

垂直条形药包土中半压缩爆炸成型

陶纪南*

(1983年5月10日收到)

本文讨论了垂直设置的条形药包土中半压缩爆炸成型一般原理。条形药包半压缩爆炸成型是各种爆炸型式中的一种典型情况,在系统试验的基础上,建立了计算漏斗坑各部参数的经验公式以及药包群的设计布置方法。

以炸药为能源在土中直接成型各类土工结构是一项开展研究时间不长的新技术,它在地基加固,黄土原爆炸成井,高水位地区基坑开挖,人防工程,特别是在战时敌火力下水网地区快速构筑各类野战工事方面有很大的优越性。

本文所及,仅限于垂直埋设的条形药包在土中成型基础坑(平底坑)的设计和计算方法,即条形药包压缩爆炸成型及端部抛掷效应的综合设计计算方法。因为,用这种方式成型基坑,不仅速度快,而且有阻隔和延缓地下水渗入基坑的作用。例如在南方水网稻田区,人工开挖一个宽2.5米、长4米、深2米的基坑,12小时后渗水深度达20厘米,每昼夜渗水量 $2.5 \sim 3.0 \text{米}^3$ 。而用爆炸法成型基坑,则在7~30天内基本保持干燥或渗水很少。在施工中和工程建设上具有特殊意义。

一、一般原理

土中爆破用的装药有条形药包和集中药包,在压缩或半压缩爆炸型成中多采用条形药包。

条形药包垂直埋设在塑性效好的土层中爆炸时,如果药包的埋入深度很大,爆炸后形成压缩空室的叫压缩爆炸成型;如果药包的埋入深度较小,爆炸后少部分土壤被抛出,大部分炸药能量用来形成压缩空室的叫半压缩爆炸成型;如果把药包的埋入深度进一步减小,致使爆炸后大部分土壤被抛掷出去,这种爆破叫抛掷爆破。本文只讨论半压缩爆炸成型,它在土层的爆炸成型中具有代表性。为了阐述的方便,下面从单个条形药包的研究入手。

1. 垂直埋设的单个条形药包土中半压缩爆炸成型的几何特征

单个条形药包土中半压缩爆炸成型的空腔由抛掷漏斗坑和压缩空室两部分组成,其中抛掷漏斗坑随土壤性质不同有所差异,但只要仔细辨认,总是可以分出这两部分。图1是它的几何特征的构成情况。图中: R_M —抛掷漏斗坑外沿半径; R_H —压缩空室半径; h_k —漏斗坑飞散部分高度(简称飞散高); h_c —漏斗坑压缩部分高度(简称压缩高); S —爆炸深度,

* 参加试验工作的还有唐业山、黄明昌同志

$S = h_{11} + h_{12}$ ； P —可见深度； H —药包埋置深度； d_0 —药包直径； L_0 —药包长度。

图1诸参数中，前六个是描述漏斗坑的，后三个是描述药包的。试验研究的任务在于建立漏斗坑诸参数与药包诸参数之间的定量关系。

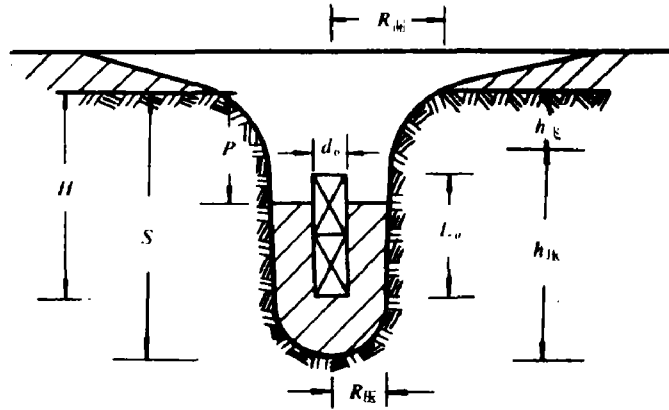


图1 条形药包半压缩爆炸成型几何特征

2. 单个条形药包土中半压缩爆炸成型的参数计算

影响漏斗坑形状和尺寸的因素很多，与炸药的特性有关，也和土层的性质有关；既和药包本身的参数有关（如装药密度、药包直径、药包长度），也和药包的埋深有关。为简化起见，我们将试验条件固定为：炸药用2号岩石硝铵炸药，药包密度控制在0.9~1.1克/厘米³范围内；试验在砂质粘土中进行（天然容重1.82吨/米³，含水量20%）。这样，研究就暂时排除了炸药与土质这两方面的因素，使问题简化为九个参数。

九个参数中，前六个量（ R_{11} 、 R_{12} 、 h_{11} 、 h_{12} 、 S 、 P ）是未知量，也叫待定特征量；后三个量（ H 、 L_0 、 d_0 ）是已知量，是试验者可以主观确定的，故也叫主定特征量。经过这样划分后，问题便进一步归结为三个自变量的函数关系了。

通过多次爆炸试验观察，发现六个待定量中以压缩空室半径 R_{11} 和飞散高 h_{11} 最为重要，其它的量可以随这两个量的确定而确定。至此，问题便简化为五个参数（三个主定量，两个待定量）的问题了。借助量纲分析便可以具体组织试验。

(1) 压缩空室半径 R_{11} 的确定

试验发现，当条形药包长度 L_0 及埋置深度 H 超过一定值后，它们对压缩空室半径 R_{11} 的影响就不明显了。这时 R_{11} 主要和药包直径 d_0 有关，而有众所熟知的，广泛应用的计算公式

$$R_{11}/R_0 = m \quad (1)$$

式中， R_0 —药包半径，即 $d_0/2$ ； m —与土层性质有关的系数，一般叫土层土压系数，几种土层中的试验结果列于表1。 w 表示含水量

表1 土层系数表

系 数 土 层 名 称	m	k_1	k_2
砂 质 粘 土 ($w = 20\%$)	15~17	1.0	1.15
多 孔 性 黄 土 ($w = 20\%$)	17~20	0.85	1.1~1.2
灰 色 淤 地 质 粘 土 ($w = 40\%$)	30~33	0.8	1.1

(2) 飞散高 h_{κ} 的确定

试验表明, 飞散高 h_{κ} 受药包直径 d_0 、药包长度 L_0 、药包埋深 H 等的显著影响, 根据量纲分析可建立如下判据方程:

$$\frac{h_{\kappa}}{H} = f\left(\frac{L_0}{d_0}, \frac{H}{L_0}\right)$$

考虑到土层性质的影响则有如下形式:

$$\frac{h_{\kappa}}{H} = k_1 f\left(\frac{L_0}{d_0}, \frac{H}{L_0}\right)$$

式中 k_1 —与土层性质有关的系数。 L_0/d_0 药包长细比, 反映药包形状参数; H/L_0 药包相对埋深, 反映药包埋置深度与药包长度的关系。

根据上述方程组织试验, 再经过平差和数据整理, 得出如下经验公式

$$\frac{h_{\kappa}}{H} = k_1 \left(1.114 - 0.215 \frac{H}{L_0} \right) \exp \left[- \left(0.017 + 0.012 \frac{H}{L_0} \right) \frac{L_0}{d_0} \right] \quad (2)$$

(3) 式比较复杂, 使用不方便。当 L_0/d_0 小于30时, 可进一步简化为:

$$\frac{h_{\kappa}}{H} = k_1 \left(1.1 - 0.25 \frac{H}{L_0} - 0.016 \frac{L_0}{d_0} \right) \quad (3)$$

当 L_0/d_0 在30以内时, (3) 式计算误差一般不超过5%, 当 L_0/d_0 超过30以上时, 需按(2)式计算。从上式可以看出, 半压缩爆炸成型存在一个极限长细比和极限相对埋深, 当上述两项超过其极限值后, 半压缩爆炸成型转化为压缩爆炸成型。

(4) 漏斗坑爆炸深度 S 的确定

条形药包爆炸深度 S 取决于药包下端部的压缩效应, 一般说来和药包的直径有关。但粗略地可简单表达为:

$$S = k_2 H \quad (4)$$

式中 k_2 是与土层性质有关的系数。试验得到的几种土质的 k_2 系数列于表1, 供设计参考。

二、高水位地区半压缩爆炸成型基坑的方法

1. 药包的设计与配置

(1) 药包参数选择

药包参数选择系指药包长度 L_0 和直径 d_0 的确定。由于装药密度通常在0.9~1.1克/厘米³, 因此药量也就随之确定。成型某一基坑的药包设计方案不是唯一的, 应根据实际情况作多方案比较, 择优选用。在设计药包时应正确选取以下诸量。

飞散高与药包埋深之比(h_{κ}/H) 该比值越大越接近抛掷爆破, 其抛土量也越大, 因此土层破坏和药量消耗都要大些。在工期紧迫情况下, 可采用较大比值。但在地下水位较高, 土质十分松软的条件下, 为提高坑壁抗渗性和稳定性, 宜采用小的比值。一般情况下, 选取0.3左右效果较好。

药包相对埋深(H/L_0)与药包长细比(L_0/d_0) 相对埋深越小越接近抛掷爆破, 因此药量要大些, 反之则小些。在相对埋深一定的情况下, 爆后能出现外部漏斗坑(即抛掷效应)的最大长细比叫临界长细比, 用 λ_{cr} 表示。 λ_{cr} 随着 H/L_0 的增大而减小, 例如 $H/L_0 = 1.5$

时, $\lambda_{\text{临}} \approx 40$; $H/L_0 = 2.0$ 时, $\lambda_{\text{临}} \approx 20$ 。因此, H/L_0 的选定与 L_0/d_0 的选定有直接关系。在药形上, 随着 H/L_0 的增大, 药包直径要相应加大。设计时, 首先根据基坑深度假定药包埋深, 根据基坑尺寸, 再假设药包直径和长度, 经过几次调整后达到要求。

(2) 药包布置

药包应根据基坑的底部尺寸作一列或多列配置。配置间距应兼顾爆炸效果和经济利益。最大间距 S_{max} , 按不出爆埂的原则为 $\sqrt{2} R_{\text{压}}$, 最小间距 S_{min} 按最大重叠的原则为 $R_{\text{压}}$ (见图 2、图 3), 相应距坑底的边线距离 a 为

$$S_{max} = \sqrt{2} R_{\text{压}}, \quad a = (\sqrt{2}/2) R_{\text{压}} \tag{5}$$

$$S_{min} = R_{\text{压}}, \quad a = (\sqrt{3}/2) R_{\text{压}} \tag{6}$$

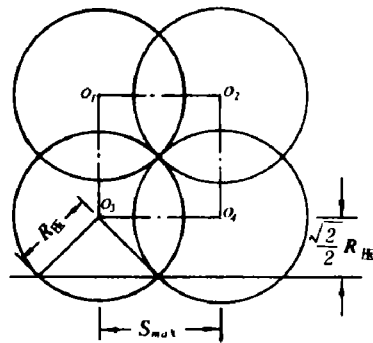


图 2 药包按最大间距配置

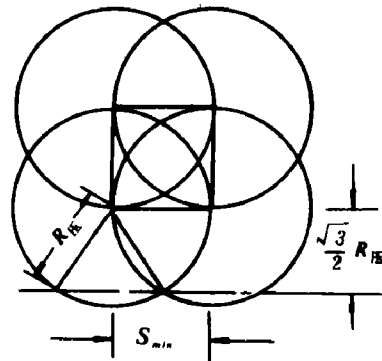


图 3 药包按最小间距配置

在深度上药包可作一层或多层配置, 当基坑深度超过2.5米时, 宜作多层配置

2. 药包埋设

药包可用穿孔法或植桩法埋入, 穿孔法较便利。直径5厘米以下的孔可直接用土钻; 6~10厘米的孔可用洛阳铲; 孔径更大时宜用导爆索扩孔。在砂质粘土中扩孔所需导爆索的数量参看表2。

表2 扩孔直径与导爆索根数

导爆索根数	1	2	3	4	7	9	11	13	15
扩孔直径(厘米)	5~7	8~9	10~12	16	19	21	24	27	29

药包在埋设以前应捆扎结实并仔细作好防水处理。用塑料薄膜预先制成管带, 只要事前经过检查, 一般防水都较可靠; 用油毡作成药筒如能严加处理也较可靠, 即使直接采用硝酸铵药筒作适当防水处理, 也能满足要求。

3. 实 例

基坑尺寸：宽 2.2 米、长 4 米、深 1.7 米；地下水位 0.5 米；土质为黄粘土，爆炸系数为：

$$m = 17, \quad k_1 = 0.9, \quad k_2 = 1.15.$$

(1) 确定药包埋深 基坑深度为 1.7 米，根据公式 (4) 有

$$H = S/k_2 = 1.7/1.15 = 1.48 \text{ 米}$$

故药包埋深定为 1.5 米

(2) 确定药包的平面配置。设药包成两列布置，并分别按两种情况计算。

当药包取最大间距时，短边按两排配置有：

$$2\sqrt{2}R_{\text{短}} = 220 \quad R_{\text{短}} = 78 \text{ 厘米}$$

长边所需药包个数：

$$\sqrt{2}R_{\text{长}} + (N-1)\sqrt{2}R_{\text{短}} = 400 \text{ 厘米}, \quad N = 3.63 \approx 4 \text{ 个}$$

当药包取最小间距时，短边按两排配置有：

$$\sqrt{3}R_{\text{短}} + R_{\text{短}} = 220, \quad R_{\text{短}} = 80 \text{ 厘米}$$

长边所需药包个数：

$$\sqrt{3}R_{\text{短}} + (N-1)R_{\text{短}} = 400 \text{ 厘米}, \quad N = 4.27 \approx 5 \text{ 个}$$

(3) 药包直径

$$D_0 = 2R_0 = \frac{2R_{\text{短}}}{m} = \frac{160}{17} = 9.4 \text{ 厘米}$$

设选用标准硝铵药筒组装药包。硝铵药筒长 $l_0 = 20$ 厘米，直径 $d_0 = 3.2$ 厘米，每个药筒重 $C_0 = 0.15$ 公斤。按面积换算需标准药筒 9 个，此时药包的换算直径为 $D_0 = 9.6$ 厘米。药包长度暂定 60 厘米，由三个药筒拼接，故有：

$$L_0/D_0 = 60/9.6 = 6.25 \quad 30$$

$$H/L_0 = 150/60 = 2.5$$

(4) 核算飞散高

$$\frac{h_k}{H} = k_1 \left(1.1 - 0.25 \frac{H}{L_0} - 0.016 \frac{L_0}{D_0} \right) = 0.337$$

h_k/H 在 0.3 以上，飞散高约为 0.55 米，在地下水位附近，基本满足要求。

故确定基坑短边按最小间距配置药包，长边接近按最大间距配置药包，配置情况参见图 4。图中沿长度方向只画了基坑的一半，另一半是对称的。

(5) 药包组装

药包由 27 个标准硝铵药筒分三节组装，每节九个，药包参数为： $D_0 = 9.6$ 厘米， $L_0 = 60$ 厘米， $C = 4.05$ 公斤（药量）

基坑共设置八个药包，炸药总耗量为 32.4 公斤，实际爆炸效果相当理想

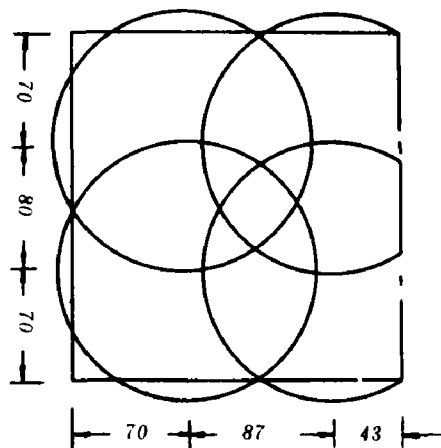


图 4 药包在基坑中的配置

4. 半压缩爆炸成型防渗的原因

由调查知道,在水网稻田地区,地下水通常为上层滞水,它的特点是压力小,随季节变化大。土层渗水的原因在于孔隙度大,而这些孔隙又互相贯通形成渗水孔道。如能截断孔道,即能达到止水目的。

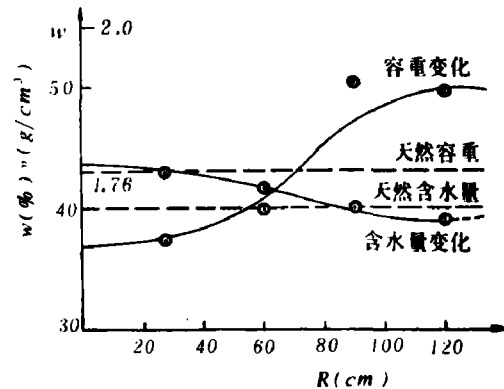


图5 土层含水量与容重变化

在爆炸成型过程中,由于爆炸气体的压缩作用,使土层的物性发生了变化。实验证明,经爆炸压缩后离坑壁某一距离的土层,其容重、含水量和孔隙度都发生了显著变化。图5所示系灰色淤泥质粘土中的实测结果。图中横坐标表示自坑壁起各测点的距离;纵坐标为土层容重 γ 和含水量 w 。由此可见,除紧邻坑壁一段范围(约60厘米),由于土壤受到破坏,物性指标反常外,总的趋势是土壤容重增大,孔隙度减小,含水量降低,经过一段相当长的距离才恢复到天然状态。但是物性变化的规律随土质、特别是含水量的不同有很大差异。

结 论

本文扼要地阐述了浅层垂直设置条形药包对粘性土的半压缩爆炸成型试验情况和高水位地区基坑开挖的方法。根据试验结果建立的爆坑各参数计算公式和基坑布药公式经实践检验是适用的。

本文还实验研究了爆炸压缩使土壤密度与含水量改变的情况,阐明了防渗的原因。

爆炸成型基坑,除了速度快,工期极短,节省劳力外,由于有防渗和压缩土层的作用,它能阻隔地下水向基坑渗漏,为工程施工创造了良好条件;又能压实土层提高地基承载能力和减少沉陷,为加固地基提供了新的手段。本文试验结果对用爆破挤压法加固地基也有直接参考价值。

参 考 文 献

- 1] 基尔皮契夫, М. В., 相似理论, 科学出版社, (1965).
- 2] Ногин, Л. М., Теория Подобия и Размерностей, Судпромгиз, (1965).

SEMICOMPACT EXPLOSIVE FORMING OF A VERTICAL LINEAR CHARGE IN SOIL

Tao Jinan

Abstract

The general principle and applications of semicompact explosive forming in soil are described in this paper.

The semicompact explosive with linear explosive charge is the typical one among the various explosive forms. Based upon the results of systematic tests, the experimental formulas for calculating the funnel parameters of semicompact explosive forming are established. The methods of design for group charge are also to be found. The formulas obtained are confirmed in a great number of experiments.