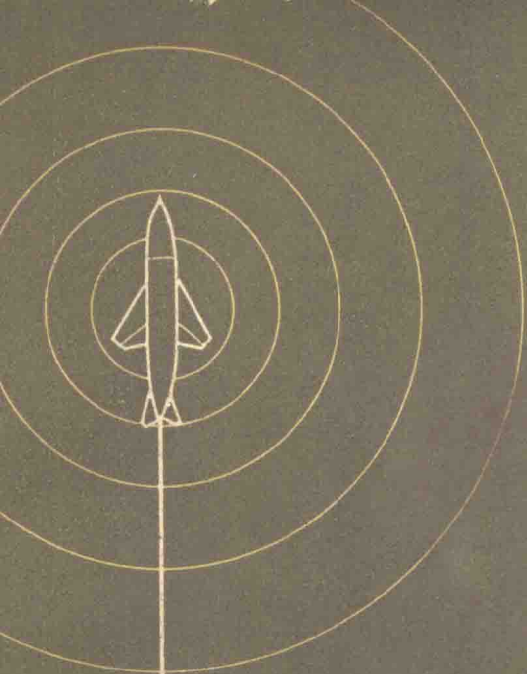




Л. С. 古特金

# 无人驾驶对象的 无线电操纵原理

科学出版社

683  
35  
1

# 无人驾驶对象的无线电操纵原理

Л. С. 古特金 著

刘志万 馬积明 等译

科学出版社

1962

Л. С. ГУТКИН  
ПРИНЦИПЫ РАДИОУПРАВЛЕНИЯ  
БЕСПИЛОТНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Изд. "Советское радио"

Москва—1959

內 容 簡 介

本书旨在說明利用无綫电操纵无人駕駛对象(包括噴气式导弹、魚雷、可操纵炸弹及其他等)的原理。指出操纵对象的一般特性,叙述了各种不同的引导和操纵方法(包括自动控制、自动瞄准、遙控及綜合操纵)。对影响无綫电操纵系統的精确度及作用距离的主要因素,本书也进行了分析。

本书 适宜于有关的无綫电工程师和无綫电系的高年級学生閱讀,对无綫电遙控或无人駕駛对象的无綫电操纵問題感兴趣的讀者也是有益的。

无人驾驶对象的无綫电操纵原理

Л. С. 古特金 著

刘志万、馬积明、周松柏 等譯  
于冠生、徐 惠、张长令

馬积明、刘志万 校

\*

科学出版社出版 (北京朝陽門大街117号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第061号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总經售

\*

1962年2月第一版

书号:2469 字数:279,000

1962年2月第一次印刷

开本:850×1163 1/32

(京) 0001—8,000

印张:10 5/8

定价:1.55 元

## 基本符号一覽表

- $\vec{V}_1$ ——目标的速度。  
 $\vec{V}_2$ ——火箭(导弹)的速度。  
 $\vec{r}_c$ ——相对于指挥站的目标矢量半径。  
 $\vec{r}_p$ ——相对于指挥站的火箭矢量半径。  
 $\vec{r}$ ——相对于火箭的目标矢量半径。  
 $W_p$ ——火箭的(法向)加速度。  
 $W_{pm}$ ——火箭允许的最大加速度。  
 $W_c$ ——目标的(法向)加速度。  
 $g$ ——重力加速度。  
 $\alpha_a$ ——攻角。  
 $C$  和  $P$ ——分别为目标及火箭的位置点。  
 $\rho$ ——弹道的曲率半径。  
 $\rho_0$ ——火箭弹道允许的最小曲率半径。  
 $\beta$ ——前置角。  
 $\beta_0$ ——理想前置角。  
 $\Delta\beta = \beta - \beta_0$ ——前置误差。  
 $x_1 y_1 z_1$ ——测量坐标系。  
 $x_2 y_2 z_2$ ——火箭的执行坐标系。  
 $x_A y_A z_A$ ——与天线系统交连的坐标系。  
 $\tau$ ——执行坐标系相对于测量坐标系的扭转角。  
 $\omega$ ——角频率。  
 $K(j\omega) = K(j2\pi f)$ ——以复数表示的传输系数。  
 $\Delta F_s$ ——等效的噪声频带。

## 序 言

无人駕駛对象(即沒有駕駛員的飞机、噴气式导弹等)的无綫电操縱,在目前已和无綫电通訊、广播、导航、雷达、电视一样,成为广泛使用无綫电技术的重要部門。本书的主要目的在于帮助无綫电系高年級学生与年青的无綫电工程师熟悉无人駕駛对象的操縱原理。

虽然本书是以十到十五年前的資料为根据写成,但作为教学参考性質,这本书还是很有用的。书中所研究的并不是很快就会过时的具体設備,而是讲述一般的操縱原理。新的操縱原理以及比較近代的无人駕駛对象的具体操縱系統等資料,沒有一个国家公布过,其原因当然很清楚,因此,作者沒有权利使用这些資料。考虑到这一特点,讀者應該注意到本书与任何其他国家現在所出的有关操縱問題的书籍一样,只能闡明这一技术領域中的某些一般概念;也就是說,只能作为进一步深入研究有关資料的导論使用。讀者还应同样地注意到,在书中所采用的数据与实例,并不能說明近代設備的特性,因为采用的是1941—1945年第二次世界大战时所使用过的設備的資料,它們只有参考意义。

书中所講的內容远沒有包括所有的无人駕駛对象操縱的主要問題。其中关于飞行动力学、調节的质量与稳定性以及噴气技术问题,几乎都沒有研究,因为这些問題一般來說都属于其他課程的范围;同样,关于远程火箭的操縱与无綫电引信,在这里基本上也沒有作什么讲述。

本书初稿完成于1954年,1958年校对的时候,在本书中只作了下列不大的补充:提到在苏联制成了洲际弹道式火箭;对飞机的速度进行了修正;从А. В. 赫拉梅(Храмый)所著“苏联自动器发展簡史”(Очерк истории развития автоматики в СССР; 苏

联科学院出版社出版, 1956) 中引用了有关无线电操纵领域内第一批发明的简单历史, 并增加了一个参考文献的目录.

# 目 录

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| 序言                                        | vii |
| 第一章 可操纵对象的一般特性和操纵方法                       | 1   |
| 1-1. 概述                                   | 1   |
| 1-2. 无人駕駛对象的簡明特性                          | 5   |
| 1-3. 操纵方法的簡明特点                            | 24  |
| 第二章 基本要求                                  | 32  |
| 2-1. 概述                                   | 32  |
| 2-2. 向目标引导导弹的精确度                          | 33  |
| 2-3. 操纵系统的鑑別力                             | 45  |
| 2-4. 战斗装药重量及其作用特性的影响                      | 47  |
| 2-5. 引信的效率                                | 48  |
| 2-6. 设备作用的可靠性                             | 48  |
| 2-7. 对单个目标齐射时的命中概率                        | 52  |
| 第三章 引导方法                                  | 57  |
| 3-1. 一般关系                                 | 57  |
| 3-2. 按追逐曲线引导                              | 60  |
| 3-3. 按恒定前置角法引导 ( $\beta = \text{const}$ ) | 63  |
| 3-4. 逐次前置法                                | 64  |
| 3-5. 按目标复盖法引导                             | 67  |
| 第四章 自动控制                                  | 78  |
| 第五章 自动瞄准                                  | 81  |
| 5-1. 一般关系                                 | 81  |
| 5-2. 被动式、主动式与半主动式系统的比較                    | 82  |
| 5-3. 无綫电、热、光学及声响式自动瞄准系统的比較                | 85  |
| 5-4. 按追逐曲线自动瞄准                            | 87  |
| 5-5. 按逐次前置法自动瞄准                           | 102 |

|                                             |     |
|---------------------------------------------|-----|
| 5-6. 自动瞄准所需的最小距离                            | 115 |
| 5-7. 自动瞄准误差的主要来源                            | 124 |
| 第六章 遙控                                      | 130 |
| 6-1. 遙控系统的一般特性                              | 130 |
| 6-2. 第二类遙控                                  | 133 |
| 6-3. 用操縱員的第一类遙控                             | 139 |
| 6-4. 第一类自动遙控                                | 141 |
| 6-5. 遙控误差的主要来源                              | 145 |
| 6-6. 遙控和自动瞄准的比較                             | 146 |
| 第七章 綜合操縱                                    | 149 |
| 7-1. 概述                                     | 149 |
| 7-2. 彈道的联結                                  | 150 |
| 7-3. 用彈上測向器向目标引导                            | 156 |
| 第八章 座标系統的配合                                 | 163 |
| 8-1. 在直角式和極式操縱舵的情况下形成指令                     | 163 |
| 8-2. 座标系統 $x_1 y_1 z_1$ 和 $x_2 y_2 z_2$ 的配合 | 170 |
| 8-3. 座标系統扭轉的起源                              | 173 |
| 8-4. 减小座标系統扭轉作用的方法                          | 182 |
| 第九章 測量角偏移的无綫电方法                             | 187 |
| 9-1. 对測量角偏移系統提出的要求                          | 187 |
| 9-2. 測量角偏移的方法                               | 194 |
| 9-3. 方向性图轉換的等訊号区                            | 197 |
| 9-4. 方向性图摆动的等訊号区                            | 201 |
| 9-5. 方向性图旋轉的等訊号区                            | 208 |
| 9-6. 極化误差                                   | 229 |
| 第十章 起伏干扰对目标自动跟踪精确度的影响                       | 236 |
| 10-1. 一般关系                                  | 236 |
| 10-2. 訊号脉动現象的产生及其性質                         | 243 |
| 10-3. 脉动对雷达工作的影响                            | 250 |
| 10-4. 减弱脉动影响的方法                             | 264 |
| 10-5. 接收机內部噪声的作用                            | 266 |
| 第十一章 起伏干扰对第一类遙控精确度的影响                       | 273 |

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 11-1. 一般关系.....                       | 273 |
| 11-2. 在綫性状态下的干扰作用.....                | 276 |
| 11-3. 状态綫性化的条件.....                   | 278 |
| 11-4. 結論.....                         | 286 |
| 第十二章 起伏干扰与振动对雷达自动瞄准精确度的影响 .....       | 288 |
| 12-1. 概述.....                         | 288 |
| 12-2. 干扰对具有稳定天綫的自动瞄准系統的影响.....        | 290 |
| 12-3. 干扰对具有自动跟踪天綫的自动瞄准系統的影响.....      | 302 |
| 12-4. 自动瞄准时, 火箭相对目标的运动对訊号脉动頻譜的影响..... | 306 |
| 12-5. 天綫振动的影响.....                    | 309 |
| 12-6. 結束語.....                        | 319 |
| 第十三章 无綫电操縱系統的作用距离 .....               | 321 |
| 13-1. 自动瞄准系統的作用距离.....                | 321 |
| 13-2. 第一类及第二类遙控系統的作用距离.....           | 325 |
| 参考文献 .....                            | 326 |
| 技术名詞索引 .....                          | 328 |

## 第 一 章

### 可操縱对象的一般特性和操縱方法

#### 1-1. 概 述

本书研究无人駕駛对象的无綫电操縱原理。无人駕駛对象即上面沒有人(駕駛員)的运动对象,例如:沒有駕駛員的飞机、噴气式导弹、航空炸弹、魚雷及其他等。

可操縱的无人駕駛对象目前主要有导弹、炸弹及魚雷等摧毁目标用的工具所組成。所以在以后不經說明时,无人駕駛对象应理解为导弹、可操縱的炸弹及魚雷。

无綫电操縱,即利用无綫电设备进行操縱,是无人駕駛对象最常用的操縱方法。不过在許多場合下也可以采用其他操縱方法,下面将作简单地叙述。

无綫电操縱与无綫电导航有許多共同之处,无綫电导航的任务也在于利用无綫电设备进行操縱对象的运动。不过无綫电导航只用在有人(駕駛員)的操縱对象上,由駕駛員利用无綫电设备进行操縱;至于无綫电操縱却是对无人駕駛对象而言的。因此,例如当飞机上有駕駛員,則对这种飞机利用无綫电设备的操縱就是无綫电导航;如果飞机上沒有駕駛員,則利用无綫电设备对这种飞机的操縱就是无綫电操縱。

与导航任务相比較,由于被操縱对象上沒有駕駛員,使得无綫电操縱的任务显然要复杂得多:

- a) 由于沒有駕駛員,操縱设备所起的作用就更加繁多。
- b) 在有駕駛員的情况下,人可以部分参与无綫电仪表指示与对象操縱机构之間的联系;但是在自动的无綫电操縱的情况下,无

綫电仪表与操縱机构之間要直接相联。

因此,只有在与自动器设备及对象本身密切配合的条件下,才能設計、試驗并使用操縱无人駕駛对象的无綫电設備。

此外,无綫电操縱的任务所以比較复杂,是因为大多数現代无人駕駛对象都是摧毁目标的工具:

a) 摧毁目标所需的操縱精确度非常高,比无綫电导航时所需的精确度高得多。

б) 用于摧毁目标的对象每次发射后即被消毁,是一种单次作用的对象。所以机上操縱設備(装在无人駕駛对象上的設備)应同时具有很高的操縱精确度、最低的造价、简单的結構以及尽可能小的重量和尺寸。

в) 摧毁目标工具的无綫电操縱是在作战情况下进行的,因此应不受敌方干扰的影响。

在第二次世界大战时期,由于要求迅速地增加射程故导弹与炸弹的操縱問題也成为特別迫切的任务。

普通不带发动机的导弹与炸弹不可能保証有几百、几千公里的有效射击,因此不得不在导弹上加装发动机。而噴气发动机是最合适的一种,所以关于噴气式导弹的噴气技术就得到了飞速的发展。这一进展所以比較容易,还由于噴气发动机也是改进飞机性能的一种有效方法。

噴气式导弹不单在飞行距离上比普通的炮弹远得多,而且还有可能操縱它的飞行。为了获得必要的初速,普通的炮弹应该在炮膛中将纵向加速度提高到 20,000 至 30,000  $g$  ( $g$ ——重力加速度)。要在这种炮弹上安装不显著影响其性能而能修正飞行的尾翼、并在其内部安装复杂的現代技术水平的操縱設備,那是不可能的。

但对噴气弹来講,其纵向加速度比較小(例如 10—15  $g$ ),完全有可能安装必須的尾翼,甚至可以安装相当复杂的操縱設備。

摧毁远方目标的可操縱的噴气弹比普通炮弹具有更高的命中精确度。在同样的情况下,若不进行操縱,由于散布較大,噴气弹

不但不能得到比普通炮弹更大的精确度，相反的却是更低的精确度。

因此，只有将喷气技术与操纵这两个原则结合起来，才能解决远程射击精确度的问题（即几十、几百和几千公里的射击精确度的问题）。所以二次世界大战引起了喷气技术与操纵技术的飞速发展是完全可以理解的。

实际上，无人驾驶对象的操纵不单依靠无线电波可以实现，而且也可以利用其他类型的波，如：光波（可见光）、热辐射波、声波、超声波等。但只有无线电波才能在较大距离（几十、几百、几千公里以至更远的距离）上实现有效的操纵。所以无线电操纵是操纵无人驾驶对象最主要的手段（水下无人驾驶对象如潜水艇及鱼雷等除外）。

因此，目前在各种无人驾驶对象中，喷气式对象是用得最多的一种，而且在各种无人驾驶对象的操纵类型中，无线电操纵又是最主要的形式。

利用无线电操纵的喷气式对象是近代科学技术的杰出成就之一。这一成就是由于无线电技术、喷气技术、空气动力学以及自动调节技术高度发展的结果。

在这一部门的发展中起独特的主导作用的是伟大的学者 A. C. 波波夫 (Попов), K. Э. 乔尔可夫斯基 (Циолковский) 和 H. E. 儒可夫斯基 (Жуковский)。

A. C. 波波夫是无线电技术的缔造者。波波夫的伟大发现在 1895 年 5 月 7 日由他本人作了表演，这一天就是无线电技术的生日——从普遍意义来讲，也包括无线电操纵部门在内。K. Э. 乔尔可夫斯基 (1857—1935 年) 应该被公认为现代有关喷气运动学科的创始人。H. E. 儒可夫斯基在空气动力学方面作出了巨大的贡献，由于他的工作，加速了现代空气动力学的发展，从而制造出现代型式的飞机和火箭。

在苏联，无线电操纵在无线电发明后立即得到发展。

远在 1898 年，杰出的俄国物理学家 H. Д. 皮尔契可夫

(Пилчиков) 就表演了利用无綫电訊号动作的鐘、訊号机模型和灯塔的模型。在 1898—1901 年期间,他为海軍作了許多設計。正象他自己写的那样,这些設計主要作用是“利用无綫电来引爆水雷,或者用无綫电来操纵上面没有任何人指揮的小艇,使之能向敌人主力舰方向运动,赶上它并将其击沉”。

1909 年 1 月,俄国发明家 Ф. С. 馬捷利金 (Материкин) 在德国取得了用于远距离操纵 (用无綫电或导綫) 的电气设备的专利权。1913 年在彼得堡出版的 Е. 高魯別夫 (Голубев) 所著的“俄国发明界”一书中,关于这件发明的事写道:“Ф. С. 馬捷利金开辟了不用导綫在任何距离上随意操纵的机械,并知道它們在各个瞬間所发生的情况的可能性。发明家所设计的设备簡直是得到了神話般的結果”。

1914 年,С. А. 烏里雅宁 (Ульянин) 表演了由他发明的利用声音訊号远距离操纵三輪小車的装置。过了两年,在加脫欽斯基 (Гатчинский) 机場,Н. Д. 巴巴列克西 (Папалекс) 作了用无綫电操纵小車的試驗。在小車上装有无綫电接收机、繼电器和直流电动机。小車的操纵,即起动、轉弯和停止是利用不大的火花式无綫电发射机通过无綫电进行的。

所以說,在第一次世界大战以前的这段时期內,最簡單的无人駕駛对象的无綫电操纵已經获得了初步成就。但只是在第二次世界大战时期才出现了用无綫电操纵的火箭。因为創造这种火箭需要无綫电技术、自动器、噴气技术与空气动力学都有高度的发展水平。

現在所有工业強国都加強了对无綫电操纵的无人駕駛对象的研究,而且主要的人力与資金都用在制造具有軍事意义的而不是用于和平的无人駕駛对象方面。

苏联一直为在国际范围內銷毀或者至少是裁減各种軍备——首先是帶有原子彈与氫彈头的可操纵的无人駕駛对象而进行了不懈的斗争。但到目前为止,这一斗争还没有取得胜利,因此我們为了进行防御,不得不改进与发展各种无人駕駛对象。

## 1-2. 無人駕駛對象的簡明特性

目前,大家都知道有下列幾種主要的可操縱的無人駕駛對象:

- 1, 远程火箭(彈道式火箭).
- 2, 飛航式導彈.
- 3, 防空火箭(地—空;水—空).
- 4, 航空火箭(空—空).
- 5, 航空炸彈(空—地;空—水).
- 6, 空中魚雷(空—地;空—水).
- 7, 空—海魚雷(空—水).
- 8, 海上魚雷(水—水).
- 9, 靶機.
- 10, 實驗性的無人駕駛對象.

前八種是用以摧毀空中、地面與海上目標的武器。

靶機,這是一種沒有駕駛員的用無線電操縱的飛機,用作教練射擊與實驗射擊的飛靶。

實驗性無人駕駛對象在進行各種實驗性研究時使用。為此目的,在上面裝有專門的無線電遙測設備,而在一般的無人駕駛對象上則沒有這種設備。無線電遙測設備是由一組測量儀表組成(溫度、速度頭、振動及其他參數測量器)。這些儀表測得的數據利用無線電從對象上傳送到地面上的測量接收站。

下面敘述作為摧毀目標用的無人駕駛對象的一些主要類型。這些對象可分為兩大組:

- A) 远程對象;
- B) 近程對象。

远程對象包括远程火箭和飛航式導彈。它們都是由固定發射場發射,用來對付固定的目標,作用距離以几百或几千公里計算。其他都屬於近程對象,它們的作用距離一般不超過 100 到 200 公里,發射場或被摧毀的目標(或者兩者都在內)通常是活動的。

下面闡述各種無人駕駛對象的簡明特性。

## A. 远程对象

### 1. 远程火箭——弹道式火箭

远程火箭由地面固定点向距离数百或数千公里以外分布很广的地面固定目标发射(工业中心、工厂、铁路枢纽等)。

典型的远程火箭的弹道见图 1-1。

火箭由  $o$  点垂直起飞至  $a$  点,  $a$  点一般是稠密大气层的边界。由  $a$  点起, 安装在火箭上的程序机构开始对火箭的舵面起作用, 火箭沿曲线  $ab$  转弯;  $ab$  线为程序曲线, 因为其形状是由程序机构确定的。

弹道  $oab$  称为主动段, 因为火箭在沿这一曲线运动的全部时间内, 喷气发动机都一直在工作。

在  $b$  点关闭发动机, 火箭在以后的全部航程上都是关车飞行的, 这时火箭的运动仅取决于初速  $\vec{V}_0$  和重力; 也就是说, 沿弹道式曲线运动<sup>1)</sup>。所以弹道  $bcd$  称为被动段。  $bc$  段通常处在稀薄大气层中。火箭在  $c$  点又重新进入稠密大气层, 空气阻力使纯粹的弹道式运动规律有所改变。德国在第二次世界大战应用的“V-2”火箭的航程  $X_{\text{max}} \approx 350$  公里, 最大高度  $H_{\text{max}} \approx 100$  公里, 速度(在  $bc$  段)为 1300—1500 米/秒。在这以后, 很多国家都制成了射程、飞行高度和速度都大得多的火箭。

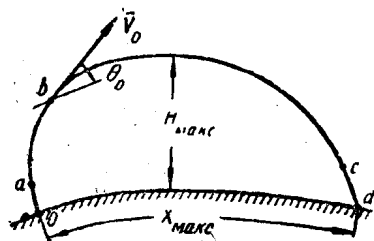


图 1-1

众所周知, 数年之后, 苏联在世界上首次制成了洲际弹道式火箭, 其作用距离之远可以从任何一点命中地球上其他任意点, 同时, 苏联发射了世界上第一个人造地球卫星。远程火箭通常由数级构成, 实质上

1) 由于这一原因, 现在常把远程火箭称为弹道式火箭。

就是由很多自身带有发动机的火箭组合而成。在最初阶段，只有火箭第一级的发动机工作。在供给该发动机的燃料耗尽以后，第一级火箭自动地与主体脱离，第二级发动机开始工作，之后是第三级等。

因为在飞行过程中，使用过的火箭，部分按次脱离，而且这种组合火箭的重量及尺寸也逐渐减少，只有比较小而且轻的一级火箭到达目标。这样做首先使燃料的总消耗量变得非常经济，其次，也难于发现和消灭用以摧毁目标的发射基地。

与飞机相比，远程火箭有不大的升力面，其空气动力外形更加接近于炮弹。火箭通常用空气舵及燃气舵来实现其操纵。

燃气舵提高了在稀薄大气层中的操纵效率，而在同一情况下，一般空气舵的效率将剧烈降低。

因此，为了使火箭准确地命中目标，其弹道应满足下列条件（见图 1-1）：

a) 弹道  $abcd$  应该位于通过操纵站  $o$  及目标  $d$  的垂直平面内。

为了满足这一要求，可采用方位无线电修正<sup>1)</sup>：无线电设备可察觉火箭在方位上对预定垂直平面的偏移。

以这一偏移及其导数为基础形成火箭的操纵指令，强迫火箭返回预定的平面，并使弹体的偏移及其导数（速度）减少至零。

6) 发动机应在火箭速度达到某一定值  $\bar{V}_0$  的某一定点  $b$  关车。

为了满足这一要求，操纵设备应该保证火箭沿预定的程序曲线  $ab$  运动，并在所需的瞬间关闭火箭发动机。

第一项任务（沿程序曲线运动）通常由自动控制（即程序机构和完全位于火箭上而不接收火箭以外辐射的操纵设备）及无线电操纵来完成。

第二项任务（在所需的瞬间关闭发动机）也是由自动控制或借

---

1) 方位无线电修正也称为无线电侧向修正——译者注。

助于无线电设备来解决。

在  $bc$  段已不可能对火箭进行操纵，因为当发动机关车后，燃气舵已失去作用，而空气舵在稀薄大气层内也不可能工作。在  $cd$  段，空气舵可重新起作用，但由于下述原因，要实现这一操纵则非常困难：

a) 火箭在几秒钟之内飞过  $cd$  段，所以当火箭重新进入大气层时，尽管还距目标很远（例如  $\geq 5-10$  公里），但它已来不及完全修正其弹道。

b) 由于距离很远以及地球表面的曲率，在  $o$  点对火箭的  $cd$  段进行操纵是非常困难的。由此看来，在该段实现操纵的最简单的办法是利用目标任何形式的固有辐射（例如工业企业的热辐射）来向目标进行自动瞄准。

根据已公布的资料，远程火箭仅在弹道主动段  $oab$  借助于无线电设备及自动控制进行操纵。

## 2. 飞航式导弹

飞航式导弹与远程火箭作用相同，用以摧毁远处的地面固定目标。它与远程火箭的区别在于其结构更加接近飞机（有相当大的尾翼）；在发动机连续工作的情况下，它始终都在比较稠密的大气层中飞行。

与远程火箭比较，飞航式导弹最严重的缺点是容易被击落（由于飞行高度及速度都较低），以及在全部轨迹上都须要进行操纵。当射程很远时，这是非常复杂的。因此可以预计，远程弹道式火箭将是远程导弹的基本类型。

## B. 近程对象

### 1. 防空火箭

防空火箭是由地面或海上发射，用来攻击空中目标的喷气弹，空中目标可以是飞机或各种无人驾驶对象（远程火箭、航空炸弹、