

定向爆破堆积高度计算法

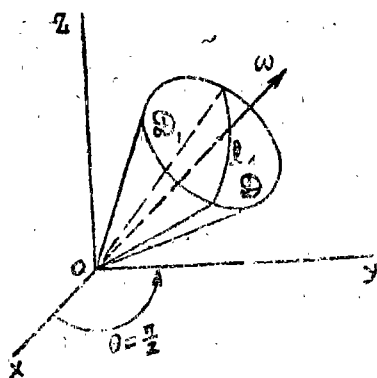
数四爆破小组

定向爆破是水利工程中的先进施工方法。在研究定向爆破的工作过程中，遇到了堆积高度问题。我们参考了不少的文献，都未见有较完善可行的解决方法，正为〔1〕所說的，定向爆破堆积形状及其高度的文献在世界上公开发表还是罕见。所以我们也作一些大胆的尝试，希望热心于爆破工作的同志不吝指正如幸！

1. 基本公式的导出 取以O点为极的球坐标系 (θ, φ, R) 。设药包中心落在O点上，药室设为球状，半径为 R_0 ，爆破漏斗最小抵抗线 ω 在 $\theta = \frac{\pi}{2}$ 的垂直平面上。漏斗底面方程由球坐标表为

$$\text{底面 } P: R = x(\theta, \varphi) \quad (\theta_0 \leq \theta \leq \theta_0', \varphi_0 \leq \varphi \leq \varphi_0')$$

在落体堆积平面上选用柱坐标 (θ, γ, z) 。在漏斗自由面(底面 p)上，会有一条连续曲线 ℓ ，使 ℓ 上的质点被抛到堆积平面上最远的地方(图1)。于是曲线 ℓ 把爆破漏斗分



为两个部份 D, D_1 ，使它们与堆积区域之间分别成一一对应，这样便可以用数学方法处理了〔1〕。我们只考虑 D, D_1 中的任一个，例如 D 就够了。

本法前提假设如下：(一)忽略空气阻力。

设由O点与自由面 P 上任一点 $[\theta, \varphi, x(\theta, \varphi)]$ 的联线上每个质点被抛出的初速度是相同的；

(二)在同一条直线((1)中的联线)的每个质点脱离炸破漏斗后，都沿同一条弹道曲线下落〔1〕；(三)在炸破漏斗中被抛出的体积

V ，堆积在堆积平面上时的体积 V^* ，大小变化关系是 $V^* = \xi V$ ，这里 $\xi = \xi(\theta, \varphi)$ 是 θ, φ 的连续函数。(这样的系数 ξ 在工程中叫做松散系数，它可由实验来确定，如琵琶江对岩石的实验结果 $\xi = 1.3 \sim 1.4$ 之间)。

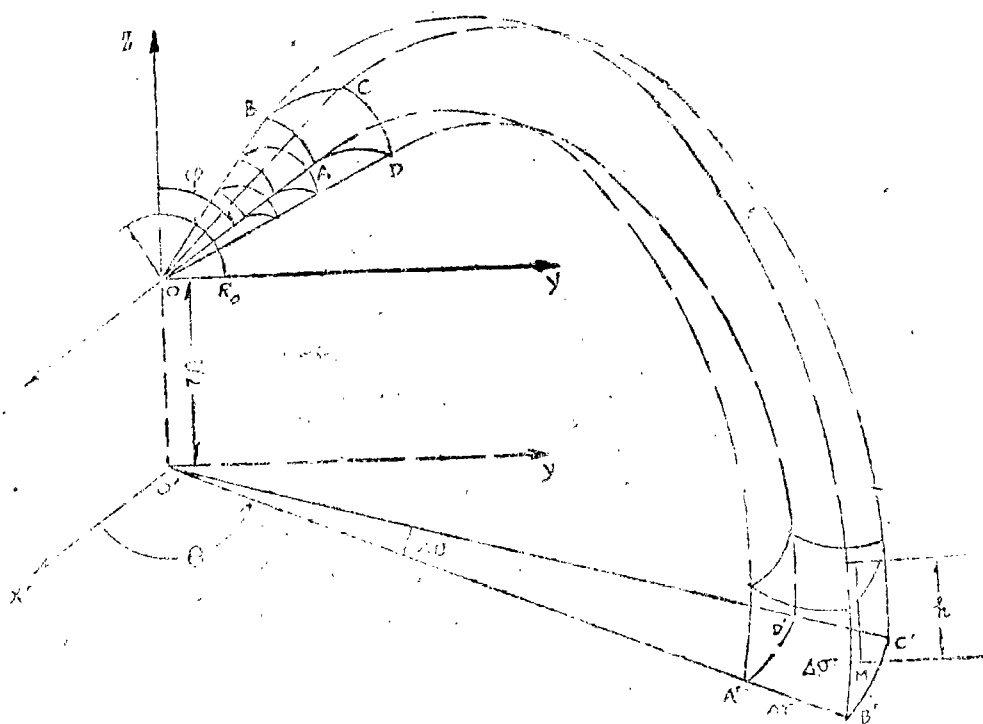
在 D 中任取出这样一个微分单元的长条体 $d\bar{v}$ ，使它的四个侧面是

$$\theta, \theta + d\theta; \varphi, \varphi + d\varphi,$$

于是 $d\bar{v}$ 的体积是

$$d\bar{v} = \int_{R_0}^x R^2 \sin \varphi dR d\theta d\varphi, \quad (1.1)$$

設这个炸落体被抛到堆积平面上, 漏斗底面 P 与堆积区域底面对应 (见图), 而



这对应的面积 $d\sigma$ 可表为

$$d\sigma = r dr d\theta;$$

(1.2)

根据假设 (一) r 可表如下:

$$r = r(\theta, \varphi) = x(\theta, \varphi) \sin \varphi + \frac{U(\theta, \varphi)}{g} \sin \varphi \{ U(\theta, \varphi) \cos \varphi + \sqrt{U^2(\theta, \varphi) \cos^2 \varphi + 2g[s + x(\theta, \varphi) \cos \varphi]} \}. \quad (A)$$

各点对应的坐标是:

$$\begin{aligned} A[\theta, \varphi, x(\theta, \varphi)] & \quad A'[\theta, r(\theta, \varphi)] \\ B[\theta + d\theta, \varphi + d\varphi, x(\theta + d\theta, \varphi + d\varphi)] & \quad B'[\theta, r(\theta, \varphi + d\varphi)] \\ C[\theta + d\theta, \varphi + d\varphi, x(\theta + d\theta, \varphi + d\varphi)] & \quad C'[\theta + d\theta, r(\theta + d\theta, \varphi + d\varphi)] \\ D[\theta + d\theta, \varphi, x(\theta + d\theta, \varphi)] & \quad D'[\theta + d\theta, r(\theta + d\theta, \varphi)]. \end{aligned}$$

由假设 (二) (三) 就有

$$\xi(\theta, \varphi) dV = h d\sigma' \quad (2)$$

$$\therefore h = \xi(\theta, \varphi) \frac{dV}{d\sigma} = \frac{\int_{R_0}^X R^2 \sin \varphi dR d\theta d\varphi}{r dr d\theta} = \xi(\theta, \varphi) \frac{[X^3(\theta, \varphi) - R_0^3] \sin \varphi}{3r \frac{dr}{d\varphi}},$$

$$\therefore \frac{dr}{d\varphi} = \frac{\partial r}{\partial \theta} \cdot \frac{d\theta}{d\varphi} + \frac{\partial r}{\partial \varphi},$$

由假设(一)和(二)知抛掷轨道是在一平面上, 故 $\frac{d\theta}{d\varphi} = 0$, 即 $\frac{dr}{d\varphi} = \frac{\partial r}{\partial \varphi}$, 于是有

$$h = \xi(\theta, \varphi) \sin \varphi \frac{X^3(\theta, \varphi) - R_0^3}{3r \frac{\partial r}{\partial \varphi}}. \quad (B)$$

理论上从(A)(B)两式有

$$Y = Y(\theta, \varphi)$$

$$h = h(\theta, \varphi)$$

联立消去 φ , 得 $h = h^*(\theta, r)$ 。则对于堆积区域底面任一点 (θ_1, r_1) , 就知道了这点的堆积高度 $h_1 = h^*(\theta_1, r_1)$ 。但事实上这样消去 φ 的工作是很困难的, 所以给出点 $[\theta_1, \varphi_1, X(\theta_1, \varphi_1)]$, 算出过点 $[\theta_1, Y(\theta_1, \varphi_1)]$ 沿抛物线的堆积高度, 可以近似地看作为点 (θ_1, Y_1) 的堆积高度 $h_1 = h(\theta_1, \varphi_1)$ 。我们求得各点的堆积高度, 可以绘出等高线图, 再由等高线图截出其剖面图, 于是可以知道堆积的大概形状了。

其次再考虑 D_1 , 得出其堆积高度 h_1^* , 一般的堆积高度沿用 [1] 中方法有 $S = h + h_1^*$ (堆积平面是一水平面); 若地面是一曲面 $H_0(Y, \theta)$, 则有 $S(Y, \theta) = H_0(Y, \theta) + h + h_1^*$ 。

2. 漏斗底面是平面的特殊情形。假如漏斗底面是一平面 (或在工程要求所允许范围内可以当作平面的底面), 这种情形在实用上有相当价值。这时 P 的方程是:

$$R = X(\theta, \varphi) = \frac{\omega}{\sin \varphi \sin \theta \sin \Phi + \cos \varphi \cos \Phi} \quad (C)$$

其中 Φ 是最小抵抗线与 Z 轴的夹角。(A) 中的初速度 $U = U(\theta, \varphi)$ 有各色各样公式, 如我们可选用 [3]

$$U = U(\theta, \varphi) = a \sqrt{\frac{2Q}{\omega(1+n)}} \cdot \frac{\omega^2}{R^3} \quad (D)$$

其中 Q 是炸药用量 (公斤), ω 是最小抵抗线长 (米), n 是爆破指数, a 是由实验确定的常数。于是

$$(E) \quad \frac{\partial Y(\theta, \varphi)}{\partial \varphi} = \frac{\omega (\sin \theta \cos \Phi - \cos \theta \sin \theta \sin \Phi)}{(\sin \theta \sin \theta \sin \Phi + \cos \theta \cos \Phi)^2},$$

$$(F) \quad \frac{\partial U(\theta, \varphi)}{\partial \varphi} = \frac{3a \omega^2}{\omega} \sqrt{\frac{2Q}{\omega(1+n)}} (\sin \varphi \sin \theta \sin \Phi + \cos \varphi \cos \Phi)^2$$

$$(\cos \varphi \sin \theta \sin \Phi - \sin \varphi \cos \Phi),$$

例如我们现在给定的数据是 $n = 1.51$, $S = 15$ 米, $a = 15$, $\omega = 12$ 米, $\Phi = 45^\circ$, $\theta = 46^\circ$ 85.4 公斤。在断面 $\theta = 90^\circ$ 上计算 $\varphi = 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ 底面 P 上的点所对应的堆积高度。

[这时点 $[90^\circ, 45^\circ, X(90^\circ, 45^\circ)]$ 显然落在曲线1上!]将有关数据代入(A)(B)(C)(D)(E)(F)式子再经过计算,就有表一的结果。(在 $h=1, B \because X^3 \gg R_0^3$ 而把 R_0^3 略去而计算)由这数据看出,沿最小抵抗线方向上,愈近药室堆积高度愈高。这点与爆破经验资料大致还是符合的。

堆积高度表

φ	45°	60°	75°
r (米)	73.87	67	45.36
h (米)	0.2	0.55	1

(表一)

对应于 D_1 的 R_1^* 也可用同样计算出来。但在有附加距离时,易知对称于 45° 的两个出射角并不能得到相同的水平飞行距离 Y 。但由抛物体运动的连续变化,易知必有两个出射角使物体飞行同样的 Y ,为了简便起见,我们近似地两倍表一的高度作为点(S, Y)的堆积高度。即点 $(90^\circ, 73.87)$ 之堆积高度 ≈ 0.4 米,点 $(90^\circ, 67)$ 之堆积高度 ≈ 1.1 米等等。从表一结果亦可看出,不能认为爆破漏斗重心下落位置附近就是落体最大堆积范围,因此在我們筑坝设时,土方主要应在坝轴线延长线上供给。

参考文献

- (1) 数学学报, 1959第一期, P. 1—4
- (2) 大爆破汇编
- (3) 水利水电建设, 1960第四期

ВЫЧИСЛЕНИЕ НАГРОМОЖДАЕМОЙ ВЫСОТЫ

X НАПРАВЛЕННОМ РАЗРЫВЕ

(ВЫБОРКА)

Мы образуем соотношение соответствия из базы воронки разрыва $R = x(\theta, \varphi)$ до нагромождаемой плоскости сбрасываемого объекта параболическим движением материальной точки в пустоте

$$Y = Y(\theta, \varphi) = x(\theta, \varphi) \sin \varphi + \frac{U(\theta, \varphi)}{g} \sin \varphi \left\{ U(\theta, \varphi) \cos \varphi + \sqrt{U^2(\theta, \varphi) \cos^2 \varphi + 2g[S + x(\theta, \varphi) \cos \varphi]} \right\},$$

тогда, $U = U(\theta, \varphi)$ — начальная скорость движения той материальной точки, S — расстояние между центром зарядной камеры и нагромождаемой плоскостью, g — ускорение тяжести.

Снова, вообще говоря, мы пользуемся соотношением перехода объема прихода к нагромождаемой высоте

$$h = \xi(\theta, \varphi) \frac{(\chi^3(\theta, \varphi) - R^3) \sin \varphi}{3 \gamma \frac{d\gamma}{d\varphi}}$$

здесь R есть радиус зарядной камеры, а $\xi = \xi(\theta, \varphi)$ есть непрерывная функция аргумента θ и φ .