

## 关于氮族元素教学改革的几点建议

朱国贤\*, 谢木标, 陈静, 潘荣楷

岭南师范学院化学化工学院, 广东 湛江 524048

**摘要:** 根据氮族元素这一章节的知识特点并结合自己精品视频公开课教学体会, 从利用化学原理讲透物质结构与性质, 设计问题引导学生思考, 培养学生的学习能力, 指导学生善于归纳物质性质的变化规律, 注意本族元素及化合物与生产、生活实际的联系等方面探讨了无机元素化学的教学改革, 旨在指导学生有效地学习、记忆并掌握元素化学知识, 提高课堂教学质量。

**关键词:** 氮族元素; 教学; 教学改革

**中图分类号:** G64; O61

## Suggestions on the Teaching of Nitrogen Group Elements

ZHU Guoxian\*, XIE Mubiao, CHEN Jing, PAN Rongkai

School of Chemistry and Chemical Engineering, Lingnan Normal University, Zhanjiang 524048, Guangdong Province, P. R. China.

**Abstract:** Based on the knowledge characteristics of the chapter on nitrogen group elements, and combined with the teaching experience of our excellent video open course, this paper has probed the teaching reform of inorganic elements chemistry from the following aspects: using the principle of chemistry to explain the structure and properties of substances, designing problems to guide students to think and cultivate their learning ability, instructing students to be good at inducing the changing laws of material properties, paying attention to the relationship between the elements and compounds and practices of production and life. It aims to guide students to learn, memorize and master the knowledge of element chemistry effectively, and improve the quality of classroom teaching.

**Key Words:** The nitrogen group elements; Teaching; Teaching reform

氮族元素包括氮、磷、砷、锑和铋五种元素, 属于周期系中第五主族(VA), 位于元素周期表中的 *p* 区。该族元素从氮到铋, 经历了一个完整的从典型的非金属元素到典型的金属元素过渡, 氮、磷为非金属, 砷为准金属, 锑、铋为金属<sup>[1]</sup>。本章内容丰富, 知识面广, 从结构上看, 价层电子构型均为  $ns^2np^3$ , 理论上说, 同一族元素的化学性质应具有相似性, 但事实上该族元素的性质差别较大、系统性差、知识点分散, 有“老师难教、学生怕学”之说, 教师往往在教学上投入大量的时间和精力, 却收不到预期的教学效果<sup>[2]</sup>。如何上好氮族元素课, 笔者结合无机化学精品视频公开课建设, 介绍在氮族元素教学改革中的一些经验和做法。

### 1 利用化学原理, 讲透物质结构与性质

本章包括氮和氮的化合物、磷和磷的化合物、砷锑铋的化合物等, 内容庞杂, 物质种类繁多,

收稿: 2019-03-03; 录用: 2019-04-18; 网络发表: 2019-05-22

\*通讯作者, Email: zhugxian@163.com

基金资助: 2014 年广东省教育厅质量工程无机化学精品视频公开课

学生容易学懂,但更容易忘记,是突出的教学重点和难点。然而将化学原理贯穿到本章具体教学内容中,把化学原理和元素化学有机地进行结合、穿插,有意识地引导学生用化学原理揭示元素化合物的性质及变化规律,可把繁杂琐碎知识变得更简单化和系统化。在讲授某元素单质或其化合物的性质时,可用已学过的化学原理分析物质的结构,结合化学热力学、化学动力学、元素周期性、电极电势、配合物等原理知识阐明单质、化合物的性质、反应现象及发生变化的规律。

例如在讲述氨气( $\text{NH}_3$ )时,首先用杂化轨道理论讲述氮原子的  $sp^3$  不等性杂化,分子呈三角锥型结构,由于氮的原子半径小、电负性大,因此氮可形成氢键;氨分子内含有孤对电子,具有配位性;根据酸碱理论,氨的水溶液呈弱碱性;依照氨分子结构,氨分子的一个氢原子被氨基( $-\text{NH}_2$ )和羟基( $-\text{OH}$ )取代分别形成联氨(肼)、羟氨,根据 N、O 的电负性,可判断氨、联氨(肼)、羟氨的碱性依次减弱等。这样运用化学原理指导元素化学的教学,可以帮助学生学会从本质上认识问题,深刻理解本族元素及化合物相关性质及其规律。又如在讲解磷的含氧酸及其盐时,首先讲解(正)磷酸结构:中心 P 原子采用  $sp^3$  杂化,分子内存在 3 个  $\text{P}-\text{O}$   $\sigma$  键,1 个从磷到氧的  $\sigma$  配键和 2 个由氧到磷的  $d\leftarrow p\pi$  键。以磷酸为基准,推出其他磷的含氧酸结构,再分别讲解  $\text{H}_3\text{PO}_4$ 、 $\text{H}_3\text{PO}_3$ 、 $\text{H}_3\text{PO}_2$ 、 $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$  的成键情况、结构、酸碱性和氧化还原性。其他章节的教学实例见表 1。

表 1 氮族元素知识点与化学原理结合讲解实例\*

| 教学内容         | 氮族元素相关知识点                                                                                                | 化学原理部分章节及相关知识点                                |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 16.1 氮族元素概述  | 本族元素最高氧化态可达到+5                                                                                           | 原子结构与元素周期系(价电子构型为 $ns^2np^3$ )                |
|              | 本族元素从上到下金属性逐渐增强                                                                                          | 原子结构与元素周期系(原子半径逐渐增大)                          |
| 16.2 氮和氮的化合物 | 氮分子( $\text{N}_2$ )稳定性高                                                                                  | 分子结构(分子轨道理论)                                  |
|              | 氨( $\text{NH}_3$ )分子极性、易形成氢键                                                                             | 分子结构(杂化轨道理论)                                  |
|              | $\text{NH}_3$ 、 $\text{N}_2\text{H}_4$ 、 $\text{NH}_2\text{OH}$ 的碱性逐渐减弱                                  | 酸碱理论(接受质子的能力降低)                               |
|              | NO 具有顺磁性                                                                                                 | 分子结构(分子轨道理论)                                  |
|              | $\text{NO}^+$ 、NO、 $\text{NO}^-$ 的键长逐渐增大                                                                 | 分子结构(分子轨道理论)                                  |
|              | $\text{NO}_2$ 具有顺磁性                                                                                      | 分子结构(杂化轨道理论)                                  |
|              | $\text{HNO}_2$ 是快速氧化剂                                                                                    | 化学动力学基础(酸将 $\text{HNO}_2$ 转变成 $\text{NO}^+$ ) |
|              | 硝酸根( $\text{NO}_3^-$ )的稳定性                                                                               | 分子结构(杂化轨道理论, 分子内存在共轭 $\pi$ 键)                 |
| 16.3 磷和磷的化合物 | 白磷( $\text{P}_4$ )的化学活性高                                                                                 | 分子结构(价键理论)                                    |
|              | $\text{H}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ 、 $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$ 、 $\text{H}_3\text{PO}_4$ 的酸性逐渐增强 | 酸碱理论(缩合度增加, 酸性增强)                             |
|              | $\text{H}_3\text{PO}_4$ 、 $\text{H}_3\text{PO}_3$ 、 $\text{H}_3\text{PO}_2$ 的还原性逐渐增强                     | 分子结构(杂化轨道理论, $\text{P}-\text{H}$ 键逐渐增多)       |
| 16.4 砷、锑、铋   | $\text{NH}_3$ 、 $\text{PH}_3$ 、 $\text{AsH}_3$ 分子中的键角逐渐减小                                                | 分子结构(杂化轨道理论)                                  |
|              | $\text{NH}_3$ 、 $\text{PH}_3$ 、 $\text{AsH}_3$ 的还原性逐渐增强                                                  | 原子结构与元素周期系(原子半径逐渐增大、电负性减小)                    |
|              | $\text{NaBiO}_3$ 为强氧化剂, $\text{BiCl}_5$ 不存在                                                              | 原子结构与元素周期系(钻穿效应, $6s^2$ 的惰性电子对效应)             |
|              | $\text{Sb(III)}$ 、 $\text{Bi(III)}$ 强烈水解                                                                 | 晶体结构(离子极化作用)                                  |

\*表 1 中的章节名称、顺序参照北京师范大学、华中师范大学、南京师范大学无机化学教研室编写的《无机化学》教材(第 4 版)<sup>[1]</sup>

通过化学原理分析物质的结构,沿着“结构决定性质”这一主线进行教学,既可使学生会应用化学原理解决实际问题,又可通过理论分析使元素化合物杂乱零散的知识变得更有条理、更有规律,有助于学生理解、记忆、掌握知识,避免了死记硬背、囫圇吞枣,同时反过来对基本理论又有更深层的理解,起到事半功倍的作用。

## 2 设计问题引导学生思考, 培养学生的学习能力

爱因斯坦说过: “提出一个问题比解决一个问题更重要。”教师科学地设计问题, 启发学生思考问题、解决问题, 并将这一线索始终贯穿整个教学过程, 是体现以学生为中心的教学方法。在课堂教学中教师要善于给学生提出问题, 有效地给学生创设问题情境, 引导学生思考问题, 鼓励学生带着问题走进课堂, 学生在教师的启发下, 通过自己已学的知识去分析问题、讨论问题、准确地解答问题, 从而达到理解并掌握有关概念和知识, 同时培养学生勤于思考、善于自主学习的习惯。例如在学习磷(P)单质时, 可依次设计如下问题: (1) 磷主要有几种同素异形体? (2) 虽然氮的电负性比磷高, 但是磷的化学性质比氮活泼? (3) 在实验室中, 如何存放白磷? (4) 白磷剧毒, 若不慎将白磷沾到皮肤上, 如何处理? 等等。这些问题深入浅出, 层层深入, 将磷单质知识的多个点贯穿成一条线, 可以帮助学生在寻找答案的过程中深入理解磷单质的相关知识。在学习其他知识时, 课前可先布置如下问题(见表 2)让学生思考。

表 2 氮族元素学习思考题与简答

| 教学内容         | 问题                                                                                                         | 简答                                                                                                                                                                                                      |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 16.1 氮族元素概述  | (1) 为什么 N—N 键的键能( $167 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ )比 P—P 键( $201 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ )的小? | (1) 由于 N 内层电子少(只有 $1s^2$ ), 原子半径小, 当形成 N—N 单键时, 相互之间作用力弱, 所以 N—N 键能比 P—P 单键要小                                                                                                                           |
|              | (2) 为什么氮可以生成双原子分子 $\text{N}_2$ , 而同族其他元素不能生成双原子分子?                                                         | (2) N 的半径很小, 容易形成 $p-p\pi$ 键(包括离域 $\pi$ 键)。N 原子核外有 3 个未成对电子, 可形成三重键。其他原子半径很大, 而使原子间的 $p$ 轨道重叠很小, 不能形成多重键                                                                                                |
|              | (3) 氮和本族其他元素在性质上有哪些显著差异?                                                                                   | (3) 氮含氢化合物生成氢键, 单质生成重键, 化学性质活泼, 无同素异形体, 最高配位数为 4                                                                                                                                                        |
|              | (4) P、As、Sb 可形成稳定的五氯化物, 而 N 和 Bi 却不能形成?                                                                    | (4) N 位于第二周期, 价电子层没有 $d$ 轨道, 只有 $2s$ 、 $2p$ 4 个轨道参与成键, 形成的共价键最多是 4 个; Bi 位于第六周期, 由于惰性电子对效应, $6s$ 2 个电子难以参与成键                                                                                            |
| 16.2 氮和氮的化合物 | (1) 如何除去 $\text{N}_2$ 中含有的少量 $\text{O}_2$ ?                                                                | (1) 将气体通过炽热的铜丝或连二硫酸钠的碱性溶液即可:<br>$2\text{Cu} + \text{O}_2 = 2\text{CuO}$ $2\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4 + \text{O}_2 + 4\text{NaOH} = 4\text{Na}_2\text{SO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$                  |
|              | (2) 为什么常用 $\text{NH}_3$ 而不用 $\text{N}_2$ 作为制备含氮化合物的原料?                                                     | (2) $\text{N}_2$ 分子中氮氮三重键键能很大, 不易参加反应; 而 $\text{NH}_3$ 分子中的 N—H 键则键能较小, 易断裂参加反应                                                                                                                         |
|              | (3) 如何除去 $\text{N}_2$ 中少量 $\text{NH}_3$ 和 $\text{NH}_3$ 中的水气?                                              | (3) 将 $\text{N}_2$ 通入水中, 少量的 $\text{NH}_3$ 溶于水而除去; 用 $\text{CaO}$ 可吸收 $\text{NH}_3$ 中的水气                                                                                                                |
|              | (4) 为什么可用浓氨水检查氯气管道的漏气?                                                                                     | (4) 氯气与氨可发生下列反应:<br>$3\text{Cl}_2 + 2\text{NH}_3 = \text{N}_2 + 6\text{HCl}$ $\text{HCl} + \text{NH}_3 = \text{NH}_4\text{Cl} \text{ (冒白烟)}$                                                            |
|              | (5) 如何除去溶液中微量的 $\text{NH}_4^+$ ?                                                                           | (5) 溶液中加入少量的 $\text{NaNO}_2$ 后加热除去 $\text{NH}_4^+$ :<br>$\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- = \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$                                                                               |
|              | (6) 如何除去 NO 中微量的 $\text{NO}_2$ 和 $\text{N}_2\text{O}$ 中少量的 NO?                                             | (6) 将气体通入水中, $\text{NO}_2$ 易溶于水:<br>$3\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{HNO}_3 + \text{NO}$<br>将气体通过装有 $\text{FeSO}_4$ 溶液的洗气瓶, 即可除去其中少量的 NO:<br>$\text{FeSO}_4 + \text{NO} = \text{Fe(NO)SO}_4$ |

(待续)

(续表 2)

|              |                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|              | (7) 根据 $\text{HNO}_3$ 的分子结构, 说明 $\text{HNO}_3$ 为什么不稳定?                                                                  | (7) 在硝酸分子中, 由于一个质子与 $\text{NO}_3^-$ 相连, 使得键角和键长都发生了变化, 与氢相连的 $\text{N}-\text{O}$ 键较长, 所以硝酸分子的对称性较低, 稳定性不如 $\text{NO}_3^-$ 离子                                                                                                                                                                                                              |
|              | (8) 为什么久置的浓 $\text{HNO}_3$ 会变黄?                                                                                         | (8) 由于浓硝酸见光发生分解, 产生 $\text{NO}_2$ 溶于硝酸中, 使溶液呈黄色                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|              | (9) 试用三种方法区分 $\text{NaNO}_2$ 和 $\text{NaNO}_3$                                                                          | (9) 方法一: 与硝酸作用生成棕色二氧化氮的是 $\text{NaNO}_2$ , 而 $\text{NaNO}_3$ 不能, $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ = 2\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$<br>方法二: 可使酸性高锰酸钾褪色的是 $\text{NaNO}_2$ , 而 $\text{NaNO}_3$ 则不能<br>方法三: 棕色环实验, $\text{FeSO}_4$ 与 $\text{NaNO}_3$ 、浓硫酸生成棕色环, 而与 $\text{NaNO}_2$ 则生成棕色溶液                                    |
| 16.3 磷和磷的化合物 | (1) 在实验室中, 如何存放白磷?                                                                                                      | (1) 白磷要储存在水中, 因白磷在潮湿空气中发生缓慢氧化作用, 当氧化积聚的热量达到燃点时便发生自燃                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|              | (2) 虽然氮的电负性比磷高, 但是为什么磷的化学性质比氮活泼?                                                                                        | (2) 这是由二者单质的结构不同决定的: $\text{N}$ 的半径很小, 但 $\text{N}$ 原子间形成三重键, 叁键的键能很高, 难以断开, 因而 $\text{N}_2$ 很不活泼; $\text{P}$ 原子半径很大, 而使 $\text{P}$ 原子间的 $p$ 轨道重叠很小, 不能形成多重键。 $\text{P}-\text{P}$ 单键键能很小, 很容易断开, 特别白磷的 $\text{P}-\text{P}-\text{P}$ 键角小、张力大, 更活泼                                                                                          |
|              | (3) 白磷剧毒, 若不慎将白磷沾到皮肤上, 如何处理?                                                                                            | (3) 可用 $\text{CuSO}_4$ 溶液 ( $0.2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 冲洗, 利用磷的还原性来解毒:<br>$2\text{P} + 5\text{CuSO}_4 + 8\text{H}_2\text{O} = 5\text{Cu} + 2\text{H}_3\text{PO}_4 + 5\text{H}_2\text{SO}_4$<br>$11\text{P} + 15\text{CuSO}_4 + 24\text{H}_2\text{O} = 5\text{Cu}_3\text{P} + 6\text{H}_3\text{PO}_4 + 15\text{H}_2\text{SO}_4$ |
|              | (4) 为什么磷和 $\text{KOH}$ 溶液反应生成的 $\text{PH}_3$ 气体遇空气冒白烟?                                                                  | (4) 磷和 $\text{KOH}$ 溶液反应生成的 $\text{PH}_3$ 气体中含有少量的 $\text{P}_2\text{H}_4$ , $\text{P}_2\text{H}_4$ 在空气中易自燃生成 $\text{P}_2\text{O}_3$ 而冒白烟                                                                                                                                                                                                  |
|              | (5) $\text{PH}_3$ 和过渡金属形成配合物的能力为什么比 $\text{NH}_3$ 强?                                                                    | (5) 除孤对电子外, $\text{P}$ 有空的 $3d$ 轨道可接受金属反馈电子, 加强了配离子的稳定性                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|              | (6) 为什么 $\text{P}_4\text{O}_{10}$ 中 $\text{P}-\text{O}$ 键长有两种, 分别为 $139 \text{ pm}$ 和 $162 \text{ pm}$ ?                | (6) 在 $\text{P}_4\text{O}_{10}$ 分子中有两种氧, 一种是与磷形成双键的端氧 ( $\text{P}=\text{O}$ ), 磷氧双键键长略短, 为 $139 \text{ pm}$ ; 一种是同时与两个磷成键的桥氧 ( $\text{P}-\text{O}-\text{P}$ ), 磷氧单键键长略长, 为 $162 \text{ pm}$                                                                                                                                               |
|              | (7) $\text{PCl}_3$ 与 $\text{NCl}_3$ 的水解产物有什么不同?                                                                         | (7) $\text{N}$ 的电负性 ( $3.04$ ) 比 $\text{Cl}$ ( $3.16$ ) 略小, 但由于 $\text{N}$ 原子半径小, 它与质子结合的能力比氯原子强, 所以水解中是 $\text{N}$ 夺取质子                                                                                                                                                                                                                  |
|              | (8) 如何鉴别正磷酸、偏磷酸、焦磷酸?                                                                                                    | (8) 分别取三种样品少量, 用 $\text{NaHCO}_3$ 溶液调 $\text{pH}$ 近中性, 加入硝酸银溶液, 产生黄色沉淀的为正磷酸; 偏磷酸、焦磷酸均产生白色沉淀。另取偏磷酸、焦磷酸各少量, 分别加入蛋白溶液, 混浊的为偏磷酸                                                                                                                                                                                                               |
|              | (9) 为什么向 $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ 或 $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ 溶液中加入 $\text{AgNO}_3$ 溶液均析出黄色 $\text{Ag}_3\text{PO}_4$ ? | (9) $\text{Ag}_3\text{PO}_4$ 的溶度积常数比 $\text{AgH}_2\text{PO}_4$ 和 $\text{Ag}_2\text{HPO}_4$ 都小得多, 即 $\text{Ag}_3\text{PO}_4$ 的溶解度更小, 而易从溶液中析出                                                                                                                                                                                              |
|              | (10) 过磷酸钙肥料为什么不能和石灰一起使用贮存?                                                                                              | (10) 由于过磷酸钙中的 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 会与石灰反应生成 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 难溶物, 影响植物的吸收                                                                                                                                                                                                                                     |
| 16.4 砷、锑、铋   | (1) 为什么 $\text{Bi(V)}$ 的氧化能力比同族其他元素强?                                                                                   | (1) 从本族元素的元素电势图可知, $\text{Bi(V)}$ (常以 $\text{B}_2\text{O}_5$ 存在) 的标准电极电势最大 ( $1.6 \text{ V}$ )。另从原子结构分析, $\text{Bi}$ 原子的次外层 $5d$ 轨道、倒数第三层 $4f$ 轨道均处于全充满状态, 且 $4f$ 、 $5d$ 对电子的屏蔽作用较小, 而 $6s$ 电子又具有较大的穿透能力, 所以 $6s$ 电子具有“惰性电子对效应”。失去 2 个 $6s$ 电子的 $\text{Bi(V)}$ 更倾向于得到 2 个电子形成更稳定的 $\text{Bi}^{3+}$                                        |

(待续)

(续表 2)

|                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (2) 如何解释 $\text{As}_2\text{O}_3$ 在盐酸中的溶解度随酸的浓度增大而减小后又增大的原因                                                                                                                              | <p>(2) 当酸的浓度非常低时, 存在以下平衡:</p> $\text{As}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = 2\text{As}(\text{OH})_3$ <p>酸的浓度的加大, 不利于水解反应;</p> <p>酸的浓度增大后, 存在以下反应:</p> $\text{As}_2\text{O}_3 + 8\text{HCl} = 2\text{H}[\text{AsCl}_4] + 3\text{H}_2\text{O}$ <p>增大盐酸的浓度, 有利于反应向右进行</p>                                                                                                                                                                                                 |
| (3) 法医如何鉴定砒霜中毒?                                                                                                                                                                         | (3) 马氏试砷法: 检验方法是用 $\text{Zn}$ 、盐酸和试样混在一起, 将生成的气体导入热玻璃管, 若试样中有砷的化合物存在, 就会生成 $\text{AsH}_3$ , 因生成的 $\text{AsH}_3$ 在加热部位分解产生 $\text{As}$ , $\text{As}$ 聚集在器皿的冷却部位形成亮黑色的“砷镜”(能检出 $0.007 \text{ mg As}$ )。“砷镜”如果能用次氯酸钠溶液洗涤而溶解, 则证明是砷                                                                                                                                                                                                                                         |
| (4) $\text{AsO}_3^{3-}$ 能在碱性溶液中被 $\text{I}_2$ 氧化成 $\text{AsO}_4^{3-}$ , 而 $\text{H}_3\text{AsO}_4$ 又能在酸性溶液中被 $\text{I}^-$ 还原成 $\text{H}_3\text{AsO}_3$ , 二者是否矛盾?                        | (4) 此题并无矛盾, 可从介质的酸碱性对电极电势的影响得到解释                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| (5) 如何鉴别 $\text{As}^{3+}$ 、 $\text{Sb}^{3+}$ 、 $\text{Bi}^{3+}$ 三种离子?                                                                                                                   | (5) 利用 $\text{As}^{3+}$ 、 $\text{Sb}^{3+}$ 、 $\text{Bi}^{3+}$ 硫化物颜色的不同加以鉴别。向三种化合物溶液中通 $\text{H}_2\text{S}$ , 生成黄色沉淀的是 $\text{As}^{3+}$ , 生成橙色沉淀的是 $\text{Sb}^{3+}$ , 生成黑色沉淀的是 $\text{Bi}^{3+}$                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| (6) 由亚砷酸钠制备 $\text{As}_2\text{S}_3$ , 为什么需要在浓的强酸性溶液中?                                                                                                                                   | (6) 由于 $\text{As}^{3+}$ 的强水解性, 只有在强酸性介质中, 才有游离的 $\text{As}^{3+}$ 与 $\text{S}^{2-}$ 结合生成 $\text{As}_2\text{S}_3$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| (7) 向含有 $\text{Sb}(\text{V})$ 的酸性溶液中通入 $\text{H}_2\text{S}$ 得到什么产物?                                                                                                                     | <p>(7) 向 <math>\text{SbCl}_5</math> 溶液中通入 <math>\text{H}_2\text{S}</math> 时, 伴随 <math>\text{Sb}_2\text{S}_5</math> 的生成, 溶液的酸度提高, <math>\text{Sb}^{5+}</math> 氧化能力提高而与 <math>\text{H}_2\text{S}</math> 发生氧化还原反应, 有 <math>\text{Sb}_2\text{S}_3</math> 和 <math>\text{S}</math> 沉淀生成:</p> $2\text{Sb}^{5+} + 5\text{H}_2\text{S} = \text{Sb}_2\text{S}_5 + 10\text{H}^+$ $2\text{Sb}^{5+} + 5\text{H}_2\text{S} = \text{Sb}_2\text{S}_3 + 2\text{S} + 10\text{H}^+$        |
| (8) $\text{Sb}_2\text{S}_3$ 既能溶于 $\text{Na}_2\text{S}$ 溶液也能溶于 $\text{Na}_2\text{S}_2$ 溶液; $\text{Bi}_2\text{S}_3$ 既不能溶于 $\text{Na}_2\text{S}$ 溶液也不能溶于 $\text{Na}_2\text{S}_2$ 溶液, 请说明原因 | <p>(8) <math>\text{Sb}_2\text{S}_3</math> 是两性氧化物, 并具有还原性, 故可以和碱性氧化物及具有氧化性的多硫化物反应:</p> $\text{Sb}_2\text{S}_3 + 3\text{Na}_2\text{S} = 2\text{Na}_3\text{SbS}_3$ $\text{Sb}_2\text{S}_3 + 3(\text{NH}_4)_2\text{S}_2 = 2(\text{NH}_4)_3\text{SbS}_4 + \text{S}$ <p>而 <math>\text{Bi}_2\text{S}_3</math> 具有碱性, 没有酸性, 还原性极弱, 不发生上述反应</p>                                                                                                                                   |
| (9) 在酸性溶液中, 按氧化能力由大到小排列下列离子, 并作简要说明: $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$ 、 $\text{AsO}_4^{3-}$ 、 $\text{SbO}_4^{3-}$ 、 $\text{BiO}_3^-$                                                | <p>(9) 氧化能力:</p> $\text{BiO}_3^- > \text{NO}_3^- > \text{SbO}_4^{3-} > \text{AsO}_4^{3-} > \text{PO}_4^{3-}$ <p>在氮族的正五氧化态化合物中, 随周期数增加, 元素 <math>\text{R}</math> 的半径增大, <math>\text{R}-\text{O}</math> 键强度减弱, 则氧化能力增强。由于 <math>\text{Bi}(\text{V})</math> 的惰性电子对效应, 其氧化性最强且有一个突跃。而 <math>\text{N}(\text{V})</math> 由于无空的价层 <math>d</math> 轨道, <math>\text{N}-\text{O}</math> 间不存在 <math>d \leftarrow p\pi</math> 配键使键强变弱, <math>\text{N}-\text{O}</math> 键易断而有明显的氧化性</p> |

表 2 中的章节名称、顺序同表 1

讲课时教师结合所讲授的知识点设计问题后, 着重引导学生去积极分析问题、思考问题, 并指导学生运用所学知识解决问题, 共同探讨问题的答案。这种“问题式教学法”能充分体现学生的主体地位, 能有效地激发学生自主学习的主动性和积极性, 有利于激发学生的求知欲, 培养学生的独立思考能力、自学能力和探索精神, 并能开发学生的创新潜能。

### 3 指导学生善于归纳物质性质的变化规律

本章涉及到的内容较多, 知识点琐碎、零散, 知识面也宽, 学生又是刚从中学毕业进入大学一年级学习, 学习上带着中学的思维, 不太适应大学的学习, 因此在教学过程中, 教师要指导学生改进学习方法, 培养学生学会归纳与总结知识, 学会探找物质性质之间的内在变化和规律。例如讲完氨的性质、铵盐热稳定性、硝酸作氧化剂被还原的产物、硝酸盐热稳定性等内容时, 教师要及时引导学生归纳总结这些知识, 以便于学生能够理解、记忆与运用。本章涉及到的化学反应方程式繁多, 让学生感到既记不住又抓不住要领, 这客观上要求教师在授课时, 指导学生学会分析教材内容, 讲透反应式内涵, 抓住物质内在的联系, 总结反应式的变化规律, 例如讲解三卤化物水解时, 抓住  $\text{NCl}_3$  水解具有特殊性, 其他三卤化物水解具有共性进行讲解(见表 3), 使学生能够更熟练地掌握三卤化物水解知识。

表 3 三卤化物水解产物

| 三卤化物            | 水解反应方程式                                                                      | 备注                                                |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| $\text{NCl}_3$  | $\text{NCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{NH}_3\uparrow + 3\text{HClO}$    |                                                   |
| $\text{PCl}_3$  | $\text{PCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{H}_3\text{PO}_3 + 3\text{HCl}$   | $\text{NCl}_3$ 与 $\text{PCl}_3$ 水解产物不同的原因, 第二节已解释 |
| $\text{AsCl}_3$ | $\text{AsCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{H}_3\text{AsO}_3 + 3\text{HCl}$ |                                                   |
| $\text{SbCl}_3$ | $\text{SbCl}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{SbOCl}\downarrow + 2\text{HCl}$  | 不完全水解, 停留在酰基盐阶段。配制盐溶液, 应加入酸, 抑制水解                 |
| $\text{BiCl}_3$ | $\text{BiCl}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{BiOCl}\downarrow + 2\text{HCl}$  | 同上                                                |

这样总结物质性质的变化规律, 使貌似杂乱无章的元素化学知识变得有条不紊, 更系统化和深刻化, 尤其对于化学反应方程式, 使学生不会再感到“学了后面, 忘了前面”, 而是让学生感到既记得牢固又抓住了要领。指导学生学会总结归纳后, 反过来又可使学生更有效地自我学习, 有效地独立思考问题和解决问题。

### 4 注意本族元素及化合物与生产、生活实际的联系

爱因斯坦曾说过: “兴趣是最好的老师。”本族元素与化合物在生产 and 生活实际中有着广泛的应用, 在教学中, 教师要从学生熟悉的现实生活事例着手, 适当适时地穿插本族知识与生产和生活实际的联系, 增加课堂教学的知识性、趣味性, 使平淡乏味的元素化合物知识变得生动有趣, 这样有助于激发学生学习元素化学知识的兴趣, 有助于学生更好地理解、记忆和掌握知识, 有助于学生应用知识解决与化学有关的一些实际问题。

如在讲授氮气作用时, 可联系农业生产中, 生物固氮可增加土壤中的氮素养分、提高土壤肥力进行。学习氮氧化物( $\text{N}_x\text{O}_y$ )时, 可结合机动车、柴油机和工业产生含氮氧化物的尾气排放到大气中, 与空气中的水结合转化成硝酸, 形成酸雨, 对人体健康、水质等都有严重危害来进行。讲到  $\text{PH}_3$  的还原性比  $\text{NH}_3$  强时, 可列举自然界中的“鬼火”现象加以说明, 鬼火实际上是有机体分解所产生的磷化氢气体与空气中的氧气发生化学反应的结果。在学习三氧化二砷( $\text{As}_2\text{O}_3$ )的作用时, 通常会把砒霜与“剧毒”“暴死”这样的词汇联系在一起, 而事实上少量摄入砒霜可能对人类的健康有益, 可用来治疗梅毒、肺结核病、肿瘤疾病, 特别是急性骨髓白血病等疾病; 砒霜还可用作长效杀虫剂、杀菌剂和除草剂。这样从“正”“反”两方面讲述砒霜, 让学生加深对砒霜的理解。

将生产、生活实际事例引入课堂, 不仅能丰富课堂教学内容, 调节学生情绪, 活跃课堂气氛, 而且能使学生真正认识到元素化合物与人类生产、生活关系密切, 在人类生产、生活实际中有着广泛应用, 这样可提高学生学习元素化合物的兴趣, 激励学生努力学好本领, 激发学生运用知识解决实际问题的欲望。

## 5 结语

氮族元素是知识内容最多的一族元素，需要学生记忆和掌握的知识较多，是无机化学教学中的难点。这需要教师潜心钻研教材，精心组织教学内容，采用多样教学方法，才能提高教学效果。笔者通过利用化学原理讲透物质结构与性质，设计问题引导学生思考、培养学生的学习能力，指导学生善于归纳物质性质的变化规律，注意本族元素及化合物与生产、生活实际的联系这几方面进行课堂教学改革，很好地把紊乱零碎的知识变得更有规律，帮助学生走出学习困境，极大提高学生的学习兴趣，使学生更加容易记忆和运用元素化学的知识，从而大大提高了课堂教学质量。

## 参 考 文 献

- [1] 北京师范大学, 华中师范大学, 南京师范大学无机化学教研室. 无机化学(下册). 第4版. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [2] 朱国贤, 谢木标, 石晓波, 陈静, 潘荣楷. 大学化学, **2016**, 31 (9), 29.