

编 号: 0171

内 部

科学技术成果报告

井巷快速光爆的初步研究与试验

科学技术文献出版社

科学技术成果报告

井巷快速光爆的初步研究与试验

(内部发行)

编辑者: 中国科学技术情报研究所

出版者: 科学技术文献出版社

印刷者: 中国科学技术情报研究所印刷厂

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本: $787 \times 1092^{1/16}$ 印张: $5^{1/2}$ 字数: 141千字

1980年10月北京第一版第一次印刷

印数: 1—2,550册

科技新书目: 173—26

统一书号: 15176·486 定价: 0.82元

一、基本概念.....	(1)
(一) 井巷快速光爆的种类和特点.....	(2)
(二) 井巷快速光爆的效果及其标准.....	(6)
二、技术要素.....	(7)
(一) 正确选用方案.....	(7)
(二) 合理布置炮孔.....	(8)
(三) 研究钻爆参数.....	(9)
(四) 提高钻孔技术.....	(12)
(五) 改革装药结构.....	(14)
(六) 改善起爆方法.....	(16)
(七) 改进掏槽方式.....	(18)
三、炮孔深度.....	(20)
(一) 钻孔速度的影响.....	(21)
(二) 钻孔精度的影响.....	(22)
(三) 传爆长度的影响.....	(25)
(四) 最佳孔深的计算.....	(30)
四、炮孔直径.....	(32)
(一) 关于合理孔径与药径的试验.....	(32)
(二) 关于最佳孔径与药径的计算.....	(36)
五、装药结构.....	(37)
(一) 关于装药方向与传爆方向问题.....	(37)
(二) 关于装药构造与防水措施问题.....	(40)
(三) 关于炮泥长度和不装药段炮孔长度问题.....	(43)
(四) 关于装药长度和装药密度问题.....	(46)
六、起爆技术.....	(51)
(一) 起爆方法.....	(51)
(二) 起爆时序.....	(52)
(三) 电爆网路.....	(56)
七、掏槽方式.....	(63)
(一) 无空眼漏斗式掏槽法.....	(63)
(二) 小空眼挤压式掏槽法.....	(65)
(三) 大空孔旋筒式掏槽法.....	(67)
(四) 半空孔发射式掏槽法.....	(68)
八、普通光爆试验实例简介.....	(70)
(一) 平巷简易浅孔光爆试验实例.....	(72)
(二) 立井简易浅孔光爆试验实例.....	(73)

(三) 平巷简易中深光爆试验实例.....	(73)
(四) 立井普通中深光爆试验实例.....	(75)
(五) 巷道普通深孔光爆试验实例.....	(75)
(六) 立井普通深孔光爆试验实例.....	(76)
九、超深光爆试验实例简介.....	(77)
(一) 基本情况.....	(77)
(二) 爆破方案.....	(78)
(三) 参数设计.....	(79)
(四) 安全措施.....	(82)
(五) 效果评论.....	(85)
参考资料.....	(86)

井巷快速光爆的初步研究与试验

山东矿业学院 胡 峰

一、基本概念

在需要开挖岩石或开采矿石的各种工程中,虽然早在十五世纪就开始运用钻眼爆破方法了,但是长期以来在大多数场合下,常常只简单地为了省事,而采取尽量少打眼、多装药、乱放炮的办法,任凭炸药爆炸所产生的猛烈威力,向四面八方自由爆破,结果常使不需要开挖的围岩也被爆得四分五裂,造成大量超挖,严重损坏了原岩的稳定性,为继续施工和日后使用的安全,不得不冒险首先撬掉即将塌落的危石,再花费很大的功夫和代价来兴筑高强度、大尺寸的衬砌或支架。如此自由爆破,实在是既不安全又不省事,既浪费又不好,欲省反费,欲速不达。

随着现代采矿和各种地下工程的飞速发展,在开挖岩石、掘进井巷中的这种原始爆破方法,愈来愈不能符合要求,于是人们就产生了两种想法,其一是研究各种机械破岩法或其他破岩法,设计研制各种掘进机、钻井机等等,但是多年来的实践证明,现有的技术、材料和机械水平,还不能轻而易举和有效地破碎那么多量的坚硬岩石,因此这种良好的愿望,恐怕在相当长的时间内还难以普遍实现。其二,认为爆破本来是人类迄今所知的作功方法中功率最大、效率最快的一种方法,其落后的工艺是可以改革的,其恶劣的效果是可以避免的,只要能掌握其实质,有效地控制爆破作用力,就可以使爆破成为掘进矿山井巷、隧道石洞、地下房间、军事掩体、沟槽水道、码头船坞、路堑边坡和采石采矿等工程中最先进、最快速的方法。基于这个想法,近二十多年来,世界上很多爆破工作者,经过孜孜不倦的研究和深思熟虑的实验,已经创造了若干种控制爆破方法,其中较有成效的一种就是所谓“光面爆破”。它主要是利用精确钻凿于预定爆破轮廓界面上的一组平行炮孔,适当减小其间距,并采用特制的炸药或低威力的装药结构,同时起爆,这样就可以一方面使各个炮孔内壁上直接受到的爆炸冲击压力不大于或不过分大于岩石的动态抗压强度,从而不致产生粉碎性的压缩破坏和无定向的爆破裂隙。另一方面使发生于相邻炮孔连接面上的垂直拉应力得到叠加、增强的机会,以至超过或达到该处岩石的动态抗拉强度,从而在其间优先发生和发展贯通裂隙,如此结果,即可最终获得比较平整光滑的爆裂岩面,基本上避免了沿用多年的自由爆破之害。

据国外文献记载,近代的光面爆破是1950年发源于瑞典的。爆破学者朗基福(U. Langefors)和哈梭皮(Hagthorpe)等人曾首先在有机玻璃模型爆破和一个大隧道的均质坚硬岩石爆破试验中,采用了精确控制一系列平行炮孔的孔间距、抵抗线、装药密度和起爆时差等方法,使爆破裂隙只沿着炮孔间的连线发展,炸掉了边层,获得了象刀切一样的平整光滑的表面,于是他们就把这种现象首称为“Smooth Blasting”,中文则意译为“光面爆破”。

随后,很快就研制成功了一种以硝化甘油为主剂的光爆专用炸药。接着,这种技术就很快传到了挪威、加拿大和美国。通过几个水电站建设工程的大规模试用,又创造了一些新的光爆方法,如预裂法(Presplitting)、缓冲爆破法(Cushion Blasting)和线状钻孔法(Line drilling)等等。到六十年代的中、后期,光面爆破技术就基本上传到了世界上各个技术先进的国家和我国,使光爆的机理、炸药和设计方法都得到了进一步的发展,扩大了试验和应用范围,在各个国家都取得了较好的评论,并从不同的角度又给光面爆破新起了各种各样的名称,如轮廓爆破、周边爆破、预裂爆破、剪切爆破、雕刻爆破、修边爆破、整平爆破、精确爆破、谨慎爆破和控制爆破等等。但就其技术目的和效果来讲,都是属于防止开挖边界以外围岩的超爆,以获得平整光滑岩面的爆破技术。从爆裂原理上来看,除线状钻孔法实际上已经不属于爆破方法外,其余的方法都基于降低装药威力,减小孔间距离,避免直接粉碎和引导孔间张裂的原则。因此,我们统统称之为“光面爆破”,只是爆破条件和具体措施有些不同而已。从形成孔间张裂的机理和过程上来看,并没有什么特殊不同和神明玄妙之处。其实,深究历史,早在五十年代之前,甚至可推逆到开始用手工打眼和黑火药爆破的时代,在一些采石和开路的行业里,就已经自觉或不自觉地应用了类似近代的光爆技术。例如我国过去在某些山坡石地上开挖的路堑或边坡,至今还在其留存的平整坡面上仍然可十分清晰地看到许多半面炮孔痕迹;又如在我国的一些采石场里,为了获得整齐大块的建筑石料,基于手锤打楔劈石的原理,早已经把原始爆破采石法改善成为一种具有很高水平的劈裂爆破技术,不仅能使留存的岩面十分平整光滑,而且能使爆开的岩块也十分整齐,每一块都能达到预定的规格,确如利刀切割。

但是,必须指出:光面爆破的过去历史活动,大多数是在施工条件和爆破条件较好的工程中,只主要追求一个“光”字,仅主要着眼使爆破轮廓面达到“平整光滑”,需要增加较多的钻孔,需要有低威力的专用炸药,还需要十分认真仔细的设计和的操作,这样的光面爆破在我国矿山井巷的现有条件下不仅难于推广,而且难于加快掘进速度。为了全面达到既优质、安全,又快速、易行的要求,我国铁路、煤矿、冶金和一些地下建筑系统的单位,自从1965年开始,特别是从1973年以来,在各种岩石井巷、隧道洞库施工中,配合推广喷锚支护和机械化快速掘进技术,全面研究试验了各种快速易行的光面爆破技术以及与其紧密相关的沟槽爆破方式和辅助爆破参数,由单项分解试验到综合配套试验,全面着眼,有机结合,逐步形成既“光”又“快”的钻孔爆破技术。笔者特综合称之为“井巷快速光爆”。

(一) 井巷快速光爆的种类和特点

根据研究试验和近年来的推广经验,能在矿山井巷和类似工程中推广应用的、或大有前途的快速爆破方法,按其主要特点分类,大致有如下几种:

1. 按爆破时序分类

(1) 周边后裂法,又称修边法:即不论在全断面一次爆破或分次爆破中,周边的光面炮孔都安排在最后起爆,前者与目前通用的全断面一次爆破法的起爆顺序基本相同(如图1),后者又称为预留光面层法或预掘导洞法(如图2),目前已在我国推广应用。

(2) 周边先裂法又称预裂法:其起爆顺序与周边后裂法相反,即最先起爆周边炮孔,沿轮廓线首先裂出一条贯通裂缝,然后再爆掉中心的岩石。此法可大大减弱爆破地震作用。在我国某工程中已使用此法掘进竖井,首先预裂出井筒轮廓线,然后再分段分次爆掉中间的

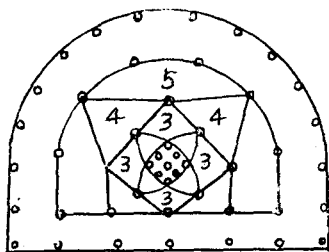


图1 全断面一次起爆周边后裂光爆法(图中号码示起爆时序)

岩石,一次预裂深度达到二十多米,但分段高度仅有一米多至数米(图3)。

(3) 龟裂抛碴法: 根据井巷断面大小和环境条件,安排各炮孔的起爆顺序,把全断面的炮孔按爆破作用分为龟裂孔和抛碴孔两大类,在掘进断面的炮孔全深度范围内首先起爆龟裂孔,把整体岩石沿各炮孔连线龟裂成许多碎块,然后再延期起爆抛碴孔,分段爆松或抛掉这些碎块体,即成为井巷,故又称为“机关炮式”无掏槽爆破法(图4)。这种爆破方法突破了传统的爆破方式,于1975年8月31日在我国某工程中首次试用,一次爆成了一个深度达20米的方形立井,效果甚为良好,仅井口有些超挖。

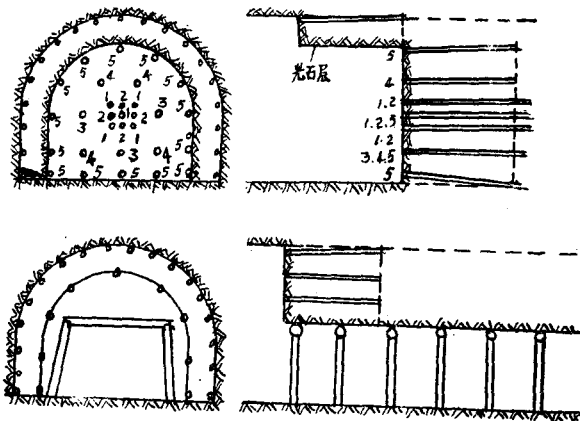


图2 预留周边后裂光爆法(上图:预留光面层法;下图:预掘下导洞法)

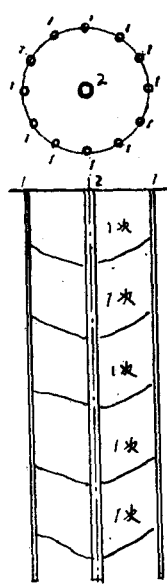


图3 周边预裂分次光爆法

1——周边预裂孔
2——分次分段爆破孔(多次放炮)

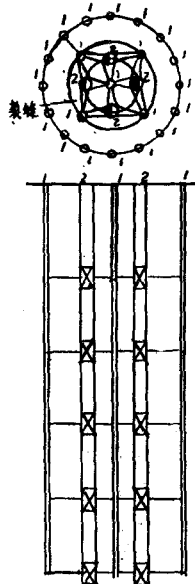


图4 全面龟裂延期分段抛碴光爆法

1——全面龟裂孔
2——延期分段抛碴孔(一次放炮)

2. 按爆破深度分类

(1) 简易光爆法: 一循环钻爆深度因受钻爆器材等条件限制,一般不大于2~2.5米,故又称浅孔光爆。

(2) 深孔光爆法: 一循环钻爆深度主要受掏槽技术的限制,一般不能超过5~6米的

极限深度。

(3) 超深孔光爆法：一循环钻爆深度可达到6米以上，超过了用普通掏槽方法所能达到的极限深度，因此在爆破方案和钻眼技术上改革较大，如前述的龟裂抛碴爆破法，虽然目前还刚刚开始试验，但前途是大有希望的。

3. 分类说明

上列分类是只根据在设计和施工上有较大差别的两个特点来划分的。虽然仅从单纯光面爆破角度来看，周边后裂或先裂，全断面一次或分次爆破，在爆裂原理和主要措施等方面，实质上都是一样的，正如朗基福所指出的那样，当不断增加普通光面爆破(指后裂周边法)的抵抗线以至达到其孔间距的两倍以上时，其情况就基本上和予裂爆破一样了。分次爆破也只是为光面爆破创造了较好的条件。但是从全断面快速光爆的角度来看，后裂和先裂，一次爆破和分次爆破，在施工程序和方案、适用条件和工作组织等方面都大不相同。从工作组织、劳动组织和快速成井、成巷速度的要求上来看，应力求采取全断面一次爆破或台阶面同时爆破(如图2上图)。在普通立井正常下掘的情况下，也只能实行全断面一次爆破。但是在大断面峒室和巷道、复杂形状的立井和峒库、交叉点和变断面连接处，以及岩石比较松弱破碎的巷道和隧道中，常常由于施工条件、器材条件(例如雷管段数不够)和施工技术的限制，不可能实行全断面一次爆破而必须采取予裂周边法、预留光面层法或予掘导峒法分次爆破，方能得到优质、安全、快速的施工效果，否则又将“欲省反费”、“欲速不达”。

予裂爆破的钻孔工程量较大，受岩体物理力学性质和地层原应力的影响比较严重，而未爆破前又难于了解到岩层的详细情况及其对爆破效果影响的严重程度，因此种种，至今在井巷工程中极少应用，但它是一种很有前途的新方法。周边先裂一次爆破法和全面龟裂抛碴一次爆破法就是由予裂法发展起来的。

在现有的国外文献中，没有看到光面爆破按爆破深度的分类，甚至连井巷普通爆破的深度分类也没有明确规定。只有在采矿爆破和苏联词汇中有比较明确的说法：孔深小于5米，孔径小于75毫米者统称“Шпур”——炮眼或浅孔，孔深大于5米，孔径大于50~70毫米者才称为“Скважина”——深孔。一次爆破孔深在5~15米之间者则称为中深孔采矿。近几年来，我国有人把苏联采矿方法中使用的这种爆破深度分类套用于井巷快速光爆的孔深分类中，这显然是很不合适的，因为二者不论在工程目的、技术要求和器材设备上，还是在施工条件和爆破难易性上都是很不相同的。井巷快速爆破由于要求高、断面小、没有平行自由面或夹制力大，故其困难性要比采矿自由爆破大许多倍。尤其是在立井中，地下水涌淋量往往很大，只能实行一次爆破，还需要向上抛碴，而上面又悬挂了许多施工机械、设备和管道、绳缆等等需要保护，人员、器材的上下也是十分不便的。在此种条件下实现深孔快速光爆的困难性和技术水平是其它种爆破方法难于比拟的，它实际上既类似于水下施工，又好像是在特高建筑物内爆破。因此，我们根据井巷爆破的历史、现状和今后发展方向，钻机、钻具和钻孔技术要求，炸药、雷管和装药爆轰长度，掏槽、抛碴和光面爆破难易，总而言之是根据研究和实践认识的井巷快速光爆的特点，以及与其相关的其它工序问题，初步把一次钻爆深度划分为三个范围：小于2~2.5米称浅孔；2.5~6米称深孔；大于6米称超深孔。考虑到从我国现有水平(普遍小于1.8米)逐步加深、提高，暂时在浅孔和深孔之间增划了一个过渡范围，即：1.8~2.5米暂称为中深孔。如此划分的主要依据是：

(1) 目前通用的手持式凿岩机和手持钻眼法最优钻眼深度，在中硬以上岩石中一般小于1.8米，可以达到2~2.5米。大于2.5米时，不仅钻速低，易夹钎子，操作困难，而且钻

孔精度不够，偏斜较大，难于达到爆破要求。

(2) 目前通用的炸药、雷管和装药结构，在标准直径40毫米左右的炮眼中，连装直径32毫米的普通硝铵炸药药卷，其最大传爆长度难于超过1.5~2米。过长时，不仅爆轰不稳定，残药多，而且不安全，爆破效率很低。

(3) 目前通用的斜孔掏槽方式和易于实行的一般直孔掏槽深度，在中硬以上岩石和中等以下断面的井巷中一般小于2米，难于超过3米。

(4) 目前国内外已研制成功并正在推广应用的中型以上凿岩机、立井钻架、巷道钻孔台车或钻装机的最优钻孔深度可以达到4米左右，采取接杆钻进和强力排渣还可以加深，但是大于6米时，不仅钻速低，操作困难，而且钻孔精度不够，必须进一步研制新型钻架和钻机。

(5) 目前国内外已研制成功并正在推广应用的新型炸药、雷管、导爆索和装药结构，在适当增大直径(52毫米左右)的炮孔中连装直径42毫米左右的高威力炸药药卷，其最大传爆长度可以达到8米以上(目前最大只试验到8米)，但装药困难，必须进一步研究浆状炸药和新型装药结构及装药方法。

(6) 目前国内外已研究试验成功的并正在推广应用的立井分阶式直孔掏槽法和巷道平行大空孔旋筒式掏槽法，其最大掏槽深度难于超过6米。必须进一步研究试验新型的爆破方案和掏槽方式，突破传统的爆破技术。

(7) 根据初步研究试验，全面改革井巷掘进中传统的钻孔爆破方式，采用高效率、高精度的钻孔机具和钻孔技术，高威力、高感度的安全炸药和装药结构，多段数、长脚线的毫秒雷管和起爆技术，先龟裂、后抛渣的爆破方案和掏槽方法，或先裂、或后裂的光爆方法和减震措施等等，是可以使井巷一次爆深超过6米，从而较理想地达到既快又光，高效掘进的目的。

根据上述爆破深度的界线和爆破次序，至此，我们可以排列组合为15种井巷快速光爆方案。现按其技术——由易至难和效果——由小至大，初步排列如下：

- (1) 浅孔先裂分次爆破(即浅孔预裂法)
- (2) 浅孔先裂一次爆破
- (3) 浅孔后裂分次爆破(即浅孔预留法)
- (4) 浅孔后裂一次爆破
- (5) 浅孔龟裂抛渣爆破
- (6) 深孔先裂分次爆破(即深孔预裂法)
- (7) 深孔先裂一次爆破
- (8) 深孔后裂分次爆破(即深孔预留法)
- (9) 深孔后裂一次爆破
- (10) 深孔龟裂抛渣爆破
- (11) 超深先裂分次爆破(即超深预裂法)
- (12) 超深先裂一次爆破
- (13) 超深后裂分次爆破(即超深预留法)
- (14) 超深后裂一次爆破
- (15) 超深龟裂抛渣爆破

(二)井巷快速光爆的效果及其标准

真理来源于实践,实践又是检验真理的唯一标准。大量研究和实践证明,井巷快速光爆可以取得一系列较好的效果,概括其突出之点,也可以作为鉴定井巷快速光爆的标准。

1. 超挖岩量少 爆破后留存的围岩壁面比较平整,断面成形较好,基本上能符合设计要求,超挖岩量约可比传统的自由爆破减少一倍以上。按现用钻机钻孔所需的半径,孔底外插超爆的厚度可以不超过150毫米,岩壁表面的凹凸度可以不超过±75毫米。

2. 围岩爆裂少 光爆后,在围岩壁面上很少产生明显可见的爆震裂隙,很少有危石松动现象,能基本保持原岩的稳定性,能基本避免意外的塌邦、冒顶和落石、掉碴的事故,短时孔痕留存率可达30%~50%以上,因爆破扩展、延伸原有构造裂隙和爆破新生微裂的深度比自由爆破小一倍左右,能为喷射混凝土和锚杆支护创造有利条件,可大大简化支护及其维修工作。

3. 劳动效率高 由于超挖岩量少,减少了装岩运输的无效劳动。由于超挖厚度小和爆裂围岩少,减少了支护及其维修工作的无效劳动,减少了敲邦问顶和撬危石等项危险的劳动,有利于推行喷锚支护,大大提高了支护效率,并大量节省了支护材料及准备和运搬等劳动。在浅孔简易光爆中,由于周边孔采用了简易装药结构,减少了装药量,既节省了炸药,又提高了装药效率。还由于采用了平行孔爆破,既可提高钻孔效率,避免互相干扰,又可增加同时工作的钻机台数,以弥补由于光面爆破必须增加几个周边孔而增加的钻孔工时消耗;在深孔和超深孔光爆中,由于实现高度机械化钻孔、装岩和支护,更可以大幅度提高劳动效率,充分发挥机械效能,大大减轻笨重体力劳动的强度。

4. 掘进速度快 由于上列三个效果,井巷快速光爆在任何条件和情况下,其掘进速度都应比自由爆破高。只有在同时工作的钻机台数较少,岩石坚硬而又稳定,无需支护或很少支护,以及装岩效率又很高的情况下,当光面爆破在钻孔上增多的时间与在装岩、支护上减少的时间基本相等时,光爆掘进速度才接近于自由爆破。此时也就没有必要实行光面爆破了。关于两种爆破在不同的爆破深度和岩质的情况,其掘进速度的变化可定性概括如图5、图6所示。由图5可知:一次爆破深度愈大,光面爆破掘进速度则愈高。由图6则可看出:岩石愈松弱破碎,光面爆破则愈显优越。

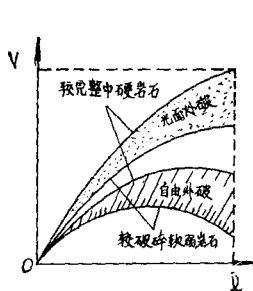


图5 在中硬以下岩石中,光面爆破与自由爆破的掘进速度 V 随钻爆深度 H 的变化关系

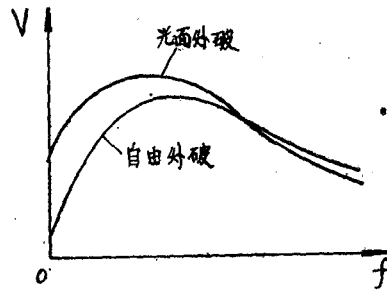


图6 在孔深与其它条件相同的情况下光面爆破与自由爆破的掘进速度 V 随岩石坚固性 f 的变化关系

当然,不言而喻,井巷快速光爆在实施中是否能取得上述效果,特别是后两个效果,在相当大的程度上还取决于施工组织、管理、人员和社会因素;此外,还受到工作面条件、环境和岩石因素的影响。

二、技术要素

为达到上述井巷快速光爆的良好效果,在设计和施工中,必须抓住下列几个主要技术因素,采取一系列措施:

(一) 正确选用方案

正确选用方案是井巷快速光爆达到快速、优质、安全、高效、低耗的首要问题,也是体现其先进性的主要标志。由近代多种控制爆破技术组合起来的快速光爆方案,仅按其爆破次序和爆破深度两大主要性征,就已经可以组成为上节所列的十几种。由于每一种方案对钻孔、装药、起爆、防护、装碴、支护、通风、提运等要求不同,必须根据具体的工程目的、井巷种类、岩石性质,周围环境、施工机具、爆破材料、施工队伍、经验水平,以及装岩、提升、运输、支护、通风、安全等技术设备状况,综合选择最优的钻爆方案。

根据我国目前的设备、材料条件和技术水平,不论在何种井巷隧洞和岩石矿体中,都可以采用浅孔简易光爆,只需要稍加改变装药结构,调整几个爆破参数,即可达到较好的爆破效果。凡是原来实行浅孔自由爆破的地方都可以立即推广这种简易光爆方案,配合推行喷锚支护、机械装岩、激光指向等新技术就可使整个井巷工程水平提高一步。

在各种直径的立井掘进中,由于工作条件差,人员设备提放不便,各种辅助工作和转换工序费时很长。为加快掘进速度,提高工程质量,应创造条件,采用深孔后裂一次光爆方案,并配合推行大型高效机械化和喷锚支护(作永久支护或临时支护)。虽然所需设备材料和操作技术比较复杂些,但所得效果是较好的。自1974年以来,我国煤炭、冶金和一部系统共同组织这方面的科研会战,现已取得了一定成果,其详情将另出专书介绍。

在各种中小断面的长巷道、长隧洞掘进中,为加快施工速度,应尽力创造条件,提高技术水平,实现中深孔至深孔光爆一次成巷。只要条件适宜,都应采用毫秒雷管和平齐工作面一次爆破法。只有当岩石特别松脆破碎,或巷道断面较大时,才选用需要钻孔较多的先裂一次爆破、予裂爆破或施工组织比较麻烦的预留光面层滞后或同次爆破、予掘导洞分次爆破。

在各种大断面的峒室、变断面井巷、连接处和交叉处,以及其它要求光面质量很好的工程中,可选用预留光面层或予掘导洞分次爆破或予裂爆破。

在杂散电流或感应电压较大的巷道掘进中,可根据机具材料条件,研究试用抗杂电雷管和非电起爆系统,或选用火雷管导爆线先裂周边的一次爆破法、全面龟裂抛碴一次爆破法、予裂爆破法、预留光面层或予掘导洞分次爆破法等等,浅孔龟裂抛碴爆破只需分两段起爆,第一段全面龟裂,第二段全面抛碴,但是需要钻孔较多。

在只能搞到火雷管和导火线起爆的单位,也可实行简易光爆,只要按照光爆要求认真打眼、仔细装药、一次点火、分段引爆,也能获得较好的光面。青岛人防工程中就采用此法,创造了颇好的实例。

在各种浅立井、暗立井、通风井、煤仓井、溜矿井以及其它类似天井的工程中，可创造条件，试用超深孔一次光爆成井或分次光爆方案。

在各种立井延深、扩大、改修和巷道峒室的扩大、改修工程中，可试验选用各种超深孔一次光爆成井、成巷、成峒的方案。

在某些水工隧、交通隧道、路堑沟槽工程中可采用超深龟裂抛碴、超深予裂、超深后裂或超深修刷一次爆破法。

在各种斜井、斜巷、上山、下山等工程中，应根据其倾角大小，类比立井或巷道的条件，选用不同的快速光爆方案。

从技术发展方向上看，在立井掘进中实行快速光爆，应力求加深一次钻爆深度，浅井达到一次成井，深井实行长段掘进和长循环施工，大力试验超深孔光爆。在巷道掘进中由于人员设备移动较立井方便些，应力求减少辅助工作和转换工序的时间，试验快速小爆破和机破、水破等混合破岩法，实现破岩、装岩、支护同时平行作业。

(二) 合理布置炮孔

井巷爆破不同于其它爆破工程的最大特点和最大难点是：工作面狭窄，每循环爆破都要在只有一个狭小工作面作为垂直自由面的条件下进行。因此，达到既快又光的爆破效果必须根据工作面条件、岩石性质、机具材料和选定的爆破方案，合理布置炮孔，使每一炮孔都能起到应有的爆破作用。一定要克服过去存在的那种平均布置和自由打眼的习惯，严格遵照科学原理和参数合理布孔。

根据试验研究、总结井巷快速光爆的合理布孔原则可以用一句很简单的话来说明，即：“抓两头、带中间”。对普通爆破方案来说，就是一头抓掏槽孔，一头抓周边孔；对龟裂抛碴爆破方案来讲，则是一头抓全面龟裂孔，一头抓分段抛碴孔；首先抓好这两“头”炮孔的布置，中间的崩岩孔（或称辅助孔、破坏孔）就好布置了，在小断面井巷中甚至可以取消。我们把这种布孔方法称之为：“分类布孔法”。

按照普通的井巷爆破方案，掏槽孔是每循环爆破进尺的前提，因为它只能在仅是一个垂直自由面条件下起爆，所以它既是整个循环的关键，又是整个爆破的最难点。因此掏槽孔应布置在整个掘进断面中最容易爆破或最容易打眼的部位。在一般情况下，立井都布置在断面的中心，巷道中则应布置在中心靠下一些，以便于用手持式钻机打眼。当掘进断面中如果存在有显著易爆的软岩层时，则应考虑布置在这些软弱夹层中。掏槽孔一般又可细分为首爆的开槽孔和继爆的扩槽孔，直至把槽腔扩大到有一个边宽接近于正常装药炮孔的临界抵抗时为止。而后就可以按照临界抵抗布置辅助孔了，于是各个辅助孔的爆破就能在比较充分的自由条件下大量地、高效地崩岩。所谓充分的自由条件指：在正常装药炮孔的爆破威力范围内有足够大的平行自由面和岩石自由碎胀空间，能使从装药孔中心线至自由面两端线所形成的自由抛掷角接近或大于 90° ，同时又能使这个范围内的岩石能自由碎胀到1.6倍以上。

周边孔的布置是决定光面效果的关键，根据光爆标准要求其孔口中心都应布置在井巷设计主断面的轮廓线上，并应避开大的裂隙孔洞，离开轮廓线的误差不应大于10毫米。孔底则应稍向轮廓线外偏斜，最大不超过100~150毫米，这样既便于下循环凿岩工作，又减少超挖量和接茬间的台阶宽度。在平巷和斜井中底边孔布置则应充分考虑到底板存水倒灌的影响和底孔抛碴负载的增大，孔向应多向下插一些，孔口可高于底板标高100毫米，以防灌水，孔底

可插到底板标高以下200~300毫米,以防“拉底上漂”。

崩岩孔(辅助孔)则布置于掏槽孔和周边孔之间,其布置原则应能充分利用掏槽孔所创造的自由面和自由空间,以临界抵抗和临界间距为依据来布置孔位和孔向,使崩下的岩块大小和堆集距离都便于装岩工作。此外,靠近周边孔的一圈崩岩孔应保证周边孔有最好的光面爆破条件,即留下岩层厚度等于光面爆破的抵抗线,并使已爆下的岩碴尽量抛开一些。

用周边予裂光爆时,最接近周边孔的一排崩岩孔与周边予裂线的间距,应略比周边后裂光爆法的小一些,以能崩落予裂线内的全部岩石,又不致崩坏予裂线外的围岩,并不被予裂孔挤死为原则。

关于超深孔龟裂抛碴式光爆法的炮孔布置比较复杂一些,初步试验情况参见最后一节。

(三) 研究钻爆参数

不同的爆破方案和方法是由所采取的各种钻爆技术措施的指标具体体现和确切说明的,这些技术措施和指标即称为钻爆技术参数。研究、试验、设计和选择最优钻爆技术参数,既是合理钻孔、正确装药和准确起爆的技术依据,也是取得“光”、“快”效果的科学保证。

但是,在我国的井巷、隧道掘进工程中,传统实行的自由钻爆方法很少讲究什么钻爆参数,一律均用所谓“标准直径”的药卷($d=32$ 或 35 毫米,每卷药重 150 克)和“标准直径”的针头($d=38\sim 43$ 毫米),完全凭各自的经验随便打眼,随便装药和放炮。一次爆破一两米,也无需选择什么最优参数。在有关的书籍资料中,也仅限于开列一些由某些现场自由钻爆中统计得来的平均经验数字或定额数字,或者再推荐出几个只能毛估带猜地计算平均炸药消耗量、炮眼总数和已定循环时间的炮眼深度等经验公式。既不能指导具体施工,更不能取得“光”、“快”效果。

根据近十几年来的研究试验和国内外经验,快速光面爆破几乎完全不能采用传统自由爆破的那一套稀里糊涂的参数观念和实验数据、经验公式,必须深入研究每一炮孔和每一钻爆过程的功能原理,按照分类布孔、分类装药和分类起爆的原则,分别设计和选用不同的钻爆技术参数,并认真按其施工,最终才能取得“光”、“快”的效果。鉴此,井巷快速光爆技术参数的设计优选方法可初步总结为以下几点:

(1) 必须按照选定爆破方案的炮孔作用进行分类设计和优选参数;对普通快速光爆方案(包括各种后裂和先裂方案)来讲,可分为掏槽孔参数、光面孔参数和崩岩孔参数等三类。对龟裂抛碴光爆方案来说,也可分为龟裂孔参数、抛碴孔参数和破坏孔参数等三类。切不可像自由爆破那样混沌不清,只算个平均炸药消耗量和炮眼总数就算完了。

(2) 必须按照钻爆过程中各工序环节的特点,分类设计和优选钻孔参数、装药参数和爆破参数(包括起爆和传爆参数),作为严格施工的标准,切不可像自由爆破那样:随便打眼,随便装药,随便放炮。

(3) 必须注意各参数的关系,有关参数值应成一定比例,抓住主要参数,按比例配合设计和优选次要参数。

根据研究,井巷快速光爆的主要参数按工序环节可分类如下:

1. 钻孔参数

(1) 钻孔深度(H_1):对垂直工作面的炮孔即等于钻孔长度(l_1),对斜交工作面的斜孔 $H=L_1\sin\alpha$, α ——钻孔与工作面夹角;

(2) 钻孔直径 (d_1): 对于一般圆孔孔径即近似认为等于钎头直径或钎头旋转直径, 对于不圆的钻孔应计算其当量直径;

(3) 钻孔间距 (E): 指同排或同圈、同段起爆的炮孔间距 (包括空孔、半空孔在内);

(4) 钻孔排距 (W): 指先后起爆的炮孔排或炮孔圈之间距离, 即后爆炮孔的抵抗, 又通称最小抵抗线;

(5) 钻孔误差 (Δ_1): 包括孔向偏斜, 孔口偏位, 孔深和孔径误差等。

2. 装药参数

(1) 装药长度 (l_2): 指连续装药的药柱长度;

(2) 装药直径 (d_2): 指装入孔内的药卷、药管、药筒或药柱的直径;

(3) 装药间隔 (L): 指不连续或分段装药药包之间的间隔距离;

(4) 装药密度 (δ): 包括空隙在内的单位炮孔体积装药重量, 有时也用单位炮孔长度装药重量来衡量, 则称为均布装药量或装药集中度 (q_1);

(5) 装药误差 (Δ_2): 包括装药位置和装药重量误差, 间隔距离和填塞炮泥误差, 以及装不到孔底, 中间卡堵, 被泥、水、岩碴隔断, 药包漏水变质等等。

3. 爆炸参数

(1) 传爆长度 (l_3): 即孔内装药稳定爆炸的长度, 一般指从雷管起爆点到自动停爆点的爆炸药柱长度;

(2) 爆破直径 (d_3): 主要指爆破或爆裂岩石圈的直径;

(3) 起爆时差: 包括放炮次数、各段起爆间隔时间 (t_n) 及同段起爆时间偏差 (t_d);

(4) 起爆序段 (n_i): 即起爆顺序和段数;

(5) 起爆误差: 包括拉炮、瞎炮、窜段、乱序等等。

4. 比例参数

(1) 装药系数 ($k_l = l_2/l_1$);

(2) 不偶合系数 ($k_d = d_1/d_2$);

(3) 钻孔密集系数 ($k_w = E/W$);

(4) 比装药量 (q): 即预称的单位岩石体积炸药消耗量;

(5) 炸药相对威力系数 (g): 本文以国产2*岩石铵梯炸药为100。

在设计和优选上列各项参数时必须注意其间的联系, 按其对应关系可归纳为五组, 再以数学、物理的时空坐标体系来划分时, 实际上其中最基本的参数仅有以下三组:

1. 关于深度的参数, 钻孔深度——装药长度——传爆长度;

2. 关于直径的参数, 钻孔直径——装药直径——爆破直径;

3. 关于间距的参数, 钻孔间距——装药间距——起爆时序。

按极坐标体系来说, 还应该有关于方向角度的参数即: 钻孔方向——装药方向——爆破方向, 在普通的井巷快速光爆中, 此组参数变化不大, 应力求与掘进方向平行, 而总的方向也必然是一致的。但每循环每个炮孔的起爆方向则可能有正向或反向两种, 在第五节中将作论述。

当然, 井巷快速光爆的全部参数还远远不止上列几类, 除众多的技术参数外, 还有:

1. 组织参数 如循环时间和循环频率 (日循环次数或班循环次数)、工作组织与劳动配备参数等。这类参数应该受决于最佳的基本技术参数, 但在传统的自由爆破中曾流行以组

织参数决定技术参数的方法，例如从既定的循环时间和劳动工作组织来决定炮孔深度，这种反序设计计算方法是够符合客观规律的；

2. 经济参数 如机械设备配备与使用费，炸药、雷管、钎头等工程材料消耗量及费用，劳动工资与工作效率等，在最佳的技术参数中必须充分反映经济因素在内，但是，应该着重看整个经济效果，算大账。在传统的自由爆破中只把炸药消耗量如炮眼总数看作为最主要参数，不仅在技术上不必要，而且在经济上也是片面的。“炸药消耗量”最多只能算是爆破效果指标中的一项，既没有考虑爆破的物理力学实质，也没有说明爆破方法；

3. 条件参数 如岩性参数、机具参数、炸药参数、环境参数（包括井巷断面）等，这类参数是决定和优选最佳技术参数的原始依据和基础，井巷快速光爆技术既要充分利用又要努力创造有利的条件参数。

关于井巷快速光爆各项技术参数的设计优选方法目前有公式计算法、直接试验法、经验类比法和模拟试验法等四种。当然建立在爆破物理力学理论基础上的公式计算法应该是爆破科学的发展方向。近二十年来，国内外很多学者在这方面做了大量研究工作，对于深刻了解爆破过程及其物理力学实质已有一定突破，但由于岩体的复杂性，爆破过程的瞬时性和爆破作用的剧烈性，致使每一个爆破参数又都是一个多变数的复变函数。所以迄今还未能建立起来一成套公认成熟的理论计算方法和简单实用的公式，一般仍只能采用经验类比法、直接试验法或模拟试验法来确定各种参数。关于这类经验或试验数据在国内外的有关资料中已介绍很多，必须特别注意犯生搬硬套的错误。例如，在很多外国资料中都断定：后裂光爆的周边孔密集系数不能大于0.8，但根据我们在中小断面巷道中的多次试验证明，此数值可以达到1.0，甚至达到1.2时的效果还可以，当然此值取小一些时光面效果可能要好一些，可是周边孔数目却因此要增多，这就难于达到“既光又快”的全面要求；又例如在日本的有关资料中特别强调周边孔的装药直径一定要比炮孔直径小很多，认为其不偶合系数要大于2.0时才能取得较好的光面效果，但根据我国很多试验和实验证明这并不是一定的，它是随炸药种类、岩石性质和装药结构而变的。早在很多年前用黑火药爆破采石时，用满孔散装黑火药的完全偶合装药也能取得很好的光面效果。此外，在深孔和超深孔光爆中由于岩碴难于抛出，不偶合系数也必须小一些。因此各单位在推广应用快速光爆时，还必须根据自己的条件和要求，通过直接试验法求得最合理的参数。其实，用直接试验法求光面参数并不复杂，根据我们的试验证明，在炸药品种、药卷直径和炮眼直径、装药结构和炮眼深度一定时，周边孔后裂光面参数就只有三个：孔距，抵抗和装药密度。当孔距与抵抗的比值在0.8~0.9时，实际上只有两个变数，只要通过两三次试验即可求得其最优值。其孔距约为孔径的8~15倍，其装药密度约为辅助孔高密度、高威力装药量的1/3~1/10，这是光面爆破最特别的一个参数。一定要克服过去那种不管什么炮孔都一样平均装药的旧习惯。辅助孔的布置参数就只有二个：临界抵抗和临界间距。所谓临界抵抗就是指辅助眼在过量装药条件下向一个足够大的平行自由面爆破时，能在自由面至炮眼间形成贯通破裂漏斗的最大垂直距离，当辅助孔至槽腔自由面的距离超过或接近这个距离时，就有打炮放空的危险，不能形成爆通的破坏漏斗。所谓临界间距的意思是：当有两个以上炮眼都按临界抵抗平行布置在一个足够大的自由面一边爆破时，孔间岩石都能达到基本破碎的最大孔间距，因此，同圈或同排辅助孔的间距应小于这个间距，使其孔间距与抵抗线之比值大约保持在1.0~1.5之间为宜。不过，用直接试验法求参数，毕竟还是原始的、片面的。再者，用直接试验法求最佳孔深、最佳孔径以及最佳掏槽参数也不是轻而易举的。为简化频繁的直接试验和繁杂的理论运算，基于理论分析、模拟试

验、直接试验和经验统计建立起来一些比较简单而又比较全面的半经验、半理论的参数设计计算方法和公式，是当前可能达到和急需做到的工作重点。

(四) 提高 钻 孔 技 术

根据统计，用浅孔自由钻爆法施工时，在中硬岩石中的钻眼时间约占据进循环时间的1/3左右，这是一个冗长而繁重的大工序。在快速光爆中，由于周边孔数量还有所增加，钻孔位置、方向和深度又要求比较精确，如果仍按旧的打眼经验不仅难于达到光爆的效果，而且钻孔时间还可能要增长。因此，必须大大提高快速光爆的钻孔技术，精心设计研制新型的钻孔机具，认真严细地操作施工，达到以下四个要求：

1. 快：除了要加快纯钻孔速度外，特别要快速找准孔位，快速开钻打孔，快速换钎接杆，快速拔钎移钻。

2. 准：特别是平行掏槽孔和周边光面孔的孔向和孔位一定要准确按设计优选的参数施工，尽量减小钻孔误差；孔口偏位一般不能大于孔径的一倍，孔底偏位一般不能大于孔径的二倍。因此钻孔愈深，精度要求愈高，现已成为超深孔光爆的最大难关。

3. 直：即钻孔轴线要尽量成一直线，避免弯曲，否则，钻孔易卡钎，装药易堵塞，爆破易失败。

4. 齐：在循环爆破中，为减少本循环清碴工作量，便于下循环布孔开钻，应尽量使爆破出来的工作面比较整齐。为此，在普通后裂一次光爆中，除掏槽孔稍需加深一些外，辅助孔和周边孔的孔底落点应尽量平齐、同深，并加大底部装药威力，以使每次爆破后的平巷工作面能成为一个平齐的垂直面，立井工作面能形成一个中心略凹的锅底形工作面。

为达到上述“快”、“准”、“直”、“齐”的要求，根据国内外经验和我们的试验体会，并巷快速光爆的钻孔技术应作如下改进：

1. 在炮孔布置上应推广采用平行孔(平行于井巷中心线)爆破。垂直工作面钻平行孔有很多优点：容易布孔划线，容易开孔打钻，容易掌握孔向，可减少钻孔长度，便于多台钻机同时作业，利于高度机械化钻孔，可减少爆破飞石距离和数量，可增大钻爆深度，可改善光面质量，可改善破碎块度等。

2. 在钻孔工艺上应推广“三严三快”的先进经验。“三严”是：严格认真的工作态度，严格按照钻孔布置图划线开钻，布孔较密的平行掏槽孔有必要实行样板钻孔；严格掌握好钻孔方向。“三快”是：快速用短钎子定位开门；快速换钎或接杆；快速退钻拔钎。冲洗岩屑的水压要足够大，流出的冲洗水应保持较大的流速，不能使岩屑在孔内沉积。

3. 在钻孔机具上应大力研制推广高效率、低噪音钻机、专用钻孔台车或钻装机、立井专用钻架、新型钎头或钻头，以及优质合金钢钎杆或钻杆等。应特别注意研究钻孔破岩机理和新型的钻孔破岩方法，应根据不同的岩石和孔深采用不同的钻孔机具。实践证明，目前通用的轻型气腿式凿岩机只能较好地适用于中硬以上岩石中钻凿浅孔和中深孔，钻深孔则需要采用中型以上的钻机、钻孔台车或专用钻架、钻装机等。在中硬以下的松软岩石中不论钻浅孔或深孔，都应采用旋转切削式钻孔法及其钻孔机具。例如铜川煤矿基建公司第二工程处在创造月进斜井705.3米的世界纪录时，在泥岩和粉砂岩等松软岩层中钻3米的深孔，用手持式电钻的钻速就比用风动凿岩机要高0.5~1倍。而且钻屑较粗、岩尘较小、噪音很低。但

是在较硬岩石中共钻速则迅速降低，钻头也很易磨钝。因此有必要发展耐磨钻头和新型的钻机。

为在中硬以上岩石中提高钻速，欧美等国早在六十年代就开始大力研究发展独立回转式的风动凿岩机和液压凿岩机。我国近几年来也设计研制了 YGZ—70、YGZ—90、YGZ—120、YZ—25 型等四种独立回转式风动凿岩机和 YYG80 等型号的液压凿岩机（见表 1），其冲击功和扭矩都较大，转速可调，能钻大直径深孔，又不易卡钎子。在相同的条件下，其钻速可比手持式风动凿岩机提高 1~4 倍，特别是液压钻更显优越，冲频高，噪音小，是今后钻机的主要发展方向。

为安架、操纵各种中型和重型的导轨式凿岩机钻凿中深孔和深孔，国外近十几年来发展了很多种型式的平巷凿岩台车或钻装机、立井钻架或综合机组等。我国近几年来，也设计研制了十几种平巷凿岩台车或钻装机、几种立井钻架（环形、伞形、笼形）。此外在某些隧道掘进和地下工程中，还研制或引进了几种汽车式的凿岩梯架和大型动臂式凿岩台车。但是由于种种原因，迄今这些钻孔机械还很少使用，定型制造者寥寥无几，当前已成为推广快速光爆和机械化配套施工的主要缺口问题。

从技术上来看，目前国内已经设计研制和试验过的一些平巷凿岩台车主要有以下缺点：液压原件及其装配加工质量欠佳，配装的凿岩机效率低而且台数太少，钻孔深度仅有 2 米左右，行走方式又大部分皆为轨轮式，需要占用轨道，调遣不便，与装岩运输互相干扰。因此即使这样的凿岩台车机构设计得很好，也还竞争不过能同时使用较多台数、机动灵活、价廉易造的气腿式凿岩机，不能满足独头长巷快速施工的要求。为克服这些缺点的技术方向主要有两条：一条是向钻装联合机的方向发展，既能解决频繁调遣争道的矛盾，又可装配较多的中小型凿岩机，快速钻浅孔，搞简易光爆。或装配大中型高效率凿岩机，钻深孔，实行深孔光爆；另一条是向重型专用钻深孔台车的方向发展，采用轮胎式或履带式行走机构，解决前后调遣与装岩运输争道的矛盾，采用多台、重型、高效率钻机钻深孔，搞深孔光爆，以加快钻爆速度。前一方向较适宜于较软岩石，巷道断面较小的条件。后一方向适宜于岩石较坚硬、巷道断面较大的情况，如金属矿山的主要巷道、铁路和水工隧道、以及其它各种围岩较好、断面较大的地下工程中。

关于立井钻架，目前国内正在配套研制中，能装配 20~30 台气腿式风动凿岩机的环形吊

表 1 国产独立回转式凿岩机主要性能参数与规格

规格与参数	YGZ-70 风动凿岩机	YGZ-90 风动凿岩机	YGZ-120 风动凿岩机	YZ-25 手持风动凿岩机	YYG80 液压凿岩机
机重（公斤）	70	95	120	25	76.4
外形尺寸（毫米）	800×230×210	883×355×303	925×370×260		820×260×175
冲击功（公斤-米）	>10	>20	28	5.5	10
冲击频率（次/分）	>3000	>2000	>1700	2000	3000
扭矩（公斤-厘米）	800	1200	1800	150	1000
转速（转/分）		0~250	0~200	0~2500	0~300
耗气量（米 ³ /分）	7	11	10	<3.5	—
油流量（升/分）	—	—	—	—	120+35
油压（公斤/厘米 ² ）	—	—	—	—	100, 70,