

立井深孔光炸若干基本 问题的初步研究

(深孔和超深孔光面爆破科学研究报告之四)

胡 峰

山 东 矿 业 学 院

一九七八年四月

目 录

引言.....	1
一、凿井速度和炮孔深度	2
二、炸药种类和传爆长度.....	4
三、装药直径与炮孔直径.....	6
四、装药结构与装药密度.....	12
1. 关于反向装药反向爆破问题.....	13
2. 关于中部孔高威力高密度的装药结构问题.....	15
3. 关于周边孔的装药结构问题.....	17
五、雷管规格与起爆时序.....	17
1. 起爆时差问题.....	18
2. 雷管防水防潮问题.....	19
六、炮孔布置与炮孔间距.....	20
1. 布孔设计原则与步骤.....	20
2. 掏槽孔布置与设计.....	20
3. 周边孔布置与参数.....	22
4. 辅助孔布置与设计.....	23
结语.....	24

立井深孔光爆若干基本问题的初步研究

山东矿院 胡 峰

引 言

深孔光面爆破是近代采掘科学技术中的一大创造，是近二十年来实现快速、优质、高效机械化凿井技术的主要发展方向，苏联、南非、捷克等国自五十年代末期以来在大搞机械化的同时，大力研究推行了2.3~6.0米的深孔爆破技术，使凿井速度和掘进工效都得到了飞速提高，最高凿井速度和平均凿井速度都较浅眼爆破时提高了1~4倍，掘进工效也较前增加了数倍。据报导，苏联等国在最近十年除进一步完善适应3~6米深孔爆破的机械化装备，努力提高掘进工效外，又在进一步研究试验7~10米的深孔爆破技术。我国在此期间由于接连受到自然灾害和刘少奇、林彪、四人帮的严重干扰破坏，凿井技术和机械装备都改进很少，不仅没有搞光面爆破，而且连在五十年代初期就开始试用过的2.5~3.0米深孔爆破也没有继续，而普遍实行1.2~1.8米的浅眼自由爆破掘进，因此，即使在“天然干井”或进行了予注浆堵水的立井中，最高月成井也只能达到一百多米，稍有些淋水时，则只能达到几十米，掘进工效就更少了，直至近几年来，特别是从打倒四人帮以来，煤炭建井系统、冶金矿建系统和矿山工程机械制造单位的广大革命职工为提高我国凿井技术，赶超世界先进水平，在大搞凿井机械化科研，初步研制成功了一批新型凿井机械设备的同时，又在铜陵和邯邢的几个立井掘进中，初步试验成功了2.5~4.4米的深孔光面爆破，虽属初步试验，但也卓著地显出了深孔光爆的优越性，一方面是使井筒断面成形大大改善了，围岩爆裂深度也相应减小了，从而提高了锚喷井壁的质量，等等，另一方面则大大减少了辅助工作和转换工序的工时消耗，为高效机械化装岩、提升、卸运和锚喷创造了良好的条件，从而可以大大提高凿井速度和掘进工效，因此也必然相应降低凿井成本和材料消耗，这两方面优越性还随钻爆深度增大而愈加显著。例如，在邯邢陶二矿主井和万年矿风井掘进试验中，两者的地质、队伍和设备都基本相同，仅因前者是用2.2~2.5米的中深孔光爆，后者是试用4.2~4.4米的深孔光爆，结果，后者的凿井速度就约比前者提高一倍，又如，1975年10月在铜陵铜山新大井的掘进试验中，下旬10天用4米深孔光爆的进度就比中旬10天用3.2米深孔光爆的速度增加0.46倍。

当前在我国立井基岩施工中广用深孔光爆法掘进，已势在必行，势在必行，不能再犹予观望了，但是，深孔光爆也不是轻而易举随便就能搞好的，必须对钻爆技术，钻爆器材和钻爆参数等等实行较大的变革才行，否则，不仅得不到好效果（例如钻爆效率低、瞎炮残炮多、清底时间长，掘进速度慢等等），甚至可能造成较大的损失和事故（例如崩坏设备、崩

翻吊盘等等)。为在我国井巷掘进中迅速推行深孔光爆。我们几年来曾按照上级指示和现场要求,参加进行了一些研究试验,本文仅就在研究试验中遇到的一些基本问题谈一点心得体会和看法,由于水平有限、谬误难免,仅供参考。

一、凿井速度和炮孔深度

炮孔深度不仅是设计研制或选用钻孔机具和爆破材料、影响钻爆作业难易和钻爆效率高低的一个基本参数,而且是决定循环工作组织和凿井速度的一个重要参数,最佳的炮孔深度主要应以能获得最大的凿井速度为标准,不应该只一味贪图钻眼爆破、组织管理和器材供应等工作的“方便和容易”。只有按照最佳炮孔深度掘进,才能使每米井筒的耗时量和耗工量最少,工艺方法最佳,机械效率最高。所以最佳炮眼深度又是综合代表钻爆法凿井技术水平和速度水平的具体指标。为加快凿井速度,提高掘进工效,必须力求增大炮孔深度。

根据国内外实践和具体的研究试验资料统计分析,在现有凿井技术和装备可能做到的最佳工艺状态下,炮孔深度(H,米)与凿井速度(V,米/月)大致有如下关系

$$V = (90 \sim 130) RH$$

当 $R=1$,即客观条件都较好时(如干井,岩石稳定易钻易爆,井深处于100~600米时),在各种炮孔深度下可能达到的最高凿井速度范围如下:

$H=1.5$ 米时	$V=135 \sim 195$ 米/月;
$H=2$ 米时	$V=180 \sim 260$ 米/月;
$H=3$ 米时	$V=270 \sim 390$ 米/月;
$H \geq 4$ 米时	$V \geq 360$ 米/月。

过去确定炮眼深度一般都根据事先估定的月计划进度和日循环数反序计算,从形式上来看,这种算法好象有道理,但实际上是很不科学的,近代国内外的先进经验和我们的研究试验表明,只强求一昼夜或一班必须要取得几个整数循环的老方法,往往都不能取得最大的掘进速度和其他技术经济指标,不符合快速凿井的要求,如果再一味只追求增多循环数而降低炮眼深度,则更将“欲速不达”,反而要降低凿井速度,实际上由于凿井工作的复杂性,也常常不可能达到予想的那样正好在一个班内或一昼夜完成整数循环。

根据研究试验认为:确定最佳炮孔深度的科学方法应该按实际条件,使技术工艺、机械装备和组织管理都尽到最大能力,使钻孔、爆破、装岩、清底、支护和其他转换、辅助工作的效率都尽可能提高,使消耗于每米成井的各工序耗时量(简称单位耗时量)都尽可能减小等等为准则,进行具体分析,具体计算。

从试验得知,当炮孔深度变化时(其他条件都不变),各工序的单位耗时量变化情况大致可分成以下三类:

(1) 纯装岩和纯支护的单位耗时量基本不变。虽然当孔深增大使一次爆破深度增大了,用大型抓岩机和大吊桶装岩时,总的装岩效率提高了,用大段高锚喷或用高模板筑壁时,总的支护效率也提高了,但是,这些提高主要是因为准备工作、收尾工作、清底工作和其他转换工序工作的单位耗时量相对减少的结果,切头去尾后的纯装岩和纯支护效率可能有所提高,但可姑且认为提高不多。

(2) 純鉆孔的单位耗时量随孔深增加而增大。其主要原因有以下三点:

1、鉆孔速度降低: 根据研究, 孔深每增加一米的平均鉆速降低率 a , 主要决定于鉆机功率和操作技术, 气腿式的小功率凿岩机 $a = (8 \sim 12) \%$, 導軌式的大功率凿岩机则降低較少, YGZ—70型的 $a \approx (4 \sim 8) \%$, YGZ—90型的 $a \approx (2 \sim 6) \%$ 。当岩石較硬或鉆头直径增大时, 鉆速都要大大降低, 但主要是因初始鉆速 (V_0 —开始1米孔的鉆速) 就很低的缘故。

2、換鉆或接鉆的次数增多; 根据观测每換一次或接一次鉆子所需时间大约要2~10分钟。孔深愈大, 換鉆愈困难, 但接鉆則較易(只适用于導軌式凿岩机)。

3、爆破效率可能降低; 这是深孔爆破长期以来未能成功使用的主要原因之一。炮孔利用率低, 不仅使本循环浪费了很多鉆孔时间, 使装岩清底工作十分困难, 而且使下循环的鉆孔装药工作都十分困难, 致使单位耗时量大大增加, 完全失去了深孔爆破的优越性, 因此, 必須下大功夫提高爆破效率。目前的技术水平已经完全可以解决5米以內的深孔爆破问题, 例如采用高威力防水炸药、多段序毫秒雷管、大直径塑料管药卷、多阶式直眼掏槽, 从孔底反向爆破等, 在邯邢万年煤矿中部立风井掘进试验中, 已能使4.2~4.4米的深孔爆破效率稳定达到80%以上。

(3) 各种转换工序和辅助工作的单位耗时量都随孔深增加而减少。例如装药联线、放炮、通风、安全检查、清底排碴、升降人员和各种机械设备、运送材料和零星用品、安装和整收鉆孔机具、找准孔位和开鉆、拔鉆杆和排水等等工序在每循环中所消耗的总时间, 一般都没有大变化, 因此, 当孔深增大时, 这些转换工序和辅助工作的单位耗时量当然就成倍减少, 这个数值是相当可观的。

根据上述分析, 我们可用微分求极法导出在各种条件下计算最佳炮孔深度的公式如下:

$$H = \frac{1 + a(1 + v_0 \cdot t)}{a(I + V \cdot t)(I + \sqrt{\frac{n \cdot T \cdot v \cdot a}{I + V \cdot t}})}$$

T ——一循环中转换工序和辅助工序必須单独占有的总时间(与主要工序不能重合的部分, 一般 $T = 100 \sim 350$ 分);

v_0 ——初始鉆孔速度, 米/分;

a ——深孔平均鉆速降低率;

t ——平均每米鉆孔的換鉆或接鉆一次所需时间, 分/米;

n ——同时工作的每一台鉆机分工鉆孔个数;

由上式可以看出: 最佳炮孔深度与转换辅助工序时间 T 成正比, 与換鉆或接鉆时间 t 、平均鉆速降低率 a 、初始鉆速 v_0 、每台鉆机鉆孔数 n 成反比。据此分析计算得知, 我国目前已研制成功的6机伞型鉆較有利于搞深孔光爆, 如果能使每次接換鉆子的时间减少到2分钟以內, 則最佳炮孔深度应大于5米。此类伞鉆在今后设计研制中应力争增加鉆机台数, 增大鉆机功率和一次推进长度。环形鉆由于換鉆次数太多和鉆机功率太小, 不利于鉆深孔, 但如能增加鉆机台数, 使每台鉆在每茬炮中只需鉆2~4个炮孔时, 其最佳炮孔深度也可以达到3

~4·5米。为更加适应立井深孔光爆钻孔的要求,看来有必要将这两种钻架合并改造成为一种新型群钻,走我国自己工业发展的道路。若能快速、优质地钻出最佳深度的炮孔,剩下的主要关键就是如何保证这些炮孔的爆破效率都能达到80%以上的深爆技术问题,根据国内试验和国外经验,目前在立井中3~5米的深孔爆破技术和经验都已经比较成熟,为迅速赶超世界先进水平,建议有关部门立即组织推广,同时还应进一步研究试验国外多年来还没有见成的6米以上的超深孔钻爆技术。

二、炸药种类与传爆长度

保证炮孔中全部装药稳定爆炸是任何爆破工程取得良好效果的基本前提,但在立井深孔光爆中不仅因炮孔深,岩石抗爆力和夹制力大,难于爆破,而且还由于有下列三个特点使炸药稳定爆炸成为困难的问题。

1、由于孔深、装药长,仍用传统的纸包短小药卷,不仅装药速度慢,而且难于装到底,容易在中间卡住,难于使每个药卷在炮孔中都连续对接,容易在其间夹杂岩粉和污泥浊水等物,这些现象都必然造成不稳定爆炸和中途打爆问题。

2、由于深孔存水,水压较大,仍用传统的纸包粉状硝铵药卷和普通纸壳雷管,极易受水变质,即使采取一般的抗水硝铵炸药外加塑料防水袋和乳胶套,亦难于济事,或者易被孔壁岩尖划破或磨破,或者仍能从包扎缝和毛细孔进水。根据试验,这种装药法,在2~6米有水深孔中浸泡一个小时以上时,几乎都要受水变质,以至必然形成瞎炮或残炮。

3、由于孔深、装药长度大,仍用传统的小直径(<35 毫米)粉状硝铵炸药卷和不偶合柱状装药结构(即孔径大于药径的现用普通装药结构)时,起爆后极易产生爆速逐渐衰减以至打爆的外管道效应现象(又称“外沟槽效应”、“空壁效应”、“空隙效应”,等等)。管道效应是深孔和超深孔爆破中严重存在的两个理论难题之一,也是长期以来没有试验成功小直径深孔爆破的一个主要原因。1974年以来我们在试验中愈加感到这个问题的严重性。起初在某工程的巷道掘进中搞3~4米的深孔光爆试验,在 $\varnothing 48$ 毫米的炮孔,装 $\varnothing 32$ 或 $\varnothing 35$ 毫米2#岩石硝铵炸药卷,开始用正向爆破时,几乎全部炮孔的孔底都残留药卷,爆破进尺只能达到2米左右,仍用反向爆破时,虽然有时爆破进尺稍可提高一点,并且在孔底也无残药存在,但大部份循环的爆破进尺仍在2米上下徘徊,少数炮孔爆破更少,或“打枪放空”,或“扩底挂帘”,在新汶巷道试验中还发现爆破时有正在燃烧的火球从炮孔射出,在爆后的岩碴中甚至还发现有未爆药卷存在。这种恶劣现象直至将药径改为42毫米(装于 $\varnothing 48$ 的孔眼中)时才有改进。几年来经研究试验和学习初步查明外管道效应主要是因为孔壁和药卷间有空隙存在,已起爆的炸药产生的膨胀气体遭到孔壁反射和折射作用,沿空隙急剧向前运动,驱动空隙中的空气,形成高压空气冲击波,从而使前方仍未起爆或正在反应中的炸药颗粒受到压缩或扰乱,以至使起爆感度和爆轰稳定性随密度增大而降低的粉状硝铵类或其他类似种类的炸药爆速衰减直至中止(详细情况另有专文论述),据在壁厚2.5~5毫米,长2~7.5米的铜管中模拟深孔爆破试验表明,现用 $\varnothing 32\sim 35$ 毫米的中低威力粉状硝铵炸药(如2#岩石铵梯炸药等)在 $\varnothing 42\sim 52$ 毫米的孔眼中,不论正向或反向装药,从一端起爆后的传爆长度都只能达到1米左右,即使用4#岩石铵梯炸药也只

能达到1.75米（此值据开滦煤矿与四川矿院试验）。

搞好深孔光爆必须首先从爆破材料和装药结构入手采取一些特殊措施来综合克服上述三个困难问题，以提高传爆长度和爆轰稳定性。经研究试验认为目前我国立即可以推广采用的和有发展前途的方法有以下四种：

（1）采用大直径抗水高威力炸药的长大药卷，外加乳胶防水套和塑料薄膜防水套的连续装药法。邯邢煤炭十处曾采用此法在掘进万年中部立风井中搞4.2~4.4米的深孔爆破，取得了基本良好的效果。所用炸药是由峰峰607厂试制的 $\varnothing 45$ 毫米1#抗水高威力敏黑药卷含纯化黑索金25%，每个长300毫米，重500克，每卷从两头各套一个乳胶防水套，而后三个药卷再积装于一个塑料薄膜的防水袋中，由于此种防水袋在深水中大部分漏水，只起防护乳胶套被划破磨破的作用，据试验，用这种装药法在 $\varnothing 64$ 的孔眼中的传爆长度要大于7.5米。但是药卷加工麻烦费事，每米药卷的防水包装费达1~1.2元，装药也不太方便，仍未克服第一个困难问题，装药慢，质量也得不到保证。

（2）采用薄壁塑料管装普通中威力或高威力炸药的爆炸缆。在万年风井的后期试验中曾用过两次，井筒即已到底，显示了特别大的优越性：①能大大改善粉状硝铵炸药的传爆性能，减弱外管道效应，增加爆轰稳定性，据测验，在 $\varnothing 52$ 毫米，深6.5米的模拟深孔中，装入一根 $\varnothing 38$ 毫米，长5米的2#普通敏黑炸药（含未纯化黑索金20%）爆炸缆，从一端起爆，全部爆完，爆速基本没有变化；②井下装药十分方便，每个炮孔只需装一整根予先已加工好的长爆炸缆（实际就象一个特长的药卷），装药速度特快，并大大改善了装药质量，增强了爆轰威力；③防水性能很好，即使用抗水性很差的炸药和雷管装入，（两头紧塞一个小木塞，如保温瓶塞子，见图1），放入深水中长期浸泡也毫无影响，不需要另外采取任何防水措施；④可以有效解决深孔、光面爆破中周边孔要求低密度低威力装药（用普通中威力炸药和较小直径药卷）和中部孔要求强力装药（用较大直径和高威力装药）的装药结构问题，既能取得较高的爆破效率，又可获得较好的光面效果；⑤炸药雷管的加工制造简单、安全，只需用普通的散装炸药和雷管即可，省去了目前火药制造中最不易实现机械化操作的装药、包药、掺加抗水剂和纯化黑索金等手工劳动工序，改为在现场临时加工。为此（我们已设计一种很简单的振动装药器），生产率至少可提高 $\frac{1}{3}$ 倍，火药成本也可降低，⑥降低了爆破费用，据初步估算，仅防水材料费一项就可比上述第一种装药法约低 $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{1}{4}$ 倍。在万年风井已试验的爆炸缆所用之薄壁塑料管是由邯郸市第三塑料厂研究试制的，选用了不产生有毒气体的聚乙烯塑料，管内径为44毫米（用于掏槽孔和辅助孔）和38毫米（用于周边光爆孔），壁厚约为0.6~0.9毫米，每米管重量约为170克（ $\varnothing 44$ ）和140克（ $\varnothing 38$ ）。初步试验，效果虽然很好，但还需要进一步减薄管壁，降低成本、解决货源。扩大试验，使我国深孔光爆技术提高到一个崭新的先进水平。

（3）采用小直径高感度水胶炸药、满孔直接灌注法。这种方法对立井深孔和超深孔爆破是最理想的，比上述任何方法都具有更大的前途和优越性，炮孔直径可以不需要增大或增大很少（42~50毫米），钻孔、装药都十分方便，据悉，在美国已大量使用，我国北京矿务局和抚顺煤炭研究所也初步试制成功了二种含铝粉的小直径高感度浆状炸药，现已开始在杨

陀立井和东庞立井掘进中进行了初步试验,效果较佳。主要问题是铝粉等材料来源困难,还需要进一步扩大货源,研究新品种、新配方、新工艺,为此,建议有关部门立即组织大规模的会战试验,使我国深孔光爆技术推向更高的水平。

(4) 采用硝化甘油类(或其他类型的)防水高威力胶质炸药。采用甘油炸药在瑞典等国已有悠久的历史,可以不需要增大炮孔直径(对3~5米深孔来讲),防水良好,爆炸稳定,在万年风井掘进的初期(77年12月)曾试验过几次(所用的甘油炸药不耐冻,并发现有未爆的药卷),虽然此种炸药传爆性能较好,威力较大,但是不安全,成本较高,货源奇缺,若推广使用,必须下大力解决这些老大难的问题。

总而言之,搞深孔光爆必须选用能保证稳定爆轰,传爆长度较大的炸药和装药结构,在保证满足此项最基本要求的情况下,掏槽孔和辅助孔还要尽量采用高威力的炸药和装药结构,周边孔则要求采用低密度低威力的炸药或装药结构。

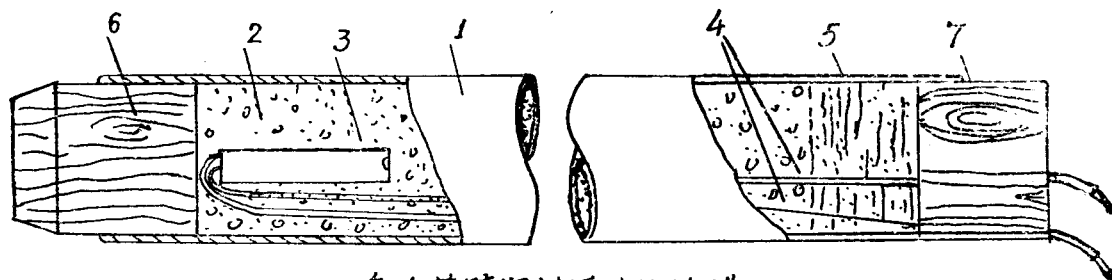


图1 薄壁塑料管装外炸绳

图1 薄壁塑料管装爆炸绳

1——薄壁聚乙烯塑料管。2——炸药粉。3——毫秒雷管。4——雷管脚线；
5——防水封口胶泥(防止从脚线引出处渗水)。6——封底木塞。7——封口木塞。

三、装药直径与炮孔直径

所谓装药直径就是指装入炮孔中的炸药直径,对于普通的药卷式装药法来说,装药直径即药卷直径,为装药方便,必须至少使炮孔直径大于药卷直径3~10毫米。对于散装式或灌装式装药法来说,装药直径即等于炮孔直径。

装药直径及其相应的炮孔直径是深孔光爆第三个特别重要的参数,是控制各类炮孔的爆炸能力达到预定爆炸作用的一个基本因素。确定最佳的炮孔直径与装药直径应该以能够获得最优的爆破效果(爆破效率、光面质量、破岩块度和抛掷距离等)和最快的钻爆速度为准则,不应该只一味贪图钻孔操作和器材供应的“方便和容易”。过去用手扶钎子或手持钻机打眼只能打小眼、放小炮,从而规定了与1~2米浅眼爆破相适应的装药直径为31~32毫米和炮孔直径为38~43毫米。现在再千篇一律、不问情况地都采用这种小直径装药搞深孔光爆就不行了,国内外大量实践和多次试验使人们认识到,必须首先从钻孔方面克服困难,研

制大功率、高强度的钻孔机具，以适当增大炮孔直径，才能达到深孔、光面爆破的预定效果，例如苏联在立井快速施工中现已比较普遍地采用45毫米直径的大药卷搞3~5米的深孔爆破，美国等几个国家采用重型凿岩机和钻车，其钻孔直径多为42~52毫米甚至更大，瑞典等国由于传统使用有塑性、传爆好和威力较大的甘油类胶质炸药和轻型手持气腿式凿岩机，故炮孔直径和药卷直径都比较偏小一些，孔径多为31~38毫米，但是近十几年来随着孔深加大，并愈益增多地采用钻车和导轨式重型凿岩机，孔径也多增加到43~51毫米，甚至达到64~76毫米。我国在五十年代初期就曾大量试验并推广大直径爆破，后来由于钻孔机具上的困难和推广浅眼爆破等技术路线上的问题而未再继续使用（只是有的火药厂把药卷直径增到了35毫米）。应该认为这是一种技术上的倒退。

根据过去和近年来的研究试验得知，增大孔径和药径后炸药的爆炸性能和爆破指标都有较大变化，主要表现在以下几点：

1、炸药爆速提高了，众所周知，粉状的确铵类炸药，当药卷直径小于15~20毫米时，即不能起爆，当大于这个临界直径时，其爆炸速度是随药径增大而增大的，直至药径增大到60~80毫米以上时，才能接近达到稳定爆轰的速度即最高爆速。因此，把我国常用的32毫米药径增加到45毫米时，爆速约可增加15~20%，实测2#岩石铵梯炸药的爆速与药径的变化关系如图2所示，由图2可以看出，爆速与药径大致成渐近线似的变化，爆速增加就会促使爆炸功率增大和爆炸反应完全，而它们反过来又促进了爆炸速度。

表 1

药卷直径 (毫米)	爆 炸 速 度 (米/秒)	增 加 率 (%)
20	2330~2500	100
25	2600~3000	117
30	3000~3080	127
35	3340~3400	143
40	3490~3500	147
45	3540~3620	149.5
50	3610~3650	155
60	3780~3850	159
70	3960~4020	166
80	4000~4120	169

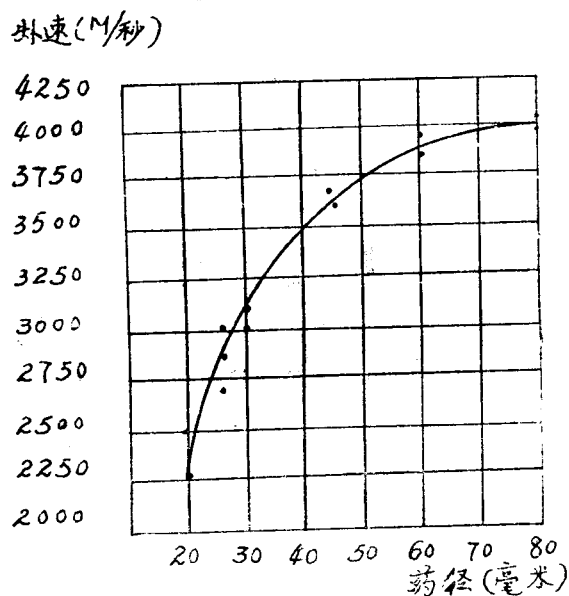


图2 2#岩石炸药药径与爆速变化曲线

硝化甘油含量较高的炸药虽然不像硝酸铵类炸药有明显的爆速渐增现象,但是,却有跳跃式的高速爆轰和低速爆炸之分,只有当药径较大和其他条件具备时,才有可能按高速爆轰反应。

2、炸药猛度增大了。众所周知,爆速增大、猛度也必然随之增大,实测2#岩石铵梯炸药的相对猛度与药径变化关系如表2和图3所示,试验炸药重量均保持为150克,密度均为1克/厘米³,试验所用的铅柱均是同一次做的同一种规格,直径为50毫米,高为70毫米。

表 2

药卷直径 (毫米)	相 对 猛 度 (毫米)	增 大 率 (%)
32	4.2	100
40	9.1	216
45	12.2	290
50	15.7	374
55	21.03	500
60	24.9	591

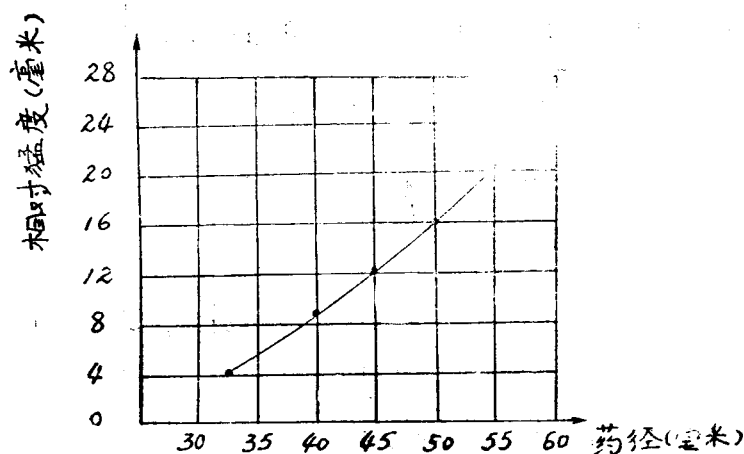


图3 2#岩石炸药药径与猛度变化曲线

3、炸药威力增大了。根据理论分析可以得知，爆速提高了，爆炸生成气体的总体积和单位时间内生成的气体体积都必然随之增大，因此也就必然导致爆炸威力也随之增大。实测同重量同密度的2#岩石铵梯炸药做成不同直径药卷的爆力表现如表3。

表 3

药卷直径 (毫米)	在均质粘土上爆挖深坑		在均质粘土中扩孔直径		在均质粘土内爆扩壶体	
	挖坑深度 (毫米)	增长率 %	扩孔直径 (毫米)	增长率 %	扩壶体积 (厘米)	增长率 %
30~32	76.5	100	800	100	150000	100
40~45	115	150	930	116	160000	106.7
60	117	153	970	121	169000	113.0

4、殉爆距离增大了。药径增大和爆速增加，使药包在单位时间内发生和接受的爆炸波能量增强，同时又直接加大了接受爆炸波的面积，因此，必然大大提高药卷间的殉爆距离。根据作者早在1953年对山东化工厂生产的岩石硝铵炸药所进行的试验，当药卷长度和密度都不变，仅改变药卷直径由31增至44毫米时，其殉爆距离几乎是与药径成直线正比关系（如图4），当起爆药卷的药量和密度都不变时，药径与殉爆距离的关系如图5。

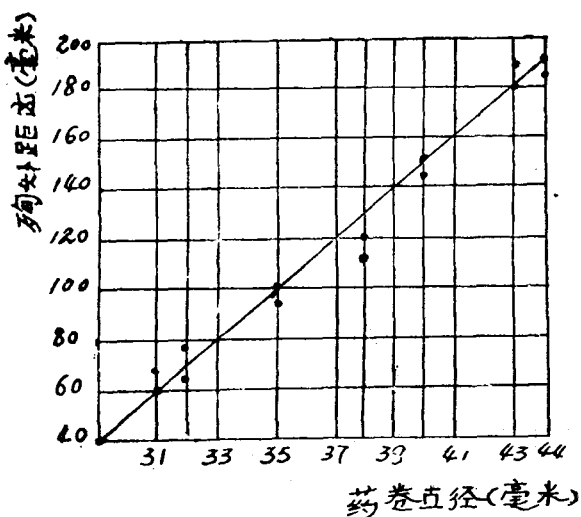


图4 岩石铵梯炸药药径与殉爆距离的关系曲线(药卷长度和密度不变时)

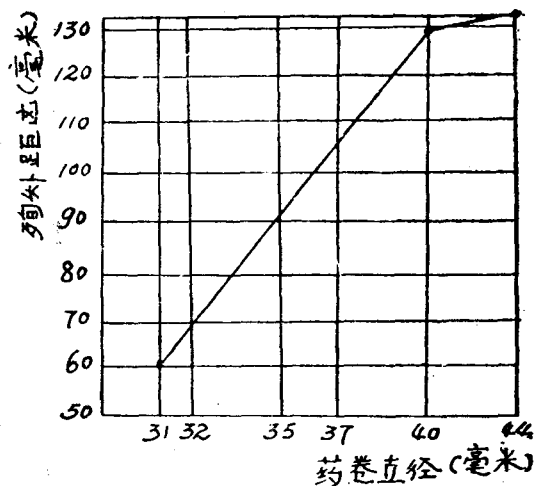


图5 岩石铵梯炸药药径与殉爆距离的关系曲线(药卷长度和密度不变时)

5、传爆长度增大了。上述各项爆炸性能都随药径增大而增大的结果，必然大大减弱药卷在较大炮孔(比药径大6~10毫米)中传爆的“外管道效应”，根据几次零星的试验即可明显看出，国产的几种粉状硝铵炸药药卷装在较大炮孔(用壁厚3~10毫米的钢管模拟炮孔，保持其内径大于药径8到20毫米)中的传爆长度都随药径增大而急剧增长，大致成很陡的翘曲线正比关系(如图6)，经整理后可供参考的数据范围如表4所列。

表4

药卷直径 (毫米)	2#岩石铵梯炸药	4#岩石铵梯炸药	1#高威力铵黑炸药
25	0.4~0.5M	*0.7~0.8M	*1.8M
32	0.7~1.2M		
35	1.05~1.5M	*1.7~1.8M	*2.8M
38			>5.0M
45~50	>7.5M		>5.4M
*参考四川矿院与开滦煤矿试验数据			

6、炮孔数目减少了。有的研究者认为炮孔数目和药卷直径的平方成反比，还有的研究者根据在试验范围内所得实际资料统计后认为：药卷直径每增大1毫米时孔数约降低3%，根据在浅孔爆破中的试验，当药径由32毫米增到45毫米时，在小断面的平巷掘进中就约可减少30~40%，在大断面的立井掘进中则可减少35~50%，炮孔深度和掘进断面愈大，孔数减少的应愈多。因此，当然也使雷管消耗量同样减少。

7、炸药消耗量降低了。根据过去国内外试验，当药径由32毫米增到45毫米时，爆破单位体积岩石的炸药消耗量约可减少10~20%。

8、爆破效率提高了。苏联某立井用胶质炸药所作的试验结果比较典型，其有关数据见表5，用32毫米直径的药卷搞3米深孔爆破时的爆破效率只有0.4，从2.5米以上再加深炮孔，也不能提高循环进尺。可是用45毫米的大直径药卷时，情况就大大改观了，虽然该试验技术并不算好，但可看出其孔深加大至5米时，爆破效率也未有降低。我国近两年来的深孔光爆试验也有类似情况。

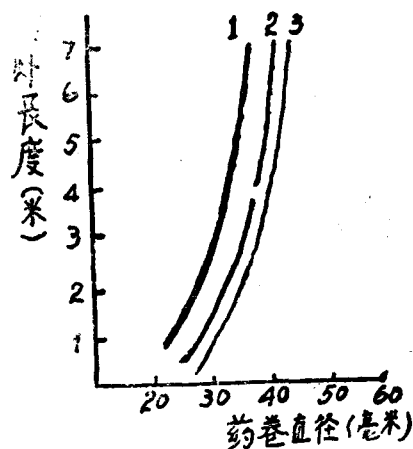


图6 传爆长度与药径变化关系

表 5

爆破指标 药卷直径 (mm) 炮孔温度 (W)	炮孔数目 (个)		炸药消耗量 (Kg/W ³)		循环进尺 (W)		炮孔利用率	
	45	32	45	32	45	32	45	32
2.0	7.5	13.0	1.26	1.26	1.48	1.2	0.74	0.6
2.5	7.5	14.2	1.40	1.30	2.04	1.65	0.81	0.66
3.0	7.5	12.4	1.20	1.1	2.28	1.2	0.76	0.4
4.0	7.0		1.34		3.26		0.82	
5.0	7.0		1.34		3.78		0.77	

9、岩石块度减小了。爆破岩块的大小及其均匀程度对抓岩机装岩效率有很大的影响，抓斗愈小，影响愈大。此外在一循环装岩中需要用锹镐刨松和集拢的清底岩石量对装岩效率影响更大，抓斗愈大影响愈多，根据国内外经验，大直径深孔爆破在这方面表现了很大的优越性，即使在2.0米左右的浅孔爆破中，用45毫米大直径药卷爆破后需要刨松集拢的清底岩石率（占一循环爆破岩石总体积的百分率）也要比用32毫米小直径药卷时低20~25%，对于4.0米以上的深孔爆破则降低更多，大直径爆破后仅仅松裂的岩石很少，工

作面甚平，而小直径爆破后残孔很深，工作面凹凸不平 给下一循环打眼造成严重困难。

10、掘进速度加快了。当炮孔直径适当加大到最佳直径时（即保持总钻孔时间不增不减时，亦即由于孔数减少而节省的钻孔时间抵消了，由于钻速降低而增加的钻孔时间时），由于孔数减少，爆破效率提高，工作面比较平整等原因，而节省了装药、清底等工作时间，其结果必然会加快掘进速度，邯邢万年风井就是由于采用了45毫米的大直径高威力炸药卷爆破，不仅使4.2~4.4米的深孔爆破初步成功，而且使全井平均掘进速度达到了较高纪录。

现在已经可以肯定，在中硬以上岩石的立井掘进中，搞2.5~3.0米以上的深孔爆破，必须适当加大炮孔直径和装药直径。否则是搞不好的，即使小炮眼打的再深再快也是白费劲。

但是，必须同时指出，炮孔直径也不能过份加大了，加大过多时将因钻速降低过多而增大钻孔的总工时消耗（即由于钻速降低而增加的钻孔工时超过了由于孔数减少而节省的钻孔工时），从而降低掘进速度。

根据国内外多年来的研究，钻速随孔径变化的规律大致成如下函数关系。

$$U_x = U_0 \left(\frac{d_0}{dx} \right)^{1.5 \sim 2.0} = m \quad (3)$$

式中： U_0 ——标准孔径（ $d_0 = 40$ 毫米）时的平均钻孔速度；

U_x ——增大孔径至 dx 时的平均钻孔速度；

又根据实测，孔数随孔径增大而减少的关系大致可写成如下函数式子：

$$N_x = N_0 [1 - b(dx - d_0)] \quad (4)$$

式中： N_0 ——标准孔径 d_0 时的孔数；

N_x ——增大孔径至 dx 时的孔数；

b ——孔径增大1毫米时，孔数减少的百分数，一般情况下 $b \approx 3\% = 0.03$ 。

最佳的炮孔直径和相应的装药直径既要以能够获得较优的爆破效果为主要准则。同时又不能增加钻孔总时间，据此我们可以得到在现有技术装备条件下最佳炮孔直径的函数方程

$$\left(\frac{d_0}{dx} \right)^m = 1 - b(dx - d_0) \quad (5)$$

按前述 $m = 1.5 \sim 2$ ， $b = 0.03$ 时，用近似算法解上列方程式后可求得卷装药的最佳炮孔直径大致在50~57毫米之间。最佳药卷直径（掏槽孔和辅助孔）在42~49毫米之间。散装药或用水胶炸药直接灌装药的最佳炮孔直径（等于装药直径）可在42~50毫米之间。至于周边孔的装药直径应根据光面爆破最佳装药密度和装药结构另行求算。

四、装药结构与装药密度

装药结构与装药密度是控制每个炮孔和炮孔每段爆炸作用力大小、时间和方向的组合因素和初始参数。过去在浅孔自由爆破中当所用的炸药品种确定以后，几乎千篇一律就只有一种装药结构一小环隙、正向、连续卷装、堵炮泥式的结构，和一个装药密度一接近于药卷密度。近代由于各种控制爆破技术的发展，接连创造了很多种装药结构和各不相同的装药密度：按装药爆破方向来分：有从孔底起爆、药卷聚能穴都朝向孔口的反向爆破，反向装药法，有从孔口起爆，药卷聚能穴都朝向孔底的正向爆破，正反装药法，还有起爆药包位于中

间的分段起爆法；按药卷间连续性来分有连续装药法，和间隔装药法（间隔有泥、沙、水或气等）；按炸药与孔壁间的环隙状况来分有：小环隙卷装法（孔径与药径差3~10毫米），无环隙散装法或灌装法，和大环隙卷装法（又称不偶合装药、缓冲装药等等，环隙中还有充水、充泥、充沙或充其他缓冲物等等）；按孔口封堵状况来分有：无炮泥爆破和堵炮泥（泥砂、炉渣、木塞或水炮泥袋等等）爆破；按装药平均密度来分有：普通密度装药法（接近于药卷中的密度）、高密度装药法和低密度装药法，根据研究试验，在立井中实行2.5~5.0米的深孔光爆时，既不需要象超深孔控制爆破或其他特殊爆破那样把装药结构和装药密度搞得很复杂，难于操作，也不能像浅孔自由爆破那样不分炮孔种类千篇一律都用一种装药结构和装药密度；应以能够达得较好的爆破效果和操作简便为准则；绝不能马马虎虎；中部孔应采用尽量高的高威力、高密度和抗水的装药结构，周边孔则应用较低威力、低密度和抗水装药结构；在装药爆破方向上应坚持采用堵炮泥的反向装药、反向爆破。关于这几个问题现分述于下：

1、关于反向装药、反向爆破问题。

早在五十年代初期，当时曾从苏联介绍过来一种特别强调药包聚能穴作用的正向装药爆破经验，认为：药包聚能穴都朝向孔底使雷管从孔口起爆，这样就可以把爆炸能量向孔底集中，从而提高炮眼利用率。根据多年来的研究试验和理论分析，这个正向聚能爆破的经验对于小直径浅眼爆破有一定道理和效果，聚能穴可以增加传爆长度，使爆炸反应趋向稳定。在1米左右的浅眼中由于孔口阻塞力低，采用正向聚能穴法适当增强孔底的爆轰压力时是可以稍为提高一点炮孔利用率，特别是在软岩中效果较著，但是，当孔深稍为加大一些以后，这种正向聚能爆破法不仅不能提高炮孔利用率，反而降低了爆破效率；此时首先是由于孔底抗爆强度增大了，聚向孔底的爆炸波能量将全部为无限的岩体所吸收，弹性能反回破碎力极弱。如此只导致有限的爆炸能量较多地浪费于无限岩石的汪洋大海之中，从而减弱了药包径向的爆炸能量；其次是由于孔口先爆提前冲开了孔口的阻塞，爆生气体可以迅速向孔外泄溢，如此不仅降低了气体在孔内膨胀的压力，而且大大减少了气体膨胀对孔壁围岩的静力作用时间，另外还由于起爆药包位于孔口部份时，很容易发生被邻近先爆孔“挤死”或提前爆开的现象，即先爆孔对临近还未起爆的炮孔孔口部份产生挤压、剪切或抛离作用。致使其中的起爆药或被“挤死”（对孔距很小的掏槽孔易产生此现象）、或被“错动”、或被“抛开”

（脱离其他药包）。以至形成大量的残孔残药，这种“带炮”现象尤其是在延发间隔时间较长、岩石节理裂隙发育、炮孔间距较小和孔深较大的情况下特别严重，其中又以掏槽孔、扩槽孔和辅助孔最容易发生。据此种种原因，在深孔光爆中不能采用正向装药、正向爆破，各类炮孔（尤其是扩槽孔和辅助孔）都应采用反向装药、反向爆破法（图8），即起爆药包位于孔底（可以垫1~2个药卷）使雷管和药卷的聚能穴都朝向孔口，由内向外爆破抛碴。实践证明，采用反向装药爆破法可以克服正向装药爆破法的缺点，完全避免掉由于带炮而造成的大量残孔残药现象，从而可以提高爆破效率、降低炸药消耗。在反向装药爆破中，药卷的聚能穴只起改善传爆性能的作用，如果装错了，则将起恶化传爆性能的作用。为了避免药卷间包装腊纸、防水套及泥沙、岩粉、污水和空隙的隔爆效应，应力求加长每个药卷的长度，采用长大药卷，如果能进一步使用整根的爆炸缆装药或水胶炸药灌装，这将是装药技术上的一

个革命，为深孔光爆解决了一个大问题。

根据理论分析，反向装药爆破有以下几个好处：

①增强了爆炸应力场。由于炸药是从孔底开始向外起爆的，在爆炸瞬间就迅速在围岩中产生了冲击波的动应力场和膨胀波的静应力场，未爆的炸药将起到类似炮泥的堵塞作用，这样不仅使孔底先爆区已形成的应力场不致迅速卸载，而且接近孔口的后爆炸药产生的冲击波和膨胀波又连续加强了已经形成的应力场，同时已形成的应力场扩展又反过来加强了新应力场，如此，从孔底到孔口在整个炮孔全长的周围岩石中都形成了强大的动应力场和静应力场，其结果必然提高了爆破作用，俗话说：“堡垒是最容易从内部攻破的”就是这个道理。

②提高了爆炸冲击波的有效作用。当炸药由孔底向孔口以一定的速度 V_B 传爆的同时，在围岩中由爆炸冲击作用产生的压缩应力波（纵波与横波）也以一定速度（ V_P —纵波波速， V_S —横波波速）向外扩展，当这种压缩应力波传播到自由面时即受到反射而变成拉伸应力波，只有在这种拉伸应力波烈度超过岩石的抗拉强度时，岩石才被破坏而形成漏斗式的破碎区，也只有当压缩应力波较强时，也才能形成较强烈的拉伸应力波，反向爆破不论在什么情况下都有利于形成直接指向自由面的高压应力波；当爆速 V_B 超过应力波速 V_P （ $V_B > V_P$ ）时，各段炸药由内到外连续爆炸，在围岩中形成的压缩应力波将叠加成一个尖劈状高压应力波峰指向自由面（如图9—右所示）；当 $V_B = V_P$ 时，压缩应力波则叠加成一段圆弧状

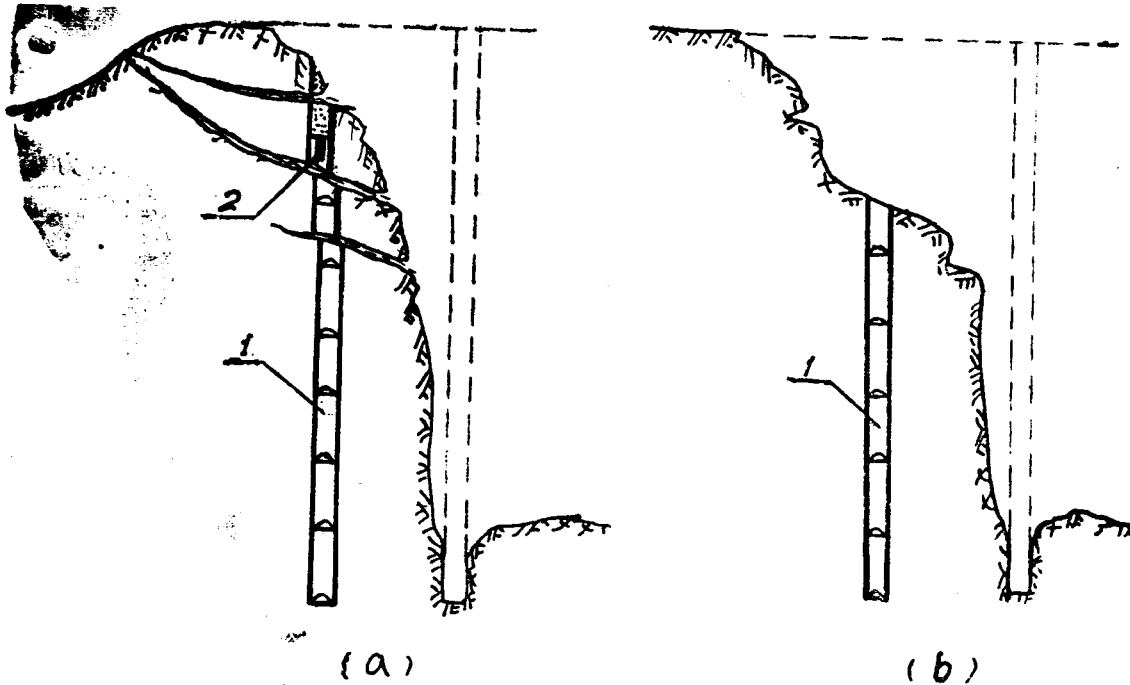


图7 正向装药爆破的“带炮”现象

左图一起爆药卷被先爆孔爆动错位，与被动药卷脱开
1——残留药卷；2——已被爆破错动的起爆药卷；

右图一起爆药卷已被先爆孔抛开

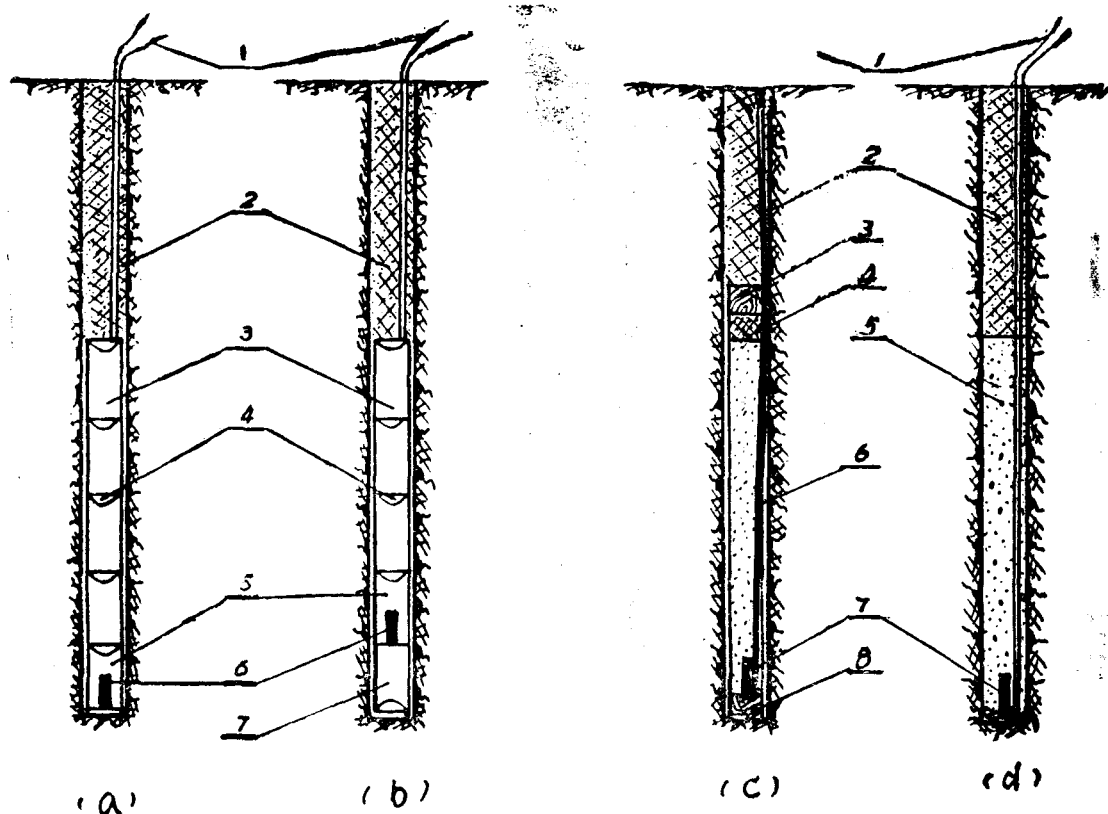


图 8 反向爆破的装药结构

(a)、(b)——纸包药卷装药结构，1——雷管脚线，2——炮泥，3——被动药卷，4——聚能穴，5——起爆药卷，6——雷管，7——孔底垫药。

(c)——塑料管爆炸缆装药结构。

(d)——散装药或灌装药结构，1——雷管脚线，2——炮泥，3——封口木塞，4——封口胶泥，5、6——炸药，7——雷管，8——2封底木塞。

高压应力波峰指向自由面（如图 9 一中所示）；当 $V_B < V_p$ 时，指向自由面的应力波也将得到一定的加强（如图 9 一左）。但是，用正向爆破时，得到加强的高压应力波峰的指向却与反向爆破时相反，不是指向自由面而是指向了无限岩体的内部，必然为无限岩体所吸收而形成较强烈的地震波传向四方。

③增长了爆生气体膨胀对围岩的静力作用时间。爆生气体膨胀能对围岩产生楔劈胀裂作用和剪切抛射作用，反向装药爆破不仅增大了爆生气体的膨胀压力，而且增长了其作用时间，至少等于全部装药的爆炸时间，从而增大了爆破范围和抛碴距离。

2、关于中部孔高威力高密度的装药结构问题。

在深孔光爆中，掏槽孔和辅助孔主要起深爆作用，由于孔深大，岩石抗爆强度和夹制力高，除应采用威力较高的炸药品种外，还必须同时采用平均密度较高的装药结构，使装药段内单