

mm), 细药卷, 以免孔内炸药能量过于集中、产生飞石。

(2) 黄泥封堵炮孔, 湿草袋四层包裹。

(3) 管沟上部堆放袋装土 2 层, 再堆放散土, 厚不小于 1.0 m; 马路上堆放土袋 2 层, 并码成土墙, 以防旋风子前滚。

(4) 主机的防护, 除爆破方案中采取措施外, 还在机房内, 机座西侧堆码两排水泥包, 以防第 6 排柱后座, 穿透“二四”墙, 撞击主机。

(5) 因主机房、上料机房有电器工作, 在使用电雷管时, 事先应对地面杂散电流进行监测, 并注意雷管脚线的随时短路。

5 爆破效果

1996年5月16日, 随着一声炮响, 在远处首先看到的是建筑物西头突然下沉, 紧接着整个建筑顺序塌落, 持续 3~4 s。施爆过程中, 飞石控制良好, 仅北侧有一块砣块飞出 15 m 左右, 南、西侧管线安然无恙, 东侧第 6 排立柱沿松动铰向西倒下, 摔成数节, 后座、主机房、上料机房无损, 旋风子落在土上, 没有冲上马路; 南侧坍塌范围基本在建筑物轮廓内, 西侧前冲 5.5 m, 整个施爆期间, 主机及上料机一直运转。清运结果表明, 除一段 7 m 长的主纵梁没有充分解体、需二次解炮外, 其余均满足清运块度的要求, 整个爆运工作用时不足 7 天, 并回收钢筋 400 kg。

6 体会

(1) 对梁柱承重式建筑物, 防止其后座的有效方法, 除选择合适的倾倒方向外, 在被保护物近处的立柱根部实行弱松动, 甚至不松动, 这在华东电网茅村

电厂等拆除工程中再度得到验证(茅村电厂待拆楼房距电厂心脏-----主灰浆泵房 1.1 m, 一旦灰浆泵受损, 电网直接损失 50 万元/小时)。

(2) 理论^[4]和实践均证实, 土有良好的减震作用。茅村电厂待拆建筑一侧有一地沟, 其中有三趟排水管, 断面为正方形, 材料为钢筋砼, 壁厚 5 cm, 边长 60 cm, 同样采用土的减震作用保护了地下管沟, 而未堆土的铸铁下水井盖却被损坏。

(3) 建筑物在倾倒过程中受力很复杂, 目前, 不论解析法还是数值法, 都难以描述。故现行设计中, 多采用半经验半理论的方法, 遵循可靠第一的方针, 从而忽视了经济上的合理性及操作上的可行性。如常规设计中, 凡遇梁、柱必打眼(尤其是节点处), 从爆破效果上看, 这样做坍塌更可靠, 解体更充分, 但实际操作起来, 定眼位与打眼都不是件容易事。本工程的成功, 说明对一些非关键构件少打或不打眼, 充分利用倾倒过程中构件获得的动能, 靠撞击, 也可以获得较好的破碎效果, 这既减轻了劳动, 也提高了工效。

(4) 干草袋对飞石的防护作用已被公认, 但湿草袋比干草袋有更优良的韧性。对一般钢筋砼而言, 单孔药量 30 g 左右, 4 层湿草袋会有效地防止飞石。

参 考 文 献

- 1 陈付生. 当代爆炸应用技术. 北京: 冶金出版社, 1993
- 2 冯叔瑜. 土岩爆破文集(二). 北京: 冶金出版社, 1985
- 3 冯叔瑜. 城市控制爆破. 北京: 铁道出版社, 1996
- 4 张奇. 土垫层的防护作用. 爆炸与冲击, 1995(2)

(本文于 1997 年 10 月 20 日收到)

抗侵彻模型试验的模拟条件

陆渝生 严少华 王明洋

(南京工程兵工程学院, 南京 210007)

摘要 本文针对某新型遮弹防护层在理论分析和试验研究上的实际困难, 根据相似理论, 论证并导出了模型模拟试验的必要条件, 使原型与模型的相应待测量之间具有简单的线性比例关系, 从而为正确进行模型试验研究奠定了基础。

关键词 遮弹防护层, 模型试验, 相似理论

1 引言

某新型防护层的遮弹机理, 无论是在理论分析上, 还是在试验研究上, 均存在不少困难。目前, 国内外对此尚未见系统完整的研究和报导。由于结构物在冲击条

件下的动力学问题,与结构物材料的本构关系之间,存在着相互依赖的关系.这使得求解动力学问题或决定材料在动力作用下的本构关系变得困难.另外,防护层的抗侵彻能力,受到弹、靶的多种因素的影响,而且这些因素之间,又不是完全独立的,有的彼此之间还有一定的联系.由于这些原因,使得对防护层遮弹机理的研究,在进行动力分析、建立起比较精确而又实用的力学计算模型方面,目前尚无重大突破.理论上的困难,迫使我们考虑通过试验研究来加以解决.以试验为基础,在试验所获得的有效数据的前提下,分析研究,摸清影响防护层抗侵彻能力的主要因素及其数量关系,再考虑用适当的理论加以解释,从而建立起符合实际的力学计算模型.实际上,许多动力学问题,如爆炸、穿甲、高速冲击等,都采用过这种以试验为基础,再加以理论分析,得出规律的方法.但是,对于本课题所研究的防护层,想通过大量的实弹试验是不现实的.因此,只能通过模型的模拟试验,来获得与实物(原型)一致的某些规律与参数.但是,如上所述,对防护层防护能力的影响因素很多,因此,如何建立模型,在怎样的条件下进行模拟,使得由模型试验得到的结果,与原型具有简单的相似关系,这些是本文所研究的问题.

2 某防护层抗侵彻试验模拟条件的建立

量纲分析和相似理论是正确进行模型试验的理论基础.在这些理论上建立起来的模拟条件,能保证选择模型的材料、尺寸、载荷和试验方法的合理性,使得模型试验所测量的结果,经正确处理,可以解决原型的实际问题.

由 定理^[1],对于某一个有 n 个参数的物理现象,可表达为

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \quad (1)$$

若其中有 k 个基本量,则对(1)式进行无量纲化后,可得到相似判据方程.用 i 表示相似判据,则可写成

$$f_1(i) = f_1(i_1, i_2, \dots, i_{n-k}) = 0 \quad (2)$$

式(2)之所以用 f_1 表示函数关系,是因为式(2)各量之间的函数关系不一定与式(1)的相同.这样,对于两个物理现象,如原型与模型,只要它们具有相同的相似判据 i ($i=1, 2, \dots, n-k$),则两者之间具有相似关系.这里并不要求必须知道方程式中各参数 x_i ($i=1, 2, \dots, n$) 之间的函数关系,而只要求知道这一物理现象与哪些参数有关,包含哪些物理量.因此,对于某个现象,即使尚未建立起理论计算模型,我们仍可根据

上述原理建立起相应的相似条件,以进行正确的模型试验.

现通过量纲分析,来建立起某新型防护层抗侵彻试验的模拟条件.对于遮弹层,其最主要的抗侵彻能力的指标,是弹体在靶体中的侵彻深度,我们用 L 表示.如果 L 小于靶体厚度,就表明该靶能有效地起到防护作用.根据初步的设想,新型防护层将以纤维混凝土作为基体,并夹有按一定规律配置的钢球,以起到使弹体发生偏转的作用.由冲击动力学^[2]及穿甲力学^[3]的原理可知,侵彻深度主要与下列参数有关:

弹体参数:密度 ρ_p , 杨氏模量 E_p , 泊松比 μ_p , 屈服极限 Y_p , 弹长 L_p , 弹径 d_p , 弹速 V_p , 着角 θ .

靶体参数:基底(纤维混凝土),密度 ρ_t , 杨氏模量 E_t , 泊松比 μ_t , 强度极限 Y_t , 靶厚 L_t .

钢球:密度 ρ_s , 杨氏模量 E_s , 屈服极限 Y_s , 泊松比 μ_s , 球径 d_s , 球间距 L_s . 总共有 19 个主要参数.

另外,还与弹着点与钢球的位置状况 i 有关.考虑 3 种特定状况: $i=1$ 为弹体着点位球间空档的中心; $i=2$ 为弹体射中第一层钢球球心; $i=3$ 为弹体位于两钢球球心连线的中点上.

以上忽略了应变率对材料动强度的影响.对于按几何相似缩小的模型,材料强度只有当应变率增加几个数量级时才有明显的增加,所以忽略其影响是允许的^[2].

因此,对于某种弹着点与钢球的位置状况,侵彻深度将与上述 19 个主要参数有关.即

$$L = f(j, E_j, \mu_j, Y_j, L_p, d_p, d_s, L_s, L_t, V_p, \theta) \quad (3)$$

式中, $j = p, t, s$, 分别表示弹体、靶体、钢球.

以 ρ_t, Y_t 和 d_p 作为基本量,对(3)式无量纲化,则得

$$L/d_p = f_1(\rho_p/\rho_t, \rho_s/\rho_t, E_j/Y_t, \mu_j, Y_p/Y_t, Y_s/Y_t, L_p/d_p, d_s/d_p, L_s/d_p, L_t/d_p, V_p/c, \theta) \quad (4)$$

式中, $j = p, t, s$; $c = (Y_p/\rho_p)^{1/2}$.

由式(4)可知,无量纲化的侵彻深度 L/d_p , 将与弹体和靶体的材料有关(式中等号右边前 6 个参数),与弹体和靶体的几何参数有关(式中等号右边第 7 至第 10 的 4 个参数),还与弹体的速度与着角有关(等号右边最后 2 个参数),据此,可以确定相似条件,并简化函数关系.

取模型与原型具有相同的材料,则(4)式中前6个判据将为常数,式(4)可简化为如下的函数关系

$$L/d_p = f_2(L_p/d_p, d_s/d_p, L_s/d_p, L_t/d_p, V_p/c, \quad) \quad (5)$$

若模型与原型具有相同的弹着速度及着角,则式(5)又可进一步简化为

$$L/d_p = f_3(L_p/d_p, d_s/d_p, L_s/d_p, L_t/d_p) \quad (6)$$

这样,相似判据实际只剩下4个,而这4个又只与弹体和靶体的几何尺寸有关.因此,在原型与模型之间,只要式中4个判据相同,则原型与模型的无量纲量 L/d_p 值也相等.因此只要模型与原型的 L_p , d_s , L_s , L_t 和 d_p 均采用相同的缩尺,则原型与模型便具有相同的 (L/d_p) . 设原型(用下标 o 表示)与模型(用下标 m 表示)的尺寸比为 M , 由于

$$(L/d_p)_m = (L/d_p)_o \quad (7)$$

故有

$$\frac{(L)_o}{(L)_m} = \frac{(d_p)_o}{(d_p)_m} = M \quad (8)$$

即得

$$(L)_o = M(L)_m \quad (9)$$

即原型的侵彻深度等于模型的侵彻深度再乘以一个比例尺 M .

3 结 论

综上所述,对于本课题所研究的新型遮弹防护层,只要在模型试验时满足下列条件:

- 1) 模型弹、模型靶采用与原型相同的材料;
- 2) 模型弹、模型靶及钢球均按相同的比例尺由原型缩小;
- 3) 模型弹与原型弹具有相同的弹着速度和着角. 则模型与原型的侵彻效果也几何相似,因此可以根据式(9),直接由模型的侵彻深度,计算出原型的侵彻深度.

值得指出的是,上述讨论,虽然以侵彻深度为例子,但实际导出的是侵彻效果的几何相似,即除侵彻深度外,弹体在靶体内的侵彻孔形,如孔径、孔口开坑等,模型与原型都应该是相似的,其由钢球引起的弹体偏角也应该相等.

4 试验验证

根据以上的模拟条件,按 1:3.5 的缩尺 ($M = 3.5$), 制造了新型遮弹层和常规钢筋砼的模型靶.

按照对钢筋混凝土防护层原型的设计, 当用弹径 $d = 130 \text{ mm}$, 弹重 $P = 38.6 \text{ kg}$, 长径比为 4.2 的穿甲弹, 以着速 $V_p = 300 \text{ m/s}$, 着角 $\theta = 0$ 射击时, 按修正的别列赞侵彻公式^[4]

$$L = K K_d \frac{P}{d^2} V_p \cos(\theta, \quad) \quad (10)$$

式中, L 为侵彻深度, K 为考虑弹径和弹形的修正系数(本文取 1.3), K_d 为抗侵彻屈服系数(本文取 8×10^{-7}), θ 为考虑偏转的系数, θ 为弹丸着角, P 为弹丸质量, d 为弹丸直径, V_p 为弹丸着速.

可以计算得侵彻深度为 0.710 m, 这一公式是在大量的实弹试验的基础上, 并进行了必要的修正得到的, 是目前广泛使用的公式. 实践证明, 其准确度较高, 吻合性较好, 可靠性较高. 可以作为比较的依据.

根据模拟条件, 按照 $M = 3.5$ 的比例, 改制了三七炮弹, 使其弹径为 37 mm, 长径比为 4.2, 重量为 0.9 kg. 通过对炮弹发射药量的调节, 使着速为 300 m/s, 着角为零度. 这样, 原型与模型完全满足了上述的 4 个模拟条件, 因此, 对钢筋砼模型靶的侵彻深度应为

$$(L)_m = (L)_o / M = 0.710 / 3.5 = 0.203 \text{ (m)}$$

射击后实测到的钢筋砼靶的平均侵彻深度为 0.186 m, 与经验公式所得值的相对误差为

$$\frac{0.203 - 0.186}{0.203} = 8.4\%$$

由于试验时弹丸的实际平均速度为 298.5 m/s, 因此, 可以认为在满足本文提出的模拟条件后, 模型靶的破坏是与原型成简单的几何相似比 M 缩小的. 这也说明了对于新型遮弹层, 只要按照本文的模拟条件制成模型和进行试验, 得到的试验结果, 其侵彻效果与原型也是几何相似的.

参 考 文 献

- 1 张如一, 陆耀楨. 实验应力分析. 北京: 机械工业出版社, 1981. 34 ~ 44
- 2 王礼立, 余同希, 李永池. 冲击动力学进展, 合肥: 中国科技大学出版社, 1992. 303 ~ 409
- 3 钱伟长. 穿甲力学. 北京: 国防工业出版社, 1984. 369 ~ 394
- 4 俞儒一. 防护结构计算原理. 工程兵工程学院, 1989

(1997年7月21日收到第1稿,
1997年10月27日收到修改稿)