

延长药包爆破漏斗特性的试验研究

(论文摘要)

金骥良* 冯叔瑜**

(1982年10月27日收到)

本文通过黄土中的小型爆破试验,就延长药包的定义及其爆破漏斗的特性这两个基本问题进行了分析研究。作者提出了应把药包长径比 $\phi = 20$ 作为延长药包下限的建议,总结了延长药包爆破漏斗在不同埋深下的变化规律,归纳了相应的抛掷爆破有关参数的经验公式,旨在促进延长药包作用机理的研究,并为其在工程上的应用提供一定的设计依据。

近十多年来,延长药包在水利和筑路工程上得到了广泛运用。实践表明,延长药包的爆炸能量利用率高于集中药包,具有抛体集中、利于药室开挖和机械化施工等许多优点。然而,延长药包的这些长处,尽管在实践中已为人们所赏识,可是在理论与试验研究上,与集中药包相比,无论其广度和深度都嫌不足,在延长药包的作用机理,爆破效应,设计理论乃至延长药包本身的定义上,都尚有许多课题有待于研究和探讨。

本文就延长药包的定义及其爆破漏斗的特性两个基本问题,通过在黄土中的试验,进行了分析研究,旨在推动延长药包爆破作用机理的研究,并为工程上应用延长药包提供一定的设计依据。本文主要分以下几部分叙述。

一、关于延长药包的定义

为了适应现代爆炸理论和爆破技术的发展,对原有延长药包的定义应予适当的补充修改。根据典型药包作用的特性,提出了新的定义的依据,认为延长药包应具有长圆柱药包作用的两个主要特征:

(1) 漏斗表现特征及其作用物理量具有轴对称的特点

(2) 符合平方根相似律,即有 $W_1/\sqrt{q_1} = W_2/\sqrt{q_2}$,且作用物理量 F 应为比例距离 $\bar{W} = W/\sqrt{q}$ 的函数 $F = F(W/\sqrt{q})$,式中 F 为应力波作用的物理量, W 为离开爆轴距离, q 为单位长度装药量。

通过黄土中漏斗特性随药包长径比变化的试验结果来确定延长药包定义的下限。其试验结果有:

1、漏斗平面几何形状的变化，随着药包长径比 ϕ 的增加，由圆→椭圆→园柱形（中间为园柱截面、两端衔接为近乎半园的封闭曲线）变化的界线是：长径比 $\phi \geq 8$ 以后，呈明显的椭圆形；长径比 $\phi \geq 20$ 以后，漏斗中间部分出现平直，即过渡到园柱形。其变化过程如图1所示

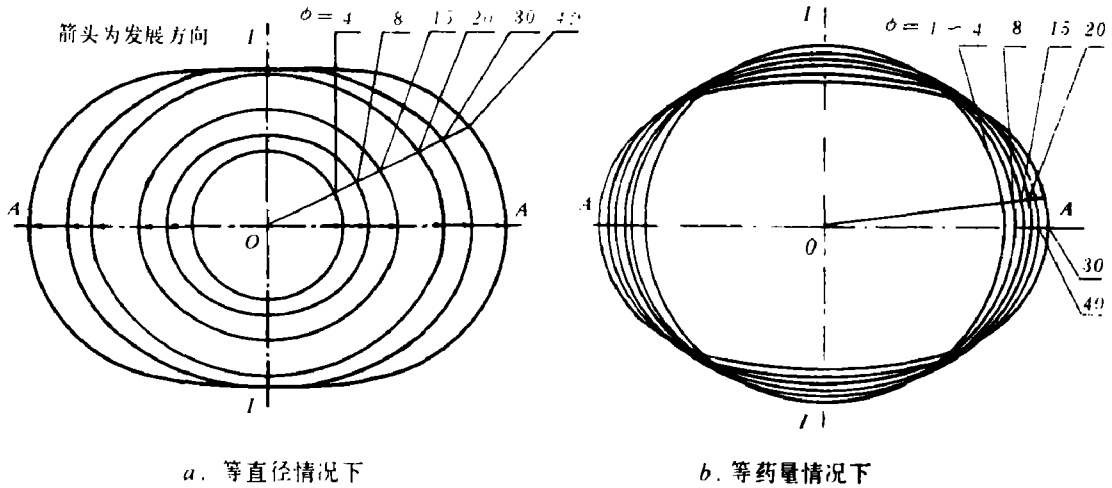


图1 漏斗平面形状随药包长径比的变化

2、抛体堆积分布上，在长径比 $\phi \geq 20$ 以后，具有显著的轴对称特点，抛体集中于药包轴线两侧，在轴向无抛掷堆积

3、可见漏斗特征参数：漏斗直径 D' 、中心深度 p 、爆破作用指数 n 等，在埋深不变直径相等的情况下，随 ϕ 增大而增大，在 $\phi \geq 20$ 以后，趋于稳定；而在埋深相同药量不变的情况下，在 $\phi \geq 20$ 以后，又都呈明显下降的趋势。（图2、3所示）：这表明在 $\phi \geq 20$ 以后，漏斗特征量随比例埋深 $\bar{W} = W/\sqrt{q}$ 变化，基本上具有了平方根相似律的特性。

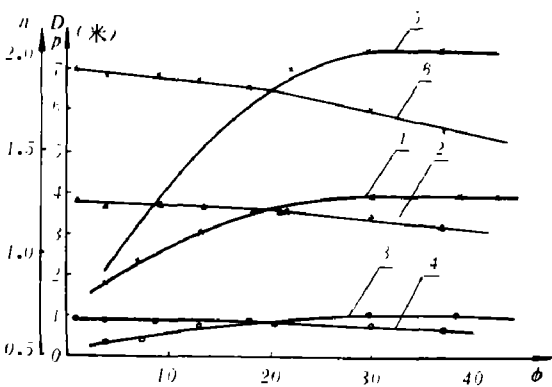


图2 D' 、 p 、 $n \sim \phi$ 曲线 1、3、5—等直径情况下的曲线，2、4、6—等药量情况下的曲线

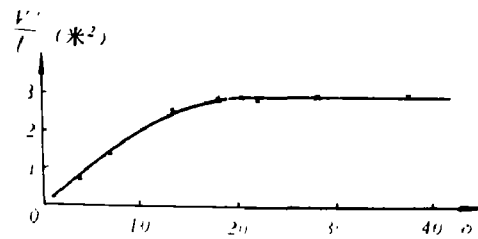


图3 等直径情况下 $V'/l \sim \phi$ 曲线 V' —药包抛出体积， l —药包长度

根据Г. И. 波克罗夫斯基关于在变形介质中冲击波作用的理论，我们定量地论证了在黄土中应用TNT药包条件下药包长径比 $\phi_{min} = 19.5$ 为具有园柱药包作用特性的极限条件。为了对比，我们还引证了苏A. H. 哈努卡耶夫等人的应力波试验结果。

最后, 提出建议应把长径比 $\phi = 20$ 作为延长药包的下限, 把长径比 $\phi \geq 20$ 的药包定义为延长药包。



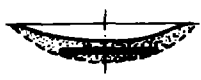

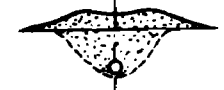




二、水平延长药包爆破漏斗特性的变化规律

我们分析了集中药包 ($\phi = 1$) 和延长药包 ($\phi = 30$) 爆破漏斗特性试验的结果, 归纳了两种药包在漏斗效应上的相似之处和不同特点, 主要有:

1、两种药包除上述在平面几何形状上有不同以外, 在同样的爆破作用指数时, 其表面破碎状况和爆破漏斗的剖面形状十分相似。当 $n > 1.5$ 时, 在土壤中出现抛掷可见漏斗; 在 $1 < n < 1.5$ 时, 抛掷土壤大部分回落到坑内堆成馒头状; 在 $n = 0.7$ 松动爆破时, 表面破裂范围最大, 且出现大块破碎; 在达临界深度时, 地面稍鼓或有裂缝。

爆破漏斗剖面, 在 $n > 1$ 时, 呈抛物线状; 在 $n = 1$ 时, 接近正园锥形; 在 $0.5 < n < 1$ 时, 似喇叭状。其变化如下表 1 所示。

表 1 两种药包漏斗剖面比较

爆破作用指数 n	集中药包漏斗剖面	延长药包漏斗剖面	
		径 向	轴 向
$n > 1.5$			
$1 < n < 1.5$			
$0.5 < n < 1$			

2、从两者抛掷可见漏斗相比较, 可见漏斗中心深度 p , 集中药包比延长药包大 11~18%, 抛出体积 V' , 延长药包比集中药包大 6~13%。

3、两种药包的漏斗体积特性曲线也很相似。(图 4)。在药包埋深 W 由浅入深变化时, 爆破漏斗体积 V 由小到大, 在 $n = 1$ 时, 即在标准抛掷爆破埋深时, V 达极大值, 而后又逐渐减少, 直到临界深度时, $V = 0$ 。

但是, 仔细比较可得, 抛掷爆破 ($n > 1$)

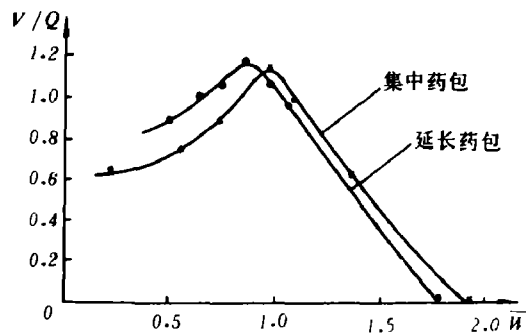


图 4 漏斗比例体积特性曲线

时，延长药包爆破漏斗体积比集中药包大(13~17)%，而在松动爆破($n < 1$)时，则相反，集中药包松动爆破漏斗体积比延长药包大(5~8)%。在最佳深度(即标准抛掷埋深时)时，其最大爆破漏斗体积相比，延长药包比集中药包大3%。

4、从漏斗理论参数比较，延长药包的临界深度 N_c 和最佳深度 W_{ic} 均小于集中药包相应的 N_c 和 W_{ic} 。在黄土中用TNT炸药时，两者相应参数之比为： $N = \frac{N_c}{N_s} = 0.90$ ； $W = \frac{W_{ic}}{W_{is}} = 0.86$ ；变形能量系数之比 $E = \frac{E_c}{E_s} = 0.92$ ；最佳深度比之比 $\bar{d} = \frac{d_{ic}}{d_{is}} = 0.98$ 。

对上述试验结果，我们从能量观点定性解释了爆破漏斗体积变化的规律，并从理论上推导了两种药包临界深度和标准抛掷深度之间的关系，其关系方程式为

$$ax^3 + bx^2 = 1 \quad (1)$$

式中 a 和 b 与炸药、介质的性质以及药包形状等因素有关。对于临界深度

$$a = 1 - 0.93\gamma^{-1/6}, \quad b = \frac{1.5\phi^{2/3}}{\sqrt[3]{2\pi\rho_0 \cdot E}} \quad (2)$$

对于标准抛掷深度

$$a = 1 - 1.75\gamma^{-1/6}, \quad b = \frac{2 \cdot \sqrt[3]{K} \cdot \phi^{2/3}}{\sqrt[3]{2\pi\rho_0}} \quad (3)$$

其中， γ 为土壤容重， E_c 为集中药包变形能量系数， ρ_0 为装药密度， K 为标准抛掷药量系数。由上述方程和试验场地具体条件，计算所得结果与试验结果相比，相差不超过8%。

三、延长药包抛掷爆破参数计算公式

我们根据黄土中抛掷爆破的试验数据，进行回归分析，得到以下经验统计公式：

1、抛掷爆破药量公式

$$q = 1.1KW^2 \left(\frac{1+n^2}{2} \right)^{1.4} \quad (4)$$

式中 K 为标准抛掷爆破药量系数。本试验黄土场地条件下，TNT的 $K = 1.1$ 公斤/米³，2[#]硝铵炸药的 $K = 1.25$ 公斤/米³。

2、可见漏斗深度公式

$$P = (0.40 \sim 0.44) \cdot \left(\frac{1+n^2}{2} \right)^{0.7} \cdot W \quad (5)$$

对TNT取大值，硝铵炸药取小值。

3、漏斗开口长度计算公式

$$B = l + (2n - a\sqrt{1+n^2})W \quad (6)$$

式中 a 为与炸药和介质性质有关的系数。在本试验黄土用TNT炸药条件下， $a = 0.4$ 。

4、土壤中单位药量抛掷爆破体积统计公式：

TNT：

$$\frac{V}{Q} = 1.0259 - 0.8574 \frac{W}{\sqrt{q}} + 1.2122 \left(\frac{W}{\sqrt{q}} \right)^2 - 0.0343 \left(\frac{W}{\sqrt{q}} \right)^3 \quad (7)$$

2*岩石硝铵:

$$\frac{V}{Q} = 0.9079 - 0.8066 \frac{W}{\sqrt{q}} + 1.0727 \left(\frac{W}{\sqrt{q}} \right)^2 - 0.0285 \left(\frac{W}{\sqrt{q}} \right)^3 \quad (8)$$

我们的试验是在黄土中、小抵抗线条下进行的,因而结论会有一定的局限性。

本文承蒙王中黔、顾毅成、刘建亮、李保国、高子云等同志具体指导和帮助,在此深表感谢。

EXPERIMENTAL RESEARCH IN THE CHARACTERISTICS OF BLASTING CRATER OF LENGTHENED CHARGE (THESIS ABBREVIATION)

Jin Jiliang

Abstract

Based on experimental explosions of small amounts of charge in loessy soil, in the paper, analyses and research have been made on the definition of lengthened charge and on the characteristics of its blasting crater.

The author concludes the variable law of blasting crater under different buried position, induces the corresponding experimental formulae for throwing blasting and recommends that the length-to-diameter ratio 20 be the lower limit of a lengthened charge.

The purpose of this article is to advance the explosive mechanical investigation of lengthened charge and to provide the design basis for its engineering application.