

氢氧化钠滴定醋酸过程中溶液粒子浓度关系的讨论*

陈廷俊

(南京市金陵中学河西分校, 南京 210019)

摘要: 通过氢氧化钠滴定醋酸实验的分析, 阐述了“pH=7 中性点”和“化学计量点”的区别以及滴定过程各阶段溶液中溶质的变化情况; 运用“微粒观”、“平衡观”、“守恒观”、“辩证观”讨论溶液中的粒子关系, 有利于学生掌握分析电离平衡和水解平衡同时存在时溶液酸碱性的判断方法, 建立解决此类问题的化学思维模式。

关键词: 氢氧化钠滴定; 醋酸; 溶液粒子; 浓度关系; 化学教学

文章编号: 1005-6629(2014)5-0074-04

中图分类号: G633.8

文献标识码: B

1 问题的提出

2010 年江苏高考 12 题: 常温下, 用 $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH 溶液滴定 20.00 mL $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ CH_3COOH 溶液所得滴定曲线如图 1。下列说法正确的是 ()

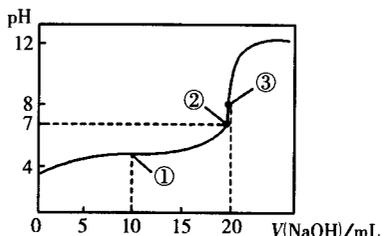
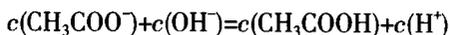


图 1 $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH 溶液滴定 20.00 mL $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ CH_3COOH 溶液的滴定曲线

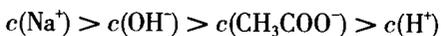
A. 点①所示溶液中:



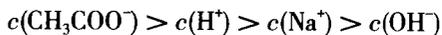
B. 点②所示溶液中:



C. 点③所示溶液中:



D. 滴定过程中可能出现: $c(\text{CH}_3\text{COOH}) >$



关于 NaOH 滴定 CH_3COOH 过程中粒子关系的讨论, 卓高峰、魏樟庆老师在“‘溶液中的微粒浓度大小关系’的教学与思考”^[1]中, 提出了以“微粒观”解决问题的逻辑顺序; 田益民老师在“溶液粒子浓度大小比较的解题策略”^[2]中, 借助定量计算比较溶液中粒子浓度的大小。笔者在学习他们相关研究成果的基础上, 通过氢氧化钠滴定醋酸实验的观察和绘制滴定曲线, 运用“微粒观”、“平衡观”、“守恒观”、“辩证观”来帮助

2 问题的解决

2.1 通过实验分清“化学计量点”和“pH=7 中性点”

“化学计量点”是指 NaOH 和 CH_3COOH 按照化学计量数之比恰好完全反应生成 CH_3COONa 时的滴定终点。由于 CH_3COONa 属于强碱弱酸盐, 水解后溶液呈碱性。因此, 此时溶液 pH 大于 7。“pH=7 中性点”是指 NaOH 和 CH_3COOH 按照一定物质的量之比反应后, 溶液中 $c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-)$ 的滴定点。考虑 CH_3COONa 溶液呈碱性, 因此, “pH=7 中性点”时溶液中的溶质应该是 CH_3COONa 和 CH_3COOH 。为了更好地帮助学生区别“化学计量点”和“pH=7 中性点”, 教学时, 笔者安排了学生实验和教师演示动态实验, 引导学生重点观察“化学计量点”和“pH=7 中性点”, 并比较所消耗 NaOH 溶液的体积。下表是用 $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaOH 滴定 20.00 mL $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 CH_3COOH (指示剂为酚酞), 滴定过程中溶液 pH 与所消耗 NaOH 溶液体积的对应关系。

表 1 $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaOH 滴定 20.00 mL $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 CH_3COOH , 溶液 pH 与所消耗 NaOH 溶液体积 (指示剂为酚酞)

加入 NaOH 溶液体积 / mL	剩余 CH_3COOH 溶液体积 / mL	过量 NaOH 溶液体积 / mL	溶液 pH
0.00	20.00	—	2.9
10.00	10.00	—	4.7
18.00	2.00	—	5.7
19.80	0.20	—	6.7
19.88	0.12	—	7.0
19.98	0.02	—	7.7
20.00	0.00	—	8.7
20.02	—	0.02	9.7
20.20	—	0.20	10.7
22.00	—	2.00	11.7

由表 1 中可知, 用 $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaOH 滴定 20.00 mL $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 CH_3COOH , “pH=7 中性点”所消耗 NaOH 溶液的体积约为 19.88 mL, “化学计量点”所消耗 NaOH 溶液的体积为 20.00 mL, 滴定突跃范围

* 江苏省教学研究第九期重点课题“高中化学全资源精品课程建设理论与实践研究 (JK9-Z001)”成果之一。

的 pH 为 7.7~9.7。

2.2 运用“微粒观”和“平衡观”讨论溶液中各种粒子间的大小关系

根据上表数据绘制 $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaOH 滴定 $20.00 \text{ mL } 0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 CH_3COOH 的滴定曲线(图 2), 分析特殊点和各阶段溶液中的粒子关系。

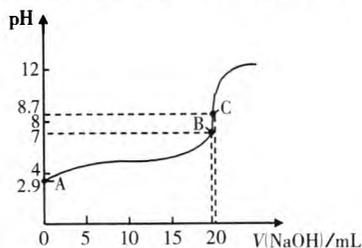


图 2 $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH 溶液滴定 $20.00 \text{ mL } 0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ CH_3COOH 溶液的滴定曲线

2.2.1 A 点(滴定前)

没有加入 NaOH 溶液时, 溶液为 $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 CH_3COOH 溶液。溶液中存在 CH_3COOH 和 H_2O 的电离平衡, $c(\text{CH}_3\text{COOH}) > c(\text{H}^+) > c(\text{CH}_3\text{COO}^-) > c(\text{OH}^-)$ 。

2.2.2 AB 段(滴定开始后到 pH=7 中性点前)

滴定开始后, 溶液中溶质为 CH_3COONa 和 CH_3COOH , 既有电离平衡, 又有水解平衡, 且电离平衡和水解平衡相互作用的结果使得 $c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$ 。刚开始阶段, 因为加入 NaOH 溶液量较少, 溶液中以 CH_3COOH 的电离为主, $c(\text{CH}_3\text{COO}^-) > c(\text{H}^+) > c(\text{Na}^+) > c(\text{OH}^-)$ 。但是, 随着加入 NaOH 溶液量的增加, NaOH 要消耗更多的 CH_3COOH , 导致溶液中 $c(\text{H}^+)$ 减小, $c(\text{Na}^+)$ 增大, 又会出现 $c(\text{CH}_3\text{COO}^-) > c(\text{Na}^+) > c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$ 。

2.2.3 B 点(pH=7 中性点)

B 点溶液中溶质为 CH_3COONa 和 CH_3COOH , 溶液中既有电离平衡, 又有水解平衡, 且电离平衡和水解平衡相互作用的结果使得 $c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-)$ 。因此, $c(\text{Na}^+) = c(\text{CH}_3\text{COO}^-) > c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-)$, 且 $c(\text{CH}_3\text{COO}^-) > c(\text{CH}_3\text{COOH})$ 。

2.2.4 BC 段(pH=7 中性点后到化学计量点前)

BC 段溶液中溶质为 CH_3COONa 和 CH_3COOH , 既有电离平衡, 又有水解平衡, 且电离平衡和水解平衡相互作用的结果使 $c(\text{OH}^-) > c(\text{H}^+)$ 。因此, $c(\text{Na}^+) > c(\text{CH}_3\text{COO}^-) > c(\text{OH}^-) > c(\text{H}^+)$ 。

2.2.5 C 点(化学计量点)

C 点为 CH_3COONa 溶液, 溶液中主要存在水解平衡, 且水解平衡作用的结果使溶液中 $c(\text{OH}^-) > c(\text{H}^+)$ 。因此, $c(\text{Na}^+) > c(\text{CH}_3\text{COO}^-) > c(\text{OH}^-) > c(\text{H}^+)$ 。

2.2.6 C 点以后(化学计量点后)

C 点后溶液中溶质主要为 CH_3COONa 和 NaOH, NaOH 过量, 溶液中主要存在 CH_3COONa 水解, $c(\text{Na}^+) > c(\text{CH}_3\text{COO}^-) > c(\text{OH}^-) > c(\text{H}^+)$ 。随着加入 NaOH 溶液量的增加, 溶液中 $c(\text{Na}^+)$ 、 $c(\text{OH}^-)$ 增大, 又会出现 $c(\text{Na}^+) > c(\text{OH}^-) > c(\text{CH}_3\text{COO}^-) > c(\text{H}^+)$ 。

2.3 运用“守恒观”检验溶液中各种粒子间的守恒关系

2.3.1 电荷守恒

电解质溶液中, 无论存在多少种离子, 溶液都呈电中性, 即阴离子所带负电荷总数一定等于阳离子所带正电荷总数。在 NaOH 滴定 CH_3COOH 的过程中, 溶液中的溶质可以是 CH_3COONa 和 CH_3COOH 、 CH_3COONa 、 CH_3COONa 和 NaOH, 但溶液中一定满足 $c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-) + c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$ 。运用电荷守恒容易判断出滴定过程的溶液中不可能出现: $c(\text{CH}_3\text{COO}^-) > c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-) > c(\text{Na}^+)$ 、 $c(\text{Na}^+) > c(\text{OH}^-) > c(\text{H}^+) > c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$ 。

2.3.2 物料守恒

电解质溶液中由于电离或水解因素, 离子会发生变化, 变成其他离子或分子等, 但离子或分子中某种特定元素的原子总数是守恒的。如, 在 NaOH 滴定 CH_3COOH 的过程中, A 点溶液中的物料守恒为 $c(\text{CH}_3\text{COOH}) + c(\text{CH}_3\text{COO}^-) = 0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$; C 点溶液中的物料守恒为 $c(\text{Na}^+) = c(\text{CH}_3\text{COOH}) + c(\text{CH}_3\text{COO}^-) = 0.0500 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (假定滴定后溶液体积等于滴定所用溶液体积的和)。

2.3.3 质子守恒

电解质溶液中分子或离子得到或失去质子 (H^+) 的物质的量相等。如, 在 NaOH 滴定 CH_3COOH 的过程中, A 点溶液中的质子守恒为 $c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-) + c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$; C 点溶液中的质子守恒为 $c(\text{OH}^-) = c(\text{H}^+) + c(\text{CH}_3\text{COOH})$ 。

2.4 运用“辩证观”分析主要矛盾

NaOH 滴定 CH_3COOH 过程中, 由于溶质的不同导致溶液粒子关系出现变化。通过讨论, 学生在思考问题过程中可能发现下列矛盾: AB 段会出现 $c(\text{H}^+) > c(\text{Na}^+)$ 或 $c(\text{Na}^+) > c(\text{H}^+)$ 两种情况; B 点溶液中溶质为 CH_3COONa 和 CH_3COOH , 而 $c(\text{OH}^-) = c(\text{H}^+)$; BC 段溶液中溶质为 CH_3COONa 和 CH_3COOH , 而 $c(\text{OH}^-) > c(\text{H}^+)$; C 点后溶液中会出现 $c(\text{CH}_3\text{COO}^-) > c(\text{OH}^-)$ 或 $c(\text{OH}^-) > c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$ 两种情况。

要解决这些问题, 关键是要抓住主要矛盾, 哪个阶段是电离平衡大于水解平衡, 哪个阶段是水解平衡大于电离平衡? 综合运用电荷守恒、物料守恒、质子守恒, 问题便可以迎刃而解。如, pH=7 中性点后到化学

计量点前的 BC 段, 溶液中既有 CH_3COOH 的电离平衡, 又有 CH_3COONa 的水解平衡。根据溶液的 $\text{pH} > 7$, 证明主要矛盾是 CH_3COONa 的水解平衡, 因此, $c(\text{Na}^+) > c(\text{CH}_3\text{COO}^-) > c(\text{OH}^-) > c(\text{H}^+)$ 。

综合以上讨论, 对 2010 年江苏 12 题的解析为: A, 判断点①所示溶液为等物质的量浓度的 CH_3COOH 和 CH_3COONa 混合溶液, 因为电离平衡大于水解平衡, $c(\text{Na}^+) > c(\text{CH}_3\text{COOH})$, 由电荷守恒 $c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) = c(\text{CH}_3\text{COO}^-) + c(\text{OH}^-)$ 得 $c(\text{CH}_3\text{COO}^-) + c(\text{OH}^-) > c(\text{CH}_3\text{COOH}) + c(\text{H}^+)$; B, 点②所示溶液 $\text{pH}=7$ 时, 溶液为 CH_3COOH 和 CH_3COONa 的混合溶液, 电荷守恒式为: $c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) = c(\text{CH}_3\text{COO}^-) + c(\text{OH}^-)$, 又因为 $c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-)$, 故 $c(\text{Na}^+) = c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$; C, 点③所示溶液为 CH_3COONa 溶液, 主要考虑 CH_3COONa 水解, 离子浓度大小为: $c(\text{Na}^+) > c(\text{CH}_3\text{COO}^-) > c(\text{OH}^-) > c(\text{H}^+)$; D, 滴定开始阶段, 当 20.00 mL $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ CH_3COOH 溶液中滴了少量 $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH 溶液时, 可能出现: $c(\text{CH}_3\text{COOH}) > c(\text{CH}_3\text{COO}^-) > c(\text{H}^+) > c(\text{Na}^+) > c(\text{OH}^-)$ 。

3 理解与应用

高考真题例 1 (2012 年江苏卷 15 题): 25°C , 有 $c(\text{CH}_3\text{COOH}) + c(\text{CH}_3\text{COO}^-) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的一组 CH_3COOH 和 CH_3COONa 混合溶液, 溶液中 $c(\text{CH}_3\text{COOH})$ 、 $c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$ 与 pH 的关系如图 3 所示。下列有关离子浓度关系叙述正确的是 ()

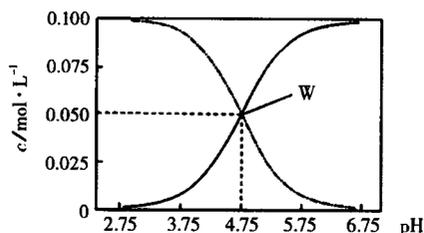


图 3 $c(\text{CH}_3\text{COOH})$ 、 $c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$ 与 pH 的关系

A. $\text{pH}=5.5$ 溶液中: $c(\text{CH}_3\text{COOH}) > c(\text{CH}_3\text{COO}^-) > c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$

B. W 点表示溶液中:

$$c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) = c(\text{CH}_3\text{COO}^-) + c(\text{OH}^-)$$

C. $\text{pH}=3.5$ 溶液中:

$$c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) - c(\text{OH}^-) + c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

D. 向 W 点所表示溶液中通入 0.05 mol HCl 气体 (溶液体积变化可忽略): $c(\text{H}^+) = c(\text{CH}_3\text{COOH}) + c(\text{OH}^-)$

解析: 从图像可知, 随着 pH 的增大, $c(\text{CH}_3\text{COOH})$ 在减小, $c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$ 在增大, 且在一定 pH 范围内 $c(\text{CH}_3\text{COOH}) + c(\text{CH}_3\text{COO}^-) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。A, $\text{pH}=5.5$ 比

4.75 大, 曲线显示该溶液中 CH_3COOH 的电离大于 CH_3COO^- 的水解, $c(\text{CH}_3\text{COO}^-) > c(\text{CH}_3\text{COOH})$; B, 在溶液中始终存在电荷守恒 $c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) = c(\text{CH}_3\text{COO}^-) + c(\text{OH}^-)$; C, 根据电荷守恒 $c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) = c(\text{CH}_3\text{COO}^-) + c(\text{OH}^-)$, 将 $c(\text{CH}_3\text{COOH}) + c(\text{CH}_3\text{COO}^-) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 代入即得 $c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) - c(\text{OH}^-) + c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$; D, W 点所表示溶液中通入 0.05 mol HCl 气体, HCl 与 CH_3COONa 反应生成 CH_3COOH 和 NaCl , 溶液中主要存在 CH_3COOH 的电离平衡, $c(\text{CH}_3\text{COO}^-) < c(\text{CH}_3\text{COOH})$, 根据质子守恒得 $c(\text{H}^+) < c(\text{CH}_3\text{COOH}) + c(\text{OH}^-)$ 。正确答案为 BC。

高考真题例 2 (2013 年山东卷 13 题) 某温度下, 向一定体积 0.1 mol/L 醋酸溶液中逐滴加入等浓度的 NaOH 溶液, 溶液中 pOH [$\text{pOH} = -\lg c(\text{OH}^-)$] 与 pH 的变化关系如图 4 所示, 则 ()

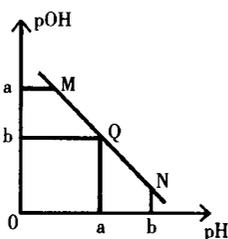


图 4 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH 溶液滴定 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ CH_3COOH 溶液的 pOH 与 pH 的关系

- A. M 点所示溶液导电能力强于 Q 点
- B. N 点所示溶液中 $c(\text{CH}_3\text{COO}^-) > c(\text{Na}^+)$
- C. M 点和 N 点所示溶液中水的电离程度相同
- D. Q 点消耗 NaOH 溶液的体积等于醋酸溶液的体积

解析: A, 根据溶液中 pOH 与 pH 的变化关系图知, M 点所含溶质主要是醋酸、Q 点所含溶质主要是醋酸钠和醋酸 (中性点), M 点溶液中的离子浓度比 Q 点小, 溶液的导电能力弱; B, N 点所含溶质为醋酸钠和氢氧化钠, $c(\text{Na}^+) > c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$, 也可以根据电荷守恒判断; C, 由于 M 点的 $c(\text{H}^+)$ 等于 N 点的 $c(\text{OH}^-)$, 对水的电离抑制程度相同, 溶液中水电离程度也相同; D, Q 点 $\text{pOH} = \text{pH}$, 中性点, 溶质为醋酸钠和醋酸, 所加 NaOH 溶液体积略小于醋酸溶液的体积。故正确答案为 C。

4 教学思考与体会

4.1 通过实验观察帮助学生认清反应的具体进程

让学生通过对 NaOH 滴定 CH_3COOH 实验过程和实验终点现象的观察, 用实验事实帮助学生突破“ $\text{pH}=7$ 中性点”和“化学计量点”, 以及溶液的 pH 与所消耗 NaOH 溶液体积的对应关系。再通过“实验演示”→“观

察现象”→“分析数据”→“绘制曲线”，让学生进一步认识化学反应的具体进程，深刻理解“滴定前”、“pH=7中性点”和“化学计量点”等各阶段溶液中溶质的变化规律。

4.2 运用数形结合思想帮助学生理解溶液 pH 变化的实质

通过绘制 $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaOH 滴定 20.00 mL $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 CH_3COOH (指示剂为酚酞) 的滴定曲线，将滴定过程中溶液 pH 变化与所消耗 NaOH 溶液体积对应关系以图像直观呈现出来，让学生很容易理解随着 NaOH 溶液的滴加，溶液的 pH 在增大，“pH=7 中性点”在“化学计量点”之前，且滴定突跃范围的 pH 为 7.7~9.7，深刻理解溶液酸碱性的质变是由 NaOH 溶液量的增加引起的，自然想到将滴定曲线分成特殊点和各个阶段进行分析讨论。

4.3 通过理论分析帮助学生建立化学思维模式

通过分析“NaOH 滴定 CH_3COOH 的滴定曲线”，帮助学生建立“微粒观”→“平衡观”→“守恒观”→“辩证观”的化学思维模式。让学生运用“微粒观”来分清“单一溶液还是混合溶液”，以“守恒观”和“平衡观”为理论依据，抓住溶液中的主要矛盾，运用“辩证观”

帮助学生认清何时考虑水解平衡和电离平衡，从而准确判断混合溶液中各种粒子浓度的关系。同时，通过理论分析还帮助学生更好地理解“量变引起质变”、“矛盾的对立统一”等哲学观点。当 NaOH 滴定 CH_3COOH 过程中溶液粒子关系明确后，盐酸滴定氨水过程中溶液粒子关系也就容易讨论比较。

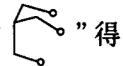
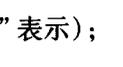
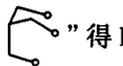
当然，对于滴定曲线上特殊点 pH 和所加入 NaOH 溶液体积关系也可以根据学生情况进行理论计算。如，A 点 CH_3COOH 溶液的 pH (已知：25℃时，醋酸的 $K_a=1.76 \times 10^{-5}$)，因为， $c(\text{CH}_3\text{COOH})/K_a=0.1000/(1.76 \times 10^{-5}) > 400$ ， $c(\text{CH}_3\text{COOH}) \cdot K_a > 20K_w$ 。所以， $c(\text{H}^+) = [c(\text{CH}_3\text{COOH}) \cdot K_a]^{1/2} = (0.1000 \times 1.76 \times 10^{-5})^{1/2} = 1.33 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ， $\text{pH} \approx 2.9$ 。

参考文献：

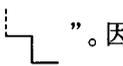
- [1] 卓高峰，魏樟庆. “溶液中的微粒浓度大小关系”的教学与思考[J]. 化学教学, 2012, (2): 22~24.
- [2] 田益民. 溶液粒子浓度大小比较的解题策略[J]. 化学教学, 2012, (7): 72~74.
- [3] 北京师范大学, 华中师范大学, 南京师范大学无机化学教研室. 无机化学(上册)(第四版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 318.

(上接第 73 页)

14-12-02-01-06-11、14-13-04-05-06-11、24-21-31-41-44-43 和 24-22-33-42-44-43 等四个六元环是等同的，记作 α 型， α 型六元环中对应碳原子的级数为“4-3-3-2-3-2”；14-12-22-33-34-32、14-13-21-31-34-32、24-21-13-04-03-23、24-22-12-02-03-23 等四个六元环是等同的，记作 β 型， β 型六元环中对应碳原子的级数为“4-3-3-3-3-2”；02-03-04-05-06-01 和 31-34-33-42-44-41 二个六元环是等同的，记作 γ 型， γ 型六元环中对应碳原子的级数为“3-3-3-2-3-2”。与前面的“减法”相反，做“加法”倒推可知：

“”加“”得 A；A 加“”得 B (用“—”表示)；B 加“”得 C (用“└”表示)；C 加“”得 D (用“└”表示)；D 加“最小重复单元”得 E，当“最小重复单元”加到 D 的 α 面如 14-12-02-01-06-11 得“└└└”，当“最小重复单元”加到 D 的 β 面如 14-12-22-33-34-32 得“└└└”，当“最

小重复单元”加到 D 的 γ 面如 31-34-33-42-44-41 得

“”。因此， $\text{C}_{26}\text{H}_{32}$ 有 3 种异构体。

以上这三个题目，尤其是后两个题目，如果用常规方法求解则比较麻烦，如果用“减法”则很快就能找出“最小重复单元”，再用“加法”立刻就能写出通式。用“加减法”不仅提高了解题速度和解答的正确性，更主要的是提高了学生分析问题和解决问题的能力，发展了学生的智力。

参考文献：

- [1] 教育部考试中心“高考内容、形式与能力考查”课题组. 化学——历年高考试题精选解析[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2003: 279.
- [2] 何炳坤, 王经理, 黄晓华等. 化学奥林匹克题典[M]. 南京: 南京大学出版社, 1996: 822~823.
- [3] 张祖德, 倪其道, 张保忠等. 化学素质强化训练[M]. 合肥: 安徽科学技术出版社, 2000: 397~398.