

# 青藏高原多年冻土地带爆破研究

何广沂

(铁道建筑研究设计院, 北京 102600)

**[摘要]** 介绍了青藏高原多年冻土地带铁路试验工程中有关爆破方面的研究成果, 针对多年冻土的特征, 重点论述了爆破方法与工艺及先进实用的聚能爆破技术。

**[关键词]** 多年冻土; 路堑; 基坑; 钻孔; 聚能弹; 聚能爆破

从2000年开始, 在西部地区当年新开工的有10大工程。即西安至南京铁路西安至合肥段、重庆至怀化铁路、西部公路建设、机场建设、重庆市高架轻轨交通工程、天然气输送工程、中西部水利枢纽工程、退耕还林和生态建设工程、青海钾肥工程和西部高校基础建设工程等。西部大开发首要的任务就是基础工程建设, 而基础工程建设的先行工程就是铁路、公路和机场建设等。对于铁路建设除上面提到的西合段和怀渝铁路外, 国家又决定即将修建青藏铁路, 即格尔木至拉萨段(青藏铁路西宁至格尔木段, 已于1984年正式投入运营)。进藏铁路曾有从云南、四川、甘肃和青海通向拉萨4个方案。经地形地质、路线长短、施工难易、施工期限和投资多少等综合分析比较, 以修建青藏铁路为最佳方案。但修建该铁路要通过青藏高原多年冻土地带(线路长572 km), 在这种地质和气候条件下修建铁路会遇到前所未有的种种困难。为此, 早在1975年铁路系统就在多年冻土腹部地带的风火山和清水河两处进行了铁路试验工程, 该试验工程中一项主要试验内容就是冻土爆破。本文介绍冻土爆破试验的基本情况和研究成果, 而以先进实用的聚能爆破技术作为重点。

作为参与铁路试验工程的笔者, 撰写本文的初衷就是为即将参加修建青藏铁路的设计、施工、监

理等单位, 在冻土爆破方面提供一定的经验和借鉴, 利于青藏铁路的修建。

## 1 多年冻土地带气候地质

### 1.1 何谓“多年冻土”

青藏铁路格(尔木)拉(萨)段自昆仑山北坡的西大滩至唐古拉山南麓的安多, 有572 km通过多年冻土地带, 占格拉段全长1 200 km的46.7%, 其线路走向如图1所示。

何谓“多年冻土”? 一般地说, 凡温度等于或低于0℃的土, 不论其中是否有冰, 均称为冻土。冻土之中, 又有季节冻土与“多年冻土”或永久冻土之分。地表至一定深度的范围内, 在一年中仅有一部分时间冻结的称季节冻土; 如在季节冻土层下有一层长期保持负温的土层, 则该冻土层即称“多年冻土”。我国东北地区有高纬度多年冻土, 青藏高原属中纬度, 因海拔超过4 000 m, 故有大面积的多年冻土分布。

### 1.2 多年冻土地带气候特征

青藏铁路格拉段地处世界屋脊, 是世界上罕见的高原铁路, 有显著的气候特征: 一是气压低, 空气含氧量少, 年平均气压为 $(0.544 \sim 0.775) \times 10^5$  Pa, 为海平面的54%~77%, 空气含氧量仅为海平面的60%, 路基试验工程地处多年冻土腹部



的风火山, 年平均气压为  $0.568 \times 10^5$  Pa; 二是气候严寒多变, 昼夜温差大, 全年大风多达 149 天, 冻结期长达 8 个月以上, 年平均气温  $-6.6$  °C, 最低  $-41.2$  °C。这种恶劣的气候, 很不适合施工, 尤其不适合人力施工。所以, 修建格拉段应以机械化施工为主, 要想方设法减少劳动力和减轻劳动强度。

### 1.3 多年冻土地带地质特征

青藏高原多年冻土地带地势高, 最低点格尔木海拔 2 800 m, 最高点唐古拉山口海拔 5 072 m, 格拉段全长 1 200 km, 海拔 4 000 m 以上地段达 950 km, 多年冻土地带均在 4 000 m 以上。从图 1 可知, 风火山地处多年冻土的腹部, 其地质构造具有典型的多年冻土特征。地表至 5 m 深左右为第四纪覆盖层, 一般为砂土、黏砂土夹碎石或块石, 含量为 5%~10%, 5 m 以下为几乎不含冰的砂页岩风化层。季节融化层最大厚度为 1.3 m 左右, 称为上限, 大约在每年 5 月初开始融化, 到当年 10 月底又冻结。上限以下为永冻层, 厚层地下冰极其发育, 即砂土、黏砂土中不但含有碎石或块石, 而且还含有“冰”, 根据含冰量多少, 分富冰、饱冰、多冰和少冰冻土。这种地质结构, 尤其是土中含石又含冰, 给爆破开挖采用机械钻孔带来很大困难。

## 2 多年冻土路基试验工程爆破开挖

铁路路基试验工程中的路堑爆破开挖位于风火山, 桥涵基坑爆破开挖位于清水河(距风火山几十公里)。无论路堑还是桥涵基坑爆破开挖, 主要是试验爆破方法、几种钻机和炸药与起爆器材性能。

### 2.1 深孔和药壶爆破

风火山路堑开挖有 2 段: 格尔木段长 82 m, 开挖最大深度 3.9 m; 拉萨段长 110 m, 最大挖深 4 m, 上限深度 1.3~1.5 m, 地层以含土冰层和饱冰冻土为主, 5 m 以下为不含冰的砂页岩风化层。

清水河有 2 座同样大小的桥涵基坑, 开挖深度为 4.2 m, 地层为泥灰土和含土冰层。

根据路堑和基坑开挖深度为 3.9~4.2 m, 试验了深孔和深孔药壶爆破。“深孔”, 本文指使用钻机成孔; “深孔药壶”则指钻机成孔后扩大孔底。

针对上述地质结构, 对于深孔爆破炮孔参数的选取近似于松软岩石深孔爆破, 其药量计算仍按爆破方量与装药量成正比。通过 98 个深孔爆破, 已

分析出适合多年冻土地质特征的单位耗药量  $q$  值, 见表 1。

表 1 单位耗药量  $q$  值和爆破单位用药量  $K$  值  
Table 1 Unit charge  $q$  and specific blasting charge  $K$

岩石名称	深孔爆破 $q$ 值/ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$		深孔药壶 爆破 $K$ 值 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
	松动	扬弃 ( $E=30\% \sim 40\%$ )	
砂粘土	0.30~0.40	0.60~0.75	1.0~1.2
泥灰土	0.40~0.50	0.80~1.00	1.1~1.3
砂页岩	0.58~0.55	1.00~1.20	1.2~1.4
风火山地区饱冰冻土(5~9月)	0.58	0.75~1.00	1.2~1.3
石灰岩	0.60~0.75	1.10~1.30	1.4~1.6
清水河地区冻结泥灰土(7~8月)			1.14

与深孔爆破试验的同时, 又试验了深孔药壶爆破。深孔药壶在风火山和清水河试验了 54 个。实践表明, 含冰量大的冻土可以爆扩药壶。“间歇、少药、多扩”是提高扩壶效果的好方法。对于含土冰层, 直径 60 mm 的钻孔, 经 3~4 次爆扩, 药壶直径可达 30 cm。对于饱冰冻土, 直径 146 mm 的钻孔, 爆扩 5~6 次, 药壶直径可达 50 cm。对于深孔药壶爆破, 试验了标准抛掷爆破, 即取爆破作用指数  $n=1$ , 则每个药壶装药量为  $KW^3$  ( $W$  为最小抵抗线)。通过试验已分析出适合多年冻土地质特征的爆破单位用药量  $K$  值大小, 见表 1。

### 2.2 钻机

由于多年冻土有厚层地下冰的特殊地质结构, 用钻岩石的潜孔钻机和风枪对钻冻土无能为力, 因为“冰”经钻化成水与土混为泥浆, 糊死了钻头排渣或排粉尘孔。对于多年冻土打眼应使用电钻(麻花钻)代替风枪为宜。钻大孔(爆破孔)试验了 3 种钻机, 这 3 种钻机虽然可以钻孔, 但是钻孔效率低, 见表 2。为此, 才进行了深孔药壶爆破, 以减少钻孔数量。实践证明, 这 3 种钻机不适宜于多年冻土地带大规模施工的需要。笔者认为, 修建格拉段对于多年冻土爆破的当务之急, 一是使用聚能弹成孔(见后文), 二是研制高效率的钻机。

### 2.3 炸药与起爆器材

上述 3 种钻机钻孔速度太慢, 无论深孔还是深孔药壶爆破, 每次爆破从钻第一个炮孔到最后一个炮孔, 都需几天, 其间已钻好的炮孔和爆扩的药壶出现冻胀, 使孔深变浅几十厘米。为解决炮孔变

表2 钻机效率

Table 2 Effectiveness of drilling machine

钻孔机械	钻孔年份	钻孔个数	钻孔延米	使用台班	钻速 /m·(台班) <sup>-1</sup>	每台班劳力 /人	备注
XJ100-1型地质钻	1975	12	44	11	4	5	风火山资料
	1976	70	228.7	48	4.8		
DPP-100型汽车钻	1975	15	71.9	12	6	3	清水河资料
	1976	24	105.85	11	9.6		
DG1型电杆工程车	1976	18	50.65	5	10.1	3	风火山资料

浅，在孔底安放一个150~300g的药包，每天引爆一次，随即再安放一个药包直至最后爆破。

多年冻土爆破使用2号岩石硝铵炸药和聚-2号浆状炸药。对于卷装2号岩石炸药必须做防水处理，采用聚乙烯塑料袋密封防水效果好，经试验，浸水10天或-22~-27℃冷冻5天，性能无变化。聚-2号浆状炸药防水抗冻性能好，但需中继起爆药包才能引爆。笔者认为，对于多年冻土爆破，应使用乳化油炸药为主，使用2号岩石炸药为辅。

对于起爆器材，试验了电雷管和导爆索。实践表明，电雷管（电起爆法）适用于多年冻土爆破。经试验，导爆索浸水6h或-26.5℃冷冻8h后传爆性能良好。根据笔者1980年在东北大兴安岭严寒季节对导爆管非电起爆系统试用的结果，该起爆系统可作为主要的起爆器材应用于多年冻土爆破。

### 3 聚能爆破

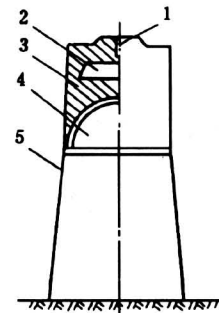
聚能爆破，顾名思义就是利用聚能原理加工制作的“聚能装置”，也称“聚能弹”。从工程爆破这一角度来讲，是对土岩实施特殊爆破，以达到人们所需要的目的，这是其他爆破无可比拟的。

#### 3.1 聚能弹结构与作用原理

3.1.1 聚能弹结构 聚能弹结构如图2所示。

3.1.2 聚能弹作用原理 聚能弹的作用原理，主要是利用聚能效应。聚能效应就是极大地提高爆炸的局部作用，利用弹体一端有凹槽，也称聚能穴来获得。

金属射流的形成：聚能弹在地面上爆炸造成一定直径、一定深度的竖井，其竖井的形成并非弹体本身钻入土中挤压所致，而是当弹体在地面上爆炸形成一股金属射流穿入地面，土质被高能量、高压力、高速度的金属射流作用向四周挤压的结果。圆锥形冲压紫铜金属罩，其金属射流形成的过程是：



1—引信装置；2—隔板；3—炸药；4—金属罩；5—支架

图2 聚能弹结构

Fig.2 Structure of cumulative shell

炸药引爆后，所形成的爆轰波传到装药介面（凹槽表面）时，其爆压近似垂直作用金属罩表面，金属罩环被四周均匀的压力压向中心，罩环逐渐变厚，最终罩环中心层金属聚合相碰挤出射流。在周力的作用下，金属射流只能朝一个方向（弹体下方）射击。实践表明，射流仅占金属罩原重的6%~15%，其余被挤压成致密实体——“金属杵”。杵体运动比较慢，其运动速度为500~1000m/s。射流的速度比较大，还有速度梯度分布，射流头部速度约 $10^4$  m/s，尾部接近杵体速度。半球形金属罩，无论是冲压紫铜还是铸铜金属罩，射流和杵体形成的机理不同于锥形金属罩。半球形金属罩在爆轰波作用下，在压塌金属罩过程中，金属罩逐渐向外“翻出”，即金属罩内表面变成外表面，而外表面变成内表面。半球形金属罩变化及其形成射流过程如图3所示。半球形金属罩形成的射流要比锥形金属罩形成的射流粗，但射流速度要小，不但如此，射流和杵体是互相交错的，射流不连续。实践表明，对于作用目标是钢板或坚硬岩石时，锥形金属罩比较好；而对于作用对象是土质时，两种形状的金属罩，其穿孔深几乎一样，但穿孔直径半环形金属罩

更大些。

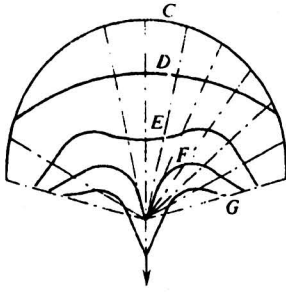


图 3 半球形金属罩变形过程  
Fig.3 Deformation process of semi-sphere steel shell

隔板的作用是：由于弹体中放入隔板，不但可以促使爆轰波同时到达凹槽表面，而且可以改变压垮金属罩的爆轰波的作用方向，它使爆轰波压垮金属罩的方向与金属罩母线夹角增大，使金属罩趋于被爆轰波垂直压垮，使金属罩环高速集中于罩轴，形成更为集中的射流。

实践表明，聚能弹在地面上支起的高度不同，其穿孔深度也不一样。各种聚能弹都存在最佳炸高，即穿孔最深时弹体支起的高度。只要弹体达到最佳支架高时，就能避免过高或过低时出现的不良现象，使射流发挥应有的作用。要使射流充分发挥作用，须使弹体距地面有足够的高度。这个高度要适当，过高时射流作用到地面前，因速度梯度的影响，射流可能被拉断；过低时射流没有充分伸长就作用到地面上，降低射流利用率。

### 3.2 聚能弹设计

3.2.1 半球形金属罩聚能弹 为便于说明，现将半球形金属罩聚能弹结构简绘成如图 4 所示。

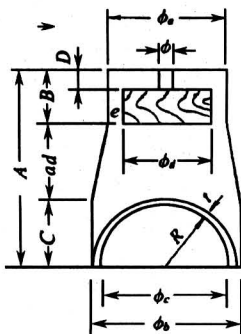


图 4 半球形金属罩聚能弹  
Fig.4 Semi-sphere cumulative shell

对于半球形金属罩聚能弹，要根据穿孔的深度和口径，首先确定半球形金属罩的半径  $R$ 。实践指出，穿孔深度要求  $3\sim 4\text{ m}$  时， $R$  可选为  $90\text{ mm}$  左右；穿孔深度为  $5\sim 8\text{ m}$  时， $R$  可选为  $150\sim 170\text{ mm}$ 。聚能弹其他参数如下：

1) 装药直径  $\phi_b$ 。装药直径  $\phi_b$  取决于金属罩口径  $\phi_c$ ， $\phi_c = 2R$ ，一般取  $\phi_c/\phi_b \geq 90\%$ 。 $\phi_b$  过大并不好，因聚能弹底部的炸药对射流的形成作用不大，这部分炸药前爆炸会向四周飞散，所以尽量使  $\phi_b$  趋近于  $\phi_c$ 。当其他参数不变时，只变化  $\phi_c/\phi_b$  的比值。笔者曾试验了  $\phi_c/\phi_b = 74\%$ 、 $80\%$ 、 $92\%$  和  $95\%$  等 4 种比值，其试验结果对穿孔深和孔径均无影响。

2) 隔板和其四周炸药几何尺寸。如图 4 所示，隔板下底面与金属罩顶的距离  $ad = A - B - C$  的长度为  $1/3 < ad/R < 1/2$  较合适。

隔板厚  $(B - D)$  确定的原则：

一旦聚能弹起爆，假定从起爆点沿着炸药传播的爆轰波和通过隔板并把隔板下的炸药引爆的爆轰波同时到达金属罩外表面上。根据爆轰波途径的距离、传播的速度，可以建立如下公式：

$$(\phi_d/2)T_1 + de/T_1 + B/T_1 = D/T_1 + (B - D)/T_2 + ad/T_1$$

式中： $T_1$  为爆轰波在炸药中传播的速度（爆速）； $T_2$  为冲击波在隔板中传播的速度。

当式中的  $de$ 、 $\phi_d$  和  $ad$  的长度已知时，则隔板的厚度  $(B - D)$  就可以计算出来。

隔板直径  $\phi_d$  的确定，是从假定的  $\phi_d$  两端引垂直线，能与金属罩母线的  $2/3$ （从金属罩顶开始）处相交，则假定的  $\phi_d$  符合设计，否则加大或缩小  $\phi_d$ 。

隔板四周药厚  $(\phi_a - \phi_d)/2$  的确定，一般要稍大于炸药爆轰的临界直径，常取  $15\text{ mm}$  左右，能稳定传播爆轰波。隔板上面的药厚  $D$  要比  $(\phi_a - \phi_d)/2$  略大些，其目的在于炸药爆炸后，爆轰波通过隔板还有能量足以把隔板下面的炸药引爆。

根据以上设计原则，隔板直径  $\phi_d$  与  $\phi_c$  的比值为  $70\% \sim 80\%$ ；隔板与金属罩的距离  $ad$  与  $\phi_c$  的比值为  $25\% \sim 60\%$ ；隔板厚度  $(B - D)$  与  $\phi_c$  的比值为  $15\% \sim 40\%$ 。

隔板材质的选择应满足以下 4 点要求：**a.** 密度小，质地细密，以保障有良好的隔爆性能；**b.** 组织均匀，以保障爆轰波的对称性；**c.** 可压缩性

好,脆性小,以保障既有良好的隔爆性能,又有一定的强度,而不致过早地被摧毁;d.在作用过程中,不会生成影响爆轰波稳定传播的坚硬产物。

按照上述要求,对于较大的聚能弹,以选择木质材料做隔板为好;对于较小的聚能弹,采用夹布塑料或黏土掺锯末等为好。对于黏土掺锯末作为隔板材料,其比例是95%的干黏土压细与5%的细锯末均匀混合,装入模具内,利用压力机压缩成型。

3)金属罩壁厚 $t$ 的设计。笔者所研制的聚能弹,当半球形金属罩直径 $\phi_c$ 为180 mm时,设计的冲压紫铜金属罩壁厚 $t$ 为10 mm,则 $t/\phi_c = 5.5\%$ ,其穿孔效果好;当 $\phi_c$ 为340 mm时,对铸铁、铸铝金属罩设计了金属罩壁厚 $t$ 为10、15、20 mm,壁厚 $t$ 为20 mm的穿孔效果好(20 mm以上没有设计),对铸铜的仅设计了15 mm。以上3种材料,以铸铜、铸铁为好, $t/\phi_c \geq 5.9\%$ 为宜。

3.2.2 圆锥形金属罩聚能弹 现将圆锥形金属罩聚能弹结构简绘成如图5所示。

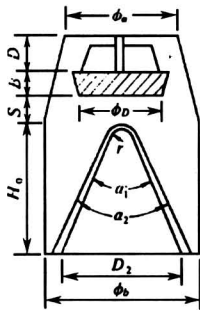


图5 圆锥形金属罩聚能弹

Fig.5 Cone cumulative shell

对于作用介质是土或冻土或松软岩石时,设计的内锥角 $\alpha_1$ 与外锥角 $\alpha_2$ 为2种:一种为 $\alpha_1/\alpha_2 = 46^\circ 30'/48^\circ$ ,另一种为 $\alpha_1/\alpha_2 = 46^\circ 50'/52^\circ 40'$ 。锥顶半径 $r$ 为 $r/D_2 = 8\% \sim 12\%$ , $D_2$ 为圆锥形金属罩底内径。锥高 $H_0 = D_2$ 。金属罩的壁厚变化率为1%~2%,锥顶厚可取5~7 mm。

隔板与锥顶的距离 $S$ 为 $S/D_2 = 1/5 \sim 1/4$ ,隔板直径 $\phi_D$ 为 $\phi_D/D_2 = 3/4$ ,隔板厚度 $B$ 为 $B/D_2 = 15\% \sim 25\%$ 。

聚能弹其他尺寸与 $D_2$ 的关系,与半球形金属罩聚能弹大致相同。

3.2.3 支架高的设计 试验的半球形金属罩聚能弹,最佳炸高(支架高)为金属罩口径的4倍;圆锥形金属罩的聚能弹,最佳炸高为金属罩口径的

3.5倍。2种金属罩聚能弹试验的穿孔深与支架高的关系如图6所示。

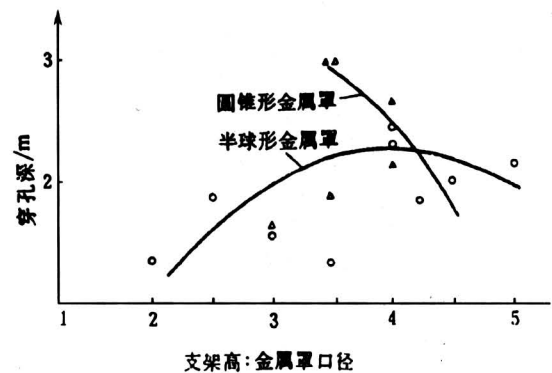


图6 支架高与穿孔深的关系

Fig.6 Links between blasting height and through depth

3.2.4 聚能弹装药成分的选择及装药工艺 笔者曾做过不同装药成分和装药方法的对比试验。例如,塑态装药,即把20%的梯恩梯熔化,再把80%的黑索金掺入拌搅,这种塑态炸药的爆速为7500 m/s;注装梯恩梯炸药,即把梯恩梯熔化后倒入弹壳中或模具中,其爆速为7000 m/s;散装的硝铵炸药,即把硝铵炸药倒入弹壳中压实,其爆速为4000~5000 m/s。这3种炸药的实际穿孔深,以塑态装药比较好,注装的仅为塑装穿孔深的80%,硝铵炸药基本不能穿孔。以上试验结果说明,爆速大的炸药利于穿孔。

对不同品种的压装炸药,笔者也做了穿孔深的对比试验,采用的炸药有“8321”炸药,爆速8300 m/s;黑索金炸药(钝感),爆速8000 m/s;梯恩梯炸药,爆速7000 m/s。穿孔试验表明,压装的“8321”与压装的黑索金炸药穿孔最深,两者穿孔深相差甚微;压装的梯恩梯炸药穿孔深仅为前两者的70%。这也说明爆速大的炸药有利于穿孔。

对于大型的聚能弹,一般可以采用50%的黑索金和50%的梯恩梯炸药注装,或采用80%的黑索金和20%的梯恩梯炸药塑装。以上2种装药方法比较简单,只要有符合要求的熔化锅即可,便于现场注装。对于小型的聚能弹,采取上述2种方法也行,不过为了提高穿孔深度和保障穿孔深的稳定,拟采取压装黑索金炸药。压装炸药,需要油压机和模具,适于工厂生产。

### 3.3 聚能弹在多年冻土地带工程爆破中的应用

3.3.1 多年冻土穿孔试验 在应用聚能弹爆破开挖路堑和桥基坑之前，为了检验聚能弹在多年冻土中的穿孔情况，在风火山附近的东大沟进行了穿孔试验。

东大沟冻土自上至下的地质为：0~0.2 m 为草皮，0.2~0.6 m 为黏砂土，0.6~1.2 m 为黏砂土夹碎石，1.2~1.5 m 为风化砂页岩，1.5~4.0 m 为饱冰冻土及含土冰层，体积含冰量达 80%~90%。试验穿孔的聚能弹装药量为 26.9 kg，全弹重 38.6 kg，注装各 50% 的梯恩梯和黑索金炸药，金属罩为铝青铜铸造，弹体结构见图 7。

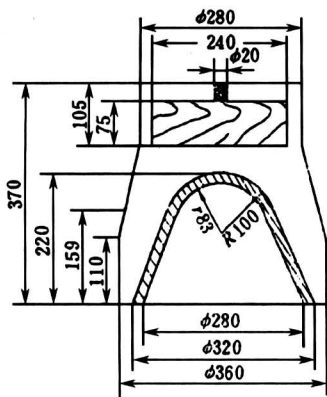


图 7 装药量 26.9 kg 聚能弹

Fig.7 Charges 26.9 kg cumulative shell

穿孔深为 3.8 m (可见深度)，孔径 10 cm，孔底为壶形，可容纳 14 kg 2 号硝铵卷药，炸药起爆后形成漏斗坑，爆破漏斗直径为 4.5 m，如图 8 所示。试验表明聚能弹可以在多年冻土中穿孔，而且孔底成壶形，利于药壶法爆破。

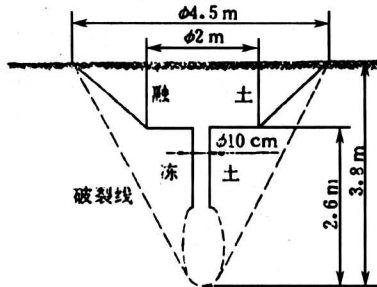


图 8 穿孔断面及漏斗坑

Fig.8 Through section and hopper pit

3.3.2 风火山路堑开挖穿孔爆破 风火山铁路试验工程 DK0+50~DK0+81.5 地段为路堑开挖。

由于没掌握冻土施工方法，把 1.5 m 厚的融土层挖掉后，冰层全部暴露，在日照下，边坡融化下塌，又必须对 3 m 厚的冰层进行迅速开挖。笔者用装药量 26.9 kg 的聚能弹代替地质钻钻孔，在冰层上相距 3.5 m 布置多个聚能弹同时起爆，结果形成了 2.2~2.5 m 可见深的孔，而且孔底成壶形，继而进行药壶爆破，爆后形成一条沟槽，用推土机推至路堑设计高程。从聚能弹穿孔到往孔中装药、堵塞和连接起爆网路，仅用了 2 个多小时就完成了地质钻需几天才能完成的工作量，不但如此，还缩短了路堑开挖后的冰层暴露时间，这对多年冻土在夏季爆破保障路堑施工质量作用更大。

3.3.3 风火山涵洞基坑穿孔爆破开挖 风火山铁路试验工程 DK0+230 处为一座涵洞，当挖完 1.5 m 深的融土后，出现了冰层和混杂着一定数量的土夹石。在这样的地质条件下，利用装药量为 26.9 kg 的聚能弹进行穿孔。在基坑长宽各约 8 m 的中间位置只安放了一个聚能弹，结果穿孔可见深为 4 m，孔底呈现壶形，在壶内装了 16 kg 硝铵卷药，起爆后形成了一个漏斗坑，并有冰、土夹石等被抛出基坑外，其余全部松动，利用 W-60 挖掘机在较短的时间内就顺利方便地清除完毕，基坑断面尺寸符合设计要求。

3.3.4 桥基坑开挖穿孔爆破 青藏铁路茶卡支线寺院车沟桥基坑明挖，于严寒冬季施工。土质为冻结黏土，表层 0.1 m 可用钢钎开凿，0.1 m 往下开凿不动，只能利用聚能弹穿孔。该聚能弹结构如图 9 所示，为玻璃罩，注装各 50% 的梯恩梯和黑索金，装药量为 14.71 kg，全弹重为 17.31 kg。平均穿孔可见深 2.8 m，孔口直径 0.2 m，利用穿孔爆破了 450 m<sup>3</sup>。从穿孔到爆破仅用了半天，清方后基坑断面尺寸达到设计标准。

3.3.5 西大滩冻土穿孔爆破 为配合原一机部高原机械样机现场考核试验，于严寒的冬季，在距风火山约 100 km 处的西滩利用如图 9 所示的聚能弹穿孔爆破冻结砂土夹碎石、卵石。在 200 m<sup>2</sup> 的地表上按照 3~5 m 的间距梅花形布置了 21 个聚能弹，一起引爆穿孔，平均穿孔深 2 m，每孔平均装药 10 kg，爆破了 400 多 m<sup>3</sup>。从安放聚能弹到往孔中装药、堵塞、连线和起爆，只用了 3 h，爆破深度和方量均达到预期目的。

### 3.4 在多年冻土中聚能穿孔爆破的技术经济效果

聚能弹在多年冻土地带代替钻机穿孔，其生命

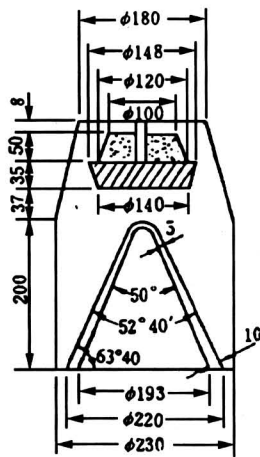


图9 玻璃罩聚能弹结构

Fig.9 Structure of cumulative glass shell

力如何,第一是否达到钻机成孔的质量,第二是否经济,第三成孔速度是否比钻机快。实践证明,聚能弹穿孔有很强的生命力,应用前景光明。

1) 聚能弹穿孔效果好。聚能弹穿孔垂直度与

钻机钻孔一样平顺。聚能弹穿孔可达3 m多深,这对于多年冻土地带的多数3~4 m深的路堑和桥涵基坑开挖能满足要求。聚能弹穿孔尤为突出的特点是,孔底呈壶形,可进行药壶法爆破,这可减少成孔数量,这一点是钻机钻孔无可比拟的。

2) 聚能弹穿孔速度快。由于多年冻土地带地质特殊,岩石潜孔钻机无法钻孔,地质钻钻孔速度又慢,这对大面积开挖爆破施工是不胜任的。聚能弹穿孔,几十个聚能弹按照设计的孔距和排距安放好,可同时起爆,这对一定开挖面积的路堑或桥涵基坑,可在一天,甚至更短的时间,达到穿孔和爆破目的,极大地加快施工进度。

3) 聚能弹穿孔经济效益好。使用的装药量为14.71 kg的聚能弹,每弹成本费仅为35元(70年代价格),以穿孔深2.8 m计算,平均每延米穿孔仅为12.5元,而地质钻则需25元。

4) 减轻劳动强度。在青藏高原多年冻土地带严重缺氧的气候条件下,利用聚能弹代替地质钻机钻孔,可以大大减轻繁重的体力劳动强度。

## Study on Blasting at Ever-frost Ground in Qinghai-Tibet Plateau

He Guangyi

(Research & Design Institute of Railway Construction, Beijing 102600, China)

[Abstract] The paper introduces the research achievements on blasting while the writer participated the railway experimental engineering projects in ever-frost ground in Qinghai-Tibet Plateau in seventies. It describes the blasting methods and technology, and practicable cumulative blasting technology according to the features of ever-frost ground.

[Key words] ever-frost ground; cutting; foundation pit; drilling hole; cumulative shell; cumulative blasting

## 第三代蓄光型自发光材料

开发新型能源和节约能源已成为当今世界人们的共同需求,随着光电技术的日趋成熟,许多国家都把研究的重点转向如何实现材料的光—光转换,即蓄光,然后发光。

我国于20世纪90年代开发成功第三代蓄光型自发光材料。这种材料具有无放射性、无毒等显著优点。其发光机理是一种微观的物理过程,由于稀土元素的原子外层电子具有在光照情况下,从低能级跃迁到高能级,并落入结构电子陷阱,从而蓄光;而在黑暗中电子又可以从高能级恢复到低能级,从而发光。

这些色彩缤纷、五颜六色的发光材料,白天吸收储存各种可见光,如日光、荧光、灯光、紫外光等杂散光,10~20 min后,可实现自发光功能,在暗处持续发光12 h以上,其发光强度和持续时间是传统发光材料的30~50倍,且稳定性、耐候性优良,彻底改变了传统自发光材料在应用中的不足。

这种粉末发光材料还可以作为添加剂均匀地分布于各种介质中,制成发光涂料、发光油漆、发光陶瓷、发光工艺品、发光油墨、发光塑料、发光膜板、发光安全标志、发光纤维、发光纸等产品。在建筑装潢、交通运输、军事领域、消防应急、日常家居生活、低度照明等领域具有广泛的应用空间。它可以使传统产品增添新的功能,提高产品的价值。

目前,欧洲空中客车公司、美国波音公司等大型空运公司已有5 000架主要机型装备我国生产的自发光应急逃生系统。我国发光材料的标准已被欧洲一些国家作为这类材料的国家应用标准。