

# 热与温度概念评估 (HTCE) 量表的介绍与分析\*

汤莉 王永红 唐心懿 陶学艳

(上海师范大学物理系 上海 200234)

方伟

(上海师范大学物理系 上海 200234;

上海市星系和宇宙学半解析研究重点实验室 上海 200234)

(收稿日期:2020-08-25)

**摘要:**热与温度概念评估(Heat and Temperature Conceptual Evaluation, HTCE)是一份基于教学研究的用于测量学生对热与温度相关概念理解的量表. 该量表包含对热与温度概念、冷却速率、量热法、传热速率、感知热的能力、比热容、相变和导热性等8个方面的概念考查,从问世至今已在海外物理教育研究中广泛应用,但在国内少有应用与研究. 文章就HTCE量表进行详细介绍,概述其近年来的研究进展,并将笔者在疫情期间《热学》课程上的初测结果与国外的结果进行了简单比较. 希望能为广大物理教师及物理教育类研究生介绍一份测量工具,为教学研究提供参考.

**关键词:**HTCE 热与温度概念 热学教学 评估量表

## 1 前言

物理概念是客观事实的物理共同属性和本质特征在人脑中的反映,是物理事实的抽象. 它是整个物理学知识体系的基石,是学生学好物理的关键,但学生形成、理解和掌握物理概念是一个复杂的认识过程<sup>[1]</sup>. 从建构主义学习的观点来看,新知识是在已有的知识基础上建构成的,最初的知识便是影响学习的因素. 离开对新旧经验之间冲突的调整,学生便无法使新知识真正与已有知识经验一体化. 近年来,建构主义在世界范围内逐渐成为研究物理学习和指导物理教学的主导性理论,这一理论在物理教学中最直接的体现就是为“概念转变而教”<sup>[2]</sup>.

热与温度概念在各个层次的科学课程中普遍存在,但在教学过程中,教师们都会陷入一种困境:即使已对学生进行了概念教学,且中学物理教材热学部分也对热量与温度等相关概念进行了比较科学的定义与解释,但在实际中学生对这几个概念的理解仍极易混淆,很多学者从热与温度的联系与区别的

角度出发进行了探讨<sup>[3]</sup>. 基于日常生活经验对物理世界形成的基本理解与信念,被称为是“前概念”,这些来自生活经验的理解与科学概念往往不一致,称为“相异概念”. 学生的“相异概念”转变为“科学概念”的过程就是概念转变学习. 研究者通过实践表明,传统的教学模式对学生相异概念的转变作用影响甚微<sup>[4]</sup>. 针对这一情况,评估学生对热与温度概念的认识,在课堂中形成新的课程与教学方法,显得尤为重要.

由俄勒冈大学(University of Oregon)和马里兰大学(University of Maryland)的 Pat Cooney, Karen Cummings, Priscilla Laws, David Sokoloff, Ron Thornton 与 Edward F. Redish 等6名研究人员组成的 ABP(Activity - Based Physics) 物理教学研讨小组,推出了针对不同物理知识板块的量表来帮助教师掌握学生学习情况,便于物理教师改进教学方式,定量检测教学效果,如力和运动概念评估(Force and Motion Conceptual Evaluation, FMCE),矢量评估测试(Vector Evaluation Test, VET),以及

\* 2019年度上海市教委本科重点课程《热学》项目资助.

作者简介:汤莉(1997-),女,在读硕士研究生.

通讯作者:方伟(1981-),男,副教授,主要从事天体物理、宇宙学及物理教育研究.

本文要介绍的热与温度概念评估量表(Heat and Temperature Conceptual Evaluation, HTCE)<sup>[5]</sup>.

热与温度概念评估(HTCE)由 David Sokoloff 和 Ron Thornton 于 2001 年共同研发,目的是为了评估学生对热与温度概念的掌握程度,量表测试时间约需 40 min,通常还需要结合访谈.量表评估的对象设计为本科生,但由于题目分为 8 个知识版块,对于国内实际情况,经过适当删减,也能用于初高中学生.量表的难度系数约为 0.57,平均区分度高于 0.3,效度都经专家审核认证,说明 HTCE 量表是一种有效且可靠的测量工具,能反映出学生真实的水平差异,可用于前测与后测<sup>[6]</sup>.目前,国内对热与温度概念评估量表(HTCE)的研究还未见文献,本文将就 HTCE 量表进行详细剖析,概述近年来的研究进展,希望能为读者研究热相关教学介绍一份测量工具,方便国内学者利用此量表进行教学研究.另外,本文作者研究团队翻译了该量表的中文版,并被采纳<sup>[13]</sup>.

## 2 热与温度概念评估(HTCE)的内容分析

HTCE 量表共包含 28 道题目,其中单选题 27 道,另有一道作图题.测试的过程大约需要 40 min,测试后还需结合访谈<sup>[6]</sup>,该量表涵盖 8 个主题:(1)热与温度;(2)冷却速率;(3)量热法;(4)传热速率;(5)感知热的能力;(6)比热容;(7)相变;(8)导热性,这些题目呈现的是生活中常见的情景,非正确选项的设置并

不随意,包括很多学生常有的错误概念,具体版块如表 1 所示<sup>[7]</sup>.

表 1 HTCE“概念领域”表

概念领域	题目序号
(1) 热与温度	1,2,3,4
(2) 冷却速率	5,6,7
(3) 量热法	8,9
(4) 传热速率	10,11
(5) 感知热的能力	12,13,14,15
(6) 比热容	16,17,18,19
(7) 相变	20,21,22,23,25
(8) 导热性	26,27,28

### 2.1 热与温度部分

第 1~4 题,题目设定两个相同的水杯 A 和 B.各题中两水杯所含液体量不同,所处环境也不同,为学生提供 4 种情景并提问哪个水杯中热能的传递更多(图 1).

通过对水的质量、初温、所处环境等方面的改变,利用控制变量法,以温度的改变量比较热能转移的大小,将热与温度进行了联系,旨在考查学生对热与温度这一概念的理解情况,以及是否掌握了影响热能大小的因素等.从国外已有的研究报告数据看来,此版块的正确率较高,这表明多数学生对热与温度知识方面掌握情况处于较好水平,但仍有少数学生不能区分温度和热量<sup>[8]</sup>.

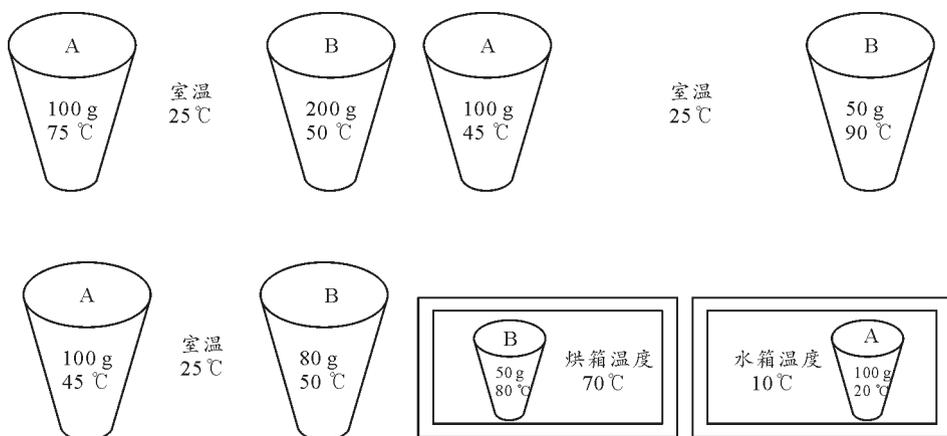


图 1 热与温度部分考查的题目图示

## 2.2 冷却速率部分

冷却速率的考查分布在第5~7题,给定A和B两个相同的水杯,杯中所有液体的容量与温度均不同,放置于室温一致的环境内冷却,让学生回答哪一个水杯的冷却速度是一开始处于最快的,哪个水杯又是先达到最终冷却温度的,并指出冷却速率的曲线图像(图2).

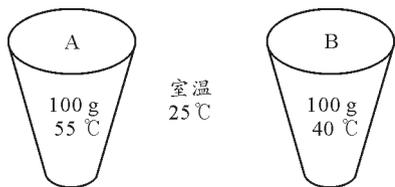


图2 冷却速率题目图示

此版块设置了3个考题且难度逐级递增,不仅直接对学生进行了冷却速率的考查,还涉及冷却过程中随时间变化的温度曲线.而在国外已有研究中,学生对此题的解答正确率较低,表明学生对于冷却速率概念的理解程度较低.

## 2.3 量热法部分

此版块的考查出现在第8和第9题,题目中呈现一个隔热的容器,即无热量的转移.将水杯A和B中一冷一热的液体,倒入隔热容器中混合.两道题目的区分点在于第9题中热水的质量翻了一倍,让学生选择混合后的液体温度位于哪段区间,答案设置了7个详细划分的温度区间.

将冷热液体进行混合,在没有温度计的情况下让学生感知混合液体的温度并进行量热,充分考查了学生对热的感知与计量能力.从国外已有的研究报告数据看来,此类题目的解答正确率较高,学生对量热概念的理解能力较好.

## 2.4 传热速率部分

第10和第11题为传热速率考查版块,两个相同的水杯A和B有同样多的水,杯中均放置一个加热器.设定A杯中的液体为45 °C,B杯中为35 °C.将它俩放置在室温为25 °C的环境中,为维持杯中液体的温度,加热器一直处于工作状态.先让学生比较A杯和B杯的加热速率,判断孰大孰小.后将B杯从设定中删去,留下A杯假设分别放置在5 °C的室外与25 °C的室内这两个环境里,再让学生判断A

杯在室内外的热量传递速率孰大孰小(图3).

此版块通常为整个测试中学生错误率最高的部分.事实上,传热速率概念和冷却速率的概念有异曲同工之处,而传热与冷却是生活中常见的热现象,因此错误率极高可能是受到生活中错误经验的影响.可见还需教师为“概念转变而教”,以消除学生头脑内的错误概念并建立正确概念.

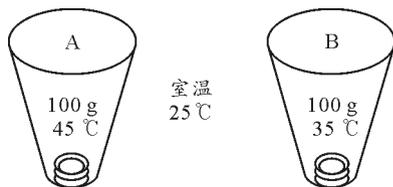


图3 传热速率题目图示

## 2.5 感知热的能力部分

第12~15题,以棉花、木头、金属材料为例.前两道题目是将三者长时间的放在低温室外,试问哪个物体摸起来触感最寒冷?哪个物体的温度又是最低的?后两道题是将三者放入90 °C的烤箱内进行加热,试问哪个物体的触感是最热的?哪个物体的温度应该最高?从整体而言,此版块的题干简洁、无需图示,从已有的研究报告看来正确率也是颇高.对学生感知热的能力的考查,实际上也是对物体传热能力概念的一种判断.

## 2.6 比热容部分

比热容的考查在第16~19题,比热容作为一个基本的概念,学生在初、高中及大学的学习里都有密切接触.16题中,在一装有水且绝热的水杯内放置加热器,一开始水温与室温一致.加热后,水温处于上升状态但未达沸腾,设热量以恒定速率传递到杯中,问热量传递时水的温度随时间变化的曲线是怎样的.答案设置了6个不同形状的温度曲线.17~19题依次改变16题中的一个条件,再与16题进行温度升高大小的比较,条件分别是:水质量相同热量转移了两倍、一半质量的水和相同的热量转移、质量相同热量转移也相同,但液体被更换为比热容仅为水的一半的物质.

可见,基于比热容概念的难理解程度,题目的设置十分详细.从已有研究报告而言,4个题目的正确率不算太高,究其原因是对基础概念的错误理解,如

传热速率概念等。

## 2.7 相变部分

对相变的考查集中在第20~25题中,是量表中题目数量最多的部分。在完全隔热的水杯中放入质量均为50 g的冰和水,最初杯内温度处于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,室温为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在杯中放置加热器,对混合物一直进行搅拌,热以稳定的速率传递。以此选出冰正在融化但还未全融、冰已经全部融化、冰完全融化了但液体还未沸腾与液体已经沸腾的4种情形下的温度变化曲线。另有一题则是询问3壶开水,分别是剧烈沸腾、沸腾许久、微弱沸腾3种情形,问哪一壶的温度是最低的,或者你是否认为它们的温度相同。

相变过程较为复杂,此部分错误率很高。多数学生表示不理解这段时间内温度变化的概念,一些学生认为冰在融化、水在沸腾时,温度会改变,能量用来改变温度,这也表明学生对相变概念的理解情况不尽人意。

## 2.8 导热性部分

最后,导热性能相对应的题目是第26~28题。题目给出6根完全相同且侧面隔热的金属杆,它们两端的温度差异不同(图4),试问哪一根金属杆热流动的速率是最慢、哪一根金属杆又是最快、哪一根杆热流动速率与杆A相同,或它们的速率都一样。学生解答这一部分的正确率是比较高的,整体情况较好,少数学生不能选出正确答案甚至认为它们材料相同热流动速率也是相同的。

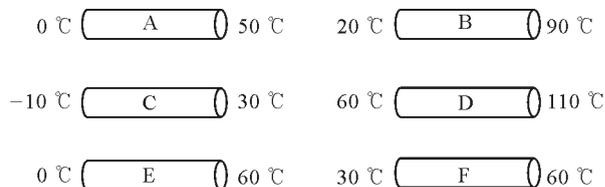


图4 导热系数题目图示

## 3 国内外研究状况

HTCE量表的研发历经数年,早期研究主要集中在对学生关于热与温度的理解和认识,Lewis等人于1994年调查发现,多数人将知识孤立成“学校知识”和“日常知识”,持有许多不正确的直觉观念<sup>[1]</sup>。1995年Thomaz等人的研究表明,对热与温度

概念的错误认识表现在5个方面:

(1)认为热量是一种存在于物体中的物质,而且教科书有时候还会加强这种观点。

(2)不能区分温度与热量,认为温度是热量的量度。

(3)将对物体的体感知觉与温度混淆,认为不同的体感对应不同的温度。

(4)认为加热总能导致物体的温度升高,不认为物质两相转变过程中的温度是物质的一个特性。

(5)对加热过程中的相变温度认识存在错误理解等<sup>[14,15]</sup>。尽管该结论是对小学生调研后得到的,但其大部分观点也为诸多未学过科学的大众所持有。

在此研究基础上,Thorton与Sokoloff于2001年共同研制了本文所述的量表——HTCE,为研究学生对热与温度概念的理解提供了一个有力的测量工具。而同年Shelley Yeo和Marjan Zadik在对已有文献进行总结之后,设计了热力学概念测试题,简称为TCE<sup>[10]</sup>。2006年有研究提出另外一份类似的问卷HTCT<sup>[11]</sup>(Heat and Temperature Concepts Test),在该文中,作者列出了19个常见的学生所持有的有关热与温度的迷思概念,除了前面提到的5点外,还有诸如:两液体混合,末温为混合前两液体温度之和;相同环境下,液体温度比固体低;温度依赖于物质的量的多少,等等。不过HTCT的应用性没有HTCE广泛。总体来说,TCE与HTCE属同一范畴,考查内容大致相同,但各有千秋。如TCE比较关注学生有关热与温度的日常经验,而HTCE有3个问题考查了温度随时间变化的关系图,而TCE则没有这方面的图。HTCE量表在国外多所大学超过1000名学生中进行过测试,信效度较好,且应用研究还在持续增长中<sup>[4,7,9,12,16]</sup>。

关于物理教学中学生的“相异概念”以及转变的研究,我国主要集中在力学和电磁学部分,对于热学相异概念方面的研究很少<sup>[9]</sup>。由此HTCE量表在我国对热与温度概念的研究方面有极大的运用空间,利用HTCE考查我国学生在学习热与温度概念的情况,通过对相异概念的特点和形成过程分析,找出学生学习困难的原因,可更好地促进学生此方面

知识的掌握,提出相应的教学方法及策略。

#### 4 教学实验与启发

我们在2020年春季学期伊始利用HTCE中文版问卷在《热学》课程上对本校2019级物理系本科生(物理学师范51人,应用物理学55人)进行过测试,其结果如图5所示。

为了比较,我们列出施测对象为国外大学物理

系或理工科学生的结果(图6),图6(a)和图6(b)分别摘自文献[12]和[7]。从图可以简单地得出两点结论:一是国内学生平均得分要高于国外学生,二是尽管8个版块得分有所差异,但正确率的趋势比较类似,特别是最高分和最低分所在版块没有差异,这说明关于热与温度的迷思概念,在国内外的学生中具有相通性。当然,这个数据的样本只来源于个别学校的学生,只能管中窥豹,不具广泛的代表性。

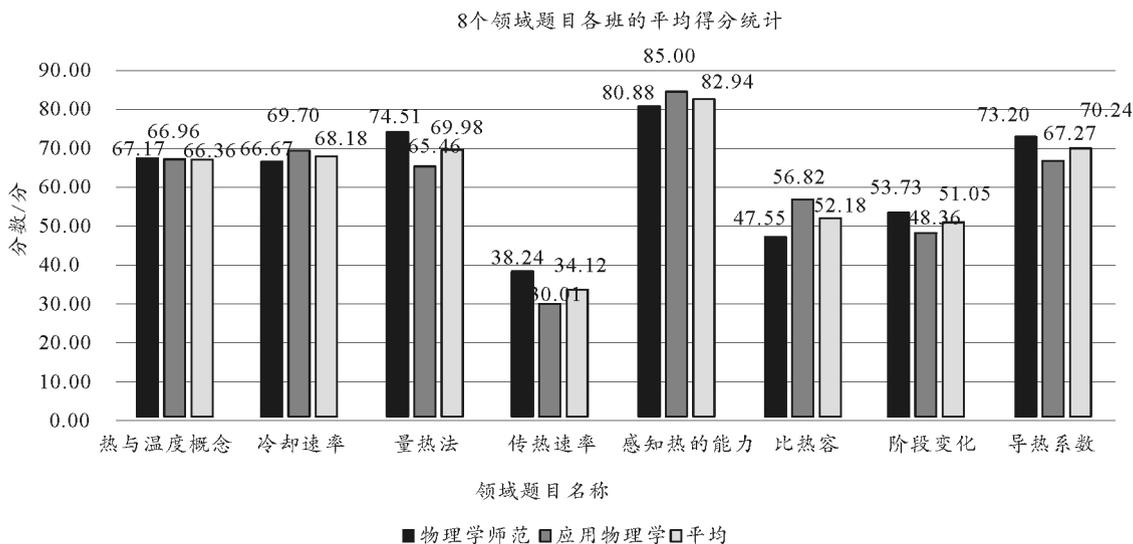
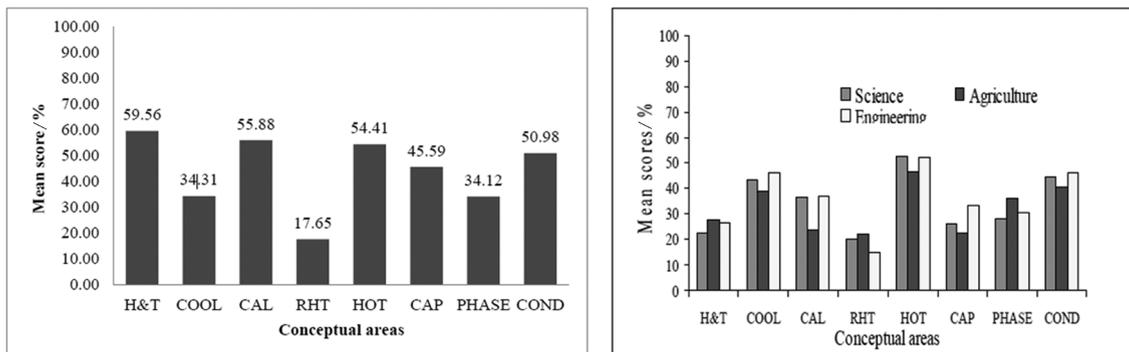


图5 笔者2020年春季学习的测试结果



(a) Students mean scores in each conceptual area

(b) Mean scores in each conceptual area for the different student groups.

图6 国外某校的测试结果

#### 5 结束语

本文详细介绍了一个热与温度概念评估的量表:HTCE,并对其近年来的研究作了综述,简单叙述了其类似量表(TCE,HTCT)的异同,并将笔者课上的初测结果与国外的结果进行了简单的比较。后续需要结合课堂教学模式的改革,基于教学实

验的前后测试结果,进行更细致的数据分析和研究。

笔者关于热与温度概念评估量表的介绍以及分析和研究,其目的是充分了解学生对热与温度、比热容及相变等相关概念理解掌握的程度,从而发现问题,以此为准制定更合适和有效的教学计划,在教学过程中更有针对性地强调热与温度、比热容及相变等相关概念的区别和联系,促使学生突破难点,收到

更好的教学效果。

### 参考文献

- 1 Redish E F. Teaching Physics with the Physics Suite[M]. John Wiley & Sons, Inc. 2003
- 2 R. K. Thornton, D. K. Sokoloff. Heat and Temperature Conceptual Evaluation, physport.org, 2001
- 3 Eileen L. Lewis, Marcia C. Linn. Heat Energy and Temperature Concepts of Adolescents, Adults, and Experts; Implications for Curricular Improvements [J]. Journal of Research In Science Teaching, 1994, 31(6):657 ~ 677
- 4 梁树森. 促进概念变化的物理教学[J]. 物理教师, 2005, 26(4):3 ~ 5
- 5 柳福提. 热与温度的错念分析[J]. 高师理科学刊, 2006(04):100 ~ 102
- 6 Michael Shayer, Hugh Wylam, The development of the concepts of heat and temperature in 10 ~ 13 year olds[J]. Journal of Research in Science Teaching, 1981, 18(5):419 ~ 434
- 7 C. Tanahoung, R. Chitaree, and C. Soankwan, Surveying introductory physics students understanding of heat and temperature[J]. Thai Journal Physics, 2008, 165 ~ 166
- 8 Budiarti I S, Suparmi, Sarwanto, et al. Students' conceptual understanding consistency of heat and temperature[J]. Journal of Physics Conference, 2017, 795:012051
- 9 王利珊. 初中生学习热量和温度概念的研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2015
- 10 Shelly Yeo and Marjan Zadnik. Introductory thermal concept evaluation: assessing students' understanding[J]. The Physics Teacher, 2001(39):496 ~ 504
- 11 Mustafa Baser. Effect of Conceptual Change Oriented Instruction on Students' Understanding of Heat and Temperature Concepts[J]. Journal of Maltese Education Reserch, 2006(4):64 ~ 79
- 12 Nugraha, Dewanta Arya, Suparmi, A, Winarni, Retno and Suciati, Students' profile of heat and temperature using HTCE in undergraduate physics[J]. Journal of Physics Conference Series 909(1):012059(2017)
- 13 [https://www.physport.org/assessments/assessment.cfm? I = 16 & A = HTCE](https://www.physport.org/assessments/assessment.cfm?I=16&A=HTCE)
- 14 Marilia F Thomaz et al, An attempt to overcome alternative conceptions related to heat and temperature[J]. Physics Education, 1995(30), 19 ~ 26
- 15 张军朋, 茹秀芳. 国外关于学生对温度和热量概念理解研究进展[J]. 物理教师, 2004, 25(1):50 ~ 52
- 16 Indah Slamet Budiarti, Suparmi, Sarwanto and Harjana, Students' conceptual understanding consistency of heat and temperature[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2017(795):012051

## Introduction and Analysis on Assessment (HTCE) Scale of Heat and Temperature Concepts

Tang Li Wang Yonghong Tang Xinyi Tao Xueyan

(Department of Physics, Shanghai Normal University, Shanghai 200234)

Fang Wei

(Department of Physics, Shanghai Normal University, Shanghai 200234;

Shanghai Key Laboratory of Galaxy and Cosmological Analysis, Shanghai 200234)

**Abstract:** HTCE (Heat and Temperature Conceptual Evaluation) is research-based survey aimed to measure students' understanding of the concepts of Heat and Temperature. This research-based assessment includes the examination of the concepts of heat and temperature, cooling rate, Calorimetry, Rate of heat transfer, Perception of hotness, specific heat capacity, change of phase and thermal conductivity. It has been widely used in foreign physics education research since its publication, but no application and research in China. This paper introduces the HTCE assessment in detail, summarizes the research progress in recent years and compares our results in thermal physics course with the result from other countries. We hope to introduce a measuring tool and improve the teaching research for the majority of physics teachers and physics teaching graduates.

**Key words:** HTCE; heat and temperature concepts; thermal physics teaching; assessment