

# 无线电引信总体设计原理

张清泰 编著

国防工业出版社

## 内 容 简 介

这是一本供大学本科非触发引信专业学生使用的教材，是在内部数次使用过的讲义的基础上补充修改而成的。书中首先概略介绍一般引信，主要是非触发引信的知识。本书讲述了引信和战斗部配合的问题，阐述了无线电引信的抗干扰技术和可靠性，对无线电引信各种体制的选择分别作了介绍。书中还探讨了目标特性和经济性评定问题。书后附有七个附录，给出无线电引信设计中用的几种函数表，介绍飞机易损特性数据等。本书还可供从事非触发引信生产科研的工程技术人员参考。

## 无线电引信总体设计原理

张涛 编著

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

850×1168<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 印张 10<sup>3</sup>/<sub>8</sub> 271千字

1985年12月第一版 1985年12月第一次印刷 印数：0,001—1,700册

统一书号：15034·2998 定价：2.35元

## 前 言

我国的无线电引信经过仿制阶段，积累经验以后，已进入自行设计阶段。但是，设计理论，特别是性能总体设计水平不高，产品性能还不够完善。因此，开展引信总体设计工作，完善引信设计理论，提高引信设计水平，是摆在我们面前的一项紧迫任务。

引信的保密性强，有关引信设计方面的资料，国内外发表的很少。为了满足教学需要，我们根据参加部分引信产品研制工作的体会，学习兄弟单位研制工作的经验，并参考国外发表的资料，于1980年为本专业本科学生编写出《无线电引信总体设计原理》讲义。本书就是在这本讲义的基础上，根据教学实践并吸收同行的意见补充修改而成的。

引信是武器系统中的一个独立部分，又和武器系统密切相关。引信通过目标获取信息，并利用这些信息选择空域和时域，来起爆战斗部（或弹丸），使战斗部（或弹丸）能对目标发挥最大杀伤效果。因此，目标、引信和战斗部构成一个系统，如图0-1所示。

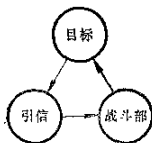


图 0-1

必须把引信设计作为系统中的一个环节来考虑。引信总体设计所涉及到的问题包括：武器系统运筹学，优化设计，目标信号探测

和信号检测与处理等。这里面既有战术问题，也有技术问题。

引信总体设计任务包括：引信主要战术技术指标（引战配合、抗干扰、可靠性和经济性等）论证，主要技术途径的选择，总体参数的分配，对各零部件技术指标的要求等。

由于编者水平有限，经验不足，书中肯定有许多不足之处，恳请读者批评、指正。

本书由张志鸿同志负责主审，在审阅中提出了许多宝贵的意见，谨表示衷心感谢。

## 目 录

第一章 非触发引信的一般知识 .....	1
第一节 引言 .....	1
第二节 非触发引信的分类 .....	7
第三节 非触发引信的主要组成部分 .....	22
第四节 对非触发引信的战术技术要求 .....	24
第五节 目标和弹的坐标系及其运动参数 .....	27
第六节 非触发引信总体设计内容 .....	37
第二章 坐标毁伤概率的计算 .....	39
第一节 单发射击毁伤概率的一般表达式 .....	39
第二节 弹丸(战斗部)的特性 .....	41
第三节 坐标毁伤概率 $G(x, y, z)$ 的一般表示式 .....	53
第四节 命中舱段破片数数学期望 $\bar{m}$ 的计算 .....	60
第五节 单枚破片杀伤舱段的概率的计算 .....	64
第六节 目标坐标毁伤概率的计算 .....	72
第三章 引战(弹)配合问题 .....	78
第一节 问题的提出 .....	78
第二节 对空射击引信起爆区 .....	81
第三节 引信最佳起爆面和最佳起爆区的确定 .....	95
第四节 单发毁伤概率的计算 .....	103
第五节 非触发引信平均最大作用半径的确定 .....	115
第六节 引信起爆面和最佳起爆面的协调问题 (引战配合问题) .....	117
第七节 对地面分布目标射击时最有利炸高的确定 .....	128
第四章 无线电引信抗干扰技术 .....	145
第一节 作用于无线电引信的干扰 .....	145

第二节	无线电引信抗干扰准则的定量特性 .....	155
第三节	抗有源干扰准则的定量特性 .....	157
第四节	抗无源干扰准则的定量特性 .....	170
第五节	无线电引信的抗干扰途径 .....	182
第五章	无线电引信的可靠性 .....	199
第一节	无线电引信可靠性的意义和研究范围 .....	199
第二节	无线电引信可靠性的理论基础 元件的 可靠性 .....	201
第三节	系统的可靠性 .....	207
第四节	引信无线电部分的可靠性 贮存期的可靠性 .....	214
第五节	引信无线电部分在工作期的作用可靠性 不失 效(瞎火)的概率 .....	217
第六节	引信无线电部分在工作期不早炸的概率 .....	219
第六章	体制选择 .....	229
第一节	无线电引信的特点 .....	229
第二节	单频等幅连续波多普勒体制 .....	232
第三节	连续波调频体制 .....	239
第四节	脉冲体制 .....	253
第五节	脉冲多普勒体制 .....	257
第六节	比相体制 .....	259
第七节	噪声体制 .....	270
第八节	频差测角体制 .....	282
第七章	目标特性 .....	288
第一节	集中目标的反射特性 .....	288
第二节	分布目标的电磁波反射特性 .....	298
第八章	引信经济性评定 .....	307
附录	.....	313
附录 1	标准正态分布表 .....	313
附录 2	$H(y)$ 函数 .....	315
附录 3	$p(\varepsilon)$ 表 .....	315

附录 4	$p^*(j)$ 表 .....	317
附录 5	两种飞机的易损特性 (主要数据).....	319
附录 6	一阶亨格尔函数 $K_1(x)$ 值 .....	320
附录 7	表格函数 .....	321
参考文献	.....	322

# 第一章 非触发引信的一般知识

## 第一节 引 言

### 一、引信的定义和作用

引信是一种利用目标信息或按预定指令控制弹药爆炸的引爆装置。衡量引信战术技术性能好坏的最重要一条，就是炸点选择的时间空间特性，通常人们称之为适时性。

按照与目标的作用方式，引信可分为三大类：触发引信、执行引信和非触发引信<sup>●</sup>。对这三大类引信的定义和他们在战术使用上的一些特点进行比较，就可以看出非触发引信在现代战争中的地位和作用。

过去用得最多，也是最早的引信，是触发引信。触发引信利用弹丸（或导弹）和目标接触瞬间弹丸（或导弹）运动状态发生急烈变化或目标给引信以直接反作用力等目标信息而作用，来引爆主装药。

触发引信是一种最简单、最可靠的引信，并且对某些弹种来说是不可代替的。但是，触发引信起爆的适时性较差，目标的毁伤效率受到影响。

对地面的暴露目标而言，由于是触发起爆，不可避免的要有一定的漏斗坑，弹丸的一部分破片钻入土壤不能利用，还有一部分破片向天空飞去。试验表明，当76mm口径的火炮榴弹漏斗坑深度为33cm时，毁伤概率就降低到一半左右；当漏斗坑的深度

---

● 根据WJ1361-82的规定，“非触发引信”应作“近炸引信”。为了照顾编著者等的使用习惯，本书仍沿用“非触发引信”这一名词。——国防工业出版社编辑注



为45cm时，毁伤概率就很小了。如果目标在雪地上，毁伤效率将降低到原来的 $1/3 \sim 1/5$ 。如果目标利用简单的掩体，如战壕、弹坑、堑沟等，那么毁伤效率实际上接近于零。于是，人们想到，如果能实现空炸的话，毁伤效率将会大大提高。

在使用带触发引信的杀伤榴弹（或战斗部）对空中目标射击时，为了摧毁目标，要求弹丸（导弹）能直接命中目标。由于目标体积小，运动速度快，要想直接命中目标，特别是对中大口径榴弹，是很困难的。然而，由于中大口径榴弹杀伤半径较大，对飞机等目标的毁伤并不一定要求直接命中，而只要求它在目标附近的某一区域内爆炸就可以。

在这种要求的基础上，在非触发引信之前就出现了时间引信。时间引信是执行引信中的一种。执行引信是一种执行指令而起爆的引信，其起爆指令是由另外一个控制设备给出。这种控制设备可以是一个设在引信内部的时间机构或者是设在弹上的导引头或是设在地面上的雷达站等。这种引信受控于指令，引信的职能是完成指令的执行。执行引信是通过第三者和目标发生联系。属于这种引信的有：时间引信（机械、电子、药盘等）、指令引信（导引头指令、地面雷达站指令）等。

时间引信是执行引信中最早最简单的一种，可在弹道上的某一点起爆。这一点由一个时间机构控制，装定时间的长短，在发射前由射手根据弹目测量参数装定。近几年美国又发展一种遥控装定时间引信，可大大改善这种引信的性能。

时间引信不需要直接命中目标，毁伤概率有所提高。但是这种引信也存在着一些严重的缺点：起爆只决定于装定时间而与弹目的相对位置无直接关系；由于测量时间有一定误差，时间引信本身的走时精度也有一定误差等。这些误差和弹的飞行时间成正比。例如，在对地面目标射击时，炸高的散布随着射程的增加而增大，大到一定程度时，使用时间引信反而不如使用触发引信效果好。对空中目标射击时，由于有时间误差，一些弹通过目标杀伤区而不炸，而另一些弹可能在到达目标杀伤区之前就炸掉了。

这就是说，时间引信的起爆适时性问题没得到彻底解决，不能保证对目标毁伤的高效率。这就迫使人们去寻求新引信，以保证更高的效率。非触发引信就是在这种情况下发展起来的。

非触发引信又叫近炸引信。这种引信是通过对目标的存在、距离、方位、速度等信息的感觉和探测来识别目标，并能在弹道上适时地、自动地选择炸点，以对目标进行有效杀伤。这种引信的最大特点，是具有能根据不同的弹目交会条件随机应变地选择时间空间的能力，从而得到对目标尽可能大的毁伤概率。因为这种引信无需直接接触目标，顾名思义叫做非触发引信。在效果上，非触发引信是自动的时间引信，原则上不需要进行装定和调整。因此，非触发引信在美国被命名为“VT”引信，“VT”(Variable Time)是可变时间的意思。在苏联被称为“非接触引信”(Неконтактные Взрыватели)，在日本被称为“近接引信”(近接信管)。

装有非触发引信的榴弹对地面目标进行空炸射击时，不象时间引信那样要进行既麻烦又费时间的炸高试射，能够较快地转入效力射。由于非触发引信的作用和弹丸(导弹)的飞行距离无关，所以采用非触发引信可以在不同距离上解决战斗任务。例如，152 mm 加榴炮采用空炸榴弹对有生力量进行射击时，采用老式药盘时间引信Д-1，至多达到6~7 km，用非触发引信，战斗任务就可以在射程上(到18km)得到解决，同时还能保证在一切距离上射击效果相差不大。对有战壕、掩体等防护的目标射击时，如果炸高适当，非接触引信对目标的毁伤效果尤为突出。

对空中目标射击时，必须使弹丸(导弹)的弹道通过目标周围的杀伤区，当弹丸(导弹)进入这个区域时，非触发引信即能自动地起爆主装药，达到毁伤目标的目的。一般中大口径榴弹非触发引信对空中目标的最大作用半径大都在20m以上，无需直接命中目标，只要在目标周围一定杀伤区域内爆炸，就达到毁伤目标的目的。因此，和触发引信必须直接命中目标相比，就好象使目标的有效尺寸增大了许多倍。非触发引信和时间引信不同，不

需要进行时间装定就可以自适应地选择最佳起爆时间。而其射击规范则和触发引信一样。因此，不论是对空中目标还是对地面目标进行射击，非触发引信都能大大提高命中率和毁伤效率。

非触发引信是一种有良好战术技术性能的引信，已被广泛地用在原子弹、各类导弹、各类炮弹、火箭弹、航弹、特种弹（纵火弹、化学弹）以及各种地雷、水雷、鱼雷等上。对付的目标有空中的，有地面的，有水上的，也有水下的。

采用非触发引信除能提高弹药威力外，还能减少弹药消耗，减轻后勤供应，易于抓住战机、简化训练方法等。

由于非触发引信具有上述特点，所以普遍引起各国的重视，成为现代战争中技术兵器的一个重要组成部分，得到了广泛的发展和应用。

目前非触发引信存在的问题是可靠性不如触发引信和时间引信。另外，易于受到自然的和人工的干扰。

## 二、历史回顾和发展

非触发引信被人们提出来研究和试制的工作，早在二十世纪三十年代就已开始了。当时的德国、英国和苏联就对各种类型的非触发引信作了研究和试制，曾先后设计了多种类型的非触发引信，它们主要是以非无线电的声、光、磁原理为基础。

美国直到1940年左右才注意到这方面的研究工作<sup>[1]</sup>。它把雷达技术很快移植到非触发引信上，而后来居上，在非触发引信技术的发展上，处于遥遥领先的地位。美国研究无线电引信，从发展到装配部队为时只用了两、三年，耗资十亿多美元，到第二次世界大战结束时，共生产出可用的无线电引信达两千万发之多，动员了全国电子工业的三分之一力量，在研制过程中，投入的人力不下8~10万人。非接触引信与原子弹、雷达一起被誉为第二次世界大战期间的三大发明。

在五十年代，非触发引信的性能进一步完善，可靠性由初期的百分之七、八十提高到了百分之九十以上；有效寿命由几个月

或几年提高到十年以上；由初期的因受气象条件影响而不能全天候使用到全天候使用。特别是由于各类导弹的发展对引信的性能提出了更高的要求，除简单连续波多普勒引信体制外，出现了性能更完善的脉冲多普勒、调频、脉冲等包含更多信息的体制。红外线引信等非无线电引信也开始装备部队。

六十年代到七十年代以来，现代电子学、雷达技术、电子计算机、微电子技术、红外技术、激光技术、遥控技术等，都很快地应用于非触发引信上。40年代和50年代，使用的器件主要是超小型电子管；60、70年代，出现了电子管晶体管混装，又发展到分离晶体管，直到集成电路化。例如，美国中大口径地面炮榴弹几乎都用集成化的通用无线电引信 M732；迫击炮弹等研制了集成化的多用途引信 XM734，这种引信可以根据需要实现近炸、定时炸、碰炸和延期炸等。

为了进一步提高引信和弹的配合效率，增强抗干扰能力和提高可靠性，研究了获得更多信息量的各种引信体制，如噪声调制、编码引信和其他非无线电引信体制以及联合体制等。

在装配、调试、检验、生产等方面，采用了电脑，实现了非接触调试，提高了效率，保证了质量，实现了高度自动化。

特别是计算机引信的出现，使引信具有逻辑判断能力，大大提高了引信的性能。末端制导引信的提出，引起人们广泛注意，传统的引信概念已发生了变化。非触发引信所担负的任务范围扩大了。

我国50年代开始研究非触发引信，经过60年代的仿制阶段，到70年代逐步过渡为自行设计。但是，和世界先进水平相比，我们的差距还很大，只有踏踏实实的工作，才能迎头赶上去。

世界各国对非触发引信的研究十分重视，随着现代科学技术的发展和不断的总结实践经验，在努力提高现有非触发引信性能的同时，大力发展各种新型非触发引信。总起来说，非触发引信的发展趋势如下所述。

1. 进一步提高引信的可靠性和安全性，为此在引信中采用贮

备系统，采用多种原理的多路起爆系统。美国近代引信一般都配有两种以上的安全保险机构和辅助击发机构。这就可使引信的正常作用率大为提高。

2. 在非触发引信生产技术和质量控制中实现自动化。零件的制造、装配、测试、产品性能检验等，应用电子计算机进行质量控制，以保证质量，降低成本。

3. 引信部件标准化。把各种引信的部件做成标准组件，如引信天线组件、电子合件、目标探测装置、保险和解除保险机构等。有些组件是多种引信通用的，可以根据不同的需要进行组合或互换，力求通用性好，使用方便和易于商品化。

4. 发展多用途引信。使一发引信同时具有碰炸、延期炸、近炸和定时炸等多种性能。这样以来，一发引信顶几发引信用，可解决多年来引信型号繁多的老大难问题，简化型号，提高武器系统的效率，扩大使用范围，简化勤务处理和部队训练。引信多用途化对生产自动化，保证质量、降低成本、组织大量生产都有好处。

5. 广泛利用微型化技术。这样可使引信具有体积小、功能多、作用可靠等优点。

6. 以无线电引信为主，注意各种物理场非触发引信的研究。无线电引信的发展着眼于寻求能获得更多信息量的新体制，新波段的探讨，以提高引信实现三大指标（引弹配合、抗干扰和可靠性）的自适应能力。非无线电引信方面，比较有成效的是红外引信、激光引信和磁引信。

7. 计算机引信和末端制导引信的出现，突破了引信的传统概念，使引信既能探测目标，识别目标，并且具有逻辑判断能力，可以自适应地控制起爆位置和方向，并能给出修正末弹道的指令，把弹导向目标。

8. 作为近距离探测目标，识别目标，并给出控制信号的近感技术，不仅应用在引信上，在宇航上（如飞行器的对接，应急脱险、登月舱的自动控制等），在交通管理的自动化上、汽车、轮船的防撞上、在工业生产的自动化上以及防盗报警等许许多多

方面被广泛利用。已经形成了一个独立发展、有自己特点的新科学。这一点也正是我们专业学科的发展方向和内容，是搞军民结合、平战结合的前进方向。

## 第二节 非触发引信的分类

非触发引信有很多种分类方法，这里只介绍几种最常用的有代表性的分类方法。

### 一、根据目标与引信的空间物理场的性质来分类

非触发引信根据其借以工作的空间物理场的性质，可分为无线电引信、非无线电引信和联合体制引信三大类，如图1-1所示。

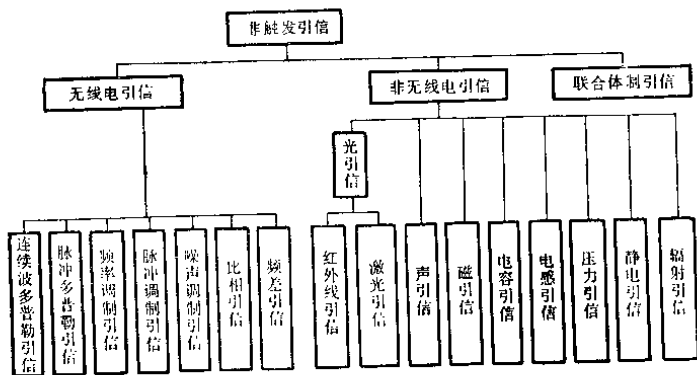


图1-1 非触发引信的分类

无线电引信借以工作的空间物理场是无线电电磁辐射场，即靠电波工作的。无线电引信的工作波段包括米波、分米波、厘米波和毫米波，是相当宽的。根据工作波段的不同，又可分为米波无线电引信、微波无线电引信等。

无线电引信又叫雷达引信。雷达这个名词是外来词的译音，原义是“无线电探测和测距”或“无线电定位术”。它的工作原理

是发射一种特定形式的无线电波并接收由目标反射的回波信号。雷达引信是属于极近程雷达，在理论和实践上有其特殊性，这一点很重要，必须特别注意。

无线电引信根据其工作原理可分为：

1. 连续波多普勒引信。弹目之间有相对运动时，产生多普勒效应，即引信发射的频率和由目标反射回来的信号频率不同，差一个多普勒频率。利用检测多普勒信号而工作的引信叫多普勒引信。这种引信结构简单，作用可靠，是目前应用最广泛的一种引信，特别在常规弹药引信上应用更为普遍（详见第六章）。

2. 脉冲多普勒引信。引信按规定的周期和脉冲宽度间歇地发射射频信号的一种多普勒引信。这种引信体制具有相关接收性能，能获得较多目标信息，因而具有良好的抗干扰性能和距离截止特性（详见第六章）。

3. 频率调制引信，又叫调频引信。引信发射经过调频的射频信号。目标反射的回波信号频率和发射波信号频率有一个差频，这个差频是由于接收回波信号相对发射波信号的滞后  $\tau = 2R/c$  造成的（式中： $R$ ——弹目距离； $c$ ——光速）。这种调频引信可以获得距离信息，还可以利用寄生的多普勒频率获取相对速度信息。但是调频引信的距离分辨能力较低，因而使用范围较窄，通常用于飞机高度表及单目标系统，很适合于引信（详见第六章）。

4. 脉冲调制引信，又叫脉冲引信。此种引信对发射信号进行窄脉冲调制。接收机接收由目标反射回来的回波脉冲。通过测量发射脉冲与回波脉冲的时间间隔，得出电磁波往返距离所需时间  $\tau$  ( $\tau = 2R/c$ )，从而获得目标的距离信息。脉冲引信的距离选择性强，有利于选择最佳炸点。这种引信具有较好的距离截止特性，能抑制作用距离外的各种干扰（详见第六章）。

5. 噪声调制引信。此种引信发射被随机噪声调制的射频信号。利用发射信号和由目标反射回来信号之间的相关特性来探测目标，并使引信起爆。这种引信的信号具有图钉形的模糊函数，引信的抗干扰性好，距离选择性好（详见第六章）。

6. 比相引信。利用两个接收天线，分别接收由目标反射回来的信号，并比较两者的相位差，从中检测出目标的方向角。这是一种测角雷达系统，可使引信在最佳起爆角上起爆主装药（详见第六章）。

7. 频差引信。频差引信是利用弹目接近时多普勒频率变化规律而工作的。我们知道，当弹目距离较远时，多普勒频率  $f_d$  变化是很缓慢的，接近于常数。但是，弹目距离  $r$  较近时（弹目距离在脱靶量  $\rho$  的三倍之内），多普勒频率急剧变化，如图1-2所示。

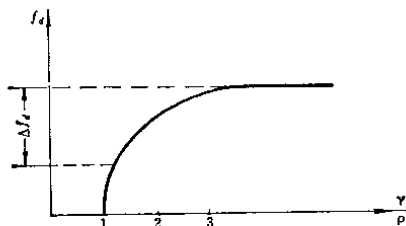


图1-2 弹目接近时多普勒频率的变化规律

频差引信就是利用多普勒频率的变化量达到某一规定值  $\Delta f_d$  时对应的起爆角而作用的（详见第六章）。

非无线电引信是依赖无线电波工作的无线电引信以外的其他非触发引信。这些引信利用多种物理场的变化来探测目标，其中主要包括红外线、激光、声、磁、电容、电感、压力、静电和辐射等。

1. 红外线引信。我们知道，大于绝对温度一度以上的任何物体都有红外线辐射，温度越高红外线辐射越强。飞机、军舰、坦克等在战斗状态都有大量红外线辐射。红外线引信就是利用目标的红外线辐射场（热辐射场）而工作的，其应用之广仅次于无线电引信。这种引信大部分是属于被动型引信。

美响尾蛇空对空导弹红外线引信的原理方块图如图1-3所示。光学接收器原理光路图如图1-4所示。引信进入目标红外线辐射场



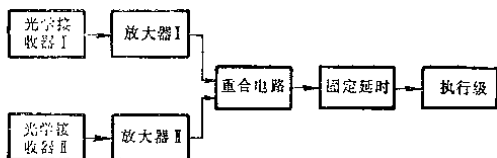


图1-3 响尾蛇空空导弹红外线引信工作原理方块图

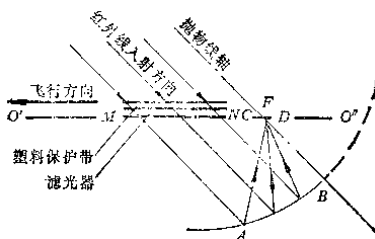


图1-4 光学接收器光路图

时，由目标射来的红外线经过塑料保护带、滤光器和狭缝 $MN$ ，投射到旋转抛物面反射镜 $AB$ 上，又被反射镜反射到位于抛物面焦点 $F$ 处的光敏电阻面 $CD$ 上。狭缝设置在与弹轴平行的 $O'O''$ 上。入射光视场的倾角（与弹轴的夹角）由截平面上抛物线轴的方向决定。反射镜的旋转抛物面是由抛物线 $AB$ 围绕轴 $O'O''$ 旋转不少于 $90^\circ$ 而形成的。塑料保护带是用来保护光学接收器的。滤光器选择光谱，使其响应限制在目标辐射光谱的有限范围内。硫化铅光敏电阻在目标热辐射作用下改变自己的阻值，而把光信号变成电信号。

这种引信的信号处理电路和执行级与其他非触发引信相比，没有什么特殊的地方。它的优点是：具有尖锐的方向性，实现方向性选择较容易；对人工有源干扰具有良好的抗干扰能力；结构简单。这种引信存在的问题是对于目标辐射的依赖性。因此，工