



# 高中物理“闭合电路欧姆定律” 认知负荷分析及教学设计

李林静 钱长炎 谭小凤

(安徽师范大学物理与电子信息学院 安徽 芜湖 241002)

(收稿日期:2022-03-02)

**摘要:**“闭合电路欧姆定律”是高中物理电学内容的重要组成部分.然而,学生在学习过程中,认知负荷往往较高,学习效果不尽人意.如何在教学中降低学生的认知负荷,促进学科核心素养目标的实现,无疑又是一个新的课题.因此,基于认知负荷理论,对“闭合电路欧姆定律”这节内容进行了分析,并在该理论指导下进行教学设计,旨在减少学生的外在认知负荷,增加关联认知负荷,以期为新时期的高中物理课堂教学提供一些有益的参考.

**关键词:**闭合电路欧姆定律 认知负荷理论 教学设计 物理学科核心素养

“闭合电路欧姆定律”不仅是部分电路欧姆定律的延伸,还是整个电路部分的中心内容,更是学生学习复杂电路分析的基础,在整个电路知识体系中起着承上启下的重要作用.如何在学科核心素养目标的指导下,促进学生对于“闭合电路欧姆定律”的理解,一直以来备受广大物理教育研究者和高中物理教师的关注.

认知负荷理论是在现代认知心理学研究的成果基础上提出的一种促进教学设计的理论,致力于根据工作记忆的特点开发和优化教学程序.因此,教师可以将认知负荷理论应用于“闭合电路欧姆定律”教学的主要环节中,通过创设问题情境、类比建构支架、设计探究实验和教学样例等一系列教学活动,从而减轻学生的认知负荷,提高教学的有效性.

## 1 认知负荷理论概述

认知负荷理论是由澳大利亚教育心理学家约翰·斯威勒(John Sweller)于20世纪80年代首先提出,他认为认知负荷是指个体在信息加工和处理的过程中,在一个特定的作业时间内施加于个体心理系统的心理活动总量<sup>[1]</sup>.学习者在学习过程中的认知负荷主要有3种来源:内在认知负荷、外在认知负

荷和关联认知负荷<sup>[2]</sup>.3种认知负荷彼此独立且具有累加性,可以叠加构成总的认知负荷,认知负荷的横向分类图如图1所示.

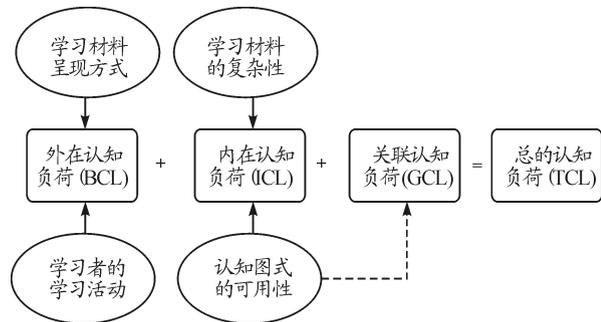


图1 认知负荷的横向分类

内在认知负荷由学习材料的复杂程度决定,当学习材料具有高元素交互性而学习者又未充分掌握适宜的图式时会出现较高的内在认知负荷.外在认知负荷由学习材料的呈现方式和学习者需要参与的学习活动决定,教学材料不恰当呈现方式以及不合适的教学活动都会导致外在认知负荷增加.关联认知负荷是指与促进图式构建和图式自动化过程相关的负荷.因此,有效教学设计应基于学习者的认知规律,尽量减少外在认知负荷,同时增加关联认知负荷,并且将总的认知负荷控制在学习者工作记忆所能承载的范围之内<sup>[3]</sup>.

## 2 高中物理“闭合电路欧姆定律”认知负荷分析

根据认知负荷理论,学生在学习“闭合电路欧姆定律”这节内容时往往困难重重,具有较高的内在、外在认知负荷.究其原因,主要体现在以下4个方面:

(1) 电动势、内阻和非静电力等物理概念较为抽象,学生在学习时对内电路认识模糊,对电源内阻的存在感到困惑,对非静电力做功的过程难以理解<sup>[4]</sup>.因此,这是源于知识本身的内在认知负荷.

(2) “闭合电路欧姆定律”的推导过程囿于数学形式的表征,需要运用焦耳定律和能量守恒定律进行推导,并通过演绎推理得出结论,学生难以深入理解“闭合电路欧姆定律”的本质,具有较高的外在认知负荷.

(3) “闭合电路欧姆定律”是一个基于实验的科

学发现的过程,并非是一个演绎推理的结果<sup>[5]</sup>.然而,教科书中没有设计相关的探究实验,学生缺乏直接经验感知和相应的认知过程,这显然会影响学生的学习效果.

(4) 教科书中没有编排相关的教学样例,学生缺乏存储在长时记忆中的问题解决的图式,不能熟练运用“闭合电路欧姆定律”解决问题,学生处于被动学习状态,进而无法增加关联认知负荷.

## 3 高中物理“闭合电路欧姆定律”教学的主要环节及实施建议

根据上述对高中物理“闭合电路欧姆定律”认知负荷的分析,我们结合学生已有的认知结构以及工作记忆的特点,对“闭合电路欧姆定律”一节内容的教学流程设计如图2所示.

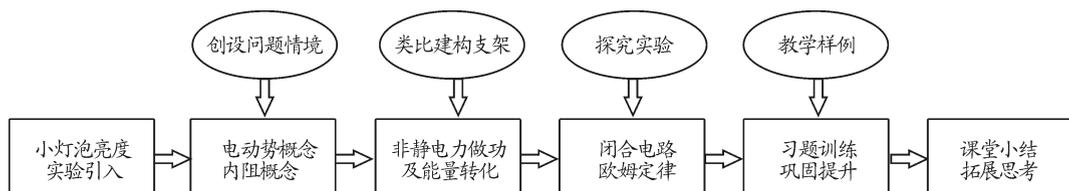


图2 高中物理“闭合电路欧姆定律”教学流程图

### 3.1 创设问题情境 引入电动势和内阻的概念

在义务教育阶段,学生已经学习了部分电路的欧姆定律,掌握了电压、电流和电阻的概念.然而,学生存在着错误的前概念,认为电源无内阻,电动势就是电压<sup>[6]</sup>.为了改变学生错误的前概念,教师可以创设问题情境,使学生产生认知冲突,激发学生的学习动机,掌握电动势和内阻的概念.

**问题情境:**教师设计了如图3所示的3个实验教具,其中图3(a)的电源 $E_1$ 为两节全新的1.5 V干电池串联组成电池组,图3(b)和(c)的电源 $E_2$ 和 $E_3$

均为3 V的恒压电源,小灯泡的额定电压均为3 V.教师依次闭合图3(a)和(b)中的开关,小灯泡的亮度逐渐变暗,电压表 $V_1$ 和 $V_2$ 的示数减小.依次闭合图3(c)中的开关,小灯泡的亮度不变,电压表 $V_3$ 的示数不变.这引发了学生激烈的讨论,并猜想原因.

学生猜想:图3(a)的电源 $E_1$ 内部存在着一个类似于图3(b)中的电阻 $R$ ,当逐一闭合支路开关,小灯泡两端的电压减小,因此小灯泡会逐渐变暗.图3(c)的电源 $E_3$ 相当于一个理想电源,因此小灯泡的亮度不变.

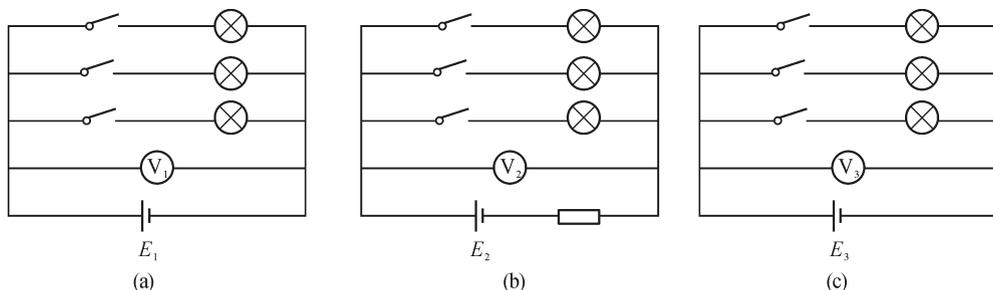
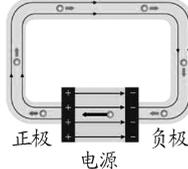


图3 小灯泡亮度实验电路图

**设计意图:**问题情境能够帮助学习者在较为真实的情境中解决问题,激发学生持续探索的兴趣,唤醒学生长时记忆中的有关图式或知识,完成对知识的意义建构<sup>[7]</sup>.教师可以通过该实验,引入内阻和电动势的概念,使学生较为直观地感受到电源内阻的存在,减少了外在认知负荷,培养了学生的科学思维,提高了学习效率.

表 1 3种做功情况过程分析及能量转化

名称	小朋友搬运小球	人工瀑布	闭合电路
图片			
过程分析	为了保持总有小球从楼梯滑下,小朋友需要不断地将小球从地面搬到滑梯上	为了保持人工瀑布的水能一直流动,小朋友需要不断地将水从低处搬到高处	电源内部存在着一个与静电力方向相反的非静电力,推动正电荷不断地向正极移动
能量转化	小朋友克服重力对小球做功,小球重力势能增加	小朋友克服重力对水做功,水的重力势能增加	非静电力克服静电力对电荷做功,电荷的电势能增加

在学习本节内容之前,学生已经熟悉静电力做功,也很熟悉功能关系,对非静电力做功较为陌生<sup>[8]</sup>.因此,教师可以先讲授学生较为熟悉的小朋友搬运小球的能量转化过程和人工瀑布的工作原理,再引出非静电力的概念,重点分析非静电力做功与电势能的变化,非静电力做功与其他形式能量的变化.

**设计意图:**教师通过类比建构支架,旨在唤醒、激发学生投入与图式建构和图式自动化相关的认知活动,在一定程度上增加了学生的关联认知负荷,帮助学生理解非静电力做功与其他形式能量的变化,培养学生的能量观念.

### 3.3 通过实验探究 理论推演“闭合电路欧姆定律”

通过上述学习,学生已经掌握了内阻、电动势的概念以及非静电力做功的过程和特点.有研究者指出,教师可以通过重新设计实验、精简实验步骤,从而减小外在认知负荷,加深学生对物理概念和规律的理解<sup>[9]</sup>.因此,教师可以自制实验装置,师生共同探究,建立“闭合电路欧姆定律”,帮助学生理解定律的内容和数学表达式.

### 3.2 类比建构支架 探究非静电力做功及能量转化

通过上述的实验,学生已经初步了解了电动势和内阻的概念,但是学生在理解电源内部非静电力做功仍存在一定的困难,具有较高的内在认知负荷.教师可以类比建构支架,结合表 1 帮助学生理解非静电力的概念、非静电力做功的过程和特点.

我们参考了已有研究者设计的实验装置,并在此基础上进行改进,如图 4 所示<sup>[10]</sup>.

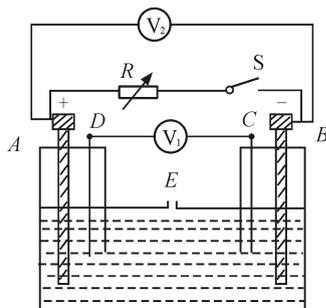


图 4 可乐电池结构图

首先,教师可以将全班学生分为几个小组,请小组学生相互交流并猜想闭合电路内电路电压和外电路电压的关系.然后,通过调节电阻箱改变外电阻,通过  $E$  向  $C, D$  板间的液面吹气改变内阻.多次重复实验,引导学生观察电压表  $V_1$  和  $V_2$  示数的变化并在实验数据记录表中记录数据.最后,由小组成员共同分析数据发现,电源的电动势等于闭合电路的内、外电压之和.在此基础上,启发学生利用部分电路欧姆定律,推演“闭合电路欧姆定律”,推演过程如下.

根据实验数据可得

$$E = U_{\text{外}} + U_{\text{内}}$$

由部分电路的欧姆定律可得

$$U_{\text{外}} = IR \quad U_{\text{内}} = Ir$$

因此

$$E = IR + Ir$$

整理后可得

$$I = \frac{E}{R + r}$$

学生在推演“闭合电路欧姆定律”时,教师要充分发挥学生的主体作用,使学生经历数据分析和基于证据发表见解等过程,培养学生归纳推理、合作交流的能力和实事求是的科学态度<sup>[11]</sup>.

**设计意图:**根据集体工作记忆效应,当学习材料的难度较大时,集体学习效果有可能会优于个体学习<sup>[12]</sup>.教师通过自制实验装置,进行实验探究,学生小组之间相互交流讨论,提高了学生的集体记忆.教师利用部分电路欧姆定律推演“闭合电路欧姆定律”,基于学生已有的认知结构,利用已有认知结构中的固着点,简化了数学推导的过程,减少了外在认知负荷,加深了学生对于“闭合电路欧姆定律”的理解.

### 3.4 设计教学样例 帮助学生巩固提升

根据可乐电池的探究实验,学生已经推导了“闭合电路欧姆定律”的表达式,但不能熟练运用定律解决问题.因此,教师可以通过典型例题,向学生展示完整的解题步骤,并设计变式题让学生进行训练,从而强化学生对“闭合电路欧姆定律”的应用,典型例题和变式例题如下所示.

**【典型例题】**在图5中, $R_1 = 9 \Omega$ , $R_2 = 5 \Omega$ .当单刀双掷开关S拨到位置“1”时,电压表的示数 $U_1 = 2.70 \text{ V}$ ;当S拨到位置“2”时,电压表的示数 $U_2 = 2.50 \text{ V}$ .求电源的电动势 $E$ 和内阻 $r$ (电压表内阻可视为无穷大).

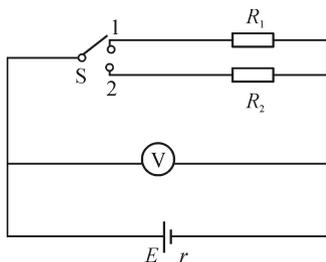


图5 典型例题电路图

教师解析过程:由闭合电路欧姆定律可得

当开关S拨到位置“1”时

$$E = U_1 + I_1 r = U_1 + \frac{U_1}{R_1} r$$

当开关S拨到位置“2”时

$$E = U_2 + I_2 r = U_2 + \frac{U_2}{R_2} r$$

以上两式代入数据并联立得

$$E = 3 \text{ V} \quad r = 1 \Omega$$

**【变式题】**在图6中, $R_1 = 14 \Omega$ , $R_2 = 9 \Omega$ .当单刀双掷开关S拨到位置“1”时,电流表示数 $I_1 = 0.2 \text{ A}$ ;当S拨到位置“2”时,电流表示数 $I_2 = 0.3 \text{ A}$ .求电源的电动势 $E$ 和内阻 $r$ .

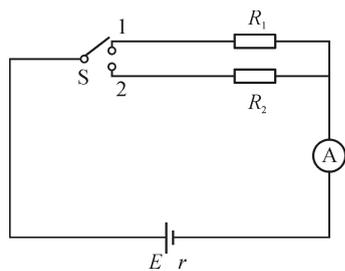


图6 变式例题电路图

学生解析过程:由闭合电路欧姆定律可得

当开关S拨到位置“1”时

$$E = I_1 R_1 + I_1 r$$

当开关S拨到位置“2”时

$$E = I_2 R_2 + I_2 r$$

以上两式代入数据并联立得

$$E = 3 \text{ V} \quad r = 1 \Omega$$

**设计意图:**根据样例效应,在处理复杂认知任务时,如果向学习者提供已经解答的问题样例,则能有效地提升学习者解决问题的能力<sup>[12]</sup>.教师通过样例的讲解,为学生提供了存储在长时记忆中的问题解决图式.学生在解答变式题时,通过教学样例有效地促进了知识的迁移和应用,增加了关联认知负荷,强化了学生对“闭合电路欧姆定律”的应用,促进了科学思维的发展.

### 3.5 课堂小结 拓展思考

在教师的引导下师生共同回顾本节课的内容,重点巩固总结电动势和内阻的概念、非静电力做功及能量转化、“闭合电路欧姆定律”的探究实验.此外,为进一步培养学生的科学思维,教师布置课后问

题启发学生思考:如何测量可乐电池的电动势和内阻?

#### 4 总结与启示

通过将认知负荷理论应用于高中物理“闭合电路欧姆定律”课堂教学中,提高了教学的有效性,减少了学生认知过程中的外在认知负荷,增加关联认知负荷以促进认知图式的生成,对于物理学科核心素养整体目标的落实起到了促进作用.同时,也为我国高中物理教学提供了新的教学思路.

首先,教师在教学设计中要充分考虑到学生的认知负荷,不能脱离实际情况去作一些“理想化”的教学设计.教师选择学习材料时,要充分利用学生已有认知结构中的固着点,一方面减少了外在认知负荷,另一方面有利于学生原有知识的巩固.

其次,教师要精简实验步骤,突出实验重点.课堂中演示的实验装置不宜太复杂,教师可以采用日常生活中常见材料制作实验仪器,激发学生的学习兴趣,加深学生对于物理概念和规律的理解.

最后,教师可以设计教学样例,促进知识的迁移和应用,为学生提供存储在长时记忆中的问题解决图式,从而增加了关联认知负荷,培养学生解决问题的能力,提高教学的有效性.

#### 参考文献

1 Sweller J. Cognitive Load during Problem Solving;

Effects on Learning[J]. *Cognitive Science*,1988, 12(2):257 ~ 285

2 Sweller J,Ayres P,Kalyuga S.*Cognitive Load Theory*[M]. New York:Springer,2011. 57 ~ 68

3 汪明,曹道平.基于认知负荷理论的有效教学设计研究[J].现代教育技术,2013,23(5):16 ~ 19

4 王治国.《闭合电路的欧姆定律》的教法研究与建议[J].物理教学探讨,2017,35(1):19 ~ 21

5 杨凤娟,郭玉英.运用物理学史方法建立闭合电路欧姆定律[J].物理教师,2013,34(3):11 ~ 14

6 刘娜,张玉峰.以人为本的课前学习诊断教学课例“电动势”[J].物理通报,2020(3):59 ~ 61,65

7 孙崇勇,李淑莲.认知负荷理论及其在教学设计中的运用[M].北京:清华大学出版社,2017. 41 ~ 43

8 廖伯琴.普通高中教科书物理必修第三册教师用书[M].济南:山东科学技术出版社,2020. 176 ~ 183

9 郑兰花,黄树清.认知负荷理论在物理实验教学中的运用[J].物理通报,2020(12):113 ~ 115

10 赖佳颖.“电源电动势和内阻、闭合电路欧姆定律”的教学优化[J].物理教学,2015,37(6):17 ~ 20

11 周胜林,钱长炎.核心素养目标下高中物理“闭合电路欧姆定律”教学设计及实施建议[J].物理教师,2020, 41(1):34 ~ 36

12 Sweller J, Van Merriënboer J J G, Paas F. Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later[J]. *Educational Psychology Review*, 2019, 31(2): 261 ~ 292

## Cognitive Load Analysis and Teaching Design of Ohm's Law of Closed Circuit in High School Physics

Li Linjing Qian Changyan Tan Xiaofeng

(School of Physics and Electronic Information, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241002)

**Abstract:** "Ohm's Law of Closed Circuit" is an important part of electricity content of high school physics. However, in the process of learning, the cognitive load of students is often high, and the learning effect is not satisfactory. How to reduce students' cognitive load in teaching and promote the realization of the subject's core literacy goal is undoubtedly a new topic. Therefore, based on cognitive load theory, this paper analyzes the section of "Ohm's Law of closed Circuit", and under the guidance of this theory, teaching design is designed to reduce students' extraneous cognitive load and increase their germane cognitive load, in order to provide some useful reference for the new period of high school physics classroom teaching.

**Key words:** Ohm's Law of closed circuit; cognitive load theory; the teaching design; core literacy of physics