

燃烧条件之我见

刘立新

(安阳师范学院, 河南安阳 455000)

摘要: 依据燃烧学、消防学等专业书籍的内容, 对燃烧的过程进行了细致的分析, 在此基础上对燃烧的条件提出了新的见解, 尤其是中学化学中讲到的 3 个条件之外的第 4 个条件——链反应进行了深入的探讨。并对中学化学教学以及中学生日常生活中遇到的燃烧方面的问题进行了剖析。

关键词: 中学化学; 燃烧条件; 链反应; 燃烧类型; 灭火方法

文章编号: 1005-6629(2017)1-0087-06

中图分类号: G633.8

文献标识码: B

燃烧现象在工业生产和日常生活中处处可见, 同时在中学化学教学中也是重要的教学内容和常见的实验现象之一, 因此中学化学教师在答疑解惑时不可避免会涉及燃烧的问题。由于许多化学教师对于燃烧的认识不够深入, 因此当学生提出涉及生活实例的与燃烧相关的疑问时, 面对“形式多样、机理复杂的种种燃烧问题就难免会误入歧途”^[1]。2014 年偶然在网上发现了王程杰老师的“初中化学趣味实验”视频讲座, 联想到多年来遇到的与燃烧有关的种种问题, 遂于今年阅读了一些专业书籍以获取答案。2016 年第 1 期《化学教学》又刊登了王程杰老师“燃烧条件‘3+1’”^[2], 阅后受益良多。其大多数观点笔者赞成, 但笔者在获得部分关于燃烧的知识方面可能更加深入。在此呈现给各位老师, 欢迎探讨、指正。

1 从燃烧的过程分析燃烧的条件

1.1 复杂的燃烧过程

燃烧的过程不像反应方程式表达的那样简单, 换言之, 其反应历程十分复杂, 在燃烧被引发后, 期间会发生众多的化学反应, 最简单的氢气的燃烧涉及数十个反应, 甲烷的反应涉及上百个^[3]。化学反应的同时固体和液体可燃物还发生物理变化(如图 1 所示), 我们通常呈现给中学生的, 只是一些主要反应历程的总反应方程式而已。

从图 1 可以看到, 除了燃烧类型 5(表面燃烧, 见后文)以外, 其余类型的燃烧, 可燃物都经过了气化分解的过程。而在气化分解之前, 液体和某些固体可燃物发生了状态的变化, 此外某些复杂的可燃物还经过了分解过程。这些变化过程使得

可燃物转化为容易被氧化的气态分子——气化分子。

另一方面, 多数可燃物燃烧时, 是从被引燃的局部开始, 由于燃烧的反应都会放出热能, 产生的热能通过热传导、热扩散及热辐射作用传入未燃的混合物(可燃物与助燃物), 因而使得燃烧逐层加热、逐层燃烧, 自行传播下去。

1.2 链反应(链锁反应)

物质燃烧存在着链反应(或称链锁反应)。所谓的链反应是指在可燃物被引燃时, 通过气化分解后的气化分子受热生成高度活泼的自由基。自由基外层轨道上有不成对的电子, 有很强的反应性。燃烧反应都是放热, 因此在可燃物和助燃物达到一定浓度时, 自由基可以和气化分子不断作用维持反应连续进行下去^[4, 5]。

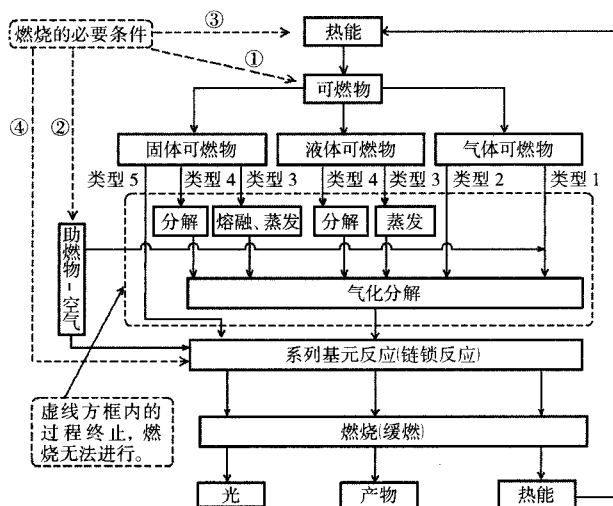


图 1 燃烧的过程

1.3 燃烧的条件

中学化学中所说的燃烧的3个条件:可燃物、空气或氧气(助燃物)和温度达到着火点。需要强调的是,初中教材对于这三个条件只是进行了粗略的描述,而确切的描述应该是:“一定的可燃物浓度;一定的氧气(空气)含量;一定的点火能量”。

1.3.1 一定的可燃物浓度

“一定的可燃物浓度”主要是指经过气化分解后生成的气化分子的浓度。实际上除了燃烧类型5(见后文)以外,固态或液态可燃物,如果没有达到转化的条件而没有转化为气化分子,那么燃烧仍然无法实现。一个实例很好地说明这一问题:有烛芯的蜡烛易被点燃,如果蜡烛去掉烛芯,固态蜡烛很难气化为气态分子,蜡烛就不易被点燃。

正如图2所示,描述为“可燃物”与“一定浓度的可燃物”区别在于,一定浓度的可燃物是在考虑液态和固态燃料蒸发、分解、熔融过程基础上提出的,这一说法更加准确。在分析灭火的原因,采用这一说法,一些问题很容易获得合理的解释。

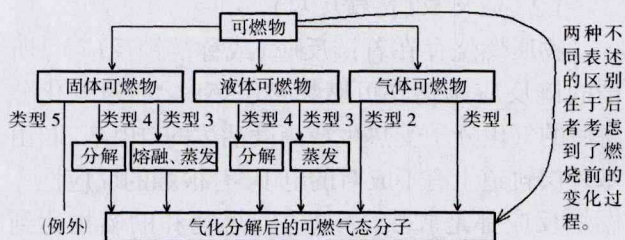


图2 可燃物不同表述的区别

1.3.2 温度达到着火点

初中教材的着火点的解释为:“燃烧所需的最低温度”。需要明确的是,着火点是指可燃物能够持续燃烧的最低温度。如果某一温度下燃料被点燃后,在没有引火源的情况下很快熄灭而没有形成持续的燃烧,仍然没有达到着火点。我们经常看到块状的木头在明火引燃时似乎开始燃烧,但是离开火源时就会熄灭,这就说明温度还是没有达到着火点。

此外除了加热(温度达到着火点)以外,引发燃烧的方法很多,如电火花等等,所以将这一条件描述为“一定的点火能量”或者“引火源”更准确。

1.3.3 燃烧的第4个条件

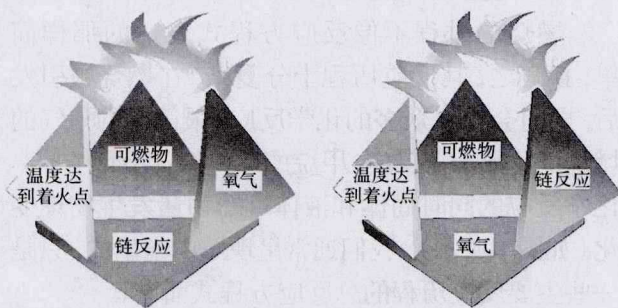
中学化学中所说的燃烧的3个条件:可燃物、

空气或氧气(助燃物)和温度达到着火点,是持续燃烧的的必要条件(或称为三要素)。之后的研究发现,具备这3个条件,有时燃烧也能熄灭。其中的一个实例就是四氯化碳灭火,当汽油燃烧时加入四氯化碳,在没有完全覆盖汽油的情况下,并没有破坏燃烧的3个条件,但是火焰会逐渐熄灭。其原因是四氯化碳遇高温会产生氯自由基,氯自由基更易与汽油燃烧过程产生的自由基结合生成氯化氢,使得汽油燃烧过程所需要的自由基消失,链反应中断,进而达到灭火的效果。因此,有了燃烧的四面体学说。

在国内文献关于燃烧第四个条件有以下三种描述:“自由基(游离基)、链反应、未受抑制的链反应”。自由基不够全面,笔者个人赞同后两种说法。

如果把“链反应”或“未受抑制的链反应”与其他三个条件采用相同的描述,则为:燃烧的条件描述为“可燃物、空气或氧气(助燃物)、温度达到着火点、链反应”,或者描述为“一定的可燃物浓度;一定的氧气(空气)含量;一定的点火能量;未受抑制的链反应”。

“链反应”或“未受抑制的链反应”也应该是必要条件,但是和其他三个条件不同的是,链反应反映了燃烧反应的本质,或者说是体现了某一可燃物的性质。如果绘制成四面体,应该位于底部更准确,国外文献基本上都是画在底部,见图3A。不知是何原因,国内文献大多画得比较随意,不能更好地体现4个条件之间的逻辑关系,见图3B。



A: 四个必要条件(国外文献) B: 四个必要条件(国内文献)

图3 燃烧的4个必要条件

2 燃烧的类型

国内文献关于燃烧的类型有多种划分方法,

按照可燃物状态以及在链反应前的复杂变化分成5种类型(见图1从右至左类型1~5)^[6,7]。

2.1 混合燃烧

混合燃烧(又称预混燃烧)是气体可燃物燃烧的一种类型。在燃烧前,可燃气体与助燃气体已经进行了扩散混合,此时温度达到着火点即会发生燃烧,燃烧在混合气体所分布的空间中快速进行。中学化学中所做的混合气体爆鸣实验就属于混合燃烧。

这种类型的燃烧由于可燃气体与助燃气体已经进行了混合,当燃烧一旦引发,链反应难以控制,如果其浓度在爆炸范围内,就会引起爆炸。这就是为什么中学化学教学中进行气体燃烧实验时需要验纯的原因。

由于电火花、摩擦也是引火源,因此如果家中闻到天然气或液化气的味道时,绝不能开灯,而应该小心的打开门窗(金属门窗应避免摩擦)、关闭燃气阀门。这一点有必要在中学化学教学中告诉学生。

本生灯、酒精喷灯也主要是混合燃烧,但是喷嘴等结构的设计使得混合燃烧可控制地进行,规范操作的情况下没有爆炸的危险。

2.2 扩散燃烧

扩散燃烧是气体可燃物燃烧的另一种类型,是指可燃气体从容器狭小的管口、裂缝等处流向空气,在达到着火点时与空气混合燃烧,燃烧主要发生在可燃物与助燃物相混合的界面。中学化学中所做的验纯后气体的燃烧实验就是扩散燃烧。

2.3 蒸发燃烧

蒸发燃烧是部分液体和部分固体可燃物的燃烧类型。常见的液态可燃性燃料如酒精、汽油、柴油等,它们燃烧反应前首先有受热蒸发产生蒸气的过程,然后气态分子进行燃烧反应,而放出的热量进一步加热液体表面,从而促使液体持续蒸发,使燃烧继续下去。最常见的实例就是实验室的酒精灯燃烧。

蜡烛、萘等沸点较低的固体在受热时经过了熔化、气化的过程,形成气态分子进行燃烧。易升华的固体如硫、磷等,受热后会升华产生气态分子,同样能够引起蒸发燃烧。钠等熔点较低

的金属在空气

中被点燃也是蒸发燃烧。
初中化学实验,学生在探究蜡烛的燃烧时,可以看到蜡烛的融化,吹灭时产生的白烟则是蜡烛的气态分子,而这种气态分子易被点燃,这是帮助学生认识蒸发燃烧的很好实例。

加油站严禁烟火,真正担心能被点燃的并不是液态的汽油,而是因为在加油过程中难免会挥发出汽油的蒸气,汽油的蒸气更易产生燃烧。在电影中常看到烟头扔在汽油里形成熊熊大火,实验证明是错误的,但是如果汽油挥发在空气中达到一定浓度,烟头引发燃烧完全可能。如果能够燃烧,则不用等到烟头扔在汽油里那一刻,而是在点火者点燃香烟或者潇洒地抽一口的时候,连点火者自己也要一起遭殃。

2.4 分解燃烧

分解燃烧也是部分液体和大部分固体可燃物的燃烧类型。这类燃烧过程中可燃物首先遇热分解,再由热分解产物和氧气反应产生火焰的燃烧。如木材、煤、纸、面粉、白糖等固体可燃物的燃烧属于此类,油脂等高沸点液体和低熔点的固体烃类的燃烧也属此类。

木材在空气中燃烧时,火源加热木材首先使木材失去水分而干燥,然后发生热分解。烧过木材的都可以观察到水在燃烧的木材表面产生,以及听到“吡吡”的声音都说明有水生成。木材分解放出可燃气体,这种气体被点燃产生火焰,并放出热量,由燃烧放出的热量不断地加热木材,使木材不断地分解,从而使燃烧继续下去。

整块木头与刨花着火点不同,主要原因是整块木头要持续燃烧,内层的固体可燃物需要更高的温度使其分解为气化分子,只有在更高的着火点引发更多的链反应,使整个燃烧更剧烈,产生更多的热能,才能使燃烧持续下去。刨花燃烧面积大,几乎没有明显的内外层之分,因此着火点更低。

2.5 表面燃烧

表面燃烧是熔、沸点很高的固体可燃物的一种燃烧类型。钨、镁、铁等金属,非金属碳(木炭)等等,燃烧在空气和固体表面接触的部位进行,所以叫表面燃烧。与其他四种不同的是,其他四种燃烧都是在气相中进行(均相燃烧),唯有表面燃烧

在气相和固相之间进行,属非均相燃烧(异相燃烧)。表面燃烧能使表面产生红热,不产生明焰,燃烧的速率和固体表面的大小有关。

初中化学实验“铁在氧气中的燃烧”就是表面燃烧,现象为火星四射,并不产生火焰。

2.6 综合燃烧

在实际燃烧过程中,并非仅仅发生单一类型的燃烧,往往会同时发生多种类型的燃烧。

木柴、煤等复杂的固态燃料,开始的燃烧类型是分解燃烧,有明显的火焰,但随着分解燃烧的进行,最后只剩余碳,此时的燃烧类型变为表面燃烧,可以看到红热的表面,但看不到火焰^[8]。

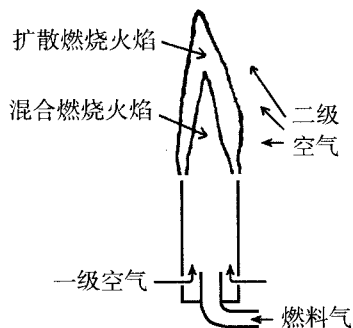


图4 本生灯的两两种燃烧类型

另一个实例就是本生灯、酒精喷灯等,如图4所示。开始点燃这类装置时,一级空气阀门关闭,我们只能看到扩散燃烧;随着一级空气阀门逐渐打开,就存在扩散燃烧和混合燃烧两种燃烧方式;当一级空气阀门打开到一定程度,一级空气所供的氧足够气体燃料燃烧使用时,只存在混合燃烧,我们使用这类装置大多数情况下为混合燃烧^[9]。

酒精灯是蒸发燃烧,酒精通过灯芯是逐步气化逐步燃烧的,气态分子燃烧时形成的是扩散燃烧火焰,这和本生灯的火焰不同。

3 灭火的方法

在图1的图示中,燃烧前的任何一条线路被中断,链反应都不能进行,在链反应能够进行的前提下,阻断链反应,燃烧反应就会终止。

灭火的方法和燃烧的条件是对应的,既然燃烧有4个条件,那么灭火的方法也应该有4种^[10]。

3.1 冷却灭火

通过降低温度,使得温度降至着火点以下是最常见的灭火方式。水是最常见的冷却剂,但是对

于有些物质却不能用水,例如电石遇水生成乙炔,反而会产生爆炸的危险。燃烧的活泼金属如钠等也不能用水,因为活泼金属遇水往往发生剧烈的化学反应,甚至发生爆炸。

3.2 窒息灭火

各种可燃物的燃烧都必须在其最低氧气浓度以上进行,否则燃烧便不能持续。因此,通过降低燃烧物周围的氧气浓度可以起到灭火的作用。通常使用的二氧化碳、氮气、水蒸气等的灭火机理主要是窒息作用。但是对于能与上述灭火物质剧烈反应的则需要采用其他方法。如镁燃烧不能用二氧化碳、氮气灭火。

3.3 隔离灭火

也就是清除可燃物。把可燃物与引火源或氧气隔离开来,燃烧反应就会自动中止。火灾中,关闭有关阀门,切断流向着火区的可燃气体或液体的通道;打开有关阀门,使已经发生燃烧的容器或受到火势威胁的容器中的液体可燃物通过管道导至安全区域,都是隔离灭火的措施。

3.4 化学抑制灭火

就是使用灭火剂与链式反应的中间体自由基反应,从而使燃烧的链式反应中断,进而使燃烧终止。常用的干粉灭火剂、卤代烷灭火剂的主要灭火原理就是化学抑制作用。

实际上任何一种灭火措施最终都是链反应受到抑制并中断,但是作为破坏燃烧条件达到灭火目的,不能仅仅指“灭火剂与链式反应的中间体自由基反应,从而使燃烧的链式反应中断”。我们不能遇到难以解释的灭火现象都归结于链反应,而应该从燃烧的过程进行细致的剖析。

4 实例分析

4.1 蜡烛放在冰水中熄灭

在解释这一现象之前,要明确两个不同的“温度”。一个是燃烧部位的温度,另一个则是可燃物所处的环境温度,二者一般是不同的,见图5。火焰的燃烧存在着温度的辐射,A处的温度足够高时,辐射的温度会使火焰下面的蜡烛(蜡烛的最上层)熔化,融化的蜡烛经过灯芯的毛细作用向上流动,当流动到接近火焰的下界面时,火焰有更高的辐射温度,这一温度足够使液态的蜡烛气化,满足

燃烧条件,产生持续的燃烧。

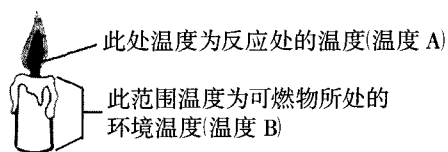


图5 蜡烛燃烧时两个不同温度的图示

当我们吹灭蜡烛时,实质是把已经发生的燃烧反应所产生的热能带走,也就是降低温度A,所以火焰熄灭。此处的解释为“温度降低到着火点以下”是正确的,初中生也易于理解。

当蜡烛放在冰水中,是在降低温度B,进而使得整个蜡烛的温度降低,以至于燃烧所产生的热能辐射不足以继续维持蜡烛的熔化,蜡烛熔化的量变小导致后续链反应进行得越少,产生的热能更少,火焰渐渐熄灭。这一熄灭过程和吹灭蜡烛的现象有两点不同:首先没有立即熄灭,而是有个逐渐熄灭的过程;其次不会产生吹灭蜡烛时经常可以看到的白烟。那么如何解释这一现象呢?首先这一灭火方法用抑制链反应来解释有些牵强,因为抑制链反应灭火主要指的是干粉灭火剂、卤代烷灭火剂灭火。

这一现象可以解释为:蜡烛是固体可燃物,一般的固体可燃物(此处强调一般的可燃物目的是与表面燃烧区别)燃烧都需要通过蒸发、分解、熔融变成气态分子才能燃烧。也就是说,蜡烛燃烧的可燃物不是固态的蜡烛,而是气态的蜡烛。放入冰水以后,由于蜡烛温度过低不能熔融、蒸发产生气态分子,相当于清除了可燃物(的气态分子),所以燃烧终止。

以上解释对于九年级学生而言有些深奥,所以这一题目不适合初中生。但是有必要像氧化还原反应等内容一样,在高中阶段设置为需要深化的学习内容供学生探究、学习。不仅可提高学生对于燃烧原理的认识,还可以提高学生分析问题、探究问题的能力。

4.2 火上浇油(食用油)能灭火

首先认识什么是闪燃。某些液体燃料或固体燃料燃烧产生的可燃蒸气在空气中达到一定浓度,遇到火源时发生一闪即灭的燃烧现象,就是闪燃。如果混合气体体积很大或者燃料易挥发,闪燃

会造成很大的破坏性甚至爆炸。但是闪燃和解释“火上浇油能灭火”没有关联。那么如何来解释这一现象呢?

食用油和酒精、汽油等轻质燃料不同,它的燃烧属于分解燃烧+蒸发燃烧,形成可燃气态分子较困难,其着火点也更高。

食用油着火,再倒入食用油可以灭火,主要是因为重新添加大量食用油以后,整个食用油的温度降低,使得燃烧前的分解和蒸发过程难以实现,燃烧终止。这一现象和上面蜡烛在冰水中的情况类似,就是阻断了气态可燃性分子的形成。食用油虽然存在,但是可燃烧的气态分子没有达到所需要的浓度,实际上还是相当于清除了可燃物(的气态分子)。

值得注意的是,这一灭火方法只适用于分解燃烧,如果是酒精、汽油等易挥发的燃料,其燃烧时再加入液态可燃物就更加危险了。此外即使是食用油,燃烧还需在可控范围内,如果燃烧的热量积累使得油温过高,或者在形成较大面积的着火情况下,也不能再添加食用油灭火。

4.3 补充说明

以上两个实例都是由于降温,但其降温不是作用于燃烧的部位,而是直接降低可燃物的温度,燃烧部位的温度在一开始并没有降低,也就是说已经进行的反应仍在产生热能,只是没有遇到降温措施去抵消这些产生的热能。真正阻断继续燃烧的是可燃物气化的过程。

但是这两个实例的灭火针对的不是链反应,化学灭火才是针对的链反应,所以不需要用燃烧的第4个条件来解释。

5 结语

根据不同阶段学生的学习能力,理解燃烧原理需要一个循序渐进的过程。现在的突出问题是中学教材、化学专业高师教材都没有对燃烧问题设置专门的内容加以深化,因而造成许多中学化学教师对燃烧原理认识不足。

除了本文提到的问题以外,笔者曾经做过与燃烧相关的研究——酒精灯加热效率的探究^[11, 12],实验证明酒精灯加热用内焰效率最高。问题出在哪里呢?首先笔者通过查阅文献发现,最早提出

外焰温度高的文献是关于本生灯的。本生灯是混合燃烧而酒精灯是扩散燃烧,两者存在根本的区别。目前国内已经有钱扬义老师为代表的多项研究证明内焰温度更高^[13]。仍然存在的一个误区是,许多教师都在这样一个前提下研究问题:“酒精灯哪里火焰温度高,使用酒精灯就应该用哪个部位加热”。事实是,酒精灯加热效率的高低不仅仅和火焰温度有关,还和加热面积、火焰的稳定性等因素有关。所以抛开火焰部位温度的高低,需要用酒精灯的哪个部位加热,就应该以实验为依据,而不能主观臆断。我们实验的结果是内焰加热可以比外焰节约一半左右的时间,可是现在中学教材还在教导学生酒精灯加热时用外焰!

我们强调培养学生科学素养,因此建议在高中化学应专门设置深化燃烧的教学内容,让学生认识到燃烧的四个条件确切的表述为“一定的可燃物浓度;一定的氧气(空气)含量;一定的点火能量;未受抑制的链反应”,同时设置对火焰的颜色、火焰不同部位的温度、酒精灯加热的效率等方面的探究活动,这样使学生对燃烧有更全面的认识,是培养学生学科学的研究过程和方法的好素材。

(上接第37页)

课堂实施实验探究的效果差异,同时考虑到科学方法的体验、创新思维的激发,外界条件对化学平衡的影响设计了不同的探究方案。为强化严谨的科学态度,每次探究设置了相互印证的2个情境。

将“合成氨工艺流程”纳入本单元教学,一方面通过学以致用激发学习的积极性,另一方面为核心素养中的技术运用目标在化学教学中找到切入口。

用化学图表设置教学情境,旨在通过对信息提取和加工的训练,提升学生的信息素养,强化信息意识。

核心素养中的乐学善学、勤于反思、理性思维、批判质疑、社会责任等具备公共目标性质的基本要点,可在教学过程中结合活动开展、问题解决与教学评价潜移默化地引导学生去积极建构。

每轮课程改革,一线教师都得重新面临教学

参考文献:

- [1][2] 王程杰. 燃烧条件“3+1”[J]. 化学教学, 2016, (1): 49~54.
- [3][4] 严传俊, 范玮. 燃烧学[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2008: 65~70.
- [5][6] 谢兴华. 燃烧理论[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2002: 19~22.
- [7] 邵辉. 化工安全[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2012: 100.
- [8] 朱建芳主编. 防火防爆理论与技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2013: 19~30.
- [9] 许晋源, 徐通模. 燃烧学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1980: 94~98.
- [10] 王信群等. 火灾爆炸理论与预防控制技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2014: 119~120.
- [11] 刘立新等. 酒精灯不同部位对石棉网加热效率的探究[J]. 化学教学, 2014, (8): 66~68.
- [12] 刘立新等. 酒精灯火焰对试管加热效率的探究[J]. 化学教学, 2014, (9): 59~61.
- [13] 钱扬义等. 酒精灯火焰温度是外焰“最高”吗[J]. 化学教育, 2006, 27(7): 52~54.

观念与教学方法的更新,这既是一种挑战也是一次机遇。作为基于学生发展核心素养的尝鲜之作,本教学设计期望能够得到同仁的关注与指正,并起到抛砖引玉的作用。

参考文献:

- [1] 宋心琦主编. 普通高中课程标准实验教科书·化学反应原理[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2008: 7.
- [2] 王磊等主编. 普通高中课程标准实验教科书·化学与技术[M]. 北京: 人民教育出版社, 2010: 26~27.
- [3] 经志俊. 重视板书设计保障有效教学[J]. 化学教学, 2009, (3): 25~27.
- [4] 王祖浩主编. 普通高中课程标准实验教科书·化学与技术[M]. 南京: 江苏教育出版社, 2007: 53.