

# СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗРЫВНОГО НАГРУЖЕНИЯ ТВЕРДЫХ И ПОРИСТЫХ СТРУКТУР

Дж.-Р. Лу<sup>1</sup>, К. Сюэ<sup>2</sup>, Б. Л. Тянь<sup>3</sup>, М. З. Сян<sup>1</sup>, Л. Л. Мяо<sup>2</sup>, Дж. Чен<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Главная национальная лаборатория вычислительной физики, Институт прикладной физики и вычислительной математики, Пекин, КНР

<sup>2</sup>Главная государственная лаборатория науки и техники взрыва, Пекинский технологический институт, Пекин, КНР

<sup>3</sup>Школа авионавтики и инжиниринга, Бэйханский университет, Пекин, КНР

<sup>4</sup>IEDPS, Центр прикладной физики и технологии и Инженерный колледж, Пекинский университет, Пекин, КНР

E-mail: 1246016258@qq.com; xuekun@bit.edu.cn; tianbaolin@buaa.edu.cn;  
xiang\_meizhen@iapcm.ac.cn; 18813021171@163.com; jun\_chen@iapcm.ac.cn

В работе проводится численное исследование зависимости характеристик и параметров взрывного нагружения твердых и пористых структур в закрытом объеме, с применением такой конфигурации ударной трубы, в которой источник взрыва приближенно вычисляется по участку на закрытом конце трубы, заполненном газами высокого давления. С помощью численного метода исследования сжимаемого газа-твердого вещества с четырехсторонним связыванием были обнаружены явные корреляции между волновой динамикой и характерными особенностями взрывного нагружения во время переходного состояния при воздействии ударной волны и длительного устойчивого состояния. После ударного воздействия взрывное нагружение твердых и пористых структур демонстрирует импульсный характер, обусловленный возвратно-поступательной ударной волной и волнами разрежения со средними и значительными снижениями амплитуды, соответственно. Данные по первым нескольким импульсам ясно указывают на распространение сложных волн между закрытым концом трубы и поверхностью твердых или пористых структур. Профиль давления для твердой структуры вскоре переходит в форму, состоящую из периодических треугольных волн с крутым фронтом и неизменными амплитудами. Напротив, пиковое избыточное давление и амплитуда импульсов, воздействующих на пористую структуру, претерпевают значительный спад так, что постепенно снижающаяся нагрузка определяет долговременную взрывную нагрузку. Разницу во взрывном нагружении между твердой и пористой структурами можно объяснить значительной потерей энергии в результате газовой фильтрации внутри пористой структуры, которая по мере увеличения пористости становится более нечувствительной. Сжатие пористой структуры также играет важную роль, поскольку уменьшение пористой поверхности вносит вклад в отчетливо выраженную диссипацию отраженных волн. Мы проводим дополнительное исследование параметрических зависимостей определяющих особенностей взрывного нагружения твердых и пористых структур, включая энергию взрыва, расстояние между источником взрыва и структурой, а также пористость.

## Литература

1. **Britan, A.** Shock waves attenuation by granular filters [Text] / A. Britan, G. Ben-Dor, O. Igra, and H. Shapiro // *Int. J. Multiph. Flow.* – 2001. – Vol. 27. – P. 617.
2. **Britan, A.** The contribution of shock tubes to simplified analysis of gas filtration through granular media [Text] / A. Britan, H. Shapiro, and G. Ben-Dor // *J. Fluid Mech.* – 2007. – Vol. 586. – P. 147.
3. **Crowe, T.** *Multiphase Flows with Droplets and Particles* [Text] / T. Crowe, J. D. Schwarzkopf, M. Sommerfeld, and Y. Tsuji. – Boca Raton : CRC Press, 2012.
4. **Eriksen, F. K.** Pressure evolution and deformation of confined granular media during pneumatic fracturing [Text] / F. K. Eriksen, R. Toussaint, A. L. Turquet, K. J. Måløy, and E. G. Flekkøy // *Phys. Rev. E.* – 2018. – Vol. 97. – P. 012908.
5. **Frost, L.** Heterogeneous/particle-laden blast waves [Text] // *Shock Waves.* – 2018. – Vol. 28. – P. 439.
6. **Гвоздева, Л.** Взаимодействие воздушных ударных волн с пористыми сжимаемыми материалами [Текст] / Л. Гвоздева, Ю. М. Фаресов и В. Фокеев // *Советская физика. Сер. «Прикладная механика и техническая физика».* – 1985. – Т. 3. – С. 111.

7. **Koneru, R. B.** A numerical study of particle jetting in a dense particle bed driven by an air-blast [Text] / R. B. Koneru, B. Rollin, B. Durant, F. Ouellet, and S. Balachandar // *Phys. Fluids*. – 2020. – Vol. 32. – P. 093301.
  8. **Levy, A.** Head-on collision of normal shock waves with rigid porous materials [Text] / A. Levy, G. Bendor, B. W. Skews, and S. Sorek // *Exp. Fluids*. – 1993. – Vol. 15. – P. 183.
  9. **Skews, W.** *Shock Wave Propagation in Multi-Phase Media*. – 2001.
  10. **Tian, L.** Compressible multiphase particle-in-cell method (CMP-PIC) for full pattern flows of gas-particle system [Text] / B. L. Tian, J. S. Zeng, B. Q. Meng, Q. Chen, X. H. Guo, and K. Xue // *Journal of Computational Physics*. – 2020. – Vol. 418. – P. 109602.
  11. **Vivek, P.** *Granular Materials Under Shock and Blast Loading* [Text] / P. Vivek, and T. G. Sitharam. – , Singapore : Springer, 2019.
  12. **Xue, K.** Explosive dispersal of granular media [Text] / K. Xue, L. Miu, J. Li, C. Bai, and B. Tian // *J. Fluid Mech.* 959, A17 (2023).
-