率微波射束武器发展的技术背景 ...          | 244 |
| 3.6.4 | 高功率微波源的进展 .....               | 246 |
| 3.6.5 | 高功率微波射束武器在电子战中的作<br>用 .....   | 247 |
| 3.7   | 火炮密集阵拦截 ARM .....             | 252 |
|       | 结束语 .....                     | 253 |
|       | 参考文献 .....                    | 254 |

## 引言

根据现代电子战技术的发展和近代局部战争特别是海湾战争，作战的实践，美国参谋会议作战部于 1992 年 3 月召开了电子战专家讨论会，对传统的电子战概念进行了修正，提出了电子战的新定义。电子战新、旧定义的内涵如图 0-1 所示，即电子战概念的发展图。

随着科学技术的发展，从作战思想、使用兵器到作战方法都会发生变化，电子战的定义也必然发生变化。在 1990 年，美国参谋长联席会议就曾作出决议，用政策备忘录 6 替代政策备忘录 95，在政策备忘录 6 中对电子战的定义进行了扩展。新定义在阻止敌方使用电磁频谱上，除传统的干扰手段外，增加了破坏和摧毁，即所谓的“硬杀伤”。1992 年 3 月，美国防部参谋长联系会议 (JCS) 作出决议再次对电子战定义进行修订。这次电子战的新定义是 (如图 0-1): “利用电磁能和定向能以控制电磁频谱或攻击敌人的任何军事行动”。新定义中明确的提出反辐射导弹是电子进攻的重要措施之一。这足以说明了反辐射导弹是电子战中重要的电子进攻武器。

ARM 是其导引头以敌方电磁设备——雷达 (或其他电磁频谱辐射源) 辐射的电磁波信号为制导信息，截获跟踪并导引导弹直至命中雷达。ARM 是专门对付雷达的导弹。ARM 自 1965 年美国首次在越南战场上使用以来，至今已经历过多次局部战争，都取得了显著的战果，特别是在海湾



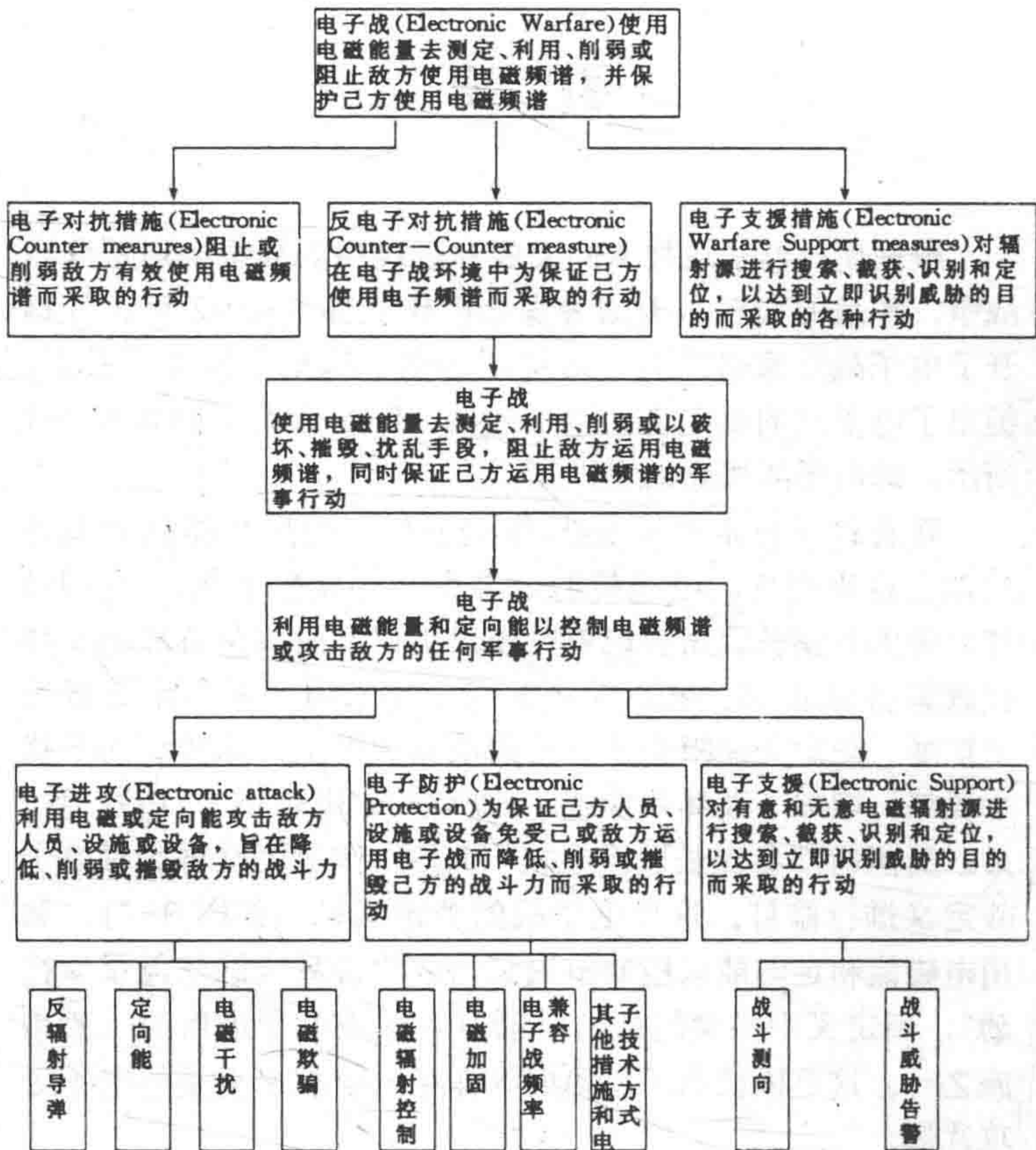


图 0-1 美国电子战概念发展框图



战争中，美军使用反辐射导弹摧毁了伊拉克的雷达站，压制了伊方的防空系统，保证了多国部队大规模空袭的顺利进行。因而更加引起人们的重视。可以预料，未来的局部战争中，反辐射导弹必将发挥更大的威力。因此各国军事家公认：反辐射导弹（ARM）是雷达的“克星”。所以，世界各国都很重视“雷达防御 ARM 技术的发展”。在海湾战争中（沙漠风暴），ARM 所起到的重大作用增加了美国对反辐射导弹诱饵的兴趣。美国如果与更强大的敌人作战，陆、海、空军已部署的雷达系统会遇到大量反辐射导弹的攻击，而 1991 年以来，陆、海、空军已部署的雷达系统只有少数有自卫能力。美国统计局在 1989 年的一项报告中，批评国防部在保护许多武器系统关键设备的雷达，免遭反辐射导弹威胁方面所取得的进展太慢。报告指出，在已部署的 15 种依靠雷达进行探测和跟踪的武器系统中，仅有三种正在研制对抗反辐射导弹的设备。

这三种反辐射导弹的诱饵系统的承包商是 ITT 杰弗兰公司。美国空军电子系统处已选定它，并在 1990 年 7 月与该公司签订了 1160 万美元的合同，研制两套反辐射导弹诱饵系统的样机。该诱饵已于 1991 年 6 月确定了生产设计，1992 年 9 月交付生产系统。1993 年国民警卫队会议确定 1993 年财年把典型反辐射导弹诱饵系统作为他们第三个大量采购的内容。美国的陆军和海军也对 ITT 公司的 ARM 诱饵系统很感兴趣。他们把 ITT 公司诱饵系统做为基础，然后加以改进，以适应他们的要求——称为 ARM-D。ARM-D 是一种小型雷达发射机，在战场上对付依靠雷达辐射信号制导的反辐射导弹。

众所周知，美国的雷达技术是比较先进的尚且对雷达防御 ARM 如此重视，据多方面报道，“爱国者”地空导弹武器

系统中的“雷达”就配置诱饵防御 ARM。英国、法国、俄罗斯等国都很重视这方面，其雷达也配置了诱饵等雷达防御 ARM 的系统。

由以上的事实说明雷达防御 ARM，已成为电子战中的重要部分。



# 第 1 章 反辐射导弹 (Anti-Radiation-Missile—ARM)

ARM 是由其导引头截获跟踪目标雷达（或其它电磁波辐射源）的信号并导引导弹直至命中摧毁目标雷达或其它电磁波辐射源的电子战硬杀伤武器。在历次战争中都取得了显著的效果，已成为雷达的“克星”。雷达要生存，要发挥它在战争中的作用，就必须防御 ARM。要防御 ARM，首先应对 ARM 有所了解，故我们先介绍一下有关 ARM 的情况。

## 1.1 反辐射导弹的发展与现状

### 1.1.1 防空武器系统的发展必然促使 ARM 的产生

自 40 年代初发展地空导弹武器系统至今已有 50 多年的历史了。二次世界大战后，美国和原苏联都从战败德国手中获得了地空导弹的设计资料、实物和人员，并依此为基础开始了各自的研制工作。相继英国、法国、联邦德国、意大利、瑞士、瑞典等国，也开始这方面的研究研制工作。

目前正使用的地空导弹有 60 多种，舰空导弹也有 50 多种。美、俄、英三国已完成了空域上比较完整的防空导弹体系。既可以进行国土和要地防空，又可以进行野战防空和完成海上的点、面防御。防空体系可谓“水泄不通”，给空袭造成巨大的威胁，战斗难以向纵深发展。

实践证明，防空体系的作战效果取决于武器系统中“雷达”的性能。现代防空火力网中，无论是导弹还是高炮都离不开雷达，雷达是系统中的“中枢”，是火力网的“眼睛”。雷达担负着对空警戒、搜索发现目标，测试并提供目标参数数据，制导导弹或指挥火炮攻击目标的任务。因此，任何防空武器系统，一旦雷达失去作用，系统得不到任何目标数据，防空火力就失去威力。

因此，破坏防空系统，只要摧毁系统中的雷达便可奏效。破坏雷达有两种手段，一种是使用电子干扰，称为“软”手段；另一种就是用 ARM 摧毁雷达，称为“硬杀伤”，它可以在一次战争中“永久”性的摧毁雷达。ARM 是压制防空系统的最有效的武器。它可以摧毁所谓“水泄不通”的防空体系。所以防空武器的发展，必然导致有效对抗武器——ARM 的产生。

### 1.1.2 ARM 的产生

早在 50 年代，美国就开始研制“乌鸦座”反辐射导弹，但性能很差，很快就停止了研制。

60 年代初，“古巴危机”中，美国为对付原苏联设置在古巴的地对空导弹，急需一种专门攻击地对空导弹制导雷达的武器。1961 年 7 月开始研制“百舌鸟”反辐射导弹。它是在“麻雀 III”空空导弹基础上改进而成。主要是把制导方式由半主动雷达跟踪改成被动雷达寻的；链条式战斗部改为破片杀伤战斗部；液压轮机改为燃气轮机；半主动式无线电引信和压电引信改为被动式无线电引信，尾翼由三角形改为缺三角。1963 年初研制成功，随后立即投入生产，1965 年首次用于越南战场。



### 1.1.3 ARM 的发展过程与现状

自 1961 年开始研制 ARM 至今已有 35 年之久，在这个时期世界上先后研制了 30 多种型号的 ARM，而且大多数已装备部队（见表 1-1）。不少型号已用于现代的局部战争中，发挥了巨大的威力。

ARM 已由第一代发展到第三代。第一代以美国 60 年代的“百舌鸟”ARM 为代表。由于导引头的覆盖频域窄（由 14 种头覆盖整个频段），灵敏度低，测角精度低，命中率低，可靠性差，而且只能对付特定的目标雷达。因此已被淘汰。第二代，70 年代装备部队。以美国的“标准”和原苏联的“AS-6”（鲑鱼）为代表。虽然第二代克服了第一代的主要缺点，具有较宽的覆盖频域，较高的灵敏度，射程比较远，而且有一定的记忆功能，即有一定的抗雷达关机的能力，并且可以攻击多种地（舰）面防空雷达，但结构十分复杂、体积大、比较重。因此，只能装备大型机种，而且单个飞机装备数受到限制。70 年代末停止生产。第三代，80 年代装备部队。第三代，基本上可分三大类：

第一类，中近程的 ARM，以美国的“哈姆”（HARM），英国的“阿拉姆”（ALARM）为代表，其特点是：

(1) 装有新型超宽频带导引头 其覆盖频域可达 0.5~20GHz，包含了迄今 95% 以上的防空雷达的工作频段。

(2) 导引头的灵敏度比较高 对脉冲信号-70dBmW；对连续波信号-90dBmW，而且具有大动态范围和快速（或瞬时）自动增益控制（AGC）。因此使 ARM 可攻击多种雷达和从多种方向进行攻击。既不但可以攻击波束相对稳定的

导弹制导或炮瞄雷达，而且又可攻击波束环扫或扇扫的警戒雷达或引导雷达；既能攻击脉冲信号雷达，又能攻击连续波雷达；既能从雷达的主波束进行攻击，又能从雷达的背瓣、旁瓣进行攻击。

(3) 导引头分选选择目标能力强 导引头内设置信号分选与选择装置，它采用门阵列，相关联比较器和高速处理器及相应的算法软件，实现了在复杂电磁环境中的实时信号预分选、分选与单一目标的选择。

(4) 采用微机控制 在导弹上装有威胁雷达的数据库和弹道控制软件。因此，具有自主截获跟踪目标的能力和自主控制的能力。一旦在战斗中发现有新的雷达目标出现，只需修改软件就可适应。弹道控制软件与相应的控制、接口电路，可实现导弹或载机不必对准目标就可以发射导弹去攻击各方向上的目标，即是发射角大到  $180^\circ$  靠导引头转动  $180^\circ$  而自动跟踪上目标。

还实现了自卫、随机、预编程三种工作方式。大幅度地提高了 ARM 的攻击能力和发射载机本身的生存能力。

(5) 采用无烟火箭发动机 减小了导弹的红外特征，不易遭受红外制导型地空和空空导弹的拦截。

(6) 高弹速 ARM 的速度达到 3M 甚至 4M，增强了突防能力。

(7) 采用复合制导 采用被动雷达寻的与惯性导航复合制导或被动雷达寻的复合红外或激光制导，提高跟踪精度，和提高命中率及抗干扰能力。

第二类，远程 ARM，以俄罗斯的“AS-12”为代表。它的突出特点是：

(1) 高灵敏度 在  $-90\text{dBmW}$  以上，因此作用距离远，



对付象“爱国者”一类的雷达，其作用距离在 150km 以上。

(2) 高测角精度 可以做到  $0.5^\circ / \sigma$  以内，因而命中率高。

(3) 采用冲压式发动机 导弹速度高，作用距离远。与第一类相比，突出的特点是作用距离远，命中率高，针对性很强。不足之处是频带比较窄，只有 1 个倍频程，用多个弹头（被动雷达导引头）覆盖整个频域。其他方面与第一类相类似。

第三类，无人驾驶反辐射飞行器以美国的“默虹”、“勇敢 200”为代表。它是中近程 ARM 的补充，从发展趋势看，它可以与中近程 ARM 并驾齐驱，互为补充。它的特点，除弹速不及近程 ARM 或远程 ARM 外，其他性能基本与近程 ARM 相近。

## 1.2 反辐射导弹在战争中的作用

ARM 在战争中的主要作用就是压制防空，取得制空权，具体说就是摧毁地空导弹（或高炮）武器系统中的雷达，使防空武器失灵，为发挥己的空中优势扫平道路。

### 1.2.1 ARM 在战斗中的作用

1.2.1.1 清理突防走廊 实战时防空（地空）导弹采取多层次的纵深梯次配置，可首先用 ARM 摧毁各层次防空体系中的雷达，使防空体系失去攻击能力，为攻击机扫清空中通道，开辟一条空中走廊。

1.2.1.2 压制防空 地空导弹（或高炮）对飞机威胁最大，首先用 ARM 摧毁敌方防空武器系统中的雷达，使敌

方失去防空能力，从而发挥己方后续空中优势。

1.2.1.3 空中自卫 攻击性的飞机携带 ARM，用来攻击摧毁威胁武器系统中的雷达，使之失去攻击能力，以达到自卫的目的。

1.2.1.4 为突防飞机指示目标 攻击机装载带有烟雾战斗部的 ARM，首先将这种 ARM 射向雷达阵地，攻击机根据爆炸的烟雾进行攻击。

## 1.2.2 ARM 战斗使用方式

战略情报侦察是 ARM 战斗使用的基础，只有对敌方的雷达及作战战场配置的雷达的技术参数弄清楚，并编制于 ARM 计算机的数据库中，就能实现 ARM 的智能化战斗使用方式。这里只叙述战斗使用方式，略去侦察过程。

### 1.2.2.1 目标雷达信号参数的获取

(1)预先编程 载机起飞前，借助于便携式程序装置(数据库)将优先攻击的目标类型和优先的攻击方式存入导弹存储器中，必要时也可以在飞行中改变。

(2)机载侦察系统引导 载机上必须备有高精度机载探测系统。例如美国正在使用的 ARM 专用飞机 F-4G“野鼬鼠”飞机所装用的 AN/AFR-38，它可以精测目标雷达的方位角和俯仰角、载频、脉宽、重频等参数。并可以判断威胁等级，选定要攻击的目标。通过导弹控制板调定导引头所要截获跟踪的目标雷达。

1.2.2.2 远程预警机侦察 利用远程预警机(如美国的 E-2C)上的侦察系统，在远离敌方防空导弹阵地的空中，侦察目标的位置和性能参数，判别威胁程度，并把数据传送给 ARM 的载机，由载机上的接收系统调定 ARM 的导引头所



要截获跟踪的目标。

1.2.2.3 ARM 攻击目标的方式 测定目标雷达的位置及性能参数后，将其装订到 ARM 的导引头中，并引导导弹发射。其攻击的方式基本上有两种：

(1)中、高空攻击方式 载机在中、高空平直或小机动飞行，以自身为诱饵，故意使敌方雷达照射跟踪，以造成发射 ARM 的有利条件。发射后载机仍按原航线继续飞行一段，以便使导弹导引头稳定可靠的跟踪目标雷达。显然这种方式命中率相当高，但是载机被击落的危险性也相当大。因此，目前多采用计算机控制实现发射后不管的功能，即不再采用沿原航线继续飞行一段的措施，而是发射后载机脱离原航线机动飞离现场。

这种方式称为直接瞄准式，如图 1-1 所示。

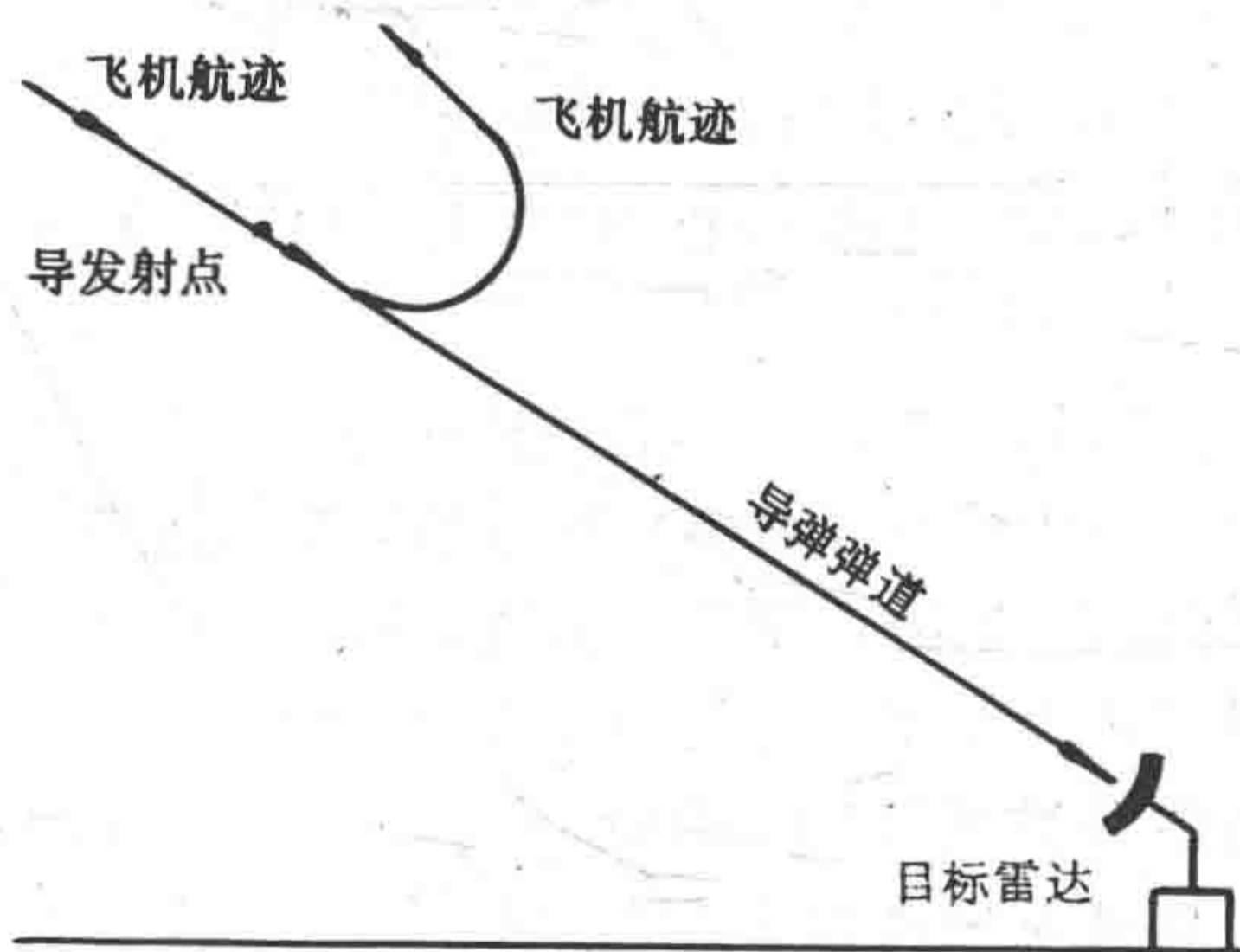


图 1-1 直接瞄准攻击方式

(2)低空攻击方式 载机远在目标雷达作用距离之外，