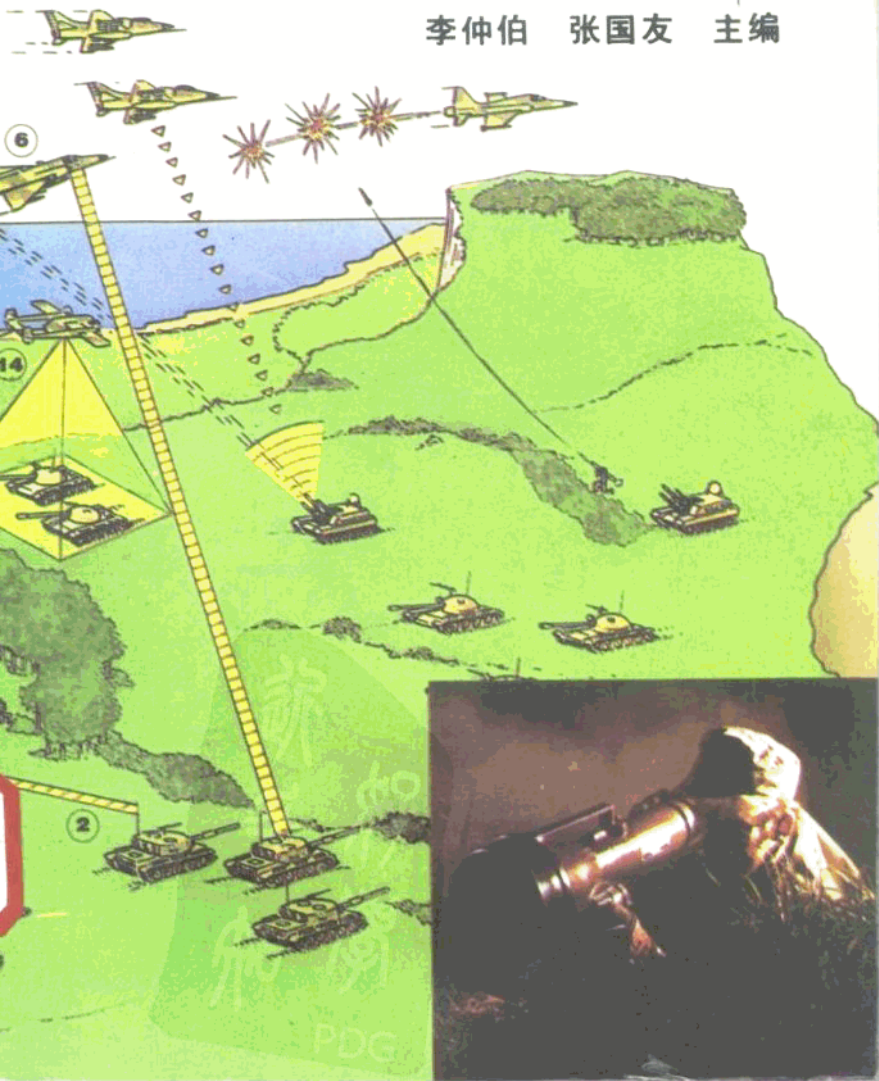


# 制导武器

李仲伯 张国友 主编



## 序

精确制导武器在海湾战争中发挥的作用使人们对制导武器产生了浓厚的兴趣，很多人强烈地希望了解制导武器。

李仲伯和张国友主编的《制导武器》一书力图满足人们的这一愿望。

本书不仅从理论上、实践上对制导武器的基本组成——它的推进系统、制导系统、控制系统、弹体、电源、弹头以及制导武器使用的仪器仪表和传感器系统等等都做了详尽的描述，而且对于与制导武器有密切关系的目标跟踪、电子对抗、反电子对抗等等也做了深入浅出的介绍；它不仅阐述了制导武器的现状，而且还阐述了制导武器的未来；不仅指出了制导武器的威力，而且也指出了制导武器受到的威胁以及制导武器对威胁的对抗。总之，这是一本力图较为全面而系统地论述制导武器的新著。

这本书，具有如下四个显著的特点：

(一) 它给制导和控制下了明确的定义，阐明了制导和控制的紧密联系以及它们实际存在的区别。从分析制导武器的飞行轨道入手，深入浅出地论述了为保证制导武器的理想飞行轨道所必须采取的制导和控制方法，进而对制导和控制方法进行了科学的分类和阐述。它将目标跟踪作为制导的一个重要环节，单独地分章进行论述，层次分明、叙述清楚，使全书结构形成体系，具有一定的学术价值。

(二) 它对制导武器使用的重要仪表，如陀螺仪、加速度

表、高度表等以及制导武器使用的重要的系统，如微波雷达、毫米波雷达、激光雷达、电子光学系统等分别进行了阐述，加深了我们对制导和控制的理 解，使我们对制导武器有一个全面的了解和认识，满足了读者的愿望。

(三) 日益发展的电子战技术正对制导武器构成威胁，本书以整章的篇幅论述电子战技术和电子战对制导武器构成的威胁以及制导武器对这种威胁的对抗，并且提出“夺取电磁频谱的控制权，为制导武器创造自由活动的天地”，反映了当今制导武器的一个重要发展方向。

(四) 动能拦截弹是美国人在《“星球大战”计划》中发展起来的一种新的高精度制导武器，它要求实现直接碰撞拦截，是制导武器的主要发展方向之一。本书的后一部分选择了动能拦截弹的制导与控制系统进行分析和讨论，通过对这种十分典型的制导与控制系统进行分析，不但加深了我们对精确制导和控制的 认识 和了解，而且提出了若干具有一定创造性的独特见解，可以启迪和开拓工程技术人员的思路。

本书的最后一章讨论了制导武器的发展问题，提出了发展制导武器的十项原则，讨论了多传感器跟踪、神经网络系统、集成的多功能惯性系统，这对于发展战略的决策是很有参考价值的。

陈定昌

1992年12月29日

# 前 言

《制导武器》一书是我们业余学习、研究之拙作。力图比较全面、系统地介绍制导武器。它对制导武器的基本理论、各种制导与控制方法，作了深入浅出的论述。

过去，人们常常把制导与控制结合在一起进行叙述，似乎制导与控制是一回事，本书则对制导与控制作了明确的定义，阐明了它们的联系和区别，并以大量的篇幅分别进行了阐述。

此外，本书在深入论述制导与控制的同时，简要地对制导与控制使用的仪器仪表（陀螺仪、加速度表、高度表）和传感器系统（微波雷达、毫米波雷达、激光雷达、红外传感器等）进行了介绍，使我们对如何实现制导与控制有更清楚的认识与了解。

本书的后一部分还详尽地讨论了动能拦截弹的制导与控制，动能拦截弹是美国“星球大战计划”中研究发展的实现直接碰撞的新型制导武器，它的制导与控制十分典型，通过对它的讨论，更加深了对制导与控制的认识。

本书的最后则着重讨论了发展制导武器的若干问题，提出了发展制导武器的十项原则，并对十项原则作了阐述，讨论了值得注意的“多传感器跟踪”、“神经网络”以及“集成的多功能惯性系统”三个发展趋势。

全书共分十三章：第1章，绪论；第2章，制导武器的基本组成及工作原理；第3章，制导；第4章，控制；第5章，推进系统；第6章，电源；第7章，目标跟踪；第8章，电子

战技术在制导武器中的应用；第9章，制导武器使用的仪器仪表；第10章，动能拦截弹；第11章，动能拦截弹的制导与控制；第12章，末制导导引头；第13章，关于制导武器的讨论。

全书除第5、6章由林聪榕编写，第8、9章由钟华编写外，其余九章均由李仲伯和张国友合作编写，并负责全书的统稿及审校工作，担任主编。

编撰本书过程中曾得到制导控制系统专家、航空航天部二院院长陈定昌教授的指导和帮助，并亲自作序，特致诚挚的谢意。

作者

# 目 录

## 序 前 言

### 1 绪论

- 1.1 制导武器的定义..... ( 3 )
- 1.2 制导武器的产生与发展..... ( 6 )
- 1.3 制导武器的分类..... ( 8 )
- 1.4 灵巧制导武器..... (19)
- 1.4.1 关于灵巧制导武器的定义 ..... (20)
- 1.4.2 灵巧制导武器的发展 ..... (21)
- 1.4.3 灵巧制导武器发展的两大类型 ..... (22)
- 1.5 制导武器的发展趋势——智能武器..... (24)
- 1.5.1 关于智能武器的定义 ..... (25)
- 1.5.2 智能武器的典型代表——BP拦截弹..... (25)
- 1.5.3 关于BP拦截弹的制导问题的讨论..... (26)
- 1.6 制导武器的战术性能和发展制导武器的原则..... (27)
- 1.7 从海湾战争看制导武器对未来战争的影响..... (29)

### 2 制导武器的组成及基本原理

- 2.1 制导武器的特殊工作环境..... (32)
- 2.1.1 地球大气环境(自然环境)..... (32)
- 2.1.2 特殊环境(作战环境)..... (39)
- 2.2 制导武器的组成及其基本原理..... (42)
- 2.2.1 运载工具 ..... (43)
- 2.2.2 制导与控制系统 ..... (51)

2.2.3 弹头 (战斗部) .....	(55)
2.2.4 弹体 .....	(58)
2.3 弹头的特殊工作环境 .....	(59)
2.4 目标信息的获取和处理 .....	(61)
2.5 制导武器的效能判据 .....	(63)

### 3 制导

3.1 制导的重要性 .....	(65)
3.2 制导的定义 .....	(65)
3.3 闭环系统 .....	(66)
3.4 制导武器的理想飞行路线 .....	(70)
3.4.1 比例导航轨道 .....	(70)
3.4.2 直线轨道 .....	(72)
3.4.3 瞄准线轨道 .....	(72)
3.4.4 巡航轨道 .....	(73)
3.4.5 弹道式轨道 .....	(73)
3.4.6 对比和说明 .....	(74)
3.5 自寻的制导 .....	(76)
3.5.1 目标的能量辐射与被动式寻的 .....	(77)
3.5.2 目标的能量反射与主动/半主动式自寻的制导 .....	(81)
3.6 瞄准线制导 .....	(83)
3.6.1 波束制导 .....	(83)
3.6.2 瞄准线指令制导 .....	(85)
3.6.3 非瞄准线指令制导 .....	(88)
3.7 导航制导 .....	(90)
3.7.1 惯性制导 .....	(90)
3.7.2 其它形式的导航制导 .....	(97)
3.8 结束语 .....	(101)

### 4 控制

4.1 控制方法分析 .....	(106)
------------------	-------

4.2 空气动力控制	(110)
4.2.1 静稳定性	(110)
4.2.2 空气动力侧向控制	(112)
4.2.3 横滚控制	(117)
4.3 空气动力卡特逊控制与极坐标控制的比较	(118)
4.4 推力矢量控制	(120)
4.5 推力矢量控制方法	(123)
4.5.1 换向发动机	(124)
4.5.2 活动喷嘴	(125)
4.5.3 干涉法	(127)
4.5.4 喷射法	(128)
4.6 控制方法小结	(129)
4.7 自动驾驶仪	(131)
4.7.1 侧向自动驾驶仪	(133)
4.7.2 横滚自动驾驶仪	(138)
4.7.3 特殊用途的自动驾驶仪	(142)
4.8 自动驾驶仪小结	(151)

## 5 推进系统

5.1 推进的基本原理	(153)
5.2 推进系统的组成、要求和分类	(155)
5.3 推进性能的一般论述及推进效率	(162)
5.3.1 推进性能的一般论述	(162)
5.3.2 推进效率	(165)
5.4 推进性能的判据及影响性能的各种因素	(166)
5.4.1 火箭发动机	(166)
5.4.2 空气喷气发动机	(169)
5.5 各类发动机的性能比较	(174)
5.6 各类发动机的应用现状及发展趋势	(176)



## 6 电源

- 6.1 制导武器电源的作用和分类·····(179)
- 6.2 制导武器对电源的要求·····(181)
- 6.3 制导武器目前可以使用的各种电能源·····(182)
- 6.4 选择电源的原则·····(183)
- 6.5 各种放电率下电池的比较方法·····(185)
- 6.6 导弹使用的几种电池电源·····(188)
  - 6.6.1 自动激活锌银贮备电池·····(189)
  - 6.6.2 热电池·····(190)
  - 6.6.3 锂-二氧化硫原电池·····(192)
  - 6.6.4 锂-亚硫酰氯贮备电池·····(194)
- 6.7 导弹使用的发电机电源·····(194)
  - 6.7.1 交流发电机的驱动·····(195)
  - 6.7.2 感应子式发电机·····(197)
  - 6.7.3 永磁转子发电机·····(198)
- 6.8 弹上新电源的发展趋势·····(199)

## 7 目标跟踪

- 7.1 反馈的目的·····(202)
- 7.2 关于目标跟踪的一般概念·····(205)
- 7.3 没有噪声时的跟踪精度·····(209)
- 7.4 热噪声对跟踪精度的影响·····(213)
- 7.5 其它干扰对跟踪精度的影响·····(217)
- 7.6 自动寻优的伺服机构·····(222)
- 7.7 关于脱靶距离的问题·····(224)
  - 7.7.1 目标机动引起的脱靶距离·····(224)
  - 7.7.2 角噪声引起的脱靶距离·····(232)
  - 7.7.3 回波起伏引起的脱靶距离·····(234)
- 7.8 关于跟踪精度的若干问题的讨论·····(235)

## 8 电子战技术在制导武器上的应用

8.1 电子战的主要内容	(239)
8.2 电子战的主要设备	(244)
8.3 对制导武器的威胁	(253)
8.3.1 对制导武器的探测、识别和跟踪	(254)
8.3.2 对制导武器的干扰破坏	(255)
8.3.3 对制导武器的拦截	(256)
8.4 制导武器对威胁的对抗	(256)
8.4.1 隐身	(256)
8.4.2 电子干扰	(258)
8.4.3 加固	(259)
8.4.4 机动	(261)
8.5 夺取电磁频谱的控制权, 为制导武器创造一个自由活动的天地	(261)

## 9 制导武器使用的仪器与仪表

9.1 陀螺仪	(263)
9.1.1 陀螺仪的基本原理	(264)
9.1.2 陀螺仪的分类	(270)
9.1.3 陀螺仪的发展	(278)
9.2 加速度表	(307)
9.2.1 力矩再平衡型加速度表	(308)
9.2.2 石英振梁式加速度表	(313)
9.3 高度表	(316)

## 10 动能拦截弹

10.1 动能拦截弹产生的背景	(319)
10.2 动能拦截弹的基本原理	(322)
10.3 动能拦截弹的基本结构	(324)
10.3.1 制导控制系统	(324)

10.3.2	导引头	(326)
10.3.3	动力系统	(327)
10.3.4	结构组件	(328)
10.4	几种典型的动能拦截弹方案	(328)
10.4.1	天基动能拦截弹	(328)
10.4.2	地基红外寻的动能拦截弹	(332)
10.4.3	地基雷达寻的动能拦截弹	(336)
10.5	动能拦截弹的发展趋势	(336)

## 11 动能拦截弹的制导与控制

11.1	各种飞行轨道与制导方式的简单分析	(339)
11.2	中、末制导结合、全程制导	(342)
11.2.1	初制导	(343)
11.2.2	中制导	(345)
11.2.3	末制导	(352)
11.2.4	姿态控制与稳定	(355)
11.3	动能拦截弹的制导控制系统	(360)
11.4	捷联式陀螺仪	(363)
11.4.1	激光陀螺仪存在的问题	(364)
11.4.2	杭尼威尔成功的诀窍	(365)
11.4.3	发展激光陀螺仪的途径	(367)
11.5	关于BP动能拦截弹制导控制的分析	(370)

## 12 末制导导引头

12.1	捕获、跟踪和识别目标	(374)
12.1.1	助推段目标	(375)
12.1.2	后助推段目标	(376)
12.1.3	中段目标	(377)
12.1.4	末段目标	(378)
12.2	传感器系统引论	(378)
12.2.1	传感器系统的若干基本概念	(378)
12.2.2	传感器系统的频率	(380)

12.2.3	大气衰减	(384)
12.2.4	角分辨率	(386)
12.3	几种传感器系统的简单介绍	(387)
12.3.1	微波雷达系统	(387)
12.3.2	毫米波雷达系统	(390)
12.3.3	电子-光学热成象系统	(393)
12.3.4	激光雷达系统	(398)
12.4	微波雷达系统与电子-光学成象系统的比较	(401)
12.5	传感器小结	(403)
12.6	关于动能拦截弹末制导导引头系统的讨论	(405)
<b>13 关于制导武器的一些问题的思考</b>		
13.1	从战场自动化到《常规武器倡议》	(413)
13.2	发展制导武器的若干问题讨论	(418)
13.2.1	发展制导武器应遵循的原则	(418)
13.2.2	制导武器的发展方向	(425)
13.3	值得注意的发展趋势	(427)
13.3.1	多传感器跟踪目标	(427)
13.3.2	人造神经网络系统	(432)
13.3.3	集成的多功能惯性系统	(436)
13.4	发展制导武器时必须考虑对制导武器的干扰	(438)
<b>附表 (一)</b>		(441)
<b>附表 (二)</b>		(451)
<b>附表 (三)</b>		(457)
<b>附表 (四)</b>		(464)
<b>参考文献</b>		(465)

# 1 绪 论

海湾战争的战火虽然已经熄灭，但海湾战争仍然成为一切关心战争，关心现代军事，关心国防建设的人们议论的一个重要话题，一个十分热门的话题。这充分地说明，海湾战争给人们留下的印象太深刻了。

当然，谈论海湾战争的话题是广泛的、多方面的，例如有的谈论萨达姆\*战略上的失误，从冒险走向投降，有的谈论布什\*\*策略上的成功，他不仅给美国军队为石油而战的这场战争，蒙上了一层薄薄的“正义”的面纱，而且从盟国的支持中发了相当可观的战争横财；有的谈论多国部队的哪些盟国的“愚蠢”，他们竟愿意为美国的石油“大王”火中取栗……然而，从海湾战争本身来说，谈论得最为热门的话题还是海湾战争使用的高技术武器，人们把海湾战争称为高技术战争，的确是一点也不夸张。

在海湾战争使用的高技术武器中，最引人注目的是各种类型的制导武器。

尽管由于萨达姆的黠武主义，践踏国际关系准则，吞并了独立的主权国家科威特，从而使美国为进行海湾战争找到了一块写有“正义”之词的遮羞布，然而，美国及其盟国发动的这场战争之所以能够取得胜利，决不是因为战争的正义性，而是因为力量的悬殊。妄图称霸中东地区的伊拉克所具有的高技术

---

\* 萨达姆——伊拉克总统。

\*\* 布什——美国总统。

水平、拥有的高技术武器无法同美国及其盟国相抗衡。

制导武器在海湾战争中所起的作用，以及它们在未来战争中将要起的作用，它们对作战双方的战略、战术所产生的影响自然就成了军事界十分关心的问题。例如，第二次世界大战中德国法西斯所进行的集群坦克“闪击”战曾经给人们留下了十分可怕的阴影。大战以后，如何对付集群坦克“闪击”战这个可怕的魔影就成了世界各国军事界研究的一个极为重要课题。苏联人曾经遭受过法西斯德国集群坦克“闪击”战的袭击，后来又以数量质量均占优势的坦克赢得了“卫国战争”的胜利，这就形成了苏联人以集群坦克对付集群坦克的战术原则，即他们所谓的“动量+连续作战”的战术原则。从物理意义上说，动量就是质量×速度，这里指的就是以集群坦克进行闪击（高速推进）的战术原则。这种以集群坦克对付集群坦克的战术原则成了主流，为许多国家的军队所接受。二次世界大战后发生的地区性战争，如三次中东战争、两伊战争，均发生了规模很大的坦克战。因此，人们预料：海湾战争的高潮将是规模很大的坦克战也就不无道理。

正因为以集群坦克对付集群坦克的战术原则成了二战后的主流，坦克得到了空前的发展，苏军竟拥有 50000 多辆坦克，T72、T80是目前世界上相当先进的主战坦克。即使如此，长期以来也存在着另一种对付集群坦克的非主流的战术原则，这就是美军长期研究的《直升机+先进的制导武器》对付集群坦克的战术原则。虽然美国也在大力发展主战坦克，如M-1主战坦克的性能还略优于苏联的 T-80，但由于美军长期以来都在研究《直升机+先进的制导武器》反集群坦克的战术思想，他们的直升机和制导武器也得到了很大的发展，仅陆军就拥有上万架直升飞机，他们的制导武器得到了更大的发展，空中地面通用的“灵巧”制导炮弹，各种反坦克制导导弹都得到了惊人的发展。

如果说《直升机+制导武器》反集群坦克在海湾战争以前尚只作为一种战术思想进行研究，那么，经过海湾战争的实践，这种战术思想有可能变成战术原则加以运用。二次世界大战前，法国的戴高乐将军提出的未来的战争将是坦克战的思想，虽然在二战中被法西斯德国的集群坦克“闪击”战推向了高峰，但是，在制导武器的迅速发展下，戴高乐的这一思想将逐渐失去它的光辉。

这是海湾战争给我们的一点启示。

## 1.1 制导武器的定义

上面我们简要地叙述了制导武器在海湾战争中所起的作用，并且阐明由于制导武器的迅速发展而使某些传统的战术原则发生变化，进而引起新的战术原则的产生，这一节我们将要进一步阐明什么是制导武器，给制导武器下一个明确的定义。

制导武器同一般武器的根本区别是什么？

一般武器，例如普通炮弹（为区别于制导炮弹，故使用“普通炮弹”的名称）是依靠火药引爆后给予它一定的初速度而后按弹道飞行命中目标的。炮身的倾角，火药给予炮弹的初速就基本上决定了弹道。因此，炮弹飞行的弹道是无法改变的，所谓修正弹道也不过是改变一下炮身的倾角而已，因为火药给予炮弹的初速是无法任意改变的。可见，如果弹道计算有误，或者目标在运动，或者大气条件恶化，例如刮大风，都可能使炮弹无法命中目标。

制导武器同一般武器的根本区别在于制导二字上，因此，我们给制导武器的定义是：

弹头采用无人驾驶，但有制导的运载工具运载的武器系统就称之为制导武器。

可见，制导武器有两个最显著的特点，一是它采用了有制导的运载工具运载，而不是像一般武器那样按照炮身的倾角（或发射架的倾角）和火箭给予它的初速度所决定的弹道飞行。制导武器采用的运载工具是有制导的，它不仅能够保证运载工具准确地对准瞄准点飞行，而且还能够采取机动飞行，施放诱饵等手段避开对方的攻击。

制导武器的第二个显著特点，即它是一个武器系统，它不仅具有爆炸、杀伤目标的弹头，而且有捕获、识别、跟踪目标的各种传感器，如红外探测器、激光接收与发射器等，还有实时进行数据处理，进行高速运算的导航计算机……。

目前世界各国军队使用的制导武器大都符合这一定义。

当然，有些制导武器，这两个特点并不完全具备，但它仍应划在制导武器一类。例如，美国近年来大力发展的“灵巧”制导炮弹，它们不采用有制导的运载工具运载，而采用飞机或地面火炮发射，它们被发射到作战空域以后，就依靠降落伞悬浮于空中，利用所携带的传感器搜索、跟踪目标，直至摧毁目标。从弹头的飞行路线不受闭路系统控制这点来说，它不能算作制导武器。然而，它带有可探测目标的存在及其方向的传感器，能被准确地导向目标，有的甚至可以选择目标的薄弱环节（如坦克的顶部）进行攻击。从这点说，它无疑又应算作制导武器一类。

因此，我们认为，实际上存在两类制导武器，一类完全符合我们的定义，这类制导武器主要是目前世界各国军队使用的各种类型的导弹武器；另一类则是不完全符合定义的制导武器。前一类制导武器目前是主流，我们就把它们称作一般的制导武器，或简称制导武器。后一类制导武器则称之为非一般的制导武器。

应当指出，非一般的制导武器，我们虽不很熟悉，但它有



着广阔的发展前景，应当引起我们的充分注意。例如前面介绍的美国目前正在发展的用飞机可以投掷，用地面火炮也可以发射的“灵巧”炮弹（炸弹）就具有非常广阔的应用前景，它很可能成为反集群坦克的重要手段。它同一般的制导武器相比，具有重量轻、造价低廉的特点，而且具有通用性，无怪乎近年来已成为美国发展的重点制导武器。

由于非一般的制导武器对我们来说不很熟悉，因此，我们准备略微多作一点说明。

对这类非一般的制导武器来说，首先当推第二次世界大战中出现的“甲虫式”坦克。所谓“甲虫式”坦克，形似甲虫，实际是一种装有高爆炸药的小型坦克，它不用人驾驶，而采用线遥控。坦克的遥控操作者不断地对坦克与目标进行观察，在坦克接近目标时使坦克爆炸以摧毁目标。这种“甲虫式”坦克，实际是一种可以爬行的炸弹。

显然，“甲虫式”坦克由于采用线遥控，爬行速度慢，作用距离近，只能在战场上近距离使用。然而，随着科学技术的迅猛发展，特别是机器人技术的迅猛发展，无人驾驶的自主式战车已经初步研制成功。这种战车装上高爆炸药，无疑将比第二次世界大战中的“甲虫式”坦克优越得多。它可以同有人驾驶的坦克一样驰骋于战场，但它的杀伤威力却要比有人驾驶的坦克大得多。

另外一种非一般的制导武器是一种圆形球系统，据报导，这种圆形球系统已发展成功，但未正式生产和使用。据说这种圆形球系统发射后可以向任何方向运动，而且还可以按照发送给它的指令停止不动。圆形球系统的设计者的设想是：将它精确地定位在目标，而后发出指令使装在圆形球系统内的炸弹爆炸。

同这种圆形球系统相类似的还有由小型遥控飞行器组成的制导武器，当它到达目标上空时即自动或在指令的控制下爆