



从 HPS 中寻找电容器及电容概念困惑的答案

金杰克 邢红军

(首都师范大学教师教育学院 北京 100048)

(收稿日期:2023-03-03)

摘要:基于 HPS 视角,将电容器及电容的概念教学分为 4 个阶段,即器具诞生的目的、器具所具有的普适结构、器具特性的量度、器具的现实应用。借由挖掘物理学史、探讨物理本质与拓展现实应用 3 个途径,贯通电容器及电容的社会和物理两个层面,做到“从生活走向物理,从物理走向社会”。

关键词:HPS;电容器;电容;教学设计

HPS(history and philosophy of science) 是科学史和科学哲学的简称。在 20 世纪 60 年代科学史与科学哲学开始交融在一起,进而形成了 HPS 这一领域。彼时西方科学哲学的两大主题便是科学本质与科学方法^[1],而这恰好契合了现代物理教育的核心内容。2022 年义务教育物理课程标准^[2]的课程理念中提到“从生活走向物理,从物理走向社会”——强调以具体事实、鲜活案例、生活经验和基本概念等引导学生进行理性思考。在物理教学中引入 HPS 不仅是一个很好的切入点,还有助于学生把握知识的来龙去脉、领悟思想方法、理解物理本质和促进深度学习^[3]。

现阶段的高中物理教材中对于电容器的介绍和讲解未能准确地建立电容器的本质认识,还缺乏对于电容器本身技术应用的拓展。简略的描述使得学生对于电容器这一重要电学原件的概念往往是“云里雾里”,不仅无法建立清晰准确的物理概念,而且无法深刻地理解电容器对于电学和科学技术发展的重要性。同时,电容器概念的模糊也会使得电容概念失去前概念以及现实依托,成为“空中楼阁”般的概念存在。

因此,本文立足于“体现物理学科本质”和“注重课程的时代性”的教学理念,基于 HPS 视角,阐述电容器及电容概念教学背后的教学逻辑,揭示电容器及电容概念的物理本质,旨在培养学生物理观念、科学探究等物理核心素养,以期对如今中小学中有关电容器及电容概念教学设计有所裨益。

1 现行教材教学逻辑分析

通过分析现行教材有关电容器及电容的相关内容可以发现:

(1) 电容器概念

人教版教材直接给出了常见电容器的内部构造,并将其定义为电容器。将这一特定的结构作为电容器的定义容易为学生理解其他结构的电容器产生障碍,使得学生产生类似于“为什么这样构造的才能叫电容器”等概念性困惑。同时这样的定义也是不符合其物理本质的,电容器这一概念的出现就是 18 世纪的科学家为了创造“能够储存电的容器”而产生的^[4]。

(2) 充放电试验

虽然通过电容器充放电实验能够让学生直观地了解到电容器“能够充电、放电”这一特性,但是理解实验所需的电路知识是电容器的后续内容。诚然学生在初中初步学习过电路的相关知识,但是由于时间间隔长,如果前概念不清晰准确,将不利于新概念的学习与建构^[5],同时这一实验很难为学生提供直观的感性认识作为理解电容器“能够储存电”的这一特性的基础。

(3) 电容概念

教材的普遍教学逻辑是基于两个实验事实——“一个电容器所带的电荷量 Q 与两极板之间的电势差 U 之比是不变的”与“不同的电容器,这个比值一般是不同的”,推导得到了这一比值代表了电容器储存电荷的特性,并将其命名为电容。而这样的推

论是有逻辑缺陷的,它无法回答“为什么这个比值就代表了电容器储存电荷的特性”。

2 HPS 视角下的教学逻辑设计完善思路

国外现阶段有较大影响力的 HPS 的教学模式主要有两种^[6]: 孟克和奥斯本(M. Monk & J. Osborne)的融入教学模式、马修斯(Matthews)的对话教学模式. 这两种教学模式各有各的优势,但相较国内传统教学模式差异较大,生搬硬套不仅不利于发挥原教学模式的优势,还容易适得其反,反而丢失我国教育对于物理概念和规律传授的优势. 基于 HPS 的理论思想,通过分析人教版教材中电容器的内容,探究总结了以下 5 个方面来完善其教学逻辑:

(1) 引入物理学史的相关内容,补足电容器本身诞生来源的解释与引入,建立电容器诞生的社会背景,进而阐释电容器的物理本质.

(2) 调整验证电容器“储电功能”的实验为直观的电火花放电现象.

(3) 阐释电容器储电特性本质的物理知识,建立电容器的科学合理性.

(4) 阐释物理量诞生的社会背景和当时的物理学界的学术共识,融入物理思想,建立电容概念的术语合理性.

(5) 引入电容的社会应用,建立电容器在科学上、在社会中的重要性.

本文将电容器及电容的概念教学设计分为 4 个阶段:(1) 器具诞生的目的;(2) 器具所具有的普适结构;(3) 器具特性的量度;(4) 器具的现实应用. 从物理学史角度来看,这 4 个部分分别代表了物理器具的 4 个发展阶段:概念构想、现实创造、器具规范化、现实应用. 从物理学的角度来看,这 4 个部分分别代表了电容器的社会背景、物理内核、科学方法和外延拓展——完整地践行了“从生活走向物理,从物理走向社会”的课程理念,示意图如图 1 所示.

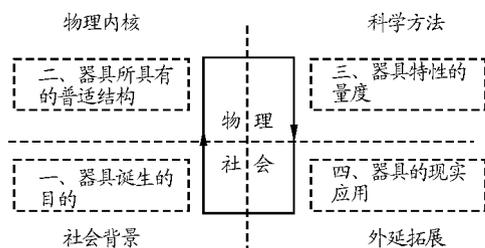


图 1 教学阶段及内容示意图

3 电容器及电容的教学设计

3.1 社会背景——电容器诞生的目的

“这个器具最初被创造出来是拿来干嘛的?”这是需要首先回答的问题. 许国梁先生对物理概念和规律的教学要求中提到了一个关键问题:“为什么要引入某个物理概念和研究某个物理规律?”^[7] 要想让概念不停留于书本而融入生活,就要明了概念为何而生. 在这一阶段,通过对电容器物理学史的梳理,既能很好地回答电容器的诞生动机,又有助于厘清电容器背后的物理本质.

1660 年,人类史上第一台摩擦起电机诞生了,由此,科学家们开始探索长久储存电的方法与容器. 1745 年,荷兰莱顿城的彼得·范·穆申布鲁克(Musschenbroek)等人发明电容器的最早雏形——莱顿瓶(Leyden Jar)^[8]. 而后在 1748 年,富兰克林(Franklin)详细研究了莱顿瓶,进一步发明了扁平电容器(类似于现代的平行板电容器). 在物理学界,电容器(condensers)这一术语由伏特(Volta)在 1782 年首次提出,用来描述一个设备储存比一个孤立导体更高电荷密度的电荷的能力^[9]. 后续由于易和蒸汽冷凝器(steam condenser)混淆而被弃用. 而后于 1926 年,英国推荐将电容器(capacitor)作为相应的术语^[10].

由这段有关电容器的物理学史可以看出,电容器这一术语在诞生之初指代的是设备能够储存高密度电荷的特性,而非教材所指的电容器构造. 沿用至今,电容器所代表的物理本质也未曾改变——储存比一个孤立导体更高电荷密度的电荷的能力.

“如何评判电容器到底有没有储存高密度电荷?”是电容器紧接着需要回答的问题. 相较于电容器在电路中的充放电实验,电容器放电时的电火花现象能够更好地回答以上问题. 电容器放电产生电火花是非常直观的物理现象,教师可以在安全的前提下,通过短接电容器放电进而产生电火花,由此证明电容器中确实存在着大量的电.

3.2 物理内核——器具所具有的普适结构

“为什么这样的容器能够储存电荷?”在教师阐释清楚器具的诞生动机之后,学生的探索动机便转变成更深层次的“为什么”. 电容器的结构是由两个电极及其间的介电材料构成的. 介电材料是一种

电介质,当被置于两块带有等量异性电荷的平行极板间的电场中时,由于极化而在介质表面产生极化电荷,遂使束缚在极板上的电荷相应增加,维持极板间的电位差不变.其实在中等教育阶段也可以解释清楚电容器背后的物理原理,但由于教材往往缺乏这部分内容的梳理,因此也导致部分一线教师对此无从下手.

学生在学习电容器之前往往已经学习了导体、

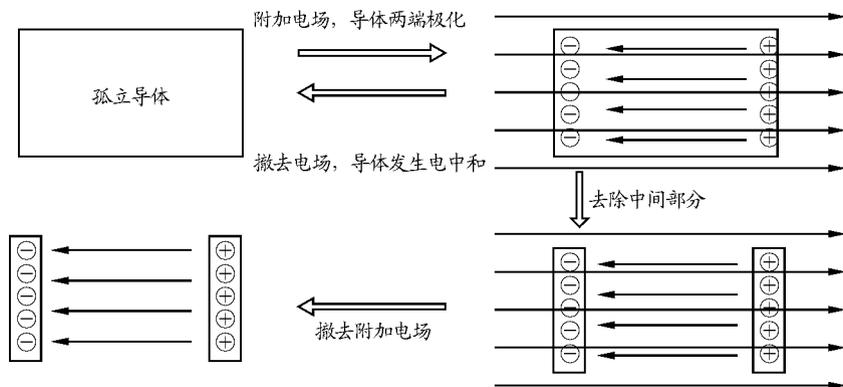


图2 电容器教学流程示意图

那么电容器之所以能够维持大量的等量异性电荷的原理其实就是两块极板之间的空气(绝缘体)阻碍了两块极板的电中和过程.如果此时将中间导体放回去,那么两块极板就会迅速发生电中和,也就无法储存大量异性电荷了,这也同时揭示了为什么电容器的两个极板之间的电介质往往要选用绝缘体.此时还可以进一步追问,无论电容器储存多少异种电荷,绝缘体都可以阻碍两极板间的电中和过程吗?并由此引出击穿电压的概念.基于以上电容器背后的物理原理的阐释,学生可以清晰地认识到电容器内容各个部分的结构分别承担了什么样的角色:极板——储存异种电荷;电介质——阻碍电中和过程;击穿电压——在一定的电势差下,电介质会被“击穿”,再也无法阻碍电中和过程,进而无法储电.

3.3 科学方法——器具特性尺度的量度

“这个电容器储存电荷的能力有多强呢?”正如量杯有容积、砝码有配重、筛子有孔径,科学家也需要一个量度来衡量电容器“储存高密度电荷”的能力,而这也直接引向了电容这一物理量的诞生——作为衡量器具(电容器)某一目标特性尺度(储存电荷的能力)的量度(电容).从物理学史的角度来看,电容这一概念经历了从物理概念到物理量的

绝缘体、电荷、电中和、电场和电势等概念.基于以上前概念,教师可以从孤立导体入手(图2)——如果在孤立导体上施加电场,导体两端会极化并聚集大量的等量异性电荷.如果此时去掉电场,那么导体内部会立刻发生电中和过程.但是,如果我们此时拿掉孤立导体的中间部分,将原孤立导体分割成两块导体板(极板),那么一个最简单理想的电容器就诞生了.

转变,在物理量阶段又经历了新单位到衍生单位两个阶段.

电容的最初发现是卡文迪什在电容器实验中的发现:对同一莱顿电瓶,“带电度”(指的是静电计的张角示数)与电量(摩擦起电机的摩擦转数)成正比;电量相同时,“带电度”与莱顿瓶的尺寸成反比.基于以上发现,卡文迪什用“电英寸”(inches of electricity)代表莱顿瓶储存高密度的电学特性,并制作了初步的度量器具.此时电英寸这一概念只是一个以标准球形莱顿瓶为基准的参照量度,并没有建立与以往物理概念间的联系.

直到1782年伏特发现 $Q = CU$ 这一规律,进而推导得了电容的定义式 $C = \frac{Q}{U}$.式中, C 为电容, Q 为电容器导体所带有的电荷量, U 为两极板之间的电势差^[11].由此,电容与先前物理量度间建立了联系,可以运用统一的物理语言来进行描述——电容是指在给定电位差(U)下电容器内自由电荷的储藏量(Q),进而引申为表现电容器容纳高密度电荷本领的物理量.

从科学哲学角度,亚里士多德曾对质和量有过如下阐释:“性质:实体得以成为某个实体,取决于实体的性质;数量:同类实体累积的多少问题,即表现

为实体的数量。”^[12] 在电容器中,器具能够储存高密度电荷是其具备的性质,也因此得以被称为电容器。电容这一物理量从属的物理规律是:在电容器不变的情况下,电容器所储存的电荷量 Q 与两极板间的电势差 U 是成正比的。物理规律的构成往往是“规律的限定条件+规律的数学形式”,前者表达其适用范围,后者表达其数学特征,其中规律的限定条件表明了这一规律和适用范围之间的从属关系,也暗示了由这一规律引出的物理量与其限定条件间的关系。这一规律的限定条件是“电容器不变”,表明了这一规律是受到电容器这一器具的支配,而这往往也可以诠释为由电容作为两者的比值是电容器物体本身的一种属性特征。

3.4 外延拓展——器具的现实应用

2022年义务教育物理课程标准中明确提出了要培养学生的科学态度与责任,其中包含“初步认识科学本质,体会物理学对人类认识深化及社会发展的推动作用”。在这一阶段,通过展示描绘电容器对于科学领域和社会生活中的重要作用,能够帮助学生认识电容器对于科学与社会发展的重要性。

在与教材相关的闭合电路中,电容器具有隔断直流、连通交流、阻止低频的特性,可以广泛应用在多种场合^[13]。在中等教育阶段,学生容易理解是储能功能——在如图3的闭合回路中并联电容,可以实现小灯泡的缓慢熄灭和缓慢亮起。

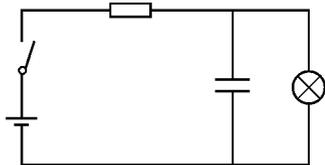


图3 电路示意图

此外,电容器在日常生活中的方方面面都扮演着重要的角色,例如照相机中的闪光灯等。还有研究前沿的超级电容器,它比同体积的电解电容器容量大2 000~6 000倍,功率密度比电池高10~100倍。它能够用做内燃机中启动电力、太阳能电池辅助电源,甚至还应用于航空航天等领域^[14]。

4 教学启示

本文基于HPS视角,在教学设计中阐述了电容器及电容概念教学背后的教学逻辑,揭示了电容器

及电容概念的物理本质,相对完善地从社会和物理两个层面构建了电容器及电容概念的4个环节。在这一教学设计中,HPS作为一种有别于传统物理教育模式的教学视角,其中有很多值得现代教育借鉴的理念与思想。在物理教育中融合社会和物理两者的视角,从科学史实和社会背景出发,挖掘物理概念诞生的社会动机,而后以物理本质和科学方法为要点组织物理概念教学,最后拓展至社会应用的教学设计模式对于物理其他概念教学应当是有些许参考借鉴意义。

参考文献

- [1] 李章印. 科学的本质与追思——海德格尔的历史性分析[J]. 哲学研究, 2005(8): 82-89.
- [2] 中华人民共和国教育部. 义务教育物理课程标准(2022年版)[S]. 北京: 人民教育出版社, 2022.
- [3] 任虎虎. 基于HPS促进高中物理深度学习的教学探索——以人教版新教材“电磁感应现象及其应用”教学为例[J]. 物理教师, 2022, 43(11): 21-24, 28.
- [4] 冯天树. 电学发展初期几个基本概念的起源探讨[J]. 大学物理, 2018, 37(11): 32-36.
- [5] 高天虹, 魏智芳. 奥苏泊尔“有意义言语学习理论”对课堂教学改革的启示[J]. 中国电力教育, 2007(7): 65-67.
- [6] 袁维新. HPS教育: 一种新的科学教育范式[J]. 教育科学研究, 2010(7): 48-51, 55.
- [7] 许国梁, 束炳如. 中学物理教学法[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999: 119-126.
- [8] 宋德生. 电磁学发展史[M]. 南宁: 广西人民出版社, 1987.
- [9] Duff, Wilmer. *A Text - Book of Physics* [M]. 4th ed. Philadelphia: P. Blakiston's Son & Co, 2001.
- [10] British Engineering Standards Association. *British Standard Glossary of Terms in Electrical Engineering* [M]. UK: C. Lockwood & Son, 1926.
- [11] Ulaby F T, Michielssen E, Ravaioli U. *Fundamentals of applied electromagnetics* [M]. 6th ed. Boston: Prentice Hall, 2010.
- [12] 冯契, 徐孝通. 外国哲学大辞典[M]. 上海: 上海辞书出版社, 2008.
- [13] 梅砚君. 电容器的种类及用途[J]. 实验教学与仪器, 2011, 28(12): 26-28.
- [14] 陈英放, 李媛媛, 邓梅根. 超级电容器的原理及应用[J]. 电子元件与材料, 2008(4): 6-9.