

# Sự nguy hiểm cháy nổ khi sử dụng Hydrogen làm nguồn năng lượng thay thế nguồn năng lượng hoá thạch

The danger of fire and explosion when using Hydrogen as an energy source to replace fossil energy sources

> **THS ĐỖ NGỌC BÍCH**

Khoa KHC&NN, Trường Đại học Phòng cháy chữa cháy

## TÓM TẮT

Bài báo có nêu tính chất nguy hiểm cháy, nổ của hydrogen được liệt kê và so sánh với khí methane (thành phần chính trong khí thiên nhiên và khí biogas) - một khí đã được nhận thức rõ ràng về tính nguy hiểm cháy nổ. Kết quả cho thấy rằng, hydrogen nguy hiểm hơn so với các nhiên liệu hoá thạch truyền thống, điều này đã được chứng minh qua sự so sánh các tính chất hoá lý của hydrogen với khí methane. Dựa trên kết quả so sánh, các kết luận về sự nguy hiểm cháy nổ của hydrogen được tổng kết, trên cơ sở đó đánh giá các rủi ro cháy nổ của hydrogen và đưa ra các khuyến cáo khi sử dụng hydrogen làm nhiên liệu thay thế cho nhiên liệu hoá thạch.

**Từ khoá:** Hydrogen; năng lượng thay thế; năng lượng hoá thạch; methane; nguy hiểm cháy; rủi ro cháy.

## ABSTRACT

In this article, the fire and explosion hazard of Hydrogen is listed and compared with methane (the main ingredient in natural gas and biogas) - a gas is well - known as explosion and fire hazard. A comparison of the physicochemical properties of hydrogen with those of methane has performed. The results demonstrate that hydrogen is more dangerous than fossil fuels. Based on the results of the comparison, conclusions about the fire and explosion hazards of hydrogen are summed up and the explosion risks of hydrogen are evaluated. Besides, we have also made recommendations when hydrogen is used as an alternative fuel which replacing fossil fuels.

**Keywords:** Hydrogen; alternative energy; fossil energy; methane; fire hazard; fire risk.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hydrogen đã được đề xuất làm nhiên liệu thay thế xăng và khí tự nhiên như một nguồn năng lượng sạch. Động lực chính cho sự thay thế này là quá trình đốt cháy hydrogen không tạo ra carbon dioxide, một khí gây ra hiệu ứng nhà kính và được coi là tác nhân chính gây ra sự nóng lên toàn cầu. Mặt khác, con người đang trong quá trình tìm kiếm một nguồn năng lượng để thay thế các nguồn năng lượng không tái tạo và đang đối mặt với nguy cơ cạn kiệt như dầu mỏ hay khí thiên nhiên.

Tuy nhiên, tính an toàn cháy nổ của khí hydrogen đang là một vấn đề được coi là rào cản của sự thay thế các nguồn năng lượng hoá thạch bằng năng lượng hydrogen. Trong quá khứ, đã từng xảy ra các sự cố cháy nổ khí hydrogen gây thiệt hại lớn về người và tài sản, điển hình là: Đám cháy hydrogen của khí cầu Hindenburg, xảy ra vào ngày 06/ 5/ 1937 và dẫn đến cái chết của 13 hành khách, 22 thành viên phi hành đoàn và một người trên mặt đất. Hindenburg là khí cầu lớn nhất từng được chế tạo và được nâng lên bởi 200.000 m<sup>3</sup> khí hydrogen được chứa trong 16 túi hoặc ô chứa khí. Sau đó, một số câu hỏi đã được đặt ra là: hydrogen có an toàn không? Hoặc hydrogen có an toàn hơn các nguồn năng lượng hiện tại, chẳng hạn như xăng và khí đốt tự nhiên hay không? Cụm từ “ an toàn” tương đối khó định nghĩa với nhiều nhóm đối tượng khác nhau và sự cảm nhận về tính an toàn của họ theo nhiều cách khác nhau. Do vậy, cách tiếp cận tốt hơn là sử dụng các khái niệm về nguy cơ và rủi ro vì những từ này được định nghĩa rõ ràng và phù hợp hơn để phân tích.

Sau đó, câu hỏi trở thành: Những nguy cơ và rủi ro liên quan đến việc sử dụng hydrogen là gì và làm thế nào để so sánh chúng với các nguồn năng lượng xăng và khí đốt tự nhiên truyền thống? Bài viết này sẽ xem xét các tính chất vật lý và hoá học liên quan đến tính chất cháy, nổ của hydrogen, và so sánh các tính chất này của hydrogen với một chất cháy phổ biến khác. Trong nghiên cứu này, chất cháy được sử dụng để so sánh là CH<sub>4</sub> (methane), đây là một chất cháy tương đối phổ biến và là thành phần chính trong khí thiên nhiên và khí biogas. Tính chất nguy hiểm cháy nổ của nó đã được công nhận và hiểu biết rộng rãi. Việc so sánh này sẽ đưa ra cái nhìn khách quan về tính chất nguy hiểm cháy nổ của hydrogen và đánh giá về tính nguy hiểm và rủi ro khi sử dụng hydrogen.

## 2. ĐỊNH NGHĨA VỀ NGUY CƠ, RỦI RO VÀ ĐÁNH GIÁ VIỆC CHẤP NHẬN CÁC NGUY CƠ, RỦI RO KHI SỬ DỤNG KHÍ HYDROGEN LÀM NHIÊN LIỆU THAY THẾ

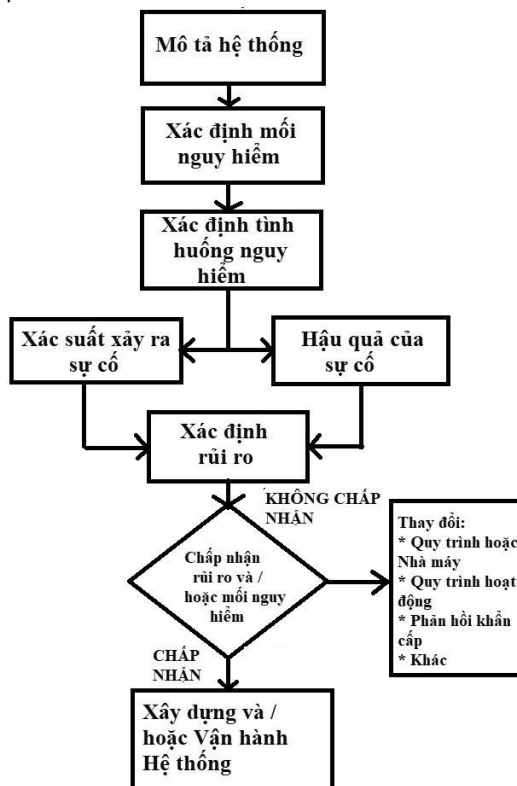
Cần có một số định nghĩa về nguy cơ và rủi ro để hoàn thành việc đánh giá chúng. Thông thường, trước đây, việc đánh giá này không được thực hiện đúng cách do sự hiểu biết chưa đầy đủ về các khái niệm này.

Nguy cơ và rủi ro là hai từ được sử dụng phổ biến, nhưng thường không được áp dụng chính xác. Nhìn chung, hai khái niệm này đều đặc trưng cho tính nguy hiểm. Nguy cơ được định nghĩa là một "tình trạng hóa học hoặc vật lý có khả năng gây thiệt hại cho người, tài sản hoặc môi trường. Đối với nhiên liệu, mối nguy hiểm là do tính chất hoá lý của nhiên liệu - trong trường hợp này là do tính chất dễ cháy và nổ của nhiên liệu [1].

Rủi ro là "một thước đo thương tích con người, thiệt hại môi trường hoặc thiệt hại kinh tế cả về khả năng xảy ra sự cố và mức độ của tổn thất hoặc thương tích"[1]. Nói cách khác, rủi ro bao gồm cả xác suất xảy ra sự cố và hậu quả của sự cố. Nếu chỉ một trong các thành phần được xem xét, thì rủi ro có thể được đánh giá không phù hợp và các phương tiện để kiểm soát rủi ro có thể không đủ hoặc thiếu chính xác.

Phân tích rủi ro được định nghĩa là "sự phát triển của một ước tính định lượng về rủi ro dựa trên đánh giá kỹ thuật và các kỹ thuật toán học để kết hợp các ước tính về hậu quả và tần suất của sự cố" [1]. Cuối cùng, đánh giá rủi ro là "quá trình sử dụng kết quả phân tích rủi ro để đưa ra quyết định" [1].

Quy trình xác định mối nguy cơ và đánh giá rủi ro được trình bày trong hình 1. Sau khi có mô tả đầy đủ về hệ thống, các mối nguy hiểm đầu tiên được xác định. Các mối nguy cơ có thể do các đặc tính vật lý và hoá học của hoá chất hoặc vật liệu, điều kiện vận hành (nhiệt độ và áp suất), hoặc các quy trình được sử dụng trong quá trình vận hành.



Hình 1. Quy trình xác định mối nguy cơ và đánh giá rủi ro [2]

Từ quy trình mỗi nguy cơ và đánh giá rủi ro khẩn cấp, các mối nguy hiểm và đánh giá rủi ro đối với việc sử dụng khí hydrogen làm nhiên liệu thay thế được đưa ra. Việc sử dụng khí hydrogen làm nhiên liệu thay thế đang được xem xét và phát triển để giảm thiểu phát thải khí nhà kính và phụ thuộc vào nguồn nhiên liệu hóa thạch. Tuy nhiên, việc chấp nhận các nguy cơ và rủi ro liên quan đến việc sử dụng khí hydrogen làm nhiên liệu thay thế vẫn cần được xem xét cẩn thận. Một số điểm để đánh giá nguy cơ và rủi ro khi sử dụng khí hydrogen [4] bao gồm: nguy cơ cháy nổ và nổ, lọc và làm sạch nhiên liệu, lưu trữ và vận chuyển an toàn, tác động đến sức khỏe con người, hiệu suất nhiên liệu và hệ thống điều chỉnh, nguy cơ sự cố môi trường.

Trong phạm vi bài viết, nguy cơ, rủi ro cháy nổ hydrogen khi chúng được sử dụng làm nhiên liệu thay thế được tập trung đánh giá. Nguy cơ, rủi ro cháy nổ của hydrogen tập trung vào bốn khía cạnh sau:

**Nguy cơ phản ứng cháy nổ:** Hydrogen là một chất khí dễ cháy và có nguy cơ phản ứng cháy nổ mạnh khi tiếp xúc với không khí hoặc nguồn điện. Một ngọn lửa nhỏ hoặc tia lửa có thể gây ra một phản ứng cháy kèm theo nổ.

**Tỉ lệ hỗn hợp cháy nổ:** Hydrogen có thể cháy trong một dải tỉ lệ hỗn hợp rộng với không khí, từ 4% đến 75%. Điều này tạo ra nguy cơ cháy nổ khi khí hydrogen bị rò rỉ và tạo thành hỗn hợp nổ.

**Áp suất và dạng lưu trữ:** Hydrogen có thể được lưu trữ ở áp suất cao trong các bình chứa hoặc ở dạng lỏng ở nhiệt độ cực thấp. Các áp suất cao và nhiệt độ cực thấp này có thể tạo ra nguy cơ nổ khi không tuân thủ các quy định và biện pháp an toàn.

**Rò rỉ khí:** Hydrogen có khả năng xâm nhập qua các khe hở nhỏ và gây ra rò rỉ khí. Rò rỉ khí hydrogen trong không gian có thể dẫn đến tạo thành một vùng không gian nguy hiểm cháy nổ.

## 3. TÍNH CHẤT HOÁ LÝ CỦA HYDROGEN LIÊN QUAN ĐẾN RỦI RO CHÁY NỔ

Vi hydrogen là một chất cháy (hoặc nhiên liệu) nên, bài báo này sẽ tập trung vào các tính chất nguy hiểm về cháy nổ của hydrogen. Các nguy cơ độc hại hoặc nguy cơ ô nhiễm môi trường không được xem xét trong nghiên cứu này. Bảng 1 trình bày các thông số hoá lý của hydrogen để minh chứng cho các tính chất nguy hiểm của hydrogen, đồng thời đưa ra sự so sánh với khí methane (CH<sub>4</sub>) nhằm minh hoạ sắc nét cho đặc tính nguy hiểm cháy nổ của hydrogen.

Các mối nguy hiểm cháy nổ của một chất cháy bất kỳ đều liên quan đến tất cả các tính hoá lý của nó, tức là bất kỳ một trong số các tính chất hoá lý liên quan đến cháy nổ đều có thể là nguyên nhân gây ra sự nguy hiểm. Tuy nhiên, trong số các tính chất cháy nổ, chỉ một số tính liên quan đến xác suất xảy ra cháy nổ và một số tính chất sẽ liên quan đến hậu quả. Ví dụ, giới hạn nồng độ bắt cháy liên quan đến xác suất xảy ra cháy, trong khi đó, nhiệt cháy có liên quan đến hậu quả vì sự tỏa nhiệt gây ra các thiệt hại về con người và tài sản.

Việc so sánh tính chất nguy hiểm của hydrogen và methane được thực hiện trên 7 tính chất theo bảng 1. Đối với mỗi tính chất hoá lý, một bình luận định tính và định lượng được đưa ra. Việc so sánh định tính được thực hiện thông qua việc so sánh mức độ nguy hiểm dựa trên thông số hoá lý của nhiên liệu và được trình bày tại bảng 1. Bên cạnh đó, việc so sánh định lượng được sử dụng bằng phương pháp chấm điểm cụ thể. Đối với mỗi tính chất, việc đánh giá định lượng tuân theo quy tắc, chất có mức độ nguy hiểm cao hơn rõ rệt được cho "1 điểm", chất còn lại "0 điểm"; khi hai chất có thông số tương đối gần nhau, chất nào có thông số nguy hiểm hơn được cho "1 điểm", chất nào có thông số ít nguy hiểm hơn được cho "0,5" điểm. Kết quả đánh giá này được trình bày tại bảng 1.

Bảng 1. Các thông số hoá lý liên quan đến tính chất nguy hiểm cháy nổ (ở cùng điều kiện nhiệt độ và áp suất 1 Bar) của hydrogen so sánh với khí CH<sub>4</sub> [3,4,5,6,7] và sự so sánh tính nguy hiểm của hai khí dựa trên điểm số được đánh giá

Tính chất	Giá trị của Hydrogen	Giá trị của Methane	So sánh	Điểm	
				H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
Trạng thái vật lý và tỉ khối so với không khí	Khí	Khí	Cả hai đều là chất khí, nhưng hydrogen nhẹ hơn methane, do vậy, trong điều kiện không gian mở, nguy cơ cháy và nổ của hydrogen thấp hơn.	0	1
	≈ 0,07	≈ 0,55			
Giới hạn nồng độ bắt cháy	4,0–75%	5,3–15%	Giới hạn nồng độ bắt cháy của hydrogen lớn hơn nhiều so với methane	1	0
Nhiệt độ tự bốc cháy	572 °C	632 °C	Nhiệt độ tự bốc cháy của hai khí không chênh lệch nhau nhiều, tuy nhiên, hydrogen tự bốc cháy ở nhiệt độ thấp hơn methane 60 °C	1	0,5
Năng lượng bắt cháy	0,018 mJ	0,28 mJ	Năng lượng bắt cháy của hydrogen nhỏ hơn methane khoảng gần 16 lần	1	0
Nhiệt cháy	285,8 kJ/mol	890,3 kJ/mol	Nhiệt cháy của methane cao hơn Hydrogen xấp xỉ 3 lần	0	1
Áp suất cực đại trong quá trình đốt cháy	6,8 Bar	7,1 Bar	Áp suất cực đại khi cháy gần như tương đương, tuy nhiên methane cao hơn 0,3 Bar	0,5	1
Chỉ số nổ khi cháy (nổ hoá học)	550 Bar.m/s	55 Bar.m/s	Chỉ số nổ của Hydrogen cao hơn methane 10 lần	1	0
<b>Tổng điểm</b>				<b>4,5</b>	<b>3,5</b>

Kết quả so sánh tính chất nguy hiểm cháy, nổ của hydrogen và methane cho thấy: Hydrogen nguy hiểm hơn ở 3 tính chất bao gồm: giới hạn nồng độ bắt cháy, năng lượng bắt cháy, chỉ số nổ; Methane nguy hiểm hơn ở 2 chỉ số bao gồm: Trạng thái vật lý và tỉ khối so với không khí và nhiệt cháy. Hai thông số nhiệt độ tự bốc cháy và áp suất cực đại trong quá trình đốt cháy, hai chất có giá trị của mỗi thông số tương đối gần nhau. Tuy nhiên, nhiệt độ tự bốc cháy của methane cao hơn nhiệt độ tự bốc cháy của hydrogen 60°C, trong khi áp suất cực đại khi cháy của methane cao hơn hydrogen 0,3 bar. Tổng điểm nguy hiểm của hydrogen là 4,5 trong khi của methane là 3,5. Điều này cho thấy, hydrogen nguy hiểm cháy nổ hơn methane.

Khi so sánh các chỉ số liên quan đến xác suất xảy ra sự cố cháy nổ, hydrogen vượt trội hơn 3 chỉ số bao gồm: giới hạn nồng độ bắt cháy, nhiệt độ tự bốc cháy, áp suất cực đại trong quá trình đốt cháy. Nhưng methane lại áp đảo với các chỉ số liên quan đến hậu quả với hai chỉ số bao gồm: nhiệt cháy và áp suất cực đại trong quá trình đốt cháy. Từ đó có thể thấy rằng, rủi ro sự cố cháy nổ của hydrogen cao hơn methane, trong khi đó rủi ro thiệt hại tính mạng và tài sản khi sự cố đã xảy ra của methane cao hơn hydrogen. Nhưng cần chú ý thêm rằng, hydrogen có chỉ số nổ (một chỉ số liên quan đến hậu quả) cao gấp 10 lần methane. Do vậy, nếu đánh giá rủi ro về hậu quả của việc cháy nổ của methane và hydrogen và so sánh giữa chúng, cần chú ý rằng, cháy nổ của methane sẽ dễ dàng gây ra cháy lan hơn so với hydrogen do nhiệt cháy của methane cao gấp 3 lần hydrogen, nhưng khả năng gây ra hiệu ứng domino gây phá huỷ hoặc sụp đổ các đối tượng xung quanh khi xảy ra cháy nổ của hydrogen sẽ cao hơn methane do chỉ số nổ của hydrogen cao gấp 10 lần methane.

#### 4. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

Hydrogen là một nhiên liệu sạch có nhiều tiềm năng ứng dụng. Tuy nhiên, việc sử dụng hydrogen sẽ tiềm ẩn nhiều nguy cơ và rủi ro về cháy nổ hơn so với các nhiên liệu hoá thạch truyền thống. Điều này đã được chứng minh qua việc so sánh các tính chất hoá lý của hydrogen và methane.

Sử dụng nguồn nhiên liệu khác thay thế nhiên liệu hoá thạch là tất yếu cần phải thực hiện. Do vậy, để hydrogen trở thành một nhiên liệu thay thế chính cho nhiên liệu hoá thạch, công tác đảm bảo an

toàn cháy nổ phải được thực hiện. Một số biện pháp đảm bảo an toàn cháy nổ cho hydrogen được đưa ra như sau:

- Hydrogen là chất khí, trong quá trình sử dụng, chúng thường được hoá lỏng ở áp suất cao trong các bình thép, do vậy, việc thiết kế, chế tạo các bình thép phải đảm bảo theo yêu cầu kĩ thuật, van bình phải được thường xuyên kiểm tra và bảo dưỡng để phòng rò rỉ hydrogen.

- Kho lưu trữ hydrogen phải đảm bảo thông thoáng, có hệ thống thông gió tốt, kho phải khô ráo, mát mẻ. Không lưu trữ hydrogen cùng với các khí thuộc họ halogen do chúng phản ứng mãnh liệt với nhau mà không cần nguồn nhiệt.

- Khi vận chuyển, cần đảm bảo an toàn PCCC, phải có các biển cảnh báo theo quy định, phải ngăn cách khoang chứa hàng với động cơ bằng vật liệu không cháy, ngăn cách khu vực ống xả với khoang chứa hàng bằng vật liệu không cháy.

- Khi sử dụng hydrogen, phải luôn luôn đảm bảo hệ thống truyền dẫn hydrogen phải kín, không rò rỉ, thường xuyên kiểm tra các điều kiện an toàn. Nếu sử dụng hydrogen cho động cơ đốt trong, động cơ phải được thiết kế phù hợp với sự đốt cháy hydrogen và các đặc điểm kĩ thuật của động cơ phải phù hợp cho loại nhiên liệu này. Nếu sử dụng hydrogen cho pin nhiên liệu hydrogen, cần đảm bảo hệ thống phải kín và được làm mát thích hợp.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. American Institute of Chemical Engineers. (2000). Guidelines for Process Safety in Outsourced Manufacturing Operations. Center for Chemical Process Safety - CCPS.
- [2]. Crowl, D. A., & Louvar, J. F. (2002). Chemical process safety, fundamentals with applications. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- [3]. Kuchta, J. M. (1985). Investigation of fire and explosion accidents in the chemical, mining and fuel-related industries. Bulletin 680. Washington, DC: US Department of the Interior, Bureau of Mines.
- [4]. Rigas, F., & Amyotte, P. (2012). Hydrogen Safety (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b12267>
- [5]. Hoàng Nhâm (2004), Hóa học các nguyên tố, tập 2, NXB Đại học Quốc gia, Hà Nội.
- [6]. Hoàng Nhâm (2004), Hóa học vô cơ, tập 3, NXB Giáo dục, Hà Nội.
- [7]. Đinh Ngọc Tuấn, Nguyễn Quốc Việt, Nguyễn Hữu Hiệu, Khuất Quang Sơn (2018). Sổ tay tra cứu thông tin cháy nổ độc hại của một số hoá chất thông dụng tại Việt Nam. NXB Giao thông vận tải, Hà Nội.