

叶 华 祥 编 著

dianbao zhunbao ji xia pao fangzhi

电爆准爆 及瞎炮防止

中 国 铁 道 出 版 社

内 容 提 要

本书是一本专讲怎样保证准爆及怎样防止产生电爆瞎炮的小册子。

全书共分三章。第一章介绍工业电雷管的结构和发火原理，第二章介绍保证准爆的有关知识，包括电雷管工地质量鉴定方法、网络设计基础知识以及施工操作方面的要点和经验；第三章对产生瞎炮的原因、瞎炮的分类及其判据、以及防止措施作了详细说明，并附有分析实例。

本书可供从事电爆破工程的施工技术人员及工人参考。

电爆准爆及瞎炮防止

叶华祥 编著

中国铁道出版社出版

责任编辑 刘曼华

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{2}$ 印张：3.5 字数：79千

1982年2月第1版 1982年2月第1次印刷

印数：0001—3,000册 定价：0.40 元

前 言

尽管电爆破技术在各种地下工程的施工中早已得到广泛应用，但对于如何保证准爆防止产生瞎炮仍然缺乏系统总结，因而事故时有发生，既影响施工安全，又降低掘进速度和劳动生产率，同时还增加了进一步推广电爆技术和全断面一次开挖法的困难。

基于以上原因，作者在总结近 500 茬炮的现场统计资料及有关试验结果的基础上编写了这本小册子。

本书全文承北方交通大学张弥老师、铁道科学研究院爆破室冯叔瑜主任及顾毅成同志，以及铁道科学研究院西南研究所隧道室梁武韬主任提出宝贵意见。在此谨向上述单位及个人致以深切谢意。

叶华祥

一九八一年

目 录

第一章 国产工业电雷管及其发火理论.....	1
第一节 国产工业电雷管概述.....	1
第二节 电雷管引火头的发火机理及炮眼 装药的准爆条件.....	6
第二章 保证准爆的基本措施.....	23
第一节 加强电雷管的质量控制及管理.....	23
第二节 电爆破网络设计要点.....	33
第三节 电爆破操作要点.....	60
第三章 瞎炮原因分析及防止再次瞎炮的应急措施.....	76
第一节 分析瞎炮原因的方法.....	76
第二节 随机型瞎炮的现场分析实例和 消除定段型瞎炮.....	89
第三节 区域型瞎炮的现场分析及处理实例.....	95
参考资料	109

第一章 国产工业电雷管 及其发火理论

第一节 国产工业电雷管概述

一、工业电雷管分类

电雷管是一种用电流起爆的雷管。主要由电发火装置和一个火雷管（简称火管）组成。

起爆电流使电发火装置中的引火剂发生燃烧，产生的火焰引爆火管中的起爆药和猛炸药，进而起爆装药。显然，只需把若干个电雷管接成爆破网络并通入电流，就可以实现多个炮眼同时起爆。

如果在电发火装置和火管之间插入一段延期剂，就可以延迟雷管的爆炸时间。调节延期剂的长度或燃烧速度，还可以调节爆炸延迟时间的长短。因此，按照电发火装置点燃后是否立刻爆炸，可将雷管分成两类：点燃后立即爆炸的叫即发雷管。经过一段规定的延迟时间才爆炸的叫迟发雷管。

工厂通常根据用户的需要，生产若干种迟发雷管，彼此之间具有规定的迟发间隔，并与即发雷管配套，形成系列。还根据爆炸次序的先后把系列内的各种雷管分别归入不同“段”。

最早生产的迟发雷管，其迟发间隔是秒数量级的，叫秒迟发雷管。我国秒迟发雷管的延迟时间如表 1—1^{〔13〕}所示。

随着毫秒爆破技术出现及火工技术水平提高，又出现了迟发间隔为毫秒数量级的毫秒雷管。合理使用毫秒雷管可以取得更好的爆破效果。在有瓦斯、矿尘爆炸危险的工作面使

我国秒迟发雷管的延迟时间

表 1—1

段 别	延迟时间 (秒)	脚线颜色	备 注
1	不大于0.1	灰 蓝	可以根据用户要求与制造厂协商 增加段数或变更延迟时间
2	1.0 ± 0.5	灰 白	
3	2.0 ± 0.6	灰 红	
4	3.1 ± 0.7	灰 绿	
5	4.3 ± 0.8	灰 黄	
6	5.6 ± 0.9	黑 蓝	
7	7.0 ± 1.0	黑 白	

我国毫秒雷管的延迟时间系列

表 1—2

段别	第一系列	第二系列	第三系列	第四系列	第五系列
1	< 5	< 13	< 13	< 13	< 4
2	25 ± 5	25 ± 10	100 ± 10	300 ± 30	10 ± 2
3	50 ± 5	50 ± 10	200 ± 20	600 ± 40	20 ± 3
4	75 ± 5	75 ± 10	300 ± 20	900 ± 50	30 ± 4
5	100 ± 5	110 ± 15	400 ± 30	1200 ± 60	45 ± 6
6	125 ± 7	150 ± 20	500 ± 30	1500 ± 70	60 ± 7
7	150 ± 7	200 ± 20	600 ± 40	1800 ± 80	80 ± 10
8	175 ± 7	250 ± 25	700 ± 40	2100 ± 90	110 ± 15
9	200 ± 7	310 ± 30	800 ± 40	2400 ± 100	150 ± 20
10	225 ± 7	380 ± 35	900 ± 40	2700 ± 100	200 ± 25
11		460 ± 40	1000 ± 40	3000 ± 100	
12		550 ± 45	1100 ± 40	3300 ± 100	
13		650 ± 50			
14		760 ± 55			
15		880 ± 60			
16		1020 ± 70			
17		1200 ± 90			
18		1400 ± 100			
19		1700 ± 130			
20		2000 ± 150			

用毫秒雷管还可以在保证施工安全的前提下实现分段一次爆破。

我国毫秒雷管的迟发时间系列如表 1 — 2 [13]所示。

二、典型国产电雷管的构造

典型国产电雷管的构造如图 1 — 1。

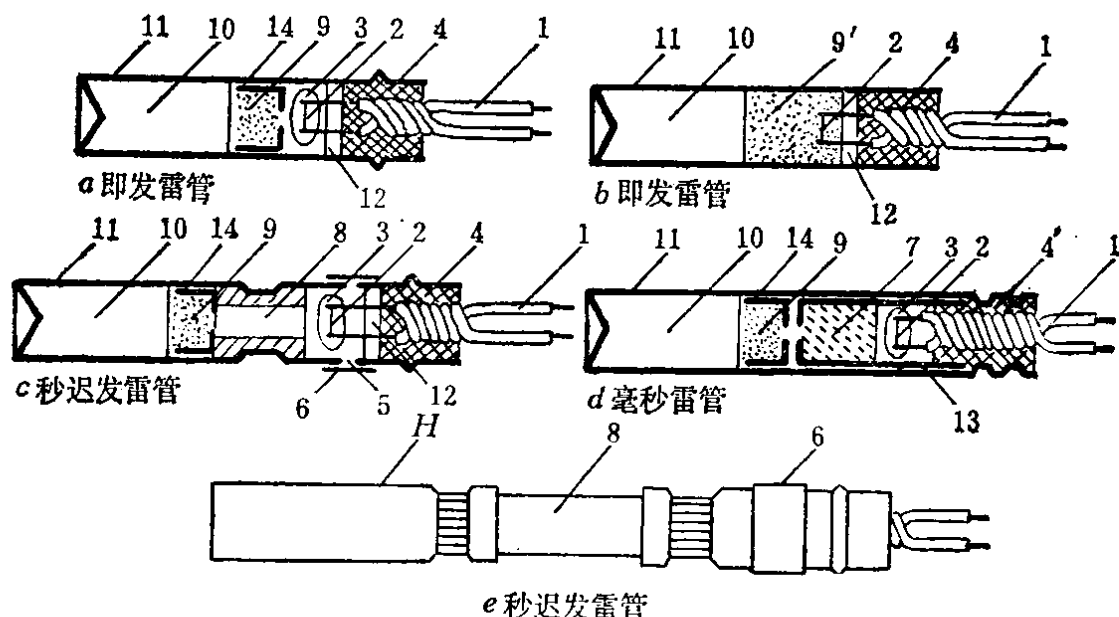


图 1 — 1 典型国产电雷管的构造

1 —— 脚线； 2 —— 桥线； 3 —— 引火头； 4 —— 硫磺柱； 4' —— 塑料塞； 5 —— 喷气孔； 6 —— 糊孔纸； 7 —— 延期药； 8 —— 导火索； 9 —— 起爆药； 9' —— 松装DDNP； 10 —— 猛炸药； 11 —— 管体； 12 —— 纸垫； 13 —— 延期内管； 14 —— 加强帽； H —— 火管。

图 1 — 1 a 为我国早期生产的即发雷管。这种雷管的电发火装置由下列元件组成：

脚线：它是起爆电流进入电雷管的通道。由两根直径为 0.45~0.50 毫米的塑料绝缘铜线或纱包线组成。一般长为 1.0~2.0 米。

桥线：是一段直径为 40~50 微米、长 3~3.5 毫米的康铜丝或镍铬合金丝。它跨接在两根脚线的端部。由于桥线材料的电阻率很大，起爆电流通过桥线时将发生高热。

引火剂：它包在桥线周围并和桥线密贴，通常作成滴状，起爆时由灼热的桥线点燃。燃烧的火焰引爆火管的起爆药。

纸垫：用来固定两根脚线的间距，并保持桥线和引火头的位置不变。

火管：是一个火雷管。主要由管体，起爆药和猛炸药等部分组成。

硫磺柱：它的作用是密封和把电发火装置与火管管体固连在一起。

近期生产的即发雷管结构如图 1—1 b。其电发火装置和 a 图所示略有不同。其特点是：脚线是铁芯的，镀了锌，直径 0.52 ± 0.01 毫米，有塑料绝缘层。引火剂和起爆药合而为一，由散装的二硝基重氮酚（DDNP）构成。桥线直接插在二硝基重氮酚之中。火管的加强帽也取消了。起爆时，桥线直接点燃二硝基重氮酚，它迅速从燃烧转为爆轰，引爆猛炸药。

典型秒迟发雷管结构如图 1—1 c。

秒迟发雷管的电发火装置和火管的构造皆与即发雷管相同。产生延迟时间间隔的延期剂是一段导火索，起爆后由引火头点燃。导火索燃烧完毕时喷出火焰，引爆火管。改变导火索的长度或改变其药芯的燃速可以得到不同的迟发间隔。

引火头及导火索在燃烧过程中产生大量气体，必须把它们及时排出管体，以保证导火索具有要求的燃速，和防止硫磺柱被生成的气体冲出。因此，在秒迟发雷管的管体上都开有喷气孔；为了防潮，用具有一定强度的糊孔纸把喷气孔封住。

由于通过调节导火索药芯配方改变燃烧速度有一定限度，段数高、延时长雷管的导火索也势必加长，因此就出

现了图 1—1 e 所示的结构。此结构的管体分为两段：电发火装置和火管分别连接在导火索的两端，一部分导火索露在外面。

典型毫秒雷管的结构如图 1—1 d。

毫秒雷管的延期剂是铅丹、硅铁及硫化锑（或硅藻土、硒）的混合物。它的燃速更高、更稳定，使迟发间隔得以准确到毫秒数量级。上述混合物燃烧时不产生或只产生少量气体；因此，毫秒雷管没有喷气孔，常用塑料塞代替封口硫磺柱。

三、关于抗杂散电流雷管的概念

为了在有杂散电流可能导致早爆危险的工作面采用电爆破，还发展了两种抗杂散电流雷管。

第一种抗杂雷管的发火装置不用桥线。脚线的两个端头构成电极插在引火剂中。引火剂内掺有导电成分，能代替桥线构成电流通路。当加在脚线两端的电压小于某一数值时，引火剂具有高电阻。若制造中使上述电压高于杂散电压上限，进入雷管的杂散电流就很小，以致不能点燃引火剂。当超过上述上限值的起爆电压加在脚线两端的时候，引火剂的电阻迅速下降，通过引火剂的起爆电流增加，使引火剂温度急剧上升到发火点以上，从而实现安全起爆。

另一种抗杂雷管采用低电阻的紫铜桥线。把紫铜桥线加热到引火剂的发火点需要相当大的起爆电流。这个起爆电流值是杂散电流达不到的。因此，这种雷管对杂散电流也具有一定的抗御能力。

第二节 电雷管引火头的发火机理及 炮眼装药的准爆条件^{〔1〕}

一、起爆装药的物理过程

图 1—1 所示的电雷管，其起爆的物理过程如下：

起爆电流通过脚线进入电雷管，使桥线发热；并通过桥线加热周围的引火剂。引火剂达到发火温度并获得足够的热能之后，即开始燃烧。燃烧的火焰直接（或通过延期剂间接）引爆起爆药及猛炸药。进而使起爆药包和炮眼装药爆轰。

点燃引火剂的基本方式为：在桥线通电升温的过程中点燃；或在起爆电流中断后，由灼热的桥线或桥线的残体继续加热点燃。

上述起爆过程可以用下列过程时间描述：

点燃时间 t_d ——在一定的电流条件下，使引火剂进入稳定的燃烧反应所需的最短通电时间。

传导时间 t_{ch} ——从桥线周围的引火剂开始稳定地燃烧，到引火头表面发火所经过的时间。

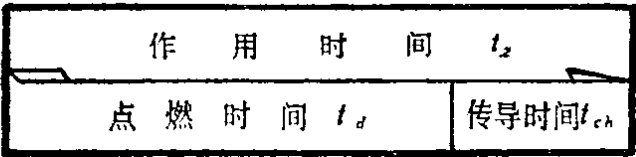
作用时间 t_z ——是雷管从通电到爆炸所经过的时间。即发雷管的作用时间 $t_z = t_d + t_{ch}$ 。

延迟时间 t_v ——延期剂的燃烧时间。

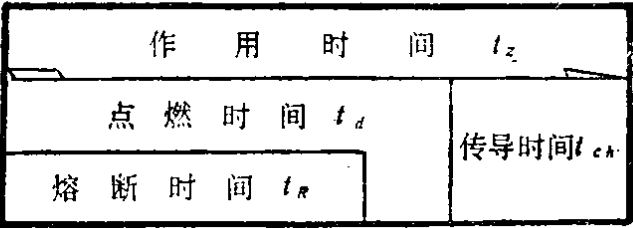
熔断时间 t_{Rd} ——在一定的电流条件下，从通电到桥线熔断经过的时间。

岩石抛出时间 t_p ——从雷管爆炸到岩石抛出所经过的时间。

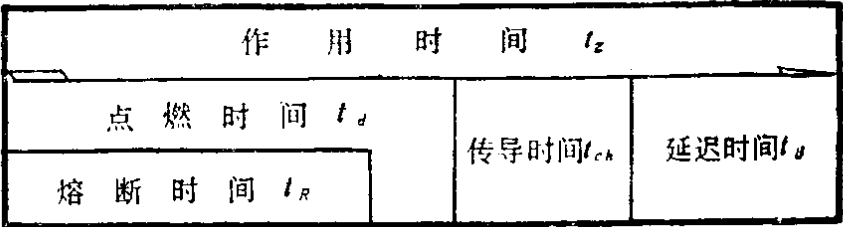
除岩石抛出时间 t_p 之外，上述各过程时间的关系可用图 1—2 表示。



a 即发雷管小电流起爆



b 即发雷管大电流起爆



c 迟发雷管大电流起爆

图 1—2 雷管起爆过程时间的相互关系

二、单个引火头的发火条件及发火特性参数

(一) 发火过程中的基本能量关系

在通电升温的过程中，桥线从电源得到的热能

$$Q_1=0.24I^2Rt=0.306I^2\cdot\frac{\rho l}{D^2}t \quad (1-1)$$

- 式中 I ——起爆电流；
 R ——桥线电阻；
 ρ ——桥线材料的电阻率。由于桥线材料的温度系数很小，讨论中视 ρ 为常数；
 l ——桥线的长度；

D ——桥线的直径；

t ——通电时间。

Q_1 中的一部分用于使桥线升温及熔化；

桥线由初温 T_0 上升到某一温度 T 所需的热能

$$Q_2 = CV\gamma(T - T_0) = C \cdot \frac{\pi D^2 l}{4} \cdot \gamma(T - T_0) \quad (1-2)$$

因此，把桥线加热到熔化温度 T_R 所需的热能

$$Q_{2R} = CV\gamma(T_R - T_0) = C \cdot \frac{\pi D^2 l}{4} \cdot \gamma \cdot (T_R - T_0) \quad (1-2')$$

桥线在熔化温度下，由固态变为液态所需的热能

$$Q_2' = L \cdot m = L \cdot \frac{\pi D^2 l}{4} \cdot \gamma \quad (1-3)$$

式(1-2)、(1-3)中， C 、 γ 、 L 和 m 分别为桥线材料的比热、密度、溶解热和质量。 V 为桥线体积。

Q_1 的另一部分用于加热引火头、脚线等和桥线接触的物体。

用 Q_3 表示桥线周围物体获得的热能，则有

$$Q_3 = \omega(T - T_0)t \quad (1-4)$$

式中 ω ——综合热传导系数。

根据能量守恒定律，在桥线达到熔化温度之前的任一时刻，皆有

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (1-5)$$

而在桥线熔断前则有

$$Q_1 = Q_{2R} + Q_2' + Q_3^* \quad (1-6)$$

式(1-5)和(1-6)即为桥线加热过程中的基本能量

*略去熔融桥线继续升温所消耗的热量。

关系式。

(二) 单个引火头在桥线升温的过程中发火的基本条件和电雷管的点燃冲能。

将式 (1—1)、(1—2)、(1—4) 一同代入式 (1—5) 可得

$$T = \frac{0.306 \cdot \frac{\rho l}{D^2} \cdot I^2}{\frac{CV\gamma}{t} + \omega} + T_0 \quad (1-7)$$

或
$$t = \frac{CV\gamma(T - T_0)}{0.306I^2 \cdot \frac{\rho l}{D^2} - \omega(T - T_0)} \quad (1-7')$$

必须把桥线加热到引火剂的发火温度 T_f 才能点燃引火剂。因此有

$$T_f = \frac{0.306 \cdot \frac{\rho l}{D^2} \cdot I^2}{\frac{CV\gamma}{t} + \omega} + T_0$$

由此求得相应的起爆电流 I ：

$$I = \sqrt{\frac{(T_f - T_0) \left(\frac{CV\gamma}{t} + \omega \right)}{0.306 \frac{\rho l}{D^2}}}$$

对应不同的通电时间 t ， I 可以有很多取值。当 $t \rightarrow \infty$ 时， I 取值最小，于是有

$$I_{f \min} = \sqrt{\frac{(T_f - T_0) \omega}{0.306 \frac{\rho l}{D^2}}} \quad (1-8)$$

显然， $I_{f \min}$ 是一个临界值。小于它的起爆电流不可能把桥线加热到 T_f ，并点燃引火剂。

在 $I \geq I_{f_{min}}$ 的情况下，如果通电时间足够长，使桥线周围能有足够数量的引火剂进入反应，燃烧就能够稳定地向引火头表面扩展，直到整个引火头烧完。

通常把在给定起爆电流条件下，点燃引火头所需的最小通电时间 t_d 定义为雷管的点燃时间。

在理解单个雷管的发火过程的时候，应该特别注意的是：起爆电流足够大并不是雷管发火的唯一必要条件。由于引火剂物理状态的差异，以及引火剂和桥线之间不均匀接触的影响，桥线周围最先开始燃烧的引火剂总是比较少的。如果通电时间太短，桥线来不及点燃更多的引火剂，已经开始的燃烧反应还可能因为热损失太大而熄灭。因此，除起爆电流足够大之外，还必须使通电时间大于或等于点燃时间才能真正点燃引火头。

总之，引火头的发火条件是和乘积 $I^2 t$ ——能量相联系的。

当起爆电流为 I 、桥线电阻为 R 时，点燃引火头所需的能量为

$$Q_i = I^2 R t_d$$

则起爆单位电阻引火头所需的最小能量为 $I^2 t_d$ 。

乘积 $I^2 t_d$ 叫雷管的点燃冲能，用 K_d 表示。点燃冲能反映了雷管在对应的起爆电流条件下对起爆能的需求，是衡量引火头对起爆电流敏感程度的指标，也是一个最重要的雷管发火特性参数。

若用点燃冲能表示单个引火头在小起爆电流条件下的发火条件，则

$$Q_1 / R \geq K_d \quad (1-9)$$

式中 Q_1 ——起爆过程中，桥线从电源得到的热能；

R ——桥线电阻。

点燃冲能的倒数 $1/K_d$ 称为电雷管的感度。在相同的电流条件下，点燃冲能较小的雷管感度较大，即较为敏感，容易点燃。

除点燃冲能外，还可以连带引出以下发火特性参数：

百毫秒电流——点燃时间为100毫秒时的起爆电流值，用 I_{100} 表示。

标称点燃冲能 K_B ——起爆电流为两倍百毫秒电流时的点燃冲能。

由图 1—3 可以看出，在小起爆电流条件下，点燃冲能随起爆电流增加而急剧减小。但是，随着起爆电流继续增大，其变化将趋于平缓。起爆电流足够大的时候，点燃冲能将具有最小值 K_0 。事实上，当起爆电流大于 2 倍百毫秒电流时，点燃冲能已经相对稳定，并足够接近 K_0 了（一般只比 K_0 大 5~6%）。因此，标称点燃冲能可以作为电雷管的特征常数，用以描述雷管在大起爆电流条件下的发火特性。

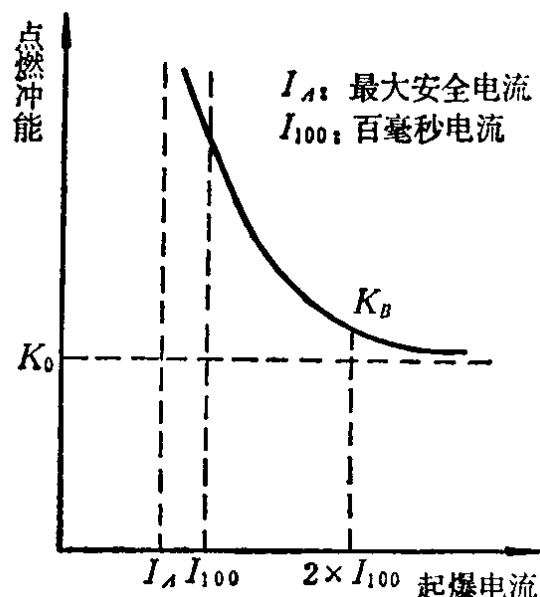


图 1—3 点燃冲能与起爆电流的关系

6 毫秒电流——点燃时间为 6 毫秒时对应的起爆电流值。

我国规定：用于有瓦斯、煤尘爆炸危险环境内的电容式起爆器，其放电时间不得大于 6 毫秒。因此，6 毫秒电流是设计上述起爆器的根据。

（三）单个引火头在桥线熔断后发火的基本条件和电雷管的熔断冲能

在通电过程中, 桥线温度达到材料的熔化温度 T_R 之后就会熔断。利用求 $I_{f_{min}}$ 的方法, 将 $T = T_R$ 代入式 (1-7), 同样可以得到另一个临界值

$$I_{Rhmin} = \sqrt{\frac{\omega(T_R - T_0)}{0.306 \cdot \frac{\rho l}{D^2}}} \quad (1-10)$$

起爆电流 $I < I_{Rhmin}$ 时, 桥线温度低于熔化温度。因此, 不会熔断。

由于 $T_R > T_f$, 显然, 只有在起爆电流较大的情况下, 引火头才会在桥线熔断后发火。

起爆电流较大时, 桥线在很短的时间内就熔断了。可以忽略桥线升温过程中的传导热损失, 近似地认为电源输出的能量首先全部消耗于熔融桥线。

令 $T = T_R$, 将式 (1-1)、(1-2)、(1-3)、代入式 (1-6), 并略去传给桥线周围物体的热能 Q_s , 则可求出桥线在起爆电流为 I 时的熔化时间

$$t_{Rh} = 2.56 D^4 \gamma [C(T_R - T_0) + L] / I^2 \rho \quad (1-11)$$

对于常用桥线材料 (康铜和镍铬合金), 由于 $T_R - T_0 > 1000^\circ$, 在式 (1-11) 中, $C(T_R - T_0)$ 项与 L 项相比, 前者将占主导地位。

桥线熔融后, 还要经过一个极短的 Δt_R 才熔断*。

令熔断时间为 t_{Rd} , 则有 $t_{Rd} = t_{Rh} + \Delta t_R$ 。由此可计算乘积 $I^2 t_{Rd}$ 。

乘积 $I^2 t_{Rd}$ 是电源在桥线熔断前能够输给单位电阻桥线的能量, 叫熔断冲能, 用 K_{Rd} 表示。显然, 熔断冲能是大起爆电流条件下, 雷管能够从电源获得的起爆冲能上限。

在大起爆电流条件下, 引火头必须靠桥线残体贮存的热

*详见第三章第二节。

量点燃。因此，单一雷管引火头的发火条件是：

$$K_{Rd} \geq K_d \quad (1-12)$$

或

$$t_{Rd} \geq t_d \quad (1-12')$$

如果 $K_{Rd} < K_d$ ，雷管实际上就不能用了。

综上所述可知：

1. 必须使起爆电流大于某一下限值，同时保证足够的通电时间——使引火头获得足够的能量，雷管才能发火。

反之，如果一个正常的雷管拒爆，一定是因为起爆电流太小或通电时间不够。

2. 在大起爆电流条件下，引火头能够从电源获取的起爆能是有限的。这个上限值用雷管的熔断冲能描述。

这些基本概念对于理解雷管组的准爆条件和分析瞎炮都是很有用的。

三、关于雷管发火特性参数不一致的概念

影响雷管发火特性的因素很多：

(一) 桥线材料的物理常数影响雷管的发火特性。

国产雷管多采用康铜或镍铬合金桥线。康铜及镍铬合金的有关物理常数见表 1—3。

康铜和镍铬合金的物理常数

表 1—3

桥线材料	电阻率 ρ (欧姆·毫米 ² /米)	比热 C (卡/克·度)	密度 γ (克/厘米 ³)	熔点 T_R (℃)	$\frac{C\gamma}{\rho}$
康 铜	0.485	0.098	8.9	1270	1.80
镍铬合金	1.1~1.2	0.11~0.12	8.1~8.4	1380~1410	0.80~0.88

结合式 (1—7') 可知：若其他条件相同，把镍铬合金桥线加热到引火剂的发火温度 T_f 或桥线熔化温度 T_R 所需的