

天下冷暖，知于化学 ——化学能与热能的转化

陈佳琪，栾春晖，孙玥，马琦芸，郝王菲，王宴佳，吴旭*

太原理工大学化学学院，太原 030024

摘要： 冷热现象是人类最早观察和认识的自然现象之一。在自然界的能量转化现象中，化学能与热能的转化是常见形式之一。现代社会中，有很多相关应用给大众生活带来了极大的便利。本科普实验秉承着“应用化学，安全至上，造福社会”的理念，旨在通过简单的实验，激发普通大众对化学的兴趣，帮助他们正确认识化学，了解化学反应可能存在的安全风险，并培养其正确的安全意识。实验围绕化学反应中两个特征鲜明的反应：吸热反应(氯化铵与氢氧化钡反应)和放热反应(发热包与水反应)，针对不同知识背景的受众，设计了不同的呈现形式(如趣味实验——气球捏捏冰、情景剧——碘-淀粉抱抱乐)，在幼儿园、中学和社区开展了多场主题科普教育活动。实验通过这些活动向大众展示了化学能与热能之间相互转化的奇妙现象，普及了相关安全常识，使不同的受众真切地感受到了化学的无穷魅力，同时也提高了他们的安全意识。

关键词： 化学能；热能；安全意识；吸热反应；放热反应

中图分类号： G64；O6

Understanding the Dynamics of Heat and Cold through Chemistry: The Interplay of Chemical Energy and Thermal Energy

Jiaqi Chen, Chunhui Luan, Yue Sun, Qiyun Ma, Wangfei Hao, Yanjia Wang, Xu Wu *

College of Chemistry, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China.

Abstract: The phenomena of heat and cold have long captivated human curiosity, representing some of the earliest natural observations. Among the myriad energy transformations in nature, the conversion between chemical energy and thermal energy stands out as a common occurrence. This science popularization project, guided by the principle of “Applied Chemistry, Safety First, Benefit Society”, aims to ignite public interest in chemistry, foster an understanding of chemical reactions’ potential safety risks, and cultivate a culture of safety awareness through simple experiments. Focused on two contrasting chemical reactions—an endothermic reaction (involving ammonium chloride and barium hydroxide) and an exothermic reaction (involving a heating packet and water) —the project employs various presentation formats tailored to audiences with different levels of knowledge. These include engaging experiments like “Balloon Ice Press” and situational skits such as “Iodine and Starch Embrace”. Through a series of educational events held in kindergartens, schools, and communities, the project demonstrates the captivating interplay between chemical and thermal energy, while also disseminating essential safety knowledge. By experiencing the allure of chemistry firsthand, participants not only develop an appreciation for its wonders but also enhance their safety awareness.

Key Words: Chemical energy; Thermal energy; Safety awareness; Endothermic reaction; Exothermic reaction

收稿：2023-12-04；录用：2024-02-04；网络发表：2024-06-17

*通讯作者，Email: wuxu@tyut.edu.cn

基金资助：山西省教学改革项目(J20230158, J20230160)

1 引言

人类对客观世界的规律性认识，都是从对事物现象的感知开始，并逐步了解事物的性质及事物变化发展的规律，到领悟人与自然的关系这几个过程^[1]。在四季冷暖交替变换的自然界中，冷热现象是人类最早观察和认识的自然现象之一。而化学能与热能的转化是自然界中能量转化现象的常见形式之一^[2]，其广泛的运用为人类社会的进步做出了巨大的贡献。

本文以化学人的视角，设计了一系列趣味实验，向大众展示了化学反应过程中化学能与热能之间转化的奇妙现象，探究了其中蕴含的化学原理，以生动形象的方式呈现给非化学专业群体。所设计的安全趣味小实验具有很强的可操作性，中小學生及幼儿园小朋友可以动手参与其中，通过冷热现象身临其境地感受化学之趣，领悟化学之美。科普活动中对于实验所涉及安全要素的讲解，提高了受众的安全素养，使受众不再“谈化色变”，能逐步领略化学之于生活的重要性。

2 实验部分

2.1 实验原理

2.1.1 化学反应热原理

热量的吸收或释放是化学反应中能量变化的常见形式，其中吸收热量的反应称为吸热反应，放出热量的反应叫做放热反应。从微观角度讲，化学反应的实质是旧键的断裂和新键的形成，旧键断裂吸收热量，新键形成放出热量。如果断键吸收的热量大于成键放出的热量，则表现为吸热反应；反之，若断键吸收的热量小于成键放出的热量，则为放热反应^[3]。从宏观角度讲，不同物质组成不同，结构不同，所含能量也不同，反应物和生成物能量的相对大小决定着吸热反应或放热反应^[4]。若反应物的能量大于生成物的能量，则反应为放热反应(图1a)；若反应物的能量小于生成物的能量，则反应为吸热反应(图1b)。

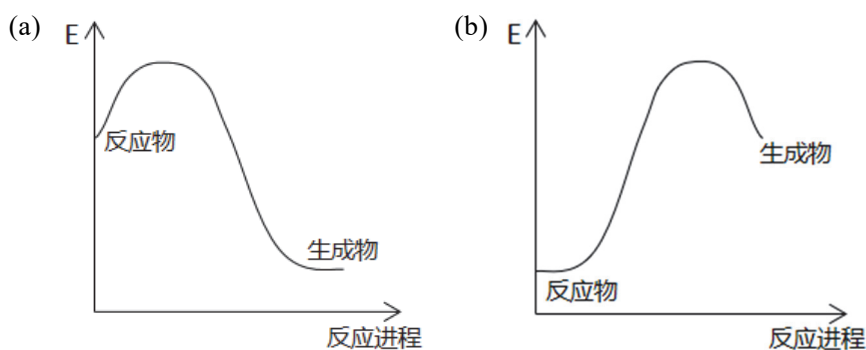
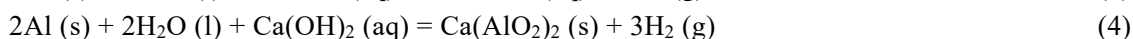
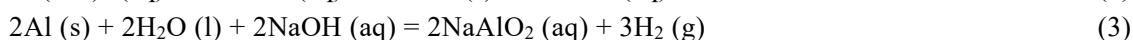
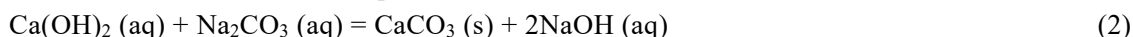


图1 放热反应和吸热反应能垒图

(a) 放热反应；(b) 吸热反应

2.1.2 放热反应实验

本实验选取食品发热包与水的反应为放热反应案例。发热包的主要成分为氧化钙、铝粒、碳酸钠。主要反应如下：

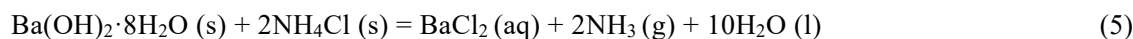


利用燃烧热实验装置测量了发热包和水反应的热效应。根据公式 $Q = \sum cm\Delta T$ (c 为仪器和水的比热容； m 为仪器和水的质量； ΔT 为仪器和水升高的温度)和反应前后仪器显示的数据计算获得上述反

应的反应热。利用化学滴定测定了发热包中CaO和Al的含量。借助直接量气法测定了发热包与水反应放出气体的体积。

2.1.3 吸热反应实验

以氯化铵与氢氧化钡反应为吸热反应案例，反应如下：



2.2 仪器

本实验所使用的仪器如表1所示。

表1 本实验所用仪器

仪器名称	仪器型号	制造商
电子天平	LT302B	常熟市天量仪器有限责任公司
燃烧热实验装置	SHR-15B	南京桑力电子设备厂
可调式电热板	ML-1.8-4	北京科伟永兴仪器有限公司
电子天平	TLE104E/02	梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司

2.3 试剂或材料

本实验所用试剂和药品如表2所示。

表2 本实验所用试剂

试剂名称	试剂纯度	制造商
氯化铵	分析纯	天津市北辰方正试剂厂
氢氧化钡	分析纯	天津市凯通化学试剂有限公司
可溶性淀粉	分析纯	天津市恒兴化学试剂制造有限公司
碘伏	有效碘含量为0.45%–0.55%	山东德新康医疗科技有限公司
发热包1		丹阳市丰泰新材料科技有限公司
发热包2		江西铝热科技有限公司
发热包3		义乌市泽兴户外用品有限公司
硫酸镁	分析纯	天津市风船化学试剂科技有限公司
氢氧化钠(粒)	分析纯	天津市北辰方正试剂厂
无水乙酸钠	分析纯	天津市北辰方正试剂厂
冰乙酸	分析纯	天津市大茂化学试剂厂
乙二胺四乙酸二钠	分析纯	天津市申泰化学试剂有限公司
盐酸	分析纯	昆山金城试剂有限公司
三乙醇胺	分析纯	天津欧博凯化工有限公司
医用凡士林		天津市北辰方正试剂厂
醋酸锌	分析纯	天津市北辰方正试剂厂
钙指示剂	分析纯	天津市凯通化学试剂有限公司
二甲酚橙	分析纯	天津市光复精细化工研究所

2.4 实验方法

2.4.1 反应热测量实验

用燃烧热实验装置分别测量三种发热包与水反应产生的热量。向仪器内胆中加入2.0 L自来水，

然后用聚乙烯醇水溶性膜将15.0 g发热包内固体成分包好放入反应釜中(图2a–b)，再向反应釜中加入75.0 mL水。迅速拧紧反应釜(图2c)，将其放入仪器内胆中，盖好仪器(图2d)，记录数据并作图(图3)。

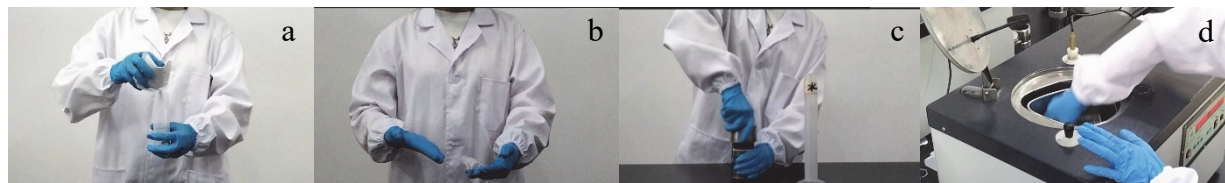


图2 反应热测量过程

(a) 放入固体；(b) 将固体包裹好；(c) 将固体放入反应釜中；(d) 将反应釜放入仪器中

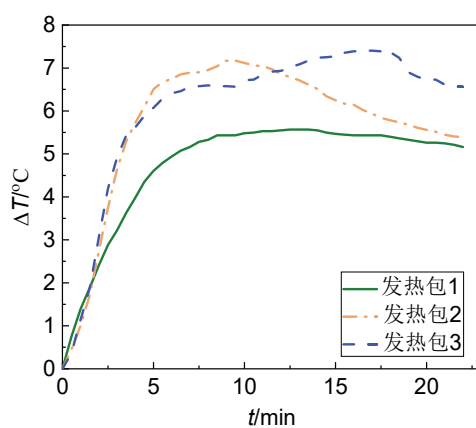


图3 放热反应案例反应热测定

2.4.2 发热包中CaO、Al含量测定

准备三种不同品牌的食品发热包，分别准确称取约0.5 g发热包粉末于小烧杯中，加入HCl溶解定容。使用乙二胺四乙酸二钠盐(EDTA)标准溶液(以钙指示剂指示终点)滴定试液中Ca²⁺，滴定终点溶液由紫红色变为蓝色，计算CaO含量。利用返滴定法测定Al含量，使用Zn(Ac)₂标准溶液(以二甲酚橙指示剂指示终点)滴定过量的EDTA，滴定终点溶液由黄色变为橙色，计算Al含量。发热包成分数据见表3。

2.4.3 发热包产生气体体积测量

按图4安装量气装置，确保装置不漏气，记录初始体积。然后用聚乙烯醇水溶性膜将0.15 g发热包内固体成分包好放入干燥锥形瓶内，加水20 mL，迅速盖上磨口塞。随着反应放出气体，量气管内液面下降，直至液面保持不变，记录液面对应体积。根据反应前后体积差计算生成气体体积。

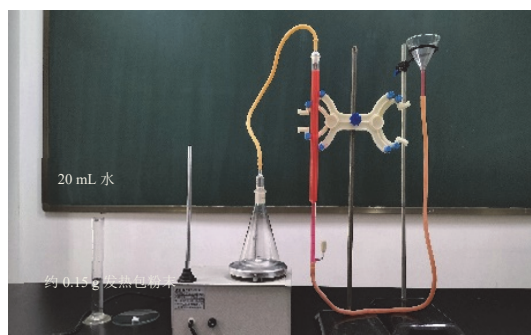


图4 量气装置

2.4.4 实验结果

根据上述实验数据计算得发热包中CaO和Al的质量分数,以及30 g发热包产气量及放热量(表3)。

表3 发热包主要成分及相关参数

发热包	w (CaO)/%	W (Al)/%	放热量(Q)/kJ	产气量(V)/mL
1	71.04	13.83	97	8203
2	60.10	21.67	126	8818
3	52.74	26.63	129	10449

2.4.5 实验废物处置

实验过程中,规范处置固体废物与废液不仅是确保实验安全的重要环节,也是培养学生安全素养的关键步骤,这是化学人应尽的安全责任与环境责任。同时,这也是科普受众在培养化学兴趣的同时应兼备的安全意识之一。本科普项目进行过程中,每个实验环节所产生的固体废物与废液都进行了分类储存,并进行了统一规范处置。

2.5 趣味实验

2.5.1 碘-淀粉抱抱乐

取一支小试管,加入约2.0 mL的淀粉溶液,滴加1-2滴碘伏,观察到溶液由无色变成了蓝色(图5)。

烧杯中放入发热包,加入自来水直至没过发热包,将上述试管置于烧杯中(图6a),随着水温升高,试管中溶液颜色逐渐消失(图6b)。

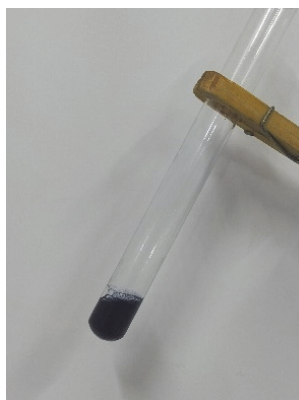


图5 碘-淀粉溶液

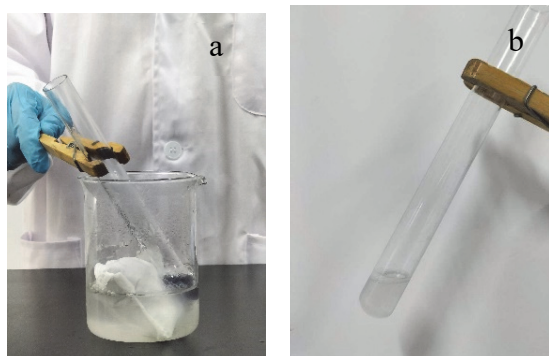


图6 放热反应案例

(a) 发热包和水反应; (b) 加热后的碘-淀粉溶液

将5.0 g NH_4Cl 置于烧杯中，加入适量水使其溶解，再将15.0 g $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 倒入烧杯中，用玻璃棒搅拌使其反应充分。再将上述装有褪色溶液的试管置于烧杯内(图7a)，一段时间后发现试管中的溶液颜色恢复至浅蓝色(图7b)。由于该反应有氨气生成，因此该实验环节需在通风橱中进行操作。

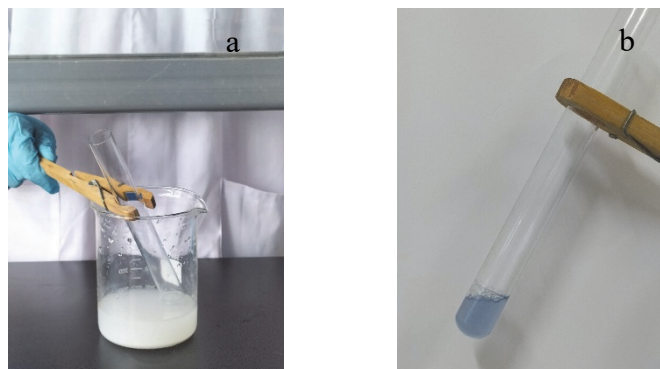


图7 吸热反应案例

(a) NH_4Cl 和 $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 反应；(b) 遇冷后的碘-淀粉溶液

2.5.2 气球捏捏冰

将3.0 g的 NH_4Cl 和9.0 g的 $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 先后放入气球，迅速扎紧，此时气球温度为室温。用手捏气球，让气球内的固体充分混合。一段时间后，感觉到气球变得冰凉，同时气球内的固体变成液体，并且观察到气球微微鼓起。

3 科普展示和互动方案

本实验立足于展示化学能与热能转化过程中的有趣化学现象，呈现“方寸之间分分合合、细微之处冷热变幻”的化学之美。在充分考虑实验安全的基础上，强调安全素养在化学应用中的重要性，将其打造成三个针对不同受众的展示互动方案，通过一种新的观察化学世界魅力的视角，激发公众的化学兴趣，普及化学知识和培养探索科学的精神。

3.1 走进幼儿园

在幼儿园的科普活动中，方案设计从启迪幼儿的三个“什么”入手，通过观察现象和趣味互动帮助小朋友们建立化学认知、发展化学兴趣。

3.1.1 看到了什么

提前准备一盒自热火锅，向小朋友们演示在不用火和电加热的情况下，仅靠一包神秘固体和一袋水，自热火锅就可以变熟。在火锅加热前，先教小朋友们如何读取温度计的示数(图8)，之后在讲台开始演示实验：将一个发热包放入烧杯中，加入冷水直至没过发热包，一段时间后，小朋友们在座位看到温度计示数大幅升高，说明发热包和水发生反应放出了大量的热，最终可以将自热火锅煮熟。



图8 认识温度计

提前准备几份一定质量的 $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 固体和 NH_4Cl 固体, 先将其中一种固体置于气球内, 让小朋友们动手捏一捏; 再将另一种固体放入气球内, 扎紧气球, 让小朋友们动手捏一捏(图9), 一段时间后发现气球变得冰冰凉, 气球内的固体变成了液体。



图9 气球捏捏冰走进幼儿园

3.1.2 知道到了什么

对于以上两种反应表现出来的热现象, 小朋友们都感到很神奇, 为什么有的物质混合会热气腾腾, 而有的物质混合会让气球冰冰凉凉。这是因为发热包遇水后发生了化学反应, 放出了大量的热; 气球中两种固体经揉搓后也发生了化学反应, 吸收了外界热量。同时知道了当温度超过 $45\text{ }^\circ\text{C}$ 时, 物体会比较热, 不可以乱碰乱摸。

3.1.3 想到了什么

经过此次科普活动, 小朋友们都感受到了化学的美妙, 并且分享了自己知道的生活中关于化学的小知识(图10)。有小朋友说可以用醋来除去水壶里的水垢, 把醋和小苏打倒在一起会有“火山”喷出, 碳燃烧不充分会生成一氧化碳等。



图10 化学知识分享

3.2 走进中学

在面向中学生的科普活动中, 通过展示宏观的化学反应冷热实验现象, 阐述微观反应原理, 并注重强调反应中的安全风险及正确的应对措施。

3.2.1 化学反应热效应原理介绍

热能是人类认识自然、改造自然过程中最早认识并利用的能量之一。人类感知、利用热能主要通过传导、对流、辐射三种形式。通过化学反应使化学能转化成热能是热产生的途径之一。化学反应是物质转化的过程, 而这个过程往往伴随着能量的变化。化学反应的实质是旧键的断裂和新键的形成, 旧物质生成新物质的过程。将这一微观现象映射到宏观层面, 即不同物质组成不同所含能量也不同, 反应物和生成物能量的相对高低, 决定了一个化学反应是吸热反应还是放热反应。

3.2.2 化学反应热效应实验展示

淀粉-碘指示化学反应吸、放热实验展示, 放热反应部分采用实时展示模式(图11), 发热包反应

一段时间后, 学生可以观察到试管中的蓝色溶液褪色; 吸热反应部分由于生成有刺激性气味的氨气, 故以视频形式向学生展示, 现场科普环节采用冰盐浴降温的方式实现淀粉-碘指示变色。



图11 实验展示

为了让中学生更形象地体会吸热反应的奥妙, 将趣味实验(气球捏捏冰)带到了课堂。在击鼓传花的过程中, 气球越捏越凉, 气球中的固体逐渐转化成了液体, 学生身临其境地体会了化学反应的动态变化过程(图12)。



图12 气球捏捏冰走进中学

3.2.3 答疑解惑

淀粉分子中各单糖单位有游离羟基, 因此可以形成分子内氢键而形成螺旋状结构, 加入碘液后, 碘液中的碘单质便嵌入淀粉螺旋结构空隙中, 形成蓝色的配合物。碘-淀粉溶液吸收了由发热包和水反应放出的热, 氢键被破坏, 淀粉分子螺旋结构张开, 碘单质被释放出来, 配合物分解, 蓝色消失; 当碘-淀粉溶液处于 $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 和 NH_4Cl 反应的低温体系时, 配合物重新形成, 蓝色出现^[5]。

实验展示过程中所使用的30 g发热包能够使200 mL水沸腾, 发热包的主要成分为氧化钙、铝粒、碳酸钠, 其中氧化钙含量最多, 但上述反应(3)为主要放热来源, 并会产生氢气, 有一定的安全隐患, 但所产生氢气量较少, 在安全条件范围内使用则不会造成危险(氢气的爆炸极限为4%–75.6%, 氢气浓度在这一范围外时遇火源也不会爆炸); 反应(1)、(2)主要作用是生成氢氧化钠。结合上述数据从宏观和微观角度向同学们解释不同物质组成不同所含能量也不同, 反应放出的热也不同。

3.2.4 互动反响

本次科普活动通过直观展示化学反应热效应, 不但激发了同学们对化学的兴趣、热爱和探索精神, 而且还提高了同学们正确应对安全风险的意识。

3.3 走进社区

在面向社区群众的科普活动中, 通过讲解员、家长、小朋友之间的多元互动生动地展示了化学反应原理, 辅助设计情景剧生动展现化学反应冷热现象, 从而有效培养普通公众对化学的正确认识, 激发小朋友探究科学的热情。

社区科普活动面向幼儿园小朋友、中小學生及家長，科普对象组成复杂，如何将化学反应热原理生动地展现给受众群体并激发他们的探究热情是科普活动的重中之重。本活动首先为受众人群展示了化学能转化为热能的量化数据(表4, 图3, 图13a)。让受众更加直观地感受加热包与水反应过程中可能存在的安全隐患: 1) 谨防烫伤, 如不能直接加入热水、排气孔要通畅且不能正对着人; 2) 反应会放出氢气, 使用发热包时要注意避免明火, 狭小封闭的空间里尽量不要使用发热包(图13b); 3) 发热包的规格要与加热食物的量匹配。其次, 将化学反应吸、放热原理通过趣味实验(气球捏捏冰)(图13c)、情景短剧(碘-淀粉抱抱乐)(图13d)等形式进行多维度展示, 增加了多元受众群体的互动性, 寓教于乐, 使大家能切身感受化学魅力给生活所带来的便捷, 领悟化学之美。

这次科普活动, 使受众群体在享受化学发展带来便利的同时, 也更加注重包括化学反应过程中(如氢气爆炸极限的正确使用)与化学反应后(如实验废物的正确处置)在内的相关安全知识的学习。化学应用, 安全为根, 只有安全之根扎的深, 才能见证枝繁叶茂下的美丽, 这样化学才能真正地造福人类。



图13 走进社区

(a) 量化数据; (b). 安全小贴士; (c) 气球捏捏冰走进社区; (d) 碘-淀粉抱抱乐互动

表4 不同使用条件下发热包的加热能力

发热包	30 g发热包和水反应放出的热量(Q)/kJ	100 mL ^a 水升高的温度(T)/°C	500 mL ^b 水升高的温度(T)/°C
1	97	达到沸腾	46
2	126	达到沸腾	60
3	129	达到沸腾	61

^a普通小盒自热米饭自带水为100 mL; ^b 500 mL水相当于一瓶矿泉水的量

4 结语

本科普实验以化学反应的热效应为切入点, 选取特征鲜明、富有趣味性的吸、放热反应案例, 并根据不同的科普人群设计丰富的呈现形式。所设计的实验中: 吸热、放热实验通过淀粉-碘可逆热原理变色将冷热变化以更加直观的形式呈现, 有利于普通大众接受; 趣味实验(气球捏捏冰)互动性强, 参与人员对化学反应的动态变化过程感知明显, 有利于受众对化学产生浓厚的兴趣; 情景剧(碘-淀粉抱抱乐)将枯燥的化学反应原理形象地呈现给青少年, 在增加互动性的同时极大地提高了大众学习化学的热情。项目推进期间, 本团队在各级各类幼儿园、中学和社区开展了多场“天下冷暖、知于化学”主题科普教育活动。通过本科普实验, 人们知道了在生活中化学能与热能的转化无处不在, 体会到了化学在生产生活中的重要作用, 强化了受众正确应对安全风险的意识, 感受到了化学反应“方寸之间分分合合、细微之处冷热变幻”的魅力, 萌发了对化学的学习兴趣和探索精神。光阴百态、变化万千, 安全扎根、枝繁叶茂; 生活万象、天下冷暖, 蕴于化学、美于化学。

5 特色

(1) 剖析原理, 定量分析: 打破砂锅问到底, 以小原理见大学问;

- (2) 立足安全，培养意识：安全方案针对性强，受众学必有用；
- (3) 多维展示，受众广泛：展示方案因人制宜，科普对象豁然开朗。

参 考 文 献

- [1] 王丽君, 李国锋. 山东农业大学学报(社会科学版), **2022**, 24 (3), 139.
- [2] 张建南. 湖湘论坛, **2015**, 28 (5), 27.
- [3] Miessler, G. L.; Tarr, D. A. *Inorganic Chemistry*, 4th ed.; Prentice Hall: Englewood Cliffs, NJ, USA, 2010; p. 452.
- [4] 孟长功. 无机化学. 第6版. 北京: 高等教育出版社, 2018: 54–56.
- [5] 田宗学. 化学教育, **2006**, 27 (3), 54.