

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP HẠT KHÔNG LƯỚI MÔ PHỎNG NỔ TRONG MÔI TRƯỜNG NƯỚC

ThS. TÔ ĐỨC THỌ, TS. ĐÀM TRỌNG THẮNG
Bộ Tư Lệnh Công binh

1. Tổng quan

Các phương pháp truyền thống khi mô phỏng về nổ như giải tích, thực nghiệm, mô hình... đã đạt được nhiều kết quả trong tính toán các thông số sóng nổ và mô phỏng quá trình nổ. Tuy nhiên nhiều bài toán do phải lý tưởng hoá các điều kiện môi trường bằng các điều kiện biên để giải dẫn đến kết quả trong nhiều trường hợp vẫn còn sai khác nhiều so với thực tế. Nghiên cứu mô phỏng về nổ trong những năm qua thường sử dụng bằng phương pháp Euler và Lagrange. Tương ứng với hai loại này là việc sử dụng các lưới phân chia riêng rẽ khác hẳn nhau: lưới Euler và lưới Lagrange. Hai phương pháp lưới này được sử dụng trong các mô phỏng số của cơ học môi trường liên tục: khí, lỏng và vật rắn biến dạng. Bên cạnh những thành công trong việc giải nhiều bài toán khác nhau nhưng hai phương pháp này lại gặp khó khăn trong các bài toán nổ vì biến dạng lớn và diễn ra ở tốc độ cao.

Tải trọng sóng nổ là loại tải trọng động diễn ra trong thời gian rất ngắn và cường độ lớn. Khi vụ nổ xảy ra, áp suất môi trường xung quanh thay đổi đột ngột và quá trình nổ diễn ra ở tốc độ rất cao. Việc mô phỏng nổ gặp nhiều khó khăn do các đặc tính của nó. Thực tế cho thấy nghiên cứu mô phỏng nổ trong các môi trường không khí và đất đá gặp thuận lợi hơn so với môi trường nước. Vì trong quá trình tính toán nổ dưới nước hiện nay vẫn chủ yếu dựa vào các công thức tính toán nổ trên cạn và xét đến ảnh hưởng lớp nước phía trên lượng nổ.

Vấn đề đặt ra là cần một phương pháp giải quyết tốt vấn đề mà hai phương pháp trên gặp bất lợi khi mô phỏng bài toán nổ như việc hay gặp lỗi trong quá trình tính toán. Ngoài ra còn giải quyết tốt bài toán tính toán nghiên cứu nổ trong môi trường nước mà đã nhiều các phương pháp hiện nay vẫn chưa giải quyết được. Với sự phát triển của công nghệ thông tin trong thời gian qua, phương pháp hạt không lưới cho phép tính toán mô phỏng các

bài toán nổ trong nước với độ chính xác cao và sát với thực tiễn nổ hơn nhiều so với các phương pháp đã có.

2. Phương pháp hạt không lưới

Khác với các phương pháp sử dụng lưới như phương pháp phần tử hữu hạn hay sai phân hữu hạn, phương pháp hạt không lưới (Meshfree particle method- MPM) thuộc về lớp các bài toán phương pháp không lưới. Môi trường được chia thành các hạt, mỗi hạt mang trong mình các tham số chuyển động và tham số trạng thái. Các tham số chuyển động gồm có vị trí, vận tốc và gia tốc. Các tham số trạng thái gồm có mật độ, áp suất, nội năng, nhiệt độ và entropy. Kích thước các hạt phải đủ nhỏ để có thể coi trong phạm vi hạt, giá trị các tham số trên là không đổi. Mặt khác, kích thước các hạt phải đủ lớn để có thể coi trong phạm vi hạt vẫn thỏa mãn các quy luật của cơ học môi trường liên tục như quy luật bảo toàn khối lượng, bảo toàn động lượng, bảo toàn năng lượng và phương trình trạng thái. Các hạt trong vùng nhiễu động tương tác với nhau, tác dụng cơ học lên nhau và tự do dịch chuyển theo tương tác giữa chúng. Khi dịch chuyển khoảng cách giữa chúng làm thay đổi mật độ. Mật độ thay đổi theo phương trình trạng thái lại làm thay đổi các tham số trạng thái khác. Quá trình cứ thế diễn ra cho đến khi môi trường thiết lập một trạng thái ổn định mới. Một số loại phương pháp hạt được sử dụng hiện nay: Thủy động lực học hạt trơn, phương pháp Vorticity, phương pháp phần tử rời rạc, hạt bán ẩn di chuyển, hạt trong khối, giới hạn và khối, chất lỏng trong khối...

2.1 Phương pháp thủy động lực học hạt trơn

Phương pháp thủy động lực học hạt trơn (Smoothed particle hydrodynamics-SPH) là một phương pháp hạt không lưới, được phát minh cho mô hình hóa vật lý thiên văn và phát triển ứng dụng cho các bài toán của cơ học môi trường liên tục sau này. Thủy động lực học hạt trơn và các biến thể khác nhau chủ yếu phương pháp hạt, đã được

ứng dụng nghiên cứu vào nhiều lĩnh vực khác nhau như vật lý thiên văn, từ-thủy động lực học, cơ học vật rắn, động lực học chất lỏng, sóng dài, vận chuyển và ngưng tụ trầm tích, sóng biển và các tác động của sóng lên kết cấu ở ngoài khơi...

Với các đặc trưng của bài toán nổ trong môi trường nước như biến dạng lớn, quá trình diễn ra ở tốc độ rất cao... các phương pháp truyền thống không đủ các điều kiện để diễn tả hết các đặc trưng của bài toán nổ. Phương pháp thủy động lực học hạt trơn hầu như đáp ứng được các đặc trưng của bài toán nổ dưới nước. Do vậy, phương pháp này rất thích hợp cho tính toán, mô phỏng nổ dưới nước trong các điều kiện khác nhau.

2.2 Cơ sở toán học của phương pháp thủy động lực học hạt trơn

Các thông số về chuyển động và trạng thái của môi trường như vận tốc, gia tốc, áp suất, mật độ, nội năng, nhiệt độ và entropy thay đổi tùy thuộc vào từng thời điểm của quá trình. Mỗi thời điểm trong môi trường là biến trường cần tìm. Mỗi biến trường cần tìm được biểu diễn dưới dạng tích phân.

Các tích phân này lại được xấp xỉ bằng xấp xỉ đặc biệt gọi là xấp xỉ Kernel. Xấp xỉ sử dụng các hạt được gọi là xấp xỉ hạt. Thực hiện xấp xỉ hạt cho toàn bộ biến trường, chuyển việc giải hệ các phương trình vi phân đạo hàm riêng về giải các phương trình vi phân thường. Các bước giải của phương pháp này với bài toán động trong cơ học môi trường liên tục gồm 6 bước cơ bản:

❖ Bước 1: Tại thời điểm bắt đầu $t=0$, thực hiện rời rạc miền nghiên cứu thành các hạt. Gán cho các biến trường của mỗi hạt các giá trị ban đầu phù hợp với điều kiện đầu và điều kiện biên của bài toán;

❖ Bước 2: Xây dựng dạng xấp xỉ hạt cho các phương trình cần giải;

❖ Bước 3: Từ vị trí và tốc độ hạt tại thời điểm t , tính biến dạng và tốc độ biến dạng cho mỗi hạt, sau đó cũng tại thời điểm này tính ứng suất cho các hạt;

❖ Bước 4: Từ ứng suất tính được, tính gia tốc cho các hạt tại thời điểm t ;

❖ Bước 5: Từ gia tốc tính được tại thời điểm t , tính tọa độ và tốc độ mới cho bước tích phân ($t+\Delta t$) tiếp theo. Ở đó Δt là bước thời gian tích phân;

❖ Bước 6: Lặp lại các bước từ 3 đến 5 cho mỗi bước tích phân tiếp theo.

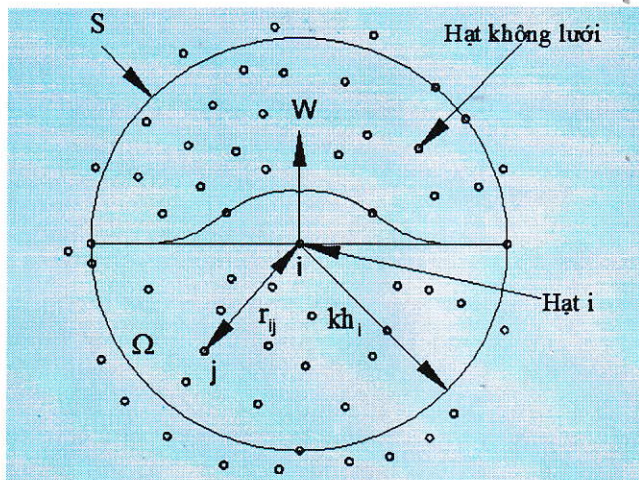
Các bước từ 3 đến 5 là các bước tích phân các phương trình bảo toàn.

Các đặc trưng của phương pháp này bao gồm việc xác định: hàm tựa, xấp xỉ hạt (H.1) miền tựa cho mỗi hạt (H.2), xác định kích thước cơ bản miền tựa, xác định điều kiện biên, xây dựng hàm tựa,

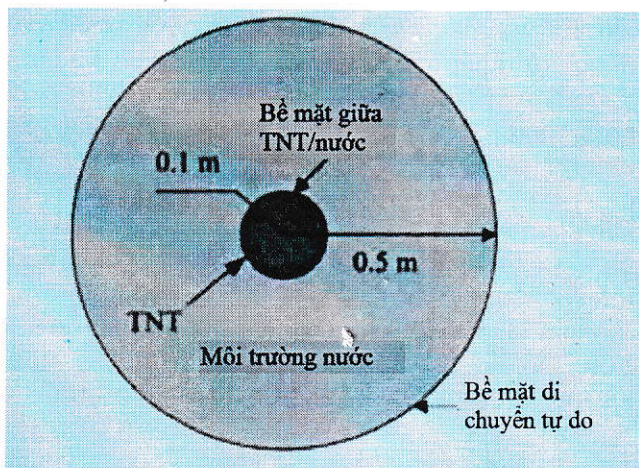
xấp xỉ hàm, xấp xỉ đạo hàm, xây dựng hàm tựa dưới dạng đa thức.



H.1. Cách phân chia hạt trong bài toán một chiều



H.2. Các hạt trong miền tựa của hạt "i"



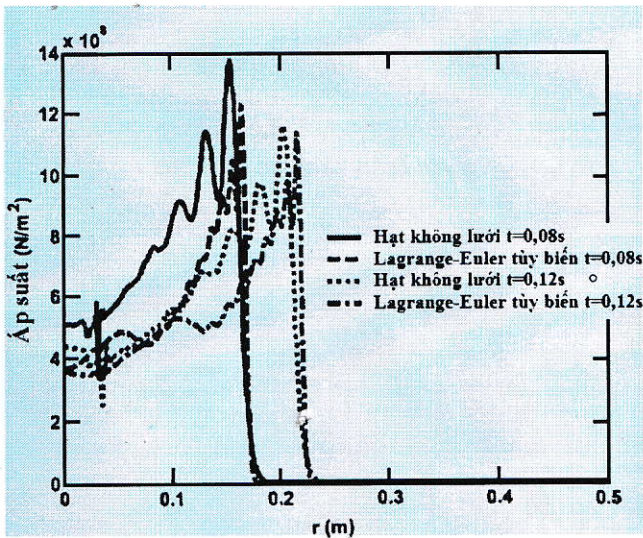
H.3. Hình dạng hình học ban đầu của khối thuốc nổ trụ TNT trong nước

3. Ứng dụng hạt không lưới (thủy động lực học hạt trơn) trong mô phỏng nổ dưới nước

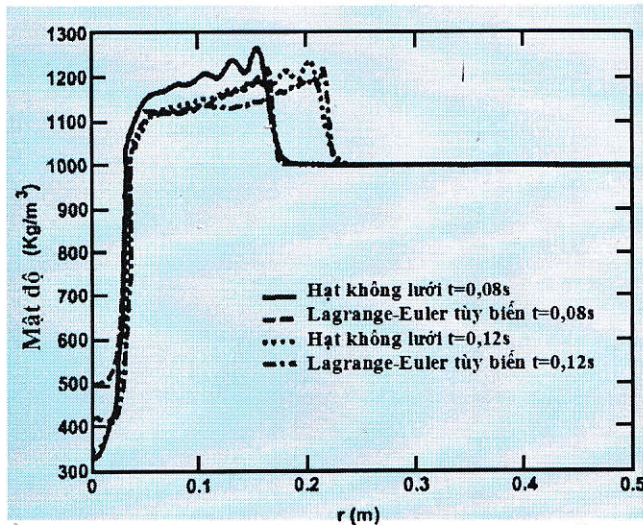
Ứng dụng tính cho khối thuốc nổ hình trụ TNT được bao bọc xung quanh là môi trường nước và khi nổ là nổ từ tâm khối thuốc. Bán kính của khối thuốc là 0,1 m và bán kính của phạm vi nghiên cứu là 0,5 m. Bề mặt ngoài của nước được coi như bề mặt tự do (H.3).

Ban đầu, 50 hạt được triển khai theo hướng kính, 10 hạt trong cùng của chúng là các hạt sản phẩm khí và 40 hạt dùng cho môi trường nước. 60 hạt được đặt tại hướng tiếp tuyến. Môi trường

nước ban đầu ở điều kiện khí lý tưởng..., áp suất 101,325 KPa và nhiệt độ 293 độ K. Do vậy, các đặc tính ban đầu của mọi hạt có thể được xác định bằng sử dụng điều kiện ban đầu.

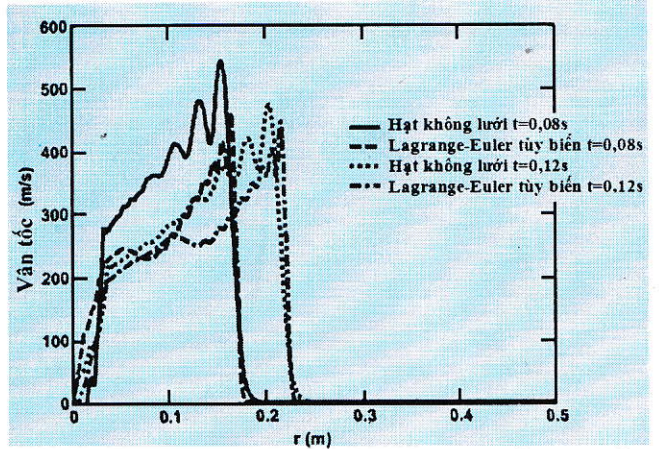


H.4. Áp suất phân bố trong sản phẩm khí nổ và môi trường nước cũng như sóng xung kích bề mặt tại thời điểm $t=0,08$ ms và $t=0,12$ ms

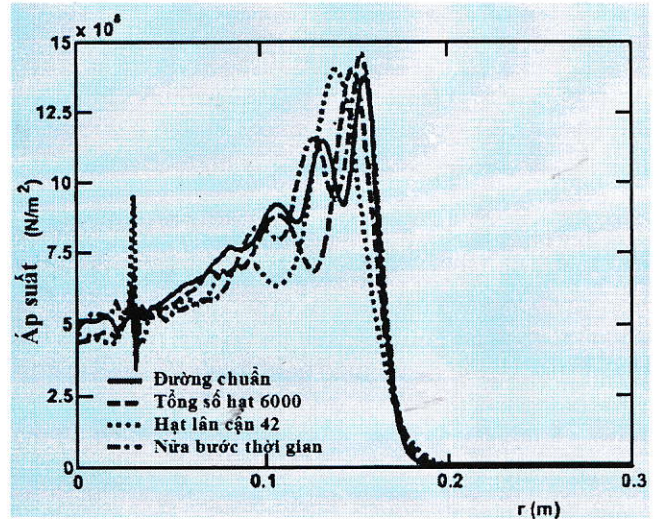


H.5. Mật độ phân bố trong sản phẩm khí nổ và môi trường nước cũng như sóng xung kích bề mặt tại thời điểm $t=0,08$ ms và $t=0,12$ ms

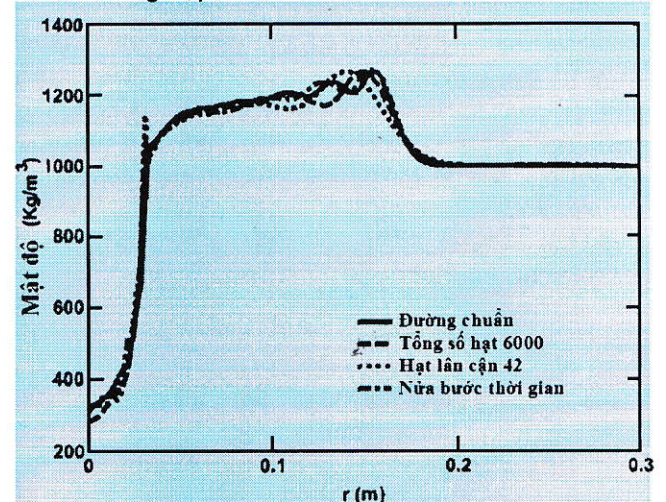
Các kết quả nghiên cứu khối nổ TNT hình trụ trong nước có so sánh so với phương pháp Lagrange – Euler tùy biến về áp suất phân bố, mật độ phân bố, vận tốc phân bố... các trạng thái môi trường ở thời điểm 0,08 ms; 0,12 ms. Nhận xét: các đường cong áp suất, mật độ và vận tốc phân bố trong sản phẩm khí nổ và môi trường nước sử dụng phương pháp hạt không lưới (thủy động lực học hạt trơn) sát với lý thuyết nổ trong môi trường nước.



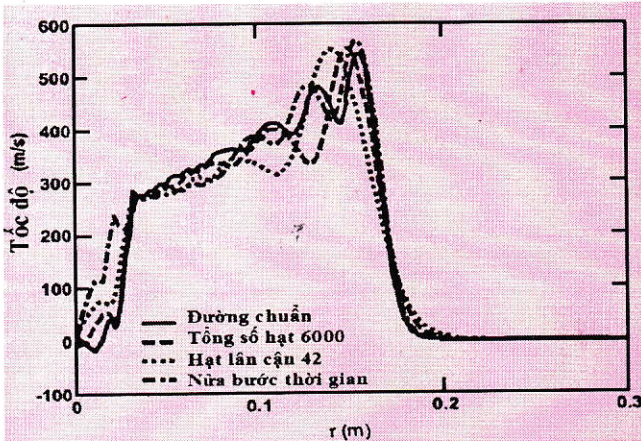
H.6. Vận tốc phân bố trong sản phẩm khí nổ và môi trường nước cũng như sóng xung kích tại thời điểm $t=0,08$ ms và $t=0,12$ ms



H.7. Áp suất phân bố trong sản phẩm khí nổ và môi trường nước tại các thời điểm $t=0,08$ ms cho các trường hợp khác nhau



H.8. Mật độ phân bố trong sản phẩm khí nổ và môi trường nước tại thời điểm $t=0,08$ ms cho các trường hợp khác nhau



H.9. Tốc độ phân bố trong sản phẩm khí nổ và môi trường nước tại thời điểm $t=0,08$ ms cho các trường hợp khác nhau

Kết quả tính toán và tốc độ tính toán giữa hai phương pháp cũng khác biệt hơn, trong đó phương pháp thủy động lực hạt trơn thể hiện rõ các tính năng vượt trội so với phương pháp khá mạnh hiện nay là phương pháp Lagrange-Euler tùy biến.

5. Kết luận

Các kết quả cho thấy rằng mô phỏng nổ dưới nước bằng phương pháp hạt không lưới cho kết quả nhanh hơn và chính xác hơn các phương pháp nhiều lần. Dao động số trong khu vực bề mặt sản phẩm nổ khí và môi trường nước diễn ra chỉ xung quanh một vài đường tròn. Sóng xung kích là hiện tượng vật lý, tiêu biểu cho ảnh hưởng toàn bộ tương tác giữa sản phẩm khí nổ và môi trường nước. Toàn bộ dao động số xung quanh bề mặt được làm trơn dần dần và do vậy sẽ có ít ảnh hưởng lên sóng xung kích. Nổ dưới nước bao gồm chuỗi các quá trình vật lý phức tạp và luôn liên quan đến sự biến dạng lớn, tính không đồng nhất cao, sự dịch chuyển các bề mặt phân cách và các bề mặt tự do. Mô phỏng nổ dưới nước luôn là một thách thức lớn đối với các phương pháp số thông thường. Nhờ áp dụng mô phỏng bằng phương pháp hạt không lưới (ở đây là thủy động lực hạt trơn) các kết quả mô phỏng trở nên chính xác, nhanh và sát với thực tiễn nổ. Mô phỏng nổ dưới nước còn rất mới mẻ và rất cần được nghiên cứu áp dụng sâu hơn cho nhiều bài toán mô phỏng nổ trong môi trường nước nói riêng và các môi trường nổ nói chung. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Quốc Bảo, Trần Nhất Dũng. Phương pháp phần tử hữu hạn lý thuyết và lập trình. Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật. 2003.
2. Phan Nguyên Di. Cơ học môi trường liên tục. Nhà xuất bản Quân đội, 2001.
3. Hồ Sĩ Giao, Đàm Trọng Thắng, Lê Văn Quyền, Hoàng Tuấn Chung. Nổ hóa học lý thuyết và thực tiễn. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật. 2010.

4. Nguyễn Phùng Quang. Matlab & Simulink dành cho kỹ sư điều khiển tự động, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 2005.

5. Tô Đức Thọ. Nghiên cứu các tham số sóng nổ của lượng nổ trụ dài / Khoa học và Kỹ thuật (Học viện KTQS), số 135(7-2010).

6. Liu M.B, Liu G R. and Lam K. Y. Investigations into water mitigations using a meshless particle method, Shock Wave, 2002a.

Người biên tập: Hồ Sĩ Giao

SUMMARY

The current emulation methods have almost many errors because of not describing specific process of explosion. Meshfree particle method in mechanics of continuous environment has been still quite new for all of science internal and over the world. This method contains a lot of ways to solve simulating the underwater explosion. Smoothed particle hydrodynamics is one of types meshfree particle method and simulated many problems having characters like the problems in the underwater explosion. By dint of using this method will be the results better than others current methods.

LỜI CHAY - Ý DẠP

1. Đa số người đời dễ thành công ở những việc nhỏ, nếu họ không bị rối loạn bởi những tham vọng lớn. *Longfellow.*

2. Hãy cho hết những gì bạn nhận được và hãy lắng nghe tiếng gọi của lòng thương xót. Đừng nghĩ rằng cái ít ỏi bạn cho đi là to lớn. Và cái to lớn bạn nhận được là ít ỏi. *Phoebe Vary.*

3. Giá trị của sự cần mẫn nằm ở chỗ: nó tích tụ cho sự may mắn. Càng chăm chỉ bao nhiêu, tôi (chúng ta) lại càng may mắn bấy nhiêu. *Bill Gates.*

4. Kẻ biết kính trọng người khác là tự tạo danh dự cho chính mình. *J. Chrysostome.*

5. Khát vọng sâu thẳm nhất trong bản chất của con người là được đánh giá và công nhận đúng. *William James.*

6. Chính sức khỏe mới là giàu có thực sự, chứ không phải là bạc là vàng. *Mahatma Gandhi.*

VTH sưu tầm