

现代爆破技术资料

选 编

(上)

武汉地质学院掘进工程研究室

一九八五年元月

前 言

为了便于吸收地矿部外爆破方面的理论、先进技术的试验研究方法，促进部内坑探爆破人员的业务素质的提高，我们从国内杂志、刊物和部分书中选择有关内容共 53 篇，分四章编辑成册，以供地院学习“现代爆破技术”选修课的同学和坑探人员参考。

本资料由陈仲云负责选编，经张天福老师审阅。

书 号 TD255.4

W1

定 号 474628

E

牙

编 者

1985. 1. 22

(上册)

第一章 概论.....	(1)
一、工程爆破概论.....	(1)
二、我国工程爆破现状与展望.....	(9)
三、我国矿山爆破技术的发展和展望.....	(13)
四、工程爆破的科学化.....	(20)
第二章 爆破器材与起爆方法.....	(21)
§ 1、基础知识.....	(21)
一、冲击波基础知识.....	(21)
二、燃烧波基础知识.....	(27)
三、现代工业炸药发展概况.....	(35)
四、炸药起爆技术和火工品.....	(42)
五、高级炸药的性能及工艺.....	(45)

§ 2、爆破材料.....	(5 8)
一、岩石型乳胶炸药和煤矿安全型乳胶炸药.....	(5 8)
二、SHJ—Ⅱ型水胶炸药.....	(6 2)
三、塑料板状炸药.....	(6 5)
四、塑料导爆管式无起爆药雷管.....	(7 1)
§ 3、起爆方法.....	(7 5)
一、一种新的起爆系统.....	(7 5)
二、激光引爆炸药的实验研究.....	(7 7)
三、浆状炸药的轴心重力起爆.....	(8 3)
四、露天矿微差爆破合理间隔时间的测定与研究.....	(8 8)
§ 4、塑料导爆管起爆系统.....	(9 6)
一、塑料导爆管起爆过程.....	(9 6)
二、对塑料导爆管爆轰过程的探讨.....	(1 0 1)
三、导爆管传爆机理的实验研究.....	(1 0 4)
四、塑料导爆管稳定传爆的物理模型.....	(1 0 9)
五、空管壁面薄层炸药传爆机理的探讨.....	(1 1 4)
六、导爆管簇联一次激爆数量的探讨.....	(1 2 4)
七、雷管反向激爆导爆索、导爆管的初步探讨.....	(1 2 7)
八、非电起爆系统孔外延时爆破.....	(1 2 9)
九、非电起爆系统应用于深水孔经裂爆破.....	(1 3 2)
十、塑料导爆管起爆系统在隧道和露天爆破中的应用.....	(1 3 6)
§ 5、其它	
橡皮炸药导爆索及其在油井射孔中的应用.....	(1 4 6)

一、工程爆破概论

(一) 前言

黑火药是我国古代四大发明之一。我国炼丹家孙思邈在其所著的《丹经》中即有记述。唐、宋期间,黑火药已应用于民间娱乐和军事作战。直到十三世纪初叶,黑火药始传入阿拉伯,最先在阿·艾勒(Abu Allah)的著作中称之为“中国雪”。随后辗转传入欧洲。1548—1572年间俄国首先用于开拓聂曼河航道,1627年匈牙利人则首先用于采矿爆破。1867年诺贝尔(Alfred Nobel)发明了黄色炸药(硝化甘油)、雷管以及随着潜岩机具的出现,开创了近代工程爆破技术发展的新纪元。在工程中得到了广泛的应用。例如,1885年美国修建东河运河(East River Channel)中,曾用硝化甘油一次装药140多吨进行爆破。苏联在二十世纪三十年代为了打开通往褐煤矿床的通道,一次爆破装药量达1808吨。新中国诞生后,工程爆破技术发展很快。五十年代初期开始采用深孔爆破和洞室大爆破。1956年白银铜矿一次爆破的炸药量达9600吨。此外在铁道和水利水电建设中亦得到了广泛的应用。1960年修建南水水电站中一次用炸药1394吨进行定向爆破筑高坝成功。上述工程实践标志着我国工程爆破技术进入了世界先进行列。

目前爆破技术正朝着规模大、控制好和精确化的方向继续发展。不但普遍用于冶金矿山、水利水电、铁道、交通、煤炭、石油、建工、建材各部门的大量开挖、填筑、采掘、水下疏浚、压密加固以及建筑结构拆除等方面,而且在农林部门和耕地整治中用于打井、深翻土地、移山造田方面,甚至在医疗卫生上成功地用于膀胱结石的微量精细的爆破清除。因此,爆破技术对于加快工程建设,提高经济效益,促进国民经济发展,实现2000年我国工农业总产值翻两番的宏伟目标将起到十分重要的作用。可见工程爆破有着丰富的内容和巨大的生命力。概括起来工程爆破主要包括以下基本内容:炸药和起爆技术,岩体爆破机理,各类控制爆破技术,爆破公害和安全标准。

(二) 炸药和起爆技术

1. 常用炸药的种类及其性能

硝酸类炸药是目前国内外生产最多使用最广的工业炸药。它以硝酸铵作为主体,加入3—14%左右的梯恩梯作为敏化剂以及4—9%木粉为疏松剂等制成各种型号(包括露天、井下、抗水和高威力等)的铵梯炸药。它具有爆破威力较高、使用安全等优点。但防水性差,易吸湿结块,可用工

中硬且无石石的爆破。施工中常用的一号岩石硝酸铵炸药即属此类。它是以硝酸铵为主，在此基础上加入少量的松香和石蜡之类的憎水性表面活性物质即为钝敏炸药。另外，以硝酸铵为主加入 10% 轻柴油，或再加入适量的木粉，制成的钝敏炸药，于 1966 年首先在美因使用。在 70 年代期间基本上取代了硝化甘油而用于工程中的爆破作业。它具有爆破威力大、原料来源广、加工简便、成本低廉、生产运输和使用均较安全等优点。因此我国许多大型爆破工程（如治平山、万吨级剥离爆破和石炭峪水库 1600 吨定向爆破坝坝等）中使用，效果良好。该油炸药的缺点是吸潮结块怕水，不能用于有水的硐室和爆破工作面。浆状炸药则是将硝酸铵溶于水，加入少量梯恩梯、硝化甘油、铝粉或镁粉之类的敏化剂和用苦胶等胶结剂制成，它具有较好的抗水抗冻性能。特别应该提到的是水胶炸药，它主要由甲基铵硝酸盐（约占 1%）、硝酸铵（约占 1%）、硝酸钠和少量的粘胶剂、交联剂和泡沫稳定剂等分别溶解于水中，按一定次序混合而成。储存在罐内再用泵根据要求装入一定规格的塑料薄膜管内，制成不同直径和长度的药卷或直接灌入炮孔内使用。水胶炸药具有使用运输安全、毒性少、抗水性强、爆破威力大、可以调节密度适应各种爆破介质特性需要等优点。因此自 1957 年美国杜邦公司首先制成使用后，1968 年水胶炸药使用量已占美国标准炸药用量的 1/3，现已在加拿大、瑞典、日本、法国、澳大利亚等国广泛使用。近年来我国亦正研制使用，它是一种很有发展前途的工程炸药。

此外，胶质炸药是以硝化甘油、硝化乙二醇和硝酸钾（钠）为主，加入少量吸水剂硝化棉和疏松剂木粉制成的一种半透明的可塑性炸药。它具有很高的爆炸威力，且不溶于水、能耐冻，但易因发和老化而失效，敏感性极强，安全性差，制造、运输和保管条件比较困难。因此除用于特种爆破和水中爆炸外，一般很少使用。

梯恩梯炸药（三硝基甲苯）具有爆炸威力大、安全性好、吸湿性很弱，且不溶于水，可用于水中爆炸。它较胶质炸药安全而兼有其优点，但因成本较高，除仅用作加强起爆药或作为硝化甘油的敏化剂外，在工程爆破中很少单独使用。

2. 起爆技术

工业炸药必须受到强大的外能作用下，由于局部的温度骤升而形成灼热核后，始能引起爆炸。而且只有具备稳定爆轰条件时才能引爆全部炸药。因此工程爆破起爆技术通常采用各种起爆器材并由此而组成的点火、传导和起爆系统来实施。常用的起爆器材有：

雷管 用以直接引爆炸药或其它起爆材料的最主要起爆器材。根据不同用途分火雷管、非电毫秒雷管和电雷管。后者又分为瞬发、延迟和毫秒延期电雷管。此外尚有抗杂散电流、抗静电、抗高温和防瓦斯电雷管等。

导火索 用火点燃后传递火焰以引爆火雷管和黑火药的索状点火器材。

导爆索 受雷管激发后传递爆轰波以引爆炸药（或起爆体）之用。

微导管 用作延期激发导爆索传爆达到分导延期起爆目的的器材。

导爆管 是瑞典于七十年代初期首创的最新产品。它是在细塑料管（内径为 7-8 毫米）内壁涂以薄层混合炸药制成，利用炸药爆炸的管道效应，当一端受激发后管内炸药以 1700-2000 米/秒的速度稳定地传播而无声、光、热之感，与联结元件结合可作延期爆破之用的起爆器材。

利用上述起爆器材组成相互连接的体系，以达到安全可靠地按顺序和时间要求准确引爆所有药的系统称为起爆系统。工程爆破中常用的起爆系统有如下几种：

（1）火花起爆系统 是一种古老的常用起爆系统，它包括：

火源（点火材料）、导火索、火雷管。

该系统比较简单，多用于非奇爆的松眼爆破，其缺点是起爆系统故障无法检查，含爆眼数量有限，容易引起拒爆、瞎炮，不够安全可靠。

(2) 电力起爆系统 常用于时孔齐爆、大量硐室爆破和秒差或毫秒延期爆破。其优点是钢路故障较易检查、起爆孔数不限、起爆时间控制准确,缺点是钢路复杂,成本高,受雷电和杂散电流感应误爆威胁,需要足够的交、直流起爆电源,使用不便。该系统的典型构成为:

交、直流电源(含起爆器)+金属导线+电雷管(起爆体)

(3) 非电导爆起爆系统——它可以克服以上两种起爆系统的缺点,是今后发展的主要方向,这类起爆系统实际上包括两种型式:

A. 导爆索起爆系统:其构成为火(电)雷管激发导爆索,通过导爆索来引爆炸药或起爆体,或者中间串联继爆管达到多道延期控制爆破作用。即

激发雷管+导爆索+(继爆管+导爆索)+(起爆体)

其优点为可避免电力起爆系统的固有缺点,但易出现网路故障而无法检查和成本较高的缺点。

B. 导爆管起爆系统:它兼有上述各种系统的优点而其缺点又较少,该系统包括:

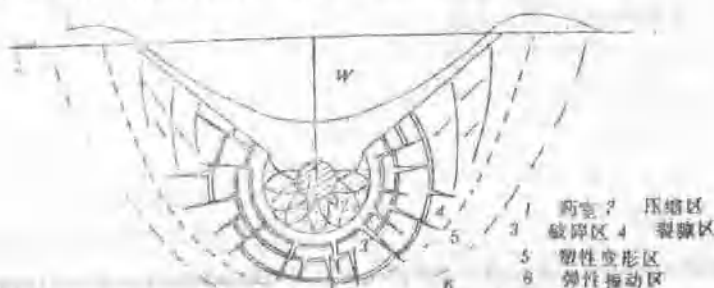
激发装置+导爆管+(联结元件+导爆管)+雷管(起爆体)

这是起爆技术的重大革新,是目前发展的主要方向,值得大力推广使用

最后应该指出,对于大规模的重要工程爆破,为了确保安全准爆往往采用复式起爆系统,即采用电力起爆系统外,另加一套非电导爆起爆系统。

(三) 岩体爆破机理

当炸药在岩体内部爆炸时,爆轰产物以高压高压气体的形式(温度约摄氏几千度,压力达数十万大气压,与炸药性质、规格和爆破条件有关)对周围介质施加强烈的冲击和压缩作用,这一爆炸能使岩体内激起一组复杂的波系自爆心向外传播。由于爆炸气体的压力远远高于介质的强度(岩石的抗压强度约为 10^3 公厘水柱级),故炸药周围的岩体被挤压和剪切作用而成为粉碎,甚至产生流动状态,出现一个高变形区,通常称之为压缩区。随着距离的增加,冲击波阵面的压强急剧下降,但仍大于介质的抗压强度,岩体仍将被压破,同时由于介质受球对称(集中药包)或轴对称(柱状药包)压缩产生向外运动和变形而引起切向拉伸,因而出现一组辐射状的裂隙向外延伸。随着距离进一步增加,冲击波阵面压力进一步迅速下降,并衰减为应力波的形式继续往外传播,当波阵面压力超过介质的弹性极限,便出现弹性区并产生永久变形。随后由于波阵面的压强小于介质的弹性极限,便以弹性波的形式向外传播而不发生残余变形。如果炸药埋深不很大,则爆炸压缩波到达自由面时即产生拉伸波反向传播。由于岩石的抗拉强度远低于抗压强度(一般仅为 $1/10$ 左右),因此拉伸波造成放射状的一组新裂隙或使已有的微裂隙扩张,乃至使岩块剥落而产生飞块,从而增加了爆破的效果和扩大了破碎区的范围。与此同时,爆炸生成的高压气体不断膨胀做功和挤进原有裂隙起到楔入作用,使周围岩石进一步破碎并向着自由面方向产生抛掷作用。另一方面随着爆炸气体的膨胀和在岩体裂隙中散失,导致爆心超压急剧下降,于是产生卸载波尾随压力波往外传播,从而产生一组环向裂隙,整个爆破图象十分复杂。最终形成的爆破漏斗和破坏区域如图(1)示。



图(1) 爆破作用区域示意图

由此可见,爆破作用是极其复杂的动力过程。目前关于岩体爆破作用的冲击波理论和气体膨胀理论均有其局限性,它们都仅从某一因素去解释爆破机制,而忽略了另一因素的作用。众所周知,炸药爆轰波的传播速度一般为4000—5000米/秒左右,视炸药品种和密度而定。所以即使嗣室爆破,炸药爆轰终结的时间均属微秒量级,故可看做瞬间反应。而岩体冲击波的传播速度一般为2000—5000米/秒,视岩性而定。若考虑冲击波或应力波往返传播的历程,其作用时间约为毫秒量级。但是,爆轰产物气体的作用时间将随着最小抵抗线的增加而增长,根据某些高速摄影资料分析表明,对于深孔爆破,约为 10^{-4} 秒量级;对于嗣室爆破,则达秒量级。所以许多情况都必须用两者相统一的理论去解释。

因此,我们可以根据爆破作用原理,针对不同岩体的物理力学性质和工程爆破的目的和要求,有可能通过选用不同炸药品种、密度和装药结构(耦合或不耦合装药)等办法来控制,爆破冲击波参数和爆轰气体的作用时间,以提高炸药的有效利用能量,改善爆破效果。

(四) 工程爆破的类别和用途

工程爆破指为达到各种工程的兴建、改建、扩建和正常运用需要而进行的爆破作业。因此内容较广。根据工程爆破的性质和任务,可简略分述于后:

(1) 开挖爆破。基本建设往往需要完成大量的土石方开挖任务,例如,厂房基础开挖,铁路和公路路基开挖,露天矿复盖层的剥离,以及地下工程掘进开挖,等等。上述任务除个别可用特殊的机械施工外,大都采用爆破方法来完成。近代开挖爆破技术的特点之一,是普遍采用控制爆破技术——预裂爆破和光面爆破等。预裂爆破(Preshearing Blasting)是沿开挖边线打一排间距较近的钻孔。孔径一般与主体开挖时孔径相同(工程上一般采用5.0—10.0厘米),孔中药卷直径一般为2.0—2.5厘米,孔内可采用连续装药或间隔装药,不耦合系数(即孔径与药径之比)约为2—4之间(亦有采用隔孔装药者,不装药孔作为导向孔)。这些孔是在所有邻近开挖区中的任一炮孔之前引爆,用毫秒控制爆破技术实施。预裂孔的间距与现场条件有关,需要试验确定,预裂孔的作用为当两个邻近的炮孔中封闭的炸药爆炸时,由于冲击波的迭加,使两孔间的岩石受到拉伸而形成破裂面,以减少主体开挖爆破可能对周围岩体的破坏影响以及消除可能造成的超挖和欠挖,同时还可以起到隔震和减震的作用。

光面爆破(Smooth Blasting)的做法与预裂爆破相似,其不同者为排孔爆破的顺序相反,即开挖边线孔在邻近主体开挖孔爆破完成后起爆,亦用毫秒雷管控制。以达到最终开挖面平整并保持围岩的完整性,减少以及免除衬砌工作量。为此亦在开挖边线孔中药卷与孔壁之间填以粗砂或碎石作为缓冲层,以避免孔壁因岩面出现裂缝者,称为缓冲爆破(Cushion Blasting)。此外有时为了严格保证开挖轮廓直角转弯的需要,沿开挖轮廓线打一排密集钻孔,净间距为孔径2.0倍左右,孔内不装炸药且邻近一排的开挖炮孔的行距适当缩短为正常孔距的0.5—0.75倍;孔距也缩短为正常的0.75倍,以严格确保开挖轮廓。此法称密集线孔爆破(Line Blasting)。

(2) 定向筑坝爆破。多用于定向爆破修筑蓄水池、拦泥石流坝、尾矿坝、围堰工程、路堤和开山造地等。苏联在三十年代开始研究和应用,修建了一批拦泥石流坝。我国自1958年以来已成功应用定向爆破筑蓄水池及尾矿坝近50座以及若干路堤工程。1960年南水水电站(库容容积12亿立方米发电装机5.0万千瓦)一次使用1394吨炸药筑成高坝成功标志着我国定向爆破技术进入了世界先进行列。

定向控制爆破的基本方法有二。①定向坑法。即利用自然地形或自高面或到用辅助药包将不利地形进行予爆处理,创造主药包所需要的凹形定向坑作为理想临空面,使主药包爆破时大量土岩沿定向坑的指向抛出并在予定区域范围内堆筑成一定高度、大小和形状的堆体。②药形布置法。即采用不同的炸药布置形式,使炸药爆炸能按所需要的方向发展以达到定向抛掷和堆筑的目的。如图(2)示。

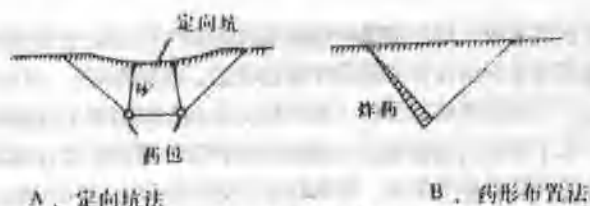


图2 定向抛掷爆破的基本方法示意图

(3) 采石爆破。包括建筑用材和矿石开采等。其特点是爆落岩块必须有一定尺寸规格或级配要求，以满足建筑用材规格、装载、运输、使用和冶炼方便的需要。例如一座百米高的堆石坝，坝体在料达百余万立方米到几百万立方米；一座大型钢铁联合企业矿石年开采量达上千万吨以上。因此提高石料和矿石开采的合格率，减少二次破碎对减小工程量，加快建设工期，降低造价和生产成本有很大的经济意义。所以许多发达国家如加拿大、英国、美国、瑞典、苏联和澳大利亚等都根据岩体爆破破碎机理，通过炸药与矿岩介质的匹配优选，合理的装药结构、大孔距爆破孔网参数布置和毫秒控制爆破技术相结合，建立爆破的数学模型，利用电算方法与现场试验对比相结合，求得爆落岩块的块度、级配和降低成本的最优化方案。此项工作在我国应大力组织攻关突破。

(4) 拆除爆破。多用于工程改建、扩建和废弃工程拆除。特别是城市改建工作中工业和民用建筑物的拆除任务愈来愈多。如烟囱、高层建筑等用爆破法拆除最为简便。它的基本方法是用少量炸药布置在建筑物基础以及梁、柱连接处，使爆破造成结构失稳，利用结构自重作用使梁、柱和基础连接处出现塑性铰而自行原地塌倒，从而控制拆除建筑物倒塌的方位、范围，确保邻近建筑物免受损坏并为地面清理工作创造十分有利的条件。它具有成本低、时间短、操作简便和安全等优点，已在国内广泛使用。

(5) 岩塞爆破。主要用于天然湖泊和人工水库开发和扩建工程。当需要增设泄水隧洞时，为了避免隧洞进水口修建深水围堰的困难性和高昂造价时使用。其施工方法为：在湖泊或水库下游方面预先挖掘水工隧洞通向湖库，临近湖库水底处预留一块厚度相当的隧洞岩体有如天然的岩塞来挡水，待整个隧洞工程（包括洞身和进水口控制闸门和出水口的消能工程）就绪后再在该岩塞上钻孔或开挖药室（视岩塞直径大小和厚度而定），装药一次将岩塞炸碎炸通，形成稳定的进水喇叭口。石碴即随水流冲入预留的集碴坑内或直接从隧洞出口冲出，于是库水得到控制利用。此法在欧洲已有近百年的使用历史。但大直径的水下岩塞爆破则于1960年首先在加拿大休得巴斯水电站工程中使用。我国于1971年清河电厂首次成功后已有八次水利水电工程得到推广使用。图（3）为我国某水电站水下岩塞爆破工程实例示意图。

此外开塞爆破亦有助于平炉出钢者（见本刊1982年第4期作者有关科技动态的报道）即采用一种爆破射流破塞装置，将平炉塞孔及时爆通，钢水自流而出。这种爆破开塞方法具有准确、及时、安全和简便等优点。

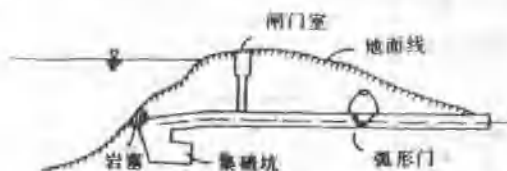


图3 开塞爆破示意图

(6) 爆炸压密。饱和砂土地基爆炸压密加固处理工作已有三十年历史。它是利用炸药爆炸的冲击和震动作用使饱和砂土产生瞬时液化作用，从而使土颗粒重新排列而增加其密度、强度和承载力。五十年代苏联和我国在修建某些水库时曾经研究和应用。软土地基水下爆夯加固压密在港口建设中也已采用。此外在黄土中利用不耦合的装药爆炸所产生的高温高压气体对土体的压密效应，而

形成一定尺寸的洞穴也很有效。例如高压电线杆基坑爆炸埋设法既省工又可增加地基上的强度和杆柱的稳定性。黄土隧洞爆炸形成在铁道部门中亦已试用，效果良好。

(7) 疏浚爆破。主要用于航道工程，如川江、黄浦江航道水下炸礁疏浚航道十分成功。其方法包括水下钻孔法、水下裸露药包触爆法和聚能爆破弹等。前者需要有水下钻孔设备，比较复杂，但增加航行深度比较显著。后者施工简便，成本较低，效果也好，适用于航道疏浚深度较小处。

(8) 激振爆破。即用炸药爆炸作震源产生人工地震，进行地震勘探、抗震工程的地震模拟实验和建筑结构动力特性现场观测研究等。

(五) 爆破公害及控制标准

爆破产生的地震效应、个别飞石、空气冲击波、噪声和烟尘等对爆区附近建筑物、机械和人员及周围环境会造成有害的影响。近年来各国都在研究公害控制标准和安全防护措施，并制订环境保护法。

(1) 爆破地震效应及建筑物的安全准则。

爆破地震效应的研究已有五、六十年历史，大都采用某个地震物理参量（如振动加速度、速度或位移）与宏观效应调查统计相结合定出相应的安全界限。爆破相似原理分析表明，在介质和爆源条件相同情况下，若只考虑爆破能量（忽略重力影响），则爆破应力场和速度场均可用通式表示：

$$A = \sum_{i=1}^n K_i \left(\frac{Q^{1/3}}{R} \right)^a \quad (1)$$

在工程实践中一般取第一项作近似计算，即得常用的爆破振动关系式：

$$A = K \left(\frac{Q^{1/3}}{R} \right)^a \quad (2)$$

上式：A 为振动强度参数（位移、速度或加速度）；

Q 为炸药量；

R 为测点至爆源中心距离；

K、a 为与场区条件、爆源性质、和距爆源距离 R 等；

有关的待定常数，由试验确定。

目前美国和苏联等国对爆破地震对建筑物影响的评定准则列于表 (1)。

爆破地震对建筑物破坏评定标准表

表 (1)

提出者 距离 (cm) 高度 (m)	Crandall (1949)	Langenes (1958)	Edwards (1960)	Druck (1962)	Bo, Mine (1971)	C. B. Meacham (1967)	Pat. Slope Manuals (Canada) (1977)	破坏度 (1977)	备注
2		(1)	(1)	(1)		(1)	(1)	(1)	(1) 安全
4	(1)		(1)	(2)	(1)	(2)	(2)	(2)	(2) 警惕
6				(3)		(3)			
8		(2)	(2)		(2)	(4)		(3)	(3) 轻微 破坏
10	(2)			(4)					
12		(3)					(4)	(4)	(4) 破坏
14									
16					(3)	(5)		(5)	(5) 严重 破坏
18	(3)	(3)	(4)						
20					(4)				
22									
24		(5)					(5)		
26									

应该指出,上述评定准则仅适用于单层或两层的砖木结构。其最大缺点是既没有反映结构物的型式,所用材料和动力特性,亦不考虑其质量和使用年限的实际情况。对于地下结构或半埋式的约束型结构则不适用。因为这些结构受载条件和结构型式均不同于地面建筑结构,并具有更为耐震的能力。尤其是近区钻眼爆破,一般震动频率较高(卓越频率约为30~50赫以上),当地震半波长小于结构特征尺寸时,动力荷载往往带有局部作用的性质,结构破坏的机制不尽相同,因此须另作研究。

近年来随着电子计算机的发展和普遍应用,爆破振动对建筑结构的影响已逐渐向动力分析法方向发展。

(2) 空气冲击波影响及控制

大规模加强抛掷爆破和井下爆破时,强烈的空气冲击波在一定距离范围内可以引起噪声干扰(频率为20~20000赫)和震害(20赫以下),摧毁设备,构筑物,管线,巷道支架等以及造成人员伤亡。空气冲击波强度用超压来表示,单位为公斤/厘米²或分贝。造成空气冲击波的主要原因是抵抗线过小,堵塞不良,裸露爆炸以及不利的气象条件(如逆温层,云层和风剪会产生冲击波的聚焦现象而使局部地区的空气冲击波超压增大)。根据美国爆破工手册资料,空气冲击波与炸药和距离之间的关系如图(4)。

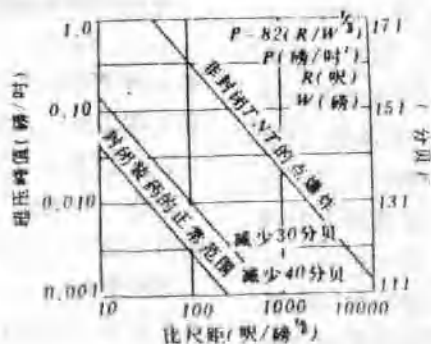


图4 空气冲击波强度与距离和药量的关系

空气冲击波对结构的影响参见表(2)

空气冲击波破坏影响表

表(2)

空气冲击波超压		空气冲击影响情况
分贝	磅/吋 ²	
181	3.0	一般建筑严重损坏
171	1.0	大多数窗玻璃破碎
161	0.3	
151	0.1	有些窗玻璃破碎
141	0.03	有些大块窗玻璃破碎
131	0.01	

注:美国矿务局规定的安全标准为0.007(磅/平方英寸)或128分贝。美国垦务局暂定的允许极限为136分贝。

3.1 个别飞石

影响个别飞石较远的偶然性因素很多，主要原因有：堵塞质量不好，岩体不均质，特别是受断层、软弱夹层和溶洞等地质因素和地形因素（包括冲沟、凹面和多临空面地形）的影响。个别飞石距离远近范围有一定的方向性，特别是定向爆破时，指向较远，侧面次之，背面则较安全。飞石安全距离可参照下式估计：

$$R_F = 20 K_F \pi^2 w \quad (3)$$

式中 R_F ——飞石对人员的安全距离（米）； π ——药包的爆破作用指数； w ——药包的最小抵抗线（米）； K_F ——与地形、风向及地质条件等有关的系数，一般为 1~1.5。对设备的安全范围可按上式计算值减半考虑，但应采取有效的防护措施。



飞石种类	飞石安全距离 (米)	
	100m 以内	100m 以外
岩石爆破时产生	100	150
炸药爆破时产生	100	150
炸药爆破时产生	100	150
炸药爆破时产生	100	150
炸药爆破时产生	100	150
炸药爆破时产生	100	150

二、我国工程爆破现状与展望

(一) 前 言

目前,工程爆破仍是完成巨大土石方任务的有效手段,而且益广泛地应用于冶金、煤炭、建材、化工、核工业、水利水电、铁路、公路、港口、农林以及国防工程的爆破;此外还有拆除建筑物爆破、地震勘探爆破、石油井爆破、金属爆破、爆炸加工以及人身内的膀胱结石爆破等。解放后,我国工程爆破技术取得了显著的进步与发展。在爆破理论、控制爆破技术、岩石可爆性分级、爆破优化、安全技术、爆破量测技术以及新型爆破器材等方面的研究工作,均取得了可喜的成果。大型工程爆破实践,更推动了该项技术的发展。如白银厂、攀枝花的万吨级露天大爆破;南水、石砭峪的定向爆破筑坝;葛州坝等水电站工程的预裂爆破;城市大型建筑物、构筑物的拆除爆破以及水下软基夯实爆破等。

(二) 国内工程爆破现状

1、洞室大爆破

它是一种效率高、投资省、速度快的施工方法,适用于山区土石方工程。在冶金、铁道、化工、建材等部门的应用已有三十多年的历史。据冶金矿山的不完全统计,装药量在百吨以上的有六十余次,其中千吨级的

六次、万吨级的二次。铁道部门采用洞室爆破解决新建线路的石方工程,进行了数以千计的不同规模洞室大爆破。如成昆线爆破565万米³,一次爆破规模达300—400吨装药量,爆破方量达30—50万米³。水利水电部门的溢洪道开挖、渠道开挖、处理水库内滑坡体也成功地应用了洞室大爆破。化工部门云浮硫铁矿为加速高山降段,一次爆破岩石75.4万米³,装药675.6吨,抛掷方量占66.3%,取得了良好的技术经济效益。公路部门在山区新线采用洞室、蛇穴、药壶联合爆破法,并广泛应用分集药包,一次爆破达几十吨的规模。建材部门在水泥厂所属的石灰石矿及采石场进行过近30次洞室爆破,较大的装药量在二百吨以上。露天煤矿也有过几次洞室大爆破。

2、定向爆破筑坝

定向爆破在水利水电、冶金、铁道、公路及农田基本建设中的应用已有二十五年的历史。主要用于修筑蓄水坝、拦砂石坝、矿山尾矿坝、火电厂贮灰坝、废石场防泥坝等。

水电部门修筑水库大坝,已有六十余座。广东南水电站与陕西石砭峪水库的定向爆破装药量分别为1394.3吨和1589.3吨。定向爆破筑坝在应用过程中出现呈马鞍形发展的两次高潮,这里有爆破技术本身的原因,更重要的是忽视了与爆破施工方法配套的水工建筑的后期建设问题。目前我国已成为世界上应用定向爆破筑坝数量最多的国家,并

在药包布置、参数选择和堆积计算方面形成一套自己的设计体系。我国西北、西南有着丰富的水力资源，许多坝段将处于交通不便的深山峡谷之中，因此能就地取材的定向爆破筑坝技术有着广阔的前景。

近年来用定向爆破修筑矿山尾矿坝已有七座，其中余厂峪金矿尾矿坝是在不利地形条件下取得成功的一例：节约劳动力90%，建设工期提前九个月，节省投资二十八万元，运行已四年，坝体稳定性良好。这次实践表明，采用低高程布置药包、双岸爆破，等量对称药包或条形药包等措施，可进一步扩大定向爆破的应用范围。

3. 深孔爆破

深孔爆破在石方爆破中占有重要地位，广泛应用于露天和地下开采，水电站基坑开挖，工业场地平整，地下大型洞室开挖以及铁路、公路路堑爆破等。近年来，推广了大区多排孔微差爆破，留渣挤压爆破，小抵抗线宽孔距爆破、予裂、光面和缓冲爆破，地下深孔挤压爆破和地下大口径爆破等新技术。对孔网参数、布孔方式、装药结构、装填比例、炸药与岩性匹配、起爆顺序和微差间隔时间等方面进行了综合研究，对全面改善爆破质量与经济效益取得了显著效果。

冶金矿山梯段深孔爆破，普遍采用多排孔微差爆破，一次爆破量在10—20万吨，有些矿山达五十万吨。段高为10—15米，孔径为150—310毫米，爆破抵抗线为孔径的30—40倍，炸药单耗在0.10—0.35公斤/吨。

许多矿山为提高露天矿边坡的稳定性，采取了降低爆破震动影响的措施，成功地应用了予裂及缓冲爆破技术。

井下矿山采用扇形深孔进行大量崩矿比较普遍，一次爆破炸药量多在一百吨以下，个别达二百吨。为减少大块率，最近在凡口铅锌矿试验VCR法，已取得良好效果。

铁路新线已推广光面和予裂爆破。如西

延线及邯长线上都成功地采用了深孔爆破开挖路堑和车站场地。边坡形成平整的予裂面，对边坡稳定性起到良好的作用。经过多次试验深孔抛掷爆破也基本成功，抛掷率达57.3%或更高。

水电部门在寻求安全高效控制爆破技术方面，探索水平予裂爆破以及减少保护层开挖工程量的深孔爆破技术取得一些成果。如东江水电站在基坑底部拉槽后进行水平予裂爆破获得成功，为快速开挖保护层闯出一条新路。

4. 水下爆破

水下爆破有水中、水底及水下岩体内深孔和洞室爆破。目前以发展水下钻孔爆破为主。在国内港口建设及内河航道疏浚均应用水下爆破。如广东黄浦港采用“黄浦”施工法在水深为7—11.5米，孔径为96毫米，孔深4—6米，于红砂岩中进行了水下深孔爆破，总挖方量为50万米³。采用了开挖定向槽为排孔创造自由面，并利用“低压气泡帷幕”防止水下爆破冲击波对海岸构筑物的破坏，还对水中冲击波进行了观测与研究。

水下爆方或软基夯实爆破也在海港水工建筑物的基槽中得到应用，并在工程实践中取得较为成功的经验。

近年来还发展了水下岩基破，目前国内已成功地进行四次。最大一次为丰满工程，岩基尺寸为 $\phi 11 \times 18.5$ 米；爆破装药量为4075.6公斤；爆破方量为3794米³；爆破水深为30米，这一工程开展了系统的科研观测工作。特别是爆破对构筑物影响问题取得丰富的资料。

5. 拆除爆破

建筑物拆除控制爆破技术近年来有较大的发展。在复杂的城市环境中用这种方法拆除各种类型的废弃建筑物是一种安全、快速、经济的施工方法。并可控制飞石、振动和噪声对附近环境的影响。国内已成功拆除许多工业建筑物、构筑物、民用建筑物、烟

六、水塔、桥梁墩台、混凝土站坪、砌堡以及厂房内的设备基础等。一次爆破装药量从几十克、几公斤至百余公斤，并根据拆除环境条件采用原地重力塌落、折叠倒塌或定向倒塌。

拆除爆破在布孔方式、装药量计算、合理确定爆炸部位、起爆顺序与时差以及安全防护措施等方面取得许多成功的经验。

此外，对有条件密封的构筑物，如砌堡、水塔、钢筋混凝土井等可应用水压爆破法进行拆除。它是将药包置于水中，用水作传压介质，无需钻孔，是一种安全高效的方法。

在拆除基础方面，高能燃烧剂与静态胀裂剂也取得很大进展。

6、爆破安全技术

安全工作在工程爆破中占有首要地位。爆破安全技术包括从事爆破作业自身的安全和爆破有害效应对环境影响的安全问题。多年来各部门对爆破安全做了大量的研究工作，如对防止杂散电流、静电、雷电、射频电引起早爆的研究、对爆破地震波、空气冲击波、飞石、噪声、毒气等有害效应观测与研究、安全监测仪表的研制以及从重大事故分析中得出有效的预防措施与操作方法等。特别是由国家计委组织的“七七工程”对爆破有害效应方面的大规模系统的观测研究，取得了非常丰富和宝贵的资料。目前“全国爆破安全规程”正在进行编制，各部门均建立了安全监察员制度以及举办爆破安全技术培训班等工作，这些必将对爆破安全工作有很大促进作用。

7、爆破器材

目前我国应用的炸药有粉状铵梯炸药、铵油炸药、铵松（沥）腊炸药、浆状炸药、水胶炸药、乳化炸药、硝化甘油炸药、液体炸药、太乳炸药及其它特殊用途的炸药等等。粉状铵梯炸药使用量将逐年减小，铵油炸药的使用量将继续占居首位，特别是多孔

粒状铵油炸药成本低、制造工艺简单，便于机械化装药，将逐渐代替粉状铵油炸药。为解决井下上向孔机械化装药，一九八二年研制了粘性多孔粒状铵油炸药，浆状炸药仍是当前露天矿山使用的抗水炸药的主要品种。八十年代初我国相继研制成功EL和KL系列等乳化炸药，并开始应用于工程爆破。

国内起爆器材品种比较齐全。近几年非电导爆管起爆系统在工程爆破中大量推广应用，并在实践中有许多创新。预计高精度、等间隔、多段数非电毫秒雷管的研制成功，必将进一步提高工程爆破质量与安全可靠性能。

以上述及的仅是我国工程爆破主要方面的概貌。还有浅孔爆破及特殊爆破等方面的爆破技术也有较大发展。由此可见，工程爆破已在我国广泛地应用于各种领域。工程爆破这门学科，将随着爆破理论与实践的不断发展，在社会主义四化建设中发挥更大的作用。

三 工程爆破技术展望

1、洞室爆破

由于洞室爆破能量集中，破坏性较大，研究降低震动效应的有效措施极为重要。应采用与深孔子爆爆破相结合的综合爆破法，采用条形装药结构与分段爆破，以扩大其适用范围。为改善破碎质量与堆积效果，应研究合理的布药型式、爆破参数、起爆顺序、爆堆分布控制与计算以及实现装填机械化等。

2、定向爆破

为适应堆筑100—200米以上的高坝，应开展大抵抗线（大于一百米）巨型药包爆破特性和堆积规律的研究，提高抛掷率和远距离定向准确度。

3、深孔爆破

为进一步改善深孔爆破质量，控制块度

组成,应研究岩石参数、炸药参数与爆破参数三者之间的最优配合关系,从而获得最佳爆破效果。要重视应用爆破计算数学模型进行爆破优化的研究工作。

要提高深孔爆破的控制水平,不仅控制块度组成与堆积形态,而且要控制爆破作用的破坏范围和有害效应,以便在各种复杂环境下均能安全有效的满足工程要求。

4、水下爆破

水下爆破必须适应工程发展的要求,研究深水爆破施工特点,爆破参数,起爆方法、安全措施与防止水中冲击波与振动公害等问题。

岩塞爆破对开发我国天然湖泊水利资源具有实用价值。应进一步积累资料,特别是对泄水隧洞,应推广水下岩塞排孔爆破泄破方法,它比洞室爆破集疏方案更为优越。

5、建筑物拆除爆破

今后的拆除爆破规模与难度也会更大,应研究各种材料与结构型式拆除爆破的布孔方法、装药量计算、堵塞方法、起爆顺序与防护措施;要研究各种建筑结构拆除爆破的失稳条件,在重力倒塌过程中的受力分析以及精确的控制倒塌顺序、范围与方向等。

6、安全技术

目前爆破安全技术的研究还比较薄弱。应加强工程爆破中意外爆破因素与预防措施的研究和爆破有害效应的研究。

爆破安全工作还应加强对爆破事故案例的科学分析,从中吸取教训找出事故规律,以便有效的预防和控制爆破事故的发生。

生。

7、爆破器材

爆破器材的品种与性能应满足不同岩石特性与工艺条件的要求。当前应大力发展多孔粒状铵油炸药以适应干孔和中硬以下岩石的爆破,并应研制具有一定防水能力的新型高能铵油炸药。在起爆器材方面,应推广非电起爆系统,逐步代替安全度较差的导火索和成本较高的导爆索起爆系统。

8、测试技术

提高测试技术是发展爆破技术的重要手段,应积极采用先进的量测技术和数据处理装置。此外,还应研究评价爆破效果的测试技术手段。

9、发展钻孔设备

进一步发展新型高效率钻孔设备,是实现工程爆破的重要手段。应加强研制适用于不同工程的新型钻机,并能保证钻孔精度、降低炮孔偏斜率。

四 结 语

人们利用炸药爆炸释放出的巨大能量来破碎岩石和其它介质而达到某种工程的目的,预计到本世纪末或更长时期内仍然是一种有效的手段。问题的核心是如何进一步提高炸药能量利用率和控制能量转化过程,使工程爆破在安全、质量和经济方面获得最佳效果。这是工程爆破在理论与实践方面的主攻方向。

三、我国矿山爆破技术的发展和展望

摘要 本文全面回顾了近三十年来我国矿山爆破技术、炸药、起爆器材及爆破安全等方面的发展,着重阐述了为改善爆破破碎质量、提高效率、保障安全所做的努力——发展微差爆破、扩大控制爆破技术的应用范围、合理调整孔网参数、发展多粒状铵油炸药及乳化炸药、研制多段高精度毫秒雷管、实行爆破工作机械化等。最后,作者就我国矿山爆破工作今后的发展,提出了自己的意见。

一、前言

三十余年来,我国冶金矿山的爆破技术随着生产的发展,不断得到了提高,基本上满足了矿山生产对爆破破碎矿岩量的要求。现今,由于矿山矿岩地质条件及开采区周围地表条件的变化,开采深度的增加,采掘设备的更新,开采作业对爆破工程提出了更高的要求:进一步提高爆破技术水平,改善破碎质量,消除根底,增加爆破材料品种,提供适合不同条件的新的爆破器材,减轻爆破及保证安全生产等。

我国爆破工程的规模,自1956年我国第一次应用峒室大爆破进行露天剥离获得成功以来,据不完全统计,爆破药量达万吨以上者有两次、千吨以上者有五次、百吨以上者有六十多次。通过这些大规模爆破,加速了矿山建设,积累了较丰富的设计施工经验,特别是在合理利用地形条件、控制集中药包作用、保证周围地物和建筑物安全等方面取得了成功的经验。我国还成功地应用抛掷爆破进行了矿山尾矿坝的筑坝。

在露天与地下矿的开采爆破作业中,

我们广泛应用了微差爆破技术,提高了矿岩破碎质量,特别是在大型露天矿成功地采用了大区微差爆破,减少了爆破作业次数,最大一次爆破量达43万吨以上,大块率平均在2%以下,从而为强化矿山开采创造了条件。

为提高矿岩的稳定性,保证矿山边坡安全及限制井巷掘进的超挖,一些矿山还成功地应用了光面爆破和预裂爆破技术。

为防止早爆、拒爆及爆破对建筑物、矿岩体和人的不利影响和危害作用,我们研究并总结了在硫化矿开采中发生早爆的机理及防止拒爆的技术措施,并对爆破地震效应、空气冲击波、飞石、爆破有毒气体等方面开展了大量的科学研究工作。在爆破地震效应的研究方面我们获得了一些重要数据和某些规律性的认识,从而为制定有关安全准则创造了条件。

根据我国矿岩性质以中硬和坚硬为主的特征,我们一直在研究和发发展我国爆破材料的生产。铵油炸药在我国自50年代开始试验以来已全面得到了推广应用,耗用量约占全国冶金矿山总量的70%。1969年以后,部分露天矿山采用了国内研制成功的浆状炸药,初步解决了露天有水炮孔的爆破问题。1979

年我国研制乳化炸药初步成功,由于它的抗水性强,爆炸威力高,制造工艺简单,加工制造的劳动卫生条件好,因而迅速得到了发展和推广。目前,我国各主要冶金矿山基本上都拥有自己的炸药加工生产厂房,并形成铵油炸药、浆状炸药和乳化炸药的生产线。

起爆器材方面,为适应矿山爆破技术的要求,正逐渐得到完善,并满足了一些特定条件的需要。目前我国已拥有电和非电起爆系统,明火起爆系统正在被取代,已能生产瞬发、秒差、半秒差及微差雷管,继爆管和导爆管也相继得到了应用,特别是导爆管系统,由于成本低,使用方便而迅速得到发展。

矿山爆破工程中的繁重的装填工作,正在走向机械化。已研制成功的机械装药设备,有地下矿使用的铵油炸药装药器和露天矿使用的铵油炸药装药车及浆状炸药装药车,部分矿山还试验了炮孔充填设备。

总之,三十多年来,我国矿山爆破工作已发生了巨大的变化,不论在爆破规模和爆破技术等各个方面都得到了明显的发展和进步。我们应当总结经验,明确努力方向,以促进我国矿山爆破工作的更大发展。

二、几种主要爆破方法的应用

我国矿山爆破工作,根据工程的要求,目前主要采用峒室爆破、深孔爆破及浅孔爆破等方法。

1. 峒室爆破

峒室爆破是一种施工简单、效率高、投资省的工程手段,已广泛用于我国的采矿、水利、铁道、公路交通等部门。在冶金矿山,这种方法用于部分露天矿的某些剥离工程,个别情况下用于处理采空区、孤立山

头、形成废石垫层及建筑尾矿坝等。

在我国矿山工程中,有两次大规模地用峒室大爆破进行露天矿表土剥离的事例。1956年,白银厂露天矿采用抛掷和加强松动爆破进行基建剥离,共分三次起爆,总炸药量达15573.3吨,其中最大一次装药量达9314.7吨,是当时世界上最大的一次工业爆破。1971年,在我国西南某矿又进行了第二次大规模峒室爆破,这次爆破完全是由我国工程技术人员设计施工的,采用双层松动爆破,总炸药量为10162吨,总爆破岩量为1140万立方米。此后峒室爆破更有了迅速的发展,特别是在一些条件困难的地区,也成功的应用了峒室爆破。如1971年江苏冶山铁矿,在距主、付井仅160米左右地段,采用加强松动大爆破,形成了20米高的废石垫层,井巷及地面建筑物都安全无恙,工期提前一年,节省投资95万元;1977年兰尖矿用峒室和深孔联合爆破成功地处理放矿溜井塌陷区,炸药用量为1359吨,消除了隐患;1979年金厂峪金矿采用定向峒室爆破筑尾矿坝成功,建设时间提前9个月,节约投资55%,坝体稳定性良好。

在我国大多数峒室爆破工程中,普遍采用铵油炸药。实践表明,大型集中药包采用低爆速炸药是可行的,可以节省投资,提高工效。有些工程,还采用了现场临时混制的铵油炸药,前述西南某矿的万吨级大爆破,即使用冷加工的铵油炸药9552吨,节省炸药费达1千万元。

在峒室爆破设计中,集中装药是一种普遍采用的方式,最大一个药室装药达1167吨。近几年来,条形装药开始得到了发展,条形装药峒室长度达200~230米。在药量计算方面,集中装药多采用 $Q = K \cdot W^{1/3} f(n)$,计算式中 $f(n) = 0.4 + 0.6n^2$ 。实践证明,这比较符合实际。

由于峒室爆破的药量集中,爆破破坏作