DOI:10.19789/j.1004-9398.2015.06.007

高师物理师范生电动力学学习困难的成因与对策
——以中部H省两所重点高师为例

张婷玉[1] 胡扬洋[2]

(1. 首都师范大学物理系, 北京 100048; 2. 首都师范大学教育学院, 北京 100048)

摘 要

以实际教学改革经验为基础,分析了师范院校电动力学教学改革的现状,针对电动力学学科本身特点及教学现状,最后提出了一些电动力学教学观念改革的建议.

关键词: 电动力学,学习困难,物理教学,师范教育.
中图分类号: G632.0

1 问题的提出

学习困难(Learning Difficulties)是一个在医学、心理学、教育学等领域被广泛探讨的命题.[1] 我们发现,高师电动力学教学中,物理师范生亦存在大量的学习困难现象.事实上,电动力学作为理论物理的重要组成部分,不仅是物理学所有八个二级学科的基础课程,也是高校电子工程、通信等工科专业的一门重要专业基础课,对于物理师范生而言则应在本门课程的学习中建立基本的空间概念、深化对电磁现象的认识,从而对电动力学内容有深入的把握,这样才能更好成为优秀的物理教师.然而随着现代科学技术飞速发展、社会需求的变化以及学生素质的普遍变化,电动力学课程教学也暴露出许多迫切需要解决的问题,例如:学生反映学习难度大、教学效果差.也即出现了显著的学习困难现象.因此切实找出学生学习电动力学困境的原因并提出改进措施,以实现对高师培养有所助益,就是我们的研究目的.

2 研究设计与过程

我们选择中部H省的两所重点高师院校为例,以两校2011级、2012级物理师范生与电动力学任教教师为研究对象,采取调查研究与个案访谈相结合的方式开展研究.

电动力学教材我们选取两校使用的郭硕鸿先生编写的《电动力学》第二版、第三版为研究对象.该教材1979年第一版曾被国家教委高等学校理科物理教材编审委员会作为1980年审定的高等师范院校物理学专业电动力学教学大纲推荐教材,许多高校的硕士研究生入学考试也选用该教材作为参考书籍.

通过对两所师范院校当前电动力学教学现状的资料收集,并对这些资料进行整理和分析之后可见,当前高师院校电动力学学习困难的成因主要可分为外围原因和内部原因两个主要方面,以下就是我们系统的阐述.

3 电动力学学习困难的外围原因

3.1 学习态度的功利

如何就业并最大限度地获得一份好工作当前是现在的物理师范生最优先考虑的问题,因此,他们对学习的态度难免会有急功近利、实用主义的现象.由于一些学生没有马上看到电动力学的"实际用处",所以对在学习中对电动力学课的兴趣逐渐淡化,甚至出现厌学现象.从而导致学生上课时精神萎靡不振,听讲似懂非懂,使电动力学的教学工作难上加难.

3.2 教学模式的缺陷

高师电动力学教学一般是以国家教委颁布教学大纲为标准,教师注重对学生基本功的训练,在讲深讲透概念之余,辅以足够的、较难的习题训练.大部分学校的电动力学课教学主要以教师讲授为主,这

收稿日期: 2014-07-28

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

种授受式教学培养出来的学生在基础理论方面确实比较扎实,通过学习电动力学知识,也能潜移默化获得一些解决问题的方法. 但是,这种教学模式也存在着如下缺陷: 第一,主要是以教师为中心,教师利用讲解、板书和各种媒体作为教学的手段和方法向学生传授知识,学生则被动地接受教师传授的知识,使得许多学生感觉学习索然无味,兴趣不高; 第二,教学过程中教师需要树立一定的权威性,这就容易造成学生习惯于体会书本、服从书本、盲从权威,很少怀疑,碰到新问题不是独立去思考,总想得到参考书、老师等权威的认可,所以学生解决实际问题的能力低下.

3.3　教学课时的受限

当前电动力学教学的课时少,原有的教学工作量难以保证. 调查发现,电动力学平均周学时为 4,每学时为 40 分钟,这样的学时是不能满足应有的工作量的. 当前高校由于“通识教育”等理念的要求,增加了更多的课程,比如外语比原来的课时量有所增加,此外又增加了许多共修课程,由此导致学生根本没有时间进行专业课的学习,即使有时间也大多用来准备英语四六级考试.

3.4　生源质量的变化

由于本门课程本身偏难,因此对学生的物理基础要求较高,否则很难真正理解更深刻的内容. 然而,随着近年高等教育的扩招,学生的物理能力基础普遍降低,并且学习兴趣不高. 笔者之一担任班内电动力学课代表期间对班内进行的调查了解显示: 学习电动力学时,在班内的 130 人中,有 50% 的学生都在课堂上完全没有预习或复习,作业都是在课堂上抄别人的,考试时只能靠被动记忆.

4　电动力学学习困难的核心原因

4.1　学科体系的理论化

电动力学是在电磁学基础上对电磁场的基本性质、运动规律以及电磁场与带电物质之间相互作用更系统、更深入、更严密地进行阐述的理论体系,是高校物理专业及相关专业学生在普通物理基础上,继续深入学习的一门理论基础课. 虽然在电动力学学习之前学生已对力学、理论力学、电动力学有了基本的学习,然而,电动力学教学中文字叙述性的语言已大大减少,公式符号化的表达则占了主导性的地位,数学知识的应用水平大幅度提升,公式化、符号化语言的高度抽象性与普通物理的电磁学相比,使教学过程难免有些枯燥、晦涩由于其电动力学一直以来被学生视为“最难学”,教师视为“最难讲”的一门课程.

电动力学教材内容大致分为电磁场现象的普遍规律、静电场、景磁场、电磁波的传播、电磁波的辐射、狭义相对论、带电粒子在磁场中的运动. 该课在大四上半学期开设,此时学生身心发展接近成熟,抽象思维能力已具备了飞跃的可能,然而在教学中,不难发现虽然学生已经对有一定的高等数学及普通物理的基础,常常发现学生普遍认为“电动力学难学”,因为学生从普通物理电磁学的学习进入电动力学的学习要跨上一个不小的台阶,两者在思维方法、教学工具及习题难度等方面都有明显的变化. 在教学内容的选取上,教师们相当重视基础内容,然而由于旋度、散度等数学计算水平有待于进一步加强,导致学生在学习过程中遇到很大困难.

4.2　教材习题的简略与不足

电动力学理论体系严谨,其系统性和条理性都很强,这是理论物理的优势. 但正是这些特点,再加上课后习题的艰深,容易使学生望而却步. 为弄清楚电动力学习题教学情况,我们先调查了教师布置给学生的习题来源,结果显示大多绝大多数教师都从教材中选用习题给学生练习. 在此基础上,我们从教师的角度调查了现行教材中习题的难度. 结果显示,教师觉得现行教材中习题较难、难和很难的占 78.3%. 调查还反映出在电动力学教学中,大多数教师布置给学生的习题来源较窄、题型单一,很少有教师愿意自己编制习题. 一些教师认为,现行教材上的习题层次感不强,大都偏难,学生苦于应付,应当改革电动力学的习题教学.

事实上,对师范生的调查反映,电动力学习题往往“颇费脑筋”. 调查中,一位始终自主完成习题的学生对习题的解决和教学发表了重要的看法,他表示:

我认定这是我本学期最喜欢的一门专业课,所满足的不仅仅是理论知识,更要数课下对习题的咀嚼. 尤其是大量运用数理方法的二、三两章(静电场、静磁场). 在这两章的学习中,不仅学到了电动力学的知识,还巩固、提升了数理方法的相关技能. 每当正确地解出一道题目,成就感油然而生.

综观全书,也数这两章难度最大,怎样学好这部分内容? 我认为最关键要自己做好习题. 在处理习题的过程中,毋庸讳言,不可避免要面对“参考答

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

案”的问题. 怎样处理“答案”的问题,我有一些不成熟的见解: 着实,对于初学者来说,凭自己的能力解题的确困难很多. 初学时我曾参照答案的解法解题,解一道这样的题目往往也需要多半个下午的时间,何况那些“凭本能做题”的同学.

原因,我想是相关例题的缺少. 诚然,教材上有例题,但是在参考的过程中发现,它们往往同习题的难度差距较大,何况数量也比较少. 所以,当解题遇到困难的时候,当然的想到求诸图书馆. 在图书馆查阅的过程中我有一个切身感受: 对解题能力帮助最大的,往往不是各种版本的教材,而是“习题集”. 还好在图书馆能够借到这样的书. 有了一本“习题集”,就像是一本“例题集”,学习不同人对不同或相同问题的处理方法,大大加深了对课本知识的理解、提高了解题能力. 不过,在查阅的过程中感觉这种资源有限,新鲜程度有限,最重要的是——同课本的配套程度有限. 再加上时间原因,最终使我选择将教材配套的“答案书”最为我的“例题集”.

我们对学生的调查中发现,学生中流传的教材的习题解答的“答案书”共有三个版本. 第一种是高教社的“官方答案”,有第二版和第三版. 学生反映,这本资料信息量很大,对更深入的学习有很大帮助; 第二种是网站流传的“word 版”,据学生分析,该版本可能是考研学生总结的资料,虽然有些打印错误,但是写法比较清晰,格式与表达习惯以及符号的选择也都更加符合学生的水平与习惯,学生认为看起来最容易理解,但是信息量远不如前者; 第三种是是最新出版的“金硕本”[2],该版本虽然较为完整,但是由于是初版的缘故,其中有较多低级的错误,有些往往造成模棱两可的现象.

分析可见,以上三种版本的共同的特点就是解题的步骤非常简略,然而学生反映,解题中的难点往往也就在这些细微之处,以至于在学习的过程中,“答案书往往是提供了解法或思路,细致的过程还是由自己慢慢完成. 有时候,也会对答案的做法左右揣摩,做出批注和修改. ”也如学生反映:

这样做节省了一定的时间,把习题当作例题来学习对教材的针对性更强,在一定的时间内消化了教材的知识、深化了理解,达到了教材的学习目标. 的确帮助很大,(毋庸讳言,尤其是对考试). 但是,这样做失去了练习和检验自己的机会,是为这样做的遗憾之处.

鉴于自己解题的重要性和“例题集”的重要性,以及课程时间的有限性,诚恳的希望老师能推荐一些适合我们使用的例题书籍. 在狭义相对论部分,我感觉“例题集”的重要尤其突出,不仅如此,教材的相关部分对某些过程的阐释不够详细,用过图书馆的查阅才最终学到,(如相对论力学) 同样希望老师能推荐适合参考的资料.

以上调查反映出的电动力学习题教学的薄弱性是令人印象深刻的,这一状况必须给以改进.

4.3 数学工具的精密与复杂

如前所述,电动力学使用数学工具难度的陡然增加也造成了学习的困难,尤其是《数学物理方法》,作为是《电动力学》的一门重要的基础课程,在解题中有大量的应用. 其中,主要以球坐标(泊松方程) 和勒让德函数应用最广. 调查显示,教材的习题中以连带勒让德函数的出现为最难. 一下就以一个特殊习题为例进行说明.

题]: 有一个均匀带点的薄导体壳,其半径为 R_0,总电荷为 Q,今让球壳绕自身某一直径以角速度 ω 转动,求球内外磁场 B. (教材第三版 108 页)

对这一问题,虽然上述三种“答案书”都给出了最后结论,但是对本题的解析都不清楚,以下给出我们的详细解法.

解: 如图 1 所示.

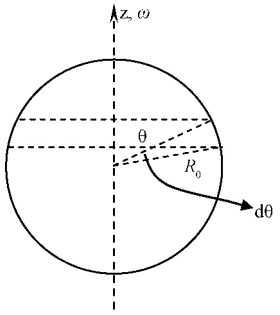


图 1

i) 求面电流密度 α

由题意得: $\frac{Q}{4\pi R_0^2}R_0\sin\theta \cdot \omega dt \cdot d\theta R_0 = I \cdot dt$,

$$\therefore I = \frac{Q}{4\pi}\sin\theta \cdot \omega \cdot d\theta$$

$$\therefore \vec{\alpha} = \frac{I}{d\theta \cdot R_0}\hat{e}_\varphi = \frac{Q\omega\sin\theta}{4\pi R_0}\hat{e}_\varphi$$

ii) 列出方程并求解

设球内空间为 I,球外空间为 II,则:

$$\nabla^2\varphi_1 = 0;\quad \nabla^2\varphi_2 = 0$$

边界条件:

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$\begin{cases}\varphi_1 \mid_{r\to 0} = \text{有限} & ①\\ \varphi_2 \mid_{r\to\infty} = 0 & ②\end{cases}$$

$$\begin{cases}B_1 \mid_{r=R_0} = B_2 \mid_{r=R_0}\\ \vec{n}\times(\vec{H}_2 - \vec{H}_1) = \vec{\alpha}\end{cases}$$

其中,拉普拉斯算符 ∇ 在球坐标系下的形式为:

$$\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial r}\hat{e}_r + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial\theta}\hat{e}_\theta + \frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\phi}\hat{e}_\phi$$

所以:

$$\begin{cases}\left.\dfrac{\partial\varphi_1}{\partial r}\right|_{r=R_0} = \left.\dfrac{\partial\varphi_2}{\partial r}\right|_{r=R_0} & ③\\ \left.\left(-\dfrac{1}{r}\dfrac{\partial\varphi_2}{\partial\theta} + \dfrac{1}{r}\dfrac{\partial\varphi_1}{\partial\theta}\right)\right|_{r=R_0}\hat{e}_\varphi = \vec{\alpha} & ④\end{cases}$$

代入边界条件①②解得:

$$\varphi_1 = \sum_{n=0}^{\infty} a_n r^n P_n(\cos\theta);\ \varphi_2 = \sum_{n=0}^{\infty}\frac{d_n}{r^{n+1}}P_n(\cos\theta)$$

代入③,通过并比较系数易得: $d_0 = 0$; $a_0 = 0$.

代入④,整理得:

$$\sum_{n=0}^{\infty}\left(-a_n R_0^n + \frac{d_n}{R_0^{n+1}}\right)P_n^{[1]}(\cos\theta)\sin\theta = \frac{Q\omega}{4\pi}\sin\theta$$

(可约去 $\sin\theta$)

其中, $P_n^{[1]}(\cos\theta)$ 表示对 $P_n(\cos\theta)$ 的一阶导数.

iii) 连带勒让德函数:

$$P_n^m(x) = (1-x^2)^{\frac{m}{2}}P_n^{[m]}(x)$$

则: $P_n^1(\cos\theta) = \sin\theta P_n^{[1]}(\cos\theta)$

$$\therefore P_n^{[1]}(\cos\theta) = \frac{1}{\sin\theta}P_n^1(\cos\theta)$$

查得: $P_0^{[1]}(\cos\theta) = 0$; $P_1^{[1]}(\cos\theta) = 1$; $P_2^{[1]}(\cos\theta) = 3\cos\theta$; ……

比较系数得: $d_1 = \dfrac{Q\omega R_0^2}{12\pi}$; $a_1 = -\dfrac{Q\omega}{6\pi R_0}$

$$\therefore \varphi_1 = -\frac{Q\omega}{6\pi R_0}r;\ \varphi_2 = \frac{Q\omega R_0^2}{12\pi}\frac{1}{r^2}$$

$$\therefore \vec{B}_1 = -\mu_0\nabla\varphi_1 = \frac{\mu_0 Q\omega}{6\pi R_0}\hat{e}_z;\ \vec{B}_2 = -\mu_0\nabla\varphi_2 = \frac{\mu_0 Q\omega R_0^2}{6\pi r^3}\hat{e}_r - \frac{\mu_0 Q\omega R_0^2}{12\pi r^3}\sin\theta\cdot\hat{e}_\theta$$

本题出现在教科书第三章《静磁场》的习题部分,对数学物理方程的应用以该部分和第二章最多. 由以上解题过程可见,本教材对数学物理方程的要求并不复杂,但是计算过程较为繁琐,往往容易出错. 针对本题来讲,拉普拉斯算符在球坐标系下的形式和连带勒让德函数的出现是令人措手不及的,对其解决需要查阅《数学物理方法》课本或其他资料. 因此,数学物理方程知识的缺漏造成了难度过大的观感. 所以,要跟深刻学习本部分内容,必定要预先打好相关的数理基础.

并且我们的分析与学生的反映均发现,习题对数学知识的运用要高于教材部分,如拉普拉斯算符(包括 2、3 章的一般运用和 4、5 章的繁复推导),以及上述的连带勒让德函数,还有数学中的张量. 这一教学中的"剪刀差"有必要给以积极的弥合.

5　教学的对策与建议

5.1　教学内容的改革

在电动力学教学中,有一个好的教材是更好的实行教学的基础. 郭硕鸿教授主编的《电动力学》的优点是: 书中所用的符号规范、统一; 知识脉络清晰,体系框架明了,比较适合初学者. 但是这本教材太偏向基础,电动力学的应用拓展少,容易使学生们在学习过程中失去兴趣. 针对这种情况,在教学过程中一方面通过专题报告给学生介绍一些与电动力学相关的应用领域和前沿,比如在授课时,给学生做一些关于"左手材料及其应用"、"粒子加速器发展及应用"以及"自由电子激光"等专题报告; 另外将一些相关领域的文献综述放到教学网站上供学生学习阅读,例如"高压静电场对生物效应影响的研究进展"、"基于麦氏方程组建立电气设备间电磁场耦合的电路模型"等相关文献,这样大大激发了学生的学习兴趣,引导学生主动学习.

通过查阅资料了解到,关于电动力学课程改革不同的声音. 北京大学俞允强认为基础理论课中应保持的是理论的系统性和基础概念的清晰性,他反对在经典理论上花太多精力,也反对过多过深的习题. 甚至反对延伸和联系实际内容. 这样不仅可以减轻学生负担更可以将学生的注意力放在关注前沿和研究问题上. 所以他的教材《简明电动力学教程》与其他教材相比篇幅要小许多. 在各种教程中各种分歧存在,不同版本代表了各自的观念. 但总的来讲都强点知识和思维的训练,培养学生的思维能力[3].

5.2　学习兴趣的培养

兴趣是学生学习中最大的动力,对于大学生而言学习的兴趣不仅在于学科本身,而且在于学科本身于就业带来的兴趣. 尤其是师范大学学生本身,毕业大部分人会选择在中学就业,从这个方面来讲,师范大学学生对此门学科的兴趣更小. 而电动力学需

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

要更多的抽象思维能力与逻辑推理能力,对学生这方面能力基础的要求则是重大的挑战.

所以,我们要根据教学目标选择恰当的教学内容以激活兴趣. 如对于第六章相对论的学习我们可以加入相对论的发展史. 这样不仅可以在使用上更加的灵活,也可以更好的激发学生的兴趣,使得学生在学习时融会贯通,不仅去思考正在学习的内容,还可以对先前学习的内容加以总结,从而会有一个更全面的认识.

5.3 重视物理意义的教学

"物理意义"是指物理知识的全部的内涵与外延及反变关系.[4] 强调物理意义的理解有助于纠正片面注重公式推导的偏向. 物理意义对物理学习的价值,正如费曼所说"对学习物理的人来说,重要的不是如何正规严格地解微分方程,而是能猜出它们的解并理解物理意义."[5] 例如麦克斯韦方程组的学习,就不能止步于公式的推导和运用,用流体场中的"旋""汇""源"来描述其物理意义将使对公式的理解更加深刻. 有教师在后续更加抽象的量子力学的公式推导前,抖动解下的鞋带描述波函数的物理意义. 似这类学习方式都值得做有意识的研究与推广.

5.4 重视习题教学的价值

物理习题的教学中对技能训练的淡化亟待改变. 大学物理师范课程由于大量复杂内容的引入,技能训练的任务也就尤其迫切. 事实上,对学生心智技能的训练要求必须达到一定的习题量,有物理学家认为大学物理学习中听讲与做习题的时间比应在一比三以上. 此外,重视对物理技能训练还要求师生都需树立规范意识,这是因为教师不提供良好并富于教育性的范例,学生的模仿练习也就失去了源流,技能训练也必然放任.

5.5 强化数学工具的基础性

对于物理师范生,大学物理课程中的科学方法内容不仅比重更多,并且以更加精密和系统的方式存在,并且集中地在使用的数学体系中表现出来. 可以说,数学与各个学科都有互动,自身也有结构、关系、演化、发展的逻辑. 对于物理,数学已构成了一个纯粹的、成熟的、严密的方法论体系. 例如,物理师范生所要学习的数学物理方法,甚至高等数学、线性代数,可以说都是物理学专门的方法课. 这些非常成熟的数学内容由于其高度的系统性和精密程度使得人们可以在掌握它们的基础上熟练地使用其分析物理问题. 正如在调查中有学生表示"如果要重学一遍,我一定选择在前期更多的加强相关知识的补充和训练,目的是将其作为数学工具使用. 我想这样做之后,后期的学习困难一定会小很多."可见,数学之于物理,是方法结构化、熟练化的产物,是一种操作的中介物. 也正是在这个意义上,有人认为数学是一种工具,物理方法无疑要掌握这一工具.

参 考 文 献

[1] 王晶莹. 物理学习困难的归因分析和实践研究[D]. 北京:首都师范大学,2009:6.

[2] 金硕. 电动力学 第三版 全程导学及习题全解[M]. 北京:中国时代经济出版社,2009.

[3] 俞允强. 电动力学简明教程[M]. 北京:北京大学出版社,1999.

[4] 阳玉岗. 关于物理意义的教学[J]. 乐山师专学报(社会科学版),1994,(2):46-54.

[5] 杨艳芳,齐美彬. 物理不是应用数学——关于大学物理教学的思考[J]. 现代物理知识,2003,15(5):41-42.

[6] 郭硕鸿,黄迺本,李志兵,等. 电动力学(第三版)[M]. 北京:高等教育出版社,2008.

[7] 梁昆淼,刘法,缪国庆. 数学物理方法[M]. 北京:高等教育出版社,1998.

[8] 黄迺本,方奕忠. 电动力学(第三版)学习辅导书[M]. 北京:高等教育出版社,2009.

[9] 尹真. 电动力学[M]. 南京:南京大学出版社,1999.

[10] 熊万杰,陆建隆. 对电动力学课程改革的探索[J]. 高等理科教育,2003(6).

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Causes and Countermeasures of University Physics Learning Difficulties in Electrodynamics Learning ——Based on two Normal Universities in South H Province in the Middle of China

Zhang Tingyu[1]　Hu Yangyang[2]

(1. Department of Physics, Capital Normal University, Beijing　100048;
2. College of Education, Capital Normal University, Beijing　100048)

Abstract

In this article we analyzed the status quo of reformation of electrodynamics teaching in normal schools, basing on the specific aspects of electrodynamics course, the status quo and real experiences of teaching reformation. Then we proposed a couple of suggestions concerning the reformation of electrodynamics course contents, teaching methods and concepts.

Key words: electrodynamics, learning difficulties, physics teaching, normal education.

(上接第 29 页)

[9] Kennedy J, Eberhart R C. Particle swarm optimization [C]. Proceeding Soft the IEEE International Conference on Neural Networks, Perth, Australia. Piscataway, NJ: IEEEPress, 1995: 1942 – 1948.

[10] 李晓磊,邵之江,钱积新. 一种基于动物自治体的寻优模式: 鱼群算法 [J]. 系统工程理论与实践,2002,22(11): 32 – 38.

[11] Karaboga. An idea based on honey bee swarm for numerical optimization. Technical report-TR06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, 2005.

[12] Aggarwal C C, Han J, Wang J, et al. A framework for projected clustering of high dimensional data streams [C]. Proceedings of the 30th International Conference on Very Large Data Bases. Toroto, Canada, 2004: 852 – 863.

Clustering of Data Streams Based on Artificial Bee Colony Algorithm

Cheng Junfeng

(Longnan Teachers College, LongnanGansu　742500)

Abstract

Clustering is one of the very important technology in data mining field, which can find the hidden knowledge and value in the data stream, it has an important significance in the data flow analysis. In this paper, aiming at the shortcomings of the existing data stream clustering algorithm, according to the characteristics of a data flow, propose an high efficient and extensible calle ABCCluStream The algorithm use the classic CluStream algorithm of online-offline two-stage framework, based on the theory of the artificial bee colony defines related parameters and micro-cluster clustering feature structure in the process of clustering. Experiments show that this clustering of the ABCCluStream algorithm is designed with good scalability and high purity of clustering, and produce high quality of the clustering results, suitable for analysis and research on the clustering of dynamic large-scale data stream.

Key words: data stream, clustering, artificial bee colony, fitness, yields.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net