

※※※※※※※※※※※※※※※※※※
※※※※※※※※※※※※※※※※※※
※※※※※※※※※※※※※※※※※※
※※※※※※※※※※※※※※※※※※
※※※※※※※※※※※※※※※※※※

贛州冶金化工厂

武汉冶金安全技术研究所

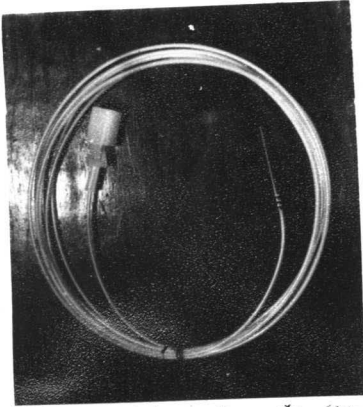


图1 串联结块的导外管——毫秒雷管

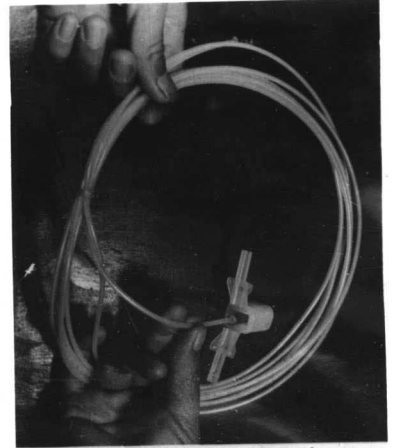


图1b 串联结块的导外管——毫秒雷管

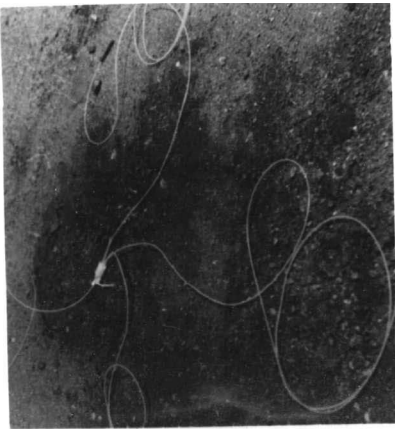


图2 联结分枝情况

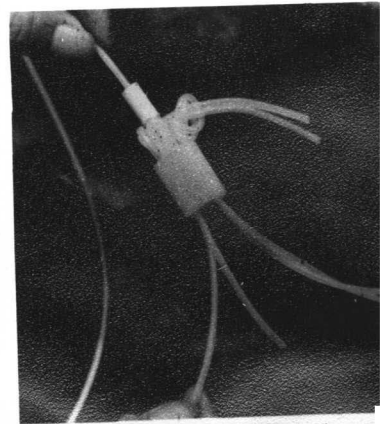


图3 联结分枝近景

导爆管起爆系统

赣州冶金化工厂

武汉冶金安全技术研究所

提 要

本文介绍了导爆管起爆系统的特点。比较了聚乙烯和田V A导爆管的差异,指出两者混改进性能,值得探索。介绍了配方及工艺条件的正交试验结果,指出了爆速随装药量增加而变化的不一致结果。以实验表明导爆管没有抗雷电能力,给出不同装药量产品的50%发火电压曲线。提出15段非电毫秒雷管。最后指出为五个矿山提供20余万米导爆管生产试用的主要经验。

导爆管起爆系统由塑料导爆管、非电毫秒雷管、联结传爆元件和起爆枪组成〔图1、2、3〕。是国外七十年代发展的新技术。瑞典诺贝尔公司于1971年取得专利,並命名为NONEL系统。随后加拿大工业公司和美国贝克福公司分别引进,据称已于1976年先后投产。

这个系统利用了冲击波传播的管道效应,即用内壁塗有薄层炸药的塑料管传递爆炸讯号並引燃毫秒雷管、进而起爆炸药实现非电毫秒延期爆破。

这个系统的优点:

1、根本改善爆破的电安全性並促进强化开采:

在现代矿山中, 国内外的普通电雷管都因杂散电、静电或雷电的干扰发生过意外爆炸事故; 国内外的安全电雷管, 一则电安全性只有一定限度, 否则一次起爆的雷管数有限, 不能满足大区爆破的要求, 导爆管起爆系统则不受电干扰, 同时一次引爆的雷管数也更多。

2、原材料节约, 成本低

导爆管每米重5~6克, 药芯仅重0.016克/米, (我国导爆索仅药芯就重达12~14克/米) 故能大量节约炸药、棉纱和铜。

3、导爆管生产容易自动化

4、起爆方法多样化

本系统可以用特制的起爆枪起爆, 也可以用现行的各种方式起爆。

但是, 这种起爆系统由于需用传爆雷管联结分枝, 故不能用于有瓦斯、矿尘爆炸危险的地点, 同时也对成本和安全有不利的影晌。其次, 导爆管的爆速不高于2000米/秒, 仅为导爆索的 $1/3 \sim 1/4$, 其传播过程将引起附加延期时间, 这在使用时要特别加以注意。此外它和其他一些非电起爆网路一样, 不能导通, 不便于做网路检查。

总的看来, 这个系统的优点是主要的。预计可以取代一部份导爆索, 导火索和电雷管, 并对爆破技术的改进做出贡献。

一、塑料导爆管

导爆管是整个系统的关键元件之一。我们用SJ-45B塑料挤

出机制导爆管。采用垂直机头。机头水平方向进熔融塑料。垂直方向通过模芯孔进炸药和铝粉的混合物。挤出塑料管通过重力牵引。经冷却水槽。再经牵引轮。过排线杆到收线轮。盘卷为导爆管成品。工艺装置及流程见文献〔1〕。

高质量的导爆管应具有以下品质：爆速较高而且稳定；内壁药层附着牢固；传爆中无破孔现象；内外经波动小；必要的强度和刚度；耐老化和高、低温下性能稳定；有一定的透明度以便作质量检测。要综合达到这些要求，必须选择合适的塑料和药芯配方，并寻求合理的工艺条件。兹将我们所做的初步工作报告如下。

（一）塑料的选择

根据鑑定〔2〕，瑞典导爆管的管材系沙林（*Sarlyn*）塑料（乙烯和甲基丙烯酸离子化聚合物），其特点是熔融时粘附力极强，透明度高，耐老化且低温性能好，刚度和强度较大，可能是制导爆管的适宜材料，但国内暂无产品。我们以高压聚乙烯或EVA（乙烯和醋酸乙烯共聚物）代用，它们的挤塑温度分别为 $130\sim190^{\circ}\text{C}$ 和 $100\sim130^{\circ}\text{C}$ ，远低于沙林（ $260\sim330^{\circ}\text{C}$ ），因而不仅可用奥克托金炸药，还可能用耐热性较低的黑索金炸药来涂制导爆管。后者的货源广，成本低。

高压聚乙烯与EVA相比，导爆管的爆速较高，抗拉力较大，但EVA的熔融粘结力更强。两者的对比结果如表1。尽管EVA还有低温弹性较好，透明度较高，在高速牵引下导爆管的椭圆度较小等优

表1 高压聚乙烯与 EVA 导爆管的性能比较

塑料品种	导爆管伸长率%		每米装药量	未粘牢药粉	平均爆速
	4公斤	5公斤	毫克/米	毫克/米	米/秒
高压聚乙烯	134	207	16	4.12	1665
			20	5.25	1670
EVA	217	217	16	<1	1570
			20	1.95	1570

点。但它的强度较低，高温性能差（熔点为 $85\sim 93^{\circ}\text{C}$ ）；又由于它的密度和刚度比高压聚乙烯要小，其声速较低，故它的爆速偏低可能是固有弱点；此外，虽然试验使用的日本NEP·FLH—630型EVA的价格为 3.1元/公斤 ，但国内只有试产品，货源不足且价格甚高（ 11元/公斤 ），可见EVA不宜单独用于制导爆管。然而，应重视它的熔融粘接力，低温弹性和透明度，加入适量EVA以改进聚乙烯导爆管的性能，值得探索。

用国产高压聚乙烯制导爆管应重视其熔融指数。1978年12月，我们试产导爆管20万米，先后用北京、上海和兰州高压聚乙烯共1.2吨，发现各厂分别有 $10\sim 30\%$ 的产品异常，表现在：1.挤出速度和牵引速度很难稳定匹配，使管径波动较大；2.在规定挤出温度下，异常产品的透明度较差，有时表面极不光洁甚至有明显的固体微粒；3.导爆管经冷却水槽时，表面附着的水较多，经测定，正常塑料的熔融指数为 $1.04\sim 1.3\text{克/10分钟}$ ，异常塑料仅为

0.4993克/10分钟。

(二) 药芯成分选择及其表面处理

用来做导爆管药芯的炸药，要满足管道效应对炸药感度的要求，还要有足够的耐热性以保证热挤塑涂药的安全性。

为评价炸药对管道效应的适应性，用冷涂法制成分别含太安、梯恩梯、黑索金和奥克托金的聚氯乙烯导爆管，其中梯恩梯导爆管不能稳定传爆甚至不能用雷管起爆，其它三种炸药均能传爆并引燃雷管。可见梯恩梯的感度不适应导爆管的传爆条件。另一方面，热挤塑涂药时，随塑料原料不同，机头温度高达 $120\sim 230^{\circ}\text{C}$ ，太安的热安定性较差，不宜用于制沙林或高压聚乙烯导爆管，能否用于做EVA管，还需通过实践考验而定。

炸药中加入铝粉，有利于改善导爆管的性能。根据 Persson 的实验〔3〕，只含铝粉的导爆管，也具有管道效应，爆速达1082米/秒（外径5毫米，内径3毫米，装药量360毫克/米）我们观察到只含炸药的导爆管，爆炸时显桔红色闪光，含炸药和铝粉混合物的导爆管，爆炸时显明亮的闪电光芒，可见铝粉对提高反应区温度有明显作用。

铝粉有粒状和片状两种，粒状铝粉呈球状，与塑料显点接触，不易与塑料牢固接触，而片状铝粉有利于与塑料呈面接触，能牢固的粘附在塑料上。

按 Persson 的意见，管道效应本质上是冲击波作用下多点燃

烧的传播。波面速度决定于药粒的点燃时间和侵蚀燃烧历时的长短。因此，药粒愈细，爆速愈快。其次，从结构上看，以1米导爆管计要将不足20毫米的药料均匀分布在40~50平方厘米的内管壁上，也必须采用细粒料。据鉴定，瑞典样品药粒在 $3.3 \sim 18.3$ 微米者占90%〔4〕。但是，粒度愈细，表面自由能愈大，吸水、结块附壁和静电现象愈严重。为保证必要的疏散性，必须对炸药的表面进行处理。

在炸药里加入少量表面活性物质或润滑剂，以减少粒子间摩擦和粘力及对器壁的附着力。表面活性物质以脂肪族酮〔2〕或硬脂酸及其盐酸类较好，石墨、滑石粉等润滑剂亦可使用，但它们不能包复炸药粒子表面，仅在炸药粒子间滑动。我们选用了硬脂酸盐类（如硬脂酸钙等）及石墨作表面处理附加物。石墨的机械混合方式加入，表面活性剂则溶于丙酮或甲醇，将炸药置于溶液里搅拌，使之被表面活性剂包复后烘干，形成薄膜，即可显著提高药料疏散性。

（三） 配方和工艺条件选择

进行了一组正交试验，以每米装药药量、石墨含量、铝粉含量、机头温度为因素，各选三个水平，以爆速，管壁未粘牢药粉量和传爆时导爆管的破孔数为指标，部份直观分析结果为图4。

可以看出：

1、药料含8%铝粉时爆速较高；

2、各种条件下，总有部份药粉未能牢固粘在管壁上，表明下药

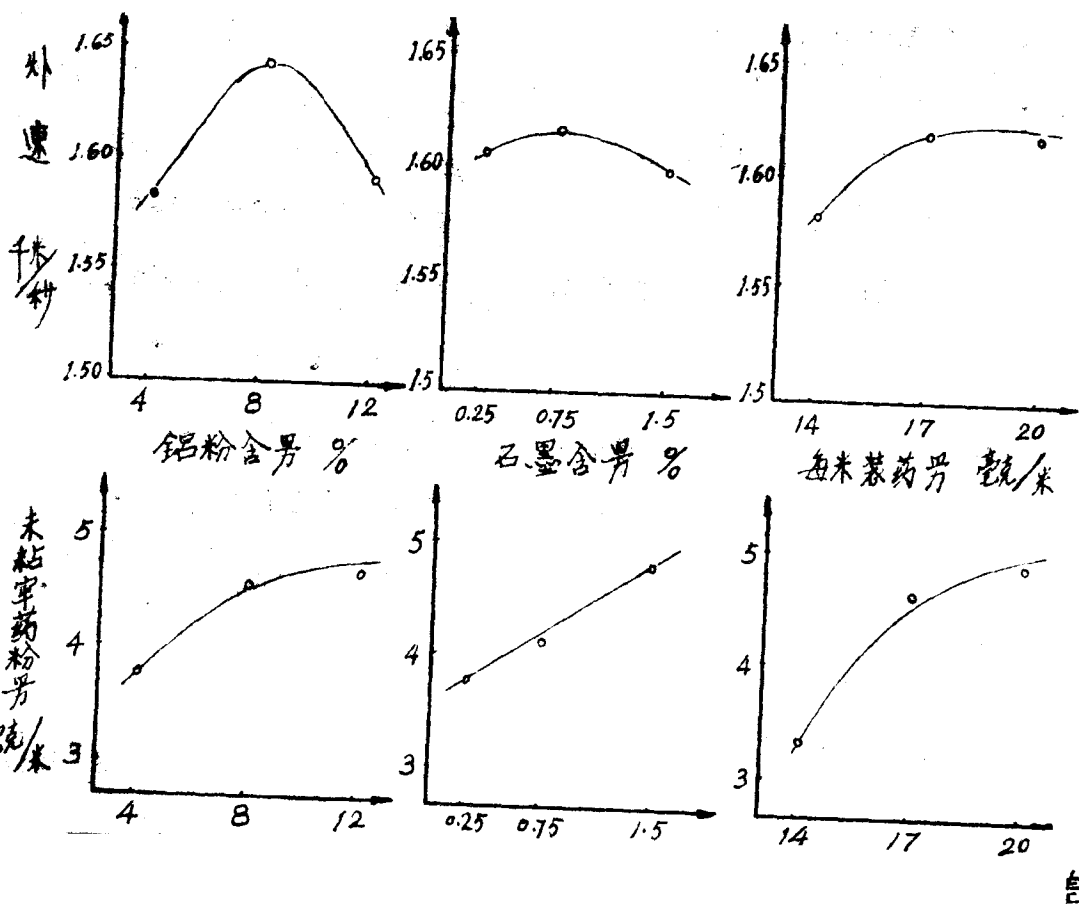
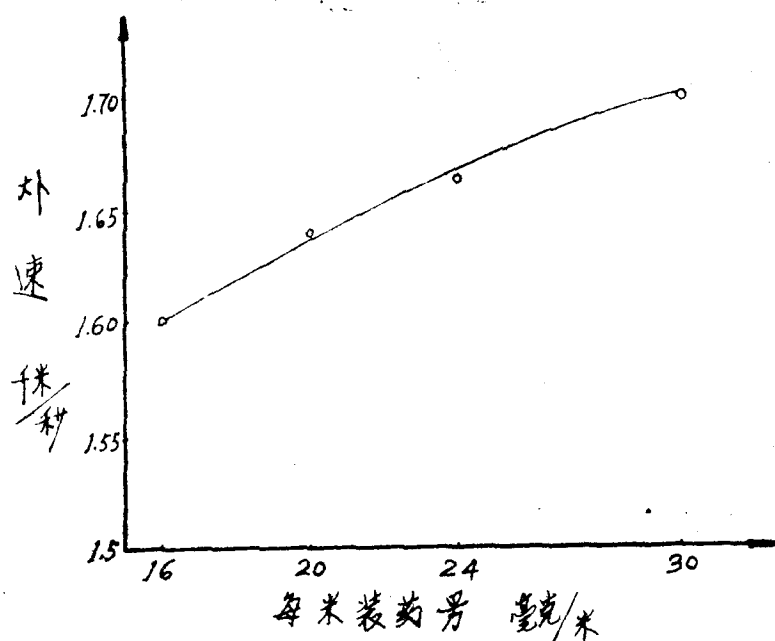


图3

也是粘附不牢的原因。从试验结果来看，随石墨、铝粉含量和每米装药量增加，未粘牢药粉量也明显增加；此外，提高机头温度以增加塑料的熔态粘附力多少有助于减少粘不牢的药粉。但潜力不大。例如，机头温度由 130°C 增至 140°C ，未粘牢药粉由 4.44 毫克/米降至 4.13 毫克/米。进一步提高温度，制管安全性将有所降低，达 170°C 后，发现药料在注药管中熔结，堵塞下药通道。估计是铝粉表面纯化剂熔融之故。

3、未在图中表示的试验结果，是导爆管在传爆中的破孔情况。每百米管的破孔数，与每米装药量关系极大： 14 毫克/米，未发现过破孔， 17 毫克/米，偶尔有破孔，而 20 毫克/米时，每百米破孔数达 6.3 个或更多。

4、按正交试验结果，每米装药量在17毫克/米以下时，爆速随药量增加而增大；大于17毫克/米后，药量增加至20毫克/米，爆速未明显增长。（这种情况在表1的结果中还有重现）。然而，在用多段爆速仪研究导爆管爆速时，又出现了爆速随药量的增加而递增，直至30毫克/米，爆速最大。结果如图5、图4和图5的爆速都是20个以上数据的平均值。这种矛盾现象还需要进一步探讨。



从各 图5 外速与装药量的关系 中，每米装药量1... 约10%... 铅粉8%，外加0.25%硬脂酸钙或0.5~0.75%的石墨。

二、非电毫秒雷管

非电毫秒雷管的结构如图6。联接套下端的锥形空间作为消爆元件，对非电毫秒雷管的秒量精度有重要影响。以15段产品为例，没有锥形空间时，秒量级差114毫秒，采用不同尺寸的锥形空间后，

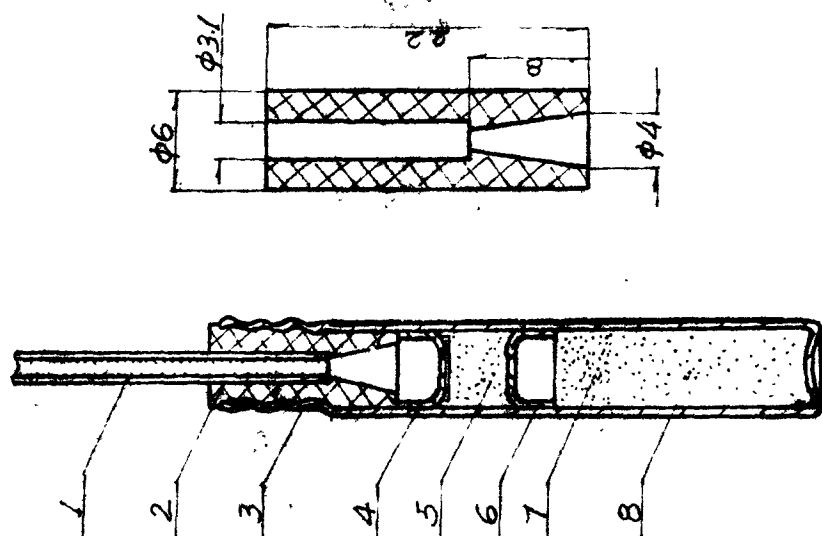


图6 非电毫秒雷管结构

1—导外管 2—联接套 3—铜管壳
4—空位槽 5—延期药 6—加强帽
7—起爆药 8—梯恩梯

秒量极差降至66~81毫秒。这表明，锥形空间能在相当程度上使导爆管喷出的冲击波衰减为火药，使得对延期药的点火更为平稳和可靠。为寻求较优的消爆元件参数，进行了一组正交试验，以锥底直径、锥高和秒量段别为因素，各取三个水平，试验结果表明以锥底径3.5~4毫米，锥高8毫米较好。

其次，延期药与导爆管端面间距离——空位的大小，对秒量也有影响。取空位分别为5.5、10、16毫米，以4段雷管试验，秒量合格率：5.5毫米的11.1%，10毫米的48.4%，16毫米的16.7%；以13段产品试验，秒量合格率，5.5毫米的66.7%，10毫米的100%，可见以10毫米空位较好。

试验中还发现，有的延期药编批做成非电毫秒雷管时，其秒量十分稳定；另一些延期药编批，虽然做电毫秒管时秒量很稳，但不适应导爆管的点火。通常秒量平均偏高，需调整配比后，才达到要求的秒量，由此推测，经衰减后的导爆管点火冲能与延期药性之间可能要求某种匹配关系，今后要进一步探讨。

考虑到冶金矿山对毫秒雷管秒量的要求是多方面的，拟将非电毫秒雷管的秒量规格分为二个系列：其一与现行电毫秒雷管的秒量规格相同；另一个系列的时间间隔则适当放大。

三、联接传爆元件和起爆枪

联接传爆元件包括塑料联接块和传爆雷管，联接块是委托南京塑料二厂仿制的。传爆雷管的结构与普通火雷管相同，但装药量较小：起爆药（DDNP）0.3克，黑索金0.4克。

起爆枪引爆导爆管，是撞击火帽实现的。经过试验，现已制成两代起爆枪，均能可靠起爆导爆管。与之配合的是D—3炮用火帽。

四、产品的性能

（一）塑料导爆管的性能

初步定型的黑索金——聚乙烯导爆管的外径为 3.0 ± 0.1 毫米；内径为 1.4 ± 0.1 毫米，每米装药量 16 ± 1 毫克/米。对它们各种性能作了以下测试研究。

1、传爆稳定性

用BSS—2型+段爆速仪进行分段爆速测定（光靶法），靶距一米，连测3段，装药量为16毫克/米的7根样品得21个数据，爆速为 $1640 \pm \begin{smallmatrix} 27 \\ 25 \end{smallmatrix}$ 米/秒。

为研究破孔对爆速的影响，用上述同样的方法，分别测装药量为24和30毫克/米的导爆管，结果如表2。表明破孔对爆速并无影响。但产品不允许破孔。实验证明，在水中，凡破孔的导爆管都会传

表2 破孔对爆速的影响

装药量 毫克/米	靶距1米的爆速(米/秒)的连续测值		
	第1段	第2段	第3段
24	1650	1645	1665
	1640(破2孔)	1670	1665
	1630	1680(破2孔)	1670(破1孔)
30	1665	1700(破2孔)	1710(破2孔)
	1690	1700(破1孔)	1700(破3孔)
	1690(破3孔)	1690	1705(破1孔)
	1685(破3孔)	1710(破2孔)	1695

传爆中断；其次，若破孔处在毫秒雷管附近，雷管秒量均不合格。打结、对折、拉长均可正常传爆，将导爆管拉长一倍，对爆速的影响不大，导爆管有20~30公分的断药亦可正常传爆，但在应用中应尽量避免上述作法。

2、耐电性

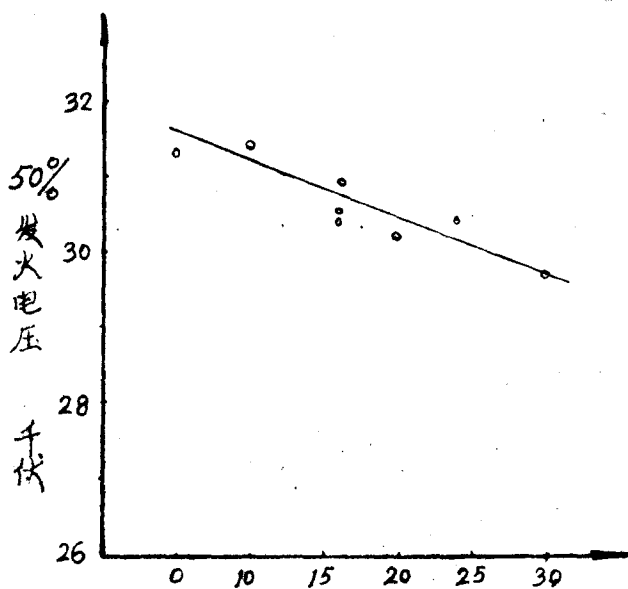
15厘米长的导爆管，两端插入铜电极，极间距离10厘米，加直流高压，在达到所需要电压后保持5分钟。分别对装药量为10、16、30毫克/米的导爆管进行试验，电容为300微微法和21600微微法两种，试验结果见表3。

我们还采用了勃罗西登法测导爆管的发火电压，所用装药量分别为10、16、20、24、30毫克/米的导爆管，极距2厘米，

表3 导爆管的耐电性

装药量 毫克/米	电 容 微微法	极 距 厘米	电 压 千伏	耐电时间 分钟	结 果
10	21600	5	50	5	不放电
16	300	10	30	5	不放电
	300	5	53	瞬间	放 电
	21600	10	30	5	不放电
	"	5	30	5	"
	"	10	50	5	"
	"	10	62	瞬间	放 电
30	21600	5	50	5	不放电

电容为10800微微法。冲击放电。以50%发火电压对装药量作图(图7)。



不难看出, 导

每米装药量 毫克/米

图7 不同装药条件下的50%发火电压

当导爆管被击穿时，管内炸药参与反应，並引起导爆管爆炸。试验表明，导爆管的耐电性是有限度的，一般说，不得高于30千伏，不能认为对雷电是安全的。

3、耐火性

将每卷长700米的导爆管四卷，搁在火上燃烧，塑料全部熔融，而炸药不爆轰。

4、耐水性

密封后浸入20米水深其爆轰性能不变。

5、耐高低温性能

将导爆管放在烘箱内，在50℃温度下保温16小时。传爆完全，测得爆速如下。

爆速米/秒 1640 1560 1550 1630 1590
1620 1570

将导爆管放在冰箱中，在-20℃保持16小时，传爆完全，测得爆速如下。

爆速米/秒 1550 1630 1620 1640 1590
1580 1610

6、抗冲击性能

将一卷200米，药量20毫克/米的导爆管，用18磅大铁锤猛击，直至塑料管破碎。炸药不爆轰。取单根导爆管作上述试验也同样不爆轰。

7、枪击试验

用56式半自动步枪。距离15、25、35米。对200米一卷的导爆管各射击25发。结果不起作用。

8、引爆炸药性能

用导爆管对准岩石炸药引爆。结果炸药不起作用。

9、起爆性能

可用火帽。雷管。导爆索。电引火头等方式起爆。但普通火焰不能引爆。一只8#纸壳火雷管可以引爆8根导爆管。

(二) 非电毫秒雷管

秒量规格分为DH-1和DH-2二个系列见下表

表4 DH-1系列的秒量规格

段 段 别	延期时间 (毫秒)	段 别	延期时间 (毫秒)	段 别	延期时间 (毫秒)
2	25 ± 10	7	200 ± 20	12	600 ± 50
3	50 ± 10	8	250 ± 20	13	720 ± 50
4	75 ± 10	9	310 ± 25	14	840 ± 50
5	100 ⁺²⁰ -10	10	390 ± 40	15	990 ± 75
6	150 ± 20	11	490 ± 45		

五、生产爆破应用

自1978年10月至1979年2月。先后为下奎钨矿。大冶铁矿。鞍钢矿山公司。邯邢矿务局和云南东川矿务局井巷公司提供了

表5 DH—2系列的秒量规格

段 别	延期时间 (毫秒)	段 别	延期时间 (毫秒)
1	50±15	6	490±50
2	100±20	7	610±60
3	150±20	8	780±70
4	250±30	9	980±100
5	370±40	10	1250±150

221, 000米导爆管和21, 000发非电毫秒雷管及相应的联结传爆元件。毫秒雷管最高秒量达21段。爆破工程类型包括大型露天和地下矿山爆破, 平巷和竖井掘进爆破。爆破效果良好, 受到矿山的欢迎。

初步总结应用实践, 应指出三点:

1、慎重对待导爆管的附加延期时间。导爆管每米传爆时间为0.6毫秒。在一个100米长的工作面上, 其传爆历时达60毫秒。如果首段在25毫秒后起爆, 则爆破飞石、空气冲击波和地震波有可能危害起爆系统的网路, 因为此时导爆管只传爆41.7米, 在剩余的58.3米范围内, 飞石和空气冲击波不可能追及导爆管的传爆波阵面。因飞石速度小于100米/秒, 冲击波速度不大于1400米/秒都小于导爆管的爆速1600米/秒。但是, 地震波传布速度可高达5000米/秒, 假定这就是面波速度, 则地震波将在距离起爆炮孔