

專 題 綜 合 評 述

大爆破的理論与實踐

中国科学技术情报研究所

1960年1月

專題綜合評述
大爆破的理論與實踐

編 輯 者 中國科學技術情報研究所

北京朝內大街 117 號

印 刷 者 北 京 解 放 軍 報 印 刷 廠

發 行 處 全 國 各 地 新 華 書 店

定 價：0.56 元

1960 年 1 月第 2 次印刷

一、前 言

在党的鼓足干劲、力争上游、多快好省的总路线光辉照耀下，我国社会主义建设是出现了空前未有的大跃进新形势。水利工程也象工农业一样，加快了建设速度，提出不少的新的艰巨的任务。例如南水北调和长江三峡大壩社会主义以及共产主义建设的工程。

构成这些工程主体的土石方是惊人的，如何完成这样繁重的工程，显然不是习用的方法能够顺利完成的，而要求更快更好的能适应这样规模的施工方法。首先是如何更多更好的利用大规模爆破的尖端技术和充分自觉的运用自然界的力量来完成这些巨大的水利工程。

由于我国社会主义建设的蓬勃开展，工农业的大跃进，一般的开河、筑壩、挖渠、清基炸滩的水利工程；矿山开挖；开山筑路等爆破工作量也是巨大的。因此大爆破给我国土建工程施工提供了广阔的发展前途。

尤其我国广大的山地高原急待开发，而这些地方又多为干旱地区，常年少雨，急需筑壩蓄水、挖井修渠。同时地形险恶、交通极为不便，也是急需穿山筑路的。另外，山区都蕴藏着祖国大量宝藏，也需要进行大量开采。所有这些工程控制工期关键的都是大量的集中的高填深挖的土石方。可是山岳地带人烟稀少、运输困难，这给我国社会主义建设带来了不少的困难。根据苏联先进的经验，这些工程都可以采取大爆破的方法施工，这不仅节省了劳动力，而且会大大地加快工程的进展。尤其是在我国不少壩区地形是谷深坡陡，临江峭壁，沿岸有大量石方，这对就地取材筑堰筑壩来说，自然条件是非常优越的，这给我们今后用定向大爆破的施工方法修堰筑壩提出了新的方向。

苏联在近四百年来，爆破技术有很大的发展，尤其在十月革命成功之后，卫国战争时期以及后来的和平建设时期有了更为突出的表现，这与苏联党的领导分不开的，斯大林同志在1946年2月4日莫斯科斯大林选区的选民大会上，就曾号召过“在祖国工业面前的历史任务必须继续大力开展爆破技术”。在这以后爆破技术的应用范围也就更为广泛，获得的成就是巨大的，走在世界各先进国家的最前面。例如：我们常在欧美的有关爆破报刊杂志上看到什么“新成就、新技术”或者是什么“创造发明”，但是对苏联来说，已经是过时的东西。

我们必须很好的向苏联学习，学习他们大爆破、定向爆破的丰富经验，使我国的社会主义建设速度得到更快的发展。

因此，本文主要是根据苏联和其它一些国家有关大爆破方面的一些资料结合国内的一些经验介绍编写而成的。

重要内容是介绍爆破理论和研究实验的成果以及起爆器材和炸药的选择问题。今后还要编写“大爆破的设计与施工”，内容包括大爆破的设计方法和计算，如工区选择，导洞和药的合理布置，药包计算，震动的影响等问题。供有关同志参考。

由于我们掌握的资料还不是很全面的，又加上水平的限制，错误之处一定不少，热诚希望读者同志提出批评和指正。

本文承铁道科学研究院韩伯林同志审阅，在此表示感谢。

目 录

一、前言	
二、大爆破和定向爆破的应用和发展	(1)
(一) 大爆破的应用和发展	(1)
(二) 定向大爆破	(3)
(三) 大爆破施工的特点和用途	(4)
三、爆破理论	(5)
(一) 在无限体的介质中单体集中爆破的作用情况	(6)
(1) 爆破情况	(6)
(2) 爆破压力	(8)
(二) 在半无限体或多自由面体内单体集中爆破的情况	(9)
(1) 爆破指数 (又称爆破坑指数) n 和爆破效果的关系	(9)
(2) 自由面的数目对于爆破的影响	(10)
(三) 装药系数、炸药性质与爆破效果的关系	(11)
(四) 岩石节理层理与爆破效果的关系	(13)
(五) 导洞和导洞的堵塞对爆破效果的影响	(14)
四、爆破基本原理的讨论	(15)
(一) 冲击波反射拉应力破坏论	(15)
(1) 基本概念	(15)
(2) 在导洞大爆破中的应用	(16)
① 药包重量 C 和最小抵抗线 W 的关系	(16)
② 药包间距 a 和最小抵抗线 w 的关系	(18)
③ 岸台高度 H 和最小抵抗线 W 的关系	(19)
(二) 主拉应力破坏论	(20)
(三) 讨论小结	(21)
五、炸药和起爆器材	(23)
(一) 炸药	(23)
(二) 起爆器材	(31)
(三) 几点意见	(32)
参考文献	(33)

大爆破和定向爆破的应用和發展

本文所用的符号說明

- c 藥包重量
- w 最小抵抗綫
- n 爆破指数 (爆破坑指数)
- a 藥包間距
- R 爆破漏斗的破裂綫 (爆破作用半徑)
- v 拋擲速度
- k 爆破常数 (原位岩石耗藥量)
- H 岸台高度
- p 飞石距离
- d 藥包半徑
- γ 漏斗半徑
- P_d 爆破压力
- h 可見深度
- S_t 岩石抗拉强度
- m 冲击波压力衰减指数
- Δ 炸藥密度

二、大爆破和定向爆破的应用和發展

火藥的利用远在紀元前600年就开始了,有历史載的是1232年中国人民就开始利用黑色火藥来为人們服务了。又經過了200多年,到十四紀年代,在俄国和欧洲才相繼得到使用,但是应用到工程建設上是在十五世紀。首先从俄国开始的,在1548—1572年聶曼河 (Неман) 的河床就是用爆破方法除河道,开通航路的。在爆破方法上,远在1812年俄罗斯科学院通訊院士帕維爾·里沃維奇·士林卡 (Павел львович Шиилинг) 在世界上首次提出电爆的方法。在理論研究方面,十八世紀就开始了爆破实验和爆破理論的研究,Д.И.門德列夫 (Д. И. Менделев) 首先提出把气体动力学的原理应用到爆破理論方面来。而后在軍事上、工业上随着新型炸藥的制造,繼續有很大的發展。

(一) 大爆破的应用和發展

采用大爆破方法在苏联是很早的,远在1935年,俄国契尔契克 (Чирчикстрой) 就曾經用大爆破的方法截流;到1936年,在*契良宾斯克 (Челябинск) 附近的珂尔金 (Коринский) 就發展到一次用1808噸炸藥,創造了爆破土方量达802,000立方公尺的記錄,炸成長1,000公尺,深20公尺,寬80公尺的長渠。1942年在北塔什干 (Северного Ташкентекий) 干渠,只用6噸炸藥建造了土方4,050立方公尺的圍堰。1940—1945年

* 所爆破的是密实的潮湿粘土,用的是阿莫尼特及硝酸銨炸藥,每个藥包重90噸 $K=2.25$ 公斤/立方公尺。

进行了規模空前的爆破，开挖800公尺長、深30多公尺的200多处挖方，总爆破体积达600万立方公尺以上。

在这一个世紀（十九世紀）末叶，在洞室爆破方面出現了卓越的爆破理論家，如M. M. 弗罗洛夫（Фролов）將軍、M. M. 鮑列斯克夫（Боресков），他們的理論到今天还广泛的应用着，如M. M. 鮑列斯克夫的藥包計算公式就是很好的例子。

随着苏联共产主义建設的蓬勃开展，在近几年来大爆破得到更广泛的应用。仅在第一个和第二个五年計劃当中，工业方面所需的炸藥就增加了13倍。例如：古比雪夫、斯大林格勒水利樞紐、土庫曼大运河、卡霍夫水电站、南烏克蘭和比克里木运河等偉大共产主义建設工程中，就广泛的采用了大爆破的方法。

最近几年，苏联进行了規模空前的巨大的爆破工程，如在1958年、于土庫曼共和国的木尔嘎布（Myраб）河以及烏茲別克斯坦的赫尔吞——托普康矿区先后都进行了大爆破，仅在阿尔吞——托普康矿区一次爆破掀起的岩石就在100万立方公尺以上。另外在烏茲別克斯坦首都塔什干西北93公里地区进行了一次大爆破，藥包埋深达40公尺，藥包重1,000噸，炸坑直徑在200公尺以上，根据地震仪的測量，相当八級地震，有一些国家，尤其是一些資本主义国家，根据他們的測量結果妄加推測，認為苏联又發射了第三顆人造衛星，也有的發布苏联發生大地震的消息。最近苏联又在計劃用30,000噸炸藥，在西伯利亞安卡拉开通七公里長的大河，讓貝加尔湖水大量流入布拉次克的人造海內。目前苏联有个初步揚弃大爆破方案，集中装藥量达25万噸，所需藥室高寬在65公尺左右，这显然在技术經驗各方面都有困难，因为很可能以原子能代替一般炸藥，这样装藥深度問題也就解决了。

在資本主义国家里，由于社会制度的限制，不能把炸藥很好的利用到和平建設方面来，因此是远远的落在苏联的后面。

1957年，美国进行了两次大爆破。

1957年7月，在普罗特利——玻依特半島上进行一次大爆破，用藥816噸，分散为40个藥包进行爆破。

同年9月，在那巴达进行一次規模很大的爆破，共用TNT炸藥1,700噸，埋深是240公尺，爆破直徑長达150公尺，爆破体积为700万立方公尺。

1955年，在加拿大的哥伦比亚（Columbia）和温哥华（Vancouver）之間进行了一次水下大爆破，用烈性炸藥1400噸，花費了300万美元，藥室的导洞是由两段組成：一段是長570呎，断面为7×18平方呎的豎坑道；一段为長2400呎的水平坑道。这一次的爆破給地壳的构造提供了資料。

在苏联專家的指导下，我国近几年来大爆破开始得到应用，在修建铁路、开挖矿山等各方面也广泛的采用了大爆破的方法。

1955年8月，宝成綫观音山筑路工程中进行了一次20万方岩石的半松动半揚弃的大爆破。

1956年，我国某矿区的一次复盖層大爆破，用藥15,000噸，同时一次爆破的炸藥量达到9,200噸，这是祖国爆破工程方面空前的最大的一次爆破，这給后来的大爆破工程打下一个很好的基础。

1957年，在兰新和包兰铁路筑路中，有41处使用了爆破方法，爆破的岩石118万方，

其中一次爆破213噸炸藥，炸出岩石12萬立方公尺，形成長800余公尺，深10~12公尺和上部寬為30~45公尺的路塹。

1958年，湖北汧江進行了一次大爆破，完成了15萬石方的開采任務。

(二) 定向大爆破

定向爆破施工技術，在蘇聯也是很早就開始了，早在1935年3月，在蘇聯某一渠首上第一次進行了大量的定向爆破築壩及圍堰的試驗。

1948年，在伊爾薩-鮑洛金（Ирша-Бородинский）煤礦也進行了四次大爆破，而其中的一次藥包重量為425噸，拋擲岩石121,000立方公尺。

後來在灌溉渠道，運河，一、三和四號水電站，以及峽谷水庫的圍堰都是大量的採用了定向爆破方法。其中在下包茨依（Нижне Бозсуйский）的第三號水電站上，採用定向爆破方法堆築成17,400立方公尺高9.6公尺的圍堰只用了38噸藥包。

1947年12月，在烏茲別克斯坦的卡山-撒義（Бурджар-Сое）用400噸藥包進行定向爆破加高堤壩工作，總的挑石量達333,000立方公尺以上，使水庫容積由1,800萬方增加到5,000萬方，給國家創造了巨大的財富。

1948年，利用定向爆破方法大量的進行斷流和修築圍堰的工作，其中一次就利用了50噸藥包，炸成13.5公尺，體積為16,000立方公尺的土壩，在幾天之內，就攔蓄了1,200萬方的洪水，避免了洪水的災害。

1958年，在烏茲別克斯坦（Узбекистане）以80噸藥包建造了上下游兩條高8—12公尺的圍堰，總爆破方量達到15,700立方公尺。

同年在阿馬阿塔（Алма-Ата）用爆破法修建了92公尺高，長500公尺的大型堤壩，免受泥流的嚴重威脅，藥包重量為8,462噸，岩石爆破在300萬方以上，水平導洞長達1207公尺，藥室容積11,000立方公尺，最小抵抗綫長達88公尺，這是空前未有的定向大爆破工程。

不僅是規模上，在使用新技術方面，蘇聯也是走在最前面，如在五七年蘇聯科學院礦業研究所的一次會議上就提出了一系列的新方法，如水力切割岩石、電物理破壞岩石的方法（包括超聲波法，水電效應電脈的辦法）和高頻率電磁法，原子能的應用、熱力鑽孔等重大的尖端技術。

在我國定向爆破方面經驗還很缺乏，在築壩方面已經摸索了一些經驗，這些經驗都是極為寶貴的。

五八年，山西省渾源縣青滋壩南海溝的攔洪土壩的修築就採用了定向爆破的方法。僅在1.8秒鐘內就將壩的主體工程修築成功了。用藥550公斤，拋落土方442公方，堆高5公尺，在壩的里外坡上完全符合設計標準。

五九年，河北邢台東川口水庫進行了一次大規模的定向大爆破築壩的實驗，藥包總重200多噸，爆落石方10萬立方公尺，20幾公尺高的堆石壩大體形成，拋擲方量和有效利用系數都超過了原設計的要求，給後來的定向大爆破築壩技術提供了豐富的經驗。

利用定向爆破築壩的方法在我國已經遍地開花，如湖南馬金洞、河南果縣水庫，浙江石郭水電站……都即將先後開工。這是給建築當前大家最感興趣的當地材料（土、石）壩提供了很好的多快好省的施工方法。

(三) 大爆破施工的特点和用途

在前面已經提到爆破施工在我国有广闊的發展前途，这里提到的是爆破施工本身所具有的特点：

大爆破施工是利用爆炸能来为建設服务的，它可以迅速的極高的生产率来完成巨大的工程任务，常常是在几秒钟之內就能把工程的主体完成，而且它把所需的劳动力降到最低限度，这都不是其它施工方法所能比拟的，甚至于近代化的强大的机械化方法也不能够完全代替它。这在当前大跃进年代里尤其显的重要。

大爆破的特点：

(1) 速度快縮短了工期：这是大爆破最突出的特点，如前面所举的例子，只要作好准备工作千百万方的石头在几秒钟之內就可以开采出来，在必要的时候还能按照要求的地点和形状堆好。

这在苏联許多工程中可以看到这点：在苏联的3号水电站就縮短工期10个月，整个水庫縮短工期一年，由于这些工程工期的縮短，苏联国民經济額外收入一亿瓩小时以上的电能，同时在工程費用上給国家节约了一百一十萬盧布，整个水庫工程节约了一百万盧布以上。

(2) 节省劳动力，代替了繁重劳动力，大大地提高了劳动生产率。

根据苏联的經驗記載，劳动力可以节省10倍甚至于100倍左右，苏联3号水电站的圍堰原計劃用30,000个劳动日，由于采用了大爆破方法减少到270个劳动日，劳动力减少了很多，就整个水庫工程看，由于采用爆破方法，由原160,000劳动日减少到1,100个劳动日，效率提高145倍。

同时它代替了繁重的体力劳动，代替了很多熟練的劳动，如排水机械的熟練工人就可以大大地减少了。

(3) 不需大量的和巨大的机械和设备，在筑壩工程中还可以节省大量的常用的建筑材料，(鋼筋、水泥等)，因此，设备投資和材料投資大大减少的。

不用大爆破的方法，往往需要大量的笨重机械，(如堆土机、輾压机、載重車等等)和设备(如攪拌机、水泵等等)。尤其在山区中，这些机械设备的搬运和使用都不方便的。

(4) 不受季节性限制。

这对工程是極大便利，例如冬季的大量挖填工程是难于进行的，但用爆破方法就可以少考虑或者不考虑。尤其对水工建筑物來說，更显得优越，因为洪水季节对水工建筑物的施工工期威胁是很大的。另外气候的条件，如严寒、酷热和風雨都直接影响到工作的进行和工程質量。

(5) 准备工作迅速而且簡單：

在很多情况下，应用爆破法在施工前就可不必修建临时的引水渠、土堤和圍堰，而且許多准备工作也可以不必作了。另外由于设备少，准备工作也就簡單了。

(6) 可在沒有电力来源的情况下进行，这对偏僻山区是極为有利的条件。

(7) 这对水下炸方是極为优越的它可以减少水下大量的凿挖工作的困难，并且借

河水的自然力量运搬破坏的岩石或土壤，这也会节省大量的搬运費用。

(8) 对工作面窄，数量集中，临空面大的悬崖陡壁工程，往往是唯一的方法。另外在公路、铁路、改河、开矿等工程方面，都是具有无可比拟的优越性。

(9) 大爆破应该特别的注意到地质情况，如岩层走向，节理层理如何利用它来提高爆破的效率以避免产生巨大裂缝和塌方，如东川口水庫用藥較多造成裂缝对防止繞壩渗流是极为不利的，尤其在路基工程中更要注意，例如我国宝成路某些地方的坍方确系滥用大爆破所造成。

根据以上特点，它的应用也是极为广泛的。根据目前所知有如下的几个方面：

(1) 采矿工程：应用比較早，是破碎岩石揭开复盖层的最有效方法，特别是中硬度以上的岩石就更为有效。

(2) 水利工程：在挖渠、筑壩、修堰、凿隧洞、导流、清基、炸滩等各个方面，都可以采取大爆破的方法施工。

(3) 铁路公路工程：削平路基、穿山凿洞、挖填路堑等方面也都很早就开始应用了。

(4) 建筑工程：在炸除旧房残壁、开挖基础，加固地基，截桩断柱方面应用，可以使工程进展很快。

(5) 农业工程：开垦荒原、整平土地、拔除树根、挖井修渠以及爆破深耕等方面应用很广。

(6) 建筑材料工业：采石工程中爆破开挖一向是认为行之有效的方面。

(7) 林业工程：在苏联采伐木材也有用爆破方法的。

三、爆 破 理 論

爆破理論是研究和改进爆破方法的基础，因为只有正确的理解了爆破理論，才能很好的解决爆破的技术和經济效果。大家知道，目前我們習用的設計方法和計算公式都是基于一些假定条件，而这些假定条件是出于一定的爆破理論和試驗結果的分析。同时还要注意到：基于不同的爆破理論所得出的計算公式甚至于結論都往往有很大区别，有时甚至会完全相反的。因此爆破理論的学識对于爆破工程技术人员是很重要的。

同时，爆破方法的改进也必须首先知道在極短的毫秒時間內爆破力所起的作用，爆炸力的强度、性質以及爆源周圍的不同性質不同情况的介質对爆炸力的反作用的情况，或者是抵消的情况，和介質抛散堆弃的情况。同时还要注意到影响爆破技术和經济效果的种种因素的分析。这些原理显然是复杂的，但是极为重要的。

例如：如果我們能够从理論上解决了爆破时抛出的岩石的堆积形状、高度和分布問題，就有可能更合理地設計抛擲藥包的大小和位置，特别是对于大爆破时的藥包設計是有很大的价值的。同时安全距离問題也获得了很好的解决。

因此，在广泛观察和試驗的基础上綜合归納推理而得出的結論或原理是很宝贵的。

(一) 在无限体的介質中單体集中爆破的作用情况

假若在某介質内部安放一个球形炸藥，在起爆之后将有如下的情况：

(1) 爆 破 情 况

一般的理論都認為在无限均匀介質中起爆之后，藥包附近的一环在巨大的压力作用下，一般介質将处于塑性状态，并被压縮成一个整体，其中一切单独裂縫或不均匀性都将消失。如图(1)所示，在岩石中将不是这种情况，不会出现被压实的区域，因为即使在很高的压力下也不会完全消失裂縫，这个裂縫所构成的滑动面与經向相交大約成45度角，成为数螺旋的形状，如图(2)所示。所以这个区域我們称为“压縮圈”或者是破碎圈，其半径 R_1 为压縮或破碎半径，如图(3)所示。 Q 为藥包中心。

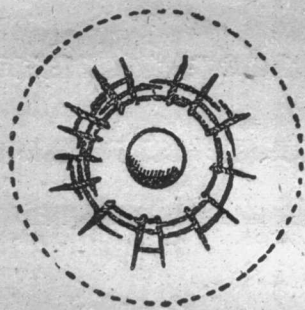


圖1 爆炸作用造成的徑向裂縫与环形裂縫

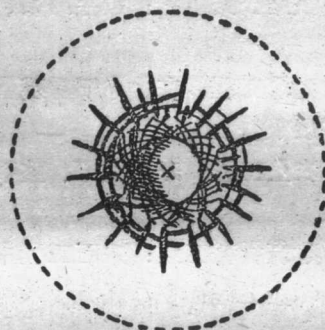


圖2 爆炸中心地点周围的岩体破坏区情况

我們知道，冲击波是以藥包为中心，成无限个同心球的形状向四围作扩散运动。显然，在冲击波作用下，在輻射方向受到压縮，在切綫方向产生膨脹拉伸，于是在压縮圈之外的介質就会在徑向發生裂縫。又因为介質擴張到最大限度时，中心区与外面产生压力差，冲击之后产生真空运动，介質在相当短的时间內發生了反向位移，而产生巨大拉应力，在压縮圈之外的一个区域，形成环形裂縫，由于徑向和环形裂縫的意义，形成破坏，故称之为“破坏圈”或者是“松动圈”，其半径 R_2 称为破坏半径在“破坏圈”之外的介質結構将不受到破坏，只产生震动，所以称作“震动圈”，其半径 R_3 称为震动圈半径，如图(3)所示。

有些学者，如И. И. 藥納門斯基 (Знаменский) 就把破坏圈内又分成“抛擲圈”和“松动圈”。

因为抛擲圈的半径与自由面相交时，則与自由面相交的半径夹角以內的介質将可能破碎并沿着輔射方向运动，理論速度值超过声速。在这一圈之外产生松动，称为“松动圈”，这看来是有一定道理，能够說明些問題，但是在无限体中是不会产生抛擲的，若發生抛擲現象就不会是无限体，而是在半无限体中，那么，在抛擲作用存在的情况下，“抛擲圈”之外的“松动圈”显然

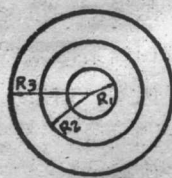


圖3 爆破作用圖
1. 压縮圈 (破碎圈) ;
2. 破坏圈; 3. 震动圈。

就不存在了。所以 A. A. 克拉夫列洛夫 (Красноперов) 等在“爆破工程”一書中認為这是不合理的，也是不必要的。

近来，毛利斯 (Моррис) 提出一个“临界半徑”的概念。

他認為爆破点附近岩石的冲击波的起爆速度和扩散速度大致相等时，介質內应力降低到彈性極限时，冲击波速度降低到声速，則由藥包中心到以声速扩散的点之間的距离称为“临界半徑”。并認為在“临界半徑”之外的岩体不会因冲击波的作用而破坏。这在下面半无限体中还提到。

“临界半徑”的計算問題。A. Г. 斯依逊 (Сисин) 根据能量平衡的原理以及崗新 (Гансен) 和申涅 (Шене) 的假定，进行了一系列的推导演算，求得最后的簡單的“临界半徑”公式如下：

$$R = kd_{\text{藥包}} \sqrt{\frac{P_s}{s}}$$

上式中：

$k = 0.7 \sim 1.0$ 。

d 藥包——藥包直徑

P_s ——这种炸藥稳定的起爆压力

这个公式在多自由面时，也同样的具有足够的准确性

根据作者的計算，将各种岩石和炸藥的临界半徑的計算值列在下面的表 (1) 中

表 1

各种岩石和炸藥的临界半徑的計算法 ($k=0.8$)

岩 石	極限拉应力	藥包直徑 1 公厘的临界半徑 (公厘)					
		炸 胶	硝化炸胶	里 格 里 尼 特	含有 24% 的 NaCl 的 安全炸胶	粉状安全炸藥	
						C 9% NaCl	C 35% NaCl
花崗石							
硬.....	90	37	32	28	25	16	16
中.....	62	45	39	34	30	20	19
軟.....	30	65	56	49	43	29	28
石灰岩							
硬.....	62	45	39	34	30	20	19
中.....	33	61	53	46	41	27	26
軟.....	20	79	69	60	53	35	35
砂 岩							
硬.....	41	55	48	42	37	24	24
中.....	29	65	57	50	44	29	28
軟.....	20	79	69	60	53	35	35
硬石膏							
硬.....	85	38	33	29	25	17	17
軟.....	56	47	41	36	32	21	20

表1'

决定于炸藥种类的硬石膏临界半徑实验及計算值比較表

炸 藥	藥 筒 直 徑	爆 破 孔 間 的 距 离		
		根据試驗	1 公 厘 藥 包 直 徑	
			实 驗	按 表 2
	32	1070	34	29—36
	50	1675	33	29—36
含有24%的 NaCl 的安全炸胶.....	32	915	29	25—32
含有35%的 NaCl 的安全炸藥.....	32	760	24	17—20

(2) 爆 破 压 力

炸藥在起爆之后，在極短的时间內，炸藥会分解放出大量的热能和气体。

1955年，皮尔斯 G. E. (Pearse, G. E.) 根据切罗拉 (Тейлора) 的著作里認為在藥包繼傳爆波前之后發生爆炸时，产生極高的温度和压力，温度达到2,000度~5,000度，压力达到10,000~100,000个大气压。这样在藥室的四壁就承受了这种高温和高压所产生的極大的靜力作用和动力冲击作用，产生强大的冲击波，假若在均匀无限体的介質中，冲击波的扩展将以无限个同心球的形状随着爆炸速度的大小在变化着。

靜压力：

在爆炸作用的时间內，靜压力不断的增長，压碎了周圍的介質。介質的破坏情况正如上所述。藥包爆炸后的靜力作用强度是根据藥包的形状不同而不同的，通常認為有这样个規律：藥包表面面积愈小，强度就愈高。因此也就得到結論：藥包愈近于球形，藥室表局所承受的單位压力也就最大，同时对介質破坏和抛擲作用也就最大。因而集中藥包的效力就比延長的藥包效力大很多，这个問題下面还要專門討論。

动压力：

这与爆炸速度有直接关系，爆炸速度愈高則动压力也就愈大，这个压力可以用爆破試驗来加以計算。

1917年，布尔金-姜 (Berger Jean) 在法国科学院 (Compte rendu de l'Académie des Sciences) 的报告中提出一个爆破初压力計算法，这个办法的理論是根据爆炸流体理論方程式，增加一个經驗比值，最后导出爆破压力計算的公式：

$$p_d = 0.22 \Delta D^2$$

上式中：

Δ ——炸藥密度，克/公分³

D ——爆炸力傳播速度

在这以前也有人提出过計算爆破压力的公式，如 (Schuveikert Gustav) 基于分子运动理論提出过公式。

为什么在这里先提到爆破和压力值的求算問題呢？因为爆破压力与炸藥破碎岩石的

作用成正比例：爆破初压力愈高，它的破碎作用也愈强。

1954年，德国爆破专家 E. 弗郎克 (Franke, E) 曾提出这样看法：我們所以要采用高級炸藥主要目的就是取得它所具有的最大初压力，他并且通过一系列实验証明了这一点。

实际初压力的大小的决定因素是复杂的，它受到起爆速度、藥室容积、炸藥性質、装藥密度和爆破温度等等的影响，而其中最重要的是炸藥的性質和装藥系数的影响，装藥系数又取决于装藥密度、包装方法和包装材料。

另外根据美国使用应力測定仪的研究結果的分析，認為冲击压力与爆破介質的彈性模数成反比，因此可以得出結論：冲击压力較高，也就是起爆速度高的炸藥最好用于彈性較大的岩石上，因为这种岩石易于傳播爆炸能，相反的，起爆速度較低的炸藥則适于塑性較大的岩石，因为这种岩石能在很大程度上吸收冲击力量。

(二) 在半无限体或多自由面体内單体集中爆破的情况

假如藥包的埋置点到自由面的最小隔离 (最小抵抗綫) 大于所提到的破坏半徑或者是临界半徑，則發生閉合裂縫的松动爆破或抛擲爆破。形成漏斗。或者指 A. B. 柯娃任克夫的說法：当藥包的能量超过揚弃漏斗容积中介質的抵抗能量时，就形成破坏漏斗。

(1) 爆破指数 (又称爆破坑指数) n 和爆破效果的关系

从圖 (5) 可以看出，当压缩 (破碎) 向半徑 R_1 比最小抵抗綫 w (以后最小抵抗綫以“ w ”表示) 大于 S_p 外長度时，即發生抛擲爆破。經推算 $S_p = 0.41w$ ；所以 $R_1 = 1.41w$ 时，就构成标准漏斗。破坏夹角成 90° ，为圖中 $\angle MQT$ 。

表示漏斗特征的是爆破坑指数 n (以下都以 n 表示) $n = \frac{r}{w}$

由上表可以看出如下的規律：

1. n 愈大时，抛方量愈大。当 n 大于 2 时，可見深度就比 w 还要大了；但是当 n 大于 3 时，影响就極小。

2. n 愈大时，岩石的飞散距离的增量也就愈大，而且增長的速度是很快的，因此在定向爆破并且要求按指定地点堆放时，选择 n 就要慎重， n 大一点就会抛的很远。

3. n 愈大时，藥包重量也急剧增加，实际也就是把單位岩石耗藥量 k 提高了。根据 H. M. 洛巴丁 (Лопатин) 的資料，其增加倍数为上表中的 $\frac{f(n)}{n^2}$ 一項。

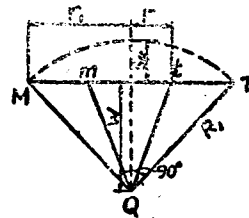


圖 4 标准藥包爆炸时漏斗的形状
圖中： r_1, r_2 —— 为漏斗底的半徑
 Q —— 为藥包位置

根据实际資料証明， n 小于 2.6 最合理。 n 取 3 是没有什么实际意义。

所以，在設計爆破方数、抛擲条件和經濟用藥量时，如何正确选择 n 值是非常重要的。因为炸藥的費用占爆破工程总費用的 $60 \sim 80\%$ 。

表 2

根据一些学者的实验数据, 归纳如下表

$n \left(\frac{\gamma}{W} \right)$	小于0.75	0.75	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	大于3
爆 破 情 况	松动爆破	不 完 全 漏 斗	标准漏斗	加强漏斗	扬 弃 时 很少回落	扬 弃 时 没有回落	得 到 最 大 深 度	不 再 有 什么变化
$<\theta$	小于 90°	小于 90°	90°	大于 90°	大于 90°	大于 90°	大于 90°	不 增 加
可見深度 $\frac{h}{\omega}$	0	—	0.35—0.5	0.75	1.00	1.25	1.50	不 变
飞散距离 $\frac{P_{cp}}{\omega}$	0	1.8	2.5	8.0	23.0	48.0	—	—
$\frac{\text{藥包重 } C}{\text{單位耗藥包 } k\omega^2}$	0.4—0.65	0.65	1.00	2.43	5.20	9.78	16.60	—
$\frac{f(n)}{\gamma^2}$	—	—	—	1.08	1.30	1.56	1.85	—

(2) 自由面的数目对于爆破的影响

自由面对于爆破的影响, 虽然已为爆破工作者所重视, 少数作者也强调在导洞爆破前弄成规则面的重要性。根据冲激波的理论, 冲激波的反射有效程度不仅决定于自由面的规则程度, 而且也决定于自由面的数目, 在三个自由面的单个药包爆破中, 其张力冲激波反射时的重复, 帮助岩石的破碎比较两个自由面的张力波的重复则比较强些。我们可以找到很多关于一个自由面的爆破理论或经验的论述文献, 但是多自由面, 如二个自由面、三个自由面, 或更多自由面的理论研究的论文是比较少的。主要的原因是情况复杂数学计算的困难。日本村田勉、田中一三曾根据爆破压力产生的主要拉应力裂缝而提出一个新的爆破理论。他对于多自由面的爆破也从理论上作了研究。据他所研究的结果, 多自由面的爆破常数关系如下: 如装药量 C 与最小阻力距 W 的关系为

$$C = KW^2$$

爆破常数 K 必须随自由面的数目而变化, 假如命 $k_1 k_2 k_3 k_4$ 分别代表 1 个、2 个、3 个、4 个自由面的爆破常数, 根据理论研究就可以证明它们之间在同一的最小阻力距长度情况下的关系如下:

$$K_2 = K_1$$

$$k_3 = 0.58k_1$$

$$k_4 = 9.29k_1$$

在任何自由面的情况, 用同样的药量爆破岩石的体积应随自由面数目的增加而增加如下表:

自 动 面 数	爆 破 岩 石 数 量	自 由 面 数	爆 破 岩 石 数 量
1 个 自 由 面	1.00	3 个 自 由 面	5.17
2 个 自 由 面	1.80	4 个 自 由 面	13.80

漏斗形状也可以用以前的数字求得。例如在二个自由面情况下，每一个阻力距比津“n”的漏斗形状于圖 5 中表示。以上的理論数据，与皮尔 (Peele) 的采矿工程师手册中的試驗数据十分吻合。

据1956年12期 (德文) 采矿技术 (Bergbau Technik)，介紹的自由面 对于 爆破工作的影响。把在經驗中所得到的：增加自由面的数目能减少炸藥的消耗量这一事实，加以理論的証明。并用圖表說明炸藥用量的大小决定于鑽孔方長度，和决定于能变与不变的自由面的比律，这个比律愈大，炸藥消耗量与鑽孔長度的关系愈小。(附圖表)。

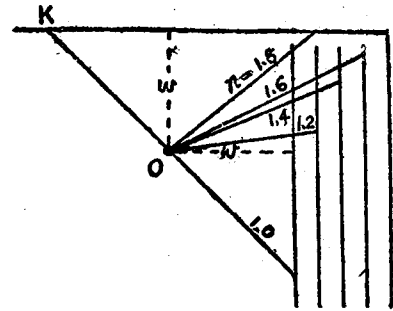


圖 5 在两个自由面爆破，不同最小阻力距的比律“n”的漏斗形状

表 4

自 由 面 数	装藥計算上的校正系数	
	集 中 装 藥	延 長 装 藥
二个自由面——成90°角时的二个阻力綫方位	0.5	0.6
三个自由面——成90°角时的三个阻力綫方位	0.5	0.4
四个自由面——成90°角时的四个阻力綫方位	0.2	0.24
五个自由面——成90°角时的五个阻力綫方位	0.18	0.2
六个自由面——成90°角时的六个阻力綫方位	0.14	0.17

表 5

自由面数	能变的自由面数	不变的自由面数	比 值	圖上的曲 綫
2	1	1	1	k_2
	2	0		k_2'
3	1	2	0.5	k_3
	2	1	2	k_3'
	3	0		k_3''
4	2	2	1	k_4
	3	1	3	k_4'
5	1	2	1.5	k_5

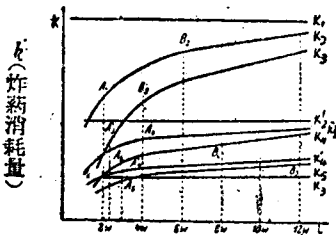


圖 6 鑽孔長度与最小阻力綫的比律

(三) 装藥系数炸藥性質与爆破效果的关系:

在前面爆破动压力部分曾提到装藥系数对爆破冲击压力影响極大，直接关系到爆破的效果，現在看它們之間的关系。

首先看装藥系数和爆破压力的关系，这根据实验得出如下的結果：当装藥系数由

1.00降到0.74时,初压力就由52,450千克/公分²降到22,550千克/公分²,这也就是降低了一倍以上;当装藥系数由1.00减到0.32时,初压力就由52,450千克/公分²,降到5660千克/公分²,压力几乎减少了 $\frac{9}{10}$,只为原有爆破压力的 $\frac{1}{10}$ 了。当装藥系数为0.4—0.5时,炸碎的岩石塊中碎粉就很少了。

由上面的实验結果,我們得到很大啓發就是降低装藥系数可以很有效的提高岩石的塊度。相反的提高了装藥系数,爆破的压力和猛度就大,岩石破碎的就愈細了。

因此在揚弃爆破中,如何提高炸藥的有效利用率是与装藥系数和炸藥性質有極密切的关系。

根据B. A阿斯诺夫 (Ассонов) 的資料,炸藥能有效利用系数为3—7%; Г. И.波克洛夫斯基 (Покровский) 認為在土壤介質中爆破炸藥利用系数仅为3—5%,有时少到 $\frac{1}{100}$,这說明炸藥还有極大的潜能沒有發揮。

根据苏联煤矿科学院研究的結果認為:所以炸藥利用系数这样低,是因为絕大部分的能量用在不必要的岩石破碎方面。

如何提高炸藥利用系数?如何提高土石方揚弃数量显然應該通过减低爆破猛度,即减少起爆压力延長起爆時間,其方法是合理的选择炸藥和适当的降低装藥系数。

降低装藥系数的方法是在藥包周圍留有空隙(当然与包装方法也有关系),但高度要相同,也就是在藥包的上面沒有空隙因为这样效果最好。

藥室的直徑为藥包直徑的不同倍数时将得到不同的装藥系数,如下表(6)所示:

藥室直徑 藥包直徑	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	2.1	2.5	3.4	4.8	9.1
装藥系数	1.0	0.8	0.72	0.57	0.49	0.39	0.22	0.16	0.08	0.04

在砂土中用1.5克的炸藥和8号电雷管作的試驗結果如下表(7):

装藥系数	1.00	0.44	0.25	0.16	0.11	0.08
(公斤) 拋出砂量	0.78	1.84	2.20	2.88	2.45	1.84

二者的关系曲綫如下圖(7)和圖(8)所示:

另外炸藥的包装方法上如用木箱直接放入是可以降低装藥系数,但是他将消耗很多氧气,对爆破不利。

装藥系数的計算

日本 枯曼西諾根据冲击波原理提出集中爆破时的装藥系数計算式

$$K = 4.05 \times 10^6 \pi \left(\frac{\Delta_c}{\Delta_r} \right) \left(\frac{S_t}{P_d} \right)^{1.5} \quad (\text{克/岩石数})$$

上式中:

Δ_c ——炸藥的密度

Δ_r ——岩石的密度

P_d ——冲击压力

S_t ——岩石極限拉应力

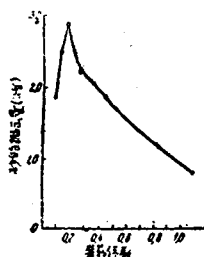


圖 7 装藥系数与抛沙量的关系曲线

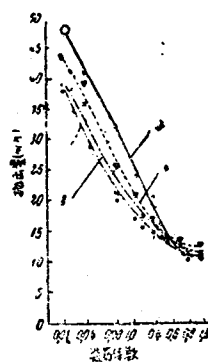


圖 8 抛沙量与装藥系数及炸藥爆力的关系曲线圖
1—6 号阿莫尼特 (压制藥 2—6 号粉狀炸藥
3—三硝基甲苯 4—四号阿莫尼特

(四) 岩石节理層理与爆破效果的关系

岩石的构造对爆破效果起着極大的作用。构造不同如顆粒大小組成不同，層理或节理不同，其爆破阻力就不同，爆破效果也就不一样。一般根据裂縫的密度、方向和宽度的不同是分为四类，这可以从 A. N. 布隆書中查到，所以要以裂縫的情况来分，是因为爆炸气体沿裂縫移动时，爆炸效能就急剧降低。

由下面圖 (9) 中，也可以看出，地壳岩石构造条件是如何控制爆破岩石的数量。

同样也可以由右圖看出来，一般情况下爆破之后不一定是規則的漏斗状，尤其在斜坡上或者是陡崖就更少見了，这在 B. J 柯恰諾夫斯克 (B. J. Kochanowsky) 所發表的文章中提到：“从先后对 2,000 个导洞爆破研究的結果来看，完整的漏斗坑是少見的。”

关于导洞爆破法如何利用节理情况提高岩石爆破数量問題，R. 威斯特瓦特 (R. Westwater) 認為：最理想情况是节理与地面垂直或近于垂直，因为这样节理可以帮助岩石面向外破裂，所以爆破效率最高，如圖 (10) 所示这是各大采石場、矿場最慣用的方法。相反当層理为水平或近乎水平的情况下，采用藥室爆破是困难的，除非岩石頂上自由面較低 (小于 60 尺) 时才可以。

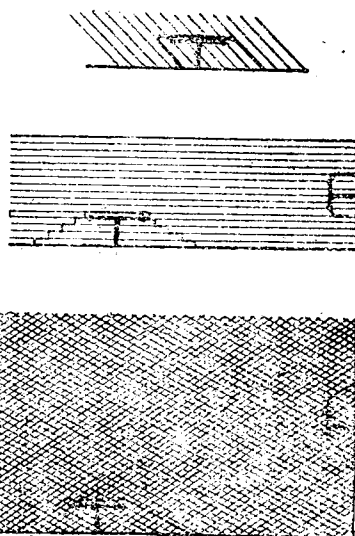


圖 9 地壳岩石构造对爆破的影响