

•专题•

doi: 10.3866/PKU.DXHX202305059

www.dxhx.pku.edu.cn

凯氏定氮法的课程思政教学案例设计

宦双燕^{1,*}, 王玉枝^{1,*}, 朱亚先², 张树永³, 张文清⁴, 杨屹⁵, 陆靖⁶, 惠新平⁷¹ 湖南大学化学化工学院, 长沙 410082² 厦门大学化学化工学院, 福建 厦门 361005³ 山东大学化学与化工学院, 济南 250100⁴ 华东理工大学化学与分子工程学院, 上海 200237⁵ 北京化工大学化学学院, 北京 100029⁶ 上海海事大学, 上海 200135⁷ 兰州大学化学化工学院, 兰州 730000

摘要: 课程思政教学案例设计是虚拟教研室建设的重要任务之一。本文针对凯氏定氮法进行多元融合的课程思政教学案例设计, 围绕学生的化学核心素养形成, 从学科观念、科学思维、探究创新和态度与价值观四大模块进行教学内容与环节的设计, 将其融入BOPPPS课堂模型中, 提升课程的高阶性、创新性和挑战度, 将思政元素隐性融入教学过程, 实现知识传授、能力培养和价值引领三位一体的教学目标。

关键词: 凯氏定氮法; 课程思政; 教学案例设计

中图分类号: G64; O6

Innovative Case Design of Ideological and Political Education of Kjeldahl Method

Shuangyan Huan^{1,*}, Yuzhi Wang^{1,*}, Yaxian Zhu², Shuyong Zhang³, Wenqing Zhang⁴, Yi Yang⁵, Jing Lu⁶, Xinping Hui⁷¹ College of Chemistry and Chemical Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China.² College of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian Province, China.³ School of Chemistry and Chemical Engineering, Shandong University, Jinan 250100, China.⁴ School of Chemistry and Molecular Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China.⁵ College of Chemistry, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China.⁶ Shanghai Maritime University, Shanghai 200135, China.⁷ College of Chemistry and Chemical Engineering, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China.

Abstract: The design of case studies for ideological and political education in courses is one of the important tasks of constructing a virtual teaching and research platform. This paper aims at the Kjeldahl method and carries out a diversified and integrated innovative case design of ideological and political education. Centering on the formation of students' core chemical literacy, the teaching content and links are designed from four modules: subject concept, scientific thinking, exploratory innovation, and attitudes and values, and integrated into the BOPPPS classroom-

收稿: 2023-05-18; 录用: 2023-05-31; 网络发表: 2023-06-29

*通讯作者, Emails: syhuan@hnu.edu.cn (宦双燕); wyzs@hnu.edu.cn (王玉枝)

基金资助: 湖南省普通高等学校课程思政建设研究项目(HNKCSZ-2020-0074); 教育部首批“分析化学课程虚拟教研室”“化学类专业基础理论课程虚拟教研室”“化学实验教学改革研究虚拟教研室”建设项目

teaching model. This design effectively enhances the high-level, innovative, and challenging nature of the course, implicitly integrate ideological and political elements into the teaching process. This teaching design achieves the teaching goal of integrating knowledge transmission, ability cultivation, and value leadership.

Key Words: Kjeldahl method; Ideological and political education; Teaching case design

1 引言

虚拟教研室是基于现代信息技术组建的新型态跨校基层教学组织,围绕立德树人为根本任务,以提高人才培养能力为核心,创新教研形态、加强教学研究、共建优质资源、开展教师培训,为高等教育高质量发展提供支撑。虚拟教研室建设任务是多方面的,课程思政教学案例建设也是重要任务之一。本文以“凯氏定氮法”为例,介绍课程思政教学案例设计的思路与方法,以期为同行提供参考。

凯达尔(Kjeldahl)定氮法,也称凯氏定氮法^[1],是测定有机化合物或混合物中总氮含量的一种标准方法,属于分析化学酸碱滴定法应用中“氮含量测定”知识点内容。通常针对无机铵盐,主要采用蒸馏法或甲醛法测定氮含量,针对有机含氮化合物则采用凯氏定氮法。即将有机试样与浓硫酸、硫酸钾、硒或铜盐等催化剂共煮,进行消化分解,将有机氮定量转化为无机铵盐,再加入浓氢氧化钠碱化析出氨气,以水蒸气蒸馏法蒸出,以饱和的硼酸溶液吸收,再采用盐酸标准溶液滴定,也可采用硫酸等吸收氨气,采用氢氧化钠标准溶液回滴定。消解成无机铵盐后的操作与前述蒸馏法相同,最后依据酸的消耗量换算出氮含量,再乘以换算因数(通常为6.25),即得到蛋白质含量。

凯氏定氮法内容可拓展性强,既涉及实际样品定量分析原理、滴定分析装置和现象、间接滴定方式和操作、分子反应平衡和计算、准确滴定判据和规律等知识性内容,同时又与食品安全等国家标准检测方法制定、凯氏定氮仪发展演进、“三聚氰胺奶粉事件”等实际案例事件密切相关^[2,3]。如GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中列出,凯氏定氮法、分光光度法和燃烧法为食品中蛋白质氮含量测定的标准方法。实际应用中,凯氏定氮法操作虽然略显繁琐,试剂消耗量大,但测定结果准确性和重现性好,因此是最常用、最经典的方法。随着半自动和全自动凯氏定氮仪的发展,逐步实现从消解到蒸馏、吸收、滴定、报结果全程自动化,分析过程更为高效便捷。但凯氏定氮法分析的前提是氮只来源于蛋白质,在实际样品分析时,如果存在非蛋白氮,如尿素、三聚氰胺等,也会消解转化为铵盐进一步被检测,产生“假阳性”干扰。“三聚氰胺奶粉事件”也反映出凯氏定氮法在应用于食品等复杂实际样品分析时,要应对的新问题和新挑战。

鉴于此,课程教学团队将氮含量测定的知识理论与案例事件、思政元素、教学方式等多元融合进行创新教学设计,探索提升课程“两性一度”的有效方式,并在多轮课堂教学中实施和不断完善,形成了相应的理念和教学模式,希望以此案例的具体设计为例,为同行开展课程思政教学设计提供参考思路。

2 基于核心素养形成的创新教学设计思路

重构氮含量测定法的知识内容,基于学生的化学核心素养形成,围绕学科观念、科学思维、探究创新和态度与价值观四大模块进行教学内容和教学环节的设计,如图1所示。

(1) 学科观念模块。

注重“宏观-微观-符号”三重表征观念的培养^[4]，“宏观”上从氮含量测定的定量分析方法原理、现象操作等去理解；“微观”上从反应涉及的组成、状态、性质和变化去思考；“符号”层面能够正确书写反应平衡式，进行误差和定量计算等。从“宏观-微观-符号”三重表征的角度去组织氮含量测定的相关知识内容，引导学生学习分析化学的方法和视角，树立严格的“量”的概念。

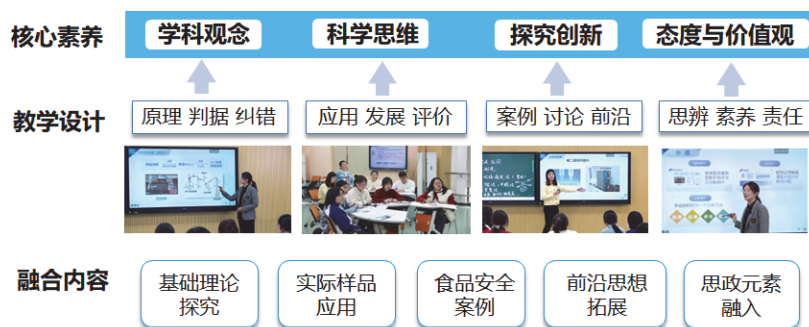


图1 基于核心素养形成的创新教学设计思路

(2) 科学思维模块。

针对氮含量测定的原理，设计基于准确滴定判据的规律探究；针对操作设计巩固纠错的练习。凯氏定氮法如何应用于实际样品分析测定？凯氏定氮仪如何走向自动化、智能化发展？如何比较和评价一个方法？针对这些与科学思维培养密切相关的问题，设计相应的“应用与评价”教学环节。

(3) 探究创新模块。

引入“三聚氰胺奶粉事件”，课前请学生调研事件的原因，做四方角色扮演的视频。凯氏定氮法应用于实际样品分析时，非蛋白氮干扰如何消除？可以提供相关参考资料，请学生课前分组讨论，提出改进策略。课中设计“讨论与分享”环节，在分享优秀视频的基础上，对责任归属进行讨论发言，各组学生介绍本组的创新思路，教师进行相应的评价和思维点拨。

(4) 态度与价值观模块。

学生课前对该食品安全类案例起因和危害进行调研，通过角色扮演和视频分享，首先形成情感上的共鸣；通过对该事件的责任归属讨论，理解看待公共安全类事件的专业视角和全局观念，达成看待问题的态度共识；再结合一线质监部门分析工作者的现身说法，以及教师对于分析化学前沿研究思路的介绍，逐步形成对分析工作者素养和责任的价值认同^[5,6]。

课堂45分钟的具体环节安排可以基于BOPPPS模型^[7]，即导入(Bridge-in)、学习目标(Objective)、前测(Pre-assessment)、参与式学习(Participatory Learning)、后测(Post-assessment)和总结(Summary)，灵活运用六大环节进行创新教学设计(如图2所示)。结合“三聚氰胺奶粉事件”设计课前任务和前测(P)，课中教师结合问题或案例进行课程导入(B)，介绍章节或课堂的知识、能力和价值目标(O)，基于案例讨论、分组任务、互动问题链等引导学生参与式学习(P)，采用智慧教学工具辅助教学过程管理，突出教师的主导地位和学生的主体地位。课堂最后进行总结拓展(S)、后测(P)和课后任务布置。将四大模块教学设计融入BOPPPS课堂模型中，有效支撑化学核心素养形成。基于“三聚氰胺奶粉事件”案例构筑情感、态度、价值观链接点，引导情感共鸣→态度共识→价值认同，将思政元素隐性融入到课堂教学中，同时结合课前、课后任务将思政领悟由课内延伸至课外。知识性设计中关注导入、讲解、深化、巩固和拓展相结合。教学方式上灵活运用启发式互动教学、基于问题/任务的教学、案例教学等，采用慕课堂等智慧工具增强互动效果，提升教与学的亲和力。

3 具体教学设计与实施

3.1 学习目标

知识目标：能够从“宏观-微观-符号”等角度理解和讲述氮含量测定方法原理和基本操作，树立“量”的概念。

能力目标：能够运用酸碱滴定判据分析解决问题，具备选择、应用、评价和改进一个方法的能力。



图2 基于BOPPPS的创新教学设计示意图

价值目标：结合“三聚氰胺奶粉事件”的深入讨论，形成对食品安全类社会事件的专业视角和全局观念，进而形成对分析工作者职业素养和社会责任的价值认知。

3.2 课前任务

查询“三聚氰胺奶粉事件”，做一个角色扮演视频分析事件原因，思考凯氏定氮法中非蛋白氮干扰可以如何消除？结合课前提供的参考资料(蛋白质理化性质和三聚氰胺检测方法)，讨论提出改进策略。预习并完成线上课前测内容。

3.3 课程导入

教师可以基于互动问题进行课程导入，如“通过前面的学习，大家认为学好分析化学，什么能力最重要？”在学生表达自己观点的基础上，教师发表个人观点，引出研究一个方法的能力很重要，即如何选择、应用、评价、改进一个方法，从而提出本次课的学习目标。也可以采用案例事件、热点话题的方式导入。

3.4 方法原理

氮含量测定对象是无机铵盐时，通常采用蒸馏法或甲醛法，如果是有机含氮化合物，常采用凯氏定氮法。凯氏定氮法采用学生讲解的方式，考查预习情况。教师介绍凯氏定氮法的建立背景和创立初衷。

【宏观原理现象(蒸馏法)】对方法使用到的蒸馏装置和滴定分析仪器进行介绍，如蒸馏装置图、加样位置、反应现象、过程特点等讲解。结合视频动画形成对现象原理的典型记忆，针对学生已有知识进行启发式教学。

【微观反应平衡】从微观分子反应的角度探究方法原理涉及到的化学反应，写出平衡方程，设计与内容密切相关的互动问题(如图3所示)，如“蒸馏法测定氮含量属于什么滴定方式？”“为什么不能用NaOH直接滴定铵盐？”“采用 H_3BO_3 吸收 NH_3 时，过量 H_3BO_3 是否干扰测定？”“能否用HOAc代替 H_3BO_3 吸收 NH_3 ？”等来引导学生思考，运用准确滴定的判据规律进行应用讨论，发现前序学习中的不足，引导分析解决问题的科学思维。

【甲醛法】基于氢氧化钠滴定对象、游离酸的影响、指示剂的选择等进行互动讨论，比较甲醛法与蒸馏法。

【凯氏定氮法】凯氏定氮法与蒸馏法相比增加了消解过程，将有机氮转化为无机铵盐，可应用于多种实际样品中有机物的氮含量测定，结合视频动画演示消解过程变化和终点判断。

宏观原理现象 (蒸馏法)

铵盐溶液 $\xrightarrow{\text{浓NaOH溶液}}$ 蒸馏(NH₃) $\xrightarrow{\text{H}_3\text{BO}_3}$ HCl标准溶液滴定

蒸馏装置

微观反应平衡

反应? $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- = \text{NH}_3 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$
 $\text{NH}_3 + \text{H}_3\text{BO}_3 + \text{H}_2\text{O} = [\text{NH}_4\text{B}(\text{OH})_4]$
 $\text{B}(\text{OH})_4^- + \text{H}^+ = \text{H}_3\text{BO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

1、单选题 从滴定方式来看, 蒸馏法测定氮含量的滴定属于 ()。

A. 直接滴定 B. 返滴定 (回滴定)
C. 置换滴定 D. 间接滴定

判据与规律

思考: 为什么不能用NaOH直接滴定铵盐?

准确滴定判据 $cK_a \geq 10^{-8}$ (NH_4^+ $\text{p}K_a = 9.26$)

共轭酸	NH_4^+	弱	×
共轭碱	NH_3	强	√

(2) H_3BO_3 吸收 NH_3 生成的产物是 ()

A. $\text{NH}_4\text{B}(\text{OH})_4$ 或 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{BO}_3$ B. $(\text{NH}_4)_3\text{BO}_3$
C. NH_4HBO_3 D. NH_4BO_3

一硼酸 H_3BO_3 是几元酸?
 $\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{B}(\text{OH})_4^-$

判据与规律

铵盐溶液 $\rightarrow$ 蒸馏瓶 $\rightarrow$ 蒸馏(NH₃) $\rightarrow$ HCl标准溶液滴定

(3) 采用 H_3BO_3 吸收 NH_3 时, 过量 H_3BO_3 是否干扰测定? (A)

A. 不干扰; B. 干扰; C. 不能确定

(4) 能否用 HOAc 代替 H_3BO_3 吸收 NH_3 ? (B)

A. 可以; B. 不能; C. 不能确定

NH_4OAc OAc^- : $\text{p}K_a = 9.26$ $\times$
 NH_4^+ : $\text{p}K_a^* = 9.26$ $\times$ $cK_a \geq 10^{-8}$

图3 基于互动问题链的互动教学

【基本计算】依据反应进行氮含量计算的方法, 针对其中引入空白实验的目的进行互动讨论。凯氏定氮法中还需要将氮含量乘以换算因数, 获得蛋白质的含量。

【巩固纠错】针对一批铵盐中N含量测定的操作, 从称样读数、合适指示剂选择、计算结果的相对平均偏差等角度设计操作纠错练习, 体现如何将“精准定量”思想落实到从采样、读数、指示剂选择和精密度控制的每一步操作中(如图4所示)。

巩固与纠错

某同学要测定一批铵盐中的N含量:
 抽取一批铵盐中的一包铵盐, 在分析天平上称取0.51克进行后续实验。
 此取样操作是否正确?
 采用标准HCl溶液滴定, 以酚酞作为指示剂消耗22.00ml, 以甲基红-溴甲酚绿为指示剂, 消耗22.90ml, 哪种指示剂更合理?
 平行测定4组实验, N含量平均值为3.062%, 相对平均偏差为3.2%。
 结果是否可信? 需要测定分析天平的准确度: 0.5% (分析天平的准确度: 0.5%)

采样 读数 指示剂 精密度

好! 那哪一种指示剂更合理

中国大学MOOC (慕课)

课程: 4分

某同学要测定一批铵盐中的N含量:
 抽取一批铵盐中的一包铵盐, 在分析天平上称取0.51克进行后续实验。此取样操作是否正确?
 采用标准HCl溶液滴定, 以酚酞作为指示剂消耗22.00ml, 以甲基红-溴甲酚绿为指示剂, 消耗22.90ml, 哪种指示剂更合理?
 平行测定4组实验, N含量平均值为3.062%, 相对平均偏差为3.2%。结果是否可信?

参考答案:

得分点1 (2分)

(1) 抽取一包样品, 采样没有代表性; 分析天平称量要记录四位有效数字;

得分点2 (2分)

精准定量

采样

读数

指示剂

精密度

图4 以巩固纠错练习引导精准定量思想

3.5 应用与评价

以奶粉中蛋白质含量测定为例, 介绍凯氏定氮法步骤和半自动、全自动凯氏定氮仪, 以视频动画演示如何自动进样、消解、蒸馏、吸收、分析、报结果实现全程自动化。引导学生思考, 从原理来看凯氏定氮法测定奶粉中蛋白氮含量存在什么不足?

【方法比较与评价】从原理、灵敏度、消耗时间、存在干扰、准确性等角度比较常用的蛋白质

含量测定方法,如双缩脲法(Biuret法)、Folin-酚试剂法(Lowry法)、紫外吸收法(UV法)、考马斯蓝法(Bradford法),引导学生如何针对实际需求选择和评价一个分析方法(如图5所示)。



图5 凯氏定氮法应用及方法比较

3.6 实际案例

【实际案例】凯氏定氮法存在非蛋白氮的干扰,含氮的物质如三聚氰胺(N含量高达66%)会造成含有蛋白质的假象,由此引入“三聚氰胺奶粉事件”。对事件进行案例回放,从奶农奶贩、企业、质检、技术标准等角度引导学生进行课前角色扮演,课中分享学生制作的视频,观看后结合上述学习内容对事件原因的讨论,具体教学设计与实施如图6所示。

【讨论与思辨】教师从三个角度的“度”(法度、尺度、度量尺)引导学生对法制、道德、国家标准与方法的精准性等层面进行思考。再从该事件爆发后引起的改变,如《食品安全法》和《生乳》新标准的发布、奶粉实行配方注册制、取消免检实行普检、奶制品溯源管理等,以及奶粉企业开始自建牧场,保证奶源,规模化机械化生产,购置大型检测仪器,保证产品质量,引导学生从全局观念看待食品安全类社会事件。



图6 基于实际案例的课前课中教学设计与实施

再引入分析检验一线工作者视频,讲述如何遵守岗位职责,采用国家标准方法,规范检验操作,保障食品安全,让学生了解分析工作者的素养和责任。

3.7 实践与分享

【挑战任务】结合课前的思考任务,即凯氏定氮法非蛋白氮的干扰可以如何消除?学生结合课前提供的蛋白质理化性质和三聚氰胺检测方法等参考资料,也可以自己查询资料思考,小组讨论后

提出改进策略。课中则结合前序学习内容, 分组讨论并分享每组同学的改进策略。学生提出了一些不同的策略, 如采用三聚氰胺试纸加凯氏定氮法; 从三氯乙酸与蛋白质形成沉淀的角度, 结合凯氏定氮法检测; 采用拉曼“指纹谱图”结合表面增强拉曼散射(SERS)基底检测; 采用色谱-质谱联用的方法检测等(如图7所示)。

【课外拓展】教师从国家标准的不断完善的角度介绍了食品中蛋白质含量测定方法的补充和改进。学生分享的某些策略正好与国家标准建设完善的思路一致。教师再介绍分析化学的前沿研究, 如发展分子识别、信号转换、信号放大策略, 建立更为精准的分析方法, 同时提供实验空间的虚拟仿真实验资源作为课外拓展实践资源。



图7 挑战任务成果分享和课外虚拟仿真实验拓展

3.8 计算实例

引入干肉片中蛋白质百分含量测定的计算实例, 该实例有别于课堂介绍的方法, 吸收剂和滴定方式均不相同, 是以过量的硫酸吸收氨气, 采用氢氧化钠回滴定。引导学生思考解题思路, 教师再列出计算过程, 但给出的过程中存在错误, 需要学生指出, 借以考查学生的批判性思维。

3.9 总结、后测与拓展思考

教师总结学习目标达成情况, 布置慕课堂后测和下次课程的预习任务, 并提出酸碱滴定和实验室安全相关的拓展思考: 正丁基锂是实验室常用的亲核试剂和还原剂, 相比它“脾气火爆的兄弟”——随时可能会自燃的叔丁基锂, 正丁基锂相对较安全, 但它容易与空气中的 H_2O 和 CO_2 发生反应, 所以需要将其保存在惰性的烷烃溶剂里, 并且定期对它的浓度进行标定。正丁基锂的标定能否采用滴定分析法? 如果能, 该如何操作? 需要注意什么问题?

4 教学反思

教学成功之处:

(1) 围绕氮含量测定, 基于核心素养形成进行四大模块教学环节设计, 将知识理论与案例事件、思政元素、教学方式等多元融合, 提高了课程的高阶性、创新性和挑战度, 有效支撑了学生知识、素质、能力的三维培养目标。

(2) 课中关于蒸馏法、甲醛法的讲解中,以基于问题链的参与式学习过程设计,结合慕课堂互动,引导学生对原理、判据、规律进行深入思考,有助于科学思维的培养。实际样品分析、凯氏定氮法应用、仪器自动化智能化、方法的比较评价等讨论有助于拓展应用能力培养。

(3) 基于实际案例的分组讨论和挑战任务能够引导学生深度参与课堂,不仅增进了教与学双方的亲和力,同时也促进了探究创新能力的培养和情感、态度、价值观的积极引导。基于“三聚氰胺奶粉事件”布置的课前角色扮演任务,学生查阅资料后撰写脚本认真完成视频拍摄,课堂中应用效果较好。在学生深入思考和发言后,教师再进行进一步的专业视角、全局发展观的引导,加上已从事一线质监工作学长身临其境的寄语,比以往教学中进行的责任归属选择和“度”字释义效果更好,学生反馈这样的设计参与感更好。

(4) 针对“凯氏定氮法应用于实际样品分析时非蛋白氮干扰如何消除”提出的改进创新任务,学生结合教师提供的参考资料和自主文献调研资料,能够提出具有可行性的改进创新策略,某些还与国家标准建设完善的思路相一致,创新得到了充分的肯定,学生探究的动力更强了。

需要改进之处:

(1) 科研前沿的引入上还需要挖掘能与氮含量测定内容联系更加紧密的具体实例。

(2) 还可以增加拓展创新实验,让学生课外参与,加强实践动手能力。

(3) 在教学实施中了解学生和听课教师的反馈,进一步改进完善,在“分析化学课程虚拟教研室”进行推广。

参 考 文 献

- [1] 张清建. 大学化学, **1995**, 10 (5), 60.
- [2] 祝海珍. 食品安全质量检测学报, **2021**, 12 (3), 1009.
- [3] 陈和平. 经济研究导刊, **2010**, 75 (1), 112.
- [4] 龚文慧. 化学教学, **2021**, No. 6, 16.
- [5] 宦双燕, 王玉枝. 大学化学, **2022**, 37 (10), 2201006.
- [6] 宦双燕, 王玉枝, 蔡焱, 陈增萍, 唐丽娟, 雷春阳, 刘剑波, 李永军. 大学化学, **2021**, 36 (3), 2006028.
- [7] 王宇超, 王志兵, 石金静, 杨国程. 大学化学, **2022**, 37 (1), 2104012.