

## 起爆器材

工程爆破是一种特殊的作业，必须确保安全可靠，故在爆破中所用的炸药必须通过各种专用的起爆器材进行起爆。

起爆器材可分为起爆材料和传爆材料。

起爆材料：各种雷管，导爆索、起爆药柱。

传爆材料：导火索，导爆管，导爆索，还包括起爆器和起爆所需的其它用品。

下面介绍它们的原理、结构、性能及检验方法，以便能在生产中合理选择和使用起爆器材。

### 一、雷管

雷管根据其内部装药结构的不同，分为有起爆药雷管和无起爆药雷管两大系列。根据点火方式的不同，分为火雷管、电雷管和非电雷管。而在电雷管和非电雷管中，又分别有秒延时、毫秒延时系列产品。

#### （一）电雷管

有起爆药雷管是由加强帽、起爆药、加强药，并用雷管壳组合而成的整体。根据点火形式的不同，又分为火雷管、电雷管和非电雷管。

根据我国《民用爆破器材“十一五”规划纲要》的要求，导火索、火雷管已于2008年1月1日起停止生产。

电雷管是一种用电流起爆的雷管。

电雷管的品种较多，常用的有瞬发电雷管、延时电雷管以及特殊电雷管。

延时电雷管根据延时的时间间隔不同，又分为以秒为单位的秒延时电雷管和以毫秒为单位的毫秒延时电雷管。下面介绍瞬发电雷管、延时电雷管。

#### （1）瞬发电雷管

从通电开始到雷管爆炸只经历极短暂的瞬间，所以把它称为瞬发电雷管。其结构如图1。

管壳：金属或纸制圆筒；

起爆药：二硝基重氮酚；

加强药：黑索今；

电点火装置：

直插式：桥丝直接插入二硝基重氮酚，脚线、密封塞，无加强帽；

药头式：桥丝、脚线、密封塞、桥丝周围涂有引火药，制成圆珠状的引火头（氯酸钾、木炭、二硝基重氮酚和骨胶），有加强帽。

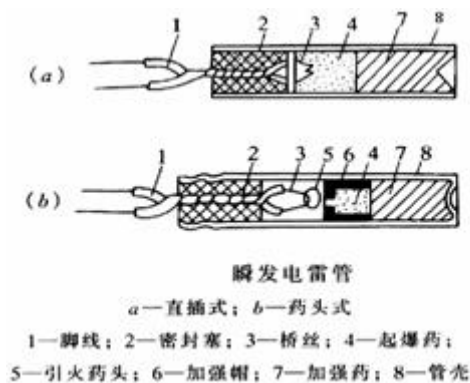


图1 瞬发电雷管

电点火装置由三部分组成：桥丝、引火头和脚线。如图2所示。

桥丝：是一个电阻丝，材料有康铜丝和镍铬丝两种。其电阻：康铜为 $0.7-1.0\ \Omega$ ，镍铬为 $2.5-3.0\ \Omega$ 。

引火头：由燃烧剂制成，燃烧后产生火焰。引火药有三大类：氯酸钾—硫氰酸铅类、氯酸钾—木炭类、氯酸钾—木炭类+15% DDNP。

脚线：有铜脚线和铁脚线两种，常用铁脚线，长2m。



图2 桥丝和引火头

起爆过程：

药头式：脚线通电→桥丝在电流作用下点燃引火头→火焰通过加强帽的中心孔使起爆药起爆→猛炸药爆炸；

直插式：脚线通电→桥丝在电流作用下使起爆药起爆→猛炸药爆炸；

(2) 秒延时电雷管

定义：通电以后经过一段时间后，才爆炸的雷管，叫延时雷管，延期时间以秒为单位计量的，叫秒延时雷管。

结构：与瞬发雷管的不同之处在于引火头与起爆药之间有一段精致的导火索做延期药，用导火索的长度来控制延期秒量。引火头周围的管壳上有排气孔，排除燃烧生成的气体，避免压力升高，影响燃烧速度。

整体壳式（图3a）是由金属管壳将点火装置、延时药和普通火雷管装成一体。

两段壳式(图3b)：电点火装置和火雷管用金属壳包裹，中间的精制导火索露在外面，三者连成一体。

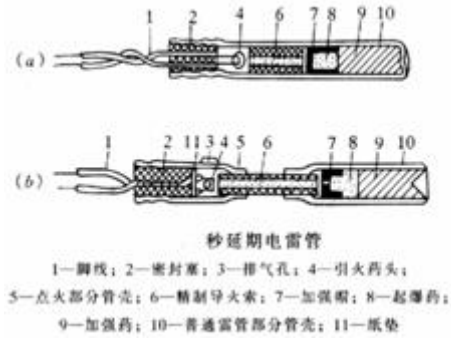


图3 秒延时电雷管

(3) 毫秒延时电雷管

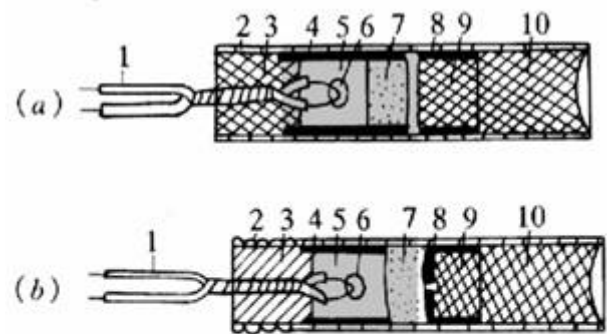
定义：以毫秒量级的间隔时间延时爆炸的雷管。

结构：与整体壳式秒延时电雷管相似，不同之处在于延时药的组分。延期内管，固定和保护延期药，并作为容纳延期药燃烧时生成的气体的空间，保证压力不变。

延期药：延期药一般采用极易燃的硅铁（还原剂）和硅丹（氧化剂）混合而成，比例3：1，再加入适量的三硫化二锑（缓燃剂）调整药剂的燃速。延时时间可通过改变延时药的成分、配比、药量及压装密度来控制。

装配式（图4a）是将延期药先装压在长内管管内，然后将它装入普通雷管内。

直填式（图4b）是将延期药直接装入雷管内，再反扣长内管后，直接在雷管内加压。



毫秒延期电雷管

1—脚线；2—管壳；3—塑料塞；  
4—长内管；5—气室；6—引火药头；  
7—压装延期药；8—加强帽；9—起爆药；10—加强药

图4 毫秒延时电雷管

延期电雷管的作用原理

电雷管通电后，桥丝电阻产生热量点燃引火药头，引火药头迸发出的火焰引燃延期元件或延期药，延期元件或延期药按确定的速度燃烧并在延迟一定时间后将雷管引爆。  
根据延期时间的不同，将延期雷管分成若干个段，段数不同，延期时间不同。分别叫1段，2段，…，我国延期电雷管的段别及其延期时间见下表1。

表1 延期雷管的段别

延期电雷管的段别与名义延期时间（GB8031—87）									
段号	第1毫秒系列（ms）	第2毫秒系列（ms）	第3毫秒系列（ms）	第4毫秒系列（ms）	1/4秒系列（ms）	半秒系列（ms）	第1秒系列（ms）	第2秒系列（ms）	第3秒系列（ms）
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	25	25	25	25	0.25	0.50	1.2	2	1
3	50	50	50	45	0.50	1.00	2.3	4	2
4	75	75	75	65	0.75	1.50	3.5	6	3
5	110	110	110	85	1.00	2.00	4.8	8	4
6	150		128	105	1.25	2.50	6.2	10	5
7	200		157	125	1.50	3.00	7.7		
8	250		190	145		3.50			
9	310		230	165					
10	380		280	185					
11	460		340	205					
12	550		410	225					
13	650		480	250					
14	760		550	275					
15	880		625	300					
16	1020		700	330					
17	1200		780	360					
18	1400		860	395					
19	1700		945	430					
20	2000		1035	470					

注：第2毫秒系列为煤矿许用毫秒延期电雷管系列

（4）电雷管灼热理论及主要特性参数

电雷管是靠通入足够强度的电流后引起桥丝灼热而引爆的。根据焦耳—楞次定律，可推导出电流通入电雷管后，雷管桥丝上产生的热量为：

$$Q = I^2 R t$$
$$R = \rho \frac{4l}{\pi d^2}$$
$$Q = \frac{4}{\pi} \frac{\rho l}{d^2} I^2 t = 1.27 \times \frac{\rho l}{d^2} I^2 t$$

$Q$ —发热量, J

$\rho$ —桥丝电阻系数,  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

$l$ —桥丝长度, mm

$d$ —桥丝直径, mm

$I$ —电流强度, A;

$t$ —通电时间, s。

表示电雷管灼热特性的参数有电雷管全电阻、最低准爆电流、最大安全电流、发火冲能、发火时间和传导时间等。这些特性参数是检验电雷管的质量, 计算电爆网路、选择起爆电源和仪表检测的依据。

#### 电雷管的全电阻

电雷管的电阻就是桥丝电阻与脚线电阻之和, 又称全电阻。

电雷管在使用之前, 要用爆破专用电表逐个测定每个电雷管的阻值, 剔除断路、短路和阻值异常的电雷管。

同一起爆网路, 应使用同厂、同批、同型号的电雷管, 电雷管的电阻值差不得大于产品说明书的规定。

#### 最大安全电流

给电雷管通以恒定直流电, 5min内不致引爆雷管的电流最大值。

其意义在于选择测量电雷管的仪表。电爆网络的导通和电阻值检查, 应使用专用导通器和爆破电桥, 专用爆破电桥的工作电流应小于30 mA。

#### 最低准爆电流

给电雷管通以恒定直流电, 5min内能准确引爆雷管的最小电流。一般规定为0.7A。

#### 电雷管的反应时间

电雷管从通入最低准爆电流开始到引火头点燃的时间, 称为电雷管点燃时间。它决定于电雷管的发火冲能的大小。

从引火头点燃到电雷管爆炸的时间, 称为传导时间。

点燃时间和传导时间之和, 称为反应时间。

#### 发火冲能

电雷管在点燃时间内, 每欧姆桥丝所提供的热能, 称为发火冲能。它是表示电雷管敏感度的重要特性参数。

$$k_B = I^2 t_B$$

#### 串联成组电雷管的准爆条件

当电雷管串联成组起爆时, 由于每个电雷管的发火冲能有差异, 因此各个电雷管的电热敏感度不同, 发火冲能低的电雷管首先被点燃爆炸, 立即炸断网路, 致使发火冲能高的电雷管引火头还未点燃的情况下因断路而拒爆。故为了确保串联成组电雷管准爆, 必须满足下列条件:

$$t_{B_{\min}} + \theta_{B_{\min}} \geq t_{B_{\max}}$$

也就是, 在串联成组雷管当中, 当发火冲能最低(最敏感)的电雷管爆炸的时, 发火冲能最高(敏感最差)的电雷管的引火药头必须点燃。只有满足此条件, 串联成组雷管群才能确保全部爆炸而不会拒爆。

$$I \geq \sqrt{\frac{k_{B_{\max}} - k_{B_{\min}}}{\theta_{\min}}}$$

为保证可靠起爆, 考虑安全系数后, 《爆破安全规程》规定: 电力起爆时, 流经每个雷管的电流为: 一般爆破, 交流电不小于2.5A, 直流电不小于2A; 大爆破, 交流电不小于4A, 直流电不小于2.5A。

#### (二) 非电雷管

装配有导爆管并通过导爆管击发所产生的冲击波引爆的雷管, 由于起爆不用电力故称非电雷管, 也叫导爆管雷管。

其管壳多为金属材料, 按延期时间分为瞬发、毫秒延期和秒延期导爆管雷管。工厂生产的导爆管雷管的导爆管长度主要有3m、5m、7m、10m等。

结构与电雷管基本相同, 如图5所示, 所不同的在于多有一气室, 其作用是用来减缓由导爆管击发所产生的冲击波的速度和压力。

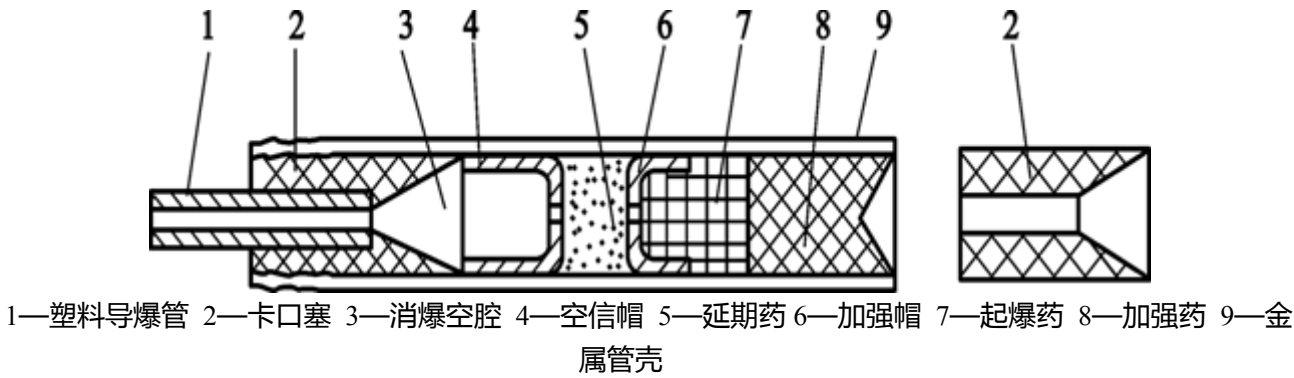


图5 非电毫秒雷管结构示意图

（三）数码电子雷管

数码电子雷管是指在原有雷管装药的基础上，采用具有电子延时功能的专用集成电路芯片来实现延期的电子雷管。

- 特点：（1）延期精度高，可精确到1ms；（2）可检测，可靠性高；  
（3）延期时间可在爆破现场由爆破作业人员设定。

结构如图6所示：（1）与传统电雷管的不同之处在于延期结构和点火头的位置。传统雷管采用化学物质进行延期，电子雷管采用专用集成电路芯片进行延期；（2）传统雷管的点火装置位于延期体之前，点火头作用于延期体实现雷管的延期功能，由延期体引爆雷管的主装药部分，而电子雷管延期体位于点火头之前，由延期体作用到点火头上，再由点火头作用到雷管的主装药上。

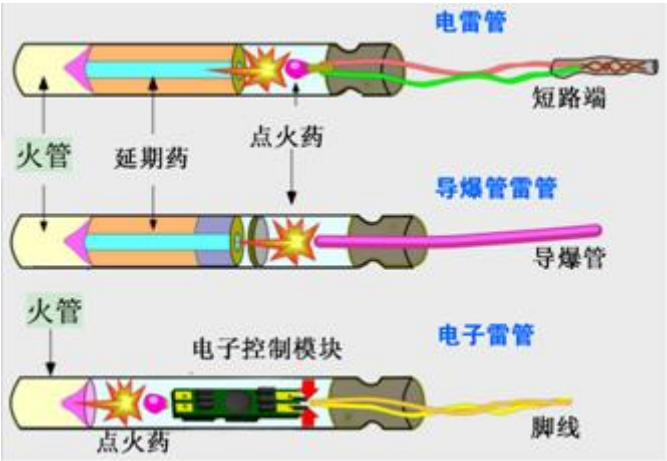


图6 电雷管、导爆管雷管和电子雷管结构图

二、导爆索

导爆索的结构

导爆索是一种以猛炸药（黑索今或泰安）为药芯，以棉线、麻线或人造纤维为被覆材料的传递爆轰波的索状火工品。其结构如图7所示。作用：（1）传递爆轰波；（2）引爆炸药。导爆索有普通导爆索、安全导爆索、防水导爆索和低能导爆索等多种类型。

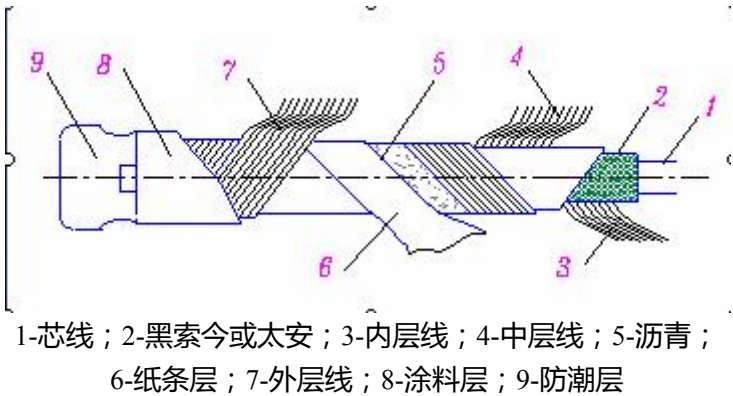




图7 棉线普通导爆索结构

导爆索本身不易燃烧，且较不敏感，需要用一发工业雷管才能引爆。导爆索引爆其他炸药的能力，在一定程度上取决于芯药特性和每米导爆索的药量。

#### 导爆索的性能与检验

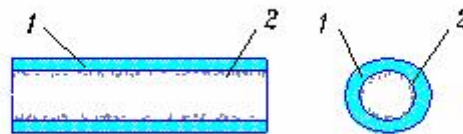
- 外表无严重折伤、油污和断线；索头不散，并罩有金属或塑料防潮帽。
  - 导爆索具有突出的传爆性能和稳定的起爆能力。
- 1.5m长的导爆索能完全起爆一个200g的标准压装TNT药块。
- 耐热性能：在+50℃保温6h后或在-40℃冷冻2h后，导爆索起爆和传爆性能不变。
  - 耐拉强度：在承受500N静压拉力后，仍保持原有的爆轰性能。
  - 抗水性能：棉线导爆索在深度为1m、水温为10~25℃的静水中浸4h后；塑料导爆索在水压为50千帕、水温为10~25℃的静水中浸5h后；传爆性能不变。
  - 出厂前，导爆索都要经过耐弯曲性试验，以满足敷设网路时对导爆索进行弯曲、打结的要求。

### 三、导爆管

#### （一）导爆管的结构

塑料导爆管简称导爆管，是一种内壁涂敷有猛炸药，以低爆速传递冲击波的挠性塑料细管。

我国普通塑料导爆管一般由低密度聚乙烯加工而成，无色透明，外径3mm，内径1.4mm。涂敷在内壁上的炸药量为14~18mg/m（91%的奥克托金或黑索今，9%的铝粉）。其结构如图8所示。



1-塑料管；2-炸药粉末

图8 导爆管结构

#### （二）导爆管的稳定传爆原理

导爆管在受到足够强度的外部冲能激发后，导爆管内壁表面涂敷的炸药将产生爆轰。爆轰波阵面因管道效应在管中形成空气冲击波。

管内壁表面涂敷的炸药随冲击波的传播而产生爆炸，释放能量，维持冲击波稳定传播。

因此可以认为，导爆管在外部冲击能作用下被引爆而在管道中形成空气冲击波，空气冲击波反过来又以其携带的能量激发前方炸药爆炸。如此循环，造成管中激发的冲击波以大约1600~2000 m/s速度传播。

#### 导爆管的技术性能

- 起爆性能。导爆管可以用雷管、导爆索和电火花等凡能产生冲击波的起爆器材所击发。1发8号工业雷管可击发紧贴在其外围的两层（30~50）导爆管。
- 传爆速度。国产导爆管的传爆速度一般为2000m/s，也有1600m/s的。
- 传爆性能。导爆管传爆性能良好，一根长达数千米的塑料导爆管，中间不要中继雷管接力；导爆管内断药长度不超过10cm时，可以正常传爆。
- 耐火性能。火焰不能激发导爆管，用火焰点燃单根或成捆导爆管时，它只像塑料一样缓慢燃烧。
- 抗冲击性能。一般的机械冲击不能激发导爆管。
- 抗水性能良好。在水下80m深处放置48h仍能正常起爆。
- 抗电性能。能抗30kV以下的直流电。
- 破坏性能。导爆管传爆时，不会损坏自身的管壁，对周围环境不会造成破坏。

总之，塑料导爆管具有传爆可靠性高、使用方便、安全性好、成本低等优点，可以作为非危险品运输。

