

实验教学与 教具研制

乙烷乙烯乙炔燃烧实验现象分析及其探讨

韩江涛

(无锡市刘潭中学 江苏 214046)

摘要 从键能、反应速率、含碳量、反应历程等方面分析探讨,得出乙烷乙烯乙炔在空气中燃烧现象不同是由分子结构中单双叁键活性不同造成的结论,否定了长期以来的含碳量评价标准,肯定了物质结构决定性质这一论断。

关键词 燃烧 黑烟 含碳量 不饱和键

1 提出问题

通常不完全燃烧是指物质在氧气不足量时的燃烧反应,但根据乙烷、乙烯、乙炔燃烧反应方程知等量的乙烷、乙烯、乙炔完全燃烧需氧量依次减少(见表 1),而空气中氧气量基本恒定,所以在相同条件下燃烧理论上乙炔应该最为充分,乙烯次之,乙烷最不完全。但是教材认为乙烯乙炔含碳量增加使燃烧不充分冒黑烟^[1],也有人将原因归结为键能不同^[2],究竟是什么原因?为什么会出现矛盾呢?

表 1 乙烷乙烯乙炔燃烧反应热力学数据比较^[1,3,4]

物质	CH ₃ CH ₃	CH ₂ =CH ₂	CH ₃ CH=CH ₂	CH ₃ C≡CH
C - C 键能/ kJ/mol	347	611	838	
标准摩尔燃烧焓/ kJ/mol	- 1559.8	- 1411.0	- 1299.6	
O ₂ 中燃烧最高温度/	2600	2800	3000 ~ 3500	
在空气中燃烧现象	火焰稳定 光线较淡	较明亮 烈有黑烟	很明亮 有浓烟	很明亮 有浓烟
1mol 完全燃烧需 O ₂ / mol	3.5	3	2.5	
1g 完全燃烧需要 O ₂ / g	3.73	3.43	3.08	
含碳量/ %	80	85.7	92.3	
着火点/	510	450	335	

2 实验观察

如图 1 所示排水集气法。自左端通甲烷入双孔玻璃容器,至右端冒气泡集气满止。换导气管点燃装置,点燃、观察现象;然后收集乙烯、乙炔、丁烷重复上述操作。注意保持集气瓶位置固定,确保水压相同气流速度一致,在相同条件下实验可认为气体中含水量相同。观察到的现象如教材所述^[1]:乙烯火焰较明亮有黑烟,乙炔火焰明亮且有大量黑烟,而甲烷火焰微弱没有黑烟。经实验观察丁烷燃烧现象和甲烷类似,只是火焰较亮放出热量更多,也没有黑烟。所以推测乙烷丙烷燃烧现象也是如此(见表 2)。做教材中插图所示实验^[1]:分别制取甲烷、乙烯、乙炔 3 瓶气体,同时点燃观察燃烧时间长短,发现乙炔燃烧时间最短,乙烯次之,甲烷最长。

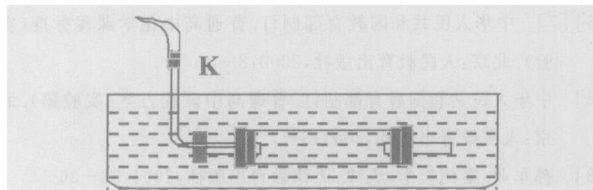


图 1 观察燃烧现象

表 2 甲乙丙丁烷燃烧反应热力学数据比较^[3,4]

物质	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀
在空气中 燃烧现象	不明亮 无烟	稍明亮 无烟	较明亮 无烟	明亮 无烟
1mol 完全燃烧 需要 O ₂ / mol	2	3.5	5	6.5
1g 完全燃烧 需要 O ₂ / g	4	3.73	3.64	3.59
含碳量/ %	75	80	81.8	82.8
标准摩尔燃烧 焓/ kJ/mol	- 890.31	- 1559.8	- 2219.9	- 2878.5

3 分析探讨

上述现象最大区别有 2 点:火焰是否明亮、是否有黑烟。由现象表明烷烃在空气中能完全燃烧,乙烯乙炔燃烧不完全有细微分散的碳颗粒产生,黑烟便是这些细微分散的颗粒,这些碳粒受灼热而发光,而且随含碳量的增加不完全燃烧产生的碳颗粒越多,火焰越明亮,因此乙炔曾作为照明气使用。本文就乙烷、乙烯、乙炔燃烧现象从以下几方面分析。

3.1 键能原因

我们知道化学反应是旧键断裂新键生成的过程,乙烷乙烯乙炔都含有 C - H 键,生成产物又完全相同,所以我们认为在燃烧过程其决定作用的是 C - C 键。由表 1 可知,乙炔的叁键键能最大,乙烯的双键键能次之,乙烷的单键键能最小。那么是不是叁键断裂最困难单键断裂最容易呢^[2]? 我们知道叁双键是不饱和键化学性质活泼,而单键是饱和键化学性质非常稳定,譬如教材中实验:甲烷乙烯乙炔分别通入高锰酸钾溶液,后两个使紫色褪去便是佐证^[1]。从物质的可燃性来比较,我们知道可燃物燃点高低表明可燃物的易燃程度^[5];由表 1 可知,乙炔的着火点远低于乙烯乙烷,说明乙炔最容易燃烧活泼性最强。所以并不是叁键断裂最困难,而恰恰是单键具有饱和性最难断裂,故键能大小并不是造成燃烧不充分冒黑烟的原因。

3.2 反应速率

我们知道乙烯乙炔在氧气中能完全燃烧没有黑烟,而且比在空气中燃烧时的温度高,乙炔焰的温度最高可达 3000 以上,工业上利用其燃烧可切割或焊接金属^[6]。乙烷乙烯乙炔在氧气中燃烧达到的温度依次增高(见表 1)似乎和含碳量增加有关,实际上相同质量的 H₂ 燃烧热是 C 的 4 倍多^[7],所以含碳量高并不能产生更多的热量,相反使热量减少也无助

于产生高温。更让人奇怪的是乙炔的 r_{H_m} 最小(见表1)产生温度却最高,究竟为什么呢?通过3瓶气体燃烧实验对比说明乙炔燃烧速率最大(虽然甲烷不存在C-C键不能代表乙烷,但是这足以说明乙烷、乙烯。乙炔燃烧反应速率不同),单位时间内需氧量也最多,而纯氧的浓度远大于空气中氧的浓度,乙炔在纯氧中燃烧的速率比在空气中要快很多,燃烧速率快,单位时间内放出热量多,因此温度必然要高^[5]。即使也有不完全燃烧产生碳颗粒,但由于氧气浓度高碳也会和氧气继续燃烧而不冒黑烟。相反空气虽然有很大容量,其中的氧气也足够任何一种可燃物燃烧之用,但是单位体积的氧气量却是非常有限,实际生活上往往通过调节空气流量使可燃物完全燃烧,如家用灶具使出气孔和燃烧孔间有足够的空间,并使燃烧孔分散成环状尽可能多和空气接触以此提高燃烧效果。所以乙炔、乙烯在空气中不能充分燃烧主要是因为燃烧反应速率快单位时间需氧量大,而空气中氧气浓度低无法满足造成的。

3.3 含碳量

那么含碳量会不会影响反应速率?会不会造成乙烷、乙烯、乙炔燃烧现象不同呢?我们知道烷烃的含碳量介于75%和85.7%间,炔烃介于92.3%和85.7%间,而烯烃的是85.7%,所以含碳量85.7%是饱和烃和不饱和烃的分界线。我们比较甲烷到丁烷的燃烧(见表2),发现燃烧现象基本相同都没有冒黑烟,都能完全燃烧,并没有随含碳量的增加而不完全燃烧。由于含碳量更大的烷烃是液体和固体,考虑到已不具有对比性所以没有实验研究。不过我们认为在一定条件下把液态固态烷烃转化成气体形式,然后在空气中燃烧也一定能完全燃烧,如汽油(C₅-C₉烷烃)气态燃烧时并不冒黑烟。可见含碳量85.7%是是否冒黑烟的一个界限。那么为什么是85.7%呢?我们认为含碳量85.7%这个貌似无法逾越的鸿沟并不是根本原因,而是一个表面现象,根本的原因是不饱和键性质活泼造成的,是由分子结构决定的。可见用含碳量高低解释完全燃烧与否并不是最合理的根本的解释,只不过是有一种现象解释另一种现象而已。

3.4 反应历程

通过以上分析我们知道乙烷、乙烯、乙炔是否完全燃烧,一方面取决于周围的环境,另一方面取决于自身的性质。他们虽都是烃类,但由于官能团性质不同导致反应历程不同,那么为什么不饱和烃类燃烧反应速率快呢?我们知道乙炔是一种不稳定的化合物,受热时可分解碳和氢同时放出大量的热^[5],当乙炔燃烧开始时放出大量的热使还没反应的乙炔受热分解,同时又放出大量的热使更多的乙炔分解引起连锁反应。如果不及时散热造成压力急剧增加,常温下也会引起爆炸,因而在使用运输或储藏乙炔时不能像液化气一样简单压缩钢瓶中,而采用浸有丙酮的多孔性物质吸收后储存在钢瓶中^[5]。从标准摩尔反应焓来看燃烧和分解都是放热反应(见表3),且分解反应的 r_{H_m} 也相当大,分解反应的 $r_{G_m} < 0$ 说明分解反应是自发进行的,所以有大量的碳颗粒产生。同样乙烯燃烧时也有类似现象,只不过没有乙炔放热量大,没有乙炔分解更剧烈,所以乙烯燃烧冒黑烟量不如乙炔浓。

其他的烷烃分解反应都是吸热反应,而放热反应通常较吸热反应容易进行,且烷烃分解反应的 $r_{G_m} > 0$ 说明反应不能自发进行(见表4),所以烷烃很难分解,即使含碳量更高的丁烷也没有分解产生碳。另从燃烧学的角度讲,分解产生的碳颗粒是固体,而气体燃烧较固体燃烧均匀、完全,燃烧效率高;碳的燃烧是多相反应,它的反应速率很大程度由空气中的氧的浓度控制^[7],而空气中氧气不及纯氧气,所以乙炔分解的碳颗粒无法完全燃烧,而纯氧中则能完全燃烧^[8]。工业上裂解天然气制取乙炔时需要在短时间内进行高温加热,然后急骤冷却防止乙炔继续裂解生成碳便是例证^[5]。

表3 乙烷、乙烯、乙炔燃烧分解反应热力学数据比较^[4]

反应式	r_{H_m} / kJ/mol	r_{G_m} / kJ/mol
$C_2H_2 + 5/2 O_2 \longrightarrow 2CO_2 + H_2O$	- 1299.6	- 1235.5
$C_2H_2 \longrightarrow 2C + H_2$	- 227.55	- 209.2
$C_2H_4 + 3 O_2 \longrightarrow 2CO_2 + 2H_2O$	- 1411.0	- 1331.13
$C_2H_4 \longrightarrow 2C + 2H_2$	- 52.3	- 68.15
$C_2H_6 + 7/2 O_2 \longrightarrow 2CO_2 + 3H_2O$	- 1559.8	- 1467.31
$C_2H_6 \longrightarrow 2C + 3H_2$	+ 84.7	+ 32.8

表4 烷烃燃烧分解反应热力学数据比较^[4]

反应式	r_{H_m} / kJ/mol	r_{G_m} / kJ/mol
$CH_4 + 2O_2 \longrightarrow CO_2 + 2H_2O$	- 890.31	- 817.9
$CH_4 \longrightarrow C + 2H_2$	+ 74.81	+ 50.72
$C_2H_6 + 7/2 O_2 \longrightarrow 2CO_2 + 3H_2O$	- 1559.8	- 1467.31
$C_2H_6 \longrightarrow 2C + 3H_2$	+ 84.7	+ 32.8
$C_3H_8 + 5O_2 \longrightarrow 3CO_2 + 4H_2O$	- 2219.9	- 2108.2
$C_3H_8 \longrightarrow 3C + 4H_2$	+ 103.8	+ 23.4
$C_4H_{10} + 13/2 O_2 \longrightarrow 4CO_2 + 5H_2O$	- 2878	- 2747.5
$C_4H_{10} \longrightarrow 4C + 5H_2$	+ 124.7	+ 15.6

4 质疑含碳量作为评价标准

那么为什么人们长期以来始终把乙烯、乙炔在空气中燃烧不充分冒黑烟归结为含碳质量分数高呢?究其原因有:其一,人们把可燃物是否完全燃烧简单地归结到氧气量的多少,根本没有从可燃物自身考虑;其二,通常简单地认为碳完全燃烧需氧量大于氢气完全燃烧需氧量(实际上相同物质的量时才成立,相同质量时氢气需氧量大,而教材中恰好忽略了这一点,特别强调燃烧不充分是含碳质量分数高造成的),故在相同的条件下,把乙炔、乙烯不完全燃烧归结到含碳量高;其三,由于燃烧反应是非常剧烈的化学反应,实验时很难区分乙烷、乙烯、乙炔究竟那个快,测定反应速率更加困难,因而无法了解反应的实质;其四,乙烷、乙烯、乙炔含碳量的高低和燃烧是否完全恰好是一致的,因而具有很大的迷惑性,常使问题停留在表面现象而忽略了反应的本质。

5 结论

总之通过上述的分析,我们认为乙烷、乙烯、乙炔在空气中燃烧实验现象不同主要是因为乙烯、乙炔分子结构中双键

叁键等不饱和键的活泼性造成的,由于不饱和键反应速率快单位时间需氧量大,而空气中氧气浓度低无法满足其需要造成的。教材中把含碳量的高低作为燃烧是否完全的解释是不合理的,根本原因是乙烷、乙烯、乙炔分子结构中单双叁键官能团活泼性不同。

本文得到华东理工大学杨云博士指导一并感谢

参 考 文 献

- [1] 人民教育出版社化学室. 高中化学. 第 2 版. 北京:人民教育出版社, 2002
- [2] 吴孙富. 化学教学, 2003, (12): 45 - 46

- [3] 徐昌华等. 化验员必读. 第 3 版. 南京:江苏科学出版社, 1994
- [4] 宋世谟等. 物理化学. 第 3 版. 北京:高等教育出版社, 1993
- [5] 徐寿昌. 有机化学. 第 2 版. 北京:高等教育出版社, 1993
- [6] http://bbs.sinoaec.com/forum/detail555156_1.html. 可燃物的性质. 2004 - 10 - 23
- [7] 大连理工大学无机化学教研室. 无机化学. 第 3 版. 北京:高等教育出版社, 1990
- [8] <http://www.myboiler.net/Article/ShowArticle.asp?ArticleID=396>. 燃烧过程中碳黑颗粒生成机理的研究进展. 2004 - 8 - 31

(上接第 29 页)

时候,要注意联系实际,把物质的空间结构与现实生活中常见的物体联系起来,便于学生理解和记忆。

4.2 强化学生的认识和剖析图形的能力

在物质结构知识教学中,教师要注重强化学生的认识和剖析图形的能力。教师应当在课堂教学中加强示范练习,还应展示或让学生自己动手制作一些分子结构模型,适当地对学生进行相应的图形识别训练,便于学生结合示意图深入理解物质结构知识。

4.3 指导学生运用科学方法

在物质结构知识教学及解决问题的过程中,教

师要注意引导学生运用比较、类比、归纳等科学方法,引导学生将已有的知识按一定的关系分类归纳,将杂乱的知识在脑中构建成一种网状结构,使知识系统化,便于学生在学习新知识和解决问题时顺利提取头脑中已有的信息,有助于增强学生的联想能力,提高其学习效率。

参 考 文 献

- [1] 会月明. 中学化学教学参考, 1999, (4): 11 - 13
- [2] 关志强. 沈阳教育学院学报, 1999, (1): 128 - 130
- [3] 贾成群. 甘肃教育, 1999, (5): 41

(上接第 44 页)

表 6 评价方式对学生学习兴趣水平统计结果

项 目 内 容	平均分	
	实验区	非实验区
我很在乎化学考试的成绩	3.79	3.68
每次化学考试前我都会认真、努力地进行复习	3.62	3.60
我觉得化学考试不能真正体现我的所学	3.47	3.13
以单一的考试成绩衡量人的做法会影响我的学习感情	3.84	3.98

(2) 结果分析

实验区学生的平均得分为 3.68,非实验区的平均得分为 3.60。可见实验区和非实验区的学生均很重视成绩对其的评价,但另一方面又觉得考试并不能体现自己的所学,以单一的考试成绩衡量人的做法会影响学习的感情,这些均反映出现行评价体系中存在的问题,可见改变现有评价体系的必要性。

总之,新课程的实施是一项艰巨的任务。课程专家为我们提供了理想化的模式,理想要变成现实需要我们教育实践者的艰苦探索。从以上的调查中我们发现新课程对激发学生的学习兴趣确实起到了一定的作用,但也存在一些问题,如课堂教学这一环节,对学生的学习兴趣影响仍不大,因此

作为课程实施者的教师如何与时俱进,使课堂变为学生向往的快乐王国,值得我们广大教师好好地探索。新课程倡导发展性评价,在目前高考制度未改的情况下,如何探索出一种合理的评价方式,使学生觉得学习不再是一种负担,而是一种乐趣,更值得我们好好地思考。

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国教育部制订. 基础教育课程改革纲要(试行), 2001:4
- [2][3] 中华人民共和国教育部制订. 普通高中化学课程标准(实验). 北京:人民教育出版社, 2003:31
- [4] 化学课程标准研制组. 普通高中化学课程标准(实验)解读. 武汉:湖北教育出版社, 2004: 49