·实验教学·

基于问题解决能力培养的酸碱滴定实验设计

刘　梅[1,2]，朱鹏飞[1,2]，原佳露[2]，邱　阳[2]

（1. 西南石油大学 化学化工国家级实验教学示范中心，成都 610500；2. 西南石油大学 化学化工学院，成都 610500）

摘要：以培养学生的问题解决能力为导向，对酸碱滴定实验“混合碱的组分和含量的测定”进行了实验内容与教学过程的综合设计。实验从“如何提高测定结果的准确性”这一问题出发，改革实验内容，先对碱液成分进行初步鉴定，再根据双指示剂法的基本原理，引入分光光度法，探讨了酚酞用量对第一终点颜色的影响规律，并以对照色为终点颜色的参考对试样进行成分和含量的测定。与一般的验证性实验相比，其内容更充实，综合性更高，挑战性与趣味性更强。另外，以探究问题为线索，以解决问题为目标，从“课前、课中、课后”3 个环节对该实验进行了教学设计，培养学生的知识应用与迁移能力及问题解决能力。

关　键　词：问题解决能力；酸碱滴定；实验设计；实验教学

中图分类号：G642.0　　**文献标志码：**A　　DOI: 10.12179/1672-4550.20210364

Acid-base Titration Based on Students' Ability Training of Problem Solving

LIU Mei[1,2], ZHU Pengfei[1,2], YUAN Jialu[2], QIU Yang[2]

（1. National Demonstration Center for Experimental Chemistry and Chemical Engineering Education, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China; 2. School of Chemistry and Chemical Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China）

Abstract: Based on the problem-solving-oriented principle, there comes to a comprehensive design with an integration of experiment content and teaching process when doing the experiment of determining composition and content in mixed alkali, one part of the acid-base titration experiment. Started form the problem “how to get the accuracy results of the composition and content in the mixed alkali”, the composition in alkali sample is analyzed primarily at first, then according to the principle of double-tracer technique, the rule of how phenolphthalein amount influences the color of the primary endpoint is studied by spectrophotometry method. At last, the composition and content in mixed alkali sample are measured with the controlled color as a reference of the end-point color. Compared to other common verification experiment, this experiment is substantial in content, comprehensive, challenging and interesting. In addition, the teaching process of this experiment with the exploring problem as the clue and solving problem as the goal is designed throughout “before, in and after lessons” parts. This teaching design emphasizes the training of students' problem solving ability and their knowledge migration and application skill.

Key words: problem solving ability; acid-base titration; experiment design; experiment teaching

问题解决能力是个体利用已有信息寻找问题解决方案的能力，强调能够综合应用科学知识，认识、分析和解决实际问题，具有复杂性、关联性、动态性和可训练性[1−2]。近年来，随着成果导向 (outcomes based education, OBE) 教育理念在我国高等教育中的不断深入及社会对高校创新型人才培养要求的不断提高，高校对培养学生分析并解决复杂问题的能力和创新精神的要求也随之提高[3−4]。我国在工程教育专业认证、本科教学国家质量标准、新工科建设等方面也都体现了对学生问题解决能力的培养要求[5−6]。滴定分析法因操作简单、准确度较高、成本较低，在分析检测领域

收稿日期：2021−07−27；**修回日期：**2021−10−13

基金项目：中国高教学会高等教育科学研究“十三五”规划课题(2019SYSYB15)；西南石油大学实验教学方法改革研究项目(2019)。

作者简介：刘梅(1981−)，女，硕士，高级实验师，主要从事环境水处理及化学实验教学研究。E-mail: verababy620@126.com

中占有重要地位。酸碱滴定实验是高校学生接触较早、原理简单、操作简便的化学实验，是化学、化工、环境等相关专业的经典实验。该实验的目的主要是强化学生的实验基本操作技能，培养学生的基本科学研究能力、总结表达能力，以及运用知识解决实际问题的能力。

本研究以培养学生问题解决能力为导向，依托酸碱滴定常用实验“混合碱的组分和含量的测定”，对实验内容与教学过程进行精心设计，让学生通过本实验的学习，体验并初步掌握综合应用所学知识解决问题的基本思路与方法，并提高其创新能力。

1　实验设计依据

1.1　目前酸碱滴定实验内容设置存在的问题

酸碱滴定实验属于分析化学内容，学生在学习该实验时已经完成“定量分析中的误差”及“酸碱滴定分析法”等相关理论知识的学习。另外，就西南石油大学而言，学生在前期所开课程化学实验基本技能训练中已学习“溶液的配制”“滴定管的使用”等相关基本操作，且已完成一个酸碱滴定类验证性实验——有机酸摩尔质量的测定。学生经过对这些知识的学习与实践后，迫切希望有一个载体能够融会贯通已学知识，利用已有经验解决更具挑战性的问题。而现行实验教材中对该实验内容的设计较为简单，仍强调溶液配制、移液、滴定等基本操作[7−9]。过于简单和程序化的教学内容不利于培养学生解决复杂问题的能力。

1.2　面向应用实际，创设问题情境

随着科学技术、社会生产力和系统工程的快速提高与发展，现代工程的规模日益庞大，综合化程度和技术难度逐渐提高，运行环境愈加复杂。学生毕业后需要解决的实际问题往往是一些复杂的问题，常涉及专业工程实践的标准和规范之外，且问题具有较高的综合性并包含多个相互关联的子问题[10−11]。如在测定现场钻井液滤液的碱度时，钻井液本身的颜色将会影响测定结果[12]。再比如利用酸碱滴定分析法表征聚酰胺中伯胺基及叔胺基的数量时，不同初始 pH 值会影响测量结果[13]。没有一定的知识迁移与应用能力，无法较好地解决这些问题。因此，在对实验内容的建设中，不能仅从个别知识点训练学生的实验技能，而应结合学生的经验、基础知识与实际问题情境提高学生综合运用所学知识解决复杂问题的能力，并促进其形成全局性的专业视野。在“混合碱的组分和含量的测定”实验中，学生需要解决的主要问题是：如何测定出混合碱的组分和含量？如何提高测定结果的准确性？前者是本实验的基本原理，属于基础层次，可通过阅读实验资料和听取教师讲解掌握；而第 2 个问题的综合性较强，难度较大，单靠浅表的学习难以解决。因此，结合学生知识水平与实际经验从以下两方面创设情境，训练学生的问题解决能力。

1.2.1　试样组分的初步鉴定

混合碱试液常含有 NaOH、Na_2CO_3 和 $NaHCO_3$ 中的一种或几种物质，可能存在的组分为 NaOH 和 Na_2CO_3、$NaHCO_3$ 和 Na_2CO_3，或者是纯 NaOH、纯 Na_2CO_3、纯 $NaHCO_3$ 5 种情况。初步分析试样的成分有利于操作人员在含量测定实验中做出更加合理的判断，得出更加准确的结果。如试样中只含 NaOH 或 Na_2CO_3 时，用 HCl 标准溶液滴定，两者化学计量点的 pH 值不同，其滴定终点的颜色也应有区别。结合表 1 中所列几种碱液在不同浓度下的 pH 值（计算值）及 OH^-、CO_3^{2-}和 HCO_3^- 的性质，对碱液试样进行初步鉴定，其具体鉴定思路如图 1 所示。由于碱液试样组分的鉴定不是该实验的主要内容，实验中暂不考虑干扰离子的影响。

配制含 0.02 mol/L Na_2CO_3 与 0.05 mol/L $NaHCO_3$ 混合试液按上述方案进行试验，发现加入 $BaCl_2$ 后溶液中有白色沉淀生成，离心分离取上层清液，用 PHS-3C 型酸度计测得其 pH 值为 8.32，并向该溶液中加入氨水后溶液变浑浊，证实了试样中可能含有的物质是 Na_2CO_3 与 $NaHCO_3$，说明该初步鉴定的方案可行。

表 1　几种碱液在不同浓度下的 pH 值

	饱和溶液	1.0 mol/L	1.0×10^{-1} mol/L	1.0×10^{-2} mol/L	1.0×10^{-3} mol/L	1.0×10^{-4} mol/L	1.0×10^{-5} mol/L
NaOH	15.44	14.00	13.00	12.00	11.00	10.00	9.00
Na_2CO_3	12.28	12.13	11.63	11.10	10.54	9.85	8.98
$NaHCO_3$	8.31	8.31	8.31	8.31	8.28	8.09	7.69

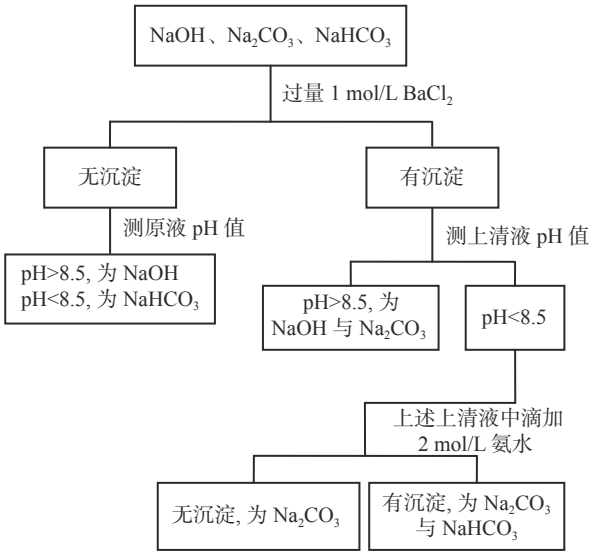


图 1　碱液试样组分初步鉴定思路

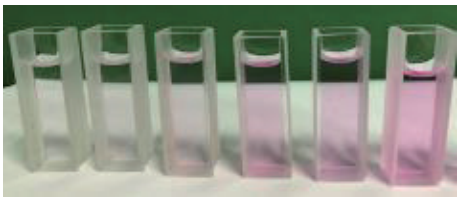
1.2.2　酚酞用量对终点颜色的影响

混合碱的测定常用双指示剂法[7]，其特点是方便、快速。常用的指示剂有酚酞和甲基橙，先以酚酞为指示剂，用 HCl 标准溶液滴定至由红色变为浅红色或无色，再在上述溶液中加入甲基橙指示剂，用同一 HCl 溶液滴至橙色。甲基橙属于双色指示剂，其用量多少对变色点影响不大，酚酞为单色指示剂，其用量过多或过少均对变色点有一定的影响，不利于指示剂正确地指示滴定终点[14–15]。而该实验的第一滴定终点颜色为浅红色或无色[7–9]，由于不同操作人员对浅红色的定义不一样，在实际操作时带来较大的人为误差，因此，有必要探讨酚酞用量对第一终点颜色的影响，从而找到正确判断终点的方法，以提高测定结果的准确度。

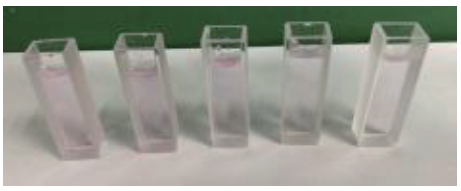
为探究酚酞用量与终点颜色之间的关系，特进行以下实验：取 50 mL 不同浓度的 $NaHCO_3$ 溶液于烧杯，加入不同量的 0.2% 酚酞指示剂，观察溶液颜色，并利用 V1800 可见分光光度计在 550 nm 下测其吸光度，其结果如图 2 所示。

由图 2 可知，当 $NaHCO_3$ 浓度一定时，随着酚酞用量的增加，溶液吸光度逐渐增大。这是因为，加入的酚酞越多，生成的酚酞碱式基团浓度越大，溶液颜色越深，吸光度越大。图 2(a) 为 0.050 mol/L $NaHCO_3$ 溶液加入不同量酚酞后的照片，从左至右依次为 1 滴至 6 滴。从图 2(a) 也可明显看出酚酞用量越大，溶液颜色越深。当酚酞用量相同时，0.002 0 mol/L $NaHCO_3$ 溶液的吸光度低于其他浓度 $NaHCO_3$ 的吸光度，当酚酞用量越多，这种差异越明显，这是由于该溶液的 pH 值(8.30)略低于其他几种溶液的 pH 值(8.31)，由酚酞的解离平衡式：$\frac{K_a}{[H^+]}=\frac{[In^-]}{[HIn]}$可知，pH 降低，$[H^+]$ 增大，溶液中酚酞的碱式基团浓度占比相应减小，使其吸光度降低，当酚酞加入越多，吸光度差值越大。其余几种 $NaHCO_3$ 溶液的 pH 值基本相等，其吸光度差距不大，总体有一个先增大后减小的趋势，推测是由于酚酞本身的酸性消耗了溶液中部分 OH^-以及溶液离子强度的变化共同作用的结果。图 2(b) 为不同浓度 $NaHCO_3$ 溶液加入 2 滴酚酞后的照片，从左至右浓度依次减小，从肉眼观察，除 0.002 0 mol/L $NaHCO_3$ 溶液外，其他几种溶液颜色无明显差异。对于一般的常量分析，$NaHCO_3$ 浓度变化时，pH 值基本不变(参见表 1)，颜色基本相同。

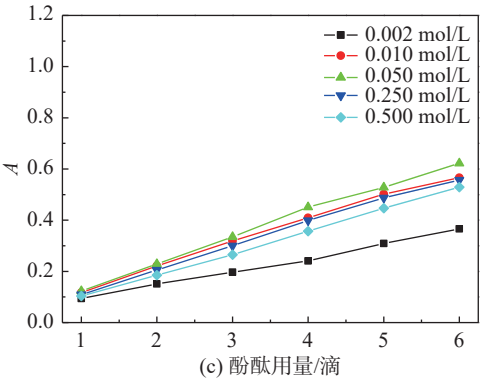
由上可知，在该实验的第一滴定终点，酚酞用量对终点颜色影响很大，酚酞加入越多，溶液颜色越深。为减小因终点颜色的判断不同对实验带来的误差，提高测定准确度，实验中可在一定浓度(如 0.05 mol/L)$NaHCO_3$ 溶液中加入对应用量指示剂所呈现的颜色作为终点颜色的对照。这种方法在一定程度上解决了人眼辨别颜色能力的有限，由红色变浅红的滴定终点不易观察的问题，减小了终点误差，有利于提高测定结果的准确度。



(a) 0.050 mol/L $NaHCO_3$ 溶液加入不同量酚酞



(b) 不同浓度 $NaHCO_3$ 溶液加入 2 滴酚酞



(c) 酚酞用量/滴

图 2　酚酞用量与 $NaHCO_3$ 浓度对吸光度的影响

2　实验内容设计

2.1　试样的初步鉴定

结合 NaOH、Na_2CO_3 与 $NaHCO_3$ 在不同浓度下的 pH 值及 OH^-和 CO_3^{2-}、HCO_3^-的性质，通过测定溶液 pH 值、沉淀、分离等实验对碱液试样进行初步鉴定。要求自行设计实验方案对碱液试样中的成分进行初步鉴定。写出鉴定步骤及相关的反应方程式，给出鉴定结果。

2.2　酚酞用量对第一终点颜色的影响

酚酞指示剂是一种有机弱酸，属于单色指示剂，其用量对变色点影响较大。溶液 pH 值的范围决定了指示剂变色的可能性，而指示剂的碱式(或酸式)基团的浓度决定了溶液颜色的深浅程度。通过实验了解酚酞用量对第一终点颜色的影响，找出正确判断滴定终点的方法。

各取 50 mL、0.050 mol/L $NaHCO_3$ 溶液于 4 只烧杯，分别加入 1 滴、2 滴、3 滴、4 滴 0.2% 酚酞指示剂，摇匀，观察溶液颜色，用可见分光光度计于 550 nm 下测其吸光度。

2.3　碱液试样的测定

取 25.00 mL 碱液试样于锥形瓶中，加入 2 滴酚酞指示剂，用 HCl 标准溶液滴定至溶液由红色变为浅红色(以对照色为参考，对照色为 50 mL $NaHCO_3$ 溶液中加入 2 滴酚酞所呈现的颜色)或红色刚好消失，记下所消耗 HCl 的体积 V_1。再加入甲基橙指示剂，继续用 HCl 溶液滴定至溶液由黄色变为橙色，记下所消耗 HCl 的体积 V_2，平行测定 3 次。根据 V_1、V_2 的大小，确定试液的组分及其含量。将所得出的碱液组分分析结果与初步鉴定结果进行比较，找出区别，分析原因。

3　实验教学设计

结合线上线下，从“课前、课中和课后”3 个环节，对本实验的教学过程进行设计，以探究问题为线索，以解决问题为目标，突出对学生问题解决能力的训练，如图 3 所示。

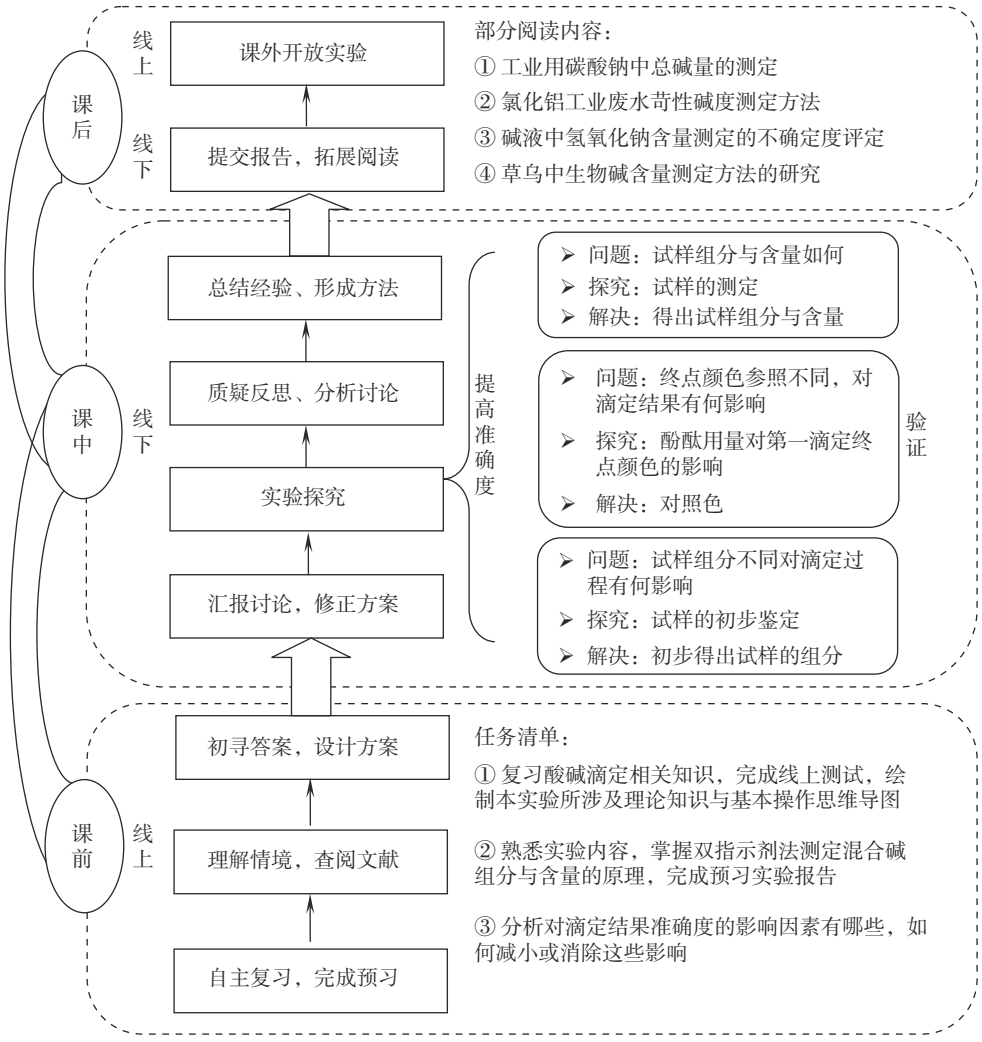


图 3　教学过程设计

在实验前让学生通过观看微视频、阅读实验指导书、书写预习报告等方式，复习已学基本知识和基本技能，掌握利用双指示剂法测定混合碱的基本原理。同时，让学生查阅资料了解影响测定结果准确度的因素有哪些？如何减小或消除？在这一过程中，教师或助教充当“在线客服”，辅导学生自主学习，顺利完成问题导入。

进入实验室以后，教师根据学生预习效果进行针对性地补充，并通过“石油钻井液碱度的测定”等工业生产实例引导学生了解如何利用已有的知识经验解决实际问题，提高学生的信息理解能力，降低问题解决的难度，再过渡到本实验的问题分析与解决。围绕“如何提高滴定结果准确性”这一问题，按照“发现问题→分析、探究解决方案→凝练方法”的思路从“试样的初步鉴定、指示剂用量对终点颜色的影响、试样的测定”3 个方面进行实验探究。学生操作完毕立即向老师汇报结果，进行面对面地沟通交流，总结得出可靠的问题解决方法。

实验结束后，在完成实验报告的基础上，让学生阅读“草乌中生物碱含量测定方法的研究”等实际应用类文献，了解他人解决问题的思路，丰富自己的化学视野，提高其思辨能力。另外，利用实验室全天候开放的契机让一些学有余力的学生在教师指导下拟定主题进行课外开放实验，进一步提高其问题解决能力。

4 结束语

以培养问题解决能力为导向，对酸碱滴定常用实验“混合碱的组分和含量的测定”进行了实验内容与教学过程设计。取消了实验中重复性较高、探究性较低的 HCl 溶液的标定、碱液的配制等内容，增加了试样的初步鉴定，探讨了酚酞用量对第一终点颜色的影响。与一般验证性实验相比，本实验无缝对接学生已有经验与新知识，并进行了一定程度的拔高，融入了设计性模块，增强了实验的综合性、挑战性与趣味性。对学生来讲，是一种整合式学习与深层次学习。通过教师在课前对学生自主学习能力的训练，课堂上对应用实例的讲解与问题解决思路的引导、课后精心安排的拓展阅读，让学生通过该实验的学习，充分了解所学科学知识在实际工业生产中的应用，学会知识的迁移与应用，得到问题解决能力的训练、创新能力的培养。

参 考 文 献

[1] 丁飞己. 工科本科生问题解决能力及其影响因素研究[J]. 中国高教研究, 2020(5): 17−23.

[2] MICHELA G, SILVIA B, THIEMO K, et al. Students’ complex problem solving profiles[J]. Psychometrika, 2020, 85(2): 469−501.

[3] 黄瑾, 徐仲玉, 岳岭佳. 基于OBE 理念的药物化学生物学实验教学案例设计[J]. 实验室研究与探索, 2020, 39(5): 212−227.

[4] 孔全存, 杨海涛, 刘桂礼, 等. 面向解决复杂工程问题能力培养的凸轮设计实验教学改革[J]. 实验室研究与探索, 2020, 39(4): 197−203.

[5] RATHY G A, SIVASANKAR P, GNANASAMBANDHAN T G. Developing a knowledge structure using outcome based education in power electronics engineering[J]. Procedia Computer Science, 2020, 172(12): 1026−1032.

[6] 杜学领, 张开智. 基于OBE 理念的数字化实验教学改革[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(1): 181−186.

[7] 钟国清. 无机及分析化学实验[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2015.

[8] 赵滨, 马林, 沈建中, 等. 无机化学与化学分析实验[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2008.

[9] 王艳玮, 马兆立. 分析化学实验[M]. 北京: 化学工业出版社, 2020.

[10] 中国工程教育专业认证协会. 工程教育认证标准(通用标准[EQ/OL]. (2016-07-02)[2021-07-27]. http://cn.ceeaa.org.cn/main!newsList4.

[11] 刘梅, 朱鹏飞, 张世红. 基于SPOC的“大学化学实验”混合式教学模式研究[J]. 化学教育(中英文), 2017, 38(12): 26−29.

[12] 王娟, 何素娟, 李磊, 等. 现场钻井液滤液碱度测定方法探索[J]. 天然气技术, 2010(3): 33−35.

[13] 黄坚, 陈胜福, 曾涛, 等. 酸碱滴定分析在聚酰胺-胺表征中的应用[J]. 高分子材料科学与工程, 2007, 23(4): 185−187.

[14] 武汉大学. 分析化学(上册)[M]. 北京: 高等教育出社, 2016.

[15] 李莲云, 余惠娟, 尹华勤, 等. 酸碱滴定中指示剂浓度的影响[J]. 大学化学, 2015, 30(6): 79−82.

编辑 钟晓