

澄清石灰水与二氧化碳气体反应的探究*

伍强¹, 赵贤祥², 杜明桂³

(1. 瓯海区第一高级中学, 浙江温州 325060; 2. 绍兴市高级中学, 浙江绍兴 312000;

3. 温州大学化学与材料工程学院, 浙江温州 325035)

摘要: 设计将石灰水注入盛有二氧化碳气体的矿泉水瓶中, 再剧烈振荡的实验探究方案。用发射光谱仪测定饱和澄清石灰水以及饱和碳酸氢钙溶液的总钙离子浓度, 得出石灰水与二氧化碳反应生成浊液、胶体和溶液 3 种分散系所对应的饱和石灰水稀释倍数, 这对实验教学有一定的指导意义。

关键词: 澄清石灰水; 二氧化碳; 碳酸钙; 碳酸氢钙; 实验探究

文章编号: 1005-6629(2018)4-0075-04

中图分类号: G633.8

文献标识码: B

饱和澄清石灰水至少稀释多少倍, 再与 CO_2 气体反应, 反应液完全变澄清。有不少研究者做了实验探究, 得出饱和石灰水稀释的倍数相差很大。

严宣申查阅了相关数据并做了实验探究。20℃时 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶解度为 $0.165 \text{ g}(0.022 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1})$, 25℃和 CO_2 分压为 $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ 时 CaCO_3 的溶解度为 $0.094 \text{ g}(0.0094 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1})$ 。 CO_2 气体通入饱和澄清石灰水, 溶液出现混浊, 混浊度加大, 而后混浊度减轻, 但无论如何得不到澄清溶液^[1]。用 4~5 倍水稀释饱和石灰水, 再通入 CO_2 后可得澄清溶液^[2]。

许燕红等也查阅了相关数据并做了实验探究。18℃时 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的溶解度约为 $0.164 \text{ g}(0.022 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1})$, 18℃和 CO_2 分压为 $9.95 \times 10^4 \text{ Pa}$ 时 CaCO_3 的溶解度为 $1.086 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}(0.011 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1})$ 。在 18℃实验时, 饱和澄清石灰水与蒸馏水以 30 mL 和 20 mL 混合时, 续通 CO_2 气体 8 min 以上混浊不能完全变澄清; 以 25 mL 和 25 mL 混合时, 续通 CO_2 气体 109.64 s 完全变澄清^[3]。

为此, 设计将石灰水注入盛有 CO_2 气体的矿泉水瓶中, 再剧烈振荡的实验探究方案, 得出石灰水与 CO_2 反应生成浊液、胶体和溶液 3 种分散系所对应的饱和石灰水稀释倍数。

1 饱和澄清石灰水的配制、取用和测定

饱和澄清石灰水的配制。取 3000 mL 试剂

瓶, 加入 30 g 分析纯 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 再加入蒸馏水, 塞上橡皮塞不断摇动几分钟, 静置一段时间再不断摇动几分钟, 然后静置 3 天或更长时间。用激光笔照射石灰水无光路或极微弱光路(从垂直照射方向观察, 下同)。

饱和澄清石灰水的取用。换上带有导管的橡皮塞, 如图 1 所示, 用洗耳球对准橡皮管口吸气, 使澄清石灰水自动放出。

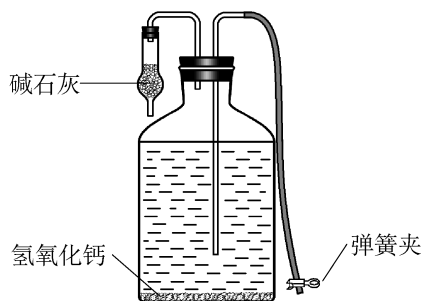


图 1 饱和澄清石灰水取用装置图

饱和澄清石灰水总钙离子浓度的测定。取饱和澄清石灰水 200 mL, 再加入 1 mL 浓盐酸, 测定总钙离子浓度。

实验时尽可能做到石灰水饱和、澄清、不与空气中 CO_2 反应。本研究中总钙离子浓度均由美国 Perkin Elmer 公司制造(型号: OPTIMA8000)的电感耦合等离子体发射光谱仪来测定。

* 浙江省 2017 年教研规划课题“高中化学实验开发及其在教学中应用的研究”(课题编号 G17087); 浙江省 2017 年教育科学规划课题“高中化学实验风险识别与安全管理的案例研究”(课题编号 2017SC222)的研究成果之一。

2 二氧化碳气体的制取和收集

实验装置如图 2 所示,在烧瓶中加入适量的 NaHCO_3 晶体,在分液漏斗中加入 $6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ H_2SO_4 ,用排水法将 CO_2 气体收集到 550 mL 矿泉水瓶中备用。大理石与稀盐酸反应制取的 CO_2 气体中含有少量的 HCl 气体,因此本实验用 NaHCO_3 晶体与稀 H_2SO_4 反应制取 CO_2 气体,避免 HCl 气体的干扰。

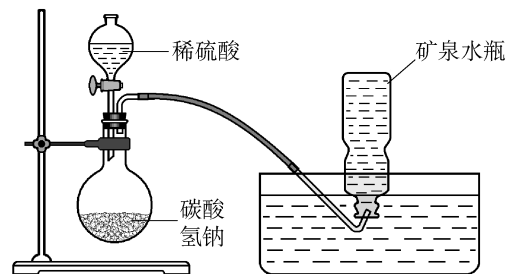


图 2 二氧化碳气体制取和排水法收集装置

3 生成饱和 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 溶液时饱和石灰水稀释倍数

3.1 控制室内温度 25°C 的实验

量取 100 mL 饱和澄清石灰水,注入盛有 CO_2 气体的矿泉水瓶中,旋紧瓶盖立即剧烈振荡,反应液先变混浊再变澄清(或微浊),用激光笔照射反应液有光路。静置几个小时(不可摇动),矿泉水瓶底黏附明显的白色沉淀物。以同样方法制备 9 个样品。静置 1 天,量取 3 个样品中反应液 200 mL 再加入 1 mL 浓盐酸,测定总钙离子浓度。分别静置 2 天、3 天以同样方法测定反应液总钙离子浓度,结果见表 1(注:表中总钙离子浓度已不是原溶液总钙离子浓度,下同)。

表 1 25°C 时饱和澄清石灰水以及反应液的总钙离子浓度

溶液	饱和澄清石灰水	静置 1 天的反应液	静置 2 天的反应液	静置 3 天的反应液
总钙离子浓度/ ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	2.12×10^{-2}	1.12×10^{-2}	9.99×10^{-3}	9.96×10^{-3}

静置 2 天与静置 3 天的反应液,其总钙离子浓度非常接近,且用激光笔照射反应液无光路,因此静置 3 天的反应液总钙离子浓度就是 25°C 、 CO_2 分压为 1 大气压时 CaCO_3 的溶解度。要生成饱和 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 溶液,饱和澄清石灰水稀释倍

数: $(2.12 \times 10^{-2} - 9.96 \times 10^{-3}) \div (9.96 \times 10^{-3}) = 1.13$ (倍)。

结论:室内温度 25°C 时,饱和澄清石灰水以 1:1.13 稀释(忽略溶液混合时体积的变化),反应生成饱和 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 溶液。

3.2 控制室内温度 20°C 的实验

实验方法同上,测得各溶液总钙离子浓度见表 2。

表 2 20°C 时饱和澄清石灰水以及反应液的总钙离子浓度

溶液	饱和澄清石灰水	静置 1 天的反应液	静置 2 天的反应液	静置 3 天的反应液
总钙离子浓度/ ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	2.19×10^{-2}	1.12×10^{-2}	1.05×10^{-2}	1.04×10^{-2}

要生成饱和 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 溶液,饱和澄清石灰水稀释倍数: $(2.19 \times 10^{-2} - 1.04 \times 10^{-2}) \div (1.04 \times 10^{-2}) = 1.11$ (倍)。

结论:室内温度 20°C 时,饱和澄清石灰水以 1:1.11 稀释(忽略溶液混合时体积的变化),反应生成饱和 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 溶液。

4 生成澄清 CaCO_3 胶体时饱和石灰水稀释倍数

在室内温度为 20°C 至 25°C 时,取 100 mL 饱和澄清石灰水再加 20 mL 水(一般情况加 10 mL 即可),注入盛有 CO_2 气体的矿泉水瓶中,旋紧瓶盖立即剧烈振荡,反应液先变混浊再变澄清,静置几十天未见白色沉淀物,用激光笔照射反应液有光路。

结论:室内温度 20°C 至 25°C 时,饱和澄清石灰水以 1:0.2 ~ 1:1.1 稀释,反应生成澄清的 CaCO_3 胶体;大于 1:0.2 稀释,反应可能生成 CaCO_3 浊液;小于 1:1.1 稀释,反应生成澄清的 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 溶液。

5 碳酸钙的陈化现象

许多化合物都有陈化性质,只是陈化程度和陈化所需时间不尽相同而已。然而组成和结构的改变却是陈化的共同原因^[4]。为探究 CaCO_3 是否有明显的陈化现象,设计如下对比实验。

实验 1 在室内温度为 25°C 时,取饱和澄清石灰水 50 mL 再加 60 mL 水,注入盛有 CO_2 气体的 550 mL 矿泉水瓶中,旋紧瓶盖立即剧烈上下振荡,连续 5 次,反应液由混浊变澄清。

实验2 实验方法与实验1大体相同,只是注入石灰水后先静置5 min,然后剧烈上下振荡,连续50次,反应液仍然混浊。不时振荡,几个小时或几天后反应液也不变澄清。

结论:澄清石灰水和 CO_2 反应生成 CaCO_3 ,刚生成的 CaCO_3 较易与 CO_2 反应,生成的 CaCO_3 静置几分钟后就难以再与 CO_2 反应, CaCO_3 陈化现象明显。

气温越高,静置时间越长,陈化现象越明显。将石灰水置于广口瓶中,再通入 CO_2 气体,生成的 CaCO_3 与 CO_2 没有充分接触,反应速率慢, CaCO_3 陈化现象明显,反应液难以变澄清。

6 实验探究的思考

有的研究者因忽略澄清石灰水与 CO_2 气体反应生成胶体分散系以及 CaCO_3 的陈化现象,仅凭理论计算求得 25°C 和 CO_2 分压为1大气压时 CaCO_3 的溶解度: $7.3 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[5]、 $8.27 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[6]、 $8.74 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[7]、 $9.75 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[8],从而错误地认为澄清石灰水浓度大于 CaCO_3 溶解度时(两者均以物质的量浓度表示),通入 CO_2 气体反应液最终一定混浊;小于 CaCO_3 溶解度时,反应液最终一定澄清。事实上,将浓度大于 CaCO_3 溶解度的石灰水置于试管中,快速通入 CO_2 气体有可能生成澄清的胶体;将浓度小于 CaCO_3 溶解度的石灰水置于广口瓶中,缓慢通入 CO_2 气体有可能生成浊液。严宣申老师用4~5倍水稀释饱和石灰水,再通入 CO_2 后可得澄清溶液,

并真实地记录了实验情况,这给了我们思考的空间。

在实验教学中可设计如下方案来演示实验:室内温度 20°C 至 25°C 时,将饱和澄清石灰水以1:0.2~1:1.1稀释,注入盛有 CO_2 气体的矿泉水瓶中再剧烈振荡。此方案使反应物充分接触,反应速率快,有效地防止 CaCO_3 陈化,反应液呈现先变混浊再变澄清的实验现象。如果刻意得到饱和的 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 溶液,则饱和澄清石灰水以1:1.1稀释。制取浓度相对较大的澄清分散系,目的是演示 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 热稳定性实验以及 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 与 NaOH 溶液反应实验产生明显的实验现象。

参考文献:

- [1][2][4] 严宣申. 化学实验的启示与科学思维的训练(第1版)[M]. 北京: 北京大学出版社, 1993: 15, 17, 36.
- [3] 许燕红等. 二氧化碳使澄清石灰水先混浊后澄清的条件探究[J]. 化学教育, 2013, (8): 69.
- [5] 李友银. 对二氧化碳通入饱和石灰水实验的再探究[J]. 中学化学教学参考, 2014, (8): 52.
- [6] 钟汝永. 溶液中二氧化碳与碳酸钙反应的化学平衡常数推导[J]. 中学化学教学参考, 2015, (4): 56.
- [7] 钟汝永. 澄清石灰水中通入过量二氧化碳未必能变清[J]. 教学仪器与实验, 2014, (11): 37.
- [8] 吴文中. 澄清石灰水与二氧化碳的作用机理和实验探究[J]. 化学教学, 2017, (8): 53.

(上接第68页)

参考文献:

- [1] 刘庆昌. 人文底蕴与科学精神——基于《中国学生发展核心素养》的思考[J]. 教育发展研究, 2017, (4): 35~41.
- [2] 范杰. 化学实验论[M]. 太原: 山西科学技术出版社, 2001: 19~22.
- [3] 冯志进. 关于初中化学实验改进的思考[J]. 实验教学与仪器, 2017, 34(7~8): 55~56.
- [4] 李德前. 例谈初中化学实验创新的思维方法[J]. 化学教学, 2013, (3): 65~68.
- [5] 李德前. 化学实验教学中培养学生的质疑能力[J]. 化学教学, 2012, (2): 54~56.
- [6] 马逸群, 魏海. “探究微粒运动实验”系列设计

[J]. 化学教学, 2014, (8): 58~60.

- [7] 张玲. 导电性测试实验改进[J]. 教学仪器与实验, 2008, (5): 24~24.
- [8] 朱红杰, 秦光献. 铁钉锈蚀条件的探究实验改进[J]. 中国现代教育装备, 2016, (12): 47~49.
- [9] 王程杰. 关注氯离子效应在实验中的应用[J]. 化学教学, 2015, (12): 53~56.
- [10] 马逸群, 朱红杰. 妙用创新技能引领学生改进化学实验——以“检验蜡烛燃烧的产物”实验为例[J]. 教学月刊·中学版, 2017, (Z1): 92~95.
- [11] 李德前, 朱晓伟. 例谈初中化学定性实验的量化设计[J]. 教学月刊·中学版, 2015, (Z2): 118~120.