

Tổng hợp phương pháp giải bài tập đốt cháy hỗn hợp Este không no

Bài tập đốt cháy este, đặc biệt là hỗn hợp các este không no, là một dạng bài tập quan trọng và thường xuất hiện trong các kỳ thi THPT Quốc gia. Để giải quyết tốt dạng bài này, học sinh cần nắm vững kiến thức nền tảng và vận dụng linh hoạt các phương pháp giải nhanh. Tài liệu này sẽ hệ thống hóa toàn bộ kiến thức và phương pháp cần thiết.

I. Kiến thức nền tảng cần nhớ

1. Công thức tổng quát của Este

Este không no, đơn chức, mạch hở có chứa k liên kết π ở gốc hidrocacbon có công thức tổng quát là:



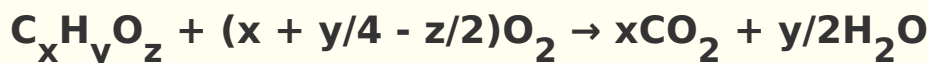
Hoặc viết theo số liên kết π ở gốc hidrocacbon (k):



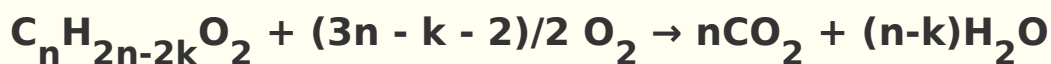
- **$k = 1$:** Este có một nối đôi $C=C$ (ví dụ: metyl acrylat $CH_2=CHCOOCH_3$). Công thức là $C_n H_{2n-2} O_2$.
- **$k = 2$:** Este có hai nối đôi $C=C$ hoặc một nối ba $C \equiv C$ (ví dụ: metyl linoleat). Công thức là $C_n H_{2n-4} O_2$.

2. Phương trình phản ứng cháy tổng quát

Khi đốt cháy este $C_xH_yO_z$:



Đối với este không no, đơn chức, mạch hở ($C_nH_{2n-2k}O_2$):



3. Mối quan hệ quan trọng giữa số mol

Từ phương trình cháy, ta có một công thức cực kỳ quan trọng:

$$n_{CO_2} - n_{H_2O} = k * n_{Este}$$

Trong đó k là số liên kết π ở gốc hidrocarbon. Công thức này có thể viết lại theo độ bất bão hòa tổng ($a = k+1$):

$$n_{CO_2} - n_{H_2O} = (a-1) * n_{Este}$$

Đây là chìa khóa để giải quyết nhiều bài toán phức tạp.

II. Các phương pháp giải bài tập chi tiết

Phương pháp 1: Bảo toàn nguyên tố và Bảo toàn khối lượng

Đây là phương pháp cơ bản nhất nhưng vô cùng hiệu quả, áp dụng được cho mọi bài toán đốt cháy.

1. Nội dung phương pháp

- **Định luật Bảo toàn khối lượng:** Tổng khối lượng các chất tham gia phản ứng bằng tổng khối lượng các chất sản phẩm.

- **Định luật Bảo toàn nguyên tố:** Số mol của mỗi nguyên tố trước và sau phản ứng là không đổi.

2. Các công thức cốt lõi

- Bảo toàn khối lượng: $m_{\text{Este}} + m_{\text{O}_2} = m_{\text{CO}_2} + m_{\text{H}_2\text{O}}$
- Bảo toàn nguyên tố Oxi: $n_{\text{O (trong Este)}} + 2 * n_{\text{O}_2} = 2 * n_{\text{CO}_2} + n_{\text{H}_2\text{O}}$
- Bảo toàn nguyên tố Carbon: $n_{\text{C (trong Este)}} = n_{\text{CO}_2}$
- Bảo toàn nguyên tố Hidro: $n_{\text{H (trong Este)}} = 2 * n_{\text{H}_2\text{O}}$
- Từ đó, khối lượng este được tính: $m_{\text{Este}} = m_{\text{C}} + m_{\text{H}} + m_{\text{O}} = 12 * n_{\text{CO}_2} + 2 * n_{\text{H}_2\text{O}} + 16 * n_{\text{O (trong Este)}}$

3. Ví dụ minh họa

Ví dụ 1: Đốt cháy hoàn toàn 7,4 gam hỗn hợp X gồm hai este đơn chức, mạch hở, là đồng phân của nhau cần dùng vừa đủ 8,96 lít O_2 (đktc), thu được 7,84 lít CO_2 (đktc). Tính khối lượng H_2O thu được.

Phân tích và giải:

1. Tính số mol các chất: $n_{\text{O}_2} = 8,96 / 22,4 = 0,4 \text{ mol}$; $n_{\text{CO}_2} = 7,84 / 22,4 = 0,35 \text{ mol}$.
2. Áp dụng Định luật Bảo toàn khối lượng: $m_{\text{Este}} + m_{\text{O}_2} = m_{\text{CO}_2} + m_{\text{H}_2\text{O}}$
3. Thay số: $7,4 + 0,4 * 32 = 0,35 * 44 + m_{\text{H}_2\text{O}}$
4. $7,4 + 12,8 = 15,4 + m_{\text{H}_2\text{O}}$
5. $20,2 = 15,4 + m_{\text{H}_2\text{O}} \Rightarrow m_{\text{H}_2\text{O}} = 4,8 \text{ gam}$.

Ví dụ 2: Đốt cháy hoàn toàn m gam hỗn hợp hai este không no, đơn chức, mạch hở (chứa một liên kết C=C) thu được 17,6 gam CO₂ và 5,4 gam H₂O. Tính giá trị của m.

Phân tích và giải:

1. Tính số mol sản phẩm: $n_{\text{CO}_2} = 17,6 / 44 = 0,4 \text{ mol}$; $n_{\text{H}_2\text{O}} = 5,4 / 18 = 0,3 \text{ mol}$.
2. Vì este không no, đơn chức, có một liên kết C=C (k=1), nên ta có: $n_{\text{CO}_2} - n_{\text{H}_2\text{O}} = 1 * n_{\text{Este}} \Rightarrow n_{\text{Este}} = 0,4 - 0,3 = 0,1 \text{ mol}$.
3. Vì là este đơn chức nên chứa 2 nguyên tử Oxi. Suy ra: $n_{\text{O (trong Este)}} = 2 * n_{\text{Este}} = 2 * 0,1 = 0,2 \text{ mol}$.
4. Tính khối lượng m của este: $m = m_{\text{C}} + m_{\text{H}} + m_{\text{O}} = 12 * n_{\text{CO}_2} + 2 * n_{\text{H}_2\text{O}} + 16 * n_{\text{O (trong Este)}}$
5. $m = 12 * 0,4 + 2 * 0,3 + 16 * 0,2 = 4,8 + 0,6 + 3,2 = 8,6 \text{ gam}$.

Phương pháp 2: Dồn chất - Quy đổi hỗn hợp

Đây là phương pháp tư duy nâng cao, giúp đơn giản hóa một hỗn hợp phức tạp thành các thành phần đơn giản hơn để tính toán.

1. Nội dung phương pháp

Quy đổi hỗn hợp este ban đầu về các chất hoặc nhóm chất đơn giản hơn như: các nguyên tố (C, H, O), hoặc các nhóm cấu tạo (COO, CH₂, H₂), hoặc các chất đầu dãy đồng đẳng (HCOOCH₃, CH₂, H₂).

2. Các hướng quy đổi phổ biến

Hướng Quy đổi	Giải thích	Áp dụng khi
Quy đổi về C, H, O	Đây là cách quy đổi cơ bản nhất, đưa hỗn hợp về các nguyên tử cấu thành.	Khi biết khối lượng hỗn hợp và sản phẩm cháy.
Quy đổi về COO, CH ₂ , H ₂	Tách nhóm chức COO, phần còn lại là hidrocarbon. Lượng H ₂ âm thể hiện độ không no. $n_{H_2} = -(n_{CO_2} - n_{H_2O})$	Khi biết số mol este, số mol CO ₂ , H ₂ O. Đặc biệt hiệu quả với este không no.
Quy đổi về este no đơn chức và H ₂	Coi hỗn hợp este không no = Este no tương ứng + H ₂ (với $n_{H_2} \geq 0$). Lượng H ₂ bơm vào để no hóa chính là lượng H ₂ bị trừ đi.	Khi bài toán cho đủ kiện liên quan đến phản ứng cộng H ₂ hoặc Br ₂ .

3. Ví dụ minh họa

Ví dụ 3: Đốt cháy hoàn toàn hỗn hợp X gồm vinyl axetat và metyl acrylat, thu được 13,44 lít CO₂ (đktc) và 9 gam H₂O. Tính phần trăm khối lượng của vinyl axetat trong X.

Phân tích và giải:

Vinyl axetat (CH₃COOCH=CH₂) và metyl acrylat (CH₂=CHCOOCH₃) đều có CTPT là C₄H₆O₂. Đây là bài toán đốt cháy một chất.

1. $n_{\text{CO}_2} = 13,44 / 22,4 = 0,6 \text{ mol}$. $n_{\text{H}_2\text{O}} = 9 / 18 = 0,5 \text{ mol}$.

2. Gọi CTPT chung là $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_2$. Ta có $x : y = n_{\text{CO}_2} : (2 \cdot n_{\text{H}_2\text{O}}) = 0,6 : (2 \cdot 0,5) = 0,6 : 1 = 3 : 5$. Do este có 4C nên CTPT là $\text{C}_4\text{H}_{6,67}\dots$ (lẻ) $\rightarrow$ Hỗn hợp có chất khác.

3. *Áp dụng quy đổi*: Cả hai este đều là $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2$ ($k=1$). Chúng là đồng phân. Vậy đây là bài toán đốt 1 chất.

4. $n_{\text{Este}} = n_{\text{CO}_2} - n_{\text{H}_2\text{O}} = 0,6 - 0,5 = 0,1 \text{ mol}$.

5. Kiểm tra lại: $n_{\text{CO}_2} = 0,1 \cdot 4 = 0,4 \text{ mol}$ (Sai đề bài). Giả sử đề bài đúng và hỗn hợp gồm 2 este khác nhau nhưng cùng có 1 liên kết đôi $\text{C}=\text{C}$.

6. Quy đổi hỗn hợp X thành COO , CH_2 và H_2 .

7. Gọi số mol của hỗn hợp là x . $n_{\text{COO}} = x$; $n_{\text{CO}_2} - n_{\text{H}_2\text{O}} = x \Rightarrow x = 0,1 \text{ mol}$.

8. Quy đổi hỗn hợp về C, H, O: $n_{\text{C}} = n_{\text{CO}_2} = 0,6 \text{ mol}$; $n_{\text{H}} = 2 \cdot n_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ mol}$. $n_{\text{O}} = 2 \cdot n_{\text{Este}} = 2 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ mol}$.

9. $m_X = 0,6 \cdot 12 + 1 \cdot 1 + 0,2 \cdot 16 = 7,2 + 1 + 3,2 = 11,4 \text{ gam}$.

10. Gọi a , b là số mol của vinyl axetat ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2$) và metyl acrylat ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2$). Vì chúng là đồng phân nên không thể xác định % khối lượng. Bài toán này chỉ có thể hỏi khối lượng hỗn hợp.

Phương pháp 3: Thủy phân hóa (Bơm Hidro)

1. Nội dung phương pháp

Đây là một kỹ thuật đặc biệt của phương pháp quy đổi. Ta "bơm" một lượng H_2 vừa đủ vào hỗn hợp este không no (X) để biến nó thành hỗn hợp este no, đơn chức, mạch hở (Y). Khi đó, việc xử lý bài toán đốt cháy Y sẽ đơn giản hơn rất

nhiều.

2. Các bước thực hiện

1. Giả sử ta thêm n_{H_2} (thêm) mol vào hỗn hợp X (khối lượng m) để được hỗn hợp Y (khối lượng $m + 2 \cdot n_{H_2}$ (thêm)).
2. Hỗn hợp Y gồm các este no, đơn chức, mạch hở.
3. Khi đốt cháy Y: $n_{CO_2}(\text{đốt Y}) = n_{CO_2}(\text{đốt X})$; $n_{H_2O}(\text{đốt Y}) = n_{H_2O}(\text{đốt X}) + n_{H_2}$ (thêm)'
4. Vì Y là este no, đơn chức, mạch hở nên khi đốt: $n_Y = n_X = n_{H_2O}(\text{đốt Y}) - n_{CO_2}(\text{đốt Y})$ '
5. Lượng H_2 thêm vào bằng tổng số mol liên kết π ($C=C$) trong X, và cũng bằng số mol Br_2 tối đa mà X có thể phản ứng: n_{H_2} (thêm) = n_{Br_2} '

3. Ví dụ minh họa

Ví dụ 4: Hỗn hợp E gồm hai este mạch hở X và Y ($M_X < M_Y$), đều tạo bởi axit cacboxylic và ancol. Đốt cháy hoàn toàn m gam E cần 0,5 mol O_2 , thu được 0,45 mol CO_2 . Mặt khác, m gam E tác dụng vừa đủ với 0,05 mol H_2 (xúc tác Ni, t°), thu được hỗn hợp F. Đốt cháy hoàn toàn F, thu được a mol H_2O . Tính a.

Phân tích và giải:

1. Ta "bơm" 0,05 mol H_2 vào E để được F. F là hỗn hợp este no.
2. Đốt cháy E: $m \text{ gam E} + 0,5 \text{ mol } O_2 \rightarrow 0,45 \text{ mol } CO_2 + n_{H_2O(E)}$
3. Đốt cháy F: $F + O_2 \rightarrow 0,45 \text{ mol } CO_2 + a \text{ mol } H_2O$.

4. Mối quan hệ khi bơm H_2 : $a = n_{H_2O(F)} = n_{H_2O(E)} + n_{H_2 \text{ (bơm vào)}} = n_{H_2O(E)} + 0,05$.
5. Bảo toàn khối lượng cho phản ứng cháy E: $m_E + m_{O_2} = m_{CO_2} + m_{H_2O(E)}$.
6. Bảo toàn nguyên tố Oxi cho phản ứng cháy E: $n_{O(E)} + 2 \cdot n_{O_2} = 2 \cdot n_{CO_2} + n_{H_2O(E)}$.
7. Vì F là este no, ta chưa biết nó đơn chức hay đa chức. Tuy nhiên, ta có thể tính khối lượng E.
8. Khối lượng F: $m_F = m_E + m_{H_2} = m_E + 0,05 \cdot 2 = m_E + 0,1$.
9. Đốt cháy F: $m_F = m_C + m_H + m_O = 12 \cdot 0,45 + 2 \cdot a + 16 \cdot n_{O(F)}$.
10. Vì phản ứng cộng H_2 không làm thay đổi nhóm chức este, nên $n_{O(F)} = n_{O(E)}$.
11. Từ phản ứng cháy E: $n_{O(E)} + 2 \cdot 0,5 = 2 \cdot 0,45 + n_{H_2O(E)} \Rightarrow n_{O(E)} = n_{H_2O(E)} - 0,1$.
12. $m_E = 12 \cdot 0,45 + 2 \cdot n_{H_2O(E)} + 16 \cdot (n_{H_2O(E)} - 0,1) = 5,4 + 18 \cdot n_{H_2O(E)} - 1,6 = 3,8 + 18 \cdot n_{H_2O(E)}$.
13. Đốt F: F là este no. $n_{\text{Este}} = n_{H_2O(F)} - n_{CO_2(F)}$ (nếu đơn chức) hoặc $(n_{CO_2} - n_{H_2O}) / (1-k)$ (với k là số nhóm chức). Thông tin chưa đủ.
14. *Cách tiếp cận khác*: Dùng bảo toàn Oxi.
15. Khi đốt cháy F, lượng CO_2 không đổi (0,45 mol). Lượng H_2O là a. Lượng O_2 cần để đốt F là $n_{O_2(F)}$.
16. $C_n H_{2n+2-2k} O_z + H_2 \rightarrow C_n H_{2n+4-2k} O_z$. Đốt chất sau cần nhiều O_2 hơn chất trước.

17. Ta có mối liên hệ: $2n_{O_2(pư)} = 2n_{CO_2} + n_{H_2O} - n_{O(chất)}$.
18. Đốt E: $2 \cdot 0,5 = 2 \cdot 0,45 + n_{H_2O(E)} - n_{O(E)}$ (1)
19. Đốt F: $2 \cdot n_{O_2(F)} = 2 \cdot 0,45 + a - n_{O(F)}$. Mà $n_{O(F)} = n_{O(E)}$, $a = n_{H_2O(E)} + 0,05$.
20. Phương trình hidro hóa: $E + 0,05 H_2 \rightarrow F$. Đốt cháy quá trình này:
21. (Đốt E) + (Đốt $0,05 H_2$) = (Đốt F)
22. $(0,5 \text{ mol } O_2) + (0,05/2 \text{ mol } O_2) = n_{O_2(F)} \Rightarrow n_{O_2(F)} = 0,525 \text{ mol}$.
23. Bây giờ xét phản ứng cháy F: $2 \cdot 0,525 = 2 \cdot 0,45 + a - n_{O(F)}$ (2)
24. Từ (1): $1 = 0,9 + n_{H_2O(E)} - n_{O(E)} \Rightarrow n_{O(E)} = n_{H_2O(E)} - 0,1$.
25. Thay vào (2): $1,05 = 0,9 + a - (n_{H_2O(E)} - 0,1) \Rightarrow 1,05 = 1 + a - n_{H_2O(E)}$.
26. Mà $a = n_{H_2O(E)} + 0,05$. Thay vào: $1,05 = 1 + (n_{H_2O(E)} + 0,05) - n_{H_2O(E)} \Rightarrow 1,05 = 1,05$. Phương trình luôn đúng.
27. Quay lại (1): $n_{H_2O(E)} - n_{O(E)} = 0,1$.
28. F là este no. Giả sử E, F đều đơn chức. Thì $n_E = n_F$. Khi đốt F (no, đơn chức): $n_F = a - 0,45$.
29. $n_{O(E)} = 2 \cdot n_E = 2(a - 0,45)$.
30. Thay vào $n_{H_2O(E)} - n_{O(E)} = 0,1 \Rightarrow (a - 0,05) - 2(a - 0,45) = 0,1 \Rightarrow a - 0,05 - 2a + 0,9 = 0,1 \Rightarrow -a + 0,85 = 0,1 \Rightarrow a = 0,75$.
31. Thử lại: $a = 0,75 \text{ mol}$. $n_{H_2O(E)} = 0,7$. $n_E = 0,3$. $n_{O(E)} = 0,6$. $0,7 - 0,6 = 0,1$.
Đúng. Vậy $a = 0,75 \text{ mol}$.

III. Bài tập vận dụng tổng hợp

Bài 1: Hỗn hợp X gồm ba este đều đơn chức, mạch hở. Đốt cháy hoàn toàn m gam X cần dùng 10,08 lít O_2 (đktc), thu được 15,84 gam CO_2 . Nếu cho m gam X tác dụng hết với dung dịch NaOH dư, thu được hỗn hợp Y gồm hai ancol kế tiếp nhau trong dãy đồng đẳng và 8,2 gam hỗn hợp Z gồm hai muối. Đốt cháy hoàn toàn Y, thu được 3,136 lít CO_2 (đktc) và 4,14 gam H_2O . Tính phần trăm khối lượng của este có phân tử khối nhỏ nhất trong X.

Hướng dẫn giải:

1. Tính toán từ sản phẩm cháy: $n_{O_2} = 0,45$ mol; $n_{CO_2 \text{ (đốt X)}} = 0,36$ mol.
2. Bảo toàn khối lượng cho phản ứng cháy X: $m_X = m_C + m_H + m_O$. Ta cần tìm $n_{H_2O \text{ (đốt X)}}$.
3. Sử dụng bảo toàn Oxi: $n_{O(X)} + 2 \cdot n_{O_2} = 2 \cdot n_{CO_2} + n_{H_2O}$. Vì este đơn chức, $n_{O(X)} = 2 \cdot n_X$.
4. Xét đốt cháy ancol Y: $n_{CO_2(Y)} = 0,14$ mol; $n_{H_2O(Y)} = 0,23$ mol.
5. Vì $n_{H_2O(Y)} > n_{CO_2(Y)} \Rightarrow$ Ancol Y là ancol no, đơn chức, mạch hở. $n_Y = n_{H_2O} - n_{CO_2} = 0,23 - 0,14 = 0,09$ mol.
6. Số C trung bình của Y = $n_{CO_2} / n_Y = 0,14 / 0,09 \approx 1,55$. Hai ancol kế tiếp là CH_3OH và C_2H_5OH .
7. Vì $n_{\text{ancol}} = n_{\text{este}}$ (do đơn chức) $\Rightarrow n_X = 0,09$ mol.
8. Bây giờ quay lại phản ứng cháy X. Áp dụng bảo toàn Oxi: $2 \cdot n_X + 2 \cdot n_{O_2} = 2 \cdot n_{CO_2} + n_{H_2O(X)}$.

9. $2 \cdot 0,09 + 2 \cdot 0,45 = 2 \cdot 0,36 + n_{\text{H}_2\text{O}(X)} \Rightarrow 0,18 + 0,9 = 0,72 + n_{\text{H}_2\text{O}(X)} \Rightarrow n_{\text{H}_2\text{O}(X)} = 0,36 \text{ mol.}$

10. Vì $n_{\text{CO}_2(X)} = n_{\text{H}_2\text{O}(X)} = 0,36 \text{ mol} \Rightarrow 3$ este trong X đều là este no, đơn chức, mạch hở. Điều này mâu thuẫn với tiêu đề bài học, nhưng là một dạng bài kết hợp.

11. Từ đây, ta có thể tìm ra các este và tính toán phần trăm khối lượng dựa trên số mol ancol và khối lượng muối.

Lời kết: Việc nắm vững các phương pháp trên và vận dụng linh hoạt sẽ giúp các em học sinh tự tin chinh phục các bài toán đốt cháy este không no trong các kỳ thi. Chúc các em học tập tốt!