

热如何在液体中传递的实验改进与应用

复旦大学附属徐汇实验学校

罗文

摘要：“热如何在液体中传递”是小学阶段科学课程中的教学难点。通过比较不同版本的教科书与教学实践可以发现，传统实验存在标记物易扩散、颗粒易上浮团聚、缺乏直观现象等不足，不利于学生克服自身迷思概念，进而理解“热在液体中传递”的真实现象和原理。鉴于此，通过增设热成像仪、放置内含高锰酸钾粉末的糯米纸小包、运用温度传感器等方式改进实验，实现实验的显性化、可视化。改进后的实验能帮助学生更直观地观察实验现象，比较热对流、热传导的传热效率，引导学生从表层到深层，从定性到定量全方位理解“热在水中传递”，发展学生利用分析和归纳方法解决实际问题的科学思维，提升科学素养。

关键词：热在水中传递；热传导；热对流；实验改进

《义务教育科学课程标准（2022年版）》明确要求小学科学课程应立足学生核心素养发展，培养学生科学探究与实践能力，倡导以探究和实践为主的多样化学习方式。实验探究不仅是小学科学课程中的课程核心内容，也是发展学生核心素养的重要途径，其在小学科学课程中尤为重要^[1]。探究“热如何在液体中传递”是小学阶段较为重要且典型的实验，该课题着重围绕22版科学课程标准中“能的转化与能量守恒”这一核心概念进行展开，其承接了小学低年级阶段“热传递”，也为初中阶段“能的形式”“能的转移和转化”做了铺垫，起到承上启下的作用。在本节课的学习中，学生不仅要结合生活经验认识日常的热传递现象，还要通过实验探究了解热的传递方向以及热对流现象，并了解常见的热传递现象在日常生活中的应用，进而实现自身核心素养的发展。

在学习该内容前，学生对于热传递并不陌生，积累了诸多烧水、冷热水混合获得温水等生活经验，但多数学生简单地认为热在水中是以“从高温中心向四周扩散”的形式进行传递，存在一定的迷思概念。此外传统教学演示实验中墨水容易出现扩散、色带边界不清晰等不足，使得学生难以观察水中热传递的方式，进而不能掌握热对流的原理。基于上述分析，笔者选取了生活中方便获取的材料进行实验改进，并结合传感器等手段，将水中的热传递过程显性化、可视化，进而帮助学生更好地理解“水中的热传递”过程。

一、各版本教科书中的实验分析

“热在液体中如何传递”不仅是小学科学阶段较为典型的实验探究活动，也是学生难以理解的一个知识内容，学生难以通过观察实验现象直接理解热在水中以热传导与热对流的形式进行传递；也难以准确比较液体内部热对流与热传导的传热效率。基于此，我国不同版本的科学教科书中均对该专题进行了实验设计，旨在帮助学生更好地理解这一核心概念，各版本教材的实验如表1所示。

表1. 不同版本教科书中“热在水中传递”的实验设计

| 教科书版本 | 实验设计 |
|--------------------|--|
| 沪科版 ^[2] | 实验一：在装有冷水的烧杯中放入一个开孔的装有红色热水的小瓶，观察小瓶中红色墨水的流出情况。 实验二：用酒精灯加热试管中部，通过温度传感器比较试管底部与试管口两处的水温高低，进而判断对流与传导的传热效率。 |
| 人教版 ^[3] | 实验一：在烧杯中加入适量木屑（黑芝麻、纸屑）或颜料，随后在烧杯底 |

| | |
|--------------------|---|
| | 部进行加热，引导学生观察水中标记物的运动路线。 实验二：准备一个装有金鱼的圆底烧瓶，用酒精灯加热圆底烧瓶瓶口直至瓶口水沸腾，进而判断对流与传导的传热效率。 |
| 苏教版 ^[4] | 实验一：在装有冷水的烧杯中放入一个开孔的装有红色热水的小瓶，观察小瓶中红色墨水的流出情况。 实验二：在烧杯中加入适量木屑，随后在烧杯底部进行加热，引导学生观察水中标记物的运动路线。 |

比较不同版本教科书中的经典实验可以发现，其大致分为两个类别。一类是通过加入有颜色的标记物或细小颗粒来外显加热液体过程中液体的流动情况，但在实际演示实验中仍存在不足，例如有颜色的标记物（高锰酸钾、红墨水）会出现明显的扩散现象，致使未加热时也会看到明显的色带；又如细小颗粒（木屑、芝麻）会上浮或团聚，且易受到加热过程中产生气泡的影响，因此效果不佳。另一类是通过加热试管中部，比较热传导与热对流效率，但由于缺乏热对流、热传导发生的显性证据，学生在学习过程中难以突破自身迷思概念建构较为抽象的热传导与热对流，存在一定的认知障碍。

基于以上问题的分析，笔者在优化改进“热在水中传递”实验的过程中按照如下思路进行实验创新：一是将实验现象可视化、外显化、直观化，引导学生清楚地观察到液体中热传递过程；二是避免实验中的干扰因素，减少异常现象的出现，减少学生认知负荷；三是从定性与定量相结合的角度，帮助学生比较液体中热对流、热传导的传热效率，促进科学素养的发展。

二、实验改进与创新

（一）增设热成像仪，显性表征体系温度变化

笔者增设了热成像装置来直接显性表征体系中的温度变化，其核心在于 FLIR One Pro 探头，如图 1 所示。由图可见，其包含一个热成像镜头和一个彩色相机镜头，并通过手机接口与手机（平板）相连。FLIR One Pro 探头可以实时接收物体散发出的红外辐射信号，并对其进行解析在手机（平板）中投影出实时的热像图。热像图中不同颜色的区域反映出该位置温度不同，热像图颜色为暖色调并接近红色则表示该区域温度越高，而越接近蓝色、紫色则说明该区域温度较低。因此学生能够根据热像图各区域的不同颜色分辨试管中水温高低分布情况^[5]。



图 1 热成像仪工作原理示意图

（二）放置显色颜料，直观反映体系中水对流

笔者在水中加入高锰酸钾作为标记物从而直观体现体系中水的对流情况。高锰酸钾溶解在水中后会呈现出鲜艳且明显的紫红色，能够有效标记水流。因此学生能清晰地观察到水的

流动路径和方向,从而直观地了解热在水中的传递过程,实现抽象的热对流现象变得可视化、具象化。值得关注的是,与以往实验不同,笔者将高锰酸钾粉末装入由糯米纸折成的小包中,并在小包的接口处用沾湿的棉签涂抹并凭借糯米纸自身粘性将其封闭。这样的处理能有效避免高锰酸钾粉末提前在水中扩散,影响实验观察。此外将糯米纸折成的小包还便于用铁丝将其固定,方便将其伸入试管中,装有高锰酸钾粉末的糯米纸小包如图 2 所示。

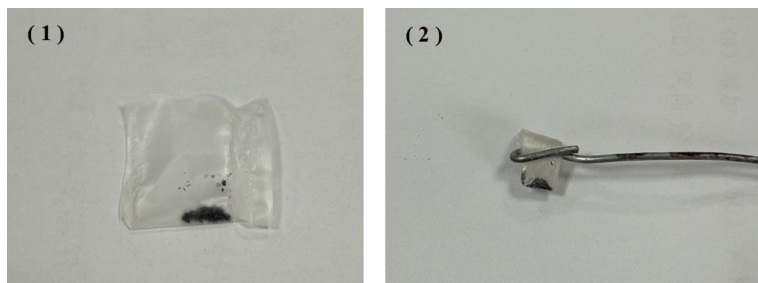


图 2 (1) 为包裹在糯米纸中的高锰酸钾粉末; (2) 为固定在铁丝末端的糯米纸小包

(三) 使用数字传感器, 定量比较热传递效率

笔者还在液体下部与上部分别放置了温度传感器 CH1 与 CH2, 计划通过温度传感器采集的实时数据, 帮助学生能够从定量的视角比较试管上部、下部的温度差异, 进而推断热对流与热传导两种热传递方式的效率差异。

基于上述实验改进与创新, 本研究搭建的实验装置如图 3 所示。

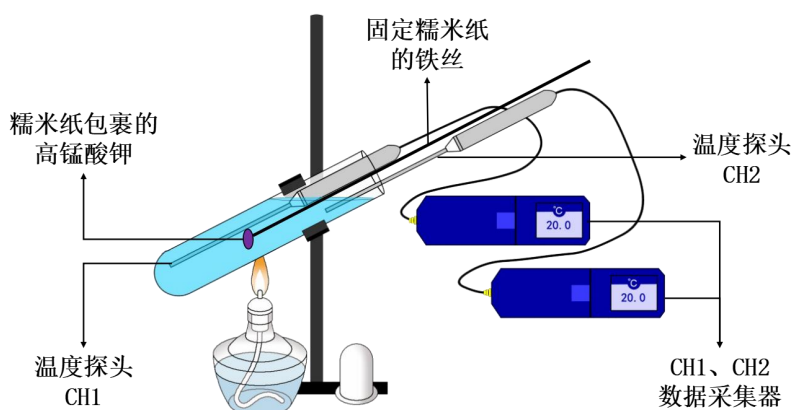


图 3 实验改进装置图

三、实验装置的应用

如图 3 搭建好实验装置后, 首先打开热成像仪、温度传感器, 开始采集实验数据; 随后点燃酒精灯先预热试管后, 对蒸馏水中部进行加热, 最后观察记录整个实验过程中的现象与数据。

(一) 利用热成像仪观察水中的热传递现象

在点燃酒精灯前, 整个试管在热成像中与环境颜色一致, 即说明此时蒸馏水温度为室温; 点燃酒精灯后, 酒精灯火焰呈现出明亮的橘红色, 试管中颜色逐渐分布不均, 出现了紫红色, 即说明试管中液体开始冷热不均, 部分区域液体温度升高, 出现了热传递现象; 加热至 3 分钟时, 可以从热成像仪中明显发现液体上部整体呈现橘黄色, 而下部基本还是以紫色为主, 即说明液体上部温度高于下部, 热传递效率存在差异, 不同时刻下实验装置的热成像情况如图 4 所示。热成像仪不仅能够通过体系颜色的不同显性表征热传递现象, 还能通过颜色变化快慢直观体现热传递效率的高低。

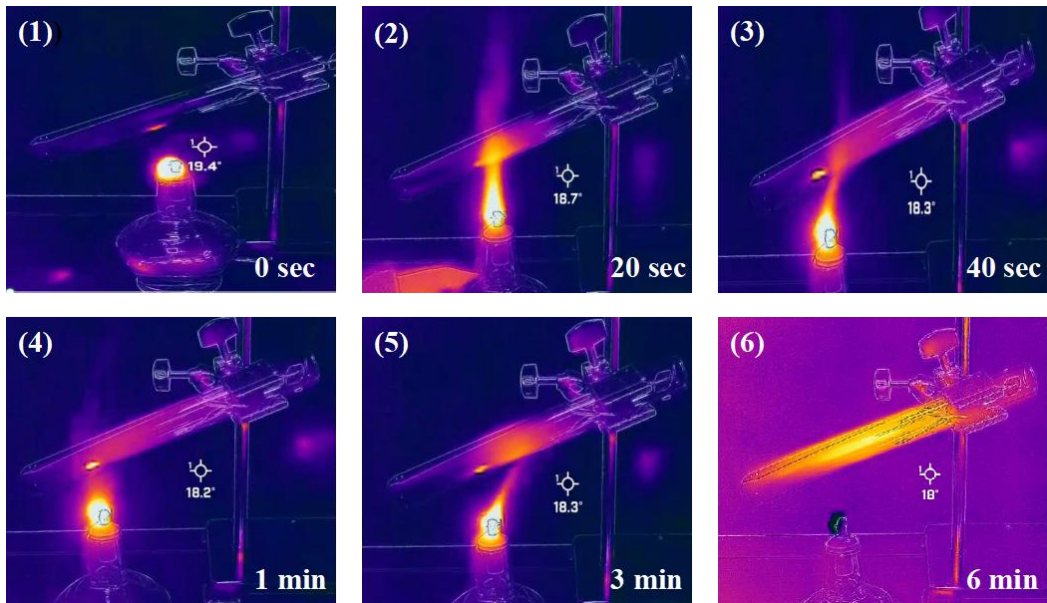


图 4 加热过程中所截取的热成像图

(二) 利用显色物质的运动探究热传递方式

笔者在改进实验过程中,利用高锰酸钾溶于水会产生有颜色的色带这一特性将液体中热传递方式可视化,通过高锰酸钾色带的运动帮助学生观察加热过程中液体内部如何流动,进而更好地理解液体中热传递与热对流的传热方式。

在加热前,由于糯米纸的包裹,高锰酸钾并未溶解溢出干扰学生观察;在点燃酒精灯后,包裹高锰酸钾的糯米纸遇热后逐步融化,高锰酸钾迅速渗流而出,以色带的方式随着液体的流动而移动,如图 5 (2) 所示;随着加热的继续,高锰酸钾色带在液体上部形成循环,且并未流入液体下部,由此可见,液体上部存在热对流;加热至 3 分钟时,液体上部基本已经充斥着紫红色的高锰酸钾溶液,而下部依旧保持无色透明状,即说明高锰酸钾并未流入下部液体中,液体下部不存在热对流。通过观察加热过程中高锰酸钾色带的流动情况,学生能直观认识到液体上部存在热对流,进而更好地理解热传递方式。

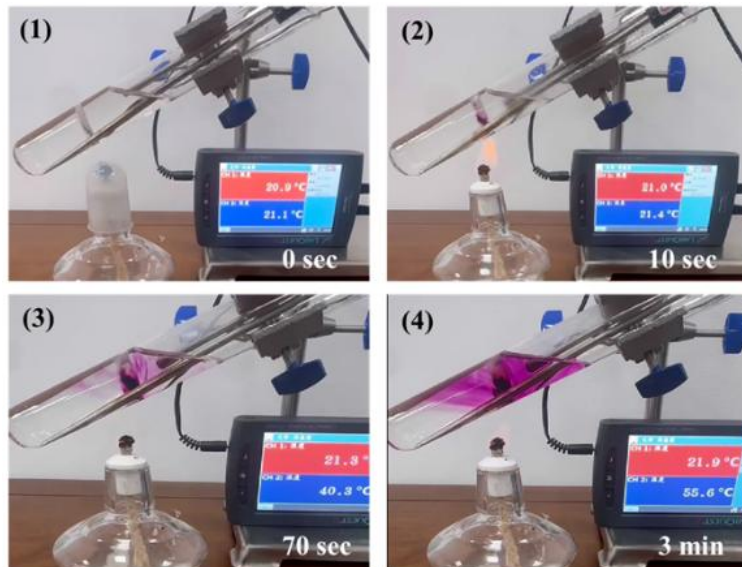


图 5 加热过程中高锰酸钾色带的流动情况

(三) 利用温度传感器对比液体中热传导和热对流

为了精确、定量地比较热对流与热传导的传热效率，笔者还在试管的水面和水底分别插入温度传感器以便实时记录液体上部（CH2）、下部（CH1）的温度变化情况。在整个加热过程中，液体下部温度从 21.0℃ 上升至 26.1℃，升温达 5.1℃，液体上部温度从 21.1℃ 上升至 86.0℃，升温达 64.9℃，具体温度传感器示数与时间图像如图 6 所示。从温度传感器示数变化以及绘制的曲线来看，液体上部明显升温更快，由此可见不同的传热方式热效率存在显著差异。

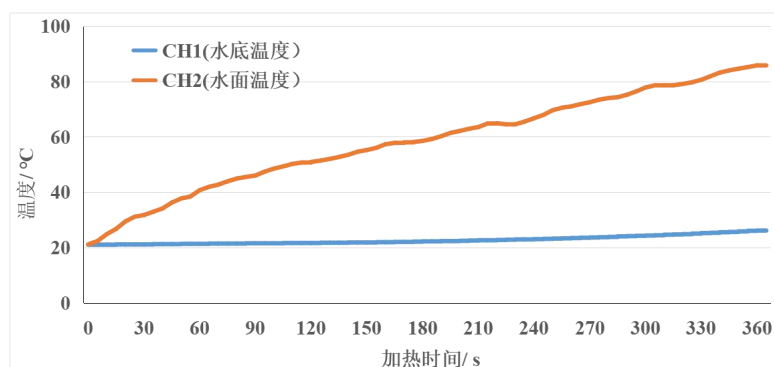


图 6 加热过程中 CH1 与 CH2 温度变化曲线

四、实验结果与创新

（一）实验结论

学生通过观察热成像仪的成像情况，不仅能够基于体系颜色变化直观感受到热传递现象的发生，还能通过液体上部颜色更为红亮这一现象判断上部温度更高，进而推断上部温度升高幅度更大；通过观察高锰酸钾色带流动路径，能清晰地认识热对流过程，进而判断液体上部存在热对流，而下部无热对流现象；通过对比水面与水底温度传感器示数上升幅度，能够从定量的角度精确分析不同热传递方式的热效率差异。

综上所述，学生从热成像仪成像情况、高锰酸钾色带流动路径、温度传感器反馈数据三个视角能够基本理解热对流与热传导均可在水中发生；并能体会液体上部以热对流的传热方式为主，液体下部主要以热传导为主；从而判断在水中热对流的传热效率要明显优于热传导的传热效率，进而较好地理解“热在水中传递”概念，提升利用分析和归纳方法解决实际问题的科学思维，发展科学素养。

（二）实验创新

笔者选取了高锰酸钾作为显色颜料，增设了热成像仪、温度传感器等数字化仪器，实现了实验的显性化、可视化转型。相比不同版本教科书中的传统实验，本实验更有利于学生观察热传递现象，比较热传递效率，引导学生从表层到深层，从定性到定量全方位理解“热在水中传递”。总体来看，本实验主要有如下三点创新之处：

1. 增设热成像仪，显性表征体系温度变化：将热传递显性化，帮助学生更直观地感知热传递现象，更方便地比较不同区域的温度分布。

2. 以高锰酸钾为显色颜料，直观反映体系中水的流动情况：首先利用糯米纸包裹高锰酸钾，减少了高锰酸钾的扩散现象，避免因异常现象增加学生认知负荷；其次通过水中高锰酸钾色带的流动，将热对流可视化，方便学生鉴别热对流与热传导，进而更好地理解热传递等一系列抽象概念。

3. 运用温度传感器，记录液体上部与下部的实时温度：通过分析准确的数据变化与曲线差异，引导学生从定性到定量比较热对流与热传导的传热效率，培养学生运用定量思想和方法解决实际问题的能力，发展科学素养。

参考文献

- [1] 胡卫平.在探究实践中培育科学素养——义务教育科学课程标准（2022年版）解读[J].基础教育课程,2022,(10):39-45.
- [2] 俞立中.义务教育教科书(五·四学制)科学六年级上册[M].上海:上海科学技术出版社,2024:22.
- [3] 金准智,郑长龙.义务教育教科书科学五年级上册[M].北京:人民教育出版社,2019:6.
- [4] 郝京华,路培琦.义务教育教科书科学五年级上册[M].江苏:江苏凤凰教育出版社,2020:17.
- [5] 梁晟斌,常明,邵川华.热成像技术在高中化学实验教学中的实践与应用[J].教育与装备研究,2023,39(05):73-76.