土岩爆破文集

（全国土岩爆破经验交流会议论文选）

冶 金 工 业 出 版 社

TD23-53
1
3

土岩爆破文集

（全国土岩爆破经验交流会议论文选）

中国力学学会《土岩爆破文集》编委会

冶金工业出版社

A74212

土 岩 爆 破 文 集

（全国土岩爆破经验交流会议论文选）

中国力学学会《土岩爆破文集》编委会

*

冶 金 工 业 出 版 社 出 版

（北京灯市口74号）

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16　印张 18　字数 430 千字

1980年11月第一版　1980年11月第一次印刷

印数 00，001～2,800 册

统一书号：15062·3569　定价 1.85 元

编　委　会

主　编　冯叔瑜
副主编　边克信、霍永基
编　委　（以下按姓氏笔划为序）
马乃耀　马柏林　王鸿渠
龙维祺　朱忠节　许连波
吴灵光　张正宇　林学圣
顾毅成　郭玉学　黄元清
黄绍钧

写 在 前 面

钱 学 森

在这本文集前面写一篇简短的文字，只是想说一点关于爆炸力学的看法，以参加这一方面的讨论，也想在讨论中得到订正。

(一)

爆炸的科学技术历来是军事科学技术的一个重要部门。它在工农业生产，工程建筑以及科学研究中的重要应用还是后来的事。可是，现在已经可以明确，它是一门应该大力发展的科学技术了。我想，其中原因可以从爆炸所释放的能量和功率去找：以黄色炸药为例，一个直径为D米的药球，球对称爆炸所释放的能量是$3.52\times10^{9}D^{3}$焦耳，而功率是$4.72\times10^{10}D^{2}$千瓦，所以要达到百亿千瓦的功率是不难的。这是很大的功率。有了这样大的功率可以做很多一般难以做到的事：爆炸可以产生极强的脉冲电流，爆炸可以产生极强的脉冲磁场，爆炸可以产生极高的脉冲压力，而这些都是现代科学研究所要求的。这里都有能量转化的问题，而对科学研究来说，特别要求转化过程的精密控制。

爆炸所产生的高压已用于生产，如爆炸成型和爆炸造金刚石等。

有了大功率，常常就有可能把一件大工程高速度地完成，这是有利于生产或构筑工程的。所以，爆炸技术对我国高速度地搞社会主义建设有重要意义。我国土岩爆破技术发展比较快，其原因也就在此。但在这里要讲究成本，也就是要讲究效率，所以爆炸要设计得好，要力求能量转化效率高。在这个方面，我们还很差劲，有大量工作要做。另一方面，我们如果能造出价钱低而威力又大的炸药，那也能降低成本。这是炸药科学技术的事了。

(二)

爆炸和爆炸的应用，可以概称为爆炸科学技术，其中包括很多的学科。前面讲的已经涉及到电磁学，电工学、化学，而要精密控制就必然要用电子学和电子计算机，以及控制论。是不是除此之外，剩下的就都可以称为爆炸力学了呢？还不能。因为爆轰波和激波的理论属于力学的又一分支，叫物理力学。至于强激波在固体介质如土、岩石、金属中的传播则又是一门新学问。它要考虑多种颗粒和小晶体在强激波的作用下的行为，也就是要研究大约10^{-3}厘米或10^{5}埃范围的动力学。这是涉及到上百万原子集体运动，在国外叫“亚微观”或“准微观”的学问，我们用中国人的习惯语言，可以称之为“细观”的学问，也可以仿照物理力学的命名，称之为“精细力学”。

在爆炸科学技术中把这些学科分出去，剩下的大概就可以称为爆炸力学了。我想，对土岩爆破来讲，爆炸力学的任务在于研究土岩被爆炸破碎后的运动规

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

律，为土岩爆破设计打下理论基础。对爆炸成型来讲，爆炸力学的任务在于研究金属被爆炸加速后的运动规律，为爆炸成型设计打下理论基础。懂得这个规律，再加上电磁学，就有了用爆炸产生极强脉冲电流或极强脉冲磁场的理论基础了。

爆炸是一个高速过程，所以爆炸力学中惯性力居于非常重要的位置。炸药能产生高压，也因为爆炸过程是受“惯性约束”的。这也是爆炸力学的一个特点。

由于爆炸力学要处理的问题远比经典的固体力学或流体力学要复杂，似乎不宜一下子想从力学基本原理出发，构筑爆炸力学理论。近期还是靠小尺寸模型试验，但要用比较严格的无量纲分析，从实验结果总结出经验规律。这也是过去半个多世纪行之有效的力学研究方法。

以上讲的这个学、那个学，都是科学理论。巧妙地综合运用这些理论，去高效能地利用爆炸，为工、农业生产，工程建筑和科学研究服务，则是一门工程技术，爆炸工程。这就是爆炸科学技术从科学理论到工程实践的体会。

（三）

我们要建立包括抗爆炸力学在内的爆炸科学技术体系，还要付出艰苦的劳动。这部论文集只是其中的一小步骤，但是值得重视的一步，希望今后还会不断地出版这方面的论文集。

以上说的都是为了高速度地把我国建成为社会主义现代化强国，也还是地球上的事。我们的同志也有把爆炸力学引伸到星体的爆发，以及星系核的爆发，那是飞上了“九天”了。一个科学工作者能兼顾地上和天外的事，自无不可，而且值得称赞，但从学科划分的观点来看，天上的爆发还宜归入天文学。

目　　录

写在前面
一、平地定向爆破试验研究…… 金星男　许连波　周家汉（1）
二、体积平衡法…… 冯叔瑜　朱忠节　马乃耀（19）
三、爆破介质抛掷运动的观测与研究…… 黄元清（35）
四、关于大面积分层爆破效果的分析…… 边克信　刘殿中（45）
五、公路石方综合爆破方法与多边界药量计算公式（简介）…… 王鸿渠（53）
六、炸药抛掷能力的相对比较…… 周家汉　许连波　金星男（69）
七、“定向爆破—水力冲填”筑坝的初步实践
…… 云南省水利设计院定向爆破筑坝科研组（75）
八、水下岩塞爆破的应用与设计…… 管耀东（执笔）（79）
九、水下岩塞爆破的震动与冲击效应…… 黄涛　刘汉丞（88）
十、黄埔水下爆破设计施工与安全防护技术…… 马乃耀　王中黔（104）
十一、水利工程中的预裂爆破
…… 长江施工设计处土石方组　长江水利水电科学研究院振动组（119）
十二、预裂爆破的应用与讨论…… 冶金工业部马鞍山矿山研究院（131）
十三、普济隧道光面爆破预裂爆破及其对围岩稳定性影响的试验观测
…… 铁道部科学研究院西南研究所隧道爆破专题组（140）
十四、工程结构物拆除的控制爆破…… 铁道部第四工程局控制爆破试验小组（153）
十五、城市改建中混凝土和钢筋混凝土的爆破…… 杨宏业（164）
十六、用弹性波法对花岗岩岩体物理力学特性的探测
…… 中国科学院武汉岩体土力学研究所（171）
十七、工业爆破地震效应的分析…… 郭玉学　于双久（187）
十八、露天矿深孔爆破震动观测…… 吴其苏（199）
十九、工程爆破破坏范围现场试验研究…… 长江水利水电研究院技术室振动组（208）
二十、一条典型水平巷道的爆破破坏分析…… 王中黔　杨杰昌（219）
二十一、地下结构爆炸震动加速度的测试和分析…… 应怀樵（228）
二十二、土岩爆破中的高速摄影方法…… 顾道良　和喜莲　王小荣（234）
二十三、炮孔装药爆速测量及多段爆速仪
…… 冶金工业部矿冶研究所爆破室测试组　机电室仪器试制二组（243）
二十四、延期雷管跳段概率的估计…… 徐天瑞（250）
二十五、田菁10#浆状炸药的研究与实践
…… 冶金工业部北京矿冶研究院　本溪钢铁公司（257）
二十六、利用工程爆破合成金刚石的理论和实验研究…… 汪金通　邵丙璜（266）

一、平地定向爆破试验研究

中国科学院力学所二室　　金星男　许连波　周家汉

一、前　　言

定向爆破是工程爆破中最复杂的一类爆破，特别是在缓坡或平地地形条件下的定向爆破技术，如爆破中的抛掷堆积的物理过程说明及设计方法等，还没有得到很好解决。

M.A.Лаврентьев和B.M.Кузнецов等人曾做过这方面的工作，把土体介质作为不可压缩流体，提出包围土体的连续药包分布（图1-1），分析不可压缩流体的速度场，使被炸药包围的土体ABC可以获得均匀的速度分布，从而达到定向和集中抛掷的目的。但他们却没有引出在实际工程中可用的结果，而且土体根本不可能看成不可压缩的。

本工作是根据工程设计中存在的实际问题，在平地地形条件下的粘土、淤泥和砂砾石介质中进行了多次定向爆破试验，并取得了一些试验结果。通过这些试验结果说明影响定向爆破的三要素的重要性：即临空面是控制抛掷方向的主要因素；药包布置和布药律是抛掷土体获得均匀速度场的另外二个因素。此外，试验还得到了抛掷体抛距与单位体积耗药量$\frac{Q}{V}$和最小抵抗线W的关系。

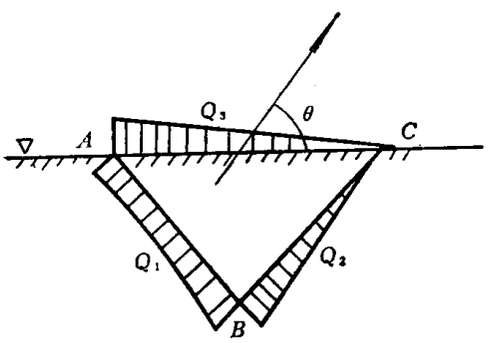


图 1-1　连续药包分布

本文利用这些结果，分析了不同土质中，不同布药方案的定向抛掷堆积效果，并从这些实际效果出发，分析了抛掷堆积的主要特征，对抛体的堆积和速度分布予以物理说明。这些试验结果及分析意见的最终目的是，希望它能有助于我们加深对定向爆破抛掷运动规律的认识。

二、试验内容和方法

（一）问题的提出和主要技术原理

大量的定向爆破工程实践证明，在具有一定坡度的地形条件下直接进行定向爆破，一般比较容易办得到。然而，在缓坡或平地地形条件下直接进行定向远距离抛掷爆破则难度比较大，不容易实现。

为了解决在平地或缓坡地形条件下，合理布置药包，使大量土方按指定方向抛掷，并在一定的距离外堆积成所需要的形状，需要深入研究影响定向爆破的各种因素，从而找出规律性的东西，才能提出正确的设计原则。

外弹道学的理论和实践证明，在重力和空气阻力作用下，抛掷体的抛距，取决于初抛角、初抛速和抛体的形状，而且，初抛速越大则抛距越远。在空气阻力可以忽略的条件下，初抛角θ以45°为最佳。因此，对于平地定向远距离抛掷爆破，就需要探求一种使爆

破的抛掷土体群具有比较大的初抛速和接近45°的初抛角并能使抛体速度分布比较均匀的爆破方案。

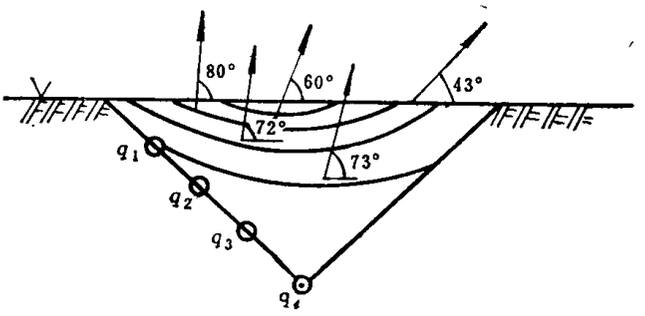


图 1-2　斜面布药

根据这样的原理，我们曾将群药包布置在和水平面成一定角度的斜面上，如图 1-2 所示的那样。这样，可以使大部分土体定向抛掷。但试验表明，抛体的抛角一般都偏高，大都在60°～80°范围，因而抛距都很近。如果采用调整上下药包比例的方法来压低抛角，则相对耗药量过大，而抛距仍提不高。

因为坡地定向爆破比平地定向爆破更容易得到较好的效果，所以，若把平地改造为具有一定斜坡的地形，那么，就有可能克服平地地形的影响，使抛体不仅能定向而且抛距也会更远。这样，就把平地定向爆破问题转化成斜坡地形定向爆破问题来解决。

（二）试验条件和测试技术

1．试验条件

如前所述，本试验是在平地地形条件下的粘土、亚粘土、淤泥和砂砾石中进行的。试验区内的土质均匀。砂砾石的主要成分以中粗砂居多，局部夹有不大于 3 厘米的砾石。

试验用炸药为国产2#岩石硝铵炸药和抗水铵油炸药。使用雷管为国产瞬发雷管与毫秒延迟雷管。

2．测试技术

（1）采用高速摄影机拍摄鼓包表面运动情况，以此分析计算地表面的位移、速度及加速度。拍摄速度为500～1000幅/秒。图 1-3 描述了单药包爆破时鼓包运动在不同时刻升起的高度 h，鼓包顶点速度 V 和时间 t 的关系。

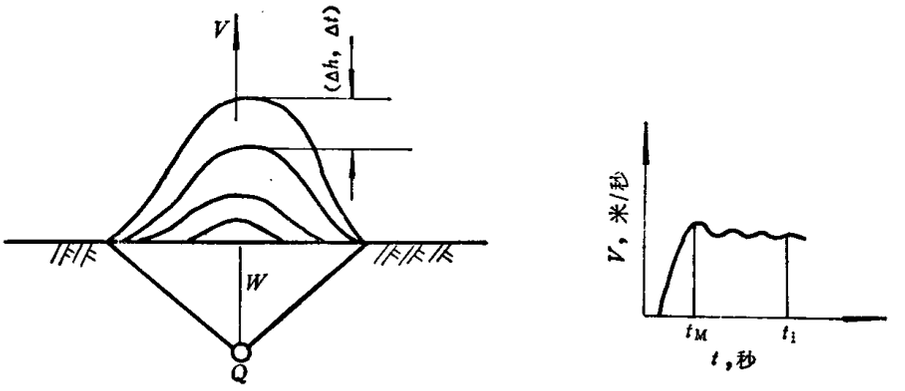


图 1-3　鼓包运动

（2）采用焰火块测量技术，观测地面以下一定深度土体抛掷运动的初始参数，弥补高速摄影只能看到地表运动而看不到内部运动的不足。爆破前，把可以发出不同颜色的焰火块，埋入漏斗土体内一定位置上，爆破时，预先已经点燃的焰火块和土体一起抛出，利用间时照相装置拍摄焰火块的运动轨迹，在夜间拍摄的照片上，清晰地看到焰火块和被它照明的土块一起飞行，它可以用来描述

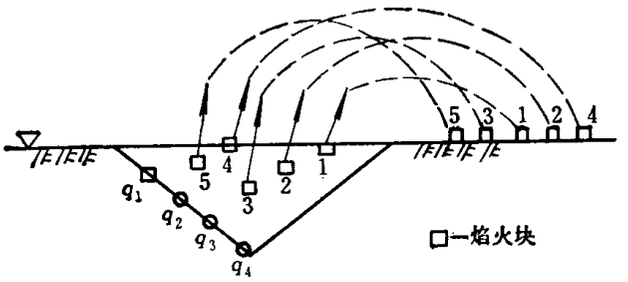


图 1-4　埋置焰火块及抛掷轨迹

埋设位置的土体的运动情况。图 1-4 绘出了单斜排布药方案，爆破时漏斗内某些测点的初始抛角和初抛速。

（3）用埋块测量抛距。埋块是用石膏和水泥，按一定比例制成的立方块，尺寸为4×4×4厘米³。爆前按一定网格分布，把它埋入抛掷漏斗内如图1-4′。爆破时，埋块和土体一起被抛出，然后测量各个埋块的抛距。根据埋块在漏斗内的位置划出等抛距线图。等抛距线的分布不仅说明了抛出土体的堆积效果，而且为我们提供了分析抛掷速度场均匀性的依据。

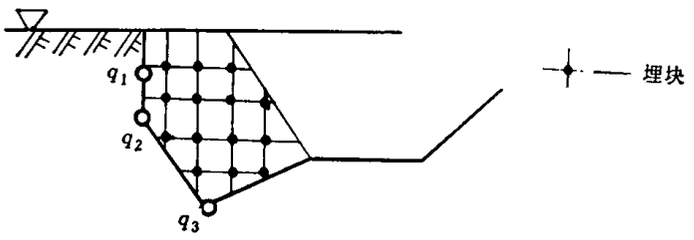


图 1-4′ 埋块分布图

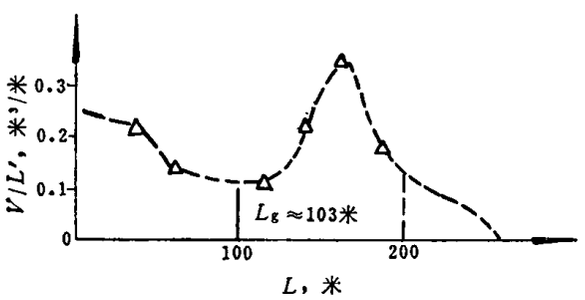


图 1-5 抛掷堆积分布图

（4）堆积体测量。按一定距离（如隔5～10米），测量 1 米宽的长条地上堆积体的方量，使得到一条从漏斗口出发的堆积曲线 $\frac{V}{L'}-L$。其中，L'为堆积体横向长度，如图 1-5。当试验规模较大时，则采用水准仪、皮尺等测量抛掷堆积和可见漏斗尺寸。

（5）破坏范围测量。在预计产生破坏的范围内进行钻孔，孔径 ϕ5～10 厘米。把熟石灰粉埋入孔中，爆后测量孔中石灰位移和错动，分析土体破坏的程度，确定破坏范围，如图1-6所示。

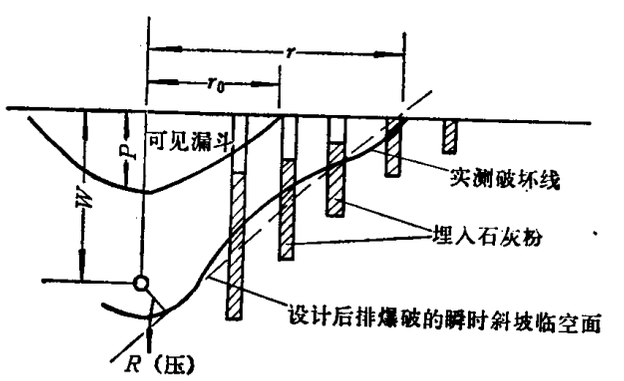


图 1-6 单药包开沟的爆破效果及破坏范围测量

（三）试验项目

为了研究影响定向爆破效果的因素，试验从简单的平地单药包爆破试验开始，逐步地转到双临空面群药包定向爆破试验。

1. 单药包试验

为了了解在平地条件下单药包爆破时鼓包运动的情况，在粘土中进行了单药包试验。最小抵抗线W＝1.5～2.0米，比例埋深$\frac{W}{Q^{1/3}}$＝0.4～0.75米/公斤$^{1/3}$，利用高速摄影和焰火块进行了观测，经过整理得出了药包顶部地表鼓包表面运动速度V和时间t及高度h和时间t的关系曲线，见图1-3。参数数据整理，见表 1-1 。

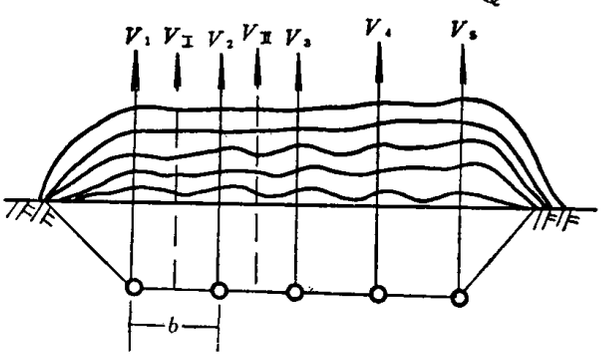


图 1-7 群药包间距试验

2. 群药包间距试验

为了寻找在土中进行群药包爆破时，能使鼓包运动速度分布比较均匀的合理间距，我们进行了单列多药包的间

距试验。试验是在粘土中进行的，见图1-7 和表 1-2。最小抵抗线$W=0.85\sim1.5$米，比例埋深为$\frac{W}{Q^{1/3}}=0.5\sim0.6$米/公斤$^{1/3}$，间距$b=(1.4\sim1.7)W$。

表 1-1　单药包试验测量参数结果表

参数 \ 编号	数值	1—1	1—3	1—4	1—6	1—7	1—8	1—9	1—11
设计基本参数	$\frac{W}{Q^{1/3}}\left(\frac{\text{米}}{\text{公斤}^{1/3}}\right)$	0.6	0.45	0.75	0.55	0.5	0.7	0.65	0.40
	W（米）	1.5	1.5	1.5	1.5	1.67	1.5	2.57	1.5
	Q（公斤）	15.6	36.9	8.0	20.4	36.9	9.8	50.0	52.7
鼓包运动参量	V_{max}	46	84	—	63	46	28	58	100
	$V_{抛}$	33.5	53	—	50	38	23.5	54	83
	h_m/W	0.8	1.33	—	1.33	1.37	0.67	0.39	2.33
	h_0/W	1.67	3.33	—	2.34	2.04	1.67	1.67	4.0
n 值	测量值	1.67	2.32	1.22	1.77	2.13	1.43	1.72	2.30
	$K_0=1.5$(计算值)	1.66	2.27	1.26	1.84	2.02	1.39	1.92	2.57

表中 V_{max}——药包顶部地面鼓包运动最大速度，米/秒；

$V_{抛}$——鼓包破裂抛掷速度，米/秒；

h_m——鼓包达到最大速度时的高度，米；

h_0——鼓包达到抛掷速度时的高度，米。

表 1-2　间距试验参数表

参数 \ 编号	数值	2—1	2—2	2—3	2—5	2—6
设计基本参数	$\frac{W}{Q^{1/3}}$	0.6	0.6	0.6	0.5	0.65
	W	1.5	1.0	1.0	1.05	0.85
	$\frac{b}{W}$	1.4	1.5	1.6	1.7	1.75
鼓包速度参量	$V_{1平}$	38.1	51	58.4	74	—
	$V_{I平}$	35.4	49	55	68	
	$\Delta V\%$	7.0	3.9*	5.8	8.1	

表中 $V_{1平}$——药包顶部地面鼓包运动平均速度，米/秒；

$V_{I平}$——药包之间中点地面鼓包运动平均速度，米/秒；

$\Delta V\% = \frac{V_{1平}-V_{I平}}{V_{1平}}$——$V_{1平}$与$V_{I平}$之差百分比。

* V_1、V_2……V_5之间相对误差较大。

试验表明，药包顶点与药包之间的各速度平均值在$b=(1.4\sim1.7)W$时，其相对误差在5.8～8.1%。根据此值和试验后得到的漏斗坑底的平整程度，我们选用了$b=1.4W$，作为较合理的间距。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

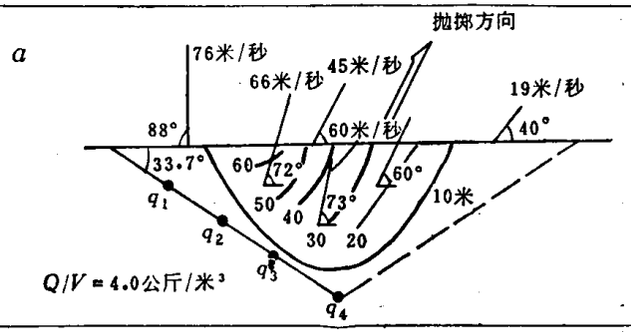
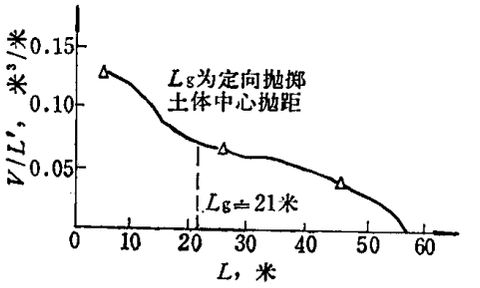
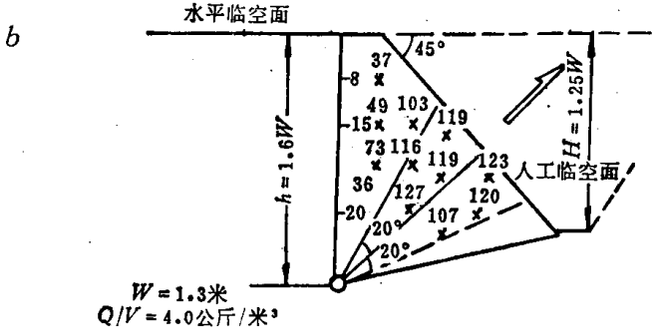
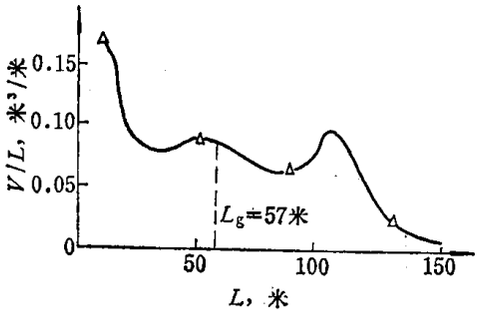
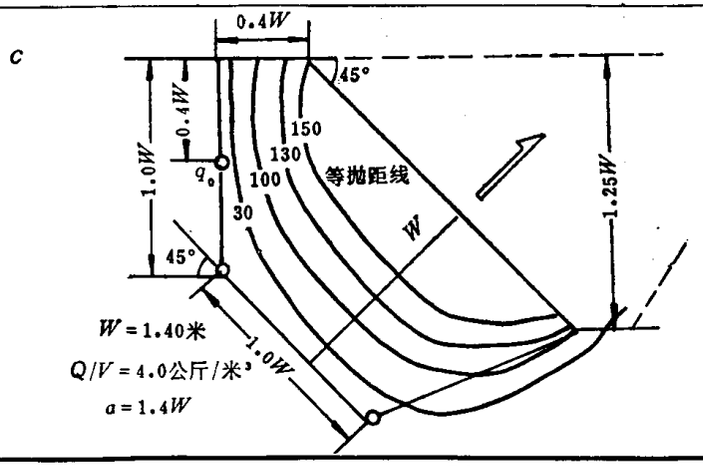
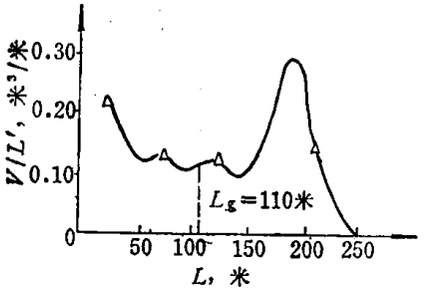
	埋　块　抛　距　图	抛　掷　土　体　堆　积　情　况	$\frac{Q}{VL_g}$〔公斤/米³〕
单斜排方案	a  	 	0.205
双临空面单药包方案	b  	 	0.07
双临空面两孔三药包方案	c  	 	0.036

图 1-8　粘土、亚粘土中三种类型的布药方案典型试验比较

3．平地单斜排群药包爆破方案试验

在平地条件下，只利用单药包是不易实现定向爆破的目的。如果把药包布置成单斜排群药包形式，则利用群药包之间的相互作用是可以实现定向抛掷的目的的，如图1-8(a)所示。但试验表明，无论怎样改变布药律，单斜排方案的抛掷距离总是比较近，即使是增加了耗药量，抛距的增加也是很有限的。如当单位体积耗药量$\frac{Q}{V}$=4～5公斤/米^{3}时，土体的重心抛距L_g=21米。这里，单位体积耗药量$\frac{Q}{V}$指的是抛掷单位设计土方所需要的药量(公斤/米^3)。

4．双临空面群药包布药方案爆破试验

上面所述，平地条件下只靠单斜排群药包布药方案难于提高抛距，所以，进行了开挖斜坡临空面的试验。这种试验方案是在平地上先开挖一个具有45°斜坡面的沟槽，然后，把药包布置在斜坡面一边，使药包最小抵抗线指向斜坡临空面。当然，这种情况下仍然存在平地临空面的影响。但试验表明，通过合理的药包布置，这种影响是可以克服的。无论是人工开挖临空面还是爆破法开挖临空面情况下，具有斜坡临空面的爆破效果，比没有斜坡临空面的爆破效果要好得多。从图1-8(c)可以看到，当单位体积耗药量$\frac{Q}{V}$=4公斤/米^{3}时，重心抛距L_g可以达到110米，比起图1-8(a)方案抛距提高五倍以上。图1-8(c)所示的是双临空面地形条件下，在粘土中得到的较好的布药方案。它的等抛距线分布均匀、平行，堆积体较远而集中。

三、试验结果及分析

(一) 试验结果

1．通过一系列试验，利用开挖临空面得到了双临空面条件下，进行定向爆破的较好的群药包布药方案，见图1-9。这就是：(1)在粘土、淤泥土质中的二孔三药包布药方案；(2)在砂砾石介质中的二孔二药包布药方案。

图1-9给出了这些方案的药包布置、埋块等抛距线图、抛掷堆积曲线和可见漏斗尺寸。这里，两个主推药包之间的等抛距线近似平行于斜坡临空面。在最小抵抗线方向上，越接近斜坡地表，抛距越远，设计的抛体都定向抛出。堆积曲线在离开漏斗口后，有一段堆积方量较小，远处有一峰值即堆积集中区。这里，所给的抛距L_g指的是，抛掷出去的土方堆积体以L_g为重心，它的前后的土方体积一样，我们称L_g为中心抛距。

2．试验结果表明，中心抛距L_g随单位体积耗药量$\frac{Q}{V}$的增加而增加。图1-10和表1-3所示，当耗药量$\frac{Q}{V}$=0.5～7.0公斤/米^{3}时，抛距L_g与单位体积耗药量$\frac{Q}{V}$大致成正比关系。其斜率在淤泥地里比较大，依次为粘土和砂砾石。在砂砾石中，当$\frac{Q}{V}$<4公斤/米^{3}时，抛距L_g增加较快；当$\frac{Q}{V}$>4公斤/米^{3}以后，则L_g增加变慢。虽然，在这几种土质

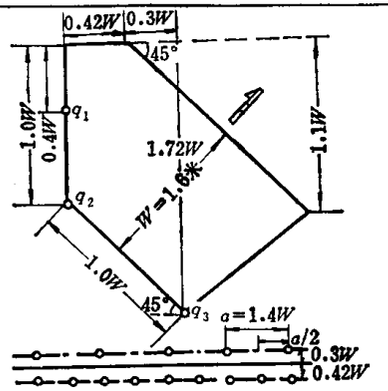
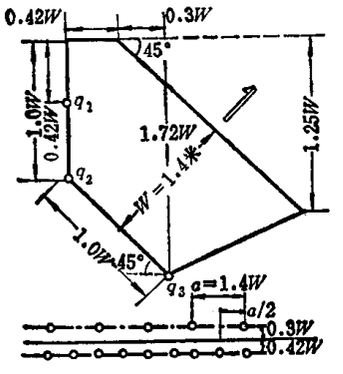
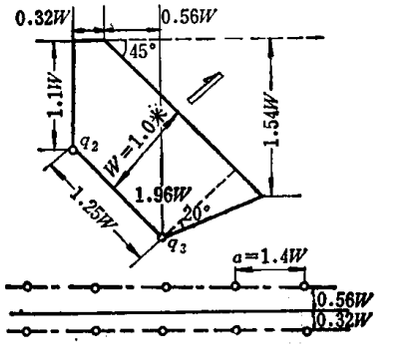
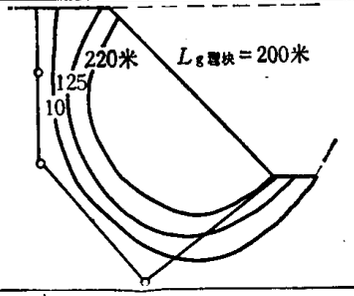
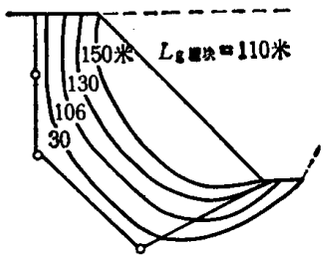
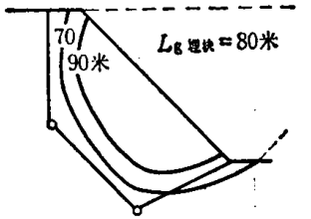
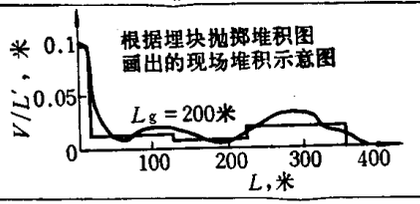
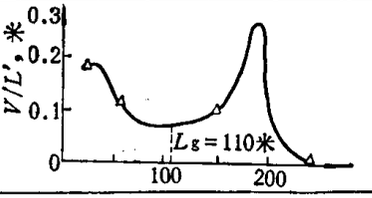
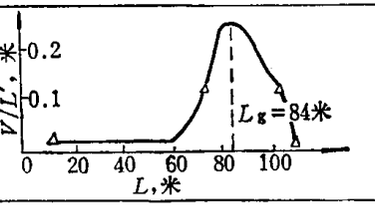
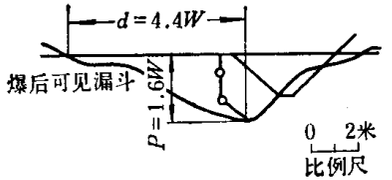
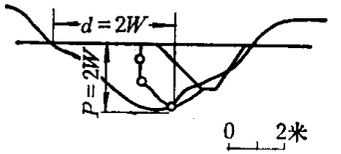
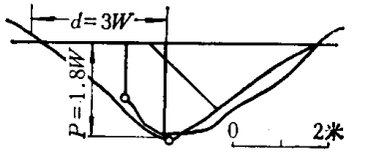
	a．淤　　泥	b．粘　　土	c．干砂砾石
药包布置参数			
	Q/V = 4.0公斤/米³　药量比：q_1 : q_2 : q_3 = 1.0 : 1.2 : 1.3 $Q_{总}$ = 182.4公斤　重量×个数 5.8×9，12.5×5，13.6×5	Q/V = 4.0公斤/米³　药量比：q_1 : q_2 : q_3 = 1 : 1.2 : 1.3 $Q_{总}$ = 135.2公斤　重量×个数 4.3×9，9.3×5，10×5	Q/V = 4.0公斤/米³　重量×个数　q_2 5.6×5，q_3 6×5 $Q_{总}$ = 58公斤　药量比：1.0 : 1.07
埋块等抛距线图			
抛掷土体堆积情况			
爆后可见漏斗			

图 1-9　人工临空面平地定向爆破布药方案及其爆破效果

中最小抵抗线略有差别，但可以看出，在同样耗药量的情况下，淤泥用于抛掷运动的炸药能量利用率比砂砾石高很多；抛距L_g相差一倍以上。显然，介质的性质对抛掷爆破的影响是很大的。

需要指出的是，曲线的延长线都不交于原点，而是交于某一$\frac{Q}{V}$。值的位置上。这说明，要把漏斗内的土体抛掷出去，则所需要的药量必须超过某一最小值$\frac{Q}{V}$。否则，就得不到抛距。

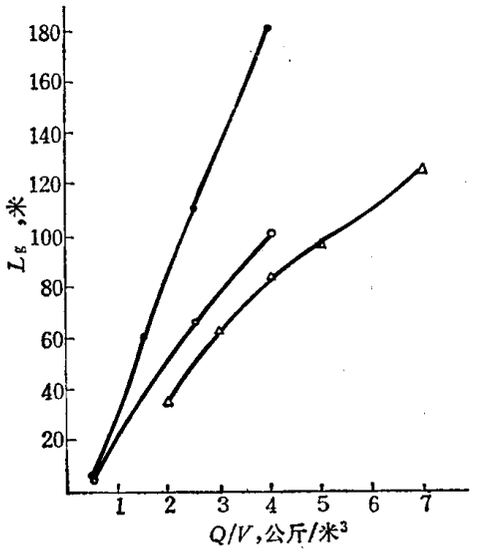


图 1-10 $\frac{Q}{V}$-L_g关系试验曲线

●—淤泥，○—亚粘土，△—砂砾石

表 1-3 $\frac{Q}{V}$－L_g 关系试验数据表

$\frac{Q}{V}$ (公斤/米³)	L_g（米）		
	淤　泥	亚粘土	砂砾石
0.5	7	4	
0.7	14		
1.0	28		
1.5	60		
2.0			35
2.5	110	65	
3.0			63
4.0	180	100	84
5.0			96
7.0			125
W（米）	1.35	1.35	1.0

3．试验结果表明，在同样耗药量条件下，随着最小抵抗线W的增加，抛距L_g增加。图1-11和表1-4所示，当$W=0.25\sim1.6$米时，抛距L_g随W增加而增加。在这种关系中，淤

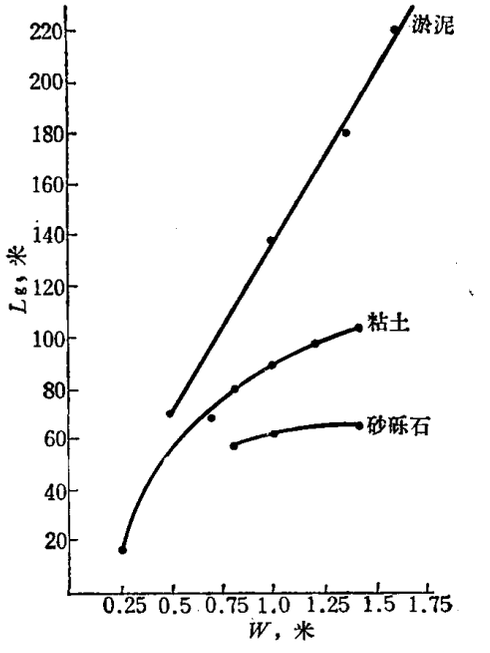


图 1-11 W-L_g关系试验曲线

表 1-4 W-L_g关系试验结果

W（米）	L_g（米）		
	淤　泥	粘　土	砂砾石
0.25		17	
0.50	70		
0.70		68	
0.80		80	57
1.00		90	63
1.20		98	
1.35	180		
1.40		103	65
1.60	220		
Q/V	4	4	3.3

泥增加最快，其次，为粘土，而砂砾石最慢。当W由小变大时，L_g与W关系曲线上，开始段大致是线性关系，以后逐步变缓慢，最后，L_g接近常数值。这种关系对淤泥来说，当$W \leqslant 2$米时，还是线性关系，因此爆破几何相似律不成立。但对粘土和砂砾石，在$W > 0.8$米以后，已经出现L_g接近常数的情况，因而对爆破几何相似律就成立了。

根据所进行的一系列试验的结果表明，影响定向爆破效果的主要因素有临空面、布药律和药包布置。我们把他们简称为三要素。三要素确定以后，单耗$\frac{Q}{V}$对抛距L_g起主要作用。现在，我们就来讨论一下这些要素。

（1）临空面的作用

从图1-8中，我们可以看到，影响定向爆破效果的因素首先是临空面。当抛体群在理想弹道运动时，它的抛距L_g遵循下列式子：

$$L_g = \frac{V^2}{g}\sin 2\theta$$

式中 V——初速度；

θ——初抛角。

由此可见，临空面的条件决定了初抛角θ的大小，因而在同样耗药量的情况下，θ的大小直接影响抛距L_g的大小。因为在有临空面的条件下，炸药爆炸后土体抛掷运动的方向遵循“最小抵抗线”原理，即土体沿最小抵抗线方向抛出。在单斜排布药方案时，无论怎样调整布药律和改变药包布置，最小抵抗线总是垂直于地平面，既使通过群药包相互作用改善一些抛掷方向，但初抛角θ仍然较大，土体抛不远。然而，斜坡临空面存在时效果就大不一样。同样耗药量的情况下，中心抛距增加数倍。根据理想弹道公式，在一定的速度v情况下，最佳的临空面抛角θ为45°。

（2）药包布置

定向爆破的效果的好坏不仅与临空面有关，而且与药包布置有关。

采用图1-9布药方案，所以能取得好的效果，是因为药包布置上考虑了以下几个原则：

①布置药包时，控制水平面长度S与斜坡面长度l的比例以$\frac{S}{l} < 1$为宜，见图1-12。这样，可以减少水平临空面的影响。

②主抛药包q_2应置于S与l交点分角线下方，使$W_1 \leqslant H$，否则，q_2药包易从水平面冲出。

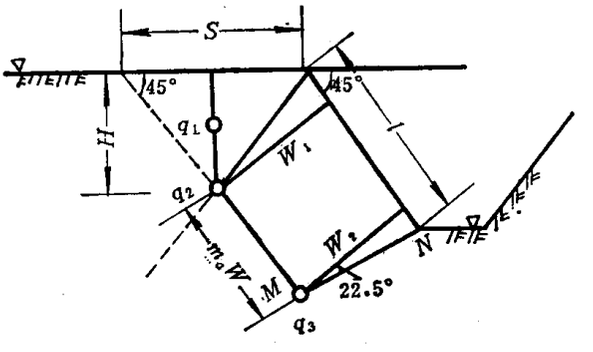


图 1-12 双临空面二孔三药包方案设计原则示意图

③对主抛药包q_3的位置应考虑到充分利用斜面l的长度，同时，避免过多地把能量消耗在设计土体之外。为此，药包与临空面下端点N联线$\overline{MN}$与q_3最小抵抗线之间大致以45°/2角为宜。

④“上压药包”q_1应设置在q_2与地面距离$\frac{H}{2}$处。

⑤q_2与q_3间距或断面上药包个数，应以使设计抛方获得均匀的速度分布为原则来确定。当$a_{层}=1.0\sim1.1W$时，试验得到了平行于斜坡临空面的等抛距线。

（3）布药律的影响

在一定的临空面条件下，要想使土体的抛速分布均匀，除了布置好药包位置外，还必须考虑利用群药包的相互作用来合理的分配药量，据此，可以确定各个药包药量。我们把它称为布药律。

现在以粘土中较好的二孔三药包方案，如图1-9（b）所示与砂砾石中的二孔二药包方案，图1-13（c）为例说明布药律的影响。

图1-9是药包布置断面图。图中，q_1为“上压”药包；q_2、q_3为“主抛”药包。它们的药量之比为：

$$q_1:q_2:q_3=\eta_1:\eta_2:\eta_3$$

$$q_i=\frac{Q\times\eta_i}{\sum_{i=1}^{3}\eta_i}$$

式中 Q——设计断面总药量，公斤；

η_i——某一药包药量比例系数，确定比例系数η_i与每个药包所起的作用有关。

主抛药包q_2、q_3的作用是把设计土体按指定方向抛出。在$\theta=45°$情况下，q_2应等于q_3，但q_3还承担着克服下部土体摩擦阻力，切割抛体与原土体的作用，因此，药量分配上q_3比q_2要大10%左右。

“上压”药包q_1的主要作用，是利用它对q_2的压制作用，减少水平临空面S的不利影响，并把设计土体的上部土体也抛出去。经过多次试验比较，在这种方案中选取布药律为：

$$q_1:q_2:q_3=1.0:1.2:1.3$$

爆破试验表明，这个布药律的爆破效果是比较好的。

图1-13比较了砂砾石中两种布药律的爆破效果，一种是$q_1:q_2:q_3=1.0:1.85:2.0$，另一种是$q_1:q_2:q_3=0:1.0:1.07$。从这两种布药律的等抛距线分布和堆积效果看，它与粘土及淤泥不一样，没有“上压”药包q_1的布药方案好些。这可能是因为砂砾石结构松散，孔隙率大，爆炸气体在孔隙中传播的速度大，而q_1离地表面的距离又比到斜坡的距离短，因此，有可能爆炸气体还来不及把能量有效地传给土体，就从水平临空面漏掉，进而影响了主抛药包q_2的爆炸作用。

综上所述，影响定向爆破效果的，确实是这三个主要因素。

（二）抛掷堆积分布的分析

在药包布置和药量分配比较合理的情况下，得到如图1-9所示的结果。图上给出了药包布置、药量分配、土体抛距和堆积以及漏斗的情况。我们可以把抛掷堆积问题分两个阶段，即抛掷阶段和堆积阶段来处理。

简单地说，抛掷阶段的起点，就是鼓包运动的结束，即鼓包已经破裂漏气，土体开始作弹道飞行。如图1-9所示等抛距线，若去掉两端部分只考虑中间的均匀段，可以看到两个特征：（1）设计抛掷漏斗中的主要土体等抛距线，皆平行于临空面或布药线；（2）沿抛掷方向，即最小抵抗线方向，土体的抛距由小变大。这样，我们便可以用土体的一维

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com