

# 导爆管传爆机理的实验研究

魏伴云 杨志宇 刘江云

(1983年9月3日收到)

本文研究了导爆管的传爆机理。利用两组实验：爆前抽真空测爆速实验及爆前、爆后对导爆管纵横断面显微观察。分析了影响传爆特性的一些因素。结果表明，管内薄层炸药在空气冲击波和管道效应作用下形成了一种特殊结构的低能低速的稳定爆轰波。

## 一、问题的提出

关于塑料导爆管被激爆后管内薄层炸药沿管道传爆的性质，爆破理论界众说不一。一般认为实际测得的导爆管“爆速”(本文均指用光电管法测得的导爆管内发光阵面在一定距离内的平均传播速度，如文内图2所示)，反映了管内薄层炸药在激爆能作用下形成的稳定爆轰状态，理论上可以无限传播。但也有人认为<sup>(1)</sup>：在导爆管条件下，薄层炸药不可能形成爆轰，更不是爆轰波的稳定传播，而是冲击波伴随着少量炸药发生的化学变化在传播。

我们在塑料导爆管非电起爆系统的使用技术研究中，对管内薄层炸药的传播机理作了一些探索性实验研究。其中，导爆管在不同真空度下爆速变化规律的实验，和导爆管传爆前后纵横断面的显微观察，对于正确解释导爆管内薄层炸药的传爆机理有一定参考价值。

## 二、导爆管内真空度对“爆速”及传播稳定性的影响

### 1、基本思路

导爆管被激爆后，冲击波将沿管壁、薄层炸药和管内空间向前传播。沿管壁传播的冲击波，在脱离激爆源后不远即衰减成弹性波，对导爆管传爆作用已影响无几。所以，实际造成导爆管稳定传爆的因素，主要应该是后两种冲击波在内管道效应下对薄层炸药的联合作用。为了探讨其确切机理，我们设想：如果导爆管内的薄层炸药是在沿该炸药传播的冲击波作用下发生的稳定爆轰，那么，即使没有管内空气冲击波的激爆作用，亦能连续反应。如果管内失去空气冲击波后，炸药即发生拒爆，那就说明仅有沿薄层炸药的冲击波作用不能实现爆轰。把导爆管内部抽成真空，空气冲击波将不存在，就可验证这一设想。

### 2、实验方法与步骤

#### (1) 实验装置

导爆管抽真空装置和“爆速”测量装置原理图分别如图1和图2所示。

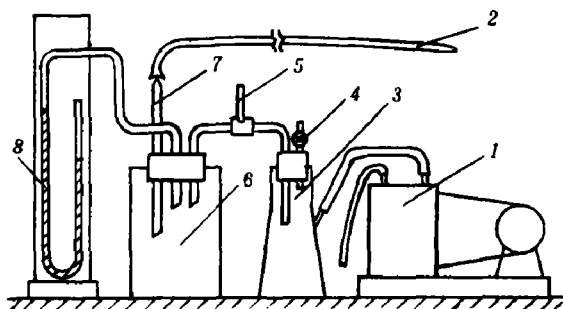


图1 导爆管抽真空装置原理图

1——真空泵, 2——导爆管, 3——第一级真空杯, 4——进气阀, 5——调节阀, 6——第二级真空杯, 7——滴管, 8——U形真空压力计

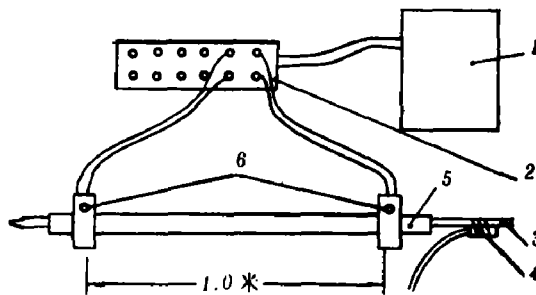


图2 导爆管测速装置原理图

1——BSW-1型计时式五段爆速仪, 2——接线板, 3——导爆管(长2米, 主要为黑索金), 4——导火索, 5——黄铜管(外径6毫米, 内径4毫米, 长1.5米), 6——木座与光电管(各2个, 光电管插入木座中间的5毫米孔内)

(2) 实验步骤

首先制备样品。为精确测出导爆管“爆速”及传爆稳定性与真空度的关系, 我们使用图1所示抽真空系统。将导爆管切成每根2米长, 先热封一头, 待导爆管内抽到一定真空度后, 再热封另一头, 以保持真空度。为保证抽气时管内薄层炸药不会脱落与被抽出, 操作时尽量减慢打开调节阀门的速度, 使U形计上的压力差缓慢增加。抽气中滴管内目视应无药粉, 一直抽到预定真空度。试样制备后编上号, 随即试验。导爆管抽至实验要求的最高真空(14毫米汞柱)时, 管壁未见变形。

第二, 测量“爆速”。使用图2所示测量系统, 测出各种真空度下导爆管相隔1米长两点间的传导时间, 计算出实际“爆速”; 并可从中看出传爆的稳定性。

第三, 处理数据。在整理数据及绘制爆速随真空度变化的曲线时, 由于使用某厂1981年生产的黑索金导爆管, 管径粗细略有差别, 因此从测得的数据中删去约10%明显偏高的数据, 以使实验结果能够正确反应基本规律。

3、实验结果与分析

从摸索性试验至正式定量测定, 有记录可查的共约130次; 其中, 真空度定量试验63次。表1中给出试验结果, 我们认为这些数据可以反应出本项实验的基本规律。

表1 导爆管真空度对传爆的影响

实验次数	导爆管长(米)	(真空度) (毫米汞柱)	传爆比例	爆速(米/秒)			备注
				最大	最小	n次平均	
26	1	760	100%	1764.0	1730.1	1747.3(22次)	除去4次偏离较大
8	1	651	100%	1748.9	1722.8	1736.5(6次)	除去2次偏离较大
4	1	460	100%	1775.0	1749.2	1762.4(3次)	除去1次偏离较大
5	1	272	100%	1780.6	1763.8	1773.6(4次)	除去1次偏离较大
10	1	65	30%	1830.5	1817.2	1823.9(3次)	7次拒爆
10	1	14	0%	/	/	/	

表1所示导爆管爆速与管内真空度的关系作成曲线示于图3。由图3可以看出,在一定范围内,导爆管传爆速度随真空度的增加缓慢提高。当真空低于272毫米汞柱后,就出现传爆不稳定现象。当真空度达65毫米汞柱时,虽然测出的爆速仍在提高,但已出现多次拒爆现象;10次试验仅三次被激爆。当真空度达14毫米汞柱时(为图1实验装置极限真空度)已接近真空,10次试验全部拒爆。因此,可以粗略地把图3划分为三个区域,即稳定传爆区(I)、不稳定传爆区(II)和拒爆区(III)。

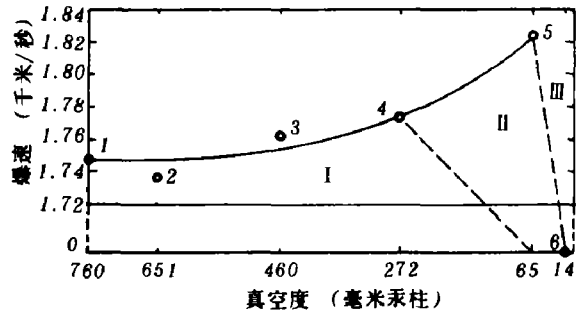


图3 爆速-真空度关系曲线

由图3中1~5点曲线可以看出,

导爆管内爆速是随管内真空度的增加而提高的。根据可压缩流体的定常平面波理论,冲击波速度为

$$D = V_0 \left( \frac{P_1 - P_0}{V_0 - V_1} \right)^{1/2} = \frac{1}{\rho_0} \left( \frac{P_1 - P_0}{1/\rho_0 - 1/\rho_1} \right)^{1/2}$$

式中,  $P$  为压强,  $V$  为比容,  $\rho$  为密度, 下标“0”表示未扰动介质, 下标“1”表示冲击压缩状态。

随着导爆管内真空度的提高,冲击波前压力  $P_0 \rightarrow 0$ ; 与  $P_1$  相比可以忽略不计。由于冲击波阵面后的介质密度比波阵面前的介质密度大得多,所以  $1/\rho_1$  与  $1/\rho_0$  比较可以忽略。管内空气冲击波稳定传播时,可视  $P_1$  为常数。所以,近似地有

$$D \propto 1/\rho_0^{1/2}$$

这与实测的  $D$  随  $\rho_0$  的降低而缓慢增加是相符的。所以,我们认为实验结果是合理的。

### 三、导爆管剖面显微观察

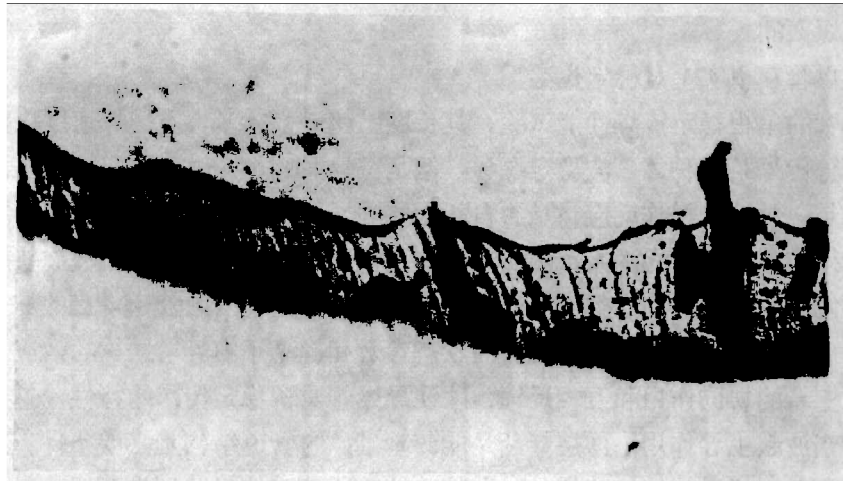
为了分析导爆管薄层炸药在激爆后能否自行传爆,我们用自动照相显微镜,对爆前和爆后的导爆管取多个纵、横断面作镜下薄片观察、测量与照相。导爆管主药为奥克托金,该产品与前述产品主药虽不同,但性能和微观结构基本相似。横断面薄片厚约0.5毫米。结果示于图4。从图中实测得到:

- 1、奥克托金颗粒最大为  $36\mu$ , 最小约  $5\mu$ , 一般在  $10\sim 20\mu$  之间。
- 2、薄层炸药的胶状物,最厚  $30\mu$ , 最薄处几乎没有,一般在  $10\sim 20\mu$  之间。
- 3、奥克托金颗粒的分布量较少,颗粒间间隔较大。炸药颗粒约占总面积的20%,分布呈不连续相。

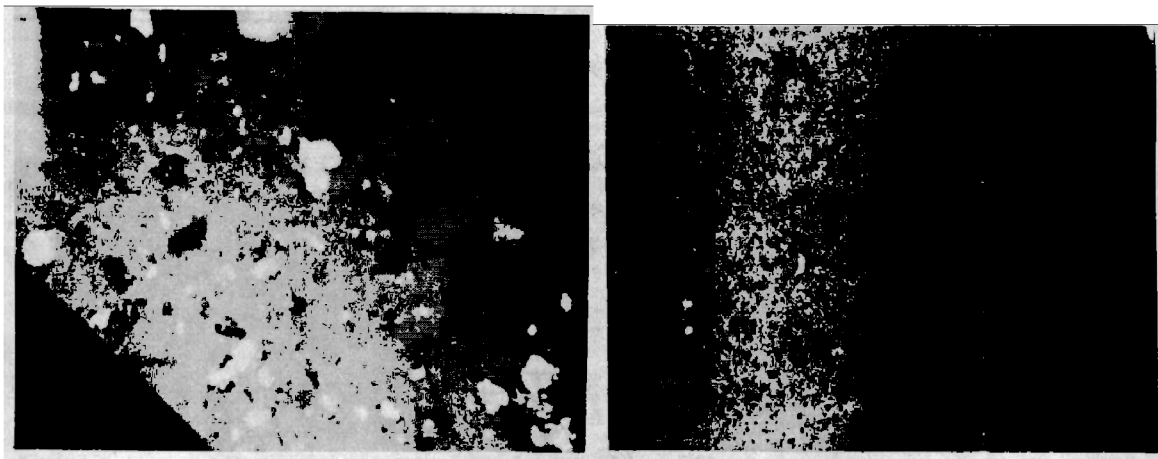
### 四、导爆管传爆机理讨论

1、管内空气冲击波起主导作用。

当管内真空度仅14毫米汞柱(接近无介质)时,10次激爆试验全部拒爆。被激爆过的导爆管,除雷管直接破坏区外,其余部分肉眼和用30倍放大镜观察都同正常相似,管内薄层炸药



a) 传爆前横断面局部显微照相 (放大850)



b) 传爆前纵断面局部显微照相 (放大200倍)      c) 传爆后纵断面局部显微照相 (放大200倍)

图4 导爆管传爆前后局部显微照相

看不出缺损现象。这说明：仅有沿炸药薄层传播的冲击波和内管道结构，而无管内空气冲击波的沿途逐层激爆，就不能连续反应。所以，导爆管内薄层炸药主要是在空气冲击波作用下的逐层被动爆炸反应。这种反应的性质与深孔爆破中使用导爆索引起硝铵炸药逐层增速爆炸反应，在被动激爆方面有某些相似之处。低爆速硝铵炸药在这种条件下的增速爆轰，并非是其的稳定爆轰，而是被高爆速的导爆索逐层激爆；一旦传爆导爆索爆轰完毕，其余的硝铵炸药又很快转为它在该条件下的固有爆速。

2、薄层炸药厚度太薄且呈不连续相，自身不能形成爆轰。

在正常条件下，黑索金与奥克托金的临界直径为1~1.5毫米。对导爆管的显微结构观察和测量表明，导爆管内炸药层一般厚度仅为20 $\mu$ 左右，该厚度与其稳定传爆的临界直径相比差50~75倍；而且炸药颗粒又呈不连续相，炸药在导爆管内壁面的覆盖面积仅占整个面积的20%左右。因此，一般条件下，薄层炸药被激爆后，仅受沿薄层传播的冲击波作用，是不可

能形成稳定爆轰的。

### 3、导爆管在事实上是稳定爆轰。

对导爆管的单根稳定传爆性能试验，其长度已超过六千米，且传爆速度稳定。这从事实上说明导爆管传爆是一种爆轰波稳定爆轰。但是，这种事实与前面阐述的观点——管内薄层炸药主要是一种被动爆炸反应，是否自相矛盾呢？我们认为两者并不矛盾，它们只是局部分解实验结果与总体本质的关系。虽然薄层炸药主要是在管内空气冲击波波头的高温高压和摩擦作用下发生的逐层被动爆炸反应；但它同时又受导爆管内内管道效应的联合作用。薄层炸药被激爆后又反馈加强了空气冲击波的状态参数和提高了内管道结构的效应。只有主要能源和结构这三者的协同作用和互相反馈，才使导爆管具备稳定传爆的特性。这三个因素中，管内空气冲击波起主导作用；薄层炸药是能源基础；内管道结构是必要条件。上述三者缺一不可。所以，可以说导爆管的传爆是一种特殊结构所造成的极薄层炸药低能低爆速的稳定爆轰。这里要特别指出的是内管道效应的巨大聚能增速作用。

关于导爆管内内管道效应的物理实质，我们认为是：“管内点状分布的薄层炸药被空气冲击波沿层逐点激爆后，由于厚层硬塑料管的波阻抗较高，在管内壁反射形成二次弱冲击波（如图 5 所示）。多点反射冲击波随着向圆心传播，范围缩小，能量会聚，逐渐形成具有很高压力、温度和高能量密度的聚心冲击波”。它既补充了“一次”空气冲击波的能量，又使炸药在管内条件下反应完全、增速、趋于连续和形成稳定爆轰波；它使炸药所需的临界直径大大减小。炸药的极薄层点状分布更利于在低能空气冲击波作用下反应完全（如图 4c 所示）。

类似导爆管式的内管道结构，在新型爆破器材（如空心导爆索、空心炸药）和爆破工艺的进一步发展中将起重要作用。

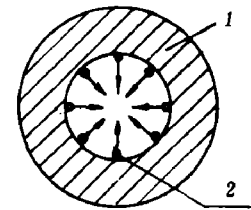


图 5 导爆管内管道效应示意图 1 是塑料管，2 是炸药微粒。

## 五、结 论

1、通过对导爆管管内抽真空实验与传爆前后导爆管纵横断面的显微观察与分析，可以认为：导爆管是一种特殊结构的极薄层炸药低能低爆速爆轰波的稳定传播。

2、导爆管内薄层炸药主要是在空气冲击波与内管道效应的联合作用下，三者互相反馈形成的稳定爆轰。其中，空气冲击波起主要作用；薄层炸药是主要能源；内管道结构是必要条件，三者缺一不可。

3、导爆管内薄层炸药、空气冲击波和内管道结构联合作用的物理实质，初步认为是：内管壁点状分布的薄层炸药被空气冲击波沿层激爆后，在管壁形成二次冲击波反射；各点的反射冲击波在管内会合形成聚心冲击波，能量会聚使极薄炸药在管内条件下形成低速稳定爆轰波。

在探索试验方案和传爆机理时，曾得到王效富、范钦文、陈嘉琨、高耀林和郭子庭等同志的帮助，邵效居协助复制照片，特此致谢。

## 参 考 文 献

- (1) 王玉琛, 爆破器材, (4) (1982), 7, 13.
- (2) 北京工业学院八系编, 爆炸及其作用, 上册, 国防工业出版社, (1979).
- (3) 炸药理论编写组, 炸药理论, 国防工业出版社(1982).
- (4) 章冠人, 冲击波基础知识, 爆炸与冲击 3(2) (1983), 90.
- (5) Langefors, U., Kihlstrom, B. . *The Modern Technique of Rock Blasting*. 3rd edit., John Wiley and Sons, New York (1978).
- (6) 胡峰, 爆破器材, (2) (1983), 3.

## EXPERIMENTAL STUDIES ON THE DETONATION TRANSMISSION MECHANISM OF DETONATOR TUBE

Wei Banyun Yang Zhiyu Liu Jiangyun

### Abstract

The detonation transmission mechanism of detonator tube is studied in this paper. Two kinds of experiments were used: the detonation velocity measurements, in which the tubes were vacuumed before shot; and the microstructural observations on the transversal and longitudinal sections of tubes before and after detonation. Some factors affecting the feature of detonation transmission are analysed. The results illustrate that under actions of the air shock waves and tunnel effect of the tube the thin layer explosive inside the detonator tube forms a steady detonation of special construction with low energy and low speed.