

# 弹药爆炸系列的 原理与设计

国防工业出版社

# 弹药爆炸系列的 原理与设计

陈福梅等 译

国防工业出版社

1975

Explosive Trains  
U. S. Army Materiel Command  
1965

弹药爆炸系列的原理与设计  
(只限国内发行)  
陈福梅等 译

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业登记证出字第074号

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

787×1092<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 印张8<sup>3</sup>/<sub>4</sub> 185千字

1975年1月第一版 1975年1月第一次印刷 印数: 0,001—4,000册  
统一书号: 15034·1370 定价: 0.92元

## 出版者的话

遵照毛主席“洋为中用”的教导，我们将美军编印的这本“Explosive Trains”翻译出版，供从事弹药生产和科研的同志，以及有关专业师生参考。本书主要讨论弹药爆炸系列组件的性能和设计，对爆轰理论、起爆理论、试验和装药方法等也作了简要介绍，还提供了一些实验数据，涉及面广，但不详细深入。

在译校过程中，已将带有资产阶级观点和不合我国情况的语句删去。但是，为了保持叙述的完整，所删不多，阅读时请持批判的态度，只吸收其有益的成分。另外，原书有些插图模糊不清，其中无法描绘的（或找不到适当插图来代替的），都删掉了。书中数据没有进行核算，只可参考，若要使用，务请查核或进行试验。

本书的译校工作主要是由陈福梅同志担任的，参加翻译的还有：丁橄（第一章）、李学同（第六章）、劳允亮（第五章部分）和余从煊（第十一章部分）等同志；翟玉文、赵彩蕊、焦彦玲三位同志，以及某学院的十数位工农兵学员曾协助描绘插图和抄写稿件，在此对他们致以谢意。

# 目 录

## 第一部分 基本原理

### 第一章 武器系统的组成部分——炸药装药

#### A. 绪论

1. 目的 ..... 7
2. 爆炸系列 ..... 7
3. 选择炸药的根据 ..... 10

#### B. 从武器系统角度分析弹药

4. 运载方面 ..... 13
5. 结构方面 ..... 18
6. 机械方面 ..... 21
7. 电气方面 ..... 23

#### C. 设计的一般考虑

8. 经济性 ..... 24
9. 可靠性 ..... 25
10. 安全性 ..... 26
11. 标准化 ..... 27
12. 资料的来源 ..... 28

#### 参考文献 ..... 29

### 第二章 爆炸反应和起爆

#### A. 热分解和燃烧

13. 热分解 ..... 30
14. 反应动力学 ..... 31
15. 起爆的热点理论 ..... 34
16. 速燃 ..... 36

#### B. 爆轰

17. 速燃到爆轰的转变 ..... 38

18. 冲击波 ..... 42

19. 爆轰波 ..... 45

#### C. 起爆 (发火)

20. 自行传播反应的建立 ..... 51
21. 热起爆 ..... 53
22. 冲击起爆 ..... 58
23. 其他方法起爆 ..... 62

#### 参考文献 ..... 65

### 第三章 爆轰的传递与输出

#### A. 一个炸药柱起爆另一个炸药柱的有效性

24. 爆轰的传递 ..... 68
25. 药柱尺寸相互的关系 ..... 69

#### B. 起爆感度

26. 感度试验 ..... 71
27. 影响感度的因素 ..... 75
28. 错位的药柱 ..... 81

#### C. 输出

29. 炸药输出的性质 ..... 81
30. 药柱形状的影响 ..... 82
31. 爆破作用 ..... 85
32. 破片作用 ..... 87
33. 其他输出效果 ..... 90

#### 参考文献 ..... 93

### 第四章 环境的影响

34. 军事上的要求 ..... 96

#### A. 温度

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 35. 高温贮存.....         | 97  |
| 36. 自炸.....           | 103 |
| 37. 高温使用时的其他影响因素..... | 108 |
| 38. 低温贮存和使用.....      | 110 |

## B. 环境

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 39. 化学作用.....   | 111 |
| 40. 冲击模拟试验..... | 113 |
| 41. 后座加速度.....  | 115 |
| 42. 其他影响因素..... | 117 |

|            |     |
|------------|-----|
| 参考文献 ..... | 121 |
|------------|-----|

## 第二部分 设计的考虑

|             |     |
|-------------|-----|
| 43. 引言..... | 125 |
|-------------|-----|

## 第五章 火帽和雷管

### A. 概述

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 44. 作用和结构.....      | 126 |
| 45. 起爆器的类型.....     | 127 |
| 46. 选择起爆器类型的根据..... | 131 |

### B. 输入性能

|                |     |
|----------------|-----|
| 47. 针刺起爆器..... | 133 |
| 48. 撞击火帽.....  | 135 |
| 49. 火焰雷管.....  | 136 |
| 50. 电起爆器.....  | 137 |

### C. 输出特性

|                |     |
|----------------|-----|
| 51. 火帽的输出..... | 148 |
| 52. 雷管的输出..... | 149 |

### D. 结构和制造

|                |     |
|----------------|-----|
| 53. 雷管的壳.....  | 155 |
| 54. 炸药装药.....  | 156 |
| 55. 机械起爆器..... | 157 |
| 56. 电雷管.....   | 158 |

|           |     |
|-----------|-----|
| 参考文献..... | 161 |
|-----------|-----|

## 第六章 延期元件

### A. 概述

|                |     |
|----------------|-----|
| 57. 作用和结构..... | 163 |
| 58. 延期的形式..... | 163 |
| 59. 接火药柱.....  | 168 |

### B. 延期药

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 60. 产生气体的延期药..... | 169 |
| 61. 无气体的延期药.....  | 172 |

### C. 设计原则

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 62. 密封式和通气式的选择..... | 178 |
| 63. 设计的经验规律.....    | 179 |

|            |     |
|------------|-----|
| 参考文献 ..... | 180 |
|------------|-----|

## 第七章 导引传爆药与传爆管

### A. 综述

|             |     |
|-------------|-----|
| 64. 概述..... | 182 |
| 65. 作用..... | 184 |
| 66. 炸药..... | 186 |

### B. 设计考虑

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 67. 和引信设计的关系..... | 188 |
| 68. 导引传爆药.....    | 189 |
| 69. 传爆管.....      | 192 |
| 70. 药柱密度的影响.....  | 193 |
| 71. 输出波形.....     | 194 |

### C. 结构和制造

|                  |     |
|------------------|-----|
| 72. 装药方法.....    | 196 |
| 73. 短导引传爆药柱..... | 198 |
| 74. 长导引传爆药柱..... | 200 |
| 75. 传爆管.....     | 201 |

|            |     |
|------------|-----|
| 参考文献 ..... | 202 |
|------------|-----|

## 第八章 主爆炸装药

### A. 综述

76. 作用..... 204  
 77. 典型主爆炸装药..... 204  
 78. 尺寸和重量..... 207

## B. 引爆

79. 感度..... 208  
 80. 炸药的装药..... 209  
 81. 传爆药柱的安放位置..... 209  
 82. 辅助传爆药柱和传爆药的  
     围绕装药..... 210  
 83. 外壳的性质..... 211

参考文献 ..... 211

## 第九章 其它炸药装药

### A. 启动器

84. 概述..... 212  
 85. 输出特性..... 214

### B. 机械的装配和配件

86. 破坏装置..... 215  
 87. 炸药管和炸药片..... 216  
 88. 爆破块..... 217  
 89. 爆炸螺栓..... 217

参考文献 ..... 218

## 第十章 装药和制造

90. 制造方法的选择..... 220

### A. 注装

91. 弹体准备..... 221  
 92. 注装对炸药性质的影响..... 221  
 93. 标准注装过程..... 222

94. 特殊注装法..... 227

### B. 压装

95. 标准方法..... 225  
 96. 特殊的方法..... 232

### C. 最后修饰加工

97. 机械加工..... 236  
 98. 复合药柱的粘结..... 237

### D. 适应性

99. 有效性..... 237  
 100. 输出特性 ..... 239  
 101. 感度 ..... 239  
 102. 化学性质和物理性质 ... 240

### E. 质量控制

103. 公差的基础 ..... 243  
 104. 影响药柱质量的因素 ... 244

参考文献 ..... 245

## 第十一章 鉴定方法

### A. 鉴定中要考虑的问题

105. 操作过程的安全性  
     与可靠性 ..... 247  
 106. 统计试验的方法 ..... 255

### B. 试验技术

107. 炸药 ..... 259  
 108. 输入 ..... 266  
 109. 输出 ..... 270  
 110. 环境 ..... 274

参考文献 ..... 278

# 第一部分 基本原理

---

## 第一章 武器系统的组成部分

### ——炸药装药

#### A 绪 论

##### 1. 目的

本书的内容包括设计爆炸系列各部分的元件所采用的原理和要素。这些元件包括火帽、雷管、接火药、延期药、导引传爆药、传爆管和主爆炸装药。此外书中涉及到在设计启动物、爆炸开关和破坏装置等非军工产品之主要爆炸系列的元件中所用到的原理和要素，特别是那些与主爆炸系列中不同的原理。

对点火、速燃和爆轰现象，以及它们与周围介质中产生的作用之间的相互影响都作了讨论，特别着重于对炸药装药设计者重要的那些方面。也讨论了鉴定方法、装药方法以及设计对于意外发火的概率，对可靠性和对使用寿命的影响等。

##### 2. 爆炸系列

爆炸系列是一些炸药元件的组合物，按它们感度递减的次序排列而成。爆炸系列的功能是将一小冲量有控制地增大为适当的能量，以引爆弹药主装药。

按照主装药中所用炸药的类型，爆炸系列可以分为两大类：高速爆炸系列和低速爆炸系列。爆炸系列也可以根据它

組裝的或它附屬的器件命名。高速爆炸系列中最普通的例子是引信傳爆系列。如果加上爆炸裝藥，通常就稱為爆炸裝藥的傳爆系列。低速爆炸系列的一個常例是發射裝藥的發火系列。除非另外註明，本書的爆炸系列是指高速爆炸系列。

引信傳爆系列中的爆炸或燃燒元件是這樣安排的：

- (a) 它們能夠按所需要的方式起作用；
- (b) 作用時，它們具有需要的作用可靠性；
- (c) 在一切可預料的處理、貯存、運輸和使用條件下，早期作用的概率最小。

在這樣一個組合件中的主要元件通常是：

(a) 裝在一個合適的殼中的起爆藥或低速炸藥裝藥，它能夠：(1) 由一較小的沖量(機械的或電的)引起作用；(2) 產生自動傳播的反應。此時起爆藥的輸出主要是較低速的熾熱氣體和質點。

(b) 用一種起爆藥(普通是以氮化鉛)作為中間裝藥，把燃燒轉變為爆轰。

(c) 用一個猛炸藥裝藥藥柱(例如 RDX)，使中間裝藥輸出的沖量加強。

(d) 由猛炸藥(例如 TNT)構成的主裝藥來產生所需要的作用。

為了設計的方便和某種特殊的目的，在爆炸系列中常常還包括下列輔助元件：

(a) 導引傳爆藥和接火藥，在空間上分開的元件之間傳遞爆炸反應。

(b) 延期藥或時間元件，使得第一個元件發火到主裝藥爆炸之間的時間間隔加大。

(c) 传爆药, 它应足够敏感, 可由猛炸药装药 (如接火药等) 较小的作用所起爆。它又有足够的威力来引爆通常用作主装药的不敏感的猛炸药。

在某些弹药中, 应用下列辅助元件 (而它们本身就是一个完备的爆炸系列), 以完成特殊任务:

- (a) 启动器;
- (b) 爆炸螺栓;
- (c) 破坏装置。

上面的叙述主要适用于最普通的爆炸系列, 即一个使猛炸药起作用的系列。如果输出是非爆炸性的, 则在系列中也同样要通过点火和辅助元件。然而, 这种爆炸系列通常都有由火帽装药引起的燃烧阶段。这样的非爆炸性系列的例子有信号火具、烟幕弹、发射系统、降落伞包和宣传弹。

图 1 表示一个简单的爆炸系列。图中所示为 M505 弹头

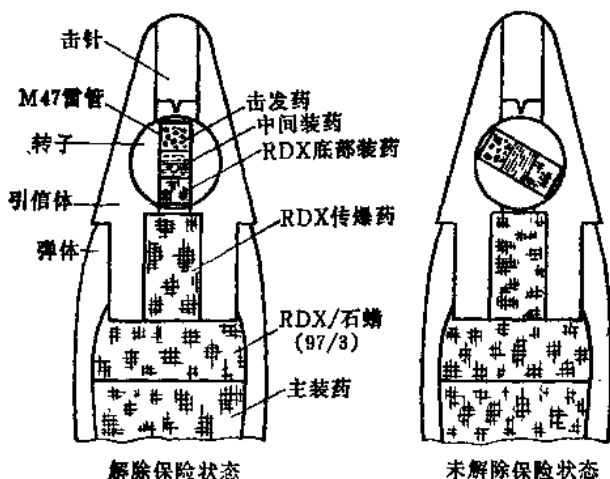


图 1 典型的爆炸系列

引信示意图，它用于 20 毫米口径弹。图中有解除保险的和未解除保险的两种情况，但机械结构的细节已经略去。

解除保险就是引信已处于待发状态。这时，弹丸撞击目标，引信就会相继发生下列动作：

(a) 针刺击针刺入 M47 雷管的端部，穿透薄金属盖片，并插入击发药中，针刺的作用使击发药发生反应。

(b) 击发药使雷管中的氯化铅（中间装药）起爆，并转变为爆轰。

(c) 氯化铅的爆轰传到雷管底部的 RDX 装药而得到加强。

(d) RDX 传爆药和弹丸内的端部装药使爆轰波加强，而保证弹丸中主装药的完全爆轰。

在超速引信中，整个过程只有几个微秒，而在延期作用的引信中，从击发药作用到主装药爆炸长达几百毫秒。在击发药与中间装药之间引入了一个定速燃烧的专门的烟火剂药柱就能得到这样的延期。

装有雷管的转子，由于炮弹从火炮内发射时所受到的直线力和转动力的作用，与爆炸系列其它元件对准。图 1 未解除保险状态的视图中，引信处于安全（或未对准）位置。引信保险装置的目的是使爆炸系列中较敏感的炸药与主装药隔离。因为这种较敏感的炸药较易于因意外作用而起爆，但只要在安全位置，即使起爆了，也传不到主装药。

### 3. 选择炸药的根据

当设计人员准备设计一个爆炸系列时，他必须作多种决定。在他选择爆炸装药之前，对于起动该系统的输入冲量和该系统应有的最后输出，必须有清楚的概念。在这两者之间，

他必须组合多种炸药部件。然后整个系列就构成爆炸系列。

因为爆炸系列的目的是使主爆炸装药作用，首先考虑它是合理的。装药的设计要能提供对弹药所要求的输出。虽然所有设计要求中都对输出作了规定，但通常给出的项目却不能为爆炸装药设计人员直接利用。

从使用者提出的要求出发（例如：可能需要击毁坦克，杀伤人员或者发出信号），弹药设计者将这需要变为专用的弹药。例如，使用者要的可以是90毫米无座力炮用反坦克破甲弹，或者是踏发的非金属地雷，或者是放出持续20秒的红烟的信号弹等等。设计爆炸装药的人员接受下这个任务：提出在反坦克弹破甲弹中猛炸药主装药的重量和形状；决定地雷中的药量，和弹药设计人员一起确定地雷尺寸，以达到所要求的作用；或者提出信号弹中猛炸药的重量和形状以及发烟的化学剂的组成等。

如口径已确定或形状已为弹道要求所规定，要设计弹丸或航弹之类的东西，这时设计装药输出的任务是十分简单的。只要在给定的容积中装进去尽可能多的炸药就行了。例如，一个轻壳航弹总重的百分之七十是猛炸药装药。爆破作用（第31节）和破片作用（第32节）弹的设计原理已经很完善了。化学弹的炸药必须将外壳炸开，并使药剂散布有效。有关主装药的设计将在第76~83节讨论。

在系列的另一端是起爆器。这个爆炸系列中第一个元件的正确选择和设计可能是比较困难的。为此有必要对这个问题作深入讨论（第46节）。第44~56节讲的就是关于起爆器的设计。

几乎所有弹药中的一个基本的安全要求是起爆器必须保

持在安全位置（保险状态），这样万一敏感的起爆器发生意外作用时，爆炸不致于传播下去。虽然爆炸装药设计者肯定对这些安全装置很关心，但它们并不包括在本书内。各种保险和解除保险装置的设计、结构、安装和评价是引信设计部分的内容●。

要考虑的下一个元件是传爆药。大部分装猛炸药的弹药都有传爆药。传爆药一方面应足够敏感，可为小的爆炸元件所起爆，另一方面又有足够大的威力以引起主装药的爆轰。特屈儿和黑索金是有这些性质的常用的炸药。传爆药最好要放在主装药的一个孔（引信室）内。在第64~75节中将讨论传爆药的设计。

从爆炸系列传爆的观点来看，传爆药柱本身就具有爆炸系列所要求的内容。但为了安全性和适应性，有些军用弹药还要求一个完整的传爆管，包括它自己的雷管和保险机构。这是个次级的系列，设计方法和主系列相同。

以上我们已经讨论了输出端的主装药、传爆药和输入端的起爆器。这三者是各系列中所需要的基本元件。如果爆炸系列是用于一个小的装置中，其它装药就没有必要了。有时在系列中加入其它装药，那是为了满足特殊的需要。

如果在起爆器和系列的最后作用之间需要一段时间间隔，就可在其间插入一延期元件。通常，在延期药的末端还需要一接火药柱，这样可以把延期药的输出形式从速燃变为爆轰波。延期元件将在第57~63节中讨论。

爆炸系列中另一个常用的元件是导引传爆药。由于膛内

---

● 可参考本社出版的“引信设计原理”一书。——国防工业出版社编者注

安全的要求，雷管或接火药与传爆药之间隔的很开，这样，爆轰波就难于传过去。在这个间隔中装一导引传爆药柱。导引传爆药柱用的炸药与传爆药柱相同。导引传爆药在第64~75节中讨论。

有时不要求引爆主装药而要求其它的功能。例如要求一个启动器产生一个力，经过一短距离使控制器起作用或者关闭开关。因其小而可靠，它们最适于远距离控制。爆炸螺栓和破坏装置也是起辅助作用装置的例子。它们的设计见第84~89节。

对于所有炸药装药和它们组成的系列都必须很好设计。装药应有正确的几何形状和感度，还必须有合适的密度和外壳，这些将在第24~28节加以讨论。它们必须与其它炸药和金属部件相容（不起作用），它们必须操作安全，能耐受在贮存和使用时的高温和低温，这些将在第34~42节讨论。组成安全可靠的系列的炸药装药的设计迄今还没有简化为公式，在颇大程度上还是需要经验。特别是在设计一个不常用的系列时应当慎重。

设计完毕后，系列应经过彻底的试验和鉴定，如第105~110节所讨论的那样。

## B 从武器系统角度分析弹药

### 4. 运载方面

#### a. 概述

大部分弹药是通过一段距离（射程）抛射到目标去的。最大速度和射程两者都随着发射药和设计的改进而增大。在运载的问题上炸药装药设计者必须要考虑以下四个方面：

(a) 一发炮弹的射程和精度决定于它的空气动力特性。由空气动力上的考虑而决定的外形限制了炸药系统的尺寸和形状。

(b) 为保证飞行的稳定性,有时必须修改炸药装药的设计以适应重量的正确分布。

(c) 许多现代导弹的速度高,飞行时间长,因此,由于空气的动力加热作用使炸药装药的设计中产生了许多新问题。

(d) 发射、飞行和撞击时的加速度力是弹药结构载荷的主要来源。

除了要考虑弹药在作为运载器作用情况下的一般的重要性外,炸药装药设计者必须考虑由于运载系统而可能产生的特殊条件。由于速射炮和发射器的机械作用有时是相当大的,如果在设计时,对这些作用不加考虑的话,那么产生的后果是不堪设想的。速射炮的炮膛由于长时间的发射也会加热到很高的温度,如在停止射击后还有一发弹留在炮膛内,则很可能发生爆炸。

前面列出的对于炸药装药设计的限制的前两项是关于尺寸和空间形状方面的。一般,它们在炸药装药的设计规范或军事要求中加以明确地规定。而气动力加热和加速度力的影响通常不是稍看一下图纸就容易看出来的,但它们却常能影响弹药的作用。

#### b. 空气动力加热

一个炸药系统不仅要抗得住高温,而不致过早的作用,它还必须在受热时或受热后仍能够有效并可靠地起作用。使用炸药装药绝热层是相当有效的,因为受热时间这样短,在

降低了热传导率的情况下炸药的热容就足以使温度不超出规定的范围。然而随着速度和射程的继续增加，绝热层的厚度也要增加，以致战斗部的有效性会受到严重削弱。这是由于它一方面把炸药挤掉了，另一方面它包在弹壳上会大大地减小冲击的速度。高温对炸药的影响在第 35~37 节中更详细地讨论。有些较新的炸药抗热性较好，但不能注装。应用这些炸药时就必须改变弹体的设计，以利于 (a) 炸药装药的加固或者 (b) 预制炸药装药柱的装配。

要测定弹药内部空气动力加热后的温度分布是困难而复杂的，也超出了这里讨论的范围。但设计者常常可能用系统的简化模型，作几步迅速的计算，得到大致的答案，如究竟是否需要详细的计算，是否要更换炸药或者是否需要炸药装药绝热层等。下面的讨论就是为了作这样的近似计算。

在空气中运动的物体周围的流动情况，以与物体一同运动的座标系进行考察是最简单的。在这个系统中，未扰动的空气是一无限流，以等于物体在静止座标系中的运动速度流动。很清楚，物体阻碍着空气的流动。按照伯努利 (Bernoulli) 原理 (动量守恒)，流体中部分速度的降低必然伴随着该处压强的升高。气体迅速压缩使其温度升高。在这样的系统中任何一点可以预期的最高温度称为滞止温度，是相对于物体为静止的 air 的温度。计算滞止温度  $T_s$  的公式为：

$$T_s = T_0 (1 + 0.2M^2), \quad (1)$$

式中  $T_0$  是未扰动空气的温度， $M$  为马赫数。温度以  $^{\circ}\text{K}$  计。

如果滞止温度低于使炸药装药起坏效果的温度 (如在第 36~37 节中讨论的那样)，就没有空气动力加热问题了。

滞止温度高到足以对炸药发生有害的影响不是采取特殊

措施的必然理由。运动物体只有一小部分表面暴露于滞止温度的空气之中。空气附面层在有显著的切向分流的各点与表面接触,此处的温度接近于一恢复温度,此温度比滞止温度低得多。恢复温度  $T_r$  与滞止温度  $T_s$  之间的典型关系式为:

$$\frac{T_r - T_0}{T_s - T_0} = 0.8 \sim 0.9 \quad (2)$$

这一比值随物体的速度、位置和形状而改变。

大部分弹药飞行的速度很高,那时大气的滞止温度足以对炸药产生不利的影响,但是飞行的时间是有限的。在这段时间内炸药究竟是否达到不利的高温这一问题,只有在对热流进入每一部件的情况进行仔细考察之后才能回答。

当滞止温度超过了炸药安定的温度,并且设计更为错综复杂时,究竟炸药装药能否耐住气动加热,解决这个疑问的方法愈来愈繁杂和不肯定。消除这些疑问的唯一途径只有引入一热障。有些情况中一个简单热障不仅能有效地保护炸药,而且能使传热计算简化为简单的算术式。例如,如果在一个炸药装药的金属壳外面敷以薄薄的一层绝热层,作为一级近似就可以假设金属并不传热给炸药,就可以假设表面的热传导系数为无限,并且绝热层的热容量可以忽略不计。如果作了这些假设,壳的加热速度是:

$$\frac{dT_c}{dt} = \frac{(T_r - T_c)k_i}{\gamma_i \gamma_c c_c \rho} \quad (3)$$

其中  $T_c$  是壳的温度,  $T_r$  是参考温度,  $k_i$  是绝缘层的热传导系数,  $\gamma_i$  是绝缘层厚度,  $\gamma_c$  是外壳的厚度,  $\rho$  是外壳材料的密度,  $c_c$  是外壳材料的热容量。所有以上的假设都是比较保守的,因而由此计算的升温比实际的更快。因此,如果计算