金属管爆炸胀形炸药能量传递的几何法

李 宽
(西北建筑工程学院建工系 西安 710061)

摘要 导出了金属管爆炸胀形估算炸药传递到工件表面能量几何法公式, 该法以炸药的比能为基础进行计算, 避免了能量法对大多数炸药缺少能量常数 C 和 G 试验数据的困难, 因而可扩大各种炸药在金属管爆炸胀形中的应用。为炸药用量的估算提供一简单的方法。

关键词 比能 几何法 能量法 爆炸成形
中图法分类号 O 389

在金属爆炸加工中, 需计算炸药爆炸生成物传递到工件上的能量, 常用的方法有几何法、能量法和冲量法, 在金属管爆炸胀形加工中常采用能量法, 其爆炸生成物传递到工件上的能量强度为[1]

$$E_d = CW^{(G+1)/3}/R^G \tag{1}$$

式中: E_d 为冲击波的能量密度 (J/m^2); W 为炸药重量 (kg); R 为炸药中心到工件的距离 (m); C 和 G 为根据水下爆炸试验测得的炸药常数。

对常数 C 和 G, 国内尚未见公开发表的有关试验数据, 在国外, 也只有少数几种炸药的 C 和 G 数据资料, 这为能量法的实际应用带来一定困难。而有关炸药比能的数据资料较为全面, 故推导建立了以炸药比能为基础计算金属管爆炸胀形能量传递的几何法, 克服了用能量法缺乏炸药能量常数 C 和 G 数据的困难, 为金属管爆炸胀形估算炸药传递到工件上的能量提供了简单的方法。

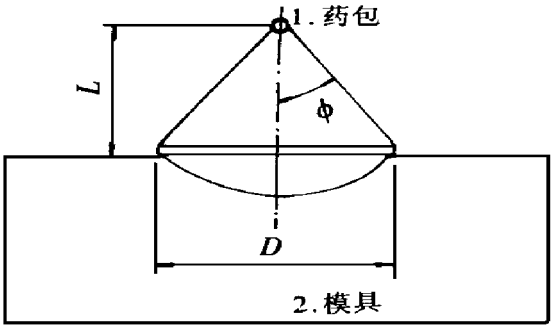
1 几何法的基本公式

几何法是以炸药包中心复盖工件之立体角与药包总立体角的比值来计算炸药生成物传递到工件上之总能量的 (图 1), 其算式为

$$E_T = \left(\frac{1}{2}\right)Z(1-\cos\theta)We \tag{2}$$

式中: E_T 为传到工件上的总能量 (J); W 为炸药重量 (kg); e 为炸药比能 (J/kg); θ 为炸药药包复盖工件的半角; Z 为传能介质对能量传递效率影响的总度量 (包括首次冲击波及随后的二次加载总效应)。

* 1996-04-29收到原稿, 1996-11-18收到修改稿。



1. Bundle of explosive, 2 Mould

图 1 Fig. 1

对水下爆炸 Z_1的取值为[1]

$$\frac{1}{Z_1}=4.23-3.7\left(\frac{L}{D}\right)\quad\left(\frac{L}{D}\leqslant 0.5\right)$$
$$\frac{1}{Z_1}=4.02-2.83\left(\frac{L}{D}\right)\quad\left(\frac{L}{D}\leqslant 1.0\right)\tag{3}$$

2 金属管爆炸胀形炸药生成物能量传递的几何法

2.1 集中药包

设管长为 2S, 内径为 D, 药包位于管子轴线距其中心为 x 的地方 (图 2), 则药包复盖工件的立体角为

$$4\pi-2\pi(1-\cos\theta_1)-2\pi(1-\cos\theta_2)$$
$$=2\pi(\cos\theta_1+\cos\theta_2)$$

其与药包总立体角 (4π)的比值为

$$2\pi(\cos\theta_1+\cos\theta_2)/4\pi=(\cos\theta_1+\cos\theta_2)/2$$

故传递到工件上的总能量为

$$E_T=\frac{1}{2}Z_1(\cos\theta_1+\cos\theta_2)We\tag{4}$$

2.2 线状药包

设线状炸药长度为 2λ, 其中心与管轴中心重合, 管长为 2S, 内径为 D (图 3).

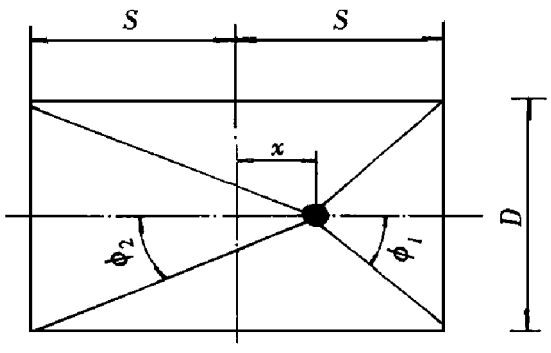


图 2 Fig. 2

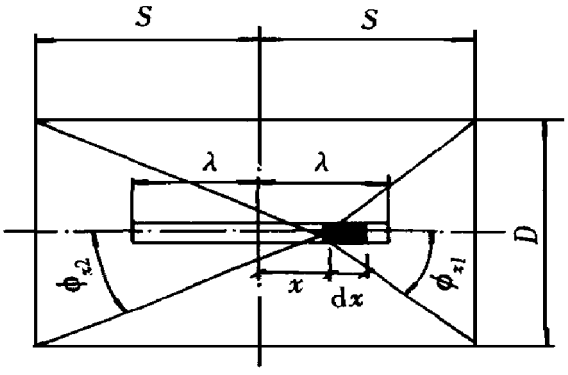


图 3 Fig. 3

根据式 (4), 在距管轴线中心 x 处 dx 长药包传到工件上的能量等于

$$\Delta E_T=(1/2)Z_1(\cos\theta_{x1}+\cos\theta_{x2})\cdot Ve\,dx\tag{5}$$

式中: V为线状药包单位长度的炸药重量 (kg/m). 则线状药包传递到工件内表面的总能量为

$$E_T=\frac{Z_1Ve}{2}\int_{-\lambda}^{\lambda}(\cos\theta_{x1}+\cos\theta_{x2})\,dx\tag{5a}$$

由图 3可知

$$\cos\theta_1 = (S - x) / \sqrt{(S - x)^2 + (D/2)^2}$$
$$\cos\theta_2 = (S + x) / \sqrt{(S + x)^2 + (D/2)^2} \tag{5b}$$

将式 (5b)代入式 (5a)并积分可得

$$E_T = \frac{Z_1 W e}{2}\left|\sqrt{(1+\frac{S}{\lambda})^2+(\frac{D}{2\lambda})^2} - \sqrt{(1-\frac{S}{\lambda})^2+(\frac{D}{2\lambda})^2}\right| \tag{6}$$

式中: W 为线状药包的重量 (kg); e 为炸药比能 (J/kg); D 为管内径 (m); S 为管子半长 (m); λ 为线状药包的半长 (m)。

3　几何法与能量法的比较

在取炸药常数 $G \approx 2.0$[1]的情况下, 能量法的计算式为[1]

$$E_T = 2\pi CW\left|\sqrt{(1+\frac{S}{\lambda})^2+(\frac{D}{2\lambda})^2} - \sqrt{(1-\frac{S}{\lambda})^2+(\frac{D}{2\lambda})^2}\right| \tag{7}$$

将该式与 (6)式相比, 在管长、管子内经、线形药包长度均相同的情况下, 两式的差异仅表现在系数 $2\pi C$ 与 $Z_1 e/2$的区别, 故几何法与能量法计算结果的比值为

$$\frac{E_{TG}}{E_{TE}} = \frac{Z_1 e}{4\pi C}$$

式中: E_{TG}为几何法计算结果; E_{TE}为能量法计算结果。

表 1列出几种已知常数 C、G[1]的炸药在 $Z_1 = 0.275$时两种方法的比值。

表　1　Table　1

炸　药	C /(km)	G	e /(MJ/kg)	E_{TG}/E_{TE}
TNT	9.906	2.05	3.93	0.869
泰　胺	13.208	2.12	5.88	0.975
松散特屈儿	14.097	2.10	4.75	0.739
彭特来特	16.256	2.12	5.18	0.698

由表 1可见两种方法计算结果变化范围在 0.698~ 0.975之间, 以泰胺为最佳。究其原因, 主要为对管子爆炸胀形的能量传递效率 Z_1的取法, 这有待作进一步的研究。

4　算　例

已知: $D = 0.15$ m, $S = 0.0127$ m, $\lambda = 0.0254$ m, $V = 0.0425$ kg/m, 炸药为泰胺, $e = 3.93$MJ/kg 由以上数据得

$$W = 2\lambda V = 2.16 \times 10^{-3}\ \text{kg}, \quad S/\lambda = 0.5, \quad D/2\lambda = 2.951,$$
$$L/D = (D/2)/(\pi D) = 1/2\pi < 0.5, \quad Z_1 = 0.275$$

故

$$E_{TG} = 55.41\ (\text{J})$$

而能量法的计算结果为[1]

$$E_{TE} = 56.85\ (\text{J})$$

两者相比误差为 2.53%。

5 结 论

用几何法可以避免缺少炸药能量常数 C 和 G 的困难,可以用数据较普及的炸药比能作为计算依据,但与能量法相比,数据较分散,应对管子爆炸胀形能量传递效率 Z的取法作进一步研究。

参 考 文 献

1 Ezra A A 著. 金属爆炸加工的原理与实践. 张铁生,等译. 北京: 国防工业出版社, 1981. 39~ 69, 135 ~ 140

GEOMETRIC METHOD OF EXPLOSIVE ENERGY TRANSFER FOR EXPLOSIVE FORMING OF THE METAL PIPE

Li Kuan

(*Northwest Iustitute of Architectural Engineering, Xi'an, 710061*)

ABSTRACT In the paper, formula on energy transfer for explosive forming of metal pipes are developed by geometric method. The calculation of the method is based on the specific energy of explosive. Thus the difficulty of lacking in test data about explosive energy coustants C and G in energy method can be avoided. Lastly, a simple method for estimating the charge weight in explosive forming of metal pipes is given.

KEY WORDS specific energy, geometric method, energy method, explosive forming