

基于Coh - Metrix的英语教材语篇难度对比研究

赵 垒 李云娇 张 鹏 刘 星

(淮阴工学院 江苏 淮安 223001)

摘 要:本研究以Coh - Metrix为分析工具,对新进阶、新视野、新世纪三套教材共计108篇课文文本分别进行了语篇难度的纵横对比,即不同教材之间对比以及同一套教材内部各册之间对比。研究表明:新世纪语篇在弗莱士易读性和Coh - Metrix二语可读性上都显著高于新视野,表明新世纪语篇可读性强于新视野,在动词衔接维度得到证实;而新视野与新进阶,新进阶与新世纪之间无显著差异;但三套教材词汇分布呈递增趋势(新进阶<新视野<新世纪),新世纪词汇分布具有广度与深度的特点。其次,每套教材各册之间语篇难度无显著性差异,均在词汇分布上按册级依次递增。

关键词:教材 语篇难度 语篇易读性 对比研究

A Comparative Study of Discourse Difficulty in English Textbooks Based on Coh Metrix

Zhao Lei, Li Yunjiao, Zhang Peng, Liu Xing

(Huaiyin Institute of Technology, Huai'an, Jiangsu, 223001)

Abstract: In this study, Coh-Metrix is used as an analytical tool to make a vertical and horizontal comparison of the discourse difficulty of 108 texts in three sets of new advanced textbooks, new horizon textbooks and new century textbooks, that is, the comparison between different textbooks and the comparison between each book in the same set of textbooks. The research shows that the readability of the new century discourse is significantly higher than that of the new vision in terms of Fleischer readability and Coh-Metrix readability, which indicates that the readability of the new century discourse is stronger than that of the new vision, and it is confirmed in the dimension of verb cohesion. However, there is no significant difference between the new horizon and the new level, and between the new level and the new century. However, the vocabulary distribution of the three sets of textbooks shows an increasing trend (new advanced < new vision < new century), and the vocabulary distribution in the new century is characterized by breadth and depth. Secondly, there is no significant difference in the discourse difficulty between the volumes of each textbook, and the vocabulary distribution increases in turn according to the volume level.

Keywords: Comparative Study on Textbook Difficulty and Textbook Readability

1. 引言

作为应用语言学领域的一个重要话题 (Glenn Fulcher, 1997; 唐国华、梁茂成; 2021), 语篇难度 (Text difficulty/readability) 是评估教材语篇可读性和难易程度的重要标准之一。随着计算语言学 (Computational Linguistics) 与语料库软件技术的更新发展, 通过处理大规模语篇文本来获取聚合性证据已经成为现实, 改变了以往“教师仅仅凭经验或语感进行判断”(王艳伟, 2021, p.70) 教材的误差性和不合理性。目前, 越来越多的国内研究借助 Coh-Metrix (McNamara et al., 2014) 工具分析语篇难易度, 但此类研究多集中于学习者书面语质量的分析上, 而对教材语篇难度的研究相对较少。利用 Coh-Metrix 3.0 工具的多维度文本分析功能, 本文将纵向 (一套教材中的不同册之间的比较) 与横向 (不同教材之间的比较) 相结合, 同时参考师生教材使用满意度的问卷调查结果对三套英语教材的语篇难易度进行分析研究, 以期为英语教材的选择提供参考依据。

2. 文献回顾

国外的语篇可读性研究早于国内。自 20 世纪 70 年代, 可读性公式对教材产业与教材选择影响很大, 但可读性公式完全取决于词长与句子长度, 过于简单且不可靠, 而缩短句子反而容易导致“过低的文本衔接性与连贯性”(Graesser et al., 2004, p.194)。进入 21 世纪, 以 A. C. Graesser、Scott A. Crossley 和 Danielle S. McNamara 领衔的研究团队在语篇难度分析、语言处理上取得了显著的成绩。他们的研究涵盖了词表频率、计算语言学、人工智能、自然语言处理和衔接问题。其中, 诞生于 2004 年的 Coh-Metrix 1.0 是第一个从语言、话语、衔接等多个层面分析文本的工具版本, 具有划时代意义。

在二语话语研究领域, Coh-Metrix 被用于区分文本类型, 探

索文本的语言结构以及文本差异 (Crossley, Louwerse, McCarthy & McNamara, 2007); 此外, 多次效度验证研究表明 Coh-Metrix 在文本可读性测量方面的有效性 (如 Crossley, Greenfield, & McNamara, 2008a; Crossley, Salisbury, McCarthy, & McNamara, 2008b)。但是, 随着研究的深入, Arthur C. Graesser 团队发现只考虑词汇特征, 忽略其他变量 (如句法复杂性和词性标记密度) 是不准确的。经过十多年的探索, 最新的 Coh-Metrix 3.0 分析了其中对于区分不同文本具有突出作用的 106 个词汇语法和语义特征, 涵盖 11 个模块 (McNamara et al., 2014, 转引自江进林, 2016)。包括文本的描述性指标 (如段落和句子长度)、潜在语义分析 (LSA, Landauer & Dumais, 1997)、句法分析 (Charniak, 2000) 等。

在国内, Coh-Metrix 的使用还不够广泛, 主要集中于二语写作质量的研究。王艳伟 (2021) 将其大致可分为三类。一、自动评分研究 (如杜慧颖 蔡金亭, 2013; 梁茂成, 2006), 两项研究均表明 Coh-Metrix 的测量指标能够很好地预测 EFL 作文成绩与作文质量。第二类是写作语言的特征研究, 主要关于词汇和衔接手段 (如鲍贵, 2011; 桂林, 2010)。鲍贵 (2011) 研究了不同课程水平英语学习者的词汇复杂性, 结果表明: 学习者深层次词汇复杂性能力的发展远远不足, 与表层词汇复杂性的发展形成强烈的反差 (p59)。第三类是考试阅读语篇难度研究 (如江进林 韩宝成, 2018)。江进林和韩宝成 (2018) 通过比较 163 篇大学英语六级、托福和雅思的阅读语篇难度发现, 六级阅读语篇整体上比托福和雅思容易, 并在叙事性、连接度、词汇具体度、指称衔接四个维度上与后两者存在显著差异。除了上述三个类别之外, 第四个类别也逐渐形成, 即教材语篇难度的研究 (如陈安妮 郭爱萍, 2019; 邓微波, 2013; 王艳伟, 2021)。陈安妮和郭爱萍 (2019) 从词汇、句法和衔接三个维度的

难度变化特征,研究了新视野《读写教程》四册书的语篇难度。结果表明“四册英语教材之间难度递进不明显,缺乏合理有序的梯度变化规律”(p.46)。总的看来,对教材的语篇难度研究还略显不足,缺乏对热门教材的纵横向相结合的对比研究。

3. 研究设计

3.1 研究对象和研究问题

教材是教学的基本要素、教学内容的主要载体、教学活动的重

要依据和实现教学目标的基本保证(徐锦芬 刘文波, 2021, p73)。本研究以三套教材为研究对象(具体信息见表1),共计108篇语篇文本。研究中将使用Coh-Metrix 3.0测量版本,参考(江进林 韩宝成, 2018)的研究方法,从8个维度(即叙事性、句法简约性、词汇具体度、指称衔接、深度衔接、动词衔接、连接度、时序性)解析三套教材的语篇难度。

表1:三套教材情况及所含语篇数量列表

次序	教材名称	语篇数量	册数	出版社	出版时间
1	新进阶大学英语	24	4	上海外语教育出版社	2017年3月
2	新视野大学英语	32	4	外语教育与研究出版社	2020年6月
3	新世纪综合英语	52	4	上海外语教育出版社	2019年9月

本次研究主要解决以下几个问题:

三套教材在弗莱士易读性与Coh-Metrix二语可读性上是否存在显著性差异?具体差异如何?八个维度上是否存在显著性差异?各教材内部册级之间是否存在显著性差异?具体差异如何?

3.2 研究步骤

本研究旨在通过对三套教材共计108篇语篇文本词汇、句法、衔接、连贯性等多维量化分析,判断其语篇难度编排的合理性。首先收集文本,对语料进行校对和清理,并转化为TXT格式文本,便于计算机读取。然后利用Coh-Metrix 3.0和Range32工具,提取各册教材的语篇数据,并保存。之后借助SPSS 16.0对三册教材以及各册之间进行方差分析,并对八个维度的测量指标进行差异显著性检验。最后,基于检验结果,探究三套教材之间以及各册之间在语篇难度方面不同与内部发展趋势。

3.3 数据收集与分析

本研究从Coh-Metrix汇报的11个模块中选择可读性和易读性数据进行分析。可读性模块汇报Coh-Metrix二语可读性、弗莱士

易读性和弗莱士-金凯德年级水平。由于后两者都基于词长和句长计算获得,我们仅采用其中一个。易读性模块包括8个易读性主成分的z分数和百分位数。z分数是经过标准化处理的数据,即每个文本的特征值减去所在文本组的平均数再除以标准差。百分位数在0-100%之间,80%的百分位数表示该文本比80%的文本更容易。由于本研究的重点不是单个文本,而是三组文本,我们未使用百分位数。

4. 结果与讨论

对于三套教材语篇难度之间的差异,单因素方差分析结果(见表2)显示,三本教材课文语篇在弗莱士易读性和Coh-Metrix二语可读性上都存在显著性差异($F(2, 105)=5.296, p<0.01; 4.473, p<0.05$)。事后比较(Post Hoc)结果进一步表明,新世纪语篇在弗莱士易读性和Coh-Metrix二语可读性上显著高于新视野($MD=8.59, 2.53$),表明新世纪语篇易于新视野语篇。但在这两个指标上,新世纪与新进阶语篇之间无显著性差异($MD=4.25, 1.73$),新进阶与新视野之间也无显著性差异($MD=4.34, 0.79$)。

表2:三本教材课文语篇可读性差异

指标	新进阶		新视野		新世纪		F(2, 105)	Post Hoc (Bonferroni/ Games-Howell)	MD
	M	SD	M	SD	M	SD			
弗莱士易读性	65.3	9.5	61	12.1	69.6	12.6	5.296**	新世纪 > 新进阶 新世纪 > 新视野 新进阶 > 新视野	4.25 8.59** 4.34
Coh-Metrix 二语可读性	14.3	3.6	13.5	3.1	16.1	4.5	4.473*	新世纪 > 新进阶 新世纪 > 新视野 新进阶 > 新视野	1.73 2.53* 0.79

注:*表示 $p<0.05$, **表示 $p<0.01$

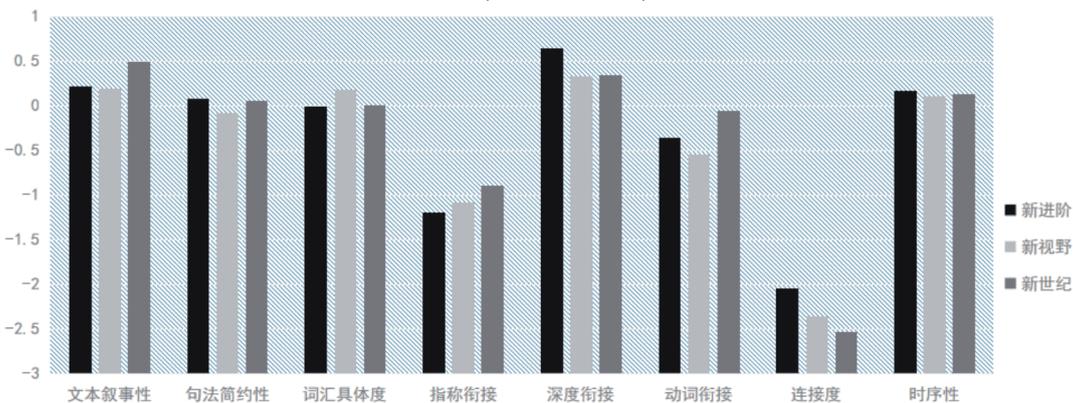


图1:三套教材语篇难度易读性Z分数均值图

图1和表3、4分别显示了三套教材语篇在上述八个维度上的易读性z分数、显著性差异和词汇分布情况。第一,三套教材除动词衔接方面存在显著性差异外,其余七个维度均无显著性差异,这与作者的心理预期截然不同。尽管三套教材的适用对象不同(新进阶、新视野适用于本科类非英语专业;新世纪适用于本科类英

语专业),但是都作为综合教程来对待和使用,更注重听说读写译各项技能均衡发展。通过事后比较我们发现,新世纪教材的动词衔接显著高于新视野教材($MD=0.488, P<0.01$)。动词衔接反映了文本中动词重叠的程度。如果文本多次使用相同或意义相近的动词,事件结构可能更连贯,便于读者理解文本情景模式。该指

标表明文本中动词的重叠程度。第二,词族、第三级类符和词表外词汇(Not in the lists)通常是可靠的难度判别标准(江进林 韩宝成,2018,p90)。词族方面,新世纪在三个词表层面都最丰富(N1=962,N2=809,N3=564),体现英语专业在词汇拓展方面的必要性;第三级类符源自学术英语词表,新世纪占比仍然是三套教材

中最高(Types N=10.96%)的,体现新世纪教材词汇的广度;在词表外词汇方面,新世纪占比同样最高,达到35.42%,明显高于新视野31.23%与新进阶29%,体现了英语专业词汇的深度。综合来看,英语专业的新世纪语篇难度并没有显著难于非英语专业的新进阶与新视野两套教材,只是在词汇的广度与深度上高于后两套教材。

表3:三套教材语篇难度易读性差异

易读性 主成分	新进阶		新视野		新世纪		F(2, 105)	Post Hoc (Bonferroni/ Games-Howell)	MD
	M	SD	M	SD	M	SD			
文本叙事性	.22	.674	.200	.59	.500	.76	2.421	新世纪 > 新进阶 新世纪 > 新视野 新进阶 > 新视野	0.28 0.30 0.02
句法简约性	.08	.36	-.07	.57	.05	.53	.849	新进阶 > 新视野 新进阶 > 新世纪 新世纪 > 新视野	0.15 0.03 0.12
词汇具体度	-.004	.665	.18	.79	.01	.73	.613	新视野 > 新进阶 新视野 > 新世纪 新世纪 > 新进阶	0.18 0.17 0.01
指称衔接	-1.19	.62	-1.07	.44	-.89	.63	2.512	新世纪 > 新进阶 新世纪 > 新视野 新视野 > 新进阶	0.30 0.18 0.12
深度衔接	.65	.63	.33	.548	.34	.54	2.928	新进阶 > 新视野 新进阶 > 新世纪 新世纪 > 新视野	0.32 0.31 0.01
动词衔接	-.36	.66	-.54	.49	-.05	.78	5.391	新世纪 > 新进阶 新世纪 > 新视野 新进阶 > 新视野	0.30 0.48** 0.18
连接度	-2.04	.83	-2.4	.76	-2.5	.97	2.538	新进阶 > 新视野 新进阶 > 新世纪 新视野 > 新世纪	0.31 0.48 0.17
时序性	.17	.61	.11	.82	.13	.605	.063	新进阶 > 新视野 新进阶 > 新世纪 新世纪 > 新视野	0.06 0.05 0.02

注:*表示p<0.05,**表示p<0.01

表4:三套教材语篇的词汇分布报告

教材	词表	形符 /%	类符 /%	词族
新进阶	1	15903/79.92	1776/43.35	864
	2	1508/ 7.58	809/19.75	554
	3	458/ 2.30	324/ 7.91	267
	词表外词汇	2029/10.20	1188/29.00	?????
新视野	1	22908/79.38	2032/36.37	903
	2	2485/ 8.61	1168/20.91	700
	3	1016/ 3.52	642/10.49	490
	词表外词汇	2449/ 8.49	1745/31.23	?????
新世纪	1	43671/82.32	2482/33.58	962
	2	3612/ 6.81	1482/20.05	809
	3	1565/ 2.95	810/10.96	564
	词表外词汇	4204/ 7.92	2618/35.42	?????

表5:新进阶四册书语篇之间可读性差异

指标	第一册		第二册		第三册		第四册		F(3, 20)	p 值
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD		
弗莱士易读性	64.7	11.8	67.8	8.7	68.9	8.4	59.6	9.5	1.176	0.344
Coh-Metrix 二语可读性	16.4	2.07	13.67	3.3	15.9	4.4	11.3	2.0	3.406	0.038*
文本叙事性	.41	.79	.133	.60	.48	.77	-.17	.41	1.225	0.327
句法简约性	-.09	.42	.28	.31	.12	.38	.009	.27	1.286	0.307
词汇具体度	.12	.42	.32	.41	-.22	.70	-.23	.96	.999	0.414
指称衔接	-1.05	.49	-1.21	.80	-1.0	.58	-1.44	.66	.468	0.708
深度衔接	.57	.59	.72	1.03	.73	.60	.57	.18	.112	0.952
动词衔接	-.04	.61	-.91	.55	-.21	.64	-.26	.63	2.352	0.103
连接度	-1.82	1.00	-2.2	.82	-2.1	.75	-1.9	.88	.236	0.870

时序性	-1.09	.36	-.03	.54	.40	.54	.43	.84	1.374	0.280
-----	-------	-----	------	-----	-----	-----	-----	-----	-------	-------

注：* 表示 $p < 0.05$, ** 表示 $p < 0.01$

对于新进阶而言(见表5),四册教材仅在Coh-matrix二语可读性方面存在显著性差异($F[3, 20]=3.406, P<0.05$),事后检验进一步显示第一册语篇可读性明显高于第四册语篇可读性($MD=5.11$),其他各册之间无显著性差异,说明在语篇可读性方面,四册教材并非按渐进式递增排列的,这从其他几个维度的比较可以充分说明这一点,即在弗莱士易读性以及八个维度上,单因素方差分析表明均无显著性差异。为了考查四册之间词汇分布情况,笔者同样使用Range32工具分析,结果发现一至四册词族呈渐进式递增分布,说明教材编写者以词汇递增分布为册级之间的区分依据,而非以语篇难度为区分依据。

我们用同样的方法对新视野、新世纪进行单因素方差分析,结果如下:

对于新视野而言,四册教材之间仅在时序性维度存在显著性差异($F[3, 28]=4.706, P<0.01$),事后检验表明第三册时序性显著强于第二册($MD=1.31$)。时序性强的文本包含更多的时序衔接手段,相同的动词时、体也更多(江进林 韩宝成, 2018)。这样的文本有助于读者理解情景模式,因而更易于加工(Graesser et al., 2011)。其余各册之间时序性差异相当,这与陈安妮和郭爱萍(2019)的研究结果相一致。与新进阶教材一样,Range32分析结果表明,新视野四册之间的词汇分布同样呈渐进式递增方式显现,其中第四册词表三学术词汇、词族以及词表外词汇均为最高值。表明教材编写者视词汇习得多少与深浅作为语言进步与否的重要评判标准或依据。

对于新世纪而言,单因素方差分析显示Coh-Matrix二语可读性、指称衔接以及动词衔接维度均存在显著性差异($F[3, 48]=3.438, P<0.05$; $F[3, 48]=8.28, P<0.01$; $F[3, 48]=2.864, P<0.05$)。事后检验显示, Coh-Matrix 二语可读性维度上,仅第一册可读性明显易于第二册($MD=4.9$),其他各册之间无显著性差异;就指称衔接而言,第一册与其余三册之间均存在显著性差异($MD=.75$; $MD=.95$; $MD=.67$),二三四册之间无显著性差异。指称衔接维度反应了语篇中词汇和观点彼此联系的程度,且在可读性指标中占比最高。第一册指称衔接显著高于其余三册,表明第一册语篇难度较低,易于阅读,这与Coh-Matrix二语可读性指标相吻合。就词汇分布而言,Range32分析结果表明,词表外词汇中第四册占比最高,达到32.36%,第一册最低,24.63%;第二册与第三册相当,分别为31.61%, 29.13%。词表分布总体呈递增趋势。

从教材的评价方法来看,有系统的教材评价不仅包括内部评价,而且还包括外部评价(程晓堂 孙晓慧, 2021)。本次研究的研究方法应属于内部评价的一部分,以语篇难度为研究出发点,考查了三套教材之间以及内部之间的语篇难度差异性。但是,评价一套教材的好坏,不应仅以语篇难度的高低为出发点,还应结合教材的外部评价来看,如学生的学习需要、教师的教学需要,教材是否符合课程标准的要求(Neville Grant, 1987)等。

5. 结论

本次研究表明,三套教材之间在语篇难度上差异不明显,仅新世纪与新视野之间存在显著性差异,且在八个维度上的差异也不明显,仅存在于动词衔接维度,这也间接表明Coh-Matrix在各维度指标上的有效性与一致性。在不同教材的各册之间,新进阶教材仅在Coh-matrix二语可读性方面存在显著性差异,事后检验进一步显示第一册语篇可读性明显高于第四册语篇可读性,其他各册之间无显著性差异;新视野教材各册之间仅在时序性维度存在显著性差异,事后检验表明第三册时序性显著强于第二册;新世纪教材各册之间单因素方差分析显示,Coh-Matrix二语可读性、指称衔接以及动词衔接维度均存在显著性差异。事后检验显示,Coh-Matrix二语可读性维度上,仅第一册可读性明显易于第二册,其他各册之间无显著性差异。但是,三套教材具有共性之处,即同一套教材各册之间的词汇分布均呈递增趋势,表现在词汇的广度与深度上。

诚然,评价教材优劣不能仅从语篇难度一个维度来看,因此

本次研究也有不足之处,如研究并未结合师生使用满意度反馈情况分析,并未把学习者英语水平和人才培养方案纳入到研究中来,希望在今后的研究中,把定性研究与定量研究相结合,更加全面评价一套教材编写的合理性。

注释:

本文中语篇难度与语篇易读性交替使用,属于同一意涵。

在本研究中,三组平均数的方差相等(equal variances assumed)时,使用Bonferroni检验法进行两两比较;方差不相等(equal variances not assumed)时,使用Games-Howell检验法。

参考文献:

[1] Crossley, S. A., Greenfield, J. & McNamara, D. S. Assessing text readability using cognitively based indices [J]. TESOL Quarterly, 2008a, 42(3): 475-493.

[2] Crossley, S. A., Louwse, M. M. & McCarthy, P. M. A linguistic analysis of simplified and authentic texts [J]. Modern Language Journal. 2007a, 91(1): 15-30.

[3] Crossley, S. A., Salsbury, T., McCarthy, P. M., & McNamara, D. S. Using latent semantic analysis to explore second language lexical development. In D. Wilson & G. Sutcliffe (Eds.), Proceedings of the 21st international Florida artificial intelligence research society. Menlo Park, California: AAAI Press. 2008b: 136-141.

[4] Crossley, S. A., Salsbury, T., & McNamara, D. The Development of Polysemy and Frequency Use in English Second Language Speakers. Language Learning. 2010(60), 573-605.

[5] Charniak, E. A maximum-entropy inspired parser. In Proceedings of the 1st Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics. 2000.

[6] Landauer, T. K., and Dumais, S. T. A solution to Plato's problem: The Latent Semantic Analysis theory of the acquisition, induction, and representation of knowledge [J]. Psychological Review, 1997(104), 211-240.

[7] Glenn Fulche, text difficulty and accessibility: reading formulae and expert judgement, system, 1997(4), 497-513.

[8] Graesser, A. C., McNamara, D. S. & Kulikowich, J. Coh-Matrix: Providing multilevel analyses of text characteristics [J]. Educational Researcher, 2011, 40(5): 223-234.

[9] Graesser, A.C., McNamara, D.S., Louwse, M.M., & Cai, Z. Coh-Matrix: Analysis of text on cohesion and language. Behavioral Research Methods, Instruments, and Computers, 2004(36), 193-202.

[10] McNamara, D. S., Graesser, A. C., McCarthy, P. M. & Cai, Z. Automated Evaluation of Text and Discourse with Coh-Matrix [M]. New York: Cambridge University Press, 2014.

[11] 江进林. Coh-Matrix 工具在外语教学与研究中的应用 [J]. 中国外语, 2016 (5): 58-65.

[12] 杜慧颖, 蔡金亭. 基于 Coh-Matrix 的中国英语学习者议论文写作质量预测模型研究 [J]. 现代外语, 2013 (3): 293-300.

[13] 梁茂成. 学习者书面语篇连贯性的研究 [J]. 现代外语, 2006 (3): 284-292.

[14] 鲍贵. 不同课程水平英语学习者词汇复杂性研究 [J]. 解放军外国语学院学报, 2011(4): 55-60

[15] 桂林. 基于计算机评估的 L1 和 L2 作文词汇水平对比研究 [J]. 外语教学与研究, 2010 (6): 445-450.

[16] 江进林, 韩宝成. 基于 Coh-Matrix 的大学英语六级与托福、雅思阅读语篇难度研究 [J]. 中国外语, 2018 (03): 86-95.

[17] 陈安妮, 郭爱萍. 基于 Coh-Matrix 的大学英语教材难易度研究 --- 以《新视野大学英语》第三版为例 [J]. 教育理论与实践, 2019 (6): 46-48.

下转第 9 页

$$dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2}$$

有效的部分沿着 x 轴是它的分量

$$dE_x = dE \cos\theta = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cos\theta$$

从图中可知 $\cos\theta = \frac{x}{r}$

$$dE_x = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{x}{r}$$

其次,运用积分法——合场强 E 就等于每一个电荷元所激发的电场强度沿着 x 轴的积分

$$E = \int dE_x = \int \frac{x}{4\pi\epsilon_0 r^3} dq$$

式中自变量是 q, 所以前面的可以看作常数提出来, 最终对 dq 进行积分便可算出电场强度 E

$$\because r = \sqrt{R^2 + x^2}$$

$$\therefore E = \frac{xq}{4\pi\epsilon_0(\sqrt{R^2 + x^2})^3}$$

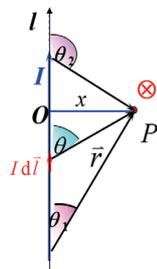
由此可见,对于电磁学教学,教师需要引导学生从微积分的方向,对题目进行重新审视与思考,将较难的题目不断进行简化,根据不同的电荷分布情况,寻找适合的微元,从而将题中的信息代入到公式中,得出正确答案^[8]。

3.2.2 在稳恒磁场中求磁感应强度 B 的应用

微积分在恒定磁场中也有广泛的应用。在中学阶段学生已经知道了电流会产生磁场,并且可用右手定则判断磁感应强度的方向且能够对匀强磁场进行简单的计算,但是没有学习如何计算非匀强磁场的磁感应强度的大小^[9]。日常生活中电流所激发的磁场是非均匀的,因而空间中不同位置处磁场(包括大小和方向)是不一样的,所以对其进行计算不能再简单的运用磁感应强度公式直接进行计算,而是要用到微积分的思想。我们知道电生磁,对于通电导线来讲磁场是电流所激发出来的,因而在运用微元法时,应该对电流进行分割而不是对磁场进行分割,这就是前面我们说过的要选择正确的研究对象,否则问题将变得复杂化。

运用微元法将一段载流导线进行分割,任取一线元 $d\vec{l}$, 其中线元上的电流为 I , I 与 $d\vec{l}$ 的乘积物理上称为电流元 $I d\vec{l}$, 将电流的方向设为线元矢量的方向,我们就可以将一段导线看作由许许多多的电流元构成。那么载流导线在空间某点的磁感应强度 \vec{B} , 就可以看作所有电流元在该点的叠加,运用积分求解即可。

例 3: 如图所示, 设一段在载有电流 I 的直导线, 试计算距离导线 x 处的 P 点的磁感应强度 \vec{B} 。



分析:(1)运用微元法——将直流导线分割成无数小份,每一小份就是一个电流元,它们都将在 P 点产生磁场,并且磁场的方向相同。根据右手定则,方向均垂直纸面向里,这样我们就将矢量积分转化为标量积分。

建立坐标系 o 轴,在 l 处取一个线元 $d\vec{l}$ 组成一个电流元 $I d\vec{l}$ 。电流元到达 P 点的位矢为 \vec{r} , 两者夹角为 θ , 根据毕奥萨伐尔定律^[10]可知

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \sin\theta}{r^2}$$

(2)运用积分法——直导线上所有的电流元在 P 点产生的磁场的和磁感应强度大小为:

$$B = \int dB = \int \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \sin\theta}{r^2}$$

其中式子里的变量有三个 l 、 θ 、 r , 没办法进行积分,但它们之间是相关联的,为了便于积分我们还需要统一变量。从图中可以得出彼此的关系为:

$$x = r \sin\theta, l = -x \cot\theta$$

其中负号是因为电流元 $I d\vec{l}$ 处于 o 的负半轴,再将上式两边同时进行微分,可得到:

$$dl = \frac{-x d\theta}{\sin^2\theta}$$

将统一变量后的物理量带入 dB ,

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \sin\theta d\theta$$

再将其带入磁感应强度的计算式子最终得到载流导线在 P 点产生的磁感应强度大小为

$$B = \int dB = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{\mu_0 I}{4\pi} \sin\theta d\theta = \frac{\mu_0 I}{4\pi} (\cos\theta_1 - \cos\theta_2)$$

式中, θ_1 为载流直导线起点处电流元与径矢 \vec{r} 的夹角, θ_2 为终点处电流元与径矢 \vec{r} 的夹角。

以上例题体现了微积分思想在电磁学部分的重要应用,掌握好微元法和积分法就可以将复杂的问题简单化,然后运用物理公式达到求解物理问题的目的。由此,教师在进行电磁学部分教学时,有针对性的引导学生运用微积分思想进行学习是非常必要的。

4 结论

本文主要阐述了微积分思想并且分析了微积分思想对于电磁学教学的重要性。通过具体的例题阐述了如何利用微积分思想将复杂的物理模型转化为学生中学期间已经学过的简单的模型进行运算。与此同时,通过探讨微积分在电磁学教学中的应用,可以使教师、学生对微积分的物理意义有更深入的理解和掌握,不仅能改善学生学习物理的困境,还可以提高课堂效率,培养学生科学思维能力和创新意识,更深入的研究世界,为进一步学习专业课打下坚实的基础。

参考文献

- [1] 杨毓进. 微积分在物理和电磁方面的应用[J]. 东西南北, 2018(16):82-83.
 - [2] 杨廷玲. 大学物理教学中的微积分. 科技信息, 2009(20):424.
 - [3] 黄熙, 饶识, 谭艳蓉, 郭健勇, 陈飞明, 管薇, 胡中华, 许明耀. 微积分思想和方法在大学物理教学中的应用和研究[J]. 湖北师范大学学报(自然科学版), 2021,41(03):99-104.
 - [4] 张玉环, 王沛. 高中微积分课程国际比较研究——基于十个国家和地区的四个课标研究[J]. 数学教育学报, 2016,25(02):36-43.
 - [5] 王宝元. 微积分思想在电磁学教学中的运用研究[J]. 辽宁师专学报(自然科学版), 2018,20(03):14-16+43.
 - [6] 向娟. 翻转课堂理念及《涡流、电磁阻尼和电磁驱动》的教学设计[J]. 物理教学探讨, 2015,33(04):28-30.
 - [7] 姚祖军. 大学电磁学的概念性分析与模块化教学解析[J]. 技术物理教学, 2013,21(02):16-17.
 - [8] 赵岩. 电磁学课堂教学模式研究[J]. 辽宁师范大学学报(自然科学版), 2000(01):108-112.
 - [9] 王俊锋. 基于数学工具的高中物理与大学物理衔接[D]. 河南大学, 2018.
 - [10] 马文蔚, 解希顺, 周雨青. 物理学(第七版)[M]. 北京:高等教育出版社, 2020.
- 第一作者简介:李云凤(1990.04),女,汉族,籍贯:新疆昌吉州呼图壁县,助教,硕士研究生,主要研究方向:理论物理-量子物理,单位:新疆科技学院,邮编:841000
- 通讯作者简介:周瑞(1993.11),女,汉族,籍贯:安徽太和县,助教,硕士研究生,主要研究方向:多孔硅光学生物传感器,单位:新疆科技学院,邮编:841000

上接第 6 页

[18] 邓微波. 新、老《21 世纪大学英语》读写教程对比研究[J]. 长春大学学报, 2013(1): 118-121.

[19] 王艳伟. 专业英语教材与测试阅读文本易读度比较研究[J]. 外语研究, 2021(2): 70-75.

[20] 徐锦芬, 刘文波. 国家安全视域下外语教材建设的内涵与路径[J]. 当代外语研究, 2021: 73-79+120.

[21] 程晓堂, 孙晓慧. 英语教材分析与设计(M), 北京: 外语教

学与研究出版社, 2021.

[22] 唐美华, 梁茂成. 大学英语教材词汇复杂度级差分析[J]. 外语教育研究前沿, 2021(4): 61-68.

淮阴工学院校级创新训练项目: 基于 Coh-Metrix 的教材语篇难度对比研究(序号 454)