

GS. TSKH NGUYỄN SĨ MÃO

LÝ THUYẾT CHÁY
VÀ
THIẾT BỊ CHÁY



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

HÀ NỘI - 2002

LỜI NÓI ĐẦU

Quyển sách này trình bày những kiến thức cơ bản về hoá học, nhiệt động học liên quan đến quá trình cháy nhiên liệu trong các thiết bị cháy công nghiệp. Đồng thời giới thiệu những tính năng, đặc tính kĩ thuật và phạm vi ứng dụng, phương pháp tính toán thiết kế các thiết bị cháy chủ yếu, trọng tâm là thiết bị lò hơi. Một nội dung quan trọng nữa được đề cập trong quyển sách này là những vấn đề kĩ thuật và công nghệ cháy sạch, một trong những yêu cầu bức thiết đặt ra cùng với sự phát triển bền vững nền kinh tế nói chung và công nghiệp năng lượng nói riêng.

Chương I giới thiệu những kiến thức cơ bản về động lực hoá học liên quan đến tốc độ phản ứng cháy.

Chương II, phần đầu trình bày những lý thuyết cơ bản về tự bắt lửa và môi lửa (bắt lửa cưỡng bức) của chất khí, sự truyền bá ngọn lửa có hỗn hợp trước, về ngọn lửa trong dòng và sự ổn định của ngọn lửa. Đây cũng là những kiến thức cơ bản của lý thuyết cháy nhiên liệu lỏng và nhiên liệu rắn. Phần sau của chương II trình bày lý thuyết và kĩ thuật cháy nhiên liệu khí cụ thể.

Chương III trình bày lý thuyết cháy và thiết bị cháy nhiên liệu lỏng. Lý thuyết cháy nhiên liệu lỏng nói cho cùng chủ yếu là bàn đến sự bốc hơi dầu, quá trình khuếch tán và cháy pha khí. Phần cơ bản của thiết kế và vận hành thiết bị cháy nhiên liệu lỏng là thiết bị phun sương và cung cấp phân phối gió.

Chương IV trình bày lý thuyết cháy và thiết bị cháy nhiên liệu rắn, chủ yếu là cháy than. Trong chương này trước hết đề cập tới một vấn đề quan trọng là đánh giá tiềm năng than và xác định các đặc tính của than Việt Nam, nhằm cung cấp cho bạn đọc một cách nhìn tổng quan về tầm quan trọng của việc nghiên cứu sử dụng nguồn năng lượng để có thể phát triển năng lượng bền vững, đồng thời bảo vệ được môi trường.

Tiếp đó trình bày lý thuyết cháy không đồng pha của hạt cacbon, thiết bị cháy than, trong đó lấy than bột làm trọng tâm. Những công nghệ và thiết bị cháy ít chất phát thải cũng được trình bày thành những phần riêng hoặc kết hợp khi nghiên cứu từng thiết bị cháy.

Quyển sách này ngoài việc trình bày những kiến thức cơ bản trong các sách giáo khoa còn kết hợp giới thiệu những thành quả nghiên cứu mới trong lĩnh vực kỹ thuật cháy của các cơ quan nghiên cứu, các công ty nổi tiếng trên thế giới cũng như trong nước.

Quyển sách này dùng làm giáo trình cho sinh viên ngành năng lượng, làm tài liệu tham khảo cho nghiên cứu sinh, cho kỹ sư nghiên cứu, thiết kế vận hành trong ngành năng lượng nhiệt.

Tác giả

MỤC LỤC

	Trang
<i>Lời nói đầu</i>	3
Chương I. Cơ sở nhiệt động hoá học	9
I.1. Tốc độ phản ứng hoá học	9
I.2. Ảnh hưởng của nồng độ đến tốc độ phản ứng hoá học	10
I.2.1. Định luật khối lượng tác dụng	11
I.2.2. Bậc phản ứng	13
I.3. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến tốc độ phản ứng hoá học	19
I.3.1. Định luật Arrhenius	19
I.3.2. Năng lượng hoạt hoá	21
I.4. Ảnh hưởng của áp suất đến tốc độ phản ứng hoá học	27
I.5. Phản ứng dây chuyền	30
I.6. Cân bằng hoá học	38
Chương II. Cháy nhiên liệu khí	42
II.1. Sự bắt cháy của hỗn hợp khí và lý thuyết tự bắt cháy	42
II.1.1. Lý thuyết về tự bắt lửa (nổ nhiệt lực)	43
II.1.2. Giới hạn tự bắt cháy	49
II.1.3. Thời gian cảm ứng (thời gian kéo dài sự bắt lửa)	53
II.2. Lý thuyết về bắt lửa cưỡng bức của hỗn hợp nhiên liệu khí và không khí	54
II.2.1. Đặc điểm của "môi lửa"	54
II.2.2. Lý thuyết nhiệt lực về môi lửa	57
II.2.3. Phương pháp môi lửa	64
II.2.4. Giới hạn cháy	70
II.3. Truyền bá ngọn lửa cháy tầng	75

II.3.1. Khái niệm về truyền bá ngọn lửa chảy tầng	76
II.3.2. Lý thuyết về truyền bá ngọn lửa chảy tầng	79
II.3.3. Các nhân tố ảnh hưởng đến tốc độ truyền bá ngọn lửa chảy tầng	85
II.4. Truyền bá ngọn lửa chảy rối	
II.4.1. Thông số dòng chảy rối	90
II.4.2. Đặc điểm truyền bá ngọn lửa chảy rối	91
II.5. Loại hình ngọn lửa nhiên liệu khí và các đặc tính cơ bản của dòng phun tự do	94
II.5.1. Khái niệm về ngọn lửa có hỗn hợp khí trước và ngọn lửa khuếch tán	95
II.5.2. Dòng phun tự do đẳng nhiệt	97
II.5.3. Dòng phun không đẳng nhiệt	104
II.6. Đặc điểm của các dòng lưu động phức tạp	105
II.6.1. Phương pháp tính trường tốc độ và đặc tính hỗn lưu trong dòng phun tự do	105
II.6.2. Chùm dòng song song	108
II.6.3. Dòng cắt nhau	111
II.6.4. Dòng xoáy	114
II.6.5. Dòng phun trong không gian hữu hạn	116
II.7. Ngọn lửa dòng phun	118
II.7.1. Ngọn lửa phun chảy tầng	118
II.7.2. Ngọn lửa phun chảy rối	120
II.8. Thiết bị cháy nhiên liệu khí	123
Chương III. Lý thuyết cháy nhiên liệu lỏng	127
III.1. Đặc điểm cháy nhiên liệu lỏng	127
III.1.1. Phương thức cháy	127
III.1.2. Một số mô hình vật lý về quá trình cháy theo phun sương	128

III.1.3. Các biện pháp cơ bản để tăng nhanh quá trình cháy nhiên liệu lỏng	130
III.2. Dòng Stefan	131
III.2.1. Quá trình bốc hơi nước	132
III.2.2. Quá trình cháy than trong môi trường oxy thuần chất	134
III.3. Bay hơi hạt chất lỏng	136
III.3.1. Bay hơi hạt chất lỏng ở điều kiện môi trường tĩnh và nhiệt độ cao	136
III.3.2. Bốc hơi ở điều kiện nhiệt độ cao và có dòng chuyển động cưỡng bức	145
III.3.3. Cháy giọt nhiên liệu	148
III.4. Vòi phun dầu	158
III.4.1. Nguyên lý làm việc và phân loại vòi phun dầu	158
III.4.2. Các yêu cầu phối gió của thiết bị cháy dầu	162
 <i>Chương IV. Lý thuyết cháy nhiên liệu rắn</i>	169
IV.1. Tổng quan về tình hình năng lượng than của Việt Nam	169
IV.2. Thành phần nguyên tố hoá học và đặc tính công nghệ của than	172
IV.2.1. Thành phần hoá học của than	172
IV.2.2. Đặc tính công nghệ của than	179
IV.2.3. Phân loại than	181
IV.3. Lý thuyết cháy hạt than không đồng pha	186
IV.4. Cơ chế phản ứng hoá học của sự cháy cacbon	189
IV.4.1. Cơ chế phản ứng	189
IV.4.2. Hằng số tốc độ và năng lượng hoạt hoá của phản ứng giữa C và CO ₂	193
IV.5. Khống chế phản ứng cháy cacbon	194
IV.6. Cháy hạt than xốp	198
IV.7. Ảnh hưởng của nhiệt độ tới quá trình cháy hạt than	202
IV.7.1. Quá trình cháy gần bề mặt hạt than trong môi trường $Re < 100$	202

IV.7.2. Quá trình cháy hạt than trong môi trường $Re > 100$	204
IV.8. Thời gian cháy kiệt hạt than	205
IV.9. Cơ sở khí động phân loại các hình thức cháy than	211
IV.9.1. Cháy theo lớp cố định	212
IV.9.2. Cháy tầng sôi	214
IV.9.3. Cháy theo ngọn lửa (cháy bột than)	217
IV.10. Những vấn đề kỹ thuật công nghệ đặt ra trong quá trình cháy than - Vấn đề bắt cháy than	219
IV.10.1. Vấn đề bắt cháy than	219
IV.10.2. Nhiệt độ bắt cháy của dòng bột than	222
IV.10.3. Sự hình thành khí NO_x trong khối khi cháy và các giải pháp kỹ thuật	230
IV.10.3.1. Cơ chế hình thành NO_x	230
IV.10.3.2. Khống chế sự hình thành NO_x khi đốt than	262
IV.10.3.3. Cơ chế hình thành và phân huỷ N_2O	264
IV.10.3.4. Ảnh hưởng của phương pháp đốt tới lượng NO_x phát thải và biện pháp kỹ thuật chủ yếu giảm NO_x phát thải	279
IV.10.4. Vấn đề hình thành khí SO_2 khi quá trình cháy và giải pháp kỹ thuật	287
IV.11. Các loại vòi phun đốt than bột ít chất phát thải	294
IV.11.1. Vòi phun phân vùng cấp gió	294
IV.11.2. Vòi phun ít NO_x kiểu SGR của hãng Misubishi Heavy Industries (Nhật Bản)	299
IV.11.3. Vòi phun ít NO_x phân cấp nhiên liệu cháy	299
<i>Đơn vị đo lường quốc tế (SI) và chuyển đổi sang đơn vị đo khác</i>	303
<i>Công thức chuyển đổi đơn vị</i>	304
<i>Tài liệu tham khảo</i>	305

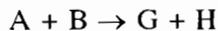
CƠ SỞ NHIỆT ĐỘNG HOÁ HỌC

Cháy là quá trình phản ứng hoá học mãnh liệt, phát nhiệt, phát quang với tốc độ cao và đồng thời kéo theo một loạt quá trình vật lý khác. Bởi vậy quá trình cháy sẽ bao gồm hàng loạt quá trình hoá lý sau: quá trình sinh nhiệt của phản ứng hoá học, quá trình chuyển động, truyền nhiệt và truyền chất giữa các dòng vật chất, quá trình chuyển hoá năng lượng. Nghiên cứu quá trình cháy thực chất là nghiên cứu bản chất của các quá trình nói trên.

I.1. TỐC ĐỘ PHẢN ỨNG HOÁ HỌC

Tốc độ phản ứng hoá học biểu thị lượng thay đổi nồng độ vật chất tham gia phản ứng (hoặc sản phẩm phản ứng) trong một đơn vị thời gian. Bởi vậy cho dù các điều kiện ngoại biên không thay đổi thì tốc độ phản ứng hoá học cũng thay đổi theo thời gian.

Ví dụ với phản ứng đơn giản sau:



thì tốc độ phản ứng tức thời được biểu thị như sau:

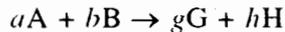
$$v = -\frac{dC_A}{dt} = -\frac{dC_B}{dt} = +\frac{dC_G}{dt} = +\frac{dC_H}{dt} \quad (1.1)$$

trong đó:

C_A, C_B, C_G, C_H là nồng độ chất tham gia phản ứng và sản phẩm phản ứng, mol/cm³;

v là tốc độ phản ứng, mol/cm³.s.

Thông thường các phản ứng hoá học có dạng tổng quát sau:



Trong công thức trên, a, b, g, h là hệ số nồng độ của vật chất tham gia phản ứng (A, B) và sản phẩm phản ứng (G, H). Khi đó tốc độ phản ứng được xác định như sau:

$$-\frac{1}{a} \cdot \frac{dC_A}{dt} = -\frac{1}{b} \cdot \frac{dC_B}{dt} = +\frac{1}{g} \cdot \frac{dC_G}{dt} = +\frac{1}{h} \cdot \frac{dC_H}{dt} \quad (1.2)$$

Về nguyên tắc, ta có thể lấy bất kỳ sự thay đổi nồng độ một chất nào trong phản ứng để biểu thị tốc độ phản ứng hoá học. Trong thực tế, người ta lấy sự thay đổi nồng độ của chất dễ xác định để biểu thị tốc độ phản ứng hoá học. Tốc độ phản ứng hoá học thông thường thông qua con đường thực nghiệm để xác định.

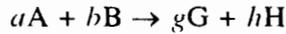
1.2. ẢNH HƯỞNG CỦA NỒNG ĐỘ ĐẾN TỐC ĐỘ PHẢN ỨNG HOÁ HỌC

Phản ứng hoá học là một quá trình tổ hợp lại các chất có cấu trúc nguyên tử khác nhau. Dựa vào sự khác nhau của nguyên lý phản ứng mà người ta phân ra hai loại phản ứng là: phản ứng đơn giản và phản ứng phức tạp. Phản ứng hoá học chỉ có một bước cơ bản gọi là phản ứng đơn giản, còn phản ứng hoá học có từ hai bước cơ bản trở lên và có cơ chế phản ứng phức tạp thì được gọi là phản ứng phức tạp. Dựa vào số lượng phân tử tham gia phản ứng ta có thể phân phản ứng đơn giản thành phản ứng đơn phân tử, phản ứng hai phân tử, phản ứng ba phân tử ...

Các điều kiện khác như nhiệt độ, áp suất, nồng độ ảnh hưởng trực tiếp đến tốc độ phản ứng.

1.2.1. Định luật khối lượng tác dụng

Thực nghiệm chứng minh rằng, với một nhiệt độ nhất định thì tốc độ phản ứng là hàm số của nồng độ chất phản ứng. Đối với phản ứng đơn giản, hoặc bất kỳ một bước nào đó trong phản ứng phức tạp như:



thì tốc độ phản ứng được viết dưới dạng sau:

$$v = k.C_A^a.C_B^b \quad (1.3)$$

trong đó k là hệ số tốc độ phản ứng.

Công thức (1.3) được gọi là định luật khối lượng tác dụng, nó phản ánh quan hệ giữa nồng độ vật chất tham gia phản ứng và tốc độ phản ứng.

Đối với phản ứng đơn giản thì tốc độ tỷ lệ thuận với tích của nồng độ vật chất tham gia.

Phương trình (1.3) được gọi là phương trình tốc độ phản ứng. Dem tích phân (1.3) ta sẽ được phương trình động học phản ứng:

$$C = f(\tau) \quad (1.4)$$

Phương trình (1.4) biểu thị quan hệ giữa nồng độ vật chất tham gia phản ứng với thời gian.

Cả hai phương trình (1.3) và (1.4) đều được xác định bằng phương pháp thực nghiệm. Tuy vậy chúng sẽ giúp ích cho chúng ta trong quá trình xác định cơ chế phản ứng.

Điều cần chú ý là định luật khối lượng tác dụng chỉ đúng với phản ứng đơn giản hoặc một bước phản ứng trong phản ứng phức tạp.

Chúng ta cũng có thể dựa vào thuyết động học phân tử để giải thích định luật khối lượng tác dụng như sau: Tốc độ phản ứng hoá học tỷ lệ thuận với số lần va đập của phân tử vật chất phản ứng trong một đơn vị thời gian và trong một đơn vị thể tích. Hiển nhiên là số lần va đập của các phân tử vật chất phản ứng liên quan mật thiết với nồng độ vật chất tham gia phản ứng.

Dưới đây ta nêu một ví dụ để giải thích.