

科学学科核心素养结构及指标体系建构

——基于15个国家课程标准和38位教师深度访谈内容的编码分析

王碧梅

(陕西学前师范学院 教育科学学院, 陕西 西安 710061)

[摘要] 科学素养是科学教育教学实践的价值追求,是落实核心素养的关键要素,也是科学教育急需解决的问题。对15个国家的课程标准和38位一线教师的深度访谈内容进行文本分析,结合德尔菲专家咨询法建构出科学观念与应用、科学思维与创新、科学探究与交流、科学责任与态度四个素养和41个观测指标。以此为依据,使用AHP分析得到科学学科核心素养的构成式为:科学观念与应用 $\times 0.177$ +科学思维与创新 $\times 0.273$ +科学探究与交流 $\times 0.195$ +科学责任与态度 $\times 0.355$ 。四个素养在科学学科中所起的作用各有差异,但都是科学学科必不可少的要素,且各个要素都为其他要素提供必备的基础。

[关键词] 科学素养;结构;指标体系;编码分析;课程标准

[中图分类号] G465 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-7469(2021)09-0043-14

一、科学学科核心素养建构的必要性

我国2016年发布的《中国学生发展核心素养》中提到了大量与科学学科相关的素养,由此引起了学者和教育工作者对于科学学科素养的关注,也推动了“基于核心素养”的课程与教学改革。在一系列的研究和改革中,诸多学者都提出建构科学学科核心素养的要求,并将其作为学科改革和发展的关键。科学学科核心素养是学科课程与教学的准绳,是学生学习目标实现的基准,也是学生科学与技术素养提升的关键。

然而,自学科核心素养兴起至今,学术界并未明确提出何为科学学科素养,它包括哪些要素,以及这些要素之间的关系构造如何。大量的研究都集中在微观层面上探讨学科核心素养的培育。如印晓明的研究提出要以“科学实践”的视角培育物理学科素养核心;^[1]朱昊的研究从“探究影响酶活性的条件”的教学设计中探讨核心素养的

[基金项目] 2018年度教育部人文社科基金“中小學生核心素養培養及評價研究”(項目編號:18YJC880083);陝西省教育廳專項基金“多子女家庭兒童社會性發展結構、工具、測評”(項目編號:21JP029);北京師範大學中國基礎教育質量監測協同創新中心自主課題資助(項目編號:2020-05-002-BZPK01)。

[作者簡介] 王碧梅,陝西學前師範學院教育科學學院講師,教育學博士。

培养;^[2]闫志明等人的研究则从教学设计的方法论层面上提出核心素养发展的路径。^[3]虽然学科教育的目标是以人才质量的提升为主,然学科自身的构造和要素关乎学科如何培养人和培养什么样的人的问题,这是教育的根本问题,也是学科课程的核心所在。科学学科以国民科学素养的提升作为总目标,该学科致力于解决国民该具备哪些科学素养,以及怎么培养等问题。但目前关于科学学科核心素养是什么,包含哪些要素,要素之间具有怎么样的关系等问题仍是研究的盲点,这不仅制约了学科课程教学的有效实施,也不利于科学素养的培养。鉴于此,笔者以科学课程标准作为分析框架,综合一线教师的深度访谈,试图回答上述问题。

二、研究方法和过程

(一)研究对象

为了建构小学科学学科的核心素养,本研究采用文本分析法和德尔菲专家咨询法(Delphi Method),进行双方多重论证。文本分析法选取的研究对象有两类,第一类是已有的科学课程标准,第二类是一线教师的深度访谈资料。对科学课程标准的分析,能够把握学科课程的要旨,对建构学科核心素养具有基础性的作用。根据研究主题,本研究最终确定了15个国家的课程标准。从事一线教学的小学科学教师是科学课程教学的长期实践者,他们自身对课程教学的感知对于建构科学学科核心素养具有关键性的作用。因此,本研究选取38位从事科学教学工作的教师作为研究对象,采用半结构式深度访谈法展开调查。根据研究主题,在对象的选取上,研究采用非概率主观抽样的方法,建构了“个案金字塔阵”。研究对象需满足以下条件:(1)必须有三年或三年以上的科学教学经验;(2)必须对科学课程标准和内容比较熟悉;(3)所教专业必须为科学、物理、化学、生物、地理等五种专业中的一种;(4)任教学段需满足三个学段都有从教经验(详见表1)。

德尔菲专家咨询的目的是对文本材料分析的结果和指标重要性进行咨询,以此确定研究结果的信效度。本研究共选取了21名专家,其中13名为高校教师,8名为一线科学教师,对其进行了为期三轮的咨询。选取的专家中,男性10名,女性21名,任教年限均在10年以上。

表1 金字塔个案主体群信息表

任教年级 专业	1~2 年级		3~4 年级		5~6 年级		总计
	男性	女性	男性	女性	男性	女性	
科学	1	0	1	0	1	1	4
物理	1	1	2	1	2	1	8
化学	1	2	1	2	2	1	9
生物	0	2	2	2	1	2	9
地理	1	1	1	2	2	1	8
总计	4	6	6	8	8	6	38

(二)研究方法和资料收集

为了深入分析小学科学学科核心素养的结构和要素,本研究采用文本主题内容分析法,对选取的课程标准内容和38位一线教师的深度访谈资料进行编码分析。访谈主题为:科学学科的素养有哪些?每个素养对于科学学科的贡献如何?素养之间的关系如何?在这个主题下,研究者会根据被访者给出的信息随机展开询问,以此深入了解被访者的观点。第一轮访谈对象为38位一线教师,第二轮开始根据被访者给出的信息和被访者的特点选取部分研究对象展开深度访谈。访谈过程中,研究者会根据被访者给出的信息点确定访谈结束与否。当被访者无新增信息时,整个访谈过程便可结束。整个访谈过程收集到了46份材料,为确保文本信息转录的准确性,所有访谈录音材料均由研究者独立整理转录,共转录约42万字。

为了验证文本分析获取的信息是否准确,本研究采用德尔菲专家咨询法对选取的21名专家进行为期三轮的咨询。第一轮咨询主要确定学科核心素养要点的构成;第二轮主要咨询学科核心素养的结构;第三轮主要针对前面两轮中不确定的信息进行再咨询。德尔菲专家咨询资料的收集采用信函的方式进行,一定程度上避免了专家权威效应对研究结果的影响。

(三)数据处理过程与结果

文本资料的处理采用扎根分析方法,借用Nvivo 11.0定性数据分析(Qualitative Data Analysis)编码软件对文本资料进行编码分析。首先,进行开放编码。研究者在对所有材料进行微观分析的基础上,进行自由编码。在此环节,总共建立了1 178个自由节点,涉及到科学概念、科学思维、科学实验操作等。其次,建立树状节点。该环节是针对1 178个自由节点进行核对与整理,将其梳理为树状结构,通过节点之间关系的梳理,建构理论。在该环节研究确定了科学观念、科学概念应用、科学思维、科技创新、科学探究、合作交流、科学态度、科学意识等8个树节点。再次,建立索引。根据主题和案例的描述,建立编码索引,便于后续文本的编码分析。最后,进行理论饱和和度检验。编码分析采用三人独立编码的方式进行,通过对编码者一致性的计算和深度访谈数据检验理论饱和度。研究最终确定的一致性系数均值为0.946。

德尔菲专家咨询法的数据处理采用集中程度、权威程度、协调程度进行。在此次咨询中,21名专家均参与了三轮的咨询,可见他们对该主题的兴趣较高,积极性较高。专家意见集中程度较高,四个树节点的(Q+-Q-)值均等于0。专家权威程度Cr值均在0.9以上,其中科学观念与应用的Cr值为0.967;科学思维与创新的Cr值为0.973;科学探究与交流的Cr值为0.959,科学态度与责任的Cr值为0.938,可知专家权威程度较高。专家意见协调系数从0.6上升到0.7,说明专家对于该问题的看法比较一致。

三、小学科学学科核心素养要素

本研究通过对文献资料编码分析,将编码获得的节点转入SPSS,进行聚类分析,最终将8个树状节点聚类为4个核心素养类别。基于此,本研究将获取的核心素养类

别和要素整理为专家咨询表,经过三轮的专家咨询,最终确定了4个小学科学核心素养,分别为科学观念与应用、科学思维与创新、科学探究与交流、科学责任与态度。

(一)科学观念与应用:基础素养

科学观念与应用素养主要涉及核心概念、大概念、科学知识、跨学科概念等的理解与应用。科学概念的掌握和使用是科学学科教学中的知识与技能目标。研究通过文献政策的分析,得出各国的科学教育均重视学生对科学概念、大概念、核心概念的理解与应用(详见表2)。

表2 科学观念与应用素养国际比较

国家 元素	中国	法国	英国	美国	德国	加拿大	日本	新西兰	澳大利亚	瑞典	新加坡	韩国	俄罗斯	印度	芬兰
关键概念	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
大概念	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
科学知识	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
科学技能	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
概念理解	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
知识运用	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
跨学科概念	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
知识进阶	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

在对15个国家的科学课程标准的分析中发现,科学核心概念、大概念、关键概念、科学知识的理解、科学概念的应用以及工程实践等都是这些国家的科学课程较为重视和统一的素养要素。概念教学是科学教学中较为常见的类型之一,概念的理解与应用是科学教学的基本要求,所有的教学活动都需要以概念的理解为基础,同时,学生对科学知识的深度学习也需要以概念的理解为基础。概念的理解对于学科的重要性在课程标准中也有具体的说明。美国2011年颁布的《K-12年级科学教育框架:实践、跨领域概念和核心概念》(*A Framework for K-12 Science Education*)和2013年颁布的《新一代科学教育标准》(*Next Generation Science Standards*,简称NGSS)都将学生了解四个学科核心理念作为基本标准,并在每个阶段学生应该了解的核心理念水平进行了细致的划分,强调学科概念进阶。比如,针对学科核心理念“光”在一年级的绩效期望是:光可以照亮物体;在四年级的绩效期望是:光可以将能量从一个物体转移到另一个物体。英国的课程标准在目标上就明确提出,科学课程应该确保所有学生通过生物学、物理学和化学的特定学科知识和概念发展学生的科学观念。法国的课程标准在“探索世界”这个主题下设置的总目标是:使学生能够建立他们描述和理解周围世界所需要的知识。基于该目标,法国在不同的基础领域下进行了细致的划分,比如在“质疑生活:物质和物体的世界”单元提出认识水的状态,进行涉及水的简单实验,认识固体、液体和气体的某些特性等。从15个国家的课程标准中能得出科学观念

与应用对于培养学生科学素养的意义,而这一点在一线教师的访谈中也得到了验证。一线教师作为课程标准的解读者和实施者,其关于科学学科素养的理解对于建构科学学科素养十分关键。在一线教师的访谈中,所有教师都提出了核心概念、大概念的学习与运用能够提升学生的科学素养和国民的科学素养,进而提高我们的人才竞争力。可知,科学观念与应用是科学学科的基础性素养。

(二)科学思维与创新:核心素养

科学思维与创新是各个国家在课程标准中都极为强调的素养。该素养涉及科学思维的各种能力以及创新的技能和创造力。科学思维是科学教育培养的核心目标,通过科学教学和实践,核心是培养学生的科学思维能力。创新是各国教育实践亘古不变的主题,对于国家的综合实力极为关键。创造性的工作、创新的技能、核心的科技等即将成为2035年社会现代化指标体系之一,也是未来教育的指向性目标。经济合作与发展组织(OECD)发布的《2030学习罗盘》(*Learning Compass 2030*)和世界经济论坛提出的“教育4.0全球框架”都从不同的角度提出创新对于未来教育的重要性。在《2030学习罗盘》中,创新作为“变革性素养”(Transformative Competencies)的三大构成要素之一。^[4]而在“教育4.0全球框架”中,创新则作为教育所需培养的学生的四项关键能力之一。^[5-6]可知,科学思维和创新是科学教育实践的价值追求,通过对15个国家的课程标准进行分析,得到如表3所示的结果。

科学学习的核心是培养学生的科学思维力和创新素质,需要学生学会使用科学思维思考和解决日常生活中的问题,提出创新的思路或开发新产品。科学思维的培养主要以批判性思维和创造性思维的培养为主,培养的途径主要在科学教学中,在学生的学习活动中。该种素养不仅作为课程标准的指导性内容,也作为学生能力评价的核心。澳大利亚在课程标准中提出科学思维是有目的的思维,其目标是增强知识。通过批判性和创造性思维,鼓励学生运用新思想,建立联系,探索其他解释,认识或发

表3 科学思维与创新素养国际比较

国家 元素	中 国	法 国	英 国	美 国	德 国	加 拿 大	日 本	新 西 兰	澳 大 利 亚	瑞 典	新 加 坡	韩 国	俄 罗 斯	印 度	芬 兰
科学思考力	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√			√
判断能力	√	√	√	√	√	√	√	√	√		√	√	√		√
反思能力	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
批判能力	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
推理能力	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
论证能力	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
问题识别与提出	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
创造力	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
建模能力	√	√	√	√	√	√	√	√	√		√	√			√

展论证,使用证据支持该论点,得出合理的结论,并使用信息来解决问题。美国在“K-12科学教育框架”中提出,学生能够在先前经验的基础上,在K-2中基于证据设计解决方案;在K-3中逐步建立和修改简单的模型,并使用模型描述现象;在K-5中将定量策略扩展到各个物理属性,使用计算和数学来分析数据,并与替代解决方案进行比较。德国在5~6年级的能力期望中表示,学生能够在以前主题讨论的问题背景下,评估他们自己的空间行为。瑞典在6年级末E-A级的知识要求中明确规定了学生在不同基础上应该达到的科学思维和能力水平。如在A级中提出,学生可以对空气和水的结构、性质进行完善的推理,并将其与光合作用、燃烧等自然过程联系起来。在E级中提出,学生可以对空气和水的结构、性质进行简单的推理,并将其与光合作用、燃烧等自然过程联系起来。可知,科学思维与创新是科学学科的核心素养。

(三)科学探究与交流:关键素养

科学探究与交流素养是科学学习过程中必备的关键能力,科学概念的学习、科学思维的培养、科学态度的养成都需要在科学探究与交流的过程中落实。科学探究指向有意义的科学问题,需要学生基于问题提出假设,建立科学的方法,制定探究计划,正确使用科学技能获取证据,基于证据解释问题,得出结论,并能将结果与他人进行交流、论证。科学探究既是一种学习的过程,也是一种培养目标。在15个国家的科学课程标准中,都将科学探究与交流能力作为科学课程培养的目标(详见表4)。

在15个国家的科学课程标准中都多次提到了科学探究和交流,如德国在5~6年级的能力期望中表示,学生能够在学校环境中组织一个可控的项目。日本的科学课程标准中,在不同年级的主题内容下都会涉及学生的表达能力。如在“生命·地球”主题下提出,基于学习和生活经验,在研究人类和其他动物的同时,对人类和其他动物的结构和运动进行思考,并表达一些自己的想法。新加坡的科学课程标准中将课程框架的核心界定为培养科学探究的精神。韩国的科学课程标准中也同样主张合作,尤其在科学实验活动中。比如在成就标准说明中指出,可以开展实验活动,体验科学探究的全过程,从科学问题的发现到解决方案的呈现,特别是通过“设计防止与运动相关的安全事故的设备”这个活动了解协作的价值,并通过工程设计过程体验科学探

表4 科学探究与交流素养国际比较

国家 元素	中 国	法 国	英 国	美 国	德 国	加 拿 大	日 本	新 西 兰	澳 大 利 亚	瑞 典	新 加 坡	韩 国	俄 罗 斯	印 度	芬 兰
探究技能	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
合作能力	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
领导能力	√	√	√	√	√	√	√	√	√		√				√
阅读能力		√	√	√	√	√		√	√	√	√				√
表达能力	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
沟通能力	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

表5 科学责任与态度素养国际比较

国家 元素	中国	法国	英国	美国	德国	加拿大	日本	新西兰	澳大利亚	瑞典	新加坡	韩国	俄罗斯	印度	芬兰
参与意识	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
学习兴趣	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
责任感	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√		√
司法能力					√			√							
科学本质观	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
科学思想	√	√	√	√	√		√		√		√		√		√
道德理解	√	√	√	√	√	√		√	√	√	√	√			√
安全意识	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√		√

究的整个过程和设计创造性的输出过程。探究和交流既作为科学学习的技能,也作为科学学习的目标,该素养不仅关联着核心概念、大概概念的掌握和运用,也关联着科学思维和科学责任、态度的培养,它起着“链接性”的作用,是科学学科中的关键素养。

(四)科学责任与态度:高阶素养

科学责任与态度主要包括:主动参与意识;学习兴趣;作为学习者的意识;自己的责任;公平、公正的道德理解;信息、人身、财产安全等。近年来,关于科学责任与态度的研究越来越多,科学课程的评价也逐渐关注学生的科学责任与态度,比如PISA中就有明确的对科学态度进行测量的内容。可知,科学责任与态度对于科学学科素养而言十分重要。通过对比分析15个国家的课程标准,得到如表5所示的结果。

由表5可知,15个国家对参与意识、责任感、道德理解、学习兴趣、科学本质观、安全意识几个素养的认识较为统一,而司法能力提及的国家相对较少。考虑到该因素的特殊性和价值,研究者将司法能力作为一线教师访谈和德尔菲专家咨询的单列要素进行访谈与咨询,研究结果显示,大部分专家都对该要素的提出表示支持和肯定,并建议能够将其作为后续科学教育教学改革的内容之一。司法素养主要涉及对各类法律知识的运用能力,比如,德国在“不同结构的定居点中共同生活”主题下描述5~6年级的学生应该达到的司法能力包括:能够评估学校环境的交通安全以及地图的信息价值;能够从不同群体的角度讨论生活在城市和乡村的利弊;能够评估不同文化的移民引起的影响,即对现在和未来的现实影响。法律意识作为新时代公民的必备素质,对新时代公民的培养十分关键,而法律知识的应用作为法律意识检验的标准之一,能够对公民的法律意识进行有效评价。因而在基础教育的科目中应该结合学科特质有针对性地进行渗透。科学责任与态度作为科学课程的终极目标,对于教师的教学和学生的学习起到纲领性的作用。各个国家的课程标准都将其作为课程标准的统领性内容。日本每个学段的课程标准都关注学生的科学态度和责任。俄罗斯的课程标准中也提及到,培养学生对周围世界的积极情感、价值观、态度。新加坡的课程

标准中将道德与态度作为课程框架的构成之一,且该目标是在科学探究的过程中得以落实。道德与态度包括好奇心、创造力、客观性、公正性、诚信、坚持和责任等心理态度,也包括在讨论科学和技术的伦理影响时的道德感。澳大利亚在课程标准的价值观中强调贡献、挑战、反思、公平等。在道德理解中,鼓励学生识别和调查道德概念、价值观和原则的本质,并理解推理如何帮助道德判断。课程提纲为学生提供了与科学调查、设计解决方案、行为准则、数字技术的使用和在线协助环境等相关的形成性主题,让学生能够作出道德判断。学生能够在他们的调查和设计中应用道德准则。鼓励学生在了解保护数据、知识产权以及社会和道德的重要性时,展示道德数字的公民身份。科学学科不仅要培养学生的科学技能,更要让学生养成科学的态度,清楚自己的职责。因此,科学责任与态度是科学学科的高阶素养。

四、小学科学学科核心素养权重

核心素养的构成要素对于学科而言所起的作用各有差异,在学科中占据的位置结构也有所差异,为了厘清每个要素的作用和位置,本研究采用德尔菲专家咨询和层次分析法(AHP)将四个元素对于科学学科素养的重要性进行比较、赋值、计算,进而得到每个元素的权重,便于后续结构模型和评价指标的建立。

(一)小学科学学科核心素养层次结构

层次结构是学科核心素养结构模型建立的必要条件,该环节是后续比较、赋值、计算的基础性环节。在该部分,根据小学科学学科要素建立了目标层、准则层、方案层三个层级。目标层为小学科学学科核心素养;准则层为四个素养;方案层为每个素养下的观测指标。科学观念与应用设有8个指标:关键概念、大概念、科学知识、科学技能、概念理解、知识运用、跨学科概念、知识进阶。科学思维与创新设有9个指标:科学思考力、判断能力、反思能力、批判能力、推理能力、论证能力、问题识别与提出、创造力、建模能力。科学探究与交流设有6个指标:探究技能、合作能力、领导能力、阅读能力、表达能力、沟通能力。科学责任与态度设有8个指标:参与意识、学习兴趣、责任感、司法能力、科学本质观、科学思想、道德理解、安全意识。四个素养共41个观测指标构成了小学科学学科核心素养的层级结构。在层级结构的基础上,本研究采用Saaty1~9重要性尺度法对层次之间的重要性进行两两比较,由此建立了判断矩阵(详见表6)。由表6可知,小学科学学科核心素养中科学责任与态度较之于其他三个最为重要($B_{ij}=7$),其次是科学思维与创新($B_{ij}=5$),再次是科学探究与交流($B_{ij}=3$),最后是科学观念与应用($B_{ij}=1$)。

(二)小学科学学科核心素养权重

以判断矩阵为基础,计算四个素养的权重。计算判断矩阵特征向量W值,首先需要求得判断矩阵每一行的乘积:

$$M_1=1 \times 1/5 \times 1/3 \times 1/7=0.01;$$

$$M_2=5 \times 1 \times 2 \times 1/2=5;$$

$$M_3=3 \times 1/2 \times 1 \times 1/4=0.375;$$

$$M_4=7 \times 2 \times 4 \times 1=56$$

其次求得 M_i 的4次方根,得到:

$$\overline{W}_1=0.316; \overline{W}_2=1.495; \overline{W}_3=0.783; \overline{W}_4=2.734$$

将结果代入公式 $W_i = \frac{\overline{W}_i}{\sum_{i=1}^n \overline{W}_i}$, 得到:

$$W_1=0.0593; W_2=0.2805; W_3=0.1469; W_4=0.513$$

再次计算向量 AW 和最大特征根 λ_{\max} 值,过程和结果如下:

$$AW = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{5} & \frac{1}{3} & \frac{1}{7} \\ 5 & 1 & 2 & \frac{1}{2} \\ 3 & \frac{1}{2} & 1 & \frac{1}{4} \\ 7 & 2 & 4 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.0593 \\ 0.2805 \\ 0.1469 \\ 0.513 \end{bmatrix}$$

$$AW_1=1 \times 0.0593 + 1/5 \times 0.2805 + 1/3 \times 0.1469 + 1/7 \times 0.51 = 0.2372;$$

$$AW_2=5 \times 0.0593 + 1 \times 0.2805 + 2 \times 0.1469 + 1/2 \times 0.51 = 1.1258;$$

$$AW_3=3 \times 0.0593 + 1/2 \times 0.2805 + 1 \times 0.1469 + 1/4 \times 0.51 = 0.5926;$$

$$AW_4=7 \times 0.0593 + 2 \times 0.2805 + 4 \times 0.1469 + 1 \times 0.51 = 2.0737;$$

代入求解公式 $\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i}$ 得:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{4} \left(\frac{0.2372}{0.0593} + \frac{1.1258}{0.2805} + \frac{0.5926}{0.1469} + \frac{2.0737}{0.513} \right) = 4.0225$$

最后,检验各个判断矩阵的一致性(CI)和一致性比率(CR),目的是确保各个指标的

权重分配都在合理的范围内($CR < 0.10$),计算公式分别为: $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$; $CR = \frac{CI}{RI}$ 。

将上述结果代入公式得到 $CI=0.0094$; $CR=0.0106$ 。

根据该计算步骤和公式获得了一位专家在四个素养上的权重、向量和一致性检验。其余20位专家的计算方法和步骤相同,故不再一一演练。此外,每个素养下的观测指标权重计算和检验方法也与此相同。最终将21位专家给出的权重进行平均化即可得到该素养和观测指标的综合权重,结果如表7所示。

表6 小学科学学科核心素养判断矩阵A-B

A	B1	B2	B3	B4
B1	1	1/5	1/3	1/7
B2	5	1	2	1/2
B3	3	1/2	1	1/4
B4	7	2	4	1

从表7的计算结果可知,科学观念与应用的权重为0.177;科学思维与创新的权重为0.273;科学探究与交流的权重为0.195;科学责任与态度的权重为0.355。由此得出,科学学科核心素养(SC)的表达式为:SC=科学观念与应用 \times 0.177+科学思维与创新 \times 0.273+科学探究与交流 \times 0.195+科学责任与态度 \times 0.355。每个素养的表达式均为“各个指标 \times 权重”之和。

表7 科学学科核心素养权重

科学学科核心素养	权重	观测指标	权重
科学观念与应用(B1)	0.177	关键概念(B11)	0.027
		大概念(B12)	0.025
		科学知识(B13)	0.018
		科学技能(B14)	0.023
		概念理解(B15)	0.020
		知识运用(B16)	0.026
		跨学科概念(B17)	0.016
		知识进阶(B18)	0.022
科学思维与创新(B2)	0.273	科学思考力(B21)	0.029
		判断能力(B22)	0.027
		反思能力(B23)	0.027
		批判能力(B24)	0.029
		推理能力(B25)	0.032
		论证能力(B26)	0.035
		问题识别与提出(B27)	0.030
		创造力(B28)	0.033
		建模能力(B29)	0.031
科学探究与交流(B3)	0.195	探究技能(B31)	0.038
		合作能力(B32)	0.030
		领导能力(B33)	0.031
		阅读能力(B34)	0.031
		表达能力(B35)	0.034
		沟通能力(B36)	0.031
科学责任与态度(B4)	0.355	参与意识(B41)	0.058
		学习兴趣(B42)	0.052
		责任感(B43)	0.049
		司法能力(B44)	0.029
		科学本质观(B45)	0.044
		科学思想(B46)	0.047
		道德理解(B47)	0.031
		安全意识(B48)	0.045

五、小学科学学科核心素养结构

小学科学学科由四大素养共41个指标构成,每个素养和指标对于科学学科而言其重要性都有差异,进而构成了素养之间的层级结构。通过文献政策分析和指标权重计算可知,科学责任与态度是最为重要的素养,是科学学科的终极目标。科学概念的学习、科学思维的养成都是为了以下目标:培养学生的科学态度与责任,让学生意识到科技、社会、自然、科学之间的关系;树立对科学、社会、科技、自然应有的态度;养成乐于探究、尊重数据、实事求是、乐于分享的科学本质观;具备保护自然、环境,主动参与科学研究的责任感。目前,科学教育研究中已将科学态度与责任作为重要的研究内容,并明确了科学态度对学生科学学习的作用。比如,祖赫拉·柯哈图(Zohra Khatoon)和普拉文·嫫希(Parveen Munshi)的研究指出,“科学态度对于国家可持续发展十分重要,能够给国家提供高质量的劳动力,而这种态度应该根植于基础教育阶段。”^[7]乔(Jo)和宏(Hong)通过对学生的科学态度与学业成就的调查发现,“学生对科学的态度很重要,因为态度可以提高学生的教育成就并影响他们的表现。”^[8]15个国家的课程标准中也将学生的科学态度与责任作为重要的内容,并作为科学学习评价的重要依据。

科学探究与交流在科学学科素养中起到链接作用,科学概念的学习与应用、科学思维的养成、科学责任与态度的培养都离不开科学探究与交流的过程。科学探究和论证是最有效的促进学生科学学习的方法,^[9-10]这一观点已在国际层面上取得了共识。科学探究能“将教学过程与科学知识、推理和批判性思维相结合”。^[11-13]通过科学探究和交流,“学习者在学校里形成了一种信念,那就是要用科学的方法一步一步地得出结论,这就是科学家如何产生新知识”^[14]的过程。

科学思维与创新是21世纪必备技能中的关键能力。科学思维,尤其是批判性思维在工作和学习中十分重要,在问题解决过程中也是必不可少的能力,且“在需要作出决策的社会环境中也很重要”。^[15]科学创造力“是一种创造性,这种创造性是智力的,或者是生产出具有原创性、具有社会价值或个人价值的产品,并且利用现有的信息以特定的想法进行设计的能力”。^[16]这种创造力在科学课程标准中主要体现在学生的建模能力和问题解决上,“有创造力的人往往能找到别人看不到的解决问题的方法,同时也有能力克服别人可能无法逾越的障碍”。^[17]同时,“创造力有助于确保批判性思维的结果在文化上具有独创性”。^[18]科学思维和创新是科学教育的核心目标,学生对科学概念的学习、科学技能的掌握都是为了科学思维和创新能力的培养。同时,科学思维和创新能力的培养也是促进学生科学责任和态度养成的必经之路。

科学观念和应用是科学学科的基础素养。科学观念的形成与应用需要科学概念、大概念、核心概念、科学技能等的深度学习。深度学习能够促进学生对概念的认知,“在学习过程中学生发现一个概念或理论,这个概念就会间接地被学生所接受。学生对科学概念的接受和掌握程度取决于学生对科学概念的理解力和解决具体问题

的能力。”^[19]概念的理解和应用都需要学生思维的积极参与,尤其是批判性思维、创新思维等的参与。同时,学生思维、态度的形成也需要科学观念作为支撑。如“创造性思维技能需要知识和技术来解决问题,以便在已有知识和技术的基础上创造对问题的新的理解和解决方案”。^[20]由此可知,科学观念与应用是科学学科的基础素养,为其他素养提供基础。而其他素养的发展也会促进科学观念与应用素养的提高。基于科学课程标准的分析和一线教师的访谈,结合德尔菲专家咨询的结果,本研究建构出了科学学科素养模型(详见图1)。

科学学科素养模型是一个循环式模型,其中科学观念与应用起基础性作用,是学科的基础素养;科学思维与创新起目的性作用,是学科的核心素养;科学责任与态度起统领性作用,是学科的高阶素养;科学探究与交流起链接作用,是学科的关键素养。四个素养共同作用于科学素养的养成。

科学探究与交流的链接作用主要体现在:科学概念的学习需要科学探究作为支撑,科学探究的组织与实施也需要一定的科学知识作为基础;科学探究能够有效培养科学思维和创新的能力,科学思维和创新的能力也能够有效促进科学探究的深度和高度;科学探究的过程也是学生科学态度和责任养成的过程,同时,学生的科学态度与责任也会对探究的过程产生影响。因而,科学探究与交流在四个素养中起链接作用。科学观念与应用是基础素养,起奠基性作用。科学观念与应用能够促进科学思维与创新的发展,科学思维与创新也能够促进科学观念的深度与广度,进而促进迁移应用。科学观念与应用作为科学态度形成的基础,既能够影响学生的科学学习兴趣、科学本质观的形成,也受制于学生的科学态度。学生对于科学的兴趣会对科学的观念及应用产生影响。科学思维与创新起中心作用,是整个素养结构的中心环节。底层素养的深入渗透必然要经过科学思维与创新素养才能进入到高层素养结构中。但同时,该素养也受制于底层素养和高层素养的链接。即科学思维与创新是科学观念深度理解的体现,也是科学态度养成的必备素养,但该素养也受制于科学观念的掌握和应用程度,以及学生的科学态度与责任。

综上所述,四个素养是一个循环式过程,每个素养都对其他素养产生作用,也受制于其他素养。同时,每个素养对于科学素养的作用大小也有差异。因而在科学教

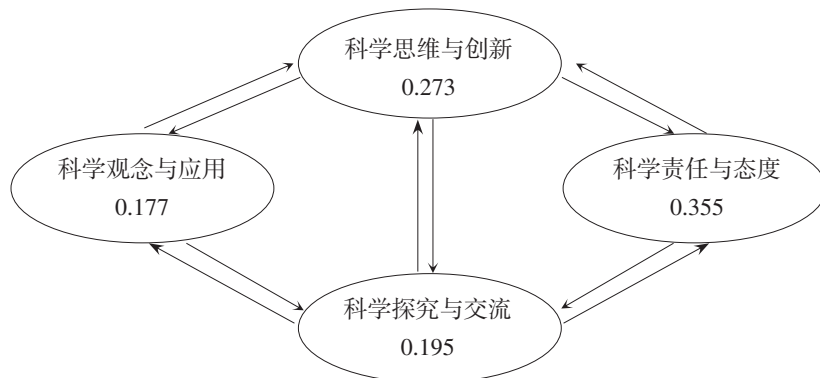


图1 科学学科核心素养结构图

育中,要真正落实科学素养,就需要掌握四个素养之间相互作用的原理和机制,以有效地开展教学工作。

[参考文献]

- [1]印晓明.“科学实践”视角下的学科核心素养培育——以人教版普通高中物理教材编排变化为例[J].基础教育课程,2020,(9):35-39.
- [2]朱昊.基于生物学核心素养的“探究影响酶活性的条件”实验教学设计[J].生物学教学,2019,(12):37-40.
- [3]闫志明,等.面向核心素养的教学设计反思与进路[J].中国电化教育,2012,(12):105-111.
- [4]OECD. OECD Learning Compass 2030 [EB/OL]. (2019-05-22) [2020-10-27]. <http://www.oecd.org/education/2030-project/teaching-and-learning/learning/2019-5>.
- [5]OECD. The Future of Education and Skills: Education 2030, Conceptual Learning Framework [R]. (2018-12-20) [2020-10-27]. [http://www.oecd.org/education/2030-project/contact/OECD Learning Compass 2030 Concept Note Series.pdf](http://www.oecd.org/education/2030-project/contact/OECD_Learning_Compass_2030_Concept_Note_Series.pdf).
- [6]OECD. Learning Compass 2030 [EB/OL]. (2019) [2019-08-21]. <http://www.oecd.org/education/2030-project/>.
- [7]Zohra Khatoon, Parveen Munshi. Attitude Towards Science: A Case Study of Higher Secondary Level Students of SINDH Province [J]. *Research in Science & Technological Education*, 2019, 53(11): 64-76.
- [8]I. Jo., J. E.. Hong. Effect of Learning GIS on Spatial Concept Understanding [J]. *Journal of Geography*, 2020, (119): 1-11.
- [9]Duban, N.. İlköğretim fen Öğretiminde Niçin Sorgulamaya Dayalı Öğrenme? [M] // In *8th International Educational Technology Conference (IETC 2008) Proceedings*. Eskisehir, 2008: 802-805.
- [10]European Commission. Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe. [EB/OL]. (2007-07-22) [2020-12-27]. http://ec.europa.eu/research/science-society/documentlibrary/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf.
- [11]Davies, M.. Concept Mapping, Mind Mapping and Argument Mapping: What Are the Differences and Do They Matter? [J]. *Higher Education*, 2011, 62(3): 279-301.
- [12]Turk, F., Calik, M.. Using Different Conceptual Change Methods Embedded Within 5E Model: A Sample Teaching of endothermic-exothermic reaction [J]. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 2008, 9(1): 1-10.
- [13]Astalini, et al.. Review of Educational Psychology: Attitudes towards physics [J]. *Universal Journal of Educational Research*, 2020, 8(3): 1349-1403.
- [14]Astalini, et al.. E-assessment Motivation in Physics Subjects for Senior High School [J]. *International Journal of Online and Biomedical Engineering*, 2019, 15(9): 4-1.
- [15]Dwyer, C. P., Walsh, A.. An Exploratory Quantitative Case Study of Critical Thinking Development Through Adult Distance Learning [J]. *Educational Technology Research and Development*, 2020, (68): 17-35.
- [16]Amabile, T. M., Pillemer, J.. Perspectives on the Social Psychology of Creativity [J]. *The Journal*

of *Creative Behavior*, 2012, (46): 3–15.

[17] Kaufman, J. C.. *Creativity 101 (2nd ed.)* [M]. New York: Springer, 2016: 52.

[18] Yeh, Y. C., Rega, E. M., Chen, S. Y.. Enhancing Creativity Through Aesthetics–integrated Computer–based Training: The Effectiveness of a FACE Approach and Exploration of Moderators [J]. *Computers & Education*, 2019, (139): 48–64.

[19] Astalini, et al.. Characteristics of Students' Attitude to: Physics in Muaro Jambi High School [J]. *Humanities & Social Science Reviews (HSSR)*, 2019, 7(2): 91–99.

[20] Hu Weiping, et al.. A Scientific Creativity Test for Secondary School Student [J]. *International Journal of Science Education*, 2010, (24): 389–403.

Construction of Core literacy Structure and Index System of Science Discipline —Coding Analysis Based on 15 National Curriculum Standards

WANG Bimei

(College of Educational Science, Shaanxi Xueqian Normal University, Xi'an 710061, China)

Abstract: Scientific literacy is the value pursuit of science education and teaching practice, is the key element to implement the core literacy, and is also an urgent problem to be solved in science education. Based on the text analysis of the curriculum standards of 15 countries and the in-depth interviews of 38 front-line teachers, the author constructed four qualities and 41 observation indicators of scientific concept and application, scientific thinking and innovation, scientific inquiry and communication, scientific responsibility and attitude by combining Delphi expert consultation method. Based on this, using AHP analysis, the composition of core literacy of science discipline is as follows: scientific concept and application $\times 0.177$ + scientific thinking and innovation $\times 0.273$ + scientific inquiry and communication $\times 0.195$ + scientific responsibility and attitude $\times 0.355$. The four qualities play different roles in the science discipline, but they are all essential elements of the science discipline, and each element provides the necessary foundation for the other elements.

Key Words: scientific literacy; structure; index system; coding analysis; curriculum standard

[责任编辑: 立 茹]