

# Graph Analysis of Scientific Knowledge in the Research of Core Competence of Mathematics in China

Fu Wang Xiaoli Tian

Teachers College, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang, 832003, China

## Abstract

This study mainly adopts the methods and techniques of bibliometrization and knowledge map, and carries out quantitative and qualitative analysis on the 4,359 papers in CNKI journal database on the study of China's core mathematical literacy from four dimensions: quantity and year distribution, key words, citation frequency and author. The results show that: (1) The quantity and quality of the papers are generally good, but the academic value and influence remain to be proved; (2) the research focus is relatively concentrated, and the research content needs to be deepened; (3) the core author has not been effectively formed, and the research community is in urgent need of cultivation.

## Keywords

core literacy; core accomplishment of mathematics; knowledge map; bibliometrics

## 中国数学核心素养研究的科学知识图谱分析

王福 田晓丽

石河子大学师范学院, 中国·新疆 石河子 832003

## 摘要

本研究主要采用文献计量、知识图谱的方法与技术, 从发文数量与年份分布、关键词、文献被引频次、作者四个维度对中国知网(CNKI)期刊数据库中关于中国数学核心素养研究的4359篇论文进行定量和定性分析。结果表明:(1)论文数量和质量总体呈良好态势, 学术价值和影响力有待考证;(2)研究热点比较集中, 研究内容有待深化;(3)核心作者群尚未有效形成, 研究共同体亟需培育。

## 关键词

核心素养; 数学核心素养; 知识图谱; 文献计量

## 1 引言

2014年, 教育部印发《关于全面深化课程改革 落实立德树人根本任务的意见》(以下简称《意见》)文件, 明确提出研制各学段学生发展核心素养体系的任务<sup>[1]</sup>。2016年, 《中国学生发展核心素养》研究成果正式发布, 总框架中明确提出培养“全面发展的人”为核心的六大素养<sup>[2]</sup>。2018年, 正式出版的《普通高中数学课程标准(2017年版)》提出六大数学学科核心素养: 数学抽象、逻辑推理、数学建模、数学运算、直观想象、数据分析等<sup>[3]</sup>。数学核心素养是个人数学能力全面发展的“指南针”, 也是数学课程改革的“方向标”。截至目前, 中国数学核心素养研究开展的程度如何? 研究者

关注的热点有哪些? 数学核心素养研究的成果价值如何? 研究中还存在哪些不足之处? 对于研究者比较关注的这些问题, 本文力图从科学知识图谱分析的视角加以研究和总结。

## 2 研究设计

本研究的数据来源为中国知网(CNKI)期刊数据库, 分别以“数学核心素养”或含“数学学科核心素养”为主题、篇名和关键词进行精确检索, 检索时间区间为2015-2019年(2014年以前鲜有这方面的成果), 去除会议宣传、讲话稿等学术性较弱的文献, 并经过去重处理, 最终筛选出与“数学核心素养”研究关系密切的文献4359篇。采用文献计量、

知识图谱的方法与技术,借助 CiteSpace 和 SPSS 软件,从发文数量与年份分布、关键词、文献被引频次、作者四个维度进行全面的分析。

### 3 数据分析

#### 3.1 发文数量与年份分布

发文数量不仅是衡量科研活动的一个重要指标,而且还能体现一定时期内某一学科领域研究活动的绝对产值。因此,研究某一学科领域的发文数量与年份分布情况可以从宏观上了解这一领域的发展现状以及大致发展趋势。综合表 1 和图 1 可知,中国数学核心素养研究论文数量呈逐年上升趋势。从论文数量的具体分布来看,大致可分三个阶段:2015-2016 年是数学核心素养研究的起步阶段,自《意见》颁布之后,学者已将目光转向该领域;2017-2018 年是数学核心素养研究的快速发展阶段,随着核心素养研究领域的扩展、课程改革的加快推进、考试招生制度的改革,此时数学核心素养已成为学者关注的热点之一;2019 年是数学核心素养研究的顶峰之年,全年的论文数量几乎占全部论文总数的一半,充分说明数学核心素养已经成为该领域研究的热点,呈现出“百花齐放百家争鸣”的态势。

表 1 2015-2019 年中国数学核心素养研究论文数量年度分布表

年份	2015	2016	2017	2018	2019	总计
篇数	16	211	730	1232	2170	4359
百分比	0.37%	4.84%	16.75%	28.26%	49.78%	100%



图 1 2015-2019 年中国数学核心素养研究论文数量年度分布图

#### 3.2 关键词分析

##### 3.2.1 关键词共现频次分析

通过 CiteSpace 软件,生成数学核心素养研究关键词共现的观察值矩阵(表 2 为频次大于 15 次的观察值矩阵)。

表 2 数学核心素养研究关键词共现的观察值矩阵(部分)

	数学核心素养	数学抽象	小学数学	高中数学	课堂教学	教学设计	初中数学	培养	小学数学教学	数学文化	深度学习	核心素养
数学核心素养		35	28	24	22	20	19	18	17	17	16	15
数学抽象	35		2	17	1	7	2	0	2	6	0	107
小学数学	28	2		0	44	5	0	32	1	1	12	664
高中数学	24	17	0		29	8	2	17	0	2	3	379
课堂教学	22	1	44	29		4	25	3	1	0	1	148
教学设计	20	7	5	8	4		6	0	2	3	2	91
初中数学	19	2	0	2	25	6		7	0	0	3	280
培养	18	0	32	17	3	0	7		0	0	0	98
小学数学教学	17	2	1	0	1	2	0	0		0	3	47
数学文化	17	6	1	2	0	3	0	0	0		1	28
深度学习	16	0	12	3	1	2	3	0	3	1		30
核心素养	15	107	664	379	148	91	280	98	47	28	30	

由表 2 可见,数学核心素养与数学抽象之间共现频次高达 35 次,反映出专家、学者在研究数学核心素养时,更加注重数学核心素养内涵体系的构建;小学数学、高中数学、课堂教学、教学设计出现的频次也比较高,体现出数学核心素养与学段、学科、课程之间的紧密联系;虽然核心素养与数学核心素养之间的频次仅为 15 次,但是核心素养与其他关键词之间的频次都很高,这说明数学核心素养的发展离不开核心素养,而是在核心素养的滋养下“枝繁叶茂”。

##### 3.2.2 高频关键词共现聚类分析

利用 SPSS 软件对数学核心素养研究的高频关键词进行聚类分析,得到如下的冰挂图(图 2)。由图 2 可知,当聚成十类时,小学数学教学和数学文化为一类,其他各为一类,这说明已经开始注重将数学文化引入小学数学课堂,以此提升学生的数学核心素养;当聚成四类时,数学抽象、小学数学、课堂教学各自聚成一类,其他关键词聚成一类,这说明在研究数学核心素养时,其内涵、评价、途径等联系紧密、密切相关。

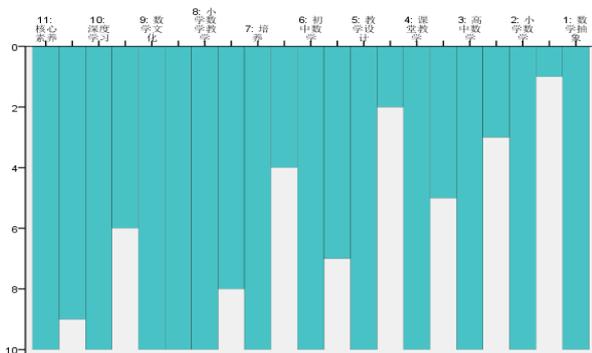


图2 数学核心素养高频关键词冰挂图

### 3.2.3 关键共现图谱分析

通过 CiteSpace 软件，得到关键词共现网络图（图3）和关键词聚类网络图（图4）。

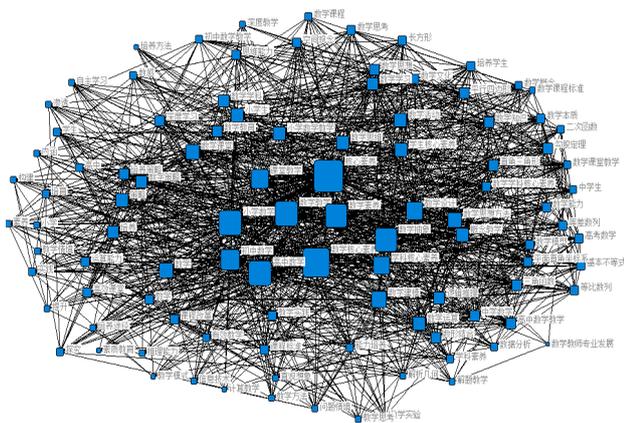


图3 数学核心素养关键词共现网络图

由图3可以看出，核心素养、数学素养、数学教学、高中数学、数学抽象等关键词处于网络中心，节点较为密集，可以代表当前数学核心素养领域学者们关注的热点话题，而“教师专业发展”等关键词远离中心位置，受到的关注度相对要低。

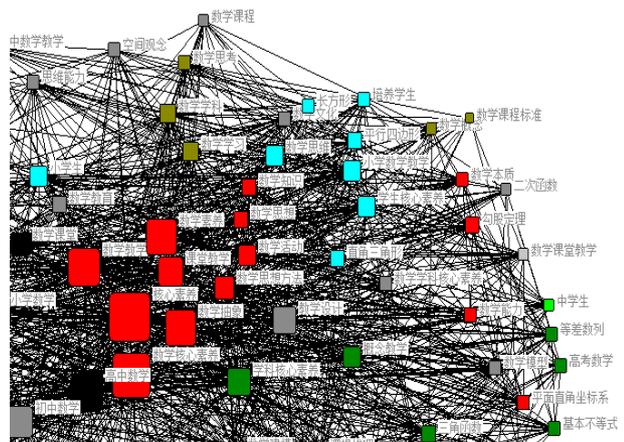


图4 数学核心素养关键词聚类图

由图4可以发现，虽然与“数学核心素养”相关的词汇较多，但研究热点可以归为以下5个主题。

(1) 数学核心素养与相关概念之间关系的研究。该聚类主要有核心素养、学科核心素养、数学素养、数学思想等关键词。关于核心素养，林崇德认为它是学生在教育过程中形成的适应个人终身发展和社会发展必须具备的品格和关键能力<sup>[4]</sup>；关于数学学科核心素养，史宁中认为它是让学生学会用数学的眼光观察世界、用数学的思维分析世界、用数学的语言表达世界的能力<sup>[5]</sup>；关于数学核心素养，马云鹏认为它是学习者在数学某个领域应具备的一种综合性能力<sup>[6]</sup>；关于数学素养，蔡金法、徐斌艳认为它是数学知识、数学能力、数学情感态度与价值观的综合表现<sup>[7]</sup>；关于数学基本思想，史宁中认为它是“数学所发展依赖、所依靠的思想”<sup>[4]</sup>。关于数学核心素养与相关概念之间的关系，马云鹏的指出：核心素养是数学核心素养的内核，数学素养是数学核心素养的基础，数学思想则是实现数学核心素养的途径之一<sup>[6]</sup>。

(2) 数学核心素养的内涵及构成要素。该聚类主要有数学抽象、数学运算、逻辑推理、概念教学等关键词。张奠宙、马文杰认为数学核心素养是数学知识、技能、思想、经验、情感、态度与价值观的综合体现，涵盖数学基本特征的思维品格和关键能力<sup>[8]</sup>；吕世虎、吴振英从四个层面（数学双基层、问题解决层、数学思维层、数学精神层）诠释了数学核心素养<sup>[9]</sup>；《普通高中数学课程标准（2017年版）》认为数学核心素养是数学课程目标的集中体现，是具有数学基本特征的思维品质、关键能力以及情感态度与价值观的综合体现，高中数学核心素养包括数学抽象、逻辑推理、数学建模、直观想象、数学运算、数据分析等六个方面<sup>[3]</sup>。

(3) 数学核心素养的特征研究。该聚类主要有初中数学、教学设计、数学教学等关键词。孙成成、胡典顺在梳理数学核心素养发展历程的基础上，提出数学核心素养具有四个特征，即整体性、组合性、聚合性和内隐性<sup>[10]</sup>；朱立明认为数学核心素养具有关键性和普遍性、广泛性和融合性、个体性和生长性等特征<sup>[11]</sup>；马云鹏则认为数学核心素养的基本特征是综合性、阶段性和持久性<sup>[6]</sup>，而这一观点目前得到了学界的普遍认可。

(4) 数学核心素养的影响因素及培养策略。该聚类主要有培育、构建、提升、能力培养、深度学习等关键词。朱晓语、胡典顺通过实证研究，发现影响高中生数学核心素养水

平的因素主要有：数学学习机会、数学学习的自我信念、数学学习兴趣动机、学校因素以及学校参与度<sup>[12]</sup>。史宁中从五个方面提出培养和发展学生数学核心素养的实施路径<sup>[5]</sup>；章建跃则认为学生数学核心素养的获得，前提是必须把数学知识理解透彻并用于实践，同时，他还提出“四基”、“四能”是通向数学核心素养的主渠道<sup>[13]</sup>；丁杨华考虑到“再创造”过程中数学核心素养培养的关键<sup>[14]</sup>。

(5) 数学核心素养的评价。该聚类主要有课程标准、高中、数形结合、教学等关键词。彭艳贵、徐伟探索了高中生数学核心素养测评可操作性的维度划分，构建了数学核心素养评价的三维立体框架<sup>[15]</sup>；孔凡哲从两个方面提出破解中国学生发展核心素养评价难题的对策<sup>[16]</sup>；基于 PISA 视角，李星云构建了小学数学核心素养的评价体系<sup>[17]</sup>；张淑梅等通过调查，对六个数学核心素养之间的关系进行了研究，进而提出数学核心素养的评价体系<sup>[18]</sup>。

### 3.3 文献被引频次分析

文献被引的频次大致能够反映出论文的学术价值和影响力，直接反映出论文观点被学术圈认可的程度。文献被引的频次越高，说明文献在本领域内的影响力、应用价值和参考价值也越高。表 3 统计了中国数学核心素养研究领域被引频次最高的 10 篇论文。

表 3 中国数学核心素养研究被引频次最高的论文统计表

序号	题名	作者	来源期刊	发表时间	被引频次
1	关于数学核心素养的几个问题	马云鹏	课程·教材·教法	2015.9	536
2	关于高中数学教育中的数学核心素养——史宁中教授访谈之七	史宁中 林玉慈 陶剑 郭民	课程·教材·教法	2017.4	256
3	学科核心素养的培养与教学——以数学学科核心素养的培养为例	史宁中	中小学管理	2017.1	230
4	数学视角下的“核心素养”	郑毓信	数学教育学报	2016.6	218
5	小学数学核心素养的内涵与价值	马云鹏	小学数学教育	2015.5	204
6	基于深化课程改革的数学核心素养体系构建	朱立明	中国教育月刊	2016.5	196
7	小学数学核心素养培养的思考与实践	徐国明	中小学教师培训	2016.7	185
8	高中数学教材落实核心素养的几点思考	章建跃	课程·教材·教法	2016.7	185
9	《普通高中数学课程标准（修订稿）的意见征询——访谈张奠宙先生	洪燕君 周九诗 王尚志 鲍建生	数学教育学报	2015.6	182
10	中国学生发展的数学核心素养概念界定及养成途径	孔凡哲 史宁中	教育科学研究	2017.6	165

从被引频次最高的 10 篇论文来看，都发表在教育类核心

期刊上，说明这些期刊是数学核心素养研究者们交流的“主阵地”。从文献被引量的角度分析，2015-2019 年中国数学核心素养研究论文篇均被引数分别为 396.4 次、20.9 次、8.1 次、3.2 次、0.7 次，显然 2015 年的篇均被引数为近五年的最高值，说明这一年关于数学核心素养研究论文的学术质量和影响力都很高，2016 年呈现出急剧下降趋势，2017-2019 年这个值还在逐年降低，固然要考虑的一个因素是论文的引用频次有待时间等因素来考证，但不可否认的还是由论文本身的质量决定。因此，从整体来看，中国数学核心素养研究成果的学术价值和影响力在逐年下降，这种趋势非常不利于数学核心素养的深度发展。

### 3.4 作者分析

#### 3.4.1 核心作者分析

核心作者群也称为活跃作者群，是指在某一研究领域内发表的论文数量比较多、影响力比较强的作者集合。单独研究一篇论文，很难探究出学科的发展规律，只有出现大批的文献流才能呈现出某种规律性的变化。可见，核心作者群是文献流的重要力量，在一定程度上他们发挥着学术导向作用，推动学科研究走向一个新的层次。

本研究主要运用洛特卡定律的研究结果定量分析数学核心素养研究领域的作者与文献之间的关系：在某一研究领域，写 2 篇论文的作者数量大约是写 1 篇论文作者数的 1/22，写 3 篇论文的作者数量大约是写 1 篇论文作者数的 1/32；以此类推，写 n 篇论文的作者数量则大约是写 1 篇论文作者数的 1/n<sup>2</sup>，所有写一篇论文的作者数量约占所有作者数量的 60% 左右<sup>[19]</sup>。统计中国数学核心素养研究论文作者情况，结果表明：发文数量为 1 篇的作者（3771 人）占全部作者数量（4303 人）的 87.6%，比洛特卡定律所给的标准高出 27.6%，这表明在数学核心素养研究中写 1 篇论文的作者数量居多；写 2 篇论文的作者数量（370 人）占写 1 篇论文作者数量的 9.8%，远低于洛特卡定律的比例标准，这种现象不利于中国数学核心素养研究领域核心作者群的形成。

普赖斯定律对论文的核心作者进一步加以描述：在同一领域中，只有发表论文在 M 篇（ $M=0.749(N_{max})^{1/2}$ ，式中  $N_{max}$  为统计年限中最高产作者的论文数）以上的作者，才能称为核心作者<sup>[20]</sup>。根据统计可知，数学核心素养研究领域最高产的作者发文数为 17 篇（西北师范大学 张定强），代入公式可得  $M=3.09$ ，按实际运用取整数为 3，因此发表论文在 3

篇以上(含3篇)的作者是数学核心素养研究领域的核心作者。统计可知该领域共有163位核心作者,但是普赖斯定律进一步表明:核心作者所撰写的论文数量大约为该领域全部论文数量的50%左右,而统计这163位核心作者,撰写的论文数量(649篇)仅占全部论文数量的14.89%,远低于普赖斯定律的标准。这表明,尽管中国数学核心素养研究的作者很多,但核心作者数与核心作者所发论文数量都很少,从严格意义来说,中国数学核心素养研究领域的核心作者群尚未形成。

### 3.4.2 作者合作情况分析

论文作者合作情况能直接反映出研究者之间的合作程度,也能间接体现出该领域研究的人力投入、发展水平、支持条件等。表4给出了中国数学核心素养研究的作者合著情况。从文献计量学的角度看,中国数学核心素养研究领域论文独著现象明显,研究人员缺乏合作意识。

表4 2015-2019年中国数学核心素养研究作者合作情况

合著类型	独著	2人合著	3人合著	4人及以上合著	总计
篇数	3676	545	116	22	4359
比例	84.3%	12.5%	2.7%	0.5%	100%

为更加清晰、深入地研究作者之间的合作情况,绘制出中国数学核心素养研究作者合作社会网络图(图5)。由图5可知,中国数学核心素养研究共组成了23个团队,其中王尚志、胡凤娟等研究者组成的团队比较庞大,而且团队成员之间连接线较多,比较密集,反映出团队成员之间合作较多、互动频繁,说明她们是中国数学核心素养研究的重要力量,在学术界比较有影响力,除此之外,张定强等人组成的团队实力也比较强大,对数学核心素养的研究贡献比较大。

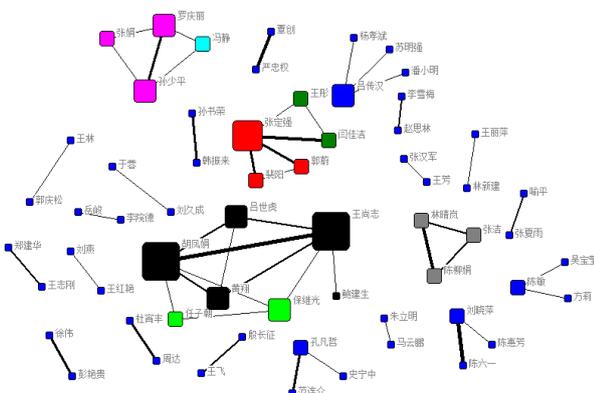


图5 中国数学核心素养作者合作社会网络图

笔者查阅合作比较多的作者所在机构,发现王尚志、胡

凤娟等人组成的团队成员为多个机构组成,其余团队均为局部范围合作,存在“近亲结婚现象”。从总体来看,我国数学核心素养的研究者内部交流多,缺乏与外部的合作发展。

## 4 研究结果讨论

从发文数量与年份分布、关键词、文献被引频次、作者四个维度对近五年中国数学核心素养研究成果进行了定量与定性分析,对近五年来中国数学核心素养研究的发展状况、研究热点、成果价值等进行了比较详实的描述。据此,可以初步得出以下结论。

### 4.1 论文数量和质量总体呈良好态势,学术价值和影响力有待考证

第一,自核心素养和数学学科密切关联之后,关于数学核心素养研究的论文数量一直呈倍数增长模式,说明数学核心素养已经引起研究者的高度关注。第二,发表在核心期刊(含CSSCI)的论文数量(见图6)基本呈增长趋势(虽然2018年较2017年相比,稍有所降低,但不影响总体发展趋势),这说明论文质量也在逐步提升。第三,虽然论文的被引频次整体呈逐年下降趋势,论文的学术价值和影响力有所减弱,但这种趋势有待考证,原因有二点:一是论文的学术价值和影响力被学界认同具有一定的延缓效应,新发表的高质量论文需要时间检验,可能会在2-5年后达到最高的被引频次;二是随着数学核心素养研究成果的不断增加,供研究者可参考的成果范围增大,客观上会影响整体的篇均被引次数。



图6 发表在核心期刊(含CSSCI)的中国数学核心素养论文年度分布图

### 4.2 研究热点比较集中,研究内容有待深化

第一,关于数学核心素养的研究热点目前主要集中在五个方面:数学核心素养与相关概念之间的关系、数学核心素养的内涵及构成要素、数学核心素养的特征、数学核心素养的影响因素及培养策略、数学核心素养的评价。究其原因,主要有二点:一是数学核心素养的研究不是舍去“核心”,

也是抛弃“思想”、“素养”，而是在核心素养的基础上，以数学思想、数学素养为桥梁，紧密地与数学学科结合，最终达到“开花结果”；二是只有明确数学核心素养的内涵及构成要素、特征、评价，才能更好地与学生、课程、教学等对象有机衔接，真正将数学核心素养“落地生根”。第二，虽然目前取得了一系列的成果，但关于数学核心素养的研究仍存在诸多不足：一是宏观层面、理论层面的研究较多，微观层面、实践方面的研究较少，针对小学数学核心素养的研究多，中学数学核心素养的研究少，大多研究采用理论分析与思辨式研究相结合的模式，缺乏实证调查研究、实际案例分析或课堂教学行动研究；二是研究内容不够深入，存在“浅化”现象，大多研究只是对国家文件的解读、相关概念的辨析、对数学核心素养重要性的倡导或是“观点+案例”式泛泛而谈经验。因此，在今后的研究中，应以学生核心素养发展为前提，将理论研究与实际问题研究相结合，注重与学科的有效融合，深化数学核心素养的内涵、特征、评价、影响因素及其培养策略的研究。

### 4.3 核心作者群尚未有效形成，研究共同体亟需培育

第一，在数学核心素养研究中发文1篇的作者占绝大多数，这种现象表明该领域多数学者只是临时性研究者，欠缺持续跟进研究的能力。研究结果还表明，发表2篇论文是现今数学核心素养研究者成为核心作者“突破口”，因此发文1篇的作者应提升持续追踪研究的能力，尽早跨过2篇的“拐点”，从而扩大核心作者群体。第二，在保证该领域有一支数量充足、结构合理的研究队伍的基础上，注重研究质量的提升，尤其要注重发挥核心作者的辐射引领效应，提升整体科研能力，加强研究队伍高水平建设。第三，数学核心素养研究领域独著现象明显，团队合作、跨学科合作、跨机构合作成果明显偏少，国际合作研究更是极度欠缺，因此未来数学核心素养的研究应加强合作研究，促进不同地域、学科、国际之间的融合发展。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部.《教育部关于全面深化课程改革 落实立德树人根本任务的意见》(教基二[2014]4号)[EB/OL].(2014-03-30)[2018-12-20].  
<http://old.moe.gov.cn//publicfiles/business/htmlfiles/moe/s7054/201404/167226.html>.
- [2] 林崇德.对未来基础教育的几点思考[J].课程·教材·教法,2016,36(3):3-10.
- [3] 中华人民共和国教育部.普通高中数学课程标准(2017年版)[M].北京:人民教育出版社,2018:4-7.
- [4] 林崇德.21世纪学生发展核心素养研究[M].北京:北京师范大学出版社,2016:29.
- [5] 史宁中.学科核心素养的培养与教学——以数学学科核心素养的培养为例[J].中小学管理,2017(1):35-37.
- [6] 马云鹏.关于数学核心素养的几个问题[J].课程·教材·教法,2016,35(9):36-39.
- [7] 蔡金法,徐斌艳.也论数学核心素养及其构建[J].全球教育展望,2016,45(11):3-12.
- [8] 张奠宙,马文杰.简评“数学核心素养”[J].教育科学研究,2018(9):62-66+85.
- [9] 吕世虎,吴振英.数学核心素养的内涵及其体系构建[J].课程教材教法,2016,37(9):12-17.
- [10] 孙成成,胡典顺.数学核心素养:历程、模型及其发展路径[J].教育探索,2017(12):27-30.
- [11] 朱立明.基于深化课程改革的数学核心素养体系构建[J].数学教育学报,2016(5):76-80.
- [12] 朱晓语,胡典顺.高中生数学核心素养发展水平影响因素的实证研究——基于湖北16个市州的调查分析[J].教育测量与评价,2020(2):50-58.
- [13] 章建跃.高中数学教材落实核心素养的几点思考[J].课程·教材·教法,2016,36(7):44-49.
- [14] 丁杨华.在“再创造”中培育儿童的数学核心素养[J].江苏教育研究,2018(28):72-75.
- [15] 彭艳贵,徐伟.高中生数学核心素养测评框架的理论分析[J].教育理论与实践,2019,39(23):49-52.
- [16] 孔凡哲.中国学生发展核心素养评价难题的破解对策[J].中小学教师培训,2017(1):1-6.
- [17] 李星云.基于数学核心素养的小学数学教师课程体系建构[J].教育理论与实践,2016,36(11):45-48.
- [18] 张淑梅,何雅涵,保继光.高中数学核心素养的统计分析[J].课程教材·教法,2017,37(10):50-55.
- [19] 邱均平.信息计量学(六)第六讲 文献信息作者分布规律——洛特卡定律[J].情报理论与实践,2000(1):75-78.
- [20] 钟文娟.基于普赖斯定律与综合指数法的核心作者测评——以《图书馆建设》为例[J].科技管理研究,2012(2):57-60.