

## 理工科大学物理教学研究回顾、反思与展望

罗莹<sup>1</sup> 刘兆龙<sup>2</sup> 韩思思<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 北京师范大学物理系, 北京 100875; <sup>2</sup> 北京理工大学理学院, 北京 100081)

**摘要** 本文回顾了理工科大学物理教学研究在过去 20 年间的发展历程, 并进行了反思与展望. 在过去 20 年间, 大学物理教学研究的发展和我国高等教育改革是息息相关的, 经历了起步与发展两个时期, 为物理教育研究的起步奠定了基础. 反思理工科大学物理教学研究, 与国际物理教育研究发展相比, 我国大学物理教学研究存在两个明显的问题. 一是研究领域过于狭窄, 基本上是从“教”的角度进行, 缺乏从学生的角度研究; 二是研究方法多采用论辩的定性研究, 缺乏实证的定量研究. 分析问题产生的原因可能是因为我国大学物理教学研究领域的研究主体、研究方法和研究资助体系与国际上不同引起的. 最后, 本文对大学物理教学研究的发展进行了展望.

**关键词** 大学物理; 物理教学研究; 物理教育研究

## REVIEW, REFLECTION AND PROSPECT: COLLEGE PHYSICS TEACHING RESEARCH IN PAST 20 YEARS

Luo Ying<sup>1</sup> Liu Zhaolong<sup>2</sup> Han Sisi<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Department of Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875;

<sup>2</sup> School of Physics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081)

**Abstract** This article reviewed and rethought the development of College Physics Teaching Research (CPT) in the past 20 years. The development of CPT is linked closely with the reform and development of higher education. There are two stages of CPT in the past 20 years, the start and development. Based on the reflection of the past 20 years, future development is proposed in Physical Education Research.

**Key words** college physics; college physics teaching research; physics education research

大学物理课程是我国高等院校理工科专业重要的必修基础课, 课程涵盖的基本概念、基本理论和基本方法是科技人才必备的科学素养的重要部分, 是培养和提高分析问题、解决问题能力的重要基础. 高校理工科专业必修的基础物理课程通常简称为“大学物理”, 因此与之相关的教学研究也被称为“大学物理教学研究”.

长期以来, 我国理工科基础物理课程的教学研究主要关注的是教学内容、教学体系、教材与教法等. 以大学物理课程的教学研究为主要内容的杂志, 包括 20 世纪 80 年代初创刊的《大学物理》(创刊于 1982 年)、《物理与工程》(1981 年创刊) 和《物理实验》(1980 年创刊) 等, 其刊登的研究论文绝大多数是以研究物理教学内容为主. 例如: 刚体

与质点碰撞实例分析、对简谐波能量的讨论等等. 它们是以具体的物理内容为研究对象, 研究的主题和关键词均是物理概念或规律等. 这类研究是大学物理教学的基础, 也是提高教师的物理专业素养的需要. 但仅有这些研究是远远不够的, 还需要另外一类重要研究. 它们以物理教学为研究对象, 研究主题与大学物理课程教学相关, 关键词多为大学、物理、教学或教育等. 这类研究关注理工科、特别是工科, 基础物理课程体系、教学方法和教材等等, 其目的是探索适合的、最佳的课程体系和教学设计, 以确保基础物理课程的教学质量. 本文中的“大学物理教学研究”特指这类以物理教学为研究对象的大学物理教学研究. 它们是理工科大学物理教学中不可缺少的重要组成部分,

收稿日期: 2016-04-08

基金项目: 获北京师范大学教学改革项目: “双重预警、网络交互教学模式在大学物理教学中的应用研究”、未来教育高精尖创新中心项目支持.

作者简介: 罗莹, 女, 副教授, 主要从事物理教育测量与评价研究. luoying@bnu.edu.cn

引文格式: 罗莹, 刘兆龙, 韩思思. 理工科大学物理教学研究回顾、反思与展望[J]. 物理与工程, 2016, 26(4): 112-117.

也是基础物理教学实现课程目标的重要保障,更是提升教学质量的重要支撑。

在高等教育成为大众教育的今天,理工科大学知识结构变得更加多样化、需求也更加多元化,如何保证和提高大学的教学质量,是每个学校和教师面临的挑战。对基础物理课程的培养目标、课程体系、教学方法等进行改革已成为亟需解决的重要教育研究课题。

为了使大学物理教学研究能够真正为物理教师和学习大学物理的学生服务,赶上国际物理教育研究水平,有必要对大学物理教学研究进行梳理和总结、反思和展望,以提高我国高校理工科的物理教育研究的整体水平。

### 1 研究对象、方法及获得的数据

1994年教育部实施了“高等教育面向21世纪教学内容和课程体系改革计划”,促进了高等院校展开教育、教学改革。大学物理作为培养理工科人才至关重要的基础课程,开始了大规模、多方面的教学改革,与之相应的大学物理教学研究也开始逐步发展。为此,本文选择1995年作为研究的时间起点。

核心期刊与CSSCI期刊是目前认知度较高,学术界广泛认同,发文质量较高、具有较高代表性的学术刊物。因此,本文选择近20年来核心期刊和CSSCI期刊发表的大学物理教学研究方面的论文为研究对象。为了提高文献检索的查全率和查准率,需要选择正确的主题词和逻辑运算符<sup>[1]</sup>。因此,大学物理教学研究领域的关键词选择为“大学”“物理”“教学”。

将主题概念作为检索语言,其恰当的主题词是“大学物理教学”。为了提高查全率,避免文献被漏检,需要引入同义词和选择范围更广的上位词。将“大学”替换为同义词“高校”,将“教学”替换为“教育”,同时检索“教学”和“教育”,“大学”和“高校”,以扩大范围。这里需要注意的是不能将“大学”替换为“基础”,因为“基础物理”特指中学物理。如果将“大学”替换为“基础”,会使检索结果包含大量的中学物理研究内容。全面地检索文献,需要合理地表达主题词间的逻辑关系,为此本文用“大学、物理、教育”或“大学、物理、教学”或“高校、物理、教学”“高校、物理、教育”这样的组配检索,以保证高准确率的情况下避免漏检。

在中国知网中以“大学”或者“高校”“物理”“教学”或者“教育”为主题词进行检索,搜索到20年间来自核心期刊与CSSCI的论文1262篇。如果以“大学物理”“物理教学”和“高校物理教学”组合词为主题词进行检索,同样搜索这20年间的研

究论文,检索到的文章篇数少于1262篇,故选用前一种方式进行文献检索。将检索到的1262篇研究论文中排除与大学物理教学主题无关的文章还余635篇,经查阅确定,其研究主题均是大学物理教学。将635篇文章按每年发表的文章数目进行统计,其分布如图1所示。

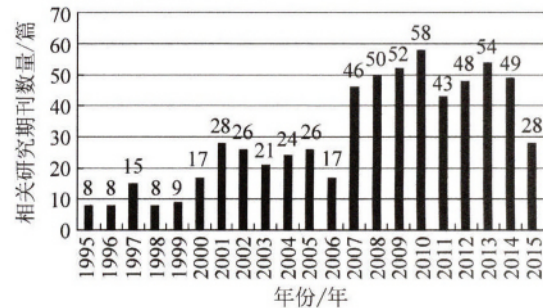


图1 1995—2015年期间,每年发表的文章篇数

图1显示,在1995—1999年期间,平均每年发表9.6篇文章,每年不足10篇。将这一时期看作大学物理教学研究的起步时期。在2000年以后进入了发展期,研究文章数量逐渐增多,可将其分为两个阶段。第一阶段是2000—2006年期间,这一阶段平均每年发表文章数为22.7篇。第二阶段是2007年至今,平均每年发表文章数为47.6。2015年11月内发表28篇,大学物理教学研究进入了快速发展时期。

论文的引用情况反映了学术研究的热点和方向。通常来说,受到关注较多研究方向的文章比较容易被引用,特别是在某个研究方向刚刚开始的时候。从这个意义上讲,文章的引用次数反映了该文章的重要性,可以代表文章的独创性,前瞻性以及影响力<sup>[2]</sup>。虽然文章的引用次数不能完全反映该论文的研究水平,但是没有更好的方法衡量论文的水平,在被引用次数为参考依据仍然是一种可行的评价方法。

在前面检索的基础上,对搜索到的论文以“被引用的次数”进行再次检索,结果显示被引用至少一次的文献有496篇(包括作者自引情况)。其中被引用的次数和发表文章的时间分布如表1所示。

表1 文章被引用的总次数和所发表的年份分布

文章发表期间	1995—1999	2000—2004	2005—2009	2010—2015
发表文章篇数	48	116	191	280
发表以来被引用1~5次的篇数	19	42	91	129
发表以来被引用6~10次的篇数	2	23	24	38

续表

文章发表期间	1995—1999	2000—2004	2005—2009	2010—2015
发表以来被引用11~15次的篇数	3	14	30	18
发表以来被引用16~20次的篇数	0	7	8	3
发表以来被引用21~30次的篇数	1	8	6	5
发表以来被引用31~40次的篇数	0	5	8	0
发表以来被引用41~50次的篇数	0	4	3	1
发表以来被引用51~60次的篇数	0	1	1	0
发表以来被引用61~70次的篇数	0	0	0	0
发表以来被引用71~80次的篇数	0	1	0	0
发表以来被引用81~90次的篇数	1	0	0	0
发表以来被引用91~100次的篇数	0	0	0	0
发表以来总被引用的篇数	26	105	171	194

表1中的数据 displays 大学物理教学研究在不同时期受到的关注程度,2000年以后大学物理教学研究的论文引用率和文章数量不断提高,越来越受到关注。

## 2 理工科大学物理教学研究回顾

前面的数据反映了从1995至2015年在高等教育的改革、大学扩招等时代背景下,大学物理教学研究发展状况。对以上的数据、及其对文章内容进行分析、结合高校发展情况,将这20年间大学物理教学研究发展过程分为两个时期。

### 2.1 第一时期:初始阶段(1995年—1999年)

1994年教育部实施了“高等教育面向21世纪教学内容和课程体系改革计划”以后,理工科必修基础课程,开始了大规模、多方面的教学改革。为了培养出满足社会现代化需要、未来需要的科技人才,中国物理学会教学委员会组织了就理工科基础物理课程教学的现代化组织了多次会议,围绕着理工科基础物理课的根本性任务进行讨论<sup>[3]</sup>。在大学物理教学中非常有影响力的赵凯华先生指出:“物理教育的目的不是为了服务于专业课,也不仅仅

是传授知识,它作为自然科学的基础,是希望培养学生科学素养。”讨论明确了理工科基础物理课的根本性任务是培养具有一定科学素质的高端人才。教师在重传授知识内容的同时,更应注重科学素养、科学方法的培养。授人以鱼不如授人以渔。

在1995—1999年期间,图1显示这一时期平均每年发表10篇左右论文。大学物理教学研究从对国内外成功的经验的梳理和总结开始,将着眼点放在了培养和提高科学素质和能力。在总结成功的经验<sup>[4,5]</sup>基础上,围绕大学物理课程培养目标和借助计算机辅助教学手段,如何提高学生的科技素质和实验动手能力进行了多项研究<sup>[6-8]</sup>,扬起了大学物理教学研究的风帆。

### 2.2 第二时期:快速发展时期(2000年至今)

2000年以后,数字化、信息化技术在我国迅速普及。由于当时许多教育先进的国家已将数字化技术应用在大学基础课的教学中。因此在2000—2006年期间,大学物理教学研究围绕着以计算机技术为核心的信息技术如何与工科基础物理课教学相结合进行展开。图1显示这个期间,平均每年发表22.7篇研究论文,比起步时期论文的数量增多了2倍多,这是大学物理教学研究发展时期的第一阶段。在第一阶段重点研究了物理实验教学的信息化和数字化。借助信息化技术物理实验出现在了以卫星电视和网络为手段的远程教育的大学物理课程中<sup>[9-10]</sup>。虚拟现实技术、网络管理系统等被引入了大学物理实验教学中<sup>[11,12]</sup>。研究比较了国内外大学物理实验教学<sup>[13,14]</sup>。为了提高学生实验动手能力,物理实验课程体系、教学模式、实验室建设与管理进行了一系列改革<sup>[15-17]</sup>。

至2007年,我国已约有1900多所普通高等院校,其中一半以上是扩招后新增加的,多数是中专提升上来的,这些学校在理念、制度、师资、设施等各方面准备都不足。大学在经历了“量变”之后,如何迎来质的飞跃是高校面临的严峻的问题。大学扩招也使得高等教育从精英教育走向了大众教育。伴随着高等教育的变化,大学物理教学研究进入了发展期的第二阶段。论文数量显著增长,首次突破百篇,图1显示2007年至2015年平均每年发表47.6篇研究论文,超过了第一阶段的2倍。与第一阶段相比,大学物理教学研究的范围更为细致、全面。

高等教育的大众化使得本科教育逐渐走向了通识教育。这一转变,导致了必修基础物理课时减少很多,因为在教学计划中增加了原来缺少的通识课。与此同时,理工科学生的物理基础和学习能力也变得差别非常之大。因此,如何建立合理的课程体系、进行有效的教学,以保证教学质量成为了教学研究的首要任务。大学物理教学研究在长期

教学实践积累的基础上围绕着课程体系的建设<sup>[18]</sup>、教学模式<sup>[19]</sup>以及实验教学创新<sup>[20-22]</sup>开展研究。

近 2 年来,大学物理教学研究出现了两个新趋势.一是国际上流行起来的大型网络开放课程也对我国产生了很大影响.2013 年 10 月教育部提出建设“两个 200 门”网络共享课程<sup>[23]</sup>,理工科的基础物理课程出现在了爱课程网络公开课平台中.二是国际上主流的、物理教育研究的方法——量化、实证研究,被逐渐流入我国的大学物理教学研究中<sup>[24-28]</sup>.

伴随着网络技术和国际主流研究方法的应用,大学物理教学研究将以网络技术和研究方法作为切入点,以大学物理教学为研究对象,采用量化、实证的方法,开始一个新的发展时期。

### 3 反思与展望

#### 3.1 存在问题

回顾 20 年来大学物理教学研究的发展历程,可以看到研究成果丰硕,尤其自 2000 年后进入了发展的快车道.但与国际先进大学物理教育研究水平相比,还存在明显不足,主要表现在两个方面:

(1) 研究领域过于狭窄,基本上是从“教”的角度进行,缺乏从学生的角度研究。

总结 20 年研究发展可以发现我国的大学物理教学研究是从课程目标、课程体系、教学方法;实验教学;数字化与信息化技术在教学中的应用等方面进行的.这些研究可以概括为是从教育者的角度出发,着重研究如何实现教学目标,其目的是如何更好地完成教学要求,满足人才培养需要.对于学生在学习物理过程中是如何“学”的,以往的研究几乎是空白.从学生的角度来看,现有的研究成果对其学习大学物理课程几乎没有帮助.与国际物理教育研究相比,我国大学物理教学的研究范围是非常狭窄,仅涉及了其中的少部分。

按照国际上流行的观点<sup>[28]</sup>,物理教育研究(Physics Education Research,简称 PER)是物理学与教育学间的桥梁,应对物理教师的“教”与学生的“学”的过程进行研究,其最终目的是了解学生学习物理的过程,分析学习物理困难的原因、促进和帮助学生物理.为了达到这个目的,物理教育研究的主要内容应包括:识别学生学习物理内容时的迷失概念与困难;设计并评估物理教学策略;开发基于研究和经过研究检验的物理课程;将物理教育研究、物理课程开发的成果应用于物理教学。

(2) 大多数的大学物理教学研究多是论证的定性研究,缺乏实证的定量研究

回顾近 20 年的发展,可以发现已往的大学物理教学研究大多数是基于长期的教学经验,采用

论证推理方法研究物理课程体系,教学体系、教学方法等,具有定性的、论证特征,具体表现在:研究对象个性强,取得的研究资料缺乏严谨研究设计,研究结果缺乏实验数据支撑.由于缺乏定量的、实证研究,导致大学物理教学研究成果的可重复性不好.这也是我国大学物理教学研究论文的引用率不高的原因之一。

在本文检索到的 635 篇论文中,仅有 496 篇被引用.表 1 中显示绝大部分论文被引用 1~5 次,占 496 篇的 57%;引用率最高没有超过 100 次,在 81~90 次之间仅有 1 篇.这是一篇 1995 年赵凯华先生发表的、题为“物理教育与科学素质培养”文章,至 2015 年其被引用 86 次.赵凯华先生在大学物理教学研究领域非常有影响力,但其论文的引用率与自然科学领域中论文的引用情况相比,却相差甚远.这种现象出现的原因其一是目前大学物理教学研究的主流研究范式——采用教育学中传统的定性、论辩的研究范式;其二是研究结果的可重复性差.这大大限制了物理教学研究成果的普及和推广,在一个大学取得了很好的教学效果的研究成果在另一个大学中的却有着诸多不适用。

反观国际上 PER 领域,其主流研究范式——用物理学的方法研究物理教育,量化与实证是其重要特征.量化研究是现代科学的重要特征,尤其是计算机、信息、网络技术的快速发展,各种统计程序应用的软件大量涌现,大大地方便和满足了教育研究者在研究过程中对数据分析的需要.量化的实证研究具有更高的信度和效度,具有更强的说服力,其研究成果可推广性好.例如:同伴教学虽然发源于美国的哈佛大学,但在其他许多大学都在使用<sup>[24]</sup>.

#### 3.2 原因解析

将我国大学物理教学研究的发展历程与走在国际前列的美国高校的 PER 发展历程<sup>[29]</sup>进行比较,我国大学物理教学研究领域与其最重要的差别表现在以下 3 个方面:

(1) 研究主体的不同.我国大学物理教学研究主体是讲授理工科基础物理课程的物理教师,他们主要的研究方向是物理学,而不是物理教学,物理教学是他们研究的副业,不是主业.反观 PER 处于高水平的美国,从事 PER 的人员虽然也是讲授大学物理课程的教师,但他们研究的主要方向是 PER.因为在美国,经过近 20 多年的快速发展 PER 已成为了物理学新兴的学科分支.美国大学也有完善的 PER 方向的研究生培养制度,PER 专业的学生获得的是物理学博士学位.这个专业培养的毕业生很受欢迎,他们既是专业的物理教育研究者,也是优秀的物理教师.在我国与物

理教育相关的专业被称为物理学教学论, 归属于教育学(一级学科)下属的科课程教学论(二级学科)专业的一个研究方向, 目前大多数研究人员主要研究中学物理教育. 可以说, 尽管我国高等学校学习物理的人数众多, 物理教师也不少, 但仍未形成专业的大学 PER 队伍.

(2) 研究方法不同. 由于我国大学物理教学研究队伍不能够、也没有专注于物理教学研究, 导致现有的研究大多数是在长期教学积累的基础上进行的定性论证研究, 很少使用国际上 PER 的主流范式. 量化实证研究需要对研究对象和过程进行客观、真实的观察与记录, 所获得的研究资料需要严谨研究设计, 研究过程不能随意变化, 研究结果需要实验数据支撑等. 这些要求对于教学研究来是需要花费大量精力和时间的, 是量化实证研究的效度与信度的保障.

由于研究范式与国际通用的不同, 也导致了尽管我国学习大学物理课程的学生人数众多, 但大学物理教学研究成果却不能与国家接轨.

(3) 研究的资助体系不同. 我国大学物理教学研究的经费基本上是教育部, 或学校布置分配的, 与自然科学研究中的资助体系完全不同. 这种从上到下的研究资助体系大大地限制了大学物理教师的教学研究. 目前大学物理教学研究对大学生学习物理的困难和如何获得物理能力很少关注. 大学的普通物理教师要想获得教学研究经费的资助非常困难, 即使少数教师获得学校的经费支持, 因研究项目的资助级别不高、评定职称时难以计入考核指标, 迫使教师不能专注于教学研究, 极大地限制了教学研究的积极性. 此外, 对教学研究论文的考核采用与科研论文相同的、SCI 收录标准, 而刊登大学物理教学研究论文的杂志(《大学物理》《物理实验》和《物理与工程》)也只在近些年才进入核心期刊, 更没有被 SCI 收录. 以上历史遗留的、科研体制上的弊端极大地限制了我国大学物理教学研究的发展, 以至于至今没有跨越到 PER 专业, 仍然停留在教学研究范围.

### 3.3 展望发展

20 年的发展历程显示大学物理教学研究发展与我国高等教育的改革是息息相关的. 今天, 我国社会、经济和科技的发展对高等教育质量提出了更新、更高的要求, 培养符合未来发展需求人才是高校刻不容缓的任务. 大学物理教学研究应向快速、深入发展.

纵观大学物理教学研究的发展, 可以看到要实现大学物理教学研究快速深入发展, 首先需要一支专业化的研究队伍. 借鉴美国的经验, 我国应鼓励大学在物理系中设立 PER 专业. 将 PER 划

归为一级物理学科下的二级学科, 让其成为物理学的一个新的研究专业. 大学物理教育将会受益于 PER 这个新兴的、严密的研究领域, PER, 会使物理教学质量得到提高.

其次, 提倡专业的物理教育研究者使用 PER 的、主流研究范式(物理学研究方法)研究物理教育, 提高我国大学物理教学研究成果的信度和效度, 增进其可重复性、可普及性和与国际同行的可交流性, 以便提升我国 PER 成果的水平.

第三, 为了使我国大学物理教学研究快速进入 PER 领域, 与国际 PER 发展保持一致, 在大学物理教学研究领域应采用与自然科学相同的管理体系, 特别是相同的资助体系. 将 PER 划归自然科学基金的资助范围. 因 PER 是物理学重要的组成部分, 物理学的发展离不开 PER. PER 的研究方法与物理学的相同, 其差别仅是研究对象不同. PER 的研究对象是人类的教育行为, 而物理学的研究对象是物质世界. 随着现代物理学不断发展, 今天物理学的研究对象已从无生命的物质世界扩展到人类社会, 例如: 金融物理出现. 同样 PER 专业也是物理学不断发展的体现.

他山之石, 可以攻玉. 美国 PER 的发展<sup>[29]</sup> 给我们提供了先进的经验. 美国物理学会 (APS) 早在 1999 年发表了“关于物理教育研究的声明”, 声明承认 PER 是成长中的研究领域, 支持美国高校的物理系设立 PER 研究方向. 此后, 美国自然科学基金的大力资助了 EPR 的研究. 据不完全统计, 2006 至 2010 年期间美国自然科学基金至少资助了 262 个 PER 项目, 经费约为 7250 万美元, 占 PER 总经费的 75%. 为了使 PER 在物理学科中拥有被公认的高水平研究成果, 美国物理学会与 AAPT 联手, 于 2005 年开始出版电子期刊《物理评论专辑——物理教育研究》(Physical Review Special Topics——Physics Education Research). 这个专刊的设立使得从事 PER 的教师能够得到正确的评价, 专注于 PER 方向的研究. 专业的研究队伍, 在有效经费的资助和高水平的成果展示体系下, 专注于 PER 是美国的 PER 在十几年的时间内迅速发展起来的核心要素.

时至今日, 我国物理教育研究如果能够走上专业的、学术化发展之路, 必然带动我国高等物理教育的迅速崛起, 使高等物理教育走上可持续发展之路, 进而促使教学质量、学生素质、能力的提高.

### 参 考 文 献

- [1] 李育端. 文献检索中提高查全率与查准率的方法探讨[J]. 图书馆学研究, 2002, 21(11):92-95.
- [2] 刘雅娟, 王岩. 用文献计量学评价基础研究的几项指标探讨[J]. 科研管理, 2000, 21(1):93-98.

- [3] 赵凯华. 物理教育与科学素质培养[J]. 大学物理, 1995, 14(8):2-6.
- [4] 沈克琦. 国立西南联合大学物理系——抗日战争时期中国物理学界的一支奇葩( I ) [J]. 物理, 1995, 24(3):179-187.
- [5] 牟其善. 美国中学物理教育考察研究[J]. 比较教育研究, 1995, 23(6):25-27.
- [6] 顾牡, 吴於人, 陈铭南, 等. 突出创新能力培养, 创建有特色的大学物理课程教学体系[J]. 高等工程教育研究, 2002, 20(2):9-11.
- [7] 王晓蒲, 霍剑青, 杨旭, 等. 大学物理仿真实验和教学实践[J]. 物理实验, 2001, 21(1):28-29.
- [8] 马秀峰. 大学物理多媒体 CAI 课件开发中的几个基本问题[J]. 电化教育研究, 1998, 5(6):170-173.
- [9] 王晓蒲, 霍剑青, 杨旭, 等. 大学物理虚拟实验的网络教学系统[J]. 物理实验, 2001, 21(5):19-22.
- [10] 洪延姬, 袁志国, 王明东, 等. “大学物理网络教学系统”网络课程内容简介[J]. 大学物理, 2001, 20(3):39-42.
- [11] 葛智勇, 殷洁, 杨茂田. 大学物理实验网络辅助课件的设计与开发[J]. 中国远程教育, 2002, 22(3):53-54.
- [12] 卢宇, 陈宏敏, 赖恒, 等. 虚拟现实技术在光学实验教学中的应用[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2004, 20(3):106-108.
- [13] 段家祗, 曹惠贤, 王煜, 等. 美国高校物理实验教学和管理情况考察报告[J]. 大学物理, 2004, 23(3):42-45.
- [14] 沈元华. 香港五所大学物理实验教学情况考察报告[J]. 物理实验, 2000, 20(11):28-29.
- [15] 谢行恕, 霍剑青. 大学物理实验的改革和探讨[J]. 物理, 2000, 29(9):571-572.
- [16] 吕斯骅, 段家祗. 全面改革物理实验教学体系与内容, 培养有坚实基础的创新人才[J]. 大学物理, 2003, 22(1):34-36.
- [17] 孙敬姝, 李志有, 梁浩, 等. 将科研成果及时转化成演示实验教学的实践[J]. 物理实验, 2003, 23(5):30-31.
- [18] 毛骏健, 顾牡, 吴於人. 建设以知识、能力和素质为教学目标的大学物理精品课程[J]. 大学物理, 2008, 27(10):44-46.
- [19] 周雨青, 张玉萍, 董科. 大学物理教学中引入“案例教学”模式的实践[J]. 中国大学教学, 2011, 27(10):52-54.
- [20] 孙腊珍, 张增明. 以培养学生能力为核心, 建立多层次实验课程体系和多元化教学模式[J]. 实验技术与管理, 2012, 29(4):1-2.
- [21] 王慧琴, 吴庆丰, 梁晓军, 等. 以应用为导向的大学物理实验改革的探讨[J]. 实验技术与管理, 2012, 29(9):148-150.
- [22] 姚列明, 霍中生, 祖小涛, 等. 将科研项目引入大学物理实验的尝试[J]. 实验技术与管理, 2009, 26(6):12-14.
- [23] 陆昉. 推进课程共享与教学改革 全面提升大学教学质量[J]. 中国大学教学, 2014, 30(1):8-11.
- [24] 张萍, Mazur Eric. Peer-Instruction—哈佛大学物理课程教学新方法[J]. 中国大学教学, 2010, 26(8):69-71.
- [25] 衡耀付. 大学物理教学开展探究式教学的探讨[J]. 教育探索, 2008, 24(3):51-52.
- [26] 卢荣德, 程福臻, 陶小平. 大学物理教学模式的探究与实践[J]. 教育与现代化, 2010, 25(2):35-39. (现名研究生教育研究)
- [27] 樊雅平, 黄生学. 大学物理教学中的问题设计研究[J]. 教育与职业, 2010, 91(12):156-157.
- [28] C. mcdermott Lillian, 罗莹. 通过物理教育研究促进物理教学[J]. 物理教师, 2011, 32(7):3-4.
- [29] 刘兆龙, 罗莹, 胡海云. “物理教育研究”及其对美国高等学校物理教学的激励[J]. 物理, 2014, 43(7):478-482.

(上接第 111 页)

$\frac{0}{0}$ 形式,但从本文关于全同对称的并联耦合情形的等效自感系数出发,可得到相同线圈在顺向完全耦合情形的等效自感系数,即先取  $L_i = L; M_{ij} = M_{ji} = M, (i, j = 1, 2, 3)$ , 且  $L \neq M$  时的结果(20~21)式,再消除公式(14)的分子分母的行列式的公因子  $(L-M)^2$ ,然后在式(22)消除公因子之后的表达式中,令  $M \rightarrow \sqrt{L_i L_j} = L$ ,可得完全耦合并联线圈的等效自感系数

$$L_e = L_1 = L_2 = L_3 \quad (23)$$

## 6 结论与前瞻

本文运用电磁感应的基本定理及行列式技术,成功地推导出 3 个相互耦合的并联线圈的等效自感系数,其在各特例情形的具体结论,均与文献中已有的结果相符,检验和证实了本文理论的正确性.本文公式(14)及其行列式推导方法不仅能够成功地解决 3 个线圈的并联耦合的等效自感问题,在最一般的情形,还能推广应用于  $n$  个并联且相互耦合线圈的等效自感问题<sup>[6]</sup>,其等效自感

系数是由各自的自感系数与互感系数构成的两个分别为  $n$  阶与  $n-1$  阶矩阵的行列式之比,亦即:

$$L_e = \det M_n / \det N_n \quad (24)$$

$$(M_n)_{ij} = M_{ij}, \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (25)$$

$$(N_n)_{ij} = M_{i1} + M_{i+1, j+1} - M_{i+1, i} - M_{i, j+1}, \quad (i, j = 1, 2, \dots, n-1) \quad (26)$$

这为进一步处理混联且相互耦合的线圈的等效自感问题奠定了理论基础,并将有益于电磁场、电路分析及电工学的教学与研究.

## 参 考 文 献

- [1] 贾起民, 郑永令, 陈暨耀. 电磁学[M]. 北京:高等教育出版社, 2001:223-230.
- [2] 胡友秋, 程福臻, 刘之景. 电磁学[M]. 北京:高等教育出版社, 1994:319-324.
- [3] 刘南平, 齐兆艺. 电路基础[M]. 北京:科学出版社, 2005:148-151.
- [4] 史祥蓉, 杨绍华. 并联线圈的等效自感和电流分配问题的讨论[J]. 大学物理, 2010, 29(1):31-35.
- [5] 虞国寅, 周国全. 电动力学[M]. 2版. 北京:高等教育出版社, 2008.
- [6] Zhou Guo-quan. The Equivalent Self-induced Coefficient of N Coupled Parallel Coils[J]. PIER Letters; 2014, 46:59-66.