

使用多种爆破器材进行隧道爆破

隧道及地下工程公司 曹增福 李会祥

以前,隧道爆破使用的炸药品种比较单调,往往是不论何种岩石,有水无水,不论断面大小,不论深孔、浅孔,只要进行钻爆均以同种药卷爆破。用得最多的是2号岩石炸药标准药卷。诚然,国内生产的炸药品种缺少多样化,系列化是一个原因。但是,在隧道爆破中,细致地计划和选择炸药合理装药结构也是不够的。由于长期使用单一品种规格炸药进行隧道爆破,结果无论在综合成本上,安全效果上、炮眼利用率、周边围岩稳定状况等爆破效果上都不够理想。

近年来,随着国内爆破器材的日益发展,出现了抗水性较强的乳胶炸药,安全性可靠性较好的非电导爆管系统新型爆破器材。我们还可同工厂商定加上各种直径的药卷,这就为爆破技术的发展和提高提供了有利条件。我们隧道工程局近两年来使用多种炸药和非电导爆管系统进行隧道爆破,解决了隧道深孔掏槽和大断面深孔爆破的课题。

一、采用多种炸药进行隧道爆破理由

大家知道,一种炸药不可能在任何岩石中得到最好的爆破效果。试验研究证明,当岩石和炸药的声阻值接近时,爆破才是比较有效合理和经济的。也就是必须考虑炸药和岩石的匹配。如对于严重风化岩层,采用便宜的铵油炸药比较贵的2号岩石炸药好,这是其一。第二由于隧道爆破的特点,一些炮眼需要加强装药,如掏槽部位的炮眼,另一些炮眼则是掏槽孔创造第二临空面之后,才起爆,可少装炸药,为掘进眼。为了形成光滑的隧道轮廓,要求围岩破坏最小,使用低威力小直径炸药。此外对于夹制作用较大,又有水的底板眼需要抗水性好威力大的大直径药卷。第三就同一种炮眼,底部夹制作用大,孔口则最小。也就是孔底需要高威力高爆速的炸药。对现今已通用的反向起爆装药来讲,采用较大威力的药卷也有一定好处,即要有更大的起爆能量。第四有水地段及有水炮眼,应选用抗水炸药来代替不抗水炸药加防水套的做法。这样做经济而效果好。第五随着钻机的改进和钻孔台车的使用,隧道爆破技术将朝深孔爆破发展,当孔深超过3米时就会出现炸药爆轰不完全的“管道效应”现象。因此要对炸药品种和尺寸加以选择,来克服“管道效应”以避免炸药爆轰。

为了提高爆破效果,解决大瑶山隧道全断面开挖深孔爆破问题,改变过去仅仅采用单品种规格的炸药进行爆破,已经是十分必要了。我局从一九八〇年九月开始到现在着手调研和选择使用了一部分炸药的品种规格,并使用了适用隧道爆破的拼制大直径药卷。我们局选用的炸药规格及主要性能见表1。

二、对各种炸药使用过程中的认识

我局选用的三大类八种规格炸药,在现场使用和试验中,有如下的认识。

(一) 同种类型炸药,它的药径增大,爆速也增加,稳定的爆速值具有一定的药径,当药径小到某一直径时,就不能起爆,此时的直径称临界直径。大于临界直径小于稳定爆速的直径时,爆速随药径增加而增加(硝酸炸药的稳定爆速直径约75mm),随着爆速的增加、猛度、威力和旬爆距离也相应增加。因为爆速增加单位时间内产生的气体增多,导致猛度和威力增大,同时单位时间内发生和接受爆炸波能量增加,加大了波接受爆炸的面积也就提高了旬爆距离。

(二) 由实验知在炮眼内药径增加传爆长度也增长了。药径的增加和导致上述性能的变化,加之药径增加,不偶合系数相应减少了(炮孔药径的比)炸药在炮孔中传爆的“管道效应”降低,传爆长度就增加了。

(三) 我局使用三大类炸药的特点:

1. 硝酸类炸药。它的优点是生产工艺简单,制造运输使用安全,原料来源丰富,价格便宜。缺点容易吸潮结块,抗水性差,主要是靠包装纸和石腊涂料来防水。

2. 乳胶炸药。它的优点是抗水性好,在水中浸泡三昼夜性能下降甚小,安全性好,原料中无TNT之类单体炸药和工业毒物,生产过程中无粉尘和废水排出。爆炸生成有害气体少。对机械摩擦、撞击、热和火焰感度都比硝酸炸药迟钝。密度高,在有水炮孔和水下爆破可自行沉入水中。但目前生产量不大,蓄存期短,仅六个月,价格较贵。失效后,炸药销毁困难。

3. 粉状硝化甘油炸药。它的威力较大,起爆感度、旬爆能力都比二号岩石炸药好。适用南方潮湿的气候条件,具有一定的抗水性能,爆炸生成有害气体较少,含有耐冻剂的品种,适用不低于 -20°C 地区使用,但价格高。

三、非电起爆系统

非电起爆系统,由塑料导爆管、非电毫秒延期雷管或半秒期雷管,传爆雷管和连接元件,击发装置所组成。我局经过两年的使用,从中进行了改进,更便于施工操作。

(一) 塑料导爆管

塑料导爆管是内涂有混合炸药粉末的塑料软管。

管壁材料:无毒的高压聚乙烯。

外形尺寸:外径 $\phi 2.95 \pm 0.15$ 毫米,内径 $\phi 1.4 \pm 0.1$ 毫米。

炸药成份:91%奥托金,9%铝粉,外加0.25%工艺附加物。

药量:16毫克/米。

当有火帽、激发电笔、引火头对着管腔激发所产生的冲击波传入管腔,或是雷管,导爆索紧靠塑料导爆管管壁爆炸,使管壁突然受压缩时,在管腔内产生冲击波。管腔中的药粉受冲击波作用而发生化学反应,给冲击波补充能量,使爆炸信号能稳定地传播。其速度 1950 ± 50 米/秒。

塑料导爆管遇到强大电流如30千伏静电、雷电、明火燃烧、重锤冲击都不会传爆。在

水深80米中传爆毫无影响，它本身不能起爆炸药，可视为非危险品。运输和存放。它是目前比较优良的爆破器材。但不能在有矿尘和有瓦斯的地方使用。

(二) 非电毫秒延期雷管和或非电半秒延期雷管。

毫秒延期雷管与导爆管装配成非电毫秒延期雷管用来起爆炸药。

我们最初使用的华东工程学院生产的导爆管，湖南9634厂产的1~10段铝壳毫秒延期雷管，工地自己装配成非电毫秒雷管1~9段。后来改用赣州803厂装配好7米脚线1~17段铜壳毫秒雷管，用量最多的是东北红光厂生产1~15段铁壳非电毫秒雷管和1~10段非电半秒延期雷管。国产非电延期雷管规格及秒量见表2：

国产非电毫秒延期雷管精度标准表

表 1

段别	延期时间毫秒 (ms)	段别	延期时间毫秒 (ms)	段别	延期时间毫秒 (ms)
1	不大于13	8	250 ± 25	15	880 ± 60
2	25 ± 10	9	310 ± 30	16	1020 ± 70
3	50 ± 10	10	380 ± 35	17	1200 ± 90
4	$75 \pm \begin{smallmatrix} 15 \\ 10 \end{smallmatrix}$	11	460 ± 40	18	1400 ± 100
5	110 ± 15	12	550 ± 45	19	1700 ± 130
6	150 ± 20	13	650 ± 50	20	2000 ± 150
7	$200 \pm \begin{smallmatrix} 20 \\ 25 \end{smallmatrix}$	14	760 ± 55		

国产非电半秒延期雷管精度标准

表 2

段别	1	2	3	4	5
延期时间 (BS)	≤ 0.30 秒	0.5 ± 0.15 秒	1.0 ± 0.15 秒	15 ± 0.20 秒	2.0 ± 0.2 秒
段别	6	7	8	9	10
延期时间 (BS)	2.5 ± 0.20 秒	3.5 ± 0.30 秒	4.5 ± 0.3 秒	5.5 ± 0.3 秒	6.5 ± 0.4 秒

实践证明：现场装配可根据炮孔情况决定脚线长度，避免了导爆管过长过短的麻烦。而且可以减轻危险品运转重量。目前工厂都不肯把半成品雷管卖给用户，理由是工地装配不能保证质量。

(三) 传爆雷管。

根据塑料导爆管被激发产生冲击波能衰减成火焰引爆雷管的道理。用塑料导爆管、卡口塞与8号纸（塑料）雷管装配而成传爆和连结雷管。

加工方法：将导爆管截成所需要的长度，切去封口的一端插至卡口塞底部，然后将卡口塞插入纸雷管壳内10~12毫米。用电工胶布在卡口塞与塑料导爆管、雷管壳处包扎两圈，以利防水，并将塑料导爆管另一端封口（当天用可不封口），就成了非电传爆雷管。

用自制的传爆雷管、连接网路每簇起爆30根至40根导爆管非电雷管。外用电工胶布代表连接块。三年来我们使用80万发非电雷管。三年中我们自己加工的传爆雷管为国家节约三千元以上，而且更加安全可靠。

(四) 击发装置。

当导爆管网路连接完成后,用来起爆整个网路的装置为击发装置。我们常用下列三种方法:

1. 普通雷管火花起爆。为防止引线的速燃我们规定引线长度大于所需要长度 0.5 米,在起爆前割下 0.5 米点燃,确认无速燃现象,再点燃起爆引线,但引线最短不得小于 2.5 米。

2. 自制安全电阻丝雷管起爆。

安全电阻丝雷管制造方法:电阻丝采用 800W 的电热电阻丝取 4~5 圈接上脚线拧紧或焊接均可。然后取一支 8 号纸雷管,把电阻丝插入管壳内。从引线中取 0.5 克黑火药装在管壳和电阻丝之间,外用胶布包好即成安全电阻丝雷管。

起爆电阻丝雷管必须有专门线路,开关用木箱锁起,待人机全部撤出才准接电源起爆。我们在斜竖井施工中采用此方法。

3. 出发枪导爆管轴向起爆。这种方法安全可靠,但费用太高。

(五) 使用前的试验

在试爆以前,对塑料导爆管非电起爆系统的某些性能进行试验,爆破网路和孔内外延期试验,试验时,我们只使用雷管不用炸药。

1. 起爆传爆性能试验。

(1) 用击发枪一火帽对塑料管轴向起爆。

试验证明,起爆简便,轴向起爆可靠。我们在雷公尖隧道,距开挖面 400 米远,出发枪起爆,爆速稳定。

(2) 使用 8 号工业雷管进行侧向起爆试验,可以从侧向可靠地引爆 100 根导爆管。这种方法常常应用在隧道爆破网路上,我们规定最多只能引爆 30 根。

(3) 塑料导爆管打结,或拉细,扭 180 度对折试验。试验结果仍能正常传爆。在我们装药中会碰到在孔内打结拉细的可能,而反向装药也会出现对折 180 度情况。

2. 塑料导爆管端口对接试验。导爆管之间的端面对接,用胶布或塑料套管包好,围成桃形,塑料套管内两端有 10cm 间距仍能传爆。这对导爆管接长有实用意义。

3. 孔外延期试验。

孔外延期的意思是(1)孔外装即发雷管,孔外用延期雷管,起爆延期时间,即为孔外延期时间;(2)孔内装延期雷管。孔外传爆也用延期雷管,延期时间为孔内孔外延期时间之和。

$\overline{2} \sim \overline{7}$ $\overline{9} \sim \overline{14}$ 为孔内毫秒雷管。 $\overline{1}$ $\overline{8}$ $\overline{13}$ 孔外毫秒雷管。

试验结果是孔内三个雷管拒爆即 $\overline{2}$ $\overline{5}$ $\overline{15}$ 。

原因分析:孔外延期过长,先起爆的毫秒铜壳雷管爆炸后,铜壳飞片把后起爆的导爆管打断,造成瞎炮。

结论:炮孔集中的隧道断面最好用 1 段毫秒雷管或瞬发雷管作传爆雷管。最好不使用孔外延期,避免传爆雷管产生的飞片打断导爆管。

四、采用合理的装药结构

如上所述,隧道爆破炸药的选择应随不同工地而变化。雷公尖隧道(中硬石炭岩)、张滩隧道出口(坚硬石英砂岩)、大瑶山隧道(中硬砂岩夹板岩)进行全断面深孔爆破中采用

了比较合理的装药结构,在装药方向上采用反向装药,反向起爆的方法,炮孔要求堵炮泥。掏槽孔装威力大,爆速高,传爆长度好的大药卷。图边孔选用向隔装药结构,这样对围岩破坏较小。也使用过小直药卷连续药结构。详见大瑶山出口装药结构附图。

五、微差爆破网路设计与连接

大瑶山隧道是电气化双线隧道,断面 $85\sim 114\text{M}^2$,每循环进尺5米,布孔180个左右。我们采用 $\overline{1}\sim\overline{15}$ 段和 $\overline{1}\sim\overline{17}$ 段毫秒雷管起爆,解决了大断面深孔爆破问题,而且采用过 $\overline{1}\sim\overline{15}$ 段毫秒和 $3\sim 10$ 段半秒级雷管进行大断面深孔光面爆破同样获得成功,采用两种导爆管网路联接方法。

(一) 簇联(工人叫一把抓)

装药完毕把导爆管从上至下分片就近抓在一起,在距末端15cm处放一只自制传爆纸雷管,使导爆管均匀在管壳周围分布。再用电工胶布包扎 $3\sim 4$ 层。为确保传爆,在离开已包好雷管导爆管束上10cm处,再同上方方法包进一只传爆纸雷管。然后把传爆雷管脚线紧靠连接处围个环,防止拉脱。各簇传爆雷管脚线抓在一起用火雷管或安全电阻丝雷管起爆。

(二) 眼孔比较集中的导坑,导爆管脚线露出孔外较短,可用导爆索连接称导爆索网路,这种方法更简单可靠,因孔外无传爆雷管,更安全。我们平导开挖多用此方法,但连接费用较高。

六、使用效果与评价

(一) 采用大直径药卷,克服“管道效应”成功地实现了隧道深孔爆破,使每循环进尺达到4.85米,炮孔利用率在95%以上。我局引进的四臂液压钻孔台车,钻孔直径48毫米,孔深可达5.15米。所以能取得好的效果,除钻孔技术、掏槽技术外,很重要的一点是采用 $\phi 42\times 500$ 毫米的大药卷,其装药不偶合系数为1.14,避免了“管道效应”。同样设备条件下,云南某水电站,因没有使用大直径药卷,爆破炮孔利用率只有50~60%。

(二) 乳胶炸药使用后,提高了爆破效果。最初是用1号抗水硝铵装底炮孔,往往出现底板爆不起来,要进行二次补炮。浪费时间。改用乳胶炸药后一不补炮,二不掉底,从而缩短了循环时间,大瑶山进口1982年12月创造全断面开挖33个循环进尺159.8米的好成绩。

同样上崩塘斜井全断面开挖中,由于采用了乳胶炸药和1号抗水硝铵配合使用,炮孔利用率提高10~15%。

(三) 竖井炮眼中积水无法排出,用2号岩石炸药用密度小,往往药卷上浮,影响炮孔利用率。采用乳胶炸药比重大,又防水,不仅解决了上浮排象,并收到较好地爆破效果。

(四) 周边孔使用小直径药卷 $\phi 25\text{mm}\times 165\text{mm}$ 号岩石集中装药,使炮孔痕迹,保存率在80%以上。上崩塘斜井使用 $\phi 25$ 小药卷后,成形较好并减少操作麻烦。

(五) 采用长药卷,方便装药,提高了装药工效。大瑶山隧道人工装药14~18人,每次装药700~800公斤。只要2~2.5小时,石质好的地方曾用58分钟装药753公斤。单用长药卷比较标准药卷,装药时间节省30%。

(六) 采用非电起爆,不但能实现微差爆破,抗水抗电性好,而且装药连接网路简单。特别是经过我局改进的爆破连接网路,更具有使用操作方便,安全可靠,适应性强的特点。

(七) 初步掌握了对各种复杂环境下,使用多种爆破器材的方法。遇到有水炮孔用乳胶炸药;无水中硬岩层用产价的硝铵炸药;坚硬岩石用粉状硝化甘油或乳胶炸药。对静电感应大,雷雨天使用非电爆破。

以上是隧道局在京广复线坪乐段几座隧道施工中使用多种炸药和新型爆破器材,进行隧道爆破的情况,取得了一定的经济和安全效益。但只是初步试用段,作为比较完善的爆破器材的多样化应用,还要从各方面进行努力:(1) 要求生产厂炸药产品的多样化和系列化;(2) 施工单位重视使用和根据工程实践选购一些新品种,并对新品种提出规格和要求;(3) 与生产厂合作研制一些新产品,尤其是光爆炸药的生产,极为迫切。庆阳化工厂生产的小直径光爆药卷,龙烟铁矿生产的 $\phi 20$ 乳胶药卷尚需改进。

另外,威力更大的胶质炸药能否在隧道中推广,如何解决安全问题,减少炸药的有害气体问题,均待研究解决。当然使用多种爆破器材也存在着存放和操作上的麻烦。