

学术会议
交流资料

垂直漏斗后退爆破法译文集

目

录

一、VCR法球状药包基础	2
二、成排球状药包形成的爆破漏斗	7
三、小型单个和成排球状药包爆破漏斗试验的平面和 角度几何特性	14
四、加拿大怀特霍斯铜矿在松软地层条件下应用 VCR法	22
五、瑞典卢基公司在Fabian矿采用大孔径米矿法	36
六、垂直爆破漏斗后退式采矿法述评	45
七、爆破漏斗在天井掘进中的应用(一)、(二)	54
八、平巷掘进中的爆破漏斗技术	56
九、附题录九条	59

一、VCR法球状药包基础

爆破漏斗的概念及其发展，应归功于C.W 利文斯顿。他一生花很大的精力致力于这项研究工作，为研究和掌握爆炸现象提供了一种很好的工具。并把这项成果用到了地下开采的实际工程之中。

漏斗爆破是指在地表下面爆破一个球状药包，药包爆炸时，爆破能从药包的中心向各个方向发展的一种爆破方式。

在分析爆破漏斗时，已发现：爆破能和受爆破影响那部分物质的体积之间存在一定的关系，而药包的位置又对这种关系有重要的影响。

利文斯顿建立了应变—能之间的关系，用经验公式可表达成：

$$N = EW^{\frac{1}{3}}$$

式中：

N —— 临界深度。指球状药包爆破时，自由面的破坏程度不超过特定的极限时，漏斗的深度

E —— 应变能系数，主给定的炸药类型以及岩体构造条件时受常数。

W —— 药包重量。

上述方程也可以写成如下形式。

$$d_b = \Delta EW^{\frac{1}{3}}$$

式中： d_b 是自由面到药包中心的距离（即药包埋设深度）。 d_b/N 是一个无量纲量，表示埋深与临界深度之比。当破碎岩体的体积最大而且破碎的效果最佳时的 d_b 称为最佳埋设深度以 d_0

表示。

深度的变化

实际的爆破漏斗试验是爆破大量的漏斗，其中药包的型式，重量及岩体的构造都是常数，唯有药包的埋深是变化的。

临界深度由观测取得，每次形成一个漏斗都计算出其体积。图1—1表示的是由爆破漏斗试验所取得的数据绘制的曲线图。图中：横坐标是深度比（ $\Delta = d_b/N$ ）。纵坐标是能量级数（体积/药包重量 V/W ）。利文斯顿的这种理想曲线还表明了爆破从隔离区到放空炮区的重要转换界线。

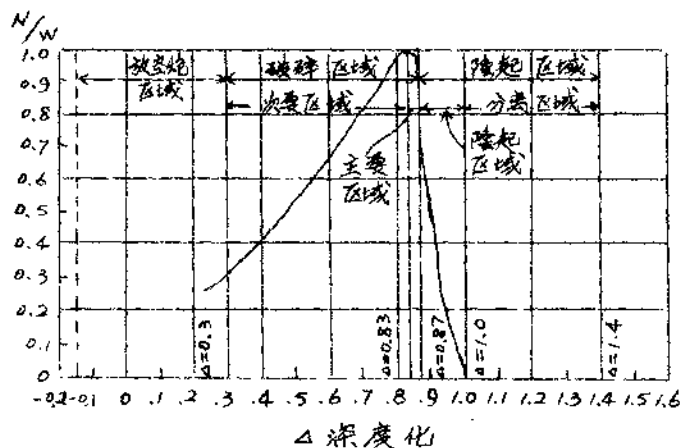


图1—1. 爆破漏斗试验所得的深度比与能级关系曲线图

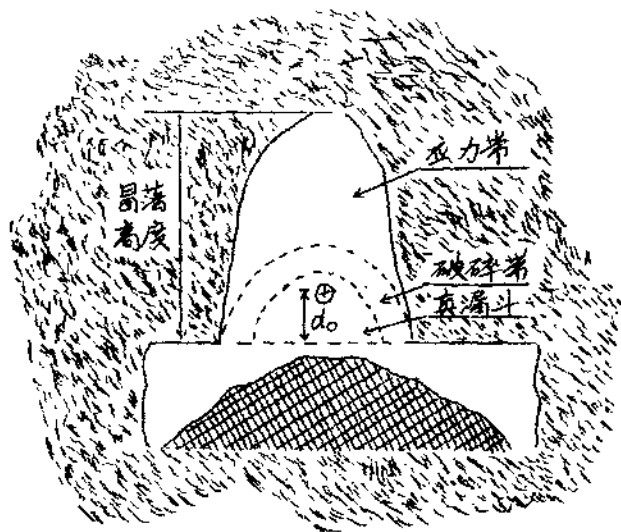


图1—2. 在巷道的顶板上爆破球状药包后的情形

一旦建立了这条曲线，从曲线的相应部分取一近似值，应用通常的立方根法来设计球状药色就可以满足，从简单地将岩石从岩体中分离到有效地破碎岩石以及抛掷爆破的任何要求。

变有效的药色

利文斯顿认识到，药色的形状是很重要的因素。他确立的破碎过程公式为：

$$V/w = E^3 A \cdot B \cdot C$$

C 表示受药色形状影响的应力分布系数。

A 是能量利用系数，它与有效能的损失有关，

B 是岩体的特征指数，它与对岩体加载和卸载的过程中条件的变化有关。

C 的数值通过在同种岩石中，用等量的炸药爆破两个不同形状的药色来证实，可以发现球状药色与柱状药色仅在形状上有所差异，而破碎岩体体积前者却比后者大得多。

球状药色与柱状药色的比较

	球状药色	柱状药色
炸药类型	C_{α}	C_{α}
药色重量	10 磅	10 磅
炮孔直径	$4 \frac{1}{2}$ 吋	$2 \frac{5}{8}$ 吋
炮孔深度	4 呎	4 呎
直径与长度比	1:2.7	1:1.5
漏斗体积	155 m^3	38.6 m^3
漏斗半径	5.7 呎	4.8 呎

利文斯顿的方法是一个经验的方法，最近才由 R·L·Ash 对球状药色和柱状药色之间破碎机理的差异作出了较科学的解释。

炸药爆炸时，产生了压力，此压力作用在整个孔壁上，而转换成能。这种能在周围的岩体中形成了使岩体破裂和位移的必需的应力条件。

爆破产生两种有明显区别的压力。第一种是通过药包爆炸时的波前峰而扩展的爆轰压力，此时爆速直接影响了这个压力的大小，爆轰压力的大小大致与炸药密度和爆速的平方成正比。这种压力仅在很短的时间内作用于药包四周的岩壁上。对柱状药包而言，在典型的炮孔中，爆轰压力对孔壁岩石的作用很小，仅在药包周围和相对的起爆点爆轰压力才会产生最大的作用。从而可以得出结论：

使用柱状药包爆破压力对破碎岩体并不是很有效的。

起主导作用的钻孔压力。

第二种压力紧跟第一种而出现，它是由化学反应时形成的高温所产生的钻孔压力。并使孔壁承受着持续的载荷，因此，在破碎的过程中起主要作用的是钻孔压力。

在柱状装药的炮孔中，由钻孔压力所形成的动载荷，绝大部分是直接沿孔的轴线以径向放射状朝外传播。作用于药包两端的动载荷很少，甚至没有。

球状药包的爆破机理则完全不同，它所产生的压力，直接从药包中心呈放射状地向四周传播，并且这种力通过药包中心对四周形成一种均匀地球状的扩散作用，药包周围的岩面承受了全部的爆轰压力和钻孔压力。

利文斯顿使用真正的球状药包时发现：只要药包的直径和长度与真实的球状药包相比，比差不大于 1:6 时，两者的破碎机理以及爆破效果是相同的。

过去爆破生产中未使用过球状药包。当时，为研究才使用爆破漏斗。药包向上爆破，形成一个正向爆破漏斗（这样爆破斗就可水平自由发展）。但是如果爆破球状药包是米切或任何开挖巷

道的顶部时，就会得到一个崭新的爆破漏斗概念，而形成一种新的爆破技术，这个技术正在发展成为一种新的地下开采法。

在我们的应用中，漏斗是下向的。此时，重力和摩擦力并不影响爆破的效果，相反由于整个破裂地带的移动，重力却加大漏斗的尺寸。

巷道一旦开挖，就破坏了岩体的平衡，并在巷道的上面形成一个椭圆形的应力带。此时，如果不用锚杆或其它形式进行一些适当的支护则应力带内的岩体，就会立刻或稍迟些脱落（如图1-2所示），这与岩体的稳定性有关，当在巷道的顶板形成爆破漏斗时，这种应力带就会加大，随着爆破破裂加剧。然次脱落，脱落的高度可以超过球状药包最佳埋入深度的很多倍，它取决于岩体的性质和地质构造。

郭仲明译自加拿大采矿杂志，1977.9.

70~71页

肖继荣 校

二、成排球状药包形成的爆破漏斗

摘 要

由于限制药包重量的大直径炮孔的应用，新的地下开采技术正得以发展。

本文介绍了在砂质和冻土层中，以立方根比法试验单个和成排药包的简略看法。这种立方根关系是与地下开采实践有关，尤其是适宜的几何结构的药包。

定 义

“爆破漏斗”概念是某种物质，通过药包的爆炸作用，在其表面形成的一个洞穴。

爆破漏斗试验包括，限制药包在一个自由面下，以不同的埋入深度所形成爆破漏斗的大小。球状药包埋入深度是指药包中心到自由面的距离。

通常，立方根比是用来确定球状药包的重量或等效球状药包，以及在不同的埋入深度下形成爆破漏斗的指数。实际上，立方根比应用的药包，其长度与直径之比 $l:D \leq 4:1$ ，最大不超过 $6:1$ 。

指数以呎/磅^{1/3}表示，例如 8 磅的药包，埋入深度 (d , 0. h) 为 3 呎，指数表示为 3 呎/(8 磅)^{1/3} 或 1.5 呎/磅^{1/3}。

比 例 值

在给定的地层中，以适当规格的试验药包（重 50 磅）和代表现场生产所用 500 磅的药包，这一相似比例值可得到最佳埋入深度和爆破效果。此为比例值的特点之一。由此构成试验药包与生产中实际药包重量之间的比例关系，并能从不同重量的药包中得出一个简明的比例值范围。

第二个特点是，绘制按比例值的爆破漏斗尺寸与埋入深度之间的关系图。确切地说，即把这组试验中所得的离散的数制成曲线图，从中截取一理想段，作为设计爆破漏斗的参考。

第三个特点，可反映地层与爆破的自然特性。在脆性岩层中，增加药包的埋入深度，可获得与药包规格相对应的最佳爆破漏斗，但在这些不同的埋入深度中，预计有55~65%的数值处于最佳特性曲线段内。另一方面，在冰层和含有足够厚度的地层中，从最佳漏斗到药包规格，有一个迅速的转变过程。在不同的埋入深度中，有85%的数值处于最佳特性曲线段内。这种特性表明，在最佳的破碎作用和规格之间，有一个很窄小的范围。

爆破漏斗试验数据图表也可用来在给定地层中，评价不同炸药的效果。但由于这些数据很离散，所以，形成的爆破漏斗会有明显差异，因此，在考虑凿岩和选用炸药的经济效益时，这些数据是一般值。

图2-1和图2-2为按比例尺的爆破漏斗曲线图。

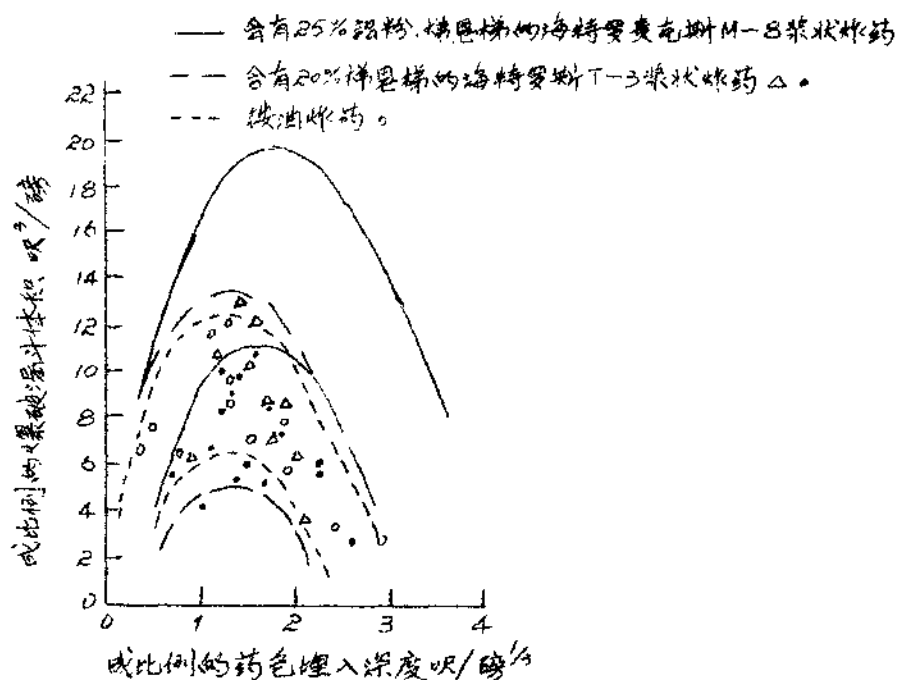


图2-1. 湿透的砂质土中成比例的漏斗体积与药包埋入深度之间的关系

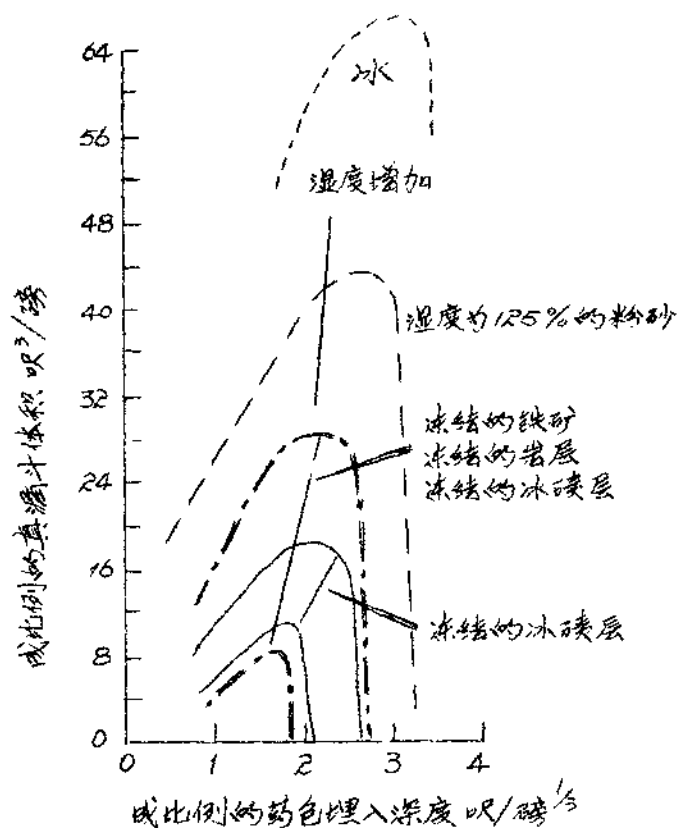


图2-2. 各种冻结物质中爆破得到的成比例的真漏斗体积与埋入深度曲线图

成排药包

单个药包漏斗试验的结果为成排药包爆破漏斗设计提供了基本资料。

在砂中进行的爆破漏斗试验发现（以重250磅的铵油炸药包为基础），成排药包的埋入深度等于单个药包的最佳埋入深度（ $d.O.b$ ），药包间距等于 $2 \times d.O.b$ ，便可获得开沟的最佳效果。

继后，Robson 氏也在砂中作了多种炸药的试验，同样证明了这种简单关系。要想形成较大爆破漏斗，则采用埋入深度和间距的较大值。每个药包都采用导爆索连接，同时起爆。

在湿透的砂质土中爆破，比在干的砂质土中爆破形成的爆破漏斗更好。这是由于湿砂中的孔隙压力减小了砂质土的抗剪强度，并用了20磅的铵油炸药进行试验，药包间距为 $2 \times d.o.b$ 爆破效果同样好。

图2-3为在湿透的和干的砂质土中开沟爆破结果。

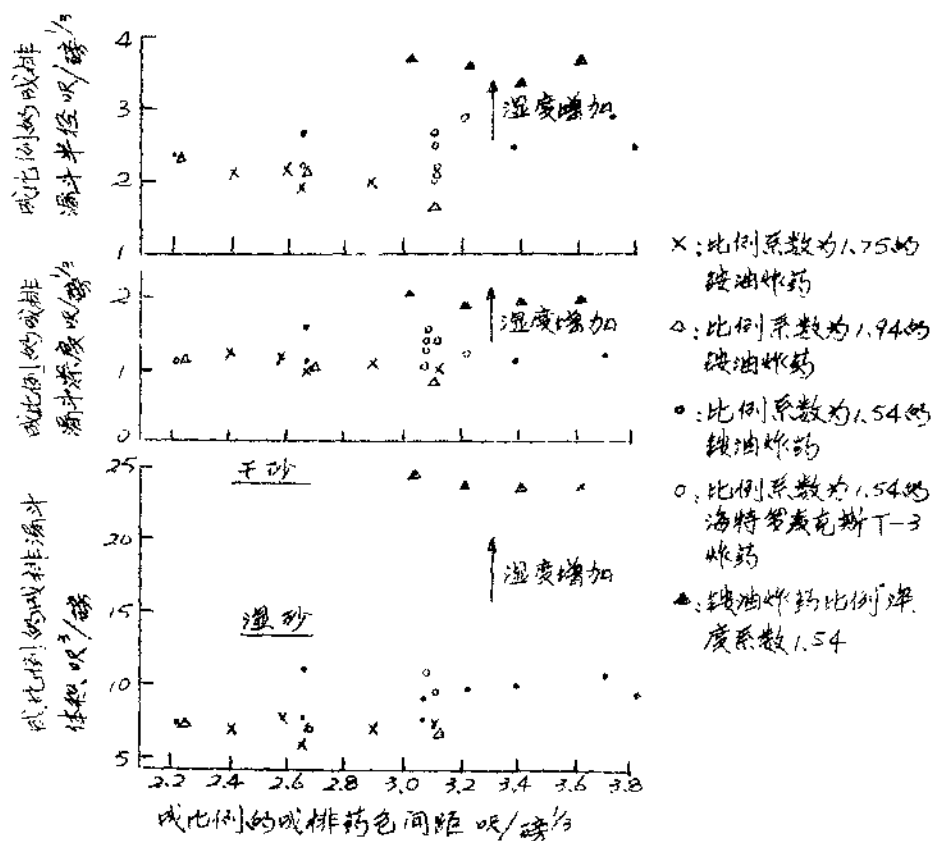


图2-3. 在砂质层中起爆各种铵油炸药和浆状炸药得到的沟渠外表尺寸

在冻土层中，也进行了单个和成排药包的爆破漏斗试验，药包为重50磅的梯恩梯敏化的浆状炸药和铝粉敏化的浆状炸药。

最佳值规定为，在相同埋入深度下，获得最大开挖体积的破碎作用。也就是说，药包埋入深度为 d ，药包间距为 $1.6 \sim 1.8 d$ ，采用瞬时起爆，成排药包会获得最佳效果。

以后 Baver 等人进行了更广泛的试验，包括开挖七条沟渠，采用重 50 磅的铵油炸药，铝粉敏化的铵油炸药和铝粉敏化的浆状炸药。试验结果也证明了上述关系。

Lang 氏认为，在爆破冻土层时，由于抵抗线过大所产生的快速作用，建议采用接近最佳埋入深度的保守值。

多排药包爆破，可用于开挖冻土层或低台阶，排间距与单排的药包间距相同，应交错布置。

表 1 为开沟或破碎冻土层时，推荐的药包埋入深度和间距值。此表是根据已公布的部分数据绘制成的。

表 1. 冻土层中药包爆破参数

	单孔成比例的最佳埋入深度(呎/米)	成排药包破碎条件	
	成排药包的埋入深度(呎/米)	成排药包的药包间距(呎/米)	
机械凿岩和冻土层爆破			
冻结的硬铁石或物	1.8	1.8	1.3~1.5
冻结的冰碛层	2.1	2.1	1.6~1.8
冻结的粉砂	2.1	2.1	1.6~1.9
冻结的铁矿	2.3	2.3	1.6~1.9
冻结的汤普砂	1.7	1.7	1.5
用炸药爆破开沟的计算条件			
冻结岩层和冰碛层	1.3	1.3	1.4~1.6

地下开矿中的成排爆破漏斗

在过时的材料中，~~地下开~~采发展为大直径深孔落矿。由于凿岩设备和工具的改进，降低了凿岩成本，使大直径深孔的应用得

以保证。

最初，在大直径深孔中采用连续的柱状装药方式，如Creet等人报道，加拿大国际镍公司将铵油炸药装入直径为6吋的深孔中，只有孔底和孔口分别留有6呎和15呎不装药，又如Blarey等人报道，Texasgulf矿曾将铵油炸药连续地装入7 $\frac{7}{8}$ 吋孔中进行爆破作业，并对矿柱轮廓线上的炮孔改用4吋泄水孔来作不规则装药，爆破后矿柱壁和邻近的巷道都遭受了严重破坏。

通常，为了控制过碎作用而减少药包的重量，然后成排起爆。水平分层爆破是将药包置于孔底，而垂直分层爆破则沿一组炮孔的长度分段装药。

药包适宜的长宽与直径之比为 $L:D \leq 6:1$ ，对多排药包爆破，考虑用立方根关系时，埋入深度和间距都应当减小。Anderson氏曾对Levack矿的矿柱回采作了报道，该矿将重75磅，长3.5呎的药包置于6.5吋炮孔的孔底，采场顶板至药包中心的距离为6呎，比例关系为1.4呎/磅 $^{1/3}$ ，药包间距为10呎，即 $1.7 \times d.o.b.$ ，药包交错布置，其支距为7.5呎，排间距为 $1.5 \times d.o.b.$ 。

采用1.4呎/磅 $^{1/3}$ 的比例关系，间距为 $1.7 \times d.o.b.$ 和 $1.5 \times d.o.b.$ ，此种规格比表1中冻土层爆破的装药量多。因为在这种条件下，允许过度地破碎地层，或者说在自由面地段的几何结构中，要求药包有较大的破坏能力。这适用于破碎矿柱中，才能崩塌更大的厚度。

相似爆破法已被用于回采作业中；但目前要用立方根比概念来评价，其数据还嫌不足。

Blakey等人指出，采用分段装药法，炮孔直径为7 $\frac{7}{8}$ 吋，药包重量为350磅，长度为20呎，药包间隔为10呎， $L:D = 30:1$ ，用立方根比概念来算，认为其比例太大，这种情形中，进行平方根比探讨，将更合适。

结 论

大直径炮孔在目前和将来的地下开采技术中都是可行的。

由于要求防止过碎作用，药包重量应受限制，但为了有效爆破起见，药包仍应有足够的重量。

可用立方根比概念绘制的数据图表和简单的尺寸关系，来评价回采作业中的爆破漏斗效果。由于岩层性质各异，数值离散，绘制成的图表就有差别。其影响或许在回采作业中得以证实。

今后，在地下开采中，仍采用大直径炮孔和短药包装药是大有前途的。

肖继荣译自《加拿大矿业公报》。

1978.1. 66~68页

刘元华 校

三、小型单个和成排球状药包爆破漏斗试验的平面和角度几何特性

摘 要

单个和成排球状药包所形成爆破漏斗的几何特性的资料来源甚多，而且都是以单一自由平面形成爆破漏斗为基础的。但实际上自由面更复杂的情形是含有一个带角度表面的几何结构，例如台阶底或采场帮壁。为此，进行了试验工作。

试验的目的及：

1. 观测单个球状药包在平面和角度几何结构之间形成爆破漏斗的变化；

2. 找出单个球状药包在单一自由平面下，超深和不超深以及采场帮壁形成爆破漏斗的最佳特性；

3. 观测以不同埋入深度和间距，对于一个带角度表面的多排球状药包形成爆破漏斗的特性。成排球状药包埋入深度和间距的尺寸，是以单个球状药包埋入深度数值的简单倍数表示的。

试 验 过 程

所有的药包均采用瞬时电雷管，药包长度：直径约为 $L:D = 3.1:1$ ，确定漏斗试验条件为立方根关系，其比例为 $L:D \leq 4:1$ 。

所有的试块均采用水泥砂浆（3份砂，1份水泥 水量调至糊状为止），然后灌入木箱内，再养护三周以上。

单个药包置于试块侧面的钻孔中，成排药包置于试块背面的钻孔中。所有炮孔都用于砂充填。

将爆破后的试块集中，密封张开裂缝，倒出砂子，然后测定爆破漏斗的体积。

单个药包试验

为了确定单一自由面情形下形成爆破漏斗的相关条件，试验了九个药包，其结果如图3-1所示。

为了测定形成爆破漏斗的 90° 表面，模拟超深处，用了十六个药包，模拟不超深条件下采场帮壁处，用了十五个药包。图3-2和图3-3为上述试验结果。图3-4中有试验尺寸和台阶底部试验结果表格，图3-5为表2中第4排的试验照片（译文中略）。

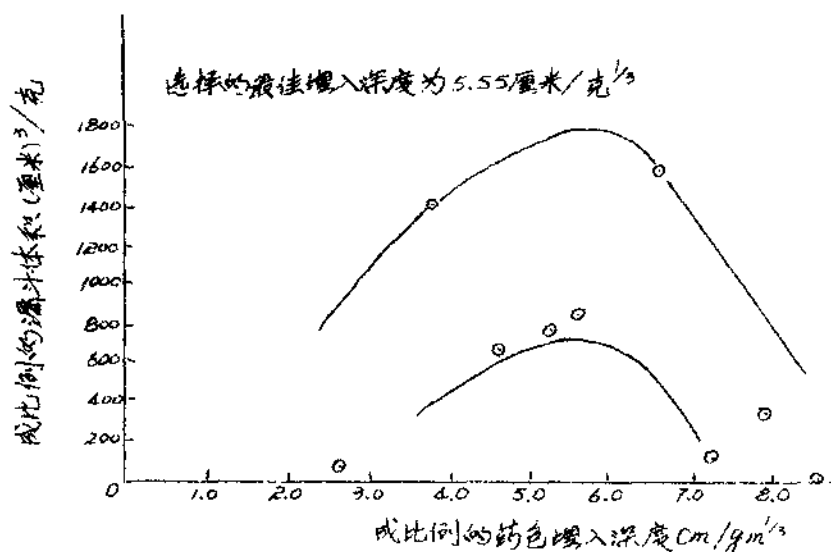


图3-1 自由平面成比例的漏斗体积与药包埋入深度之间的关系

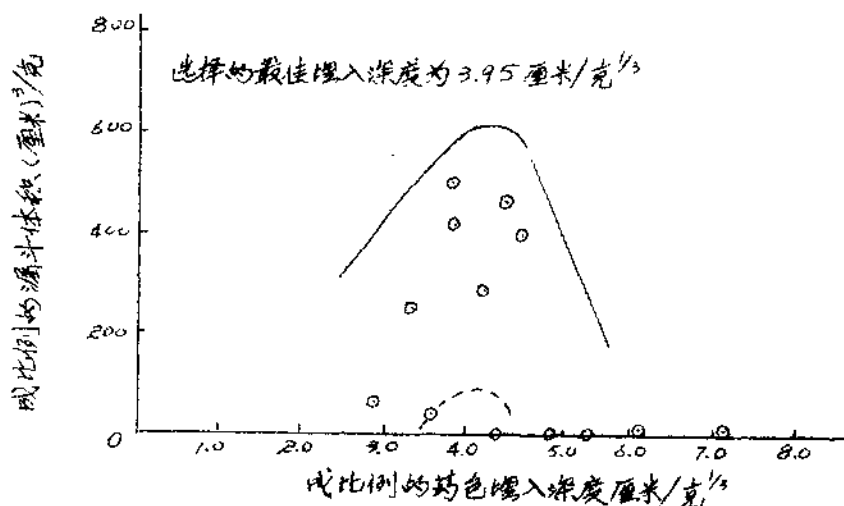


图3-2 台阶底部(超深)成比例的漏斗体积与药包埋入深度之间的关系

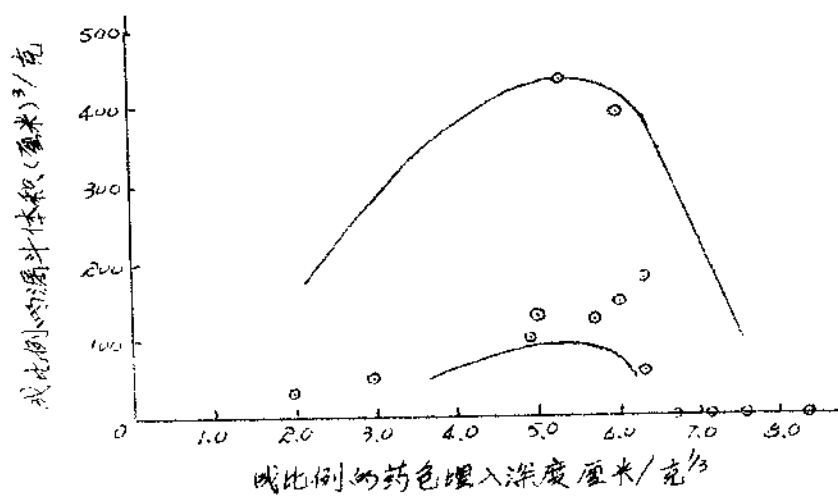


图3-3. 台阶底部(无超深)成比例的漏斗体积与药包埋入深度之间的关系