

资料选编

深孔光面爆破技术



TD235

032

《深孔光面爆破技术资料选编》

1982年4月出版

编辑：《深孔光面爆破技术资料选编》编辑组

出版：煤炭工业部高压水射流情报中心站

通讯地址：徐州十二信箱

1.60

前 言

煤炭部科技局于一九八一年九月十一日至十六日在无锡召开了深孔光爆科研成果汇报会。在会上交流了深孔光爆研究经验。

为了进一步提高水平，扩大成果，我们把这次会议交流的论文，选编了29篇，供有关科技人员及领导参考。

《深孔光面爆破技术资料选编》编辑组

目 录

1、井巷掘进破岩技术的发展方向与措施·····	胡 峰 (1)
2、直眼掏槽的理论研究与国外实例介绍·····	杨善元 (9)
3、平巷中深孔直眼掏槽的试验研究·····	荣际凯 (21)
4、爆炸产物引起的介质的应力场·····	程盘庆 陈保基 周听清 (29)
5、深孔光爆中炮孔爆压测试的探讨·····	张金城 (33)
6、预裂爆破试验·····	荣际凯 (40)
7、立井爆破事故的防治·····	胡 峰 (43)
8、模型爆破试验的初步研究·····	刘积铭 (52)
9、试论乳化炸药的稳定性·····	1-521 煤炭科学研究院 爆破技术研究所 (58)
10、2.5米中深孔光爆工时利用的分析·····	刘素兰 (73)
11、井巷光爆图表的设计方法·····	胡 峰 (76)
12、巷道掘进中眼深达5米时直眼掏槽的合理结构·····	吴秀文 译 (88)
13、平巷3~4米光面爆破工艺参数研究·····	荣际凯 (93)
14、立井深孔光爆若干基本问题的初步研究·····	胡 峰 (106)
15、水胶炸药在井巷工程中的试用·····	荣际凯 (125)
16、国外爆破器材现状及发展方向·····	祝锡五 梁煜祥 (131)
17、电雷管引爆炸药方向的试验研究·····	荣际凯 (148)

18、水胶炸药爆炸性能和雷管联线的试验与研究	淮南煤炭建设指挥部 淮南煤炭学院 (152)
19、炸药的临近效应试验研究	荣际凯 (159)
20、炸药爆炸管道效应的初步研究报告	山东矿业学院 爆破研究室 (162)
21、平巷孔深三米光面爆破的几个问题	李瑞忱 (173)
22、沟槽效应试验	张荣生 (181)
23、深孔爆破中炸药间隙效应的试验研究	荣际凯 (186)
24、2.5米中深孔光爆阶段总结	刘素兰 (194)
25、试用煤矿导爆索的小结	荣际凯 (201)
26、试验推广中深孔光面爆破小结	徐州矿务局技术处 (204)
27、深孔光面爆破阶段总结	侯庆山 (208)
28、采矿工业中小直径机械发展趋势及液压凿岩机的特点	杨善元 (210)
29、英美金矿公司的巷道掘进凿孔机械化	杨善元 译 (218)

井巷掘进破岩技术的发展方向与措施

山东矿业学院

胡 峰

内 容 提 要

本文根据当前井巷掘进破岩技术中存在的主要问题,提出了钻爆法破岩的本质优越性及其发展方向和可能实施的三个方案,提出了钻爆法完全可以搞联合机械化、综合机械化和钻爆掘进机、超深孔一次爆破、特浅孔连续爆破等新观点和新设想,对井巷掘进和爆破科学技术的发展研究有参考指导意义。

一、问题

采掘工作的实质就是破离部分岩石和防止围岩破碎。掘进岩石井巷的主要问题是快速破碎岩石。

随着采矿和各种地下工程的飞速发展,在岩层中开掘各种井巷、隧道和峒室的数量急剧增加。近十几年来,全世界每年仅为采矿而掘进的井巷长度,就由数万公里而增至数十万公里。传统的循环钻爆法由于掘进速度慢,机械化程度低,工程质量和安全性都较差,显然不能满足这种日益增长的需要。怎么办?可能有下列三条途径解决:

- 1, 继续改进和发展钻爆破岩掘进法;
- 2, 大力研制和试验机械破岩掘进法;
- 3, 广泛探索和研究新的破岩掘进法。

多年来世界各国的实践和探索说明,在较软弱岩石中采用刀具切割或滚压原理破岩的联合掘进机或钻井机掘进井巷,已经基本过关;但是,在硬岩中究竟采用什么样的破岩方法才能实现快速机械化掘进,目前仍然是个议论纷纷的大问题。

二、掘进破岩技术的发展方向

根据国内外多年来的经验和教训,解决硬岩掘进问题必须首先研究破岩能源和机理,选择最合理的破岩方法和参数。

岩石井巷快速掘进必须向综合机械化、

自动化方向发展。但是,掘进机械化和自动化并不只是联合掘进机或钻井机,联合掘进机或钻井机也不只是用机械工具破岩的掘进机或钻井机。有的人一听到“掘进机械化和自动化”的名词时,就认为只能是联合掘进机或钻井机;而一听到“联合掘进机或钻井机”的名词时,则又认为只能是刀具切割、滚压或冲击破岩的掘进机或钻井机,一听到“钻爆法掘进”时,就认为只能是传统的那种手抱钻打眼、人工装药的掘进方法;这些概念显然是不全面的,必须扩大和端正这些指导搞掘进机械化和自动化工作的片面概念。钻爆掘进法不仅现在已经实现了一定程度的机械化和自动化,而且将来也一定能够实现综合机械化和自动化,甚至可能实现最高效率的综合机械化和自动化。因为钻爆破岩法是一种可以充分利用各种高效破岩法的综合破岩技术,而爆炸破岩法又是一种时效和能效都极高的破岩方法。

狭隘概念的机械掘进法实际上是基于传统钻爆法的机械钻孔破岩原理发展起来的单一破岩法。早在十九世纪五十年代就曾研制过第一台平巷联合掘进机,但是由于没有起码解决破岩刀具和动力等问题,致使这类机械在整整一个多世纪中停滞不前,直至本世纪六十年代中期初步解决了破碎中硬以下岩石的刀具材料和结构后,研制这类联合掘进机才又开始复兴起来,其最大优点是破岩、装

碴和支护可完全同时连续作业，机械化程度高，易于控制，工程质量好，比较安全，因此较适宜在中硬以下的均质岩石中或煤层中掘进断面变化较少的长直井巷。1967年美国曾用104/121型掘进机在砂岩和页岩中一个月钻进直径为3米的平巷2088.95米。但是，这类联合掘进机掘进坚硬岩石和断面变化较大的以及拐弯较多的井巷则难于奏效，因其不仅笨重庞大、难于制造、成本很高，而且刀具和动力消耗很大、材料要求很高、机械故障频繁。对于这些老大难问题，虽然世界各技术先进的国家大力研究了一百多年，可是进展不大，成效甚少。

传统概念的钻爆掘进法，实际上已经是一种机械钻孔破岩法和化学爆炸破岩法的综合。大量的岩块是靠炸药在钻孔内一瞬间发生的巨大爆炸力破碎的。与上述联合掘进机破岩效率相类似的机械钻孔破岩的体积，仅占总破岩体积的几千分之一至几百分之一。与单一的工具机械破岩法相比，其最大问题主要是由于爆炸破岩的缺点产生的，但是其最大的好处也是由内部爆破法显现的。此外，钻孔破岩法还可以充分利用各种最先进的破岩技术，完全可以不受限于某一种落后的方法。

1、按破碎单位体积岩石的耗能量来讲，钻爆法是迄今已经研究过的各种单一破岩法中消耗能量最少的一种。以能量有效利用率达到100%的最好的机械工具破岩法与能量有效利用率仅达到5%的较差的钻爆法相比，后者的能耗仍然仅为前者的五分之一左右。分析钻爆法能耗之所以较低的主要原因有以下两点：

①破岩的平均块度较大。在中小断面的井巷掘进中，爆破岩块的平均线性尺寸约比一般机械工具破碎岩屑大100倍以上。因此，形成破碎表面积的功效比就约小100倍以上。掘进断面愈大，爆破功效比则愈小。

②破碎的平均强度较低，这是因为钻爆法基本上是随机选择破坏，可以在其应力场烈度所及的范围内，自动选择抗爆强度最低的弱点、弱面分级突破—往往是选择抗拉强度最低的弱面首先突破，即所谓“弱点突破规律”。而其它破岩法则因受工具尺寸或同时因受能量作用体积的限制，难于得到这样的选择性，由破岩装置或工具加给岩石的能量强度必须达到这部分岩体的最高抗破强度，才能使这部分岩体破离下来。岩体愈不均质时，爆破的功效比则愈小。

2、按破碎单位体积岩石的耗时量来讲，爆破法也是迄今已经研究的各种破岩法中纯耗时量最少的一种，主要由于以下两点：

①爆破单位体积岩石平均消耗的装药、放炮、通风和安全处理的总时间，仅为目前最优的联合掘进机掘进破岩纯耗时量的 $1/2 \sim 1/3$ 。循环进尺愈大，爆破耗时量愈小。

②爆破单位体积岩石的功率（包括装药、放炮、通风和安全检查等时间平均计算）约为目前世界最大掘进机功率的60~100倍。如果仅算爆轰时间，一公斤胶质炸药在一米深孔中的爆轰功率可达5000兆瓦，约装为目前中型平巷掘进机功率的一万倍。

由上述的计算数字可以看出，钻爆法的潜力是极大的，其爆炸破岩的速度和功率是任何其它破岩方式都达不到的。关键在于钻孔和其它辅助工作往往费时太长。现用凿石机的破岩速度（单位时间内破碎岩石的体积）仅相当于现用成熟掘进机正常破岩速度（每小时掘进一米）的1%左右，好在钻孔破岩体积仅占整个钻爆破岩体积的万分之一。

3、按破碎单位体积岩石的能源价格来讲，钻爆法也是迄今已经研究过的各种破岩法中价格最低的一种。钻爆一立方中硬岩石的爆破材料和钻孔能源费用，大约只有机械

工具破岩能源费用的 $1/2 \sim 1/4$ 。

因此, 钻爆法虽然已有几百年的古老历史, 现代科学技术的高度发展虽然已可能给采掘工程提供出很多“年青貌美”的破岩方法(如射流破岩、喷气破岩、电热破岩、离子破岩、激光破岩等等)但是, 作为井巷掘进破岩的主要手段, 至少在近几十年中仍以钻爆法具有较普遍优越的品格。所以, 改进和发展钻爆技术, 仍应为当代掘进破岩技术的主要发展方向。

三、掘进钻爆技术的改进方向

钻爆破岩虽然有些本质的优点, 但是与目前已经研制成功的联合机械掘进相比, 传统的循环钻爆法显然也存在很多严重的缺点:

1、爆轰不稳定。易落炮、瞎炮、熄爆和爆燃等。

2、爆破不准确。易超爆、欠爆、留门和剩底等。

3、爆区不安全。易受抛碴飞石、爆破震动、空气冲击波、炮烟和噪声的危害。

4、工序不连续。钻孔、装药、放炮、装岩、支护都不能实行平行连续机械化作业。转换工序和辅助工序费时太长。

5、机具不配套。钻孔效率低, 手工劳动多, 装岩不连续, 提运跟不上, 机械设备移动频繁, 工作面拥挤杂乱。

深究产生上述缺点的根源, 可归纳为以下三个问题:

- 1, 装药起爆系统衔接不良;
- 2, 爆轰爆破作用控制不住;
- 3, 机具设备器材性能不佳。

起爆、传爆、爆轰和爆破过程是一个非常快速而又极其剧烈的能量转化和自动作用的过程。从起爆源至装药的最后一个药包都必须紧密衔接成一个完全自动反应和严格自动控制的整体系统, 才能使钻爆法破岩安全

无误并具有极高的效能。但是, 传统的短段循环钻爆技术和器材设备却不能保证形成这样一个可靠的自动反应系统和起码的可控做功过程, 而是随便打眼, 过量装药, 任凭爆炸威力自由爆破、自由扩展、自由抛射、自由溢散。因此, 每次钻爆深度十分有限, 各种拒爆事故相当频繁, 爆破范围不能准确控制, 人员设备必须撤离爆区, 钻爆装支只能象走马灯式的单独轮换登场, 机具设备既零散而又繁杂, 事故多, 效率低, 进尺少, 劳累大。

根据多年来的研究分析, 钻孔爆破既然是个高能的破岩方法, 就不能马马虎虎、松松垮垮; 必须向连续、控制化方向改进和发展: 能准确控制爆破作用范围和作用性质, 能可靠限制危害作用范围和危害程度, 使装药起爆、爆轰爆破能达到连续自动化, 使钻孔装药、装岩支护能达到连续机械化。装药起爆系统连续是实行控制爆破的基础; 控制爆轰爆破作用是实现连续机械化作业的前提; 研制配套的优质机具、设备和器材是实现连续、控制爆破掘进的必须物质条件。

当前国内外掘进钻爆技术的具体改进情况和作者看法可参阅《井巷快速光爆的初步研究与试验》。

四、改革钻爆掘进的可能方案

根据试验和实践, 连续控制钻爆掘进法的可能方案可归纳为以下三类(其工作组织对比见图1—1):

1, 普通深孔光面爆破、高效机械化短周期循环顺序作业法。

此法是由传统的循环钻爆掘进技术改进而来的, 现已接近成熟并逐渐在各种井巷、隧道、峒室和洞库工程中推广运用。它能大大加快掘进速度和改善工程质量, 又能充分发挥锚喷支护和高效施工机械的效能, 是现代钻爆掘进技术的主要成就之一。在工作组

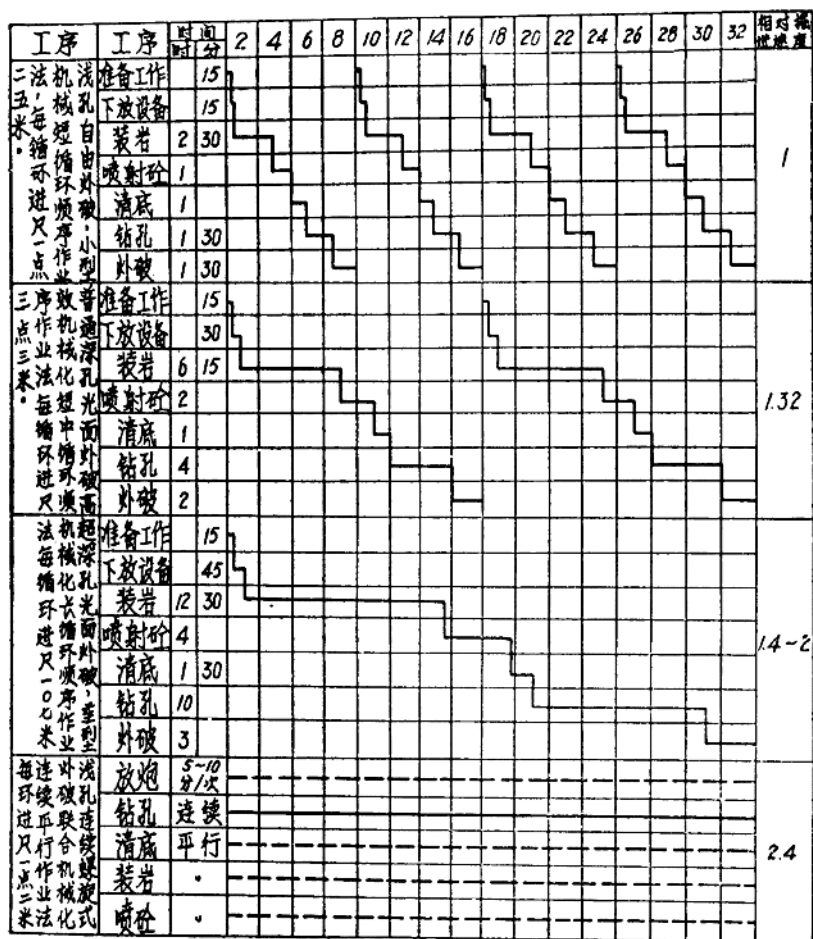


图 1—1，四种钻爆掘进方案工作组织对比图

织上虽然仍为循环钻爆、顺序装支的轮换工序作业法，但是每循环进尺可加大到2~5米。用高效率的装岩机或抓岩机装岩，用连续运输机、大容量梭车—电机车或大容积吊桶—大绞车运提岩碴，用高速机械化施工的锚杆、喷射混凝土作永久支护或临时支护，用高效率的钻孔台车或伞形钻架钻孔，用多段毫秒雷管和高、低威力的新型炸药爆破等等，已使掘进技术面貌大大改观，使施工机

械化程度提高到80%以上，基本上脱开了手抱钻打眼和架井圈背板或架棚子背板的笨重劳动。

近几年来，为了试验推行此种掘进方法，我国煤炭部、冶金部和一机部特别组织了立井施工机械化科研会战，在铜陵铜山新大井和邯邢万年立风井等施工中，已初步试验成功了4~4.5米的深孔光面爆破、高威力防水铵黑炸药、环形钻架和六机伞架、独立

回转的导轨式凿岩机、环形轨道式或中心回转式和靠壁式的大抓岩机、3立方米吊桶、大型凿井绞车和稳车、大型井架、自动翻矸和锚喷支护、500米高扬程吊泵和喂水泵、地面少孔予注浆和高压注浆泵与止浆塞等，取得了十分可观的成果。在涌水量每小时达到数十立方米而井筒深度又只有231.2米的万年立风井会战中，从准备到全井打完总共只花了五个多月的时间。其中建筑房屋5998.3平方米，修路1.5公里，筑堤200米，装机2889.7千瓦共205台件，安装金属结构119.9吨，敷设备、缆、绳、线19530米（地面7180米；井内38条12350米），加工金属设备63.7吨，运输设备器材730吨，挖掘井筒表土段22.74米，总共只用了三个多月的时间。第一次试用深孔光爆掘进基岩段井筒200多米，总共也只用了二个多月的时间。第一个月就成井81.5米，到第三个月共3天时间就成井15.5米，比第一个月的速度要提高一倍。全段平均月进度达到90米，连准备期在内平均月成井也达到43米。堪称我国建井史上的好记录。

在平巷掘进中，我国近几年来也相继试验成功2~4米深孔光爆和锚喷支护的机械化掘进技术，并已在很多单位推广运用，取得了相当好的成绩。

但是，必须指出，这项技术目前还存在一些问题和困难，急待进一步研究解决。例如：

①缺乏相应配套的机具，尤其是中小断面的平巷深孔钻车或钻装机、大型立井的深孔钻架和高钻速低噪音的深孔钻机（如液压凿岩机）等等。

②缺乏防水高威力炸药和光爆专用炸药，如水胶炸药和小直径低威力炸药等。

③深孔装药稳定爆轰理论和控制理论，如管道效应机理和控制飞石机理等，还缺乏研究。

关于井巷深孔光爆的实施方案和技术措

施，可参见《井巷快速光爆的初步研究与试验》《立井深孔光爆若干基本问题的研究》《巷道深眼光面爆破的初步试验》等等。

2，超深孔综合控制爆破、重型机械化长周期顺序循环作业法，或一次爆成法。

此法是由深孔光爆短循环掘进法发展而来的，可以认为只是每次钻爆深度加大了。但是，在钻爆技术、施工方案和工作组织等方面，都必须作很大的变革。原来需要很多次循环的钻爆装支才能做完的井巷，采用此法只需要较少次甚至一次就爆成了。避免了频繁地轮工序和机具。一方面可减少很多无效劳动并大大节省时间；另一方面可采用高效率、大功率的重型机械。例如：

①向下掘进的深井中，可采用高效率的深孔钻一次钻深6米以上，采用机械填装水胶炸药或予制爆炸绳，分阶段连续控制爆破到孔底，采用0.6立方米以上的大抓岩机和4立方米以上大吊桶出碴，采用机械手喷射混凝土作临时支护，采用吊环拉杆式液压滑模一次套壁。

②在底端已有出碴巷道的立井、天井和煤仓掘进中，可采用高效率、高精度的深孔钻机一次钻完全部炮孔，采用全深度全面龟裂和分阶段连续抛碴相结合的控制爆破方法一次爆完，然后即可连续平行或顺序地高效率出碴和支护。

此法对钻爆的要求是极高的，国内外很早以前就试验过，但都只能作为一种美好的理想或不值一谈的故事而潜匿起来。必须彻底破除简单陈旧的概念和习惯做法，按现代科学技术水平所提供的知识和手段，实事求是地研讨问题和决定措施，理想是可以实现的。自1975年我们在山东某工程的花岗岩地层中，首次采用综合控制爆破方法，一炮爆成一个二十多米深的正方形立井以来，全国各地已试验了多次，成功率急剧提高。目前在自然孔隙率达到10%以上的松软岩层中，

只要钻孔合格，一次爆成一个十几米深的浅井或煤仓已经不成问题；最深一炮已达四十多米。某铜矿用此法掘进平巷，最深一次也爆了18米。而且这些爆破还并没有实行什么严格的控制措施，只是分段连续起爆而已。如果再进一步采取措施，严格控制爆破范围和飞石、地震、激波等危害效应，象首次花岗岩中试爆的那样，不仅一次能爆得几十米深的成型良好、岩壁光整的井巷，而且能有效控制飞石和其它危害作用的范围。因此，希望是很大的。目前已引起国内外有志者的浓厚兴趣和重视。根据不同的条件，提出了各种实施方案，经初步归纳大约有以下几种：

几种：

①全面龟裂、分段连续抛松爆破法，见图1—2；

②螺旋起爆分段连续抛碴爆破法，见图1—3；

③全深度强力挤压扩孔爆破法，见图1—4；

④大直径空孔逐次刷大爆破法，见图1—5。

但是，这类爆破法目前最大的问题是缺乏高精度高速度的钻孔机具、多段数高精度的毫秒雷管和威力易装填的抗水炸药。

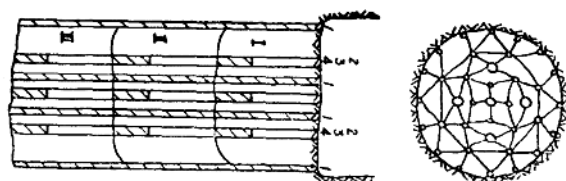


图1—2 1, 2, 3, ……雷管段数
1, II, III, ……抛碴段序

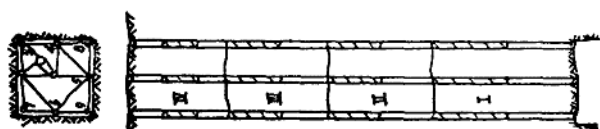


图1—3

1, 2, 3, ……雷管段数
I, II, III, ……爆破段序

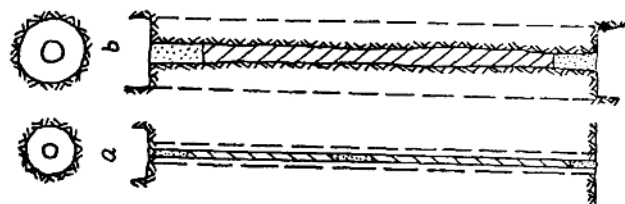


图1—4

a, 第一次扩孔前, b, 第二次扩孔前

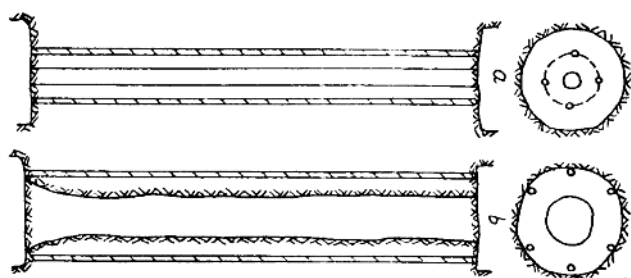


图 1—5 a, 第一次刷大前; b, 第二次刷大前

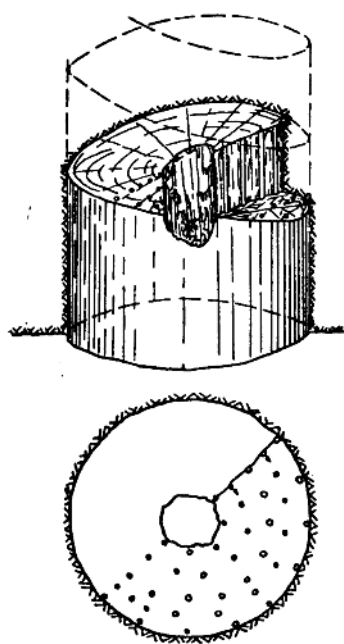


图 1—7 立井连续钻爆，螺旋掘进工作面示意图。

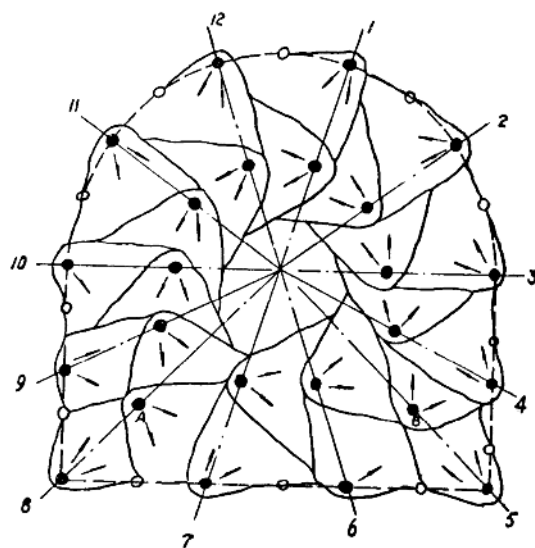


图 1—6 平巷连续钻爆，螺旋掘进扇形爆破分区顺序图。

3, 浅孔或特浅孔近人精控爆破、联合机械化连续平行作业法。

以上两种钻爆掘进法虽已作了重大改进,但是仍未克服传统循环钻爆法最烦人的缺点,即爆破时仍然必须撤人、撤物、钻爆装支不能平行连续,各工序的机械化不能联合为一整体。浅孔或特浅孔近人精控爆破掘进法就是为消除这些缺点而改革设计的。其根本问题就是防治飞石、激波、振动和炮烟。很多人不相信能有这样的爆破方法,其实并不奇怪。在采煤工作面,工人为了减少频繁放炮上下跑路之劳累,早就偷偷地实行“扭腕爆破”了。近二十多年来很多资本主义国家的大城市于人烟稠密之处为了快速高效地拆除旧建筑,也早已就实行“不飞石低噪音的城市爆破”了,最近报纸上还公开发表了更加令人惊骇的所谓“贴近皮肤”的爆破技术等等。从原理上来讲,这些“近人爆破”,除了采用特制燃烧剂在孔内速燃破岩,因而实际上已不属爆破者外,无非就是在具有平行自由面条件下的小量松动爆破而已。在井巷掘进中由于空间狭小,又没有平行自由面,当然实现近人爆破的难度要大些。只采取减少单位装药量、齐爆药量、齐爆孔数和爆破深度,增大各炮起爆时差和封口阻力,控制爆破方向和阻止抛碴飞石等一般小量松动爆破的控制措施是不够的,还必须采取下列措施,以确保安全:

①在操作人员和机器周围设置护盾或掩护筒、消音罩等,做成密闭的防护室;

②全体在场人员戴防噪耳塞和防噪帽;

③加强通风防尘;

④改革掏槽方式,采取螺旋式爆破法或升级式掏槽法(参见山东矿院《矿业技术》1977年第1期)。

据报导,美国于1970年前后就有人开始探讨了这种连续钻爆的联合掘进机作业法,所选定的爆破方法就是螺旋渐进式单孔顺序

连续起爆法。把井巷全断面分成若干个扇形区(图1-6),炮孔则呈辐射状排列,同一辐条上的炮孔均钻至同一深度,不同辐条的炮孔则逐辐加深,因此孔底连接面在不同半径距离上均呈螺旋形,每次爆破一个扇形区的炮孔,从而形成一个与井巷轴线平行的新的自由面。然后再顺序装药起爆下一个扇形区的炮孔,如此依次边钻孔、边放炮、边装岩、循环一周就可使工作面向前推进一个深度(图1-7)。每个炮孔底部都起到了一点掏槽加深的作用,但大部分都是在多自由面条件下爆破的,因而可以大大减少装药量,很容易松动崩落。

1933年美国根据上述连续螺旋式钻爆的概念,设计研制了第一台马蹄形平巷钻爆联合掘进机,并在密西根州白松铜矿井下的页岩、泥岩和砂岩中进行了试掘,很快就取得基本成功和较好的参数。这种平巷钻爆联合掘进机的原型构造是非常简单的,实际上就是一台带一个中心旋转钻臂和耙爪一皮带装岩机的履带式钻装机,钻臂上装一台或二台普通凿岩机和护盾,可绕中心轴回转,进行连续钻爆。装岩是用一个耙子沿底板把岩碴不断地耙到集碴盘上,而后再由一条中心皮带转运到机尾后面的运碴车中。除自动装药和起爆设备外,其它机械均可购买最普通的成品。据估计,这种钻爆掘进机可应用于各种岩层和断面的巷道掘进中,故障较少,每小时可掘进8~13.3呎(2.4~4.0米)。这是现有机械破岩联合掘进机所难于比拟的

同样,在立井掘进中也完全可以实行螺旋式连续钻爆和联合机械化平行作业法,其意义和优越性比平巷更大。作者曾研究设想具体实施方案。中心问题是需要设计研制一个密封的、能绕井心转动的装甲罐,或钻孔、装药坦克车,以便于立即就可应用现有的普通机械设备成品和人工直接操作。在密封装甲罐或坦克车的上部装有一个自动喷浆

直眼掏槽的理论研究与国外实例介绍

中国矿业学院

杨 善 元

内 容 提 要

本文就直眼掏槽爆破中的岩石的类型与结构、炮眼的大小与间距、炸药性能与装药量、殉爆与瞎炮的发生、段发雷管与点炮顺序、炮眼偏差容许值以及炮眼中的爆炸过程、岩石的破坏过程等有关问题进行了分析研究,并对国外的实例作了具体的说明。

一、直眼掏槽的基本研究

采用直眼掏槽来掘进巷道已在全世界成功地应用多年。这种方法较之其它方法可达到更深的循环进度,这是受到广泛采用的经济因素。近20年来广泛采用钻车的趋势,迟发管愈来愈准确以及大型装岩机械的出现都促进了直眼掏槽法的发展。

的机械手,能同时喷射混剂土作临时支护或永久支护。提运则仍然利用现在已有的环形轨道式或中心回转式抓岩机和普通吊桶。根据初步设计,采用这个方案掘进一个6~7米直径的岩石立井,只要配备:4~8台普通轻型凿岩机,一台0.4M³的抓岩机,两个2~3立米的不摘钩吊桶,一个简单的喷浆机械手,两台局扇和一个扬程为10~15米的水泵等普通机械设备,采用10~20段的大间隔毫秒雷管(或半秒雷管)和水胶炸药,采取螺旋式布置的小炮眼(孔深1.0~1.5米,孔径32~36毫米)单个顺序松动爆破和光面爆破,每3~4小时就可旋转掘进一圈,每月则可成井200米以上。每圈分几个至十几个扇形区钻爆,每次爆破间隔十几分钟至一小时,每响只爆一个炮孔,而每孔仅装药100~300克。根据计算,只要加强通风,炮烟和地震的危害性是可以避免的,但空气冲击波和飞石还有危险性。因此,放炮时,人员都必须避开密封的装甲罐内(或坦克钻车内)。此装甲罐除了能可靠防止飞石和冲击波外,还必须能使放炮时产生的脉冲性噪音不大于危险水平—140分贝。为此,应在井口

再经常贮备一个完好的装甲罐、或坦克钻车,当井下的一台稍有毛病或损坏时,立即就可调换。当然,这种钻爆法最终最好还是应该实现全部自动化,采用闭路电视监控或程序操作,然而目前似乎某些作业还很难实现(如装药、吹孔、连线、放炮和清底等),有待深入研究解决。

五、 结 语

- 1, 优选破岩方案是各种地下工程的关键问题;
- 2, 钻爆法破岩本质上是优越的,不能忽视,应加以改进;
- 3, 改进钻爆法的主要方向是精确控制爆破范围和危害作用;
- 4, 深孔光爆技术目前已经成熟,应推广;
- 5, 特浅孔精控连续爆破和超深孔综合控制爆破的现有研究试验成果已显出特别的优越性,是很有希望的研究方向,可发展成为崭新的井巷施工技术,应加强研究和试验。

所谓直眼掏槽法就是一组掏槽眼中包含一个或一个以上的不装药的空眼与装药眼相平行，它的作用为作为岩石的应力释放。在国外这种掏槽法又称为“烧孔掏槽法”或“粉碎掏槽法”。在50年代我国有些矿井，特别是金属矿山曾经采用过的所谓“平行龟裂法”亦属之。

这种掏槽法的主要优点可归纳如下：

1、即便在硬岩中亦可采用深孔作业，在较软的塑性岩石如砂质页岩只要在设计上采用适当措施亦可有效地采用，如马家沟矿即其一例。

2、因所有炮眼都是平行，因此钻眼比较简单。

3、爆破时岩石的抛掷很小，因此对于保护临时支架与提高装岩效率都是有利的。

但它也有如下缺点：

1、比其它掏槽法要钻较多钻眼，如果

空眼是大直径眼则要增加钻眼的困难与时间。

2、每单位岩体的炸药消耗量较大。

3、对钻眼的平行度与准确度要求较高，不利于手持式或气腿钻眼，很容易由于钻眼不平行而造成失败。

4、由于眼间距较小容易造成殉爆，从而打乱了计划引爆顺序以致造成掏槽失败。

二、直眼掏槽的设计

1、岩石的类型与结构

影响直眼掏槽的最重要的因素为岩石的类型。已经出现过各色各样的，为了各自目的服务的岩石分类法。对于本专题而论首推斯泰特尔提出来的分类法。他在一篇文章中把矿山常见的30种岩石从塑性至脆性分成7类（如表1）。一般而论，在直眼掏槽法中塑性岩石要比脆性的困难得多。

表1 按塑性、脆性的岩石分类

A	B	C	D	E	F	G
石膏 页岩—很软 粘土 分解严重的岩石	石灰岩—软 页岩—软 炭质灰岩 方解石 中等分解岩石	石灰岩—中硬 砂岩—软 页岩—中硬 砂页岩 半砂化灰岩	砂岩—软 石灰岩—硬 页岩—硬 无烟煤质页岩 结晶灰岩 砂质页岩	花岗岩—软 赤铁矿 砂岩—硬 云母片岩 粘土质砾岩 石英 砂质岩	石英 石英岩 石英砾岩 大理石 花岗岩—中 硬砂质岩 砂质岩	花岗岩—硬 石英岩—细粒 燧石质岩石

设计空眼掏槽时岩石的结构亦是必须考虑的一个因素。层面、断面、软层或其它不连续性与非均质性都将作为设计时的特殊问题。一般而论，这种结构将使爆破力的浪费而不是如设计时所考虑的去做功，因为大量层面或裂隙的存在对应力波的传播很不利。

2、炮眼的大小与间距

有很多不同的直眼掏槽法。各种方法的差别主要在于给予装药眼的应力释放的量的不同。应力释放可以定义为使空眼与装药眼之间破碎与自由地膨胀到空眼的容易性。空眼愈大，破碎与膨胀愈容易；眼间距愈小就愈

容易破碎。同样,所给应力释放愈大,掏槽愈深,有些大空眼掏槽法已给予肯定的证明。

当然空眼的大小有实际上的限制,因为打大空眼需要较大钻机,受到设备的限制,因此为了简化施工设计与施工组织常常采用以好几个眼来代替一个大眼。经验证明这种代替法是有效的,我们在马家沟的试验即采用了这种办法。

一般相信装药槽眼的直径只要与药卷直径相配合,对于直眼掏槽效果是没有影响的,早就为很多试验所证明。

设计眼间距时必须考虑的重要因素之一为装药眼与空眼之间的岩石的破碎类型。如图2—1所示即说明这一点。兰芝福斯的意见认为,根据眼间距可以发生如图2—1所示的四种情况,即塑性变形,破碎,完全抛出,两眼贯穿。理想的空眼掏槽的眼间距必须在“完全抛出”带。这样就不仅使岩石破碎,并且抛出槽子之外。在“破碎带”岩石将破碎,但大部分仍然残留或挂在槽子中。在这种情况下,对脆性岩石大概仍可达到破碎,但塑性岩石则掏槽就可能失败,因为岩石碎块或碎屑可能在槽子中重新固结。当发生塑性变形时,眼间岩石将剪切到空眼中,但并不增大

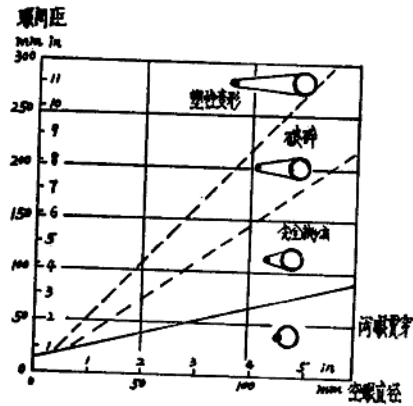


图2—1, 不同的空眼直径与眼间距达到的爆破效果

槽口,大部分岩石都密实地甚至有些变质地固结或挤压在空眼的位置中。这种现象称为“冻结”或“夹制”。

图2—1是按图2—3所示的装药密度而制定的。从图2—1表示出爆破结果随眼间距的改变而改变。当 $Q < 1.5\phi$ 时槽子中的碎石完全抛出,在 1.5ϕ 与 2.1ϕ 之间则仅仅破碎而不抛出,距离再增大就造成如上所述的塑性变形。甚至比“塑性变形区更小的距离,若装药密度太大,亦会在槽子中发现“烧焦”现象。实际上这就是“烧孔”掏槽(burn cut)与“柱形”掏槽(cylinder cut)的主要差别。

3、炸药性能与装药量

炸药性质对直眼掏槽的影响很大,其中,爆速最具决定性意义。为了使岩石从槽子抛出而不固结以采用与岩石性质相适应的炸药为宜。这就是后面还将讨论到的岩石与炸药的声阻抗(ρc)必须相匹配的问题。在砂质岩之类的或如表1所示的C与D类岩石以采用爆速约为3000m/s左右的炸药为宜。就这一点而论我们在马家沟采用的2号岩石确实是比较合适的。

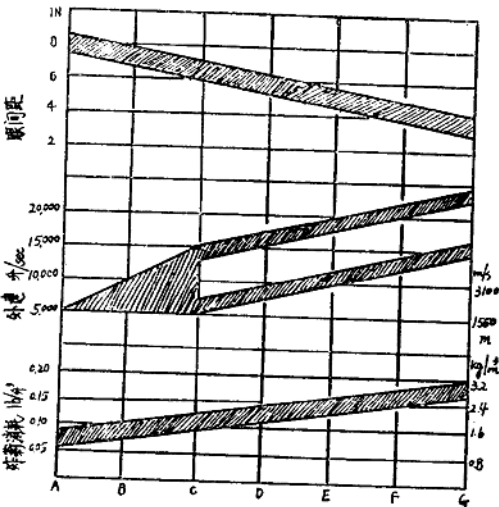


图2—2, 空眼掏槽达到适当破碎时需要的炸药消耗量与眼间距(根据斯泰特尔)。

据兰芝福尔斯的研究认为一般的狄纳迈特(N.G35%)装填 $\phi 35$ 的炮眼时,即使用炮棍轻微捣实,炸速即可达 5500m/s 。这样的爆速对槽子以外的岩石爆破很有利但对于掏槽则很不适合。

为了消除长炮眼传爆熄灭问题,我们曾经做了相当多的装药结构的试验,并且发现散装药对于提高爆破效果与消除炮烟都起了良好效果,但亦发现对于掏槽却很不利。

毫无疑问,这是由于散装药的爆速太高的缘故,为此我们亦曾经采用散装药与药卷相交替的装药结构,这样就已解决了传爆熄灭问题又降低了爆速使掏槽收到了一定效果。

在掏槽的设计与试验中,装药量的多少往往是很难解决的问题,一般都是采用把爆眼完全填满,至多留 $100\sim 150\text{mm}$ 炮泥位置,不然就容易造成“挂门帘”。

掏槽装药量必须结合眼间距 a 与空眼直径 d 来考虑。兰芝福尔斯提出了一个经验公式可作为参考:

$$e = 1.5 \times 10^{-3} (a/d)^3 / (a - d/2)$$

其中 e —装药密度, kg/m ; a —眼间距, mm ; d —空眼直径 mm 。根据这个公式描出了如图2—3的曲线。

这个公式开始是在模型试验中确定的,然后在大型试验中调整。它的缺点为未考虑不同类型的岩石与炸药的性质,不能适用于所有条件。

斯泰特尔采用了有些不同的方法以研究掏槽装药量。根据如表1所列的岩石应用图2—3的曲线就可找到炸药的爆速与装药量。斯泰特尔的方法未考虑空眼直径的变化,好像从4"的空眼爆出的岩石与2"的一样。这种假设显然是不合理的。

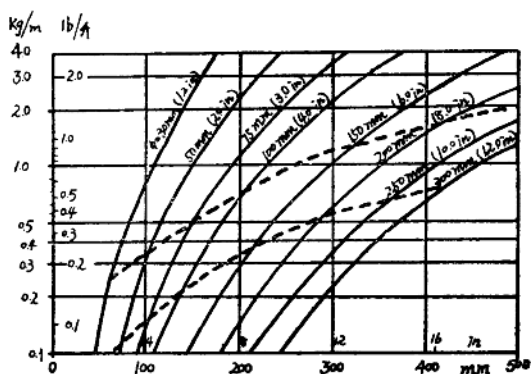


图2—3, 空眼直径为 $30\sim 150\text{mm}$ 的装药量与眼间距的关系,装药眼直径为 32mm 。

兰芝福尔斯与斯泰特尔的计算装药量的方法都有缺点与局限性却是参考文献中可能找到的这方面的唯一资料。可见关于这方面的研究还很不足,因此我们对于直眼掏槽的认识还很肤浅,特别是达到最佳的掏槽效果怎样按不同性质的岩石来选择与其适应的炸药的问题,还远未解决。

4、殉爆与瞎炮的发生

由于炮眼间距小至 100mm (按兰芝福尔斯 $a < 2\phi$),因此在爆破过程中往往容易发生两种意外事故:(1)殉爆,即先炸的炮眼引起附近炮眼的起爆,从而打乱计划的起炸顺序,结果使掏槽失败,(2)先炸的炮眼挤压附近的炮眼,使其中装药压实至超过极限密度而拒爆。后一种情况最容易在塑性岩石中与采用粉状硝酸铵炸药时发生。

根据国外的试验眼间距超过 $10"$ (254mm),用40%的半胶质炸药,在白云石石灰岩中都常发生殉爆事故,除非采用即发雷管同时起炸。

殉爆与装药密度亦有关系。按兰芝福尔斯的意见认为当采用35%胶质炸药,装药密度达到 1.0Kg/m 时只有使眼间距超过 250mm 。当装药密度为 0.7 与 0.3Kg/m 时,相