

例析硝酸与金属反应的计算技巧

邵建

(临泉第一中学, 安徽阜阳 236400)

摘要: 通过实例和相关变形处理, 介绍了硝酸与金属反应的计算题教学, 旨在帮助学生理清反应的原理, 合理应用电子守恒、原子守恒、电荷守恒等守恒关系, 掌握化繁为简、化难为易、加快解题速度等计算技巧, 由此培养及提高学生的计算能力和创造性思维能力。

关键词: 硝酸; 金属; 氧化还原反应; 守恒; 化学计算

文章编号: 1005-6629(2016)5-0078-05

中图分类号: G633.8

文献标识码: B

硝酸和金属反应都是氧化还原反应, 产物比较复杂。解决有关计算的问题, 需要学生有较强的思维能力。近年来受新课改影响的部分教师过于重视探究过程, 而忽视了对学生计算能力的培养, 导致学生对硝酸与金属反应的计算问题, 感到束手无策。

如果抓住反应的实质, 明确反应物和生成物微粒或者电荷之间的量的关系, 用守恒的观点思考问题, 解答起来就会得心应手、轻而易举了^[1]。为了帮助学生学会分析和思考, 可以分类举例, 有针对性地进行训练, 并进行适当变形, 力求让学生能举一反三, 触类旁通。

1 电子数守恒

在氧化还原反应过程中, 总是存在着氧化剂得到(或者偏向)电子总数等于还原剂失去(或者偏离)电子总数的关系。根据氧化还原反应中电子转移的总数守恒, 可以列出关系式解答题目。

例题 1 将 3.84g 铜与一定浓度的硝酸反应,

置于投影仪下, 通过投影仪放大的实验现象, 学生观察得很清晰, 这就有效地解决了后排学生看不到实验现象的问题。通过观察, 学生自然会得知哪些金属能够与酸反应, 哪些金属不能与酸反应, 并得知做金属铝与酸反应的实验时, 要提前将其表面的氧化膜除去这一注意事项。

化学是一门以实验为基础的学科, 化学实验是学生积极主动地获取化学知识、认识和解决化学问题的重要实践活动。只有设计可视化实验, 让学生看得见的实验, 才有利于激发学生兴趣, 启

迪学生心智, 开拓学生思维。

铜完全溶解, 产生 NO 和 NO₂ 混合气体在标准状况下的体积为 2.24L, 则, 其中 NO 的体积为 _____ L, NO₂ 的体积为 _____ L。

分析: 在反应中 1mol Cu 失去 2mol 电子, 3.84g Cu 即 0.06mol Cu, 共失去 0.12mol 电子。HNO₃ 每生成 1mol NO 要得到 3mol 电子, 每生成 1mol NO₂ 要得到 1mol 电子。再根据电子守恒的原则可列出方程组求解。

解: 由题意可得:

$$\begin{cases} 3n(\text{NO})+n(\text{NO}_2)=0.12\text{mol} \\ n(\text{NO})+n(\text{NO}_2)=0.10\text{mol} \end{cases}$$

$$\text{解得: } n(\text{NO})=0.01\text{mol} \quad n(\text{NO}_2)=0.09\text{mol}$$

$$\text{则: } V(\text{NO})=0.224\text{L} \quad V(\text{NO}_2)=2.016\text{L}$$

答案: NO 的体积为 0.224L, NO₂ 的体积为 2.016L。

如果将原来的题目经过变形, 又可以有以下几种情况。

[变形 1] 3.84g Cu 和一定量的浓硝酸反应,

迪学生心智, 开拓学生思维。

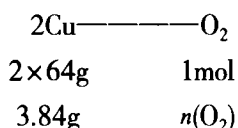
参考文献:

- [1] 王荣桥. 微型实验在初中化学实验教学中的应用 [J]. 教学与管理, 2014, (6): 51.
- [2] 谭强. 鲁教版化学教科书部分实验的改进和补充 [J]. 中学化学教与学, 2015, (11): 50.
- [3] 王媛. 比较二氧化碳密度大小的趣味实验 [J]. 中学化学教学参考, 2014, (9): 52.
- [4] 潘宁. 做学生看得见的化学实验 [J]. 化学教与学, 2014, (7): 88.

当铜反应完毕后,共收集到标准状况下的气体 2.24L;把收集到气体的集气瓶倒立于水槽中,要通入多少 mL 标准状况下的 O_2 可以使集气瓶充满溶液?

提示: HNO_3 在反应中可能被还原为 NO ,也可能被还原为 NO_2 ,但是最后都与 O_2 反应,再次被氧化为 HNO_3 。所以,在整个反应过程中只有 Cu 失电子, O_2 得电子。其中 1mol Cu 反应中失去电子 2mol, 1mol O_2 得到 4mol 电子。

解: 根据电子转移守恒,可以得出关系式:



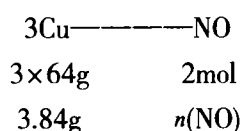
解得 $n(O_2)=0.03mol$, 则 $V(O_2)=0.03 \times 22.4 \times 1000mL=672mL$

答案: 需要通入 672mL 标准状况下的氧气,才可以使集气瓶充满溶液。

[变形 2] 3.84g Cu 投入适量的浓硝酸充分反应后,铜粉完全溶解,收集到 1.12L 标准状态下的气体,如将此气体通过足量水,最后收集到标准状况下气体的体积是多少?

提示: 不管 HNO_3 被还原为 NO_2 还是 NO ,最后与水反应余下的气体一定为 NO ,即 HNO_3 中 +5 价的氮转变成 +2 价的氮(NO)。根据铜失去的电子数与硝酸最终得到的电子数的守恒关系可解。

解: 根据电子守恒可得关系式:



解得 $n(NO)=0.04mol$, 则 $V(NO)=896mL$

答案: 最后收集到标准状况下气体的体积是 896mL。

[变形 3] 1.92g Cu 完全溶于硝酸,产生氮的氧化物(NO 、 NO_2 、 N_2O_4)混合气体共 0.05mol。该混合气体的平均相对分子质量可能是()。

A. 30 B. 40 C. 50 D. 66

提示: 根据电子守恒,利用极限假设法可解。

解: 1.92g Cu 即 0.03mol Cu 失去 0.06mol 电子, HNO_3 生成 1mol NO 需结合 3mol 电子、生成 1mol NO_2 需结合 1mol 电子、生成 1mol N_2O_4 需结合 2mol 电子。

根据电子守恒得 $3n(NO)+n(NO_2)+2n(N_2O_4)=$

0.06mol

同时 $n(NO)+n(NO_2)+n(N_2O_4)=0.05mol$

两式相减,整理可得 $2n(NO)+n(N_2O_4)=0.01mol$

讨论:

①假设生成物中无 N_2O_4 , 则有 0.005mol NO 和 0.045mol NO_2 , 平均相对分子质量为 44.4;

②假设生成物中无 NO , 则有 0.01mol N_2O_4 和 0.04mol NO_2 , 平均相对分子质量为 55.2。

答案: C。

2 原子数守恒

根据质量守恒定律,化学反应前后组成物质的元素种类不变,原子(或离子)的数目也不会发生变化。比如,参加反应硝酸的物质的量,等于生成物中含有的氮原子的物质的量之和。这样涉及到复杂的化学反应过程的计算问题,就可以利用 N 原子个数守恒的方法进行计算^[2]。

例题 2 若将 12.8g 铜跟一定量的浓硝酸反应,铜完全溶解时,共产生 5.6L 标准状况下的气体(不考虑转化为 N_2O_4),则所消耗的硝酸的物质的量是_____。

分析: 12.8g Cu 就是 0.2mol Cu , 反应生成 0.2mol $Cu(NO_3)_2$, 气体产物 NO_2 或 NO 中均含有 1 个 N 原子,根据 N 原子守恒即可计算。

解: 消耗的硝酸的物质的量为: $2 \times 0.2mol + (5.6 \div 22.4)mol = 0.65mol$

答案: 0.65mol。

[变形 1] 12.8g Cu 与 30mL $8 mol \cdot L^{-1} HNO_3$ 反应,硝酸的还原产物为 NO 、 NO_2 , 反应后溶液中所含 H^+ 为 a mol, 则此时溶液中所含的 NO_3^- 为_____ mol。

提示: 找出溶液中含有 NO_3^- 的物质,根据 N 原子守恒即可求解。

解: 0.2mol Cu 和硝酸反应生成 0.2mol $Cu(NO_3)_2$, 其中含有 0.4mol NO_3^- , 剩余 HNO_3 的物质的量等于溶液中 H^+ 的物质的量,即 a mol。所以,溶液中所含的 NO_3^- 物质的量为 $(0.4+a) mol$ 。

答案: $(0.4+a)mol$ 。

[变形 2] 现将 12.8g Cu 溶于 40mL $13.5 mol \cdot L^{-1}$ 的浓 HNO_3 中,等铜完全溶解后,并测得溶液的 $pH=0$, 设反应后的溶液体积仍为 40.0mL, 计算被还原的硝酸的物质的量。

提示: 找出反应后所有含有 N 的物质,根据 N

原子守恒可解。

解: 反应前: $n(\text{HNO}_3) = 0.04 \times 13.5 \text{ mol} = 0.54 \text{ mol}$

反应后: 溶液中含有 N 的物质有生成的 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 和剩余的 HNO_3 ,

$n(\text{NO}_3) = 0.2 \times 2 \text{ mol} + 0.04 \times 1 \text{ mol} = 0.44 \text{ mol}$

所以, 被还原的硝酸为 $n(\text{HNO}_3) - n(\text{NO}_3) = 0.54 \text{ mol} - 0.44 \text{ mol} = 0.10 \text{ mol}$

答案: 被还原的硝酸的物质的量为 0.10 mol。

[变形 3] 取一定质量的均匀固体混合物 Cu 、 Cu_2O 和 CuO , 将其分成两等份, 取其中一份用足量的氢气还原, 测得反应后得固体 44.8g, 另一份加入 500mL 稀硝酸, 固体恰好完全溶解, 且同时收集到标准状况下 NO 气体 4.48L, 则这种硝酸的物质的量浓度为 ()。

- A. $3.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ B. $3.6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
C. $4.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ D. 无法判断

提示: 先根据 Cu 原子个数守恒, 求出固体溶解后 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 的物质的量, 再根据 N 原子守恒进行计算。

解: 氢气还原后得到的固体为 44.8g Cu 即 0.7mol, 与硝酸反应后生成的 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 也为 0.7mol, 同时生成 4.48L NO 即 0.2mol。

则消耗硝酸: $n(\text{HNO}_3) = (0.7 \times 2 + 0.2) \text{ mol} = 1.6 \text{ mol}$

所以, 这种硝酸的物质的量浓度为: $c(\text{HNO}_3) = 1.6 \text{ mol} / 0.5 \text{ L} = 3.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

答案: A。

3 电荷数守恒

所谓电荷数守恒, 通常是指在溶液中, 存在着所有阳离子所带的正电荷总数与所有阴离子所带的负电荷总数相等这样一个规律。例如金属与硝酸反应失去的电子数与金属阳离子能结合的 OH^- 数目是相等的, 因为每一个 OH^- 都带有一个负电荷。即 $n(\text{金属失电子}) = n(\text{金属所带正电荷}) = n(\text{生成氢氧化物所需 } \text{OH}^-)$, 以下简称为 $n(\text{OH}^-) = n(\text{e}^-)$ [3]。

例题 3 铜和镁的合金 4.6g 完全溶于浓硝酸, 若反应中硝酸被还原只产生 4480mL 的 NO_2 气体和 336mL N_2O_4 (都已折算到标准状况), 在反应后的溶液中, 加入足量的氢氧化钠溶液, 生成沉淀的质量为 ()。

- A. 7.04g B. 8.26g C. 8.51g D. 9.02g

分析: 根据 $n(\text{OH}^-) = n(\text{e}^-)$, 求出合金生成沉淀结合的 OH^- 总数即可解答。

解: 由题意可知, 生成 NO_2 和 N_2O_4 结合电子的总数为: $(4.480 \div 22.4) + (0.336 \div 22.4) \times 2 = 0.23 \text{ mol}$

根据 $n(\text{OH}^-) = n(\text{e}^-) = 0.23 \text{ mol}$, 可知生成沉淀的质量为: $m(\text{合金}) + m(\text{OH}^-) = 4.6 + 0.23 \times 17 = 8.51 \text{ g}$ 。

答案: C。

[变形 1] 将铜和镁的合金 4.6g 完全溶解于足量的硝酸中, 收集反应产生的气体 X。再向所得溶液中加入过量的 NaOH 溶液, 产生 8.0g 沉淀。根据题意推断气体 X 的成分可能是 ()。

- A. 0.05mol NO_2 和 0.1mol NO
B. 0.02mol NO_2 和 0.1mol N_2O_4
C. 0.05mol NO 、0.03mol NO_2 和 0.01mol N_2O_4
D. 0.15mol NO

提示: 根据 $n(\text{OH}^-) = n(\text{e}^-)$, 求出 HNO_3 得到电子的总数即可解答。

解: 沉淀物与铜镁合金的质量差为: $8.0 - 4.6 = 3.4 \text{ g}$, 即合金生成沉淀结合 0.2mol 的 OH^- 。根据 $n(\text{OH}^-) = n(\text{e}^-)$ 可知, 反应中 HNO_3 共得到 0.2mol 电子, 只有 C 项符合。

答案: C。

[变形 2] 将 17.9g Al 、 Fe 、 Cu 组成的合金溶于足量的 NaOH 溶液中, 产生气体 3.36L (标准状况)。另取等质量的合金溶于过量的稀硝酸中, 生成 6.72L NO (标准状况), 向反应后的溶液中加入过量的 NaOH 溶液, 得到沉淀的质量为 ()。

- A. 33.2g B. 25.4g C. 22.4g D. 19.6g

提示: 先由生成 H_2 的量求出 Al 的量, 再根据 $n(\text{OH}^-) = n(\text{e}^-)$ 即可解答。

解: 合金溶于足量的 NaOH 溶液中, 只有 Al 与 NaOH 溶液反应放出的 H_2 。标况下 3.36L H_2 即 0.15mol H_2 , 根据 $2\text{Al} \sim 3\text{H}_2$, 可求出 $n(\text{Al}) = 0.10 \text{ mol}$, $m(\text{Al}) = 2.7 \text{ g}$; 则 Fe 、 Cu 总质量为 15.2g。

合金溶于过量的稀硝酸生成的 6.72L NO 即 0.3mol NO , 得到电子 $0.3 \text{ mol} \times 3 = 0.9 \text{ mol}$, 其中 Al 失去 0.3mol 电子, 所以 Fe 、 Cu 共失电子 0.6mol。最后沉淀为 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 和 $\text{Fe}(\text{OH})_2$, 质量为 $15.2 + 0.6 \times 17 = 25.4 \text{ g}$ 。

答案: B。

[变形 3] 向一定量的 Fe 、 FeO 、 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 的混合物中加入 150mL $4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的稀硝酸恰好使混合物完全溶解, 并放出 2.24L NO (标准状况), 往所得溶液中加入 KSCN 溶液, 无血红色出现。若

用足量的 H_2 在加热条件下还原相同质量的混合物, 所得到的铁的物质的量为()。

- A. 0.21mol B. 0.25mol
C. 0.3mol D. 0.35mol

提示: 根据反应后溶液中电荷守恒求出 Fe^{2+} 的量即可解答。

解: 根据题意, 混合物完全溶解后, 生成 0.1mol 的 NO, 同时生成 $Fe(NO_3)_2$ 溶液, 其中 NO_3^- 的物质的量, 应该等于硝酸总的物质的量减去被还原的硝酸(即生成 NO)的物质的量: $0.15 \times 4 - 0.1 = 0.5mol$ 。

根据电荷守恒可知, $n(Fe^{2+}) = 0.5n(NO_3^-) = 0.25mol$; 那么用 H_2 还原得到 Fe 同样是 0.25mol。

答案: B。

4 综合守恒

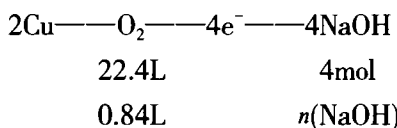
综合利用电子得失守恒、原子个数守恒和电荷数守恒解题。

例题 4 足量铜与一定量浓硝酸反应, 得到硝酸铜溶液和 NO_2 、 N_2O_4 、NO 的混合气体, 这些气体与 0.84L O_2 (标准状况) 混合后通入水中, 所有气体完全被水吸收生成硝酸。若向所得硝酸铜溶液中加入 $3 mol \cdot L^{-1}$ NaOH 溶液至 Cu^{2+} 恰好完全沉淀, 则消耗 NaOH 溶液的体积是()。

- A. 45mL B. 50mL C. 55mL D. 60mL

分析: 在整个反应过程中 Cu 原子失去的电子数应该等于 O_2 所能提供的电子数。再根据 $n(OH^-) = n(e^-)$ 即可求出所需 NaOH 的量。

解: 根据题意, 可得关系式:



解得 $n(NaOH) = 0.15mol$, 则 $V(NaOH) = 50mL$

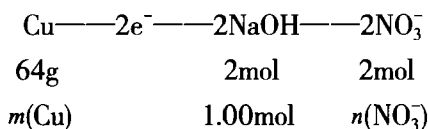
答案: B。

[变形 1] 将一定质量的铜投入 200mL 一定浓度的硝酸溶液中, 恰好完全反应, 产生 NO 和 NO_2 混合气体在标准状况下的体积为 11.2L。待产生的气体全部释放后, 向溶液中加入 250mL, $4 mol \cdot L^{-1}$ 的 NaOH 溶液, 恰好使溶液中的 Cu^{2+} 全部转化成沉淀, 求铜的质量和原硝酸的物质的量浓度。

提示: 根据电子守恒及 $n(OH^-) = n(e^-)$, 再结合 N 原子守恒, 即可解题。

解: 根据题意, $n(NO_2 + NO) = 11.2L \div 22.4 L \cdot mol^{-1} = 0.5mol$, $n(NaOH) = 4 \times 0.25 = 1.00mol$

可得关系式:



解得 $m(Cu) = 32.00g$ $n(NO_3^-) = 1.00mol$

则 $n(HNO_3) = [n(NO_2) + n(NO)] + n(NO_3^-) = 0.5mol + 1.00mol = 1.50mol$

$c(HNO_3) = 1.50mol \div 0.20L = 7.50 mol \cdot L^{-1}$

答案: 参加反应的铜的质量为 32.00g; 原来硝酸的物质的量浓度为 $7.50 mol \cdot L^{-1}$ 。

[变形 2] 为了测定某铜银合金的组成, 现将 30.0g 合金溶于 80mL $13.5 mol \cdot L^{-1}$ 的浓 HNO_3 中, 等合金完全溶解后, 收集到标况下 6.72L NO_2 和 NO 的混合气体, 并测得溶液的 pH=0, 设反应后溶液的体积仍为 80.0mL, 计算: 合金中银的质量分数^[4]?

提示: 根据 N 原子守恒, 结合质量守恒列方程组, 即可求解。

解: 被还原的硝酸的物质的量等于生成气体的物质的量, 即 $6.72L \div 22.4 L/mol = 0.3mol$; 根据反应后溶液的 pH, 可知剩余 $n(HNO_3) = 0.08L \times 1 mol \cdot L^{-1} = 0.08mol$ 。设混合物中含有 x mol Ag, y mol Cu, 则有:

$$\begin{cases} 108x + 64y = 30.0 & (\text{质量守恒}) \\ x + 2y + 0.3 + 0.08 = 1.08 & (N \text{ 原子个数守恒}) \end{cases}$$

解得: $x = 0.1$ $y = 0.3$

则 $m(Ag) = 0.1mol \times 108 g \cdot mol^{-1} = 10.8g$

合金中银的质量分数为: $10.8 \div 30.0 \times 100\% = 36.0\%$

答案: 原合金中银的质量分数为 36.0%。

[变形 3] 将一定质量的镁、铜合金加入到稀硝酸中, 两者恰好完全反应, 假设反应过程中还原产物全是 NO, 向所得溶液中加入物质的量浓度为 $3 mol \cdot L^{-1}$ NaOH 溶液至沉淀完全, 测得生成沉淀的质量比原合金的质量增加 5.1g, 则下列有关叙述中正确的是()。

- A. 溶解合金时收集到 NO 气体的体积为 2.24L
B. 加入合金的质量不可能为 6.4g
C. 沉淀完全时消耗 NaOH 溶液的体积为

用可视化图像表征突破框图推断题难点^{*}

周昌林

(兴化市第一中学, 江苏泰州 225700)

摘要: 从布鲁纳表征系统和发现学习等视角, 系统研究了框图推断题的命题特点, 结合一些例题, 归纳出诸如关键物质特有的化学性质、连续反应以及两种物质双向转化等典型的物质相互转化的可视化图像表征。利用可视化图像表征, 可以快速提取在框图中涉及的物质间相互转化的隐含线索, 帮助解题者集中有效信息, 明确推断思路, 达成思维最优化, 形成完善的解题策略, 有效突破框图推断题难点。发挥框图推断可视化图像表征的教学功能, 提升学生信息提取能力, 并提出了相应的教学建议。

关键词: 框图推断题; 物质转化关系; 可视化图像; 表征解题策略; 信息提取能力

文章编号: 1005-6629(2016)5-0082-05

中图分类号: G633.8

文献标识码: B

可视化图像表征是指应用图像、图表等视觉手段来表征知识的方式^[1]。推断题中的框图是以常见元素单质及其化合物的转化关系为线索而设计出来的。“框图推断题中的可视化图像表征”, 是典型化学物质通过化学反应实现的特定转化关系, 这些特定转化关系视觉上形成可辨识的图形特征。

框图推断题的解题难点, 在于要能快速寻找出具体物质及其转化关系, 作为推断的突破口。推断的突破口, 不但存在于显见的文字表述中, 还更

多地存在或隐含于框图本身。图像表征能集中有效信息, 明确解题思路, 达成思维最优化^[2]。聚焦典型的物质相互转化的可视化图像表征, 能快速提取命题者在框图中设计的物质相互转化的隐含线索, 形成完善的解题策略, 有效突破框图推断题的难点。这也是受到布鲁纳认知发展、学科结构、发现学习等一系列教学主张的启发。从化学信息学的角度看, 利用框图推断题的教学功能, 提升学生从图形、图像中提取信息的能力, 是培养高中学生化学信息素养的有效途径。

* 江苏省教育科学“十二五”规划 2015 年度普教重点资助课题“可视化思维技术在化学核心概念教学中的应用研究”阶段性成果, 课题编号 B-a/2015/02/054。

** 通讯联系人, E-mail: xhyzhz@139.com。

150mL

D. 参加反应的硝酸的物质的量为 0.1mol

提示: 根据电子守恒及 $n(\text{OH}^-) = n(\text{e}^-)$, 再结合 N 原子数守恒即可解题。

解: 原合金与生成沉淀的质量差为氢氧根的质量, 则 $n(\text{OH}^-) = 5.1\text{g} \div 17\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} = 0.3\text{mol}$, 即反应过程中转移的电子总数也为 0.3mol。

根据电子守恒可得, $n(\text{Cu}) + n(\text{Mg}) = 0.15\text{mol}$, 生成 NO 为 0.1mol, 加入 $3\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH 溶液的体积为 100mL, 故 A 正确、C 错误;

B 项可用极端假设法, 假设合金全为镁, 则质量为 3.6g; 若全为铜, 则质量为 9.6g。所以参加反应的金属的总质量应该在 3.6~9.6g 之间, 故 B 错误;

根据 N 原子守恒可知, 所以参加反应的硝酸应为: $0.1\text{mol}(\text{NO 的物质的量}) + 0.3\text{mol}(\text{NO}_3^- \text{的物}$

质的量) = 0.4mol, 故 D 错误。

答案: A。

通过以上例题分析不难得出, 有关硝酸与金属反应的计算题变化多端, 解题的思路灵活多样, 对于培养和发展学生的创造性思维能力有很大作用。

参考文献:

[1] 诸全头. 守恒——化学计算解题的重要思维方法 [J]. 化学教学, 2014, (9): 80~82.

[2] 李凤英. 元素守恒配平法解决一类较复杂的高考计算题 [J]. 化学教学, 2012, (3): 62~64.

[3] 刘成宝. 例析“金属+硝酸”试题 [J]. 中学化学教学参考, 2004, (Z1): 75~76.

[4] 金礼辉. 关于硝酸与金属反应的计算 [J]. 化学教育, 2002, 23(6): 39~41, 48.