

爆炸地震波评价地面毁伤效应的实验研究

张奇, 林大超, 白春华, 郭彦懿

(北京理工大学爆炸灾害预防控制国家重点实验室, 北京 100081)

摘要: 通过实验探索爆炸地震波评价爆源对地面冲击波毁伤效应的可能性, 结果表明, 在相同的地层状态条件下和一定的距离范围内, 用爆炸地震波评价爆源对地面的毁伤效应是可行的。这在很大程度上弥补了利用空气冲击波压力测试和模拟目标毁伤评价燃料空气炸药(FAE)爆源爆炸空气冲击波威力的不足。

关键词: 爆炸作用; 地震波; 威力评价

* 中图分类号: P315.82 文献标识码: A

1 引言

爆炸空气冲击波压力测试和模拟目标毁伤是检验爆源爆炸空气冲击波威力的直接方法, 但爆炸空气冲击波压力测试系统较为复杂, 而模拟目标受爆炸作用后变形或破坏, 往往不能复用, 造成较大浪费。爆炸地震波测试系统稳定, 地震传感器布置方便, 测试系统在实验中不易被损坏。燃料空气炸药(FAE)战斗部对地面目标有较好的毁伤效果^[1], 其毁伤威力主要来自于云雾区内的爆轰及云雾区外的空气冲击波, 而且空气冲击波毁伤距离比云雾爆轰区毁伤距离大得多, 因此空气冲击波压力及云雾区内的爆轰区压力是评价 FAE 威力的最重要指标。然而 FAE 云雾爆轰有一定的随机性和方向性, 因此空气冲击波测量必须多点布置传感器; FAE 压力有较大的变化范围, 从零点几兆帕到几十兆帕, 都必须进行测量, 测试系统在这样大的压力范围内进行标定有一定困难。此外压力传感器价格昂贵, 在测试过程中易受到不同程度的损伤, 而且测试系统和传感器的布置也不够方便。因此, 虽然爆炸空气冲击波测试对爆源威力评价具有重要意义, 但是在实际应用中不易实现。而采用模拟目标考查 FAE 爆炸对地面的毁伤效应, 又需在每次爆炸时均设置新模拟目标, 因而需要消耗大量的模拟目标。

空中爆炸的 FAE 作用在地面产生的地震波测试较为容易, 测试系统稳定可靠, 传感器布置在地面, 简易方便; 测试系统及传感器在爆炸时不易受损。地震波能否作为衡量 FAE 在空中爆炸时对地面毁伤威力的间接指标, 关键在于爆炸地震波能否反映空气冲击波的地面毁伤效应。目前这方面的研究几乎没有, 在本文中, 我们将通过实验探讨这一问题。

2 实验及结果

空气冲击波压力取决于 FAE 的爆轰区范围及爆轰压力, 而地震波幅值与地质地形条件有关^[2-3]。因此, 必须在相同的地质地形条件下用地震波幅值比较 FAE 空中爆炸毁伤的相对威力。

为了考查爆炸地震波反映地面毁伤效应的敏感性, 采用等量、不同装药的爆源进行实验, 这两种爆源具有不同的地面毁伤效应。第一组实验, 两种爆源的地面毁伤效应相差较大; 第二组实验, 两种爆源的地面毁伤效应相差较小。实验时爆源吊挂在空中, 距地面 0.5m, 如图 1 所示。

模拟目标沿爆源作用的径向每隔 0.4m 布置在地面上, 地震传感器也沿爆源爆炸作用的半径方向离散地布置在地面。实验在砂土地层上进行, 地层中纵波速度为 300m/s。

* 收稿日期: 2000-12-25; 修回日期: 2001-05-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(19972013, 59974019)

作者简介: 张奇(1956—), 男, 博士, 教授, 博士生导师。

第一组实验,爆源 1 的地面毁伤半径为 4.6m,爆源 2 的毁伤半径为 4.07m。爆源 1、爆源 2 的爆炸地震波波形分别如图 2.3 所示,两者爆炸地震波质点速度峰值的比较见表 1。从表 1 的结果可以看出,两者地震波峰值有明显差别,在此情况下,地震波较好地反映了地面毁伤效应实际情况。

第二组实验地面毁伤效应差别较大,爆源 3 的地面毁伤半径 4.07m,爆源 4 的地面毁伤半径 4.87m。两者爆炸地震波质点速度峰值的比较见表 2。

表 1 爆源 1 和爆源 2 爆炸地震波峰值比较

Table 1 The compare of max particle velocities of seismic waves induced by explosion sources 1 and 2 mm/s

爆源	20m			30m		40m
	垂向	径向	周向	垂向	垂向	径向
1	36.3	17.9	20.6	20.4	14.1	7.2
2	28.9	14.3	16.6	17.4	12.3	6.3

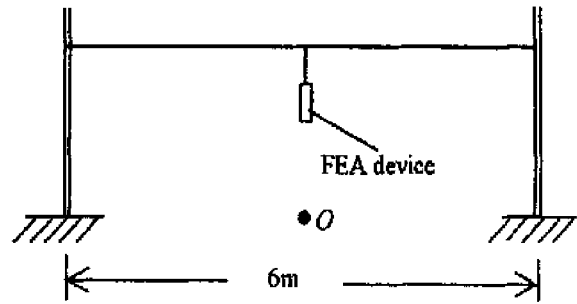


图 1 实验布置

Fig.1 Experiment setup

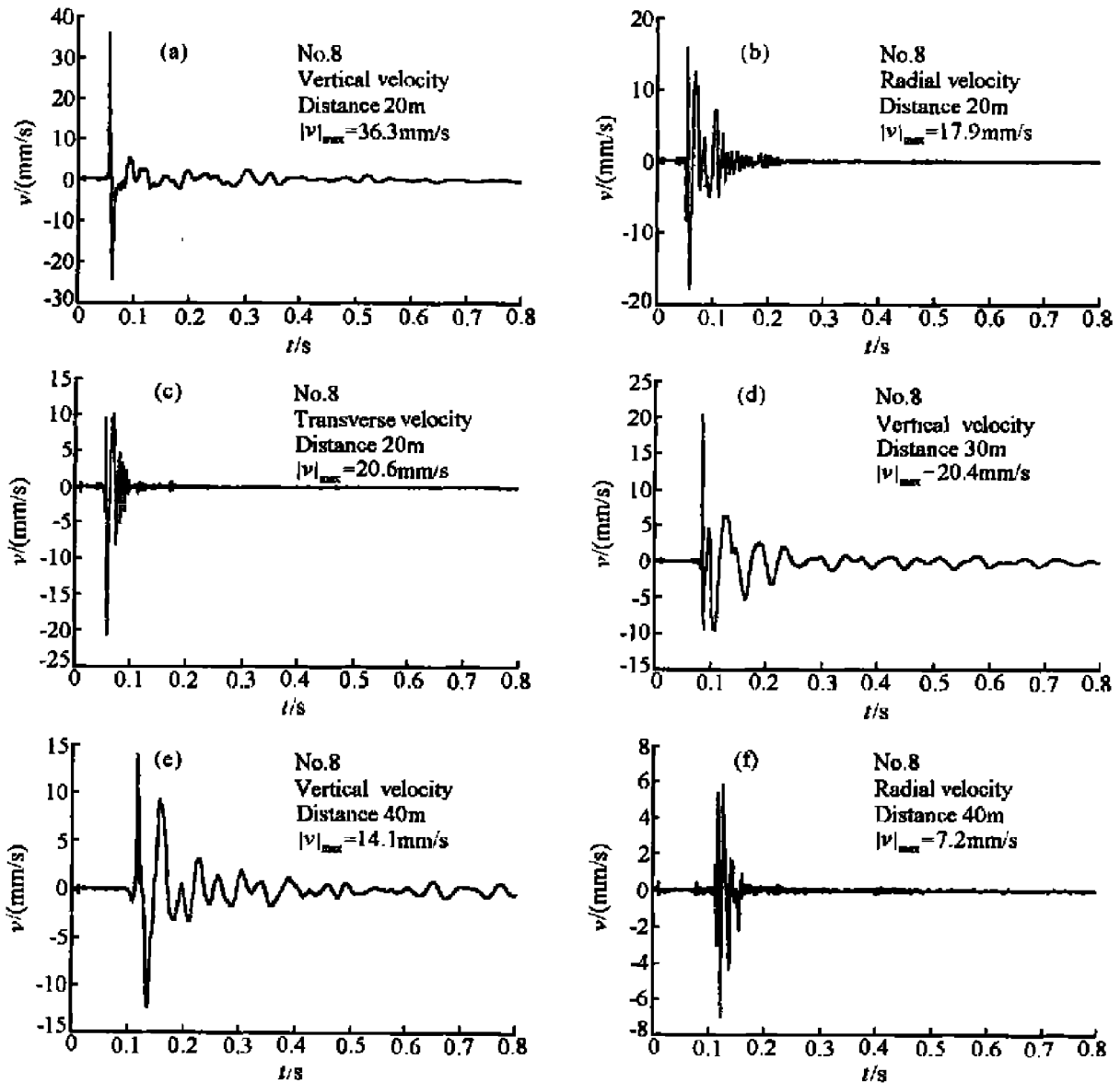


图 2 爆源 1 的爆炸地震波波形

Fig.2 Explosion seismic waves induced by explosive source 1

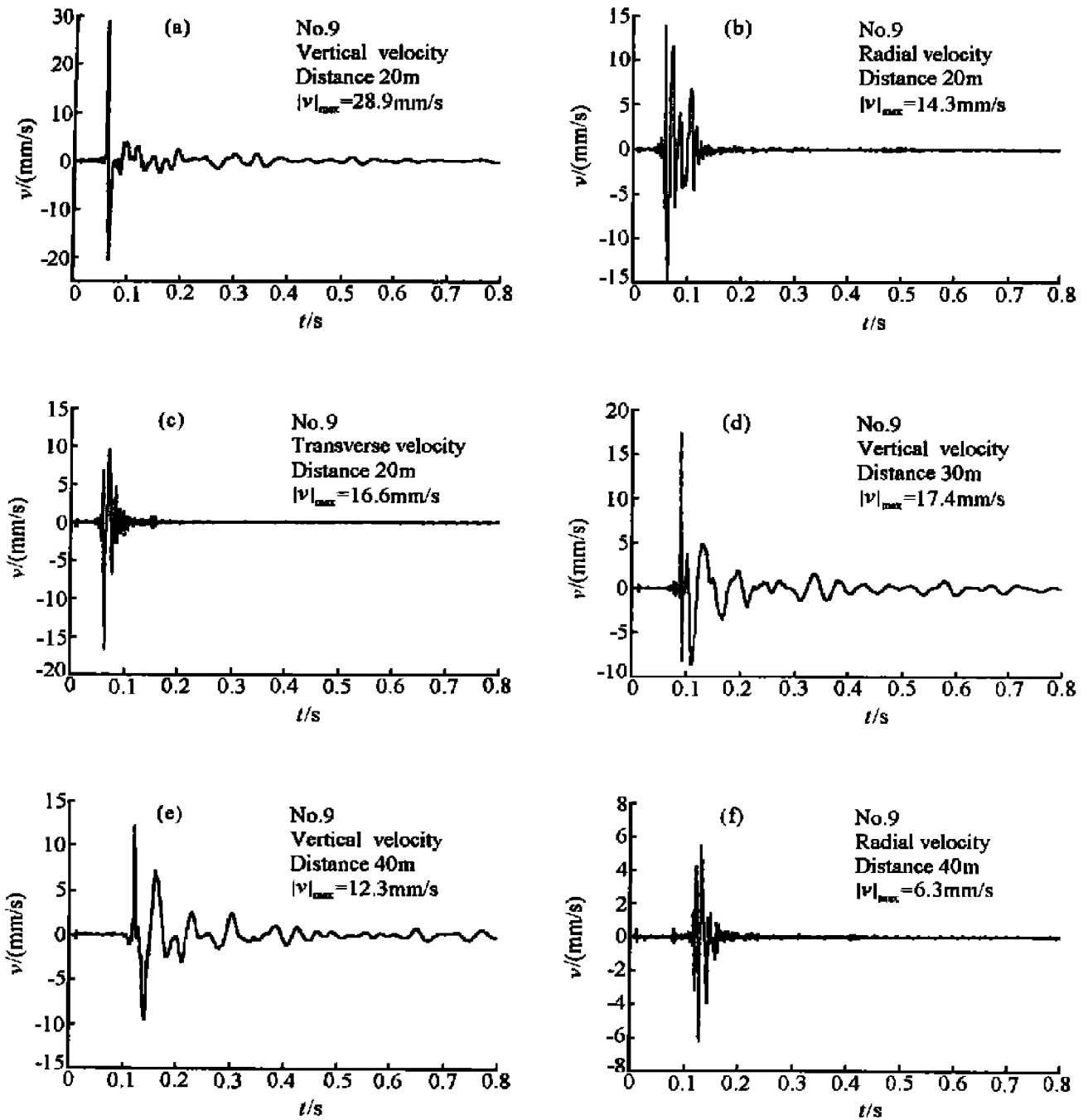


图 3 爆源 2 的爆炸地震波波形

Fig.3 Explosion seismic waves induced by explosive source 2

表 2 爆源 3 和爆源 4 爆炸地震波峰值比较

Table 2 The compare of max particle velocities of seismic waves induced by explosion sources 3 and 4 mm/s

爆源	20m		30m	40m	50m	60m	70m
	径向	周向	垂向	垂向	径向	垂向	径向
3	14.0	12.7	17.4	14.6	9.2	10.0	4.6
4	19.4	14.1	19.3	14.8	9.6	10.5	4.4

从表 2 的结果可以看出,近距离的地震波结果真实地反映了地面毁伤效应情况。反映地面毁伤真实情况的最大距离为 40m,折算成比例距离

$$\bar{r} = r / \sqrt[3]{m} = 25\text{m}/\text{kg}^{1/3} \quad (1)$$

式中: r 是测试点到爆点的距离, $r = 40\text{m}$; m 是爆源质量, $m = 4.3\text{kg}$ 。

在药量、结构、装置距地面的高度方面, 爆源 1 和爆源 4 相同, 爆源 2 和爆源 3 相同, 这四个实验是在同一地点进行的。爆源 1 和爆源 2 在同一天实验, 实验时气温约 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, 地面尚未结冻; 爆源 3 和爆源 4 在另一天实验, 实验时气温约 $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 地面已结冻。由此可见, 同样的爆源条件, 如果实验所处的地层状态不同, 虽然地面毁伤半径相同, 但地震波幅值却有较大差别。因此, 用地震波幅值比较爆源的地面毁伤效应, 应该在相同的地层条件和相同的地层状态下进行。

第三组实验, 爆源 5 和爆源 6 对地面目标毁伤半径相同, 均为 4.6m , 但地震波幅值却有差别(见表 3)。由近距离(40m 以内)的地震波幅值比较可知, 爆源 6 的爆轰威力比爆源 5 好。地面毁伤半径是用模拟目标的破坏情况测量的, 误差为 0.4m 。由此可见地震波对爆源威力的评价比离散较大的模拟目标有更高的敏感性。

3 结 语

(1) 爆炸地震波近距的误差小, 远距的误差大。近距的爆炸地震波幅值能较好地反映出爆源对地面的毁伤效应, 在本实验条件下, 地震波可真实地比较地面毁伤效应的比例距离为 $\bar{r} = r / \sqrt[3]{m} = 25\text{m}/\text{kg}^{1/3}$ 。

(2) 地层条件和状态有较大变化时, 地震波幅值不能准确地反映爆源对地面的毁伤效应。在本实验条件下, 地层是否结冻对同样爆源爆炸作用下的地震波幅值影响较大, 地层结冻以后爆炸地震波幅值明显增大。特别是软土或砂土地层的物理力学性质对气候条件更为敏感, 因此用爆炸地震波比较爆源的地面毁伤效应最好在相同的地层条件和地层状态下进行。

参考文献:

- [1] 张奇, 白春华, 刘庆明, 等. 一次引爆 FAE 及其爆炸效应研究[J]. 实验力学, 2000, 15(4): 448-453.
- [2] ZHNG Qi, BAI Chun-hua, LIU Qing-ming, et al. Experimental Research on Amplitude Change of Blasting Seismic Wave with Topography[J]. J of Beijing Institute of Technology, 2000, 9(3): 273-278.
- [3] 张奇, 白春华, 刘庆明, 等. 爆炸地震波频谱特性研究[J]. 北京理工大学学报, 1999, 19(3): 256-259.

Investigations of Evaluating Blast Damage Power to Ground Surface Targets by Explosion Seismic Effects

ZHANG Qi, LIN Da-chao, BAI Chun-hua, GUO Yan-yi
(State Key Laboratory of Prevention and Control of Explosion Disasters,
Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: In this work, a potential method to evaluate seismic effect on ground. Surface targets was suggested to be that explosion seismic strength may be able to reflect the damage effects of explosion resources to ground surface targets. Experimental results show that the method may be reasonable under the identical ground-layer state and within a definite distance range.

Key words: explosion; explosion seismic effect; blast damage effect; damage power evaluation