

塑料导爆管起爆系统在隧道和 露天爆破中的应用

何广沂

我们在东北大兴安岭塔十支线开挖永安隧道和路堑爆破中采用了一种新型的起爆器材—塑料导爆管起爆系统。

本文主要介绍使用该系统的办法，与火爆、电爆等起爆方法相比其经济技术效果，使用中的注意事项，以及我们对推广使用这种起爆器材的一些看法。

一、前 言

为在铁道兵部队推广《塑料导爆管起爆系统》，我们使用红光电器厂生产的器材，于1980年3月，在大兴安岭塔十支线永安隧道和露天大爆破中开始使用。

隧道爆破，石质为中颗粒花岗岩 $f=5$ 、导坑截面积12.5平方米时，采用导爆管起爆系统比火爆节省炸药31.7%，大块率降低2.5%，哑炮减少一半。路堑石方大爆破，采用导爆管起爆系统比传爆线节省起爆器材费用67%，比电爆节省50%，准爆率达100%。

永安隧道，于1981年1月打通。部队经过11个月的使用，认为采用这种新型起爆系统，经济技术效果好，操作简便易行，使用安全可靠，在保障作业人员安全等方面开辟了新途径。

本文主要是结合隧道和露天爆破介绍使用该系统的办法，注意事项及其使用该系统的粗浅认识。文中有不妥或错误之处，尤望同志们批评指正。

二、导爆管起爆系统在隧道和露天爆破中的应用

(一) 爆破设计和参数选择

1. 下导坑

永安隧道全长1244米，石质属于中颗粒花岗岩 $f=5$ ，节理较发育，并有水。其开挖方法为上下导坑先拱后墙法。下导坑断面为梯形，底宽4.4米，顶宽4.2米，高2.9米。1980年3月以前，下导坑采用火爆掘进了435米，其余均采用导爆管起爆系统作为起爆器材。其爆破设计和参数选择如下：

(1) 每循环掘进1.5米。

(2) 楔形掏槽，布孔26个。

本文收到日期：1981年5月18日

(3) 总装药量26.1公斤

炮眼布置见图1, 炮数参数见表1。

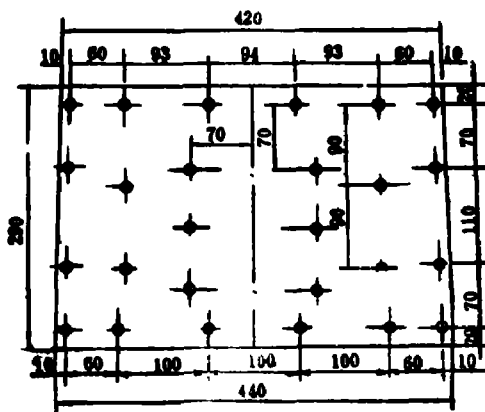


图1 炮眼布置

表1 炮眼参数

炮眼	区分	眼深 (厘米)	装药量 (公斤/卷)	装药系数	雷管 (段别/个)	倾斜角度
掏槽眼		160	1.20/8	75%	1/6	72°
辅助眼		150	0.9/6	60%	3/4	90°
帮眼		150	0.9/6	60%	5/4	82°
顶眼		150	0.9/6	60%	7/6	75°
底眼		160	1.05/7	66%	9/6	75°

爆破效果:

(1) 平均进尺1.46米, 炮眼利用率达97.3%。

(2) 单位耗药量1.43公斤/立方米。

(3) 大块率1.5%。

炸眼数量设计的依据:

炮眼数量与开挖断面、掘进深度、岩石力学性质、炸药种类、起爆方法、掏槽形式以及炮眼的空间位置等等因素有关。如果只考虑断面大小和岩石

的力学性质, 并假设水平钻眼和炮眼利用率为100%, 那么炮眼数量计算公式 $N = qs/br$ 。式中 N 为炮眼数量 (个), q 为单位耗药量 (公斤/立方米), s 为断面积 (平方米), b 为装药系数, r 为装药密度 (公斤/米)。

实际 q 为1.43公斤/立方米, s 为12.5平方米, b 为0.83, r 为0.8公斤/米。把这四个数代入公式中, N 为26.9个与实际布置的26个炮眼相差0.9个。

2. 弧导光爆

1980年4月之前, 永安隧道拱部开挖采取火爆分小导坑和扩大两部进行, 掘进了430米。自4月初, 使用导爆管起爆系统把两部开挖变更弧导光爆一次开挖。弧导断面13平方米, 其爆破设计和参数选择如下:

- (1) 每循环掘进1.30米。
- (2) 楔形掏槽 (两对), 布眼38个, 其中光爆眼17个。
- (3) 总装药量19.03公斤。

炮眼布置见图2, 炮眼参数见表2。

表2 弧导光爆炮眼参数

项 目 名 称	孔 深 (厘米)	数 量 (个)	药 量 (公斤)	
			单 孔	多 孔
掏槽眼	150	4	0.9	3.60
辅助掏槽	130	2	0.75	1.50
辅助光爆	130	7	0.75	5.25
光爆眼	130	5	0.26	1.30
		12	0.19	2.28
底眼		6	0.6	3.60
		2	0.75	1.50
合 计		38		19.03
平均进尺	1.29米			
单 耗	1.13公斤/立方米			
光爆眼装药集中度0.15~0.2公斤/米				

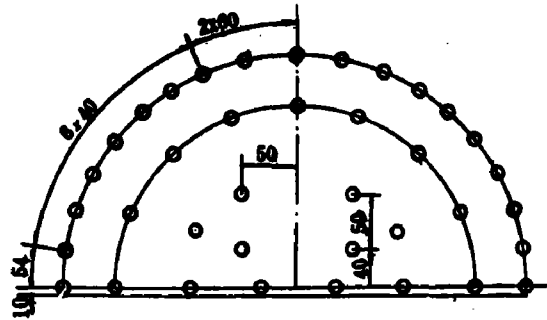


图2 弧导光爆眼布置

爆破效果:

- (1) 平均进尺1.29米,爆眼利用率达99%。
- (2) 单位耗药量1.13公斤/立方米。
- (3) 无大块,爆碴均可通过漏斗装入车。
- (4) 半眼痕保留率拱顶部分达90%,拱角部分偏低。

(二) 爆破网路

1. 下导坑爆破网路设计

经过一年来的实践,对各种网路进行了比较,根据下导坑断面大小,设计的是并联网路,

如图3所示。图中阿拉伯数字表示毫秒雷管的段别。

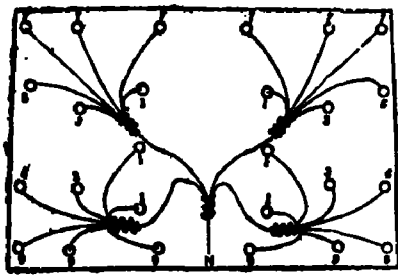


图3 下导坑爆破网路

毫秒雷管的延迟时间进行控制。

2. 弧导光爆爆破网路

弧导光爆网路也采取并并联,如图4所示。38个炮眼分成5个组,每组并联7~8根导爆管,5个组再并联一起。毫秒雷管配装长2~2.5米的导爆管。

3. 露天爆破网路设计

在每循环掘进深度1.5米的条件下,毫秒雷管配装长2.5~3米的导爆管;传爆雷管配装长1.5~2米的导爆管;26个炮眼分成4组,4个组并联在一起利用火雷管和配装1.5米长的导火索起爆。一旦导火索被点燃,便带动火雷管起爆,火雷管起爆带动周围4根导爆管起爆,4根导爆管几乎同时传爆到4个传爆雷管,4个传爆雷管带动26根导爆管起爆,当26个导爆管各自传爆到炮眼中时,各个炮眼响炮时间及其前后顺序由

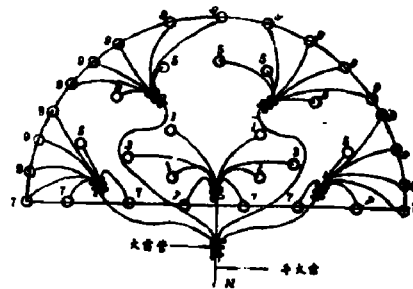


图4 弧导光爆网路

在塔十线利用导爆管起爆系统进行了五次路堑爆破（见图5），计18个竖井，36个药室，使用导爆管约1000米。1~6号竖井同时起爆，其网路设计采取并并联（见图6）的复式网路，使用导爆管长250米，8号火雷管43发。

其余4次爆破，其网路均采用并串联的复式网路（图7）。

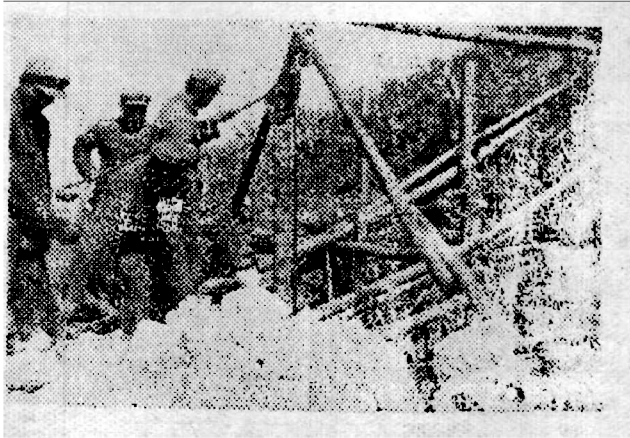


图5 导爆管起爆系统在路堑爆破应用

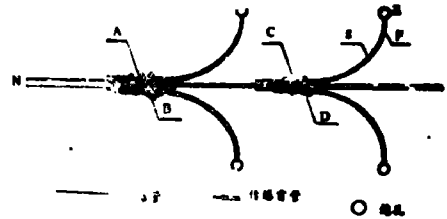


图6 路堑爆破网路并并联

(三) 爆破效果分析

1. 经济效果

(1) 下导坑

为了比较经济效果，分析了火爆有关数据。火爆掘进深度1.4米，炮眼31个，炮眼布置见图8，炮眼参数见表3，总装药量34.35公斤，每循环平均进尺1.38米，折合每掘进一米爆破器材费用38.77元（见表4）。导爆管起爆为31.99元（见表4）。利用导爆管起爆代替火爆，每掘进一米节

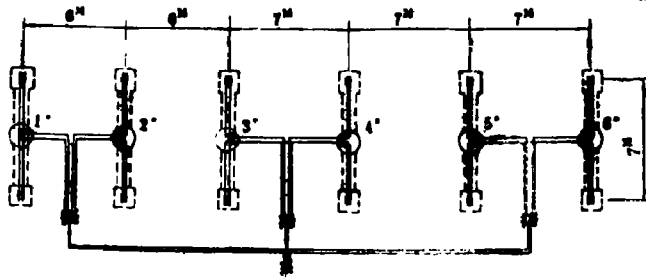


图7 并串联网路

省爆破器材费用6.78元（费用降低约17%）。如果把比火爆少钻5个炮眼的费用也计算在内，导爆管起爆更经济。

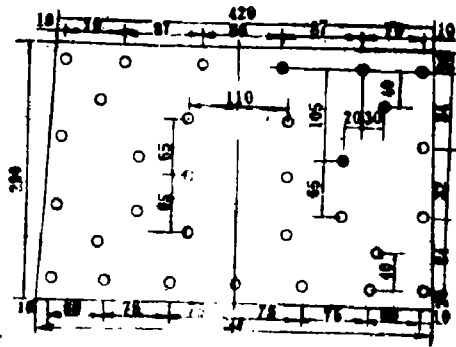


图8 下导坑火爆炮眼布置

表3 下导坑火炮眼参数

炮眼 区分	掏槽眼	辅助眼	帮眼	顶眼	底眼
孔深 (厘米)	160	140	140	140	160
装药量 (公斤/卷)	1.35/9	0.9/6	0.9/6	0.9~1.05/6~7	1.35~1.50/9~10
装药系数 (%)	80	60	60	60	80
倾斜角 (度)	71	90	82	75	75
火雷管 (个)	6	8	4	6	7

表4 下导坑爆破器材费用计算表

起爆种类	火 爆			导 爆 管 起 爆							
	炸 药	导 火 索	火 雷 管	炸 药	导 火 索	火 雷 管	毫秒雷管 (段别)				
							1	3	5	7	9
用 量	34.35 公 斤	62 米	31 个	26.1 公 斤	1.5 米	1 个	10	4	4	6	6
单 价	1.25 元/公斤	0.13 元/米	0.08 元/个	1.25 元/公斤	0.13 元/米	0.08 元/个	0.28 元/个	0.55 元/个	0.55 元/个	0.55 元/个	0.55 元/个
合 计 (元)	42.94	8.08	2.48	32.63	0.20	0.08	2.80	2.20	2.20	3.30	3.30
掘进一米爆破 费用(元/米)	38.77			31.99							

2. 弧导光爆采用塑料导爆管起爆进行弧导光爆比采用传爆线预留光爆层, 每掘进一米可节省爆破费用7.19元(降低爆破器材费用16%; 如果采取预留光爆层, 两次爆落, 可节省12.23元(降低费用26%)。其爆破器材费用计算见表5。

(3) 路堑爆破

路堑爆破, 在竖井深度、药室间距等基本相同的情况下, 分别用传爆线、电爆和导爆管

表5 弧导光爆爆破器材费用表

起爆种类	导 爆 管 起 爆						传 爆 线 导 火 索			
	一 次 爆 落			予 留 光 爆 层			炸 药 (公斤)	传 爆 线 (米)	导 火 索 (米)	雷 管 (个)
爆破材料	炸 药 (公斤)	导 爆 管 (米)	毫 秒 管 (发)	炸 药 (公斤)	导 爆 管 (米)	毫 秒 管 (发)				
用 量	15.38	99	33.9	15.38	99	33.9	20.74	28	44	22
费 用 (元)	19.23	9.90	10.73	19.23	9.90	5.69	25.92	14	5.72	1.76
掘进一米爆破 费用(元/米)	40.01			34.97			47.20			

三种起爆器材进行了实际使用,经计算平均每个竖井的起爆器材费,传爆线为14.7元,电爆10.10元,导爆管4.78元。导爆管起爆比传爆线节省67%,比电爆节省50%。

2. 技术效果

(1) 大块率

下导坑导爆管起爆块度均匀(见图9),大块率1.5%。火爆大块率为4%。前者比后者大块率降低了2.5%,减少二次破碎工作量,节省人力物力,缩短装碴时间。弧导光爆,由于单位面积上炮眼数略大于上导坑小断面的炮眼数,以及弧导光爆断面大,夹制作用小,导爆管起爆无大块。

(2) 炮眼利用率

永安隧道石质较破碎,火爆、导爆管起爆炮眼利用率均比较高,导爆管为97.3%,火爆为98.8%。弧导光爆为99%,上导坑(断面为7.4平方米)火爆为90%。

(3) 单位耗药量

下导坑,导爆管起爆单位耗药量1.43公斤/立方米,火爆1.99公斤/立方米。弧导光爆1.13公斤/立方米,上导坑火爆2.1公斤/立方米。

(4) 导坑超欠挖

弧导光爆,拱顶部分开挖轮廓线基本与设计的轮廓线相吻合,整个弧导平顺整齐。下导坑利用导爆管进行微差爆破,导坑两帮较火爆正齐,便于立排架。

(5) 哑炮

导爆管起爆比火爆减少一半哑炮,导爆管起爆平均每掘进10米有1.4个哑炮,而火爆有3个。

在路钎爆破中,部队利用传爆线起爆7个竖井出现了2个哑炮,电爆起爆了5个竖井,出



图9 导爆管起爆块度均匀

现一个哑炮，利用导爆管进行的五次爆破18个竖井，均未出现哑炮。由此说明，导爆管起爆部队容易掌握，可以不出现或者少出现哑炮。

(6) 安全可靠

隧道利用导爆管起爆，几十个炮一次点火，从容不迫，安全得很（见图10）。使用导爆管以来从未发生任何事故。除此之外，导爆管起爆解除了点火爆时的紧张状态，也避免漏炮。与电爆相比，不受静电、杂散电流、高频射流和雷电的影响，比电爆安全。



图10 一人点炮安全

(7) 碴堆

火爆碴堆集中，而导爆管起爆，碴堆较分散，90%集中在10米以内，10%分散在20米范围内。碴堆分散有利于钻眼和装碴平行作业，但不利于装碴。

(8) 冲击波

火爆冲击波弱，导爆管起爆冲击波强，如排架距掌子面近，冲击波可以推倒排架。

三、注意事项

导爆管起爆系统与火爆、电爆相比，虽然具有安全可靠、使用方便等许多优点。但是鉴于这种新型起爆器材在爆破工程施工中的应用还仅仅开始，人们对它的认识和使用有待日臻完善。为保障使用安全，防止意外事故，避免出现哑炮、断线等毛病，根据在使用过程中的认识，我们提出如下注意事项。

(一) 端头密封

根据使用长度，导爆管一旦被载断，端头一定要密封，以防受潮、进水以及小颗粒进入管中。用蜡烛或火柴烧熔导爆管，用手捏紧即可。使用时，导爆管密封处不应接近传爆雷管，应留出约10公分长的富裕量，以防端头密封不严受潮失效（见图11）

(二) 防止拉伸

导爆管遇力拉伸则变细，内径小于0.3毫米时，传爆不可靠。所以在使用时尽量不要拉细。



图11 导爆管与传爆雷管连接预留长度

(三) 导爆管接头

导爆管在使用中，尽量不出现接头。如遇到接头时，可用传爆雷管过渡，也可用套管连接。用套管连接时，首先把导爆管密封头切掉，然后两根导爆管插入套管中同心对接，并在套管外用胶布绑紧。绝对禁止不搭接，因为导爆管传爆能量小，不能引起周围的导爆管起

爆。

(四) 外观检查

导爆管、毫秒雷管在使用前必须细致地检查外观。当导爆管破损、折断、压扁，均应该剪断去掉，然后用传爆雷管或套管连接。毫秒雷管与导爆管连接处如松动，作为废品处理。

(五) 注意起爆、传爆雷管

隧道爆破，为防止意外事故发生，规定非点火人员不撤离掌子面，不安装起炸雷管和传爆雷管。露天爆破，网路铺设好之后，再连接传爆雷管，连接传爆雷管不得多于2人。传爆雷管连接好后，必须设个醒目标志，以便检查网路时提醒注意。

(六) 瓦斯地段禁用

根据导爆管起爆系统性能，在有瓦斯的情况下禁止使用。

(七) 火雷管起爆

隧道爆破，利用导火索和火雷管作为起爆元件，导火索的长度不能小于1.5米。露天大爆破不得小于3米。

(八) 二次破碎

二次破碎不应采用火爆，也要用导爆管起爆（一段毫秒雷管），并把导爆管并联到掌子面上的起爆雷管，一次点火。

四、几点认识

(一) 自行组装即发雷管

为节省起爆器材费用，用火雷管和导爆管可以自行组装即发雷管（一段毫秒雷管）。其工序是：根据实际需要把导爆管剪成一定长度，一端密封，另一端开口，开口端要剪平齐。第二，把电工胶布截成3厘米长密缠在开口端，胶布比开口端短约2毫米（如图12所示）。第三，把缠好胶布的一端插入雷管孔中直到接触加强帽，然后用雷管钳夹紧即可。

(二) 连接块

隧道爆破，用胶布取代连接块，其显著特点经济，而且操作、准爆如同连接块一样简便、可靠。经实际使用，隧道和露天爆破均可以用胶布代替连接块作为连接元件。



图12 胶布密缠导爆管开口端

(三) 隧道爆破网路的比较

导爆管起爆系统爆破网路联结大致可以分成两类。一类为并并联（见图3），另一类为并串联（图13）。

并并联网路准爆可靠程度高。因为无论图3还是图13中一旦有一个传爆雷管拒爆，并并联网路出现哑炮少，至多为6个，但并串联网路最少为6个。并串联网路一旦传爆元件中的导爆管拒传爆，那么哑炮的数量远比并并联多。

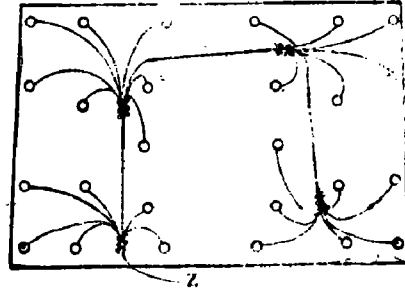


图13 并串联网路

(四) 露天爆破网路的比较

在露天爆破中，为保障每个药室准爆，在网路设计中均采取复式网路。导爆管起爆，我们设计的一种复式网路（图14）与所谓的加强复式网路（图15）相比，其准爆的程度更高。

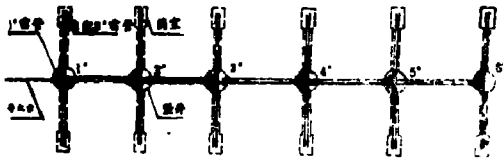


图14 复式并串联网路

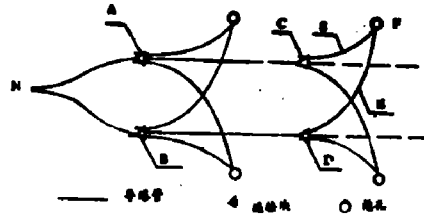


图15 加强复式网路

关于两种网路准爆可靠性对比分析

1. 在图15中当B连接块的传爆雷管拒爆，那么AB与CD之间导爆管变成单线，而在图14中，如同B传爆雷管拒爆，但是由于A传爆雷管的作用可以把AB与CD中间的两根导爆管引爆，其准爆系数比图15高一倍。

2. 如果图15中C连接块中的传爆雷管拒爆，而E导爆管末端工作元件的雷管（起爆炸药）也拒爆，那么F药室拒爆，而在图14中在同样条件下C雷管拒爆，E'导爆管连接的工作元件雷管也拒爆，但是F'药室不会拒爆。因为D雷管可以把g导爆管引爆，带动g导爆管的工作元件雷管起爆，从而使F'药室响炮。

(五) 导爆管传爆无方向性

导爆线网路连接，必须注意传爆的方向性，否则将造成哑炮。但是导爆管起爆无传爆的方向性，根据实际需要，导爆管可以采取如图16所示的反向连接。

(六) 微差爆破

从微差爆破理论上分析,在隧道爆破中岩石受装药爆炸作用约10毫秒在其岩体内形成裂缝,即前一炮眼给后一炮眼创造临空面约10毫秒。对毫秒雷管各段别间隔时间的计算,下导坑采用1~5顺段,有可能出现时间间隔2毫秒或5毫秒;如采取1、3、5、7、9段,其时间间隔最短为27毫秒。从理论和实际使用效果拟采用隔段为好。

隧道微差爆破与火爆相比,爆碴抛散远。这是由于爆炸产物的予加载作用,岩体的断裂抗力减小,岩石被产生较大的速度,故爆碴抛的远。采取毫秒和半秒雷管混合使用可以避免爆碴抛的远。

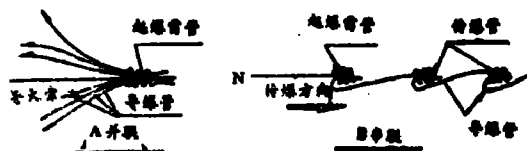


图16 导爆管反向连接

结 束 语

一种起爆器材的生命力如何,重要的一点在于使用是否安全可靠,操作是否简便。通过永安隧道的使用以及几处露天爆破的起爆,有力地说明塑料导爆管起爆系统已具备了这样的特点,深受部队的欢迎。但是文中分析的经济技术效果仅局限于一个隧道、一种施工方法、一种石质以及少量的露天爆破,所以其数据的可靠性有待不断地修正,对于网路的设计根据实际情况和安全可靠,有待进一步的研究,例如取消传爆雷管等。

本文得到朱光节同志的指导,特此致谢。

THE USE OF NON-ELECTRIC FIRING SYSTEM IN TUNNEL CONSTRUCTION AND OPEN-PIT BLASTING

Ho Guamg-yi

A new type of firing system known as plastic detonating fuse or non-electric firing system was used for Yong An tunnel and cut excavation in Tahe-Shibazhan railway branch line construction in Daxing Anling Area, Northeast China. This paper describes how the system was used, discussing its economy and technical advantages compared with the fuse ignition and electric ignition system. Cautions for safety and our views on introducing the firing system are also given.