



高中化学氧化还原反应方程式配平技能学习进阶的探讨*

麦裕华**

(广东广州市协和中学 510160)

摘要 氧化还原反应方程式配平技能是学生需要发展的化学基本技能之一。从学生需要的基础技能、氧化还原反应的复杂性、教科书教学内容的安排、高考的命题和考试要求这4方面讨论了影响氧化还原反应方程式配平技能的因素。对在“化学1”模块阶段、高考总复习阶段中，氧化还原反应方程式配平技能的学习过程进行分析，提出1个包括4个预期水平的预期水平方案。最后分别对围绕氧化还原反应方程式配平技能的教学实践、学术研究提供建议。

关键词 学习进阶 氧化还原反应方程式 化学方程式配平技能 高中化学

DOI: 10.13884/j.1003-3807hxjy.

1 问题的提出

氧化还原反应是高中化学课程的核心知识之一，对学生认识物质的化学性质和变化规律、化学基本原理均有重要的指导作用。化学方程式是化学特有的语言，表现了物质在化学变化中存在的“质”和“量”的关系。化学方程式的配平是根据原子或电子守恒，通过使用一定的配平方法和分析、推理等思维过程来确定化学方程式的化学计量数，明确参加反应的物质存在的各种数量关系。氧化还原反应方程式的配平是学生在氧化还原反应、元素化合物知识的学习过程中必然会遇到的问题，也是学生需要发展的化学基本技能之一。

由于氧化还原反应类型复杂，这些化学方程式配平过程的思维跨度较大，学生的氧化还原反应方程式配平技能无法一蹴而就，而高考的反拨作用又为学生的氧化还原反应方程式配平技能确定了最终的学习目标。学科知识和技能的学习是分阶段和有明确的路径的。人们在过往已经认识到学科知识和技能的形成、建立和深化是一个螺旋式的学习过程。学习进阶(learning progressions)概念^[1]的提出更表明人们应该高度关注学生学习过程的方向、路径和阶段，以及每个学习阶段的预期水平。许多研究者已经对氧化还原反应方程式的各种配平方法进行深入总结，却鲜少关注学生氧化还原反应方程式配平技能的学习进阶。学生主要从“化学1”模块阶段、高考总复习阶段来学习和提高氧化还原反应方程式配平技能。如何结合高中化学课程

的教学实际情况，分析和规划学生氧化还原反应方程式配平技能的学习进阶，是值得探讨的问题。

2 氧化还原反应方程式配平技能的影响因素

2.1 学生需要的基础技能

化合价升降配平法是常见的氧化还原反应方程式配平方法，也是学生应该理解和掌握的配平方法。该方法的配平步骤可以概括为：标变价，列变化，求总数，配系数，查守恒。通过对该方法的分析，可以分解出学生掌握氧化还原反应方程式配平技能所需的5种基础技能：①了解常见元素的化合价，能够准确标出化合物中元素的化合价；②认识氧化还原反应中存在着电子转移和电子守恒的现象；③能够找出氧化还原反应中具体的化合价变化的原子，确定化合价变化的情况；④能够从参加反应的微粒的化学式中判断用来分析配平过程的基准物质，列出化合价变化的守恒关系；⑤能够用观察法和最小公倍数法配平简单的化学方程式。其中，①和⑤是学生在初三化学课程的学习中已经形成的基础技能，②、③和④是学生在高一化学课程的学习中新形成的基础技能。学生的氧化还原反应方程式配平技能受初三、高一年级这2个学习阶段形成的各种基础技能综合作用的影响。使用基础技能③和④来准确、合理地分析氧化还原反应的电子守恒关系应该是氧化还原反应方程式配平技能的核心。

2.2 氧化还原反应的复杂性

氧化还原反应是复杂的，氧化还原反应方程式

* 广州市中学化学教研会化学教学领域进一步深化素质教育研究课题“高中化学‘知识与技能’教学目标体系与实施的研究”(课题编号: K0006)的研究成果

** 通信联系人, E-mail: myhchem@163.com

在形式上可以分为多种类型。根据发生化学变化的微粒种类,具有3种情况:①氧化剂、还原剂是2种物质;②氧化剂、还原剂是同种物质;③氧化剂、还原剂共多于2种物质。根据发生化学变化的元素种类,常有4种情况:①一种物质中一种元素的化合价升降;②一种物质中同种元素的化合价升降;③一种物质中多种元素的化合价升降;④一种物质中多种元素的化合价升高(或降低)。另一方面,在一些氧化还原反应方程式中,某些化合价变化的元素在反应物、产物的化学式中并不具有相同的原子数。例如,在HClO的分解反应中,化合价变化的O元素在反应物HClO的化学式中有1个原子,在产物O₂的化学式中有2个原子。在配平这些氧化还原反应方程式时,需要综合考虑究竟是以反应物还是产物来作为基准物质、如何计算某一元素的原子数等实际问题。学生如果无法认识或识别氧化还原反应方程式在形式上的特点,尤其是

在陌生的情境中遇到较复杂的氧化还原反应方程式时,将难以分析各种线索而对它们的配平感到无从下手,容易形成较难逾越的学习困难。

2.3 教科书教学内容的安排

学生的氧化还原反应方程式配平技能需要依靠“化学1”模块的元素化合物知识作为学习载体,并且随着学习内容的丰富和深入而逐步形成、巩固和强化。因此,《化学1》教科书元素化合物知识有关章节出现的内容和顺序会影响着学生氧化还原反应方程式配平技能的学习过程,也即影响着学习进阶的阶段。通过统计,人教版《化学1》教科书^[2]第3、4章的正文部分共出现54条化学方程式,其中氧化还原反应方程式有28条。过半数氧化还原反应方程式需要使用化合价升降配平法配平,其余可以用观察法配平。从形式特点的角度对那些需要使用化合价升降配平法来配平的氧化还原反应方程式进行整理,得到表1。

表1 氧化还原反应方程式的形式特点和实例

类型	微粒种类	元素种类	基准物质	实例
I ₁	氧化剂、还原剂是2种物质	一种物质中一种元素的化合价升降	产物	Na和H ₂ O
I ₂			反应物	Fe(OH) ₂ 和O ₂ , Fe ²⁺ 和Cl ₂ , NH ₃ 和O ₂
I ₃			不考虑	Fe ³⁺ 和Fe, Cu、C和H ₂ SO ₄ , Cu和HNO ₃
II ₁	氧化剂、还原剂是同种物质	一种物质中同种元素的化合价升降	产物	Na ₂ O ₂ 和H ₂ O、CO ₂
II ₂			不考虑	Cl ₂ 和H ₂ O、NaOH, NO ₂ 和H ₂ O
III	氧化剂、还原剂是同种物质	一种物质中多种元素的化合价升降	产物	HClO的分解

类型II、III的氧化还原反应方程式的配平过程与类型I的差异,是需要根据化合价变化的元素所需的总原子数来确定同时作为氧化剂和还原剂的某种反应物的化学计量数。

学生在学习“化学1”模块后,需要基本能够配平这3大类氧化还原反应方程式。因此,学生在第3、4章的学习中,应该通过具体的氧化还原反应方程式来认识和熟悉氧化还原反应方程式配平的基本思路 and 过程,初步形成程序化、自动化的使用化合价升降配平法的氧化还原反应方程式配平思维和行为。从数量上看,在《化学1》教科书中,需要在配平过程中判断基准物质的氧化还原反应方程式与不需要判断的相近。换言之,特别以类型I₁、I₂、II₁和III的氧化还原反应方程式为范例,学生通过反复的螺旋式学习过程,了解如何判断反应物或产物作为基准物质来建立化合价变化的守恒关系的思维过程,初步形成有关的基础技能。需要注意的是,从氧化还原反应方程式出现的先后顺序

来看,学生先接触到要判断产物、反应物作为基准物质的氧化还原反应方程式,再接触到不需要判断的。这一认知顺序可能会为学生认识和理解氧化还原反应方程式配平方法带来负面影响。另外,类型III的氧化还原反应方程式在教科书中只出现1次,而且HClO分解反应的化学方程式可以用观察法配平,学生对这类化学方程式的配平过程可能会较少关注。

2.4 高考的命题和考试要求

虽然《化学1》教科书出现的氧化还原反应方程式总体上较简单,但是从全国范围来看,许多省份高考的命题和考试要求却对学生的氧化还原反应方程式配平技能有较高的期待。高考中出现要求配平较复杂的氧化还原反应方程式的试题,这对教师的备考研究和教学实践产生明显的反拨作用。尽管学生在必修模块学习后至高考总复习阶段前,不再学习具体的常见元素和无机化合物知识,学生的氧化还原反应方程式配平技能也缺少系统、持续的训

练,学生却要在高考总复习阶段中迅速提升氧化还原反应方程式配平技能,以符合教师预期的高考命题和考试要求。

3 氧化还原反应方程式配平技能的学习阶段

3.1 “化学 1”模块阶段

结合《化学 1》教科书第 3、4 章出现的氧化还原反应方程式的形式特点和顺序,学生可有如下学习经历:

(1) 在第 3 章第 1 节和第 2 节,通过 Na 和 H_2O 的反应、 Na_2O_2 和 H_2O 、 CO_2 的反应,初步认识氧化还原反应方程式配平的基本思路 and 过程,以及了解判断产物作为基准物质来建立化合价变化的守恒关系的思维过程;

(2) 在第 3 章第 2 节,通过 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 的转化反应,初步认识氧化还原反应型离子反应方程式的配平过程,了解判断反应物作为基准物质来建立化合价变化的守恒关系的思维过程;

(3) 在第 4 章第 2 节和第 3 节,通过 Cl_2 和 H_2O 、 $NaOH$ 的反应、 $HClO$ 的分解反应、 NO_2 和 H_2O 的反应,反复多次加深对氧化还原反应方程式配平过程的认识;

(4) 在第 4 章第 4 节,通过 NH_3 和 O_2 的反应,加强对有效判断基准物质的思维训练,初步认识“同时产生 2 种还原产物”时的配平处理方法;通过 Cu 、 C 与 H_2SO_4 的反应、 Cu 和 HNO_3 的反应,进一步加深对氧化还原反应方程式配平过程的认识,初步认识“作为氧化剂或还原剂的反应物部分参加氧化还原反应”时的配平处理方法。

学生在学习经历 (1)、(2) 和 (4) 中,可能会对判断基准物质和建立化合价变化的守恒关系的

思路与方法产生理解障碍,教师要特别关注学生的学习表现。

3.2 高考总复习阶段

学生在高考总复习阶段,通过氧化还原反应、常见元素和无机化合物等专题复习,进一步了解和熟悉在“氧化剂、还原剂共多于 2 种物质”、“同时产生多种氧化产物或还原产物”等较复杂的情况时的配平处理方法;并且利用一定数量的高考典型试题训练,在较短时间内提高氧化还原反应方程式配平技能。

4 氧化还原反应方程式配平技能的预期水平

当学生配平出某些具有一定复杂性的氧化还原反应方程式,即表示学生具有某一水平的氧化还原反应方程式配平技能。在不同的学习阶段,学生会接触到具有不同复杂性的氧化还原反应方程式,学生的氧化还原反应方程式配平技能具有不同的学习目标,也即是具有不同的预期水平。结合高中化学课程的教学实际情况,自拟出如下的预期水平方案(表 2),并且对每一种预期水平列举出可以参照的氧化还原反应方程式实例。水平 1 是最低的技能水平,学生在认识氧化还原反应方程式配平步骤后应该达到这一水平;水平 2 是稍高的技能水平,学生在完成“化学 1”模块学习后应该达到这一水平;水平 3 是较高的技能水平,学生在迁移与范例有关的配平经验后应该达到这一水平;水平 4 是最高的技能水平,许多省份的学生在高考总复习阶段应该达到这一水平。根据对广东近几年高考试题的分析,广东学生只要达到水平 2 即可以解决广东高考试题中的氧化还原反应方程式配平技能考查问题。

表 2 氧化还原反应方程式配平技能的预期水平

水平	预期水平	实例
水平 4	能够配平陌生、较复杂或复杂的氧化还原反应方程式	$2MnO_4^- + 3H_2O_2 = 2MnO_2 \downarrow + 3O_2 \uparrow + 2OH^- + 2H_2O$ (2012 年江苏化学卷第 18 题) $2FeTiO_3 + 6C + 7Cl_2 \xrightarrow{900^\circ C} 2TiCl_4 + 2FeCl_3 + 6CO$ (2011 年全国理综新课程卷第 36 题)
水平 3	能够配平复杂的氧化还原反应方程式	$4Zn + 10HNO_3(稀) = 4Zn(NO_3)_2 + NH_4NO_3 + 3H_2O$ $3Cu_2S + 16HNO_3 = 6Cu(NO_3)_2 + 3S + 4NO \uparrow + 8H_2O$
水平 2	能够配平较复杂的氧化还原反应方程式	$3Cu + 8HNO_3(稀) = 3Cu(NO_3)_2 + 2NO \uparrow + 4H_2O$ $4NH_3 + 5O_2 \xrightarrow[\Delta]{催化剂} 4NO + 6H_2O$ $2Na_2O_2 + 2CO_2 = 2Na_2CO_3 + O_2$
水平 1	能够配平简单的氧化还原反应方程式	$2Al + 3Cu(NO_3)_2 = 2Al(NO_3)_3 + 3Cu$ $Fe + 2HCl = FeCl_2 + H_2 \uparrow$

5 对教学实践和学术研究的建议

5.1 对教学实践的建议

由于教学内容繁多、教学时间有限等原因,教师在“化学1”模块元素化合物知识的教学过程中有较沉重的教学压力,容易无暇顾及学生的氧化还原反应方程式配平技能的培养。化学教科书的编排方式不利于学生对元素化合物知识的学习^[3],更容易影响学生的氧化还原反应方程式配平技能的形成和发展。然而,从上文的讨论可见学生的氧化还原反应方程式配平技能有特别的学习要求和安排,教师适宜具有宏观、整体的氧化还原反应方程式配平技能教学意识和认识。为了提高教学的针对性和有效性,教师在“化学1”模块元素化合物知识的教学过程中,需要根据氧化还原反应方程式配平技能的学习阶段和具体的学习经历来严格控制教学要求,避免盲目地提高教学要求和增加学生的学习负担;通过《化学1》教科书提供的具体的氧化还原反应方程式,逐步引导学生突破判断基准物质和建立化合价变化的守恒关系的思维难点,完善对氧化还原反应方程式配平步骤、特殊处理方法的认识;通过适量与范例类似的氧化还原反应方程式来训练学生实际的配平技能,回避或谨慎使用一些略显复杂的氧化还原反应方程式。

学生在进入高考总复习阶段时,常会对“化学1”模块元素化合物知识有较大幅度的遗忘,遑论氧化还原反应方程式配平方法。因此,教师需要在多个复习专题中反复进行有关的复习和习题训练,加大学生对氧化还原反应方程式配平技能的熟练程度,特别地强化氧化还原反应型离子反应方程式的配平技能,努力让学生形成程序化、自动化的氧化

还原反应方程式配平思维和行为;尤其需要同时加强学生对陌生情境下特殊信息的注意、吸收和分析能力,促使学生能够判断和写出化学方程式中的缺项、陌生物质中某一元素的化合价等,最终提高氧化还原反应方程式书写的准确性。

5.2 对学术研究的建议

围绕着学生的氧化还原反应方程式配平技能的发展,可以进行相当多的学术研究。从宏观上看,不同年级、不同化学学业水平的学生的氧化还原反应方程式配平技能的表现水平为何,从中可以反映出怎样的真实的学习进阶?更进一步地研究不同版本高中化学教科书是否对学生的氧化还原反应方程式配平技能产生影响?从微观上看,不同化学学业水平的学生对氧化还原反应方程式配平过程的心智模式为何,尤其是对判断基准物质和建立化合价变化的守恒关系的思维过程有何认识?影响学生的心智模式的因素和各种因素的影响程度为何?如何促使学生尽快形成程序化、自动化的氧化还原反应方程式配平技能?除此以外,尚有诸多问题值得化学教育研究领域进行深入的实证研究和探讨。

致谢: 广州市化学教研员李南萍老师对本文提出宝贵的修改意见,特此致谢!

参 考 文 献

- [1] 刘晟,刘恩山. 教育学报, 2012 (4): 81-87
- [2] 宋心琦. 普通高中课程标准实验教科书: 化学1. 3版. 北京: 人民教育出版社, 2007
- [3] 广州市教育局教学研究室化学科, 广州市中学化学教学研究会. 广州市普通高中新课程实验总结——化学学科报告//黄宪. 行动与创新: 物理、化学、生物分册. 广州: 华南理工大学出版社, 2007: 73