

北京師範大學

硕士学位论文

论文题目：大学生跨学科概念理解的调查研究
——以三所师范大学理科生为例

作 者： 李佩珊

导 师： 高潇怡 教授

系别年级： 教育学部 2017 级

学 号： 201721010025

学科专业： 课程与教学论

完成日期： 2020 年 6 月

北京师范大学研究生院

北京师范大学学位论文原创性声明

本人郑重声明： 所提交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名： 李佩珊

日期： 2020 年 6 月 1 日

学位论文使用授权书

学位论文作者完全了解北京师范大学有关保留和使用学位论文的规定，即：研究生在校攻读学位期间论文工作的知识产权单位属北京师范大学。学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许学位论文被查阅和借阅；学校可以公布学位论文的全部或部分内容，可以允许采用影印、缩印或其它复制手段保存、汇编学位论文。保密的学位论文在解密后适用于本授权书。

本人签名： 李佩珊

日期： 2020 年 6 月 1 日

导师签名： 高满怡

日期： 2020 年 6 月 1 日

大学生跨学科概念理解的调查研究

——以三所师范大学理科生为例

摘 要

跨学科概念是国际科学教育领域关注的焦点性研究问题。跨学科概念理解对大学生个人发展具有重要价值，是大学生知识结构的基本要素、多元能力的重要前提以及完整世界观与科学本质观建立的关键影响因素。美国等发达国家在跨学科概念方面取得了较为丰富的研究成果，而我国关于跨学科概念的研究尚为缺失。本研究聚焦于对师范大学理科生的跨学科概念理解，对于反思中小学科学教育实践、师范院校理科专业培养体系的不足，都具有重要的意义。

本研究综合运用测验法、跨学科概念图法以及访谈法，对三所师范院校共 652 名理科大学生进行了测验，有效样本 547 人，其中 36 名大学生参与跨学科概念图任务及追踪访谈，较为系统地呈现了师范大学理科生跨学科概念理解的水平、特征及影响因素。

研究发现：（1）师范大学理科生对跨学科概念的整合能力相对不足，仅近一半的大学生对跨学科概念的理解水平达到系统关联水平，9.9%的大学生还停留于事实经验水平；（2）对于具体的跨学科概念，学生对“能量”的理解相对“物质”较好，深入到概念的内容维度，学生对“物质的物理性质与变化”及“能量的守恒与降解”的理解还有所欠缺；（3）在不同学科背景下，学生对物理情境中的理解水平相对最低，在生物情境中理解水平最高。此外，学生的跨学科概念理解水平在专业、年级等方面存在显著差异：（1）在专业背景方面，相对其他专业，具有跨学科特征的环境/地理科学专业学生整体理解水平最高；（2）在年级方面，从大学一到三年级，学生对跨学科概念理解整体呈现上升趋势。同时，学生的跨学科概念理解呈现内容上一致性突出、学科间关联性显著、高度情境化以及深度和广度不足等特征。

本研究对师范大学理科生跨学科概念理解的影响因素进行分析，发现影响大学生理解的因素主要包括其专业背景、个人情感态度与行为及基础教育阶段的学习经历等。基于研究中的分析与发现，我们提出了促进师范大学理科生跨学科概念理解的建议：（1）提高师范院校理科专业对学生跨学科视野培养的关注，在培养目标与课程内容整合方面均需得到体现；（2）加强基础科学教育对跨学科概念的重视程度；（3）为学生跨学科学习提供针对性支持，进一步打通选课通道，关注学生薄弱概念与内容主题，丰富学生跨学科学习资源。

关键词：师范大学理科生，跨学科概念理解，调查研究

**INVESTIGATION OF COLLEGE STUDENTS’
UNDERSTANDING OF CROSSCUTTING CONCEPTS
——TAKE SCIENCE STUDENTS IN THREE
NORMAL UNIVERSITIES FOR EXAMPLE**

Abstract

Crosscutting concepts (CCs) are the focus of research in the field of international science education. Understanding of crosscutting concepts (UCCs) is of great value to the personal development of college students. CCs are basic elements of students’ knowledge structure, important premise of multiple abilities and the key influencing factor of the establishment of a view of complete world and Nature of Science. The United States and other developed countries have made achievements in CCs, but research in China is still lacking. This study focuses on science students’ UCCs in normal universities, which is of great significance to reflect on the practice of science education in primary and secondary schools, the training mechanism of pre-service science teachers and the construction of innovative curriculum system conducive to the development of science literacy of science students in normal universities.

In this study, 652 science students from three normal universities were tested by the methods of test, crosscutting concept map and interview, 547 were effective. 36 of them participated in the task of crosscutting concept map and follow-up interview. We systematically present the level, characteristics and influencing factors of science students’ UCCs.

The results show that: (1) The integration ability of science students’ UCCs is relatively insufficient, only 51.9% of the students reached the level of systematic correlation in UCCs, 9.9% of the students still stayed at the level of factual experience; (2) For specific CCs, students’ understanding of "energy" is relatively better than "matter", besides, students’ understanding of

"physical properties and changes" and "conservation and degradation of energy" is still lacking; (3) Among different contexts, physics context is the most difficult for students. On the contrary, biology context is the easiest. In addition, there are significant differences in students' UCCs among different groups of students: (1) In the aspect of students' majors, students majored in environmental science / geography have the best performance of all; (2) In the aspect of students' grades, students' UCCs improves from the Grade 1 to 3. At the same time, students' understanding in different concepts and contexts shows strong correlation. The characteristics of UCCs are lack of stability and lack of depth & breadth.

Moreover, we find that the influencing factors of students' UCCs mainly include their professional backgrounds, science interests & efficacy, and active interdisciplinary learning. Based on the analysis, we put forward suggestions to promote students' UCCs in normal universities: (1) Raise attention of enriching students' interdisciplinary horizon in science majors of normal universities, and reflect in goals of higher-education and the integration of curriculum content; (2) Provide targeted support for students' interdisciplinary learning. It will help improve students' UCCs that offering more selections for students, paying more attention to students' weak concepts and enriching interdisciplinary learning resources.

KEY WORDS: Understanding of crosscutting concepts, College students, Investigation

目 录

摘 要	I
Abstract	III
目 录	1
1 问题的提出	1
1.1 研究缘起	1
1.1.1 跨学科概念是国际科学教育领域关注的焦点性研究问题	1
1.1.2 跨学科概念理解对大学生个人发展具有重要价值	3
1.1.3 对学生跨学科概念理解的实证研究是我国科学教育实践的需要	6
1.2 文献综述	7
1.2.1 跨学科概念的内涵	7
1.2.2 跨学科概念的内容	8
1.2.3 关于学生跨学科概念理解的研究	10
1.2.4 已有研究述评	19
1.3 研究意义	21
1.3.1 理论意义	21
1.3.2 实践意义	21
2 研究设计	22
2.1 研究问题的确立	22
2.2 研究对象	22
2.2.1 测验被试	22
2.2.2 跨学科概念图任务对象	23
2.2.3 访谈对象	23
2.3 研究方法与工具	23
2.3.1 研究方法	23
2.3.2 研究工具	24
2.4 研究基本过程	26
2.4.1 文献调研	26
2.4.2 编制研究工具	26
2.4.3 选取被试与数据收集	26
2.4.4 资料分析与处理	26
2.4.5 论文撰写	26

3 跨学科概念理解测评工具开发	27
3.1 内容的筛选与确定	27
3.2 跨学科概念理解水平理论模型	28
3.3 测验工具的开发	29
3.3.1 确定跨学科概念内容维度	29
3.3.2 筛选测试题目	30
3.3.3 设计与改编题目	30
3.4 试测	31
3.4.1 样本信息	31
3.4.2 试测工具质量分析	32
3.5 测验工具的修订	34
3.6 正式测试	36
3.6.1 样本信息	36
3.6.2 评分标准	36
3.6.3 正式测验工具质量分析	37
4 研究结果	42
4.1 师范大学理科生跨学科概念理解的水平	42
4.1.1 师范大学理科生跨学科概念理解的整体水平	42
4.1.2 师范大学理科生对具体跨学科概念及其内容维度的理解水平	43
4.1.3 师范大学理科生对不同内容主题中的跨学科概念的理解水平	44
4.2 师范大学理科生跨学科概念理解的差异分析	47
4.2.1 不同学校的师范大学理科生跨学科概念理解差异分析	47
4.2.2 不同专业背景的大学生跨学科概念理解水平的差异分析	48
4.2.3 不同年级的师范大学理科生跨学科概念理解差异分析	49
4.2.4 不同性别的大学生跨学科概念理解水平差异分析	52
4.3 师范大学理科生跨学科概念理解的特征	53
4.3.1 师范大学理科生对不同跨学科概念的理解一致性突出	53
4.3.2 师范大学理科生在不同学科背景下的跨学科概念理解关联性显著	54
4.3.3 师范大学理科生的跨学科概念理解高度情境化	55
4.3.4 师范大学理科生的跨学科概念理解的深度和广度不足	55
4.4 师范大学理科生跨学科概念理解的影响因素	60
4.4.1 专业背景	60
4.4.2 个人情感态度与行为	61
4.4.3 基础教育阶段学习经历	62
5 建议与反思	64

5.1 促进师范大学理科生跨学科概念理解的建议	64
5.1.1 师范院校理科专业需提高学生跨学科视野培养的关注	64
5.1.2 科学教育需为学生跨学科学习提供针对性支持	66
5.2 本研究存在的不足与未来研究方向	67
5.2.1 本研究存在的不足.....	68
5.2.2 未来研究方向.....	68
参考文献	69
中文参考文献	69
英文参考文献	70
附 录	74
附录 1: 师范大学理科生跨学科概念理解调查问卷	74
附录 2: 师范大学理科生跨学科概念图任务	81
附录 3: 师范大学理科生跨学科概念理解访谈提纲	83
附件 4: 高中大学教材内容分析编码表	84
附件 5: 正式测验主观题评分标准	96
致 谢	99

表目录

表 1 不同课标文件中具体跨学科概念统计.....	9
表 2 具体跨学科概念及其内容解释.....	9
表 3 关于物质的理解水平划分.....	12
表 4 关于个体跨学科概念理解的研究清单.....	15
表 5 高中各学科课程内容及涉及到的跨学科概念频率统计.....	28
表 6 大学各专业必修教材中涉及到的跨学科概念频率统计.....	28
表 7 跨学科概念理解水平理论模型.....	29
表 8 测试工具编码及内容主题分布.....	31
表 9 试测有效样本分布.....	31
表 10 试测工具信度结果.....	32
表 11 试测样本试题难度值和项目拟合度.....	33
表 12 正式测验样本分布一览表.....	36
表 13 基于 SOLO 理论的评分标准.....	37
表 14 正式测验工具信度结果.....	37
表 15 正式测试试题难度值和项目拟合度.....	39
表 16 师范大学理科生在具体跨学科概念下的表现（全样本）.....	44
表 17 师范大学理科生在不同跨学科概念内容维度上的得分情况.....	44
表 18 不同学科题目的平均得分率和标准差（全样本）.....	45
表 19 不同学校大学生跨学科概念理解水平的方差分析.....	47
表 20 不同学校间学生得分情况的校际差异.....	47
表 21 不同专业背景大学生跨学科概念理解水平的方差分析（全样本）.....	48
表 22 不同年级大学生跨学科概念理解水平的方差分析（全样本）.....	49
表 23 学生所在年级与跨学科概念理解的相关性分析.....	50
表 24 学生所在年级与不同学科下跨学科概念理解的相关性分析.....	50
表 25 不同性别大学生跨学科概念理解水平的方差分析.....	52
表 26 不同性别大学生跨学科概念理解描述性统计.....	52
表 27 不同跨学科概念得分率的相关性分析.....	53
表 28 学科间题目得分率相关性分析.....	54
表 29 不同内容主题下大学生对“能量转移”理解水平的方差分析.....	55
表 30 不同内容主题下师范大学理科生对“物质守恒”理解水平的方差分析.....	55

图目录

图 1 测验编制流程图.....	25
图 2 试测样本项目应答概率曲线（区分度）.....	34
图 3 正式测试怀特图结果（每个“#”表示 6 名学生，每个“.”表示 1-5 名学生）..	38
图 4 正式测试项目应答概率曲线图（区分度）.....	40
图 5 正式测试维度图.....	41
图 6 师范大学理科生跨学科概念理解水平样本分布情况（全样本）.....	42
图 7 师范大学理科生跨学科概念图整合学科数分布.....	43
图 8 不同内容主题下能量概念的平均得分率比较.....	45
图 9 不同内容主题下物质概念的平均得分率比较.....	46
图 10 三所师范学校理科生对跨学科概念理解水平等级分布图.....	48
图 11 不同专业背景学生理解水平百分比分布图（全样本）.....	49
图 12 不同年级学生理解水平百分比分布图（全样本）.....	50
图 13 不同年级学生理解水平百分比分布图（左上-B 大学，右上-L 大学，下-A 学院）	51
图 14 不同性别大学生跨学科概念理解水平分布图.....	52
图 15 跨学科概念图示例.....	54
图 16 跨学科概念图节点数示例.....	56
图 17 师范大学理科生跨学科概念图节点数分布图.....	56
图 18 不同专业背景学生跨学科概念图节点数分布.....	57
图 19 师范大学理科生跨学科概念图主题广度分布.....	58
图 20 不同专业背景学生所做跨学科概念图典型示例.....	59
图 21 B 学生所作跨学科概念图	63

1 问题的提出

1.1 研究缘起

从1964年美国国家科学教师协会(National Science Teachers Association, NSTA)课程委员会首次提出“跨学科概念”的理念以来,跨学科概念(crosscutting concepts)日益受到国际范围内科学教育界的重视。美国、法国、加拿大,澳大利亚、新加坡、德国等国家在其课标文件中明确提出跨学科概念。其中具有代表性的《K-12 年级科学教育框架:实践、跨学科概念和核心概念》¹(以下简称《框架》)和《下一代科学教育标准》²(以下简称《标准》)分别于2011年、2013年在美国发布,明确了科学和工程学的7个跨学科概念,并将其作为独立的维度提出,掀起国际范围内与跨学科概念相关的研究高潮。

跨学科概念,是指无论探查古老的文明、人体还是彗星,都会不断出现的一些重要概念。这些概念在科学、数学和技术领域反复出现,能够有效地超越学科界限进行解释、观察设计或创造理论。由于跨学科概念在科学概念体系和科学研究与实践中占据重要位置,因此大学生的跨学科概念理解直接影响其对核心概念的理解、科学本质的理解程度以及科学世界观的形成。跨学科概念理解能够通过为学生提供一个组织框架,进而促进学生的知识迁移和问题解决等跨学科能力,因此跨学科概念理解也是影响学生科学素养形成的重要因素。本研究聚焦于大学生的跨学科概念理解主要基于以下缘由:

1.1.1 跨学科概念是国际科学教育领域关注的焦点性研究问题

跨学科概念,又称通用概念,是自然科学学科的上位概念,在科学研究或解决科学问题中起到思维上和方法上的指导性作用。跨学科概念为学生建立了跨越不同学科领域的桥梁和工具,极富价值³,它们在大部分科学和工程中具有解释性价值,能够提供一个组织框架,将来自不同学科的知识连接到一起从而形成连贯和科学的世界观⁴。此外,跨学科概念作为学习核心概念的辅助延伸,对跨学科概念的理解能够有效促进对后者的理解、认知及

¹ A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas. National Academies Press: <http://www.nap.edu>, 2011:400.

² NGSS Lead States(2013). Next generation science standards: For states, by states. Washington, DC: National Academies Press.

³ 黄桦, 刘贵昂. 美国科学教育新标准的概念框架及启示[J]. 岭南师范学院学报, 2012, 33(2):15-20.

⁴ National Research Council. A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas [M]. Washington, DC: National Academy Press, 2012.

掌握¹。国际范围内多份重要的课程文件显示出，跨学科概念已成为科学教育领域中焦点性的研究话题。

在美国科学教师协会于 1964 年发表的《从理论到行动》(Theory into action) 中，跨学科概念的理念开始出现²。在该文件中，跨学科概念被理解为组织科学研究的有效途径，对科学课程的内容架构有所帮助³。1989 年，《面向全体美国人的科学》作为美国“2061 计划”的首部出版物发布后受到了广泛关注，其中明确介绍了共通主题 (common themes)，阐述其促进学生跨学科整合理解的作用⁴。之后所颁布的科学素养基准 (1993)，也强调了“共通主题”的作用⁵。此外，美国国家研究理事会 1995 年颁布的《国家科学教育标准》中提到，共通概念和过程能够有效帮助学生认识自然界。美国大学理事会出版的《大学成功标准》(2009) 中将共通概念视为不同科学学科间的联系，有助于学生形成跨越学科的理解。2012 年，美国北卡罗来纳州公立学校联盟同样认可了跨学科概念的重要性，认为其是解决问题的有效途径。2013 年，美国发布的《框架》和《标准》明确提出跨学科概念，将跨学科概念提高到一个新的高度。《框架》中表示，跨学科概念有助于学生理解科学和工程实践，实践中贯穿跨学科概念，当学生经历实践时，他们经常会至少涉及其中一个跨学科概念⁶。因为跨学科概念总结自然的基本规律，为人们试图理解自然提供方式。纵观美国科学课程的重要文件，我们可以看出五十年来，跨学科概念在美国课程改革中占据了十分重要的位置⁷。

除美国国家课程文件外，澳大利亚维多利亚州 (2008)⁸、德国 (2003)⁹、法国 (2010)、美国密歇根 (2010)¹⁰ 以及加拿大安大略省 (2007) 的科学 (或相关学科) 课程文件也都指出要重视跨学科概念在科学发展过程中的作用。各国政府都纷纷通过相关法规和政策来加以引导与推进。2008 年颁布的澳大利亚维多利亚州《高中科学课程标准》(2009~2014) 将关键概念 (key ideas) 纳入认知水平的 3 个层级。加拿大安大略省于 2007 年发布的《科学课程标准》明确提出“基本概念” (fundamental concepts)，于 2008 年发布的《安大略

¹ Richard A. Duschl. The Second Dimension—Crosscutting Concepts[J]. The Science Teacher, 2012, 2: 34-38.

² 高潇怡, 孙慧芳. 美国科学课程发展的新趋向——基于共通概念的科学课程构建[J]. 比较教育研究, 2019, 41 (01): 53-60.

³ National Science Teachers Association. Theory into action[M]. Arlington, VA: NSTA Press, 1964.

⁴ 张静, 郭玉英, 姚建欣. 论模型与建模在高中物理课程中的重要价值——基于国际物理 (科学) 课程文件的比较研究[J]. 物理教师, 2014, 35 (6): 4-5.

⁵ AAAS (1993). Benchmarks for Science Literacy, New York, NY: Oxford University Press.

⁶ A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas. National Academies Press: <http://www.nap.edu>, 2013:400.

⁷ Steve Metz. Crosscutting Patterns[J]. The Science Teacher, 2013, (12).

⁸ Victorian Curriculum and Assessment Authority. Victorian Certificate of Education Study Design: Physics[M]. East Melbourne: Victorian Curriculum and Assessment Authority, 2008:47.

⁹ 姚建欣, 郭玉英, & 伊荷娜·诺曼. (2016). 美、德科学教育标准的比较与启示. 全球教育展望, 45(1), 94-104.

¹⁰ Michigan State Board of Education. Michigan High school Science content standards and Expectations [M]. 2010:4.

1-8 年级科学与技术课程标准, 2007 修订版》中同样强调跨学科概念¹。法国、美国(及密歇根)的科学课程文件明确地将跨学科概念作为科学探究或科学和工程学实践中一个基本要素。此外, 英国、法国、德国、日本等发达国家也纷纷在课程标准中明确指出了这类概念, 并积极开发跨学科课程以促进学生的跨学科概念理解。可见, 跨学科概念在科学课程中的重要价值逐渐得到了课程文件的认可。

从国际范围内科学课标文件中可以看出, 跨学科概念从以理念的形式存在到被明确提出, 对其的关注在日益上升, 跨学科概念在国际范围内科学教育领域逐渐成为焦点性的研究问题。课标文件中跨学科概念的演变是基于大量研究的总结提炼得出, 关于跨学科概念的研究在科学教育研究领域呈现出广泛性、丰富性以及多样性的特点。

从 1964 年以来, 关于跨学科概念的研究从其内涵、要素、与课堂教学的融合、教学评价, 到其与教师专业发展、学生发展的关系等众多方面都受到了科学教育者和研究者的关注, 其研究涉猎范围广泛, 种类繁多, 且数量较多, 在 2013 年《框架》颁布后呈现明显上升趋势。在我国, 虽然在中小学课标中没有明确指出跨学科概念, 但是雷同的词汇已经出现在现行课标中, 如我国《义务教育初中科学课程标准》中将某些概念(如物质)归为“统一的科学概念和原理”, 并要求学生需要通过课程的学习, 逐步加深对统一的科学概念和原理的理解²。《义务教育小学科学课程标准》中渗透了理解自然现象和解决实际问题需要综合运用不同领域的知识和方法, 强调各领域知识之间的相互渗透和相互联系, 注重自然世界的整体性³, 这是跨学科概念在我国课标中的表现方式。此外, 众多研究指出跨学科概念与中小学课程内容体现高度相关性(如廖婷婷, 2015; 王威等, 2012)。

综上, 跨学科概念在科学研究与实践中占据重要位置, 国际范围内科学教育研究领域均给予它充分的关注, 体现出广泛性、多样性以及丰富性的特点。除此之外, 许多国家课程标准中都明确指出其重要性, 因此, 跨学科概念已成为国际科学教育领域的焦点性话题。

1.1.2 跨学科概念理解对大学生个人发展具有重要价值

高等学校人才培养的质量提升问题是一直以来社会关注的热点话题⁴, 促进大学生个人发展是衡量高等学校人才培养质量的核心标准, 也是提升高等学校人才素质的关键⁵。大学生的个人发展主要指个体的社会化和个性化过程, 具体包括个人性格特征、个人稳定的心理品质和行为特征、个人能力的形成和发展、个人自我价值和社会价值以及个人自由的

¹Ministry of Education. The Ontario Curriculum Grades1-8: Science and Technology (revised)[S]. Ontario, Canada: 2007.

²中华人民共和国教育部制定. 义务教育初中科学课程标准: 2011 年版[M]. 北京师范大学出版社, 2011.

³中华人民共和国教育部. 义务教育小学科学课程标准[S]. 北京: 北京师范大学出版社, 2017, 2: 2.

⁴文辅相. 提高学生整体素质, 促进社会全面进步——对未来中国高等教育目标的思考[J]. 教育研究, 1994(11): 31-36.

⁵李珉. 高校实践教学目标与体系研究[J]. 中国教育学刊, 2013, (10).

实现等等¹。国内外已有研究成果显示,大学生的个人发展是大学生在多种因素的综合作用下具有的获得工作并完成工作的能力,与外在和内在两个方面因素显著相关,外在因素包含高校教育行为在内的教育行为,内在因素包括知识技能、问题解决、创新能力、自我管理能力、沟通能力、胜任能力、职业规划能力和领导能力等²,其中广博的知识技能是影响个人发展的关键和基石。由此可见,对多元化知识的深刻理解、全面发展的能力、对自我及世界的认识与态度是影响大学生个人发展的重要因素。

在知识层面上,研究显示,加深学生对重要概念的理解,提高学生学以致用、解决问题的能力,能对社会生活中的科学、技术和环境问题有批判性的认知以及合理的判断,进而促进学生个人发展³。而跨学科概念是自然科学学科的上位概念,同时也是出现在各个学科中的重要概念,因此对跨学科概念的理解对大学生的个人发展起着至关重要的作用。此外,研究表明,跨学科概念理解是学生理解学科核心概念以及科学上位概念和原理的重要前提,可以帮助学生更好地理解科学和工程中的核心思想⁴,对跨学科概念的深入理解也有助于对问题理解的加深和解决方案的评价与选择⁵。因此在知识的视角下,跨学科概念理解是大学生知识结构的重要成分,也是影响大学生个人发展的重要促进因素。

在能力层面上,跨学科概念理解促使学生发展其科学思维和并掌握科学方法。许多研究证实跨学科概念理解与学生科学思维与能力(如批判性思维、问题解决能力等)的发展具有紧密联系⁶。首先,对于跨学科概念的理解会增强学生交流与辩论的能力⁷;跨学科概念理解能够促进知识整合、推理能力提高与批判性思维形成⁸;跨学科概念理解通过映射多个领域进而培养高阶思维,帮助学生识别更广泛的模式和联系⁹;另外,跨学科概念理解通过提高学生应用和评估的能力,从而形成复杂理解¹⁰;跨学科概念理解促进学生形成元认知反射并提高问题解决能力¹¹,并提高学生的创造力和灵活性。如在 Feldhusen (1995) 设

¹黄荣怀,郑兰琴.一种关于“个人发展”的隐性知识结构[J].开放教育研究,2005,11(2):26-30.

²马永霞,梁金辉.理工科大学生就业能力评价研究[J].教育研究,2016(9):40-50.

³李春密,赵芸赫.STEM相关学科课程整合模式国际比较研究[J].比较教育研究,2017,5:11-18.

⁴Appendix G - Crosscutting Concepts (2012). National Academies Press: <http://www.nextgenscience.org/sites/default/files/Appendix%20G%20-%20Crosscutting%20Concepts%20FINAL%20edited%204.10.13.pdf>

⁵A mabile TM. A model of creativity and innovation in organizations. Research in Organizational Behavior, 1988, 10:123~167

⁶You, H. S., Delgado, C., & Marshall, J. A. (2017). Assessing students' disciplinary and interdisciplinary understanding of global carbon cycling. Journal of Research in Science Teaching.

⁷周玉芝.美国新版K-12 科学教育框架对我国基础教育阶段科学教育的启示[J].课程·教材·教法,2012,32(6):120-124.

⁸Astin, A. W. (1993). What matters in college? Four critical years revisited. San Francisco: Jossey-Bass.

⁹Hursh, B., Haas, P., & Moore, M. (1983). An interdisciplinary model to implement general education. The Journal of Higher Education, 54(1), 42-59.

¹⁰Lattuca, L. R., Voigt, L. J., & Fath, K. Q. (2004). Does interdisciplinarity promote learning? Theoretical support and researchable questions. The Review of Higher Education, 28(1), 23-48.

¹¹Boix Mansilla, V., & Duraisingh, E. D. (2007). Targeted assessment of students' interdisciplinary work: An empirically grounded framework proposed. The Journal of Higher Education, 78(2), 215-237.

计的基于问题解决的创造力加工模型中,跨学科知识充当了重要角色¹,他认为在学科知识的基础上,跨学科的知识能够帮助避免思维僵化,促进创造力的发挥²。可见,跨学科概念理解是促进大学生个人能力发展的重要因素。

在对事物的认识与态度方面,跨学科概念理解有助于了解学科之间的联系,还可以帮助提高学生的学习动机和科学兴趣³,以及科学世界观、科学本质观的形成。张玉平(2015)指出理解各个学科通用的概念,即跨学科概念,是建立整体性认识的前提和保证,这些概念能够帮助学生各学科内及学科间进行关联,形成概念网络⁴。此外,美国有关科学领域的标准文件中认为理解跨学科概念有助于学生统一跨越学科、主题和年级的学习,跨学科概念的理解意味着掌握科学中上位的知识框架以及科学思维方法⁵,是人们试图理解自然的重要方式。跨学科概念理解通过帮助学生通过多个视角查看一个主题来丰富学习⁶。加强学生对跨学科概念的理解对于其了解学科之间联系、对科学本质和自然的认识以及对学生科学思考能力和思维的发展都有重要的作用⁷。因此,大学生跨学科概念理解是其理解多个学科之间关系的基本保证。此外,有研究者指出,学生对跨学科概念的正确理解和把握将促进他们对科学本质的理解⁸。由于跨学科概念是从各个学科中提取出的共同特征,而科学本质是承载在科学视野上的哲学命题,两者具有异曲同工之处,因此学生对于跨学科概念的理解在某种程度上反映了其科学本质观⁹,跨学科概念理解是促进学生科学本质观形成的重要影响因素。

综上所述,跨学科概念理解对于大学生个人发展具有非常重要的意义和价值¹⁰。跨学科概念理解是大学生知识结构的基本要素、多元能力的重要前提以及完整世界观与科学本质观建立的关键影响因素。我们将基于对大学生跨学科概念理解的调查结果,为我国科学教育提出针对性建议。

¹Feldhusen L F. Creativity: a knowledge base, metacognitive skill, and personality factors. *Journal of Creative Behavior*, 1995, 29 (4) : 255~268

²Lin Cong de. Learning and develop-the development and training of mental capacities in middle school students and primary school students(in Chinese).Beijing: Beijing Normal University Press, 2003.308~325

³Barab, S. A., & Landa, A. (1997). Designing effective interdisciplinary anchors. *Educational Leadership*, 54(6), 52-55.

⁴张玉平.跨学科知识整合视角下的初中生物与化学教学[J]. *江苏第二师范学院学报(自然科学)*, 2015, 9: 92-96.

⁵American Association for the Advancement of Science. (1989). *Science for All Americans*. Project 2061. New York: Oxford University Press. Available: <http://www.project2061.org/publications/sfaa/online/sfaatoc.htm>.

⁶Liu, O.L., Lee, H.S., Hofstetter, C., & Linn, M.C. (2008). Assessing knowledge integration in science: Construct, measures, and evidence. *Educational Assessment*, 13(1), 33-55. <https://doi.org/10.1080/10627190801968224>

⁷Waldron, A. M., Spencer, D., & Batt., C. A. (2006). The current state of public understanding of nanotechnology. *Journal of Nanoparticle Research*, 8, 569-575.

⁸商瑞莹.小学科学课程“物质科学”领域概念及教学研究[D].北京:首都师范大学,2014.

⁹石翊.从“钟摆运动”到“螺旋上升”——评《下一代科学教育标准》及美国科学教育改革走向[J]. *上海教育科研*, 2013(11):52-55

¹⁰Richard A. Duschl. The Second Dimension——Crosscutting Concepts[J]. *The Science Teacher*, 2012, 2: 34-38.

1.1.3 对学生跨学科概念理解的实证研究是我国科学教育实践的需要

在我国科学教育的实践中，对于学生跨学科概念理解评价的欠缺是目前凸显的问题，主要体现在两个方面：新兴跨学科课程与体现跨学科性的传统课程中对应教学评价环节的缺失以及对课标文件中关于跨学科概念的完整理论体系相对欠缺。

随着国内跨学科融合课程的兴起，综合理科课程被课程领域专家和科学教育研究者认为是科学教育发展的必然趋势。研究发现，跨学科课程遵循学生认知发展的规律，能够有效避免或降低不同学科之间教学内容的重复和不同学段之间的内容脱节问题，有助于学生提高对事物的整体性认知进而提高科学素养¹。在科学教育实践中也出现了许多跨学科类课程，同时传统的理科课堂也逐渐加入跨学科的性质，然而，对待强调跨学科性的课堂，相应的评价方式却依然以传统单学科内容测评为主，未能探测学生在跨学科学习中收获的跨学科知识与跨学科概念，这一教学评价环节的欠缺是当前我国科学教育实践中凸显的问题。

此外，跨学科概念已在我国课标文件中逐渐占据重要地位，但是相应的跨学科评价却极少有人关注。跨学科概念虽然没有被我国课标文件明确提出，但是国际公认的跨学科概念（如物质）已经长期存在于各个学科的课程内容中，且关于其跨学科特性的探讨在 2013 年《标准》颁布后日益受到关注。如我国《义务教育初中科学课程标准》中提到“统一的科学概念和原理”，所包含概念包括物质、能量、系统、守恒等²。而具体的跨学科概念早已长久在不同自然学科中，作为重要的科学概念，是中小学学生知识维度中重要的培养目标之一。但是，现有的评价体系中，学生对跨学科概念的理解情况却没有体现，与课标中所提出的“统一的科学概念和原理”缺乏对应，教学中教师对跨学科概念也极少关注。从研究的角度来看，国内对跨学科概念理解的研究极少。因此，我们认为有必要对学生的跨学科概念理解情况进行实证研究。

我国以“跨学科概念”为主题的研究始于 2012 年，主要集中于《框架》发布之后对跨学科概念的理论介绍，通过对美国《框架》和《标准》进行述评，对跨学科概念的内涵、要素、功能、内容、来源以及跨学科概念与教学实践关联性等方面进行系统理论介绍和剖析（例如，黄桦，刘贵昂，2012；王威等，2012；史永悦等，2016 等），对于学生跨学科理解相关实证研究极少。

综上，可以看出虽然跨学科课程已在我国科学教育实践中涌现，且跨学科概念在我国课标文件中长期存在，而对于学生跨学科概念理解的实证研究还较为薄弱，在科学教育实践中亟需对跨学科概念理解现状的研究。本研究将焦点指向师范大学理科生的跨学科概念

¹ 吕达著. 中国近代课程史论. 人民教育出版社, 1994 年第 1 版

² 中华人民共和国教育部制定. 义务教育初中科学课程标准: 2011 年版[M]. 北京师范大学出版社, 2011.

理解，以期在一定程度上填补目前我国跨学科概念理解研究领域的空白。

1.2 文献综述

1.2.1 跨学科概念的内涵

“跨学科概念（crosscutting concept）”，由于翻译方式不同又称“共通概念”、“通用概念”等，具有跨越学科边界的本质特征，对于指导科学研究和问题解决具有重要价值¹。从20世纪80年代以来，在不同的时代背景下，国际上对具有跨学科本质的跨学科概念也有着不同的术语表达：包括“共通主题（common themes）”、“统一的概念和过程（unifying concepts and processes）”、“跨学科思想（interdisciplinary ideas）”、“关键概念（key ideas）”与“基本概念（fundamental concepts）”。纵观国际科学教育领域在不同时期对其内涵的界定，学界对跨学科概念的内涵虽说法略有不同，却有相同的本质特征。

美国科学促进协会（1989）中，对跨学科概念（当时称为“共通主题”）的定义为无论探查古老的文明、人体还是彗星，都会不断出现的一些重要概念；这些概念在科学、数学和技术领域反复出现，能够有效地超越学科界限进行解释、观察设计或创造理论²。七年后《美国国家科学教育标准》（1996）对“共通主题”的内容进行了丰富和修正，凸显了跨越学科的过程，指能够体现传统科学学科之间的联系，为学生提供行之有效且富有启发性的思维方法以及对自然界和人工界进行解释的一系列基本概念³。在美国科学教师协会的科学锚项目（2010）中被称为“跨学科思想”⁴。2008年颁布的澳大利亚维多利亚州《高中科学课程标准》（2009-2014）将关键概念纳入认知水平的3个层级，是指在不同科学学科内反复出现的概念，是科学实践与应用中的关键。2007年，加拿大安大略省《科学课程标准》界定了“基本概念”，指获得所有的科学技术知识所需要的、最关键的一些要点，是构建知识框架中的支点，能够为获得更多更深的知识提供支持⁵。

美国分别于2011、2013年颁布的《框架》与《标准》中明确提出跨学科概念，并对其内涵与要素进行定义。《框架》认为，跨学科概念是指跨越学科界限的概念，在科学和工程领域均具有解释价值。跨学科概念有助于为学生提供一个组织框架，将来自不同学科的

¹ 高潇怡, 孙慧芳. 美国科学课程发展的新趋向——基于共通概念的科学课程构建[J]. 比较教育研究, 2019, 41(01): 53-60.

² American Association for the Advancement of Science. (1989). Science for All Americans. Project 2061. New York: Oxford University Press. Available: <http://www.project2061.org/publications/sfaa/online/sfaatoc.htm> [March 2011].

³ NRC (1996). National science education standards. Washington DC: National Academy Press.

⁴ NSTA (2010). Science Anchors Project. <http://www.nsta.org/involved/cse/scienceanchors.aspx>

⁵ Ministry of Education. The Ontario Curriculum Grades 1-8: Science and Technology (revised) [S]. Ontario, Canada: 2007.

知识连接到一个连贯的、以科学为基础的世界观中¹。跨学科概念和之前的中的“统一的概念和过程”、“共通主题”同源，其跨学科性的本质特征，联系不同学科知识的主要功能，在《标准》中依然得到研究者的认同。

在我国，如前文所述，《全日制义务教育科学(7~9 年级)课程标准(实验稿)》对“统一的科学概念和原理”的定义，是指在不同学科内部反复出现的一些基本概念和原理，例如物质概念以及下属的物质守恒原理²。我国一些学者同样根据国际上对跨学科概念的定义做出了自己的定义。郭玉英教授(2014)在研究美国跨学科概念和加拿大基本概念的基础上，将跨学科概念(称为“共通概念”)界定为超越学科界限的，涉及科学、数学和科技等各个领域的最基本的概念，这些概念在不同文化观念普遍适用且相对稳定，有助于学生建立对所有学科的整体认识³。《中小学教师专业发展标准及指导(理科)》中在学科知识层级结构中提出跨学科主题并定义为不同学科、不同领域中共同存在的主题⁴。

尽管随着时间的推进，不同文件中所采用的名称不同，但每一个都强调了(跨学科概念)能够帮助学生发展对科学和工程的累积的、连贯的、有意义的理解⁵。跨学科概念是连接工程、物理、生命和地球/空间科学的主题或概念，作为一种超越学科界限的认识方式，帮助学生建立连贯的科学世界观⁶。因此，我们将跨学科概念界定为：是连接工程、物理、生命和地球/空间科学的基本主题或概念，跨越了学科界限，将科学或科学知识作为一种认识方式，是连接不同学科知识的组织性框架。

1.2.2 跨学科概念的内容

跨学科概念由具体的跨学科概念所构成。如前文所述，尽管国际范围内对跨学科概念本质的理解具有稳定性，但不同地区对跨学科概念的定义依然存在不同的表达方式。因此，由于内涵定义的不同，不同课标文献中构成跨学科概念整体的具体跨学科概念也不尽不同，主要表现为在数量与表述方式上的差异。为了进一步明确跨学科概念的内容构成及相关解释，我们对不同课标文件中的跨学科内容进行统计和筛选，以便确定本研究所要调查的具体跨学科概念。经过统计比较，结果如表 1 所示。从表 1 中可以看到，涉及跨学科概念的课标文件中共包含系统、模型、物质与能量等 16 个具体跨学科概念。由于其中部分存在语义相似的情况，我们将相似语义的内容去除，最后确定本研究中的筛选范围，所包

¹A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas. National Academies Press: <http://www.nap.edu>, 2013:400.

² 中华人民共和国制订. 全日制义务教育科学(7~9 年级)课程标准(实验稿)[M]. 北京师范大学出版社, 2001.

³郭玉英. 中心理科课程标准国际比较与研究(物理卷)[M]. 北京:北京师范大学出版社, 2014: 232.

⁴中小学教师专业发展标准及指导课题组. 中小学教师专业发展标准及指导 理科[M]. 北京:北京师范大学出版社, 2012:11, 17, 33, 70.

⁵ A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concept, and Core Ideas. National Academies Press: <http://www.nap.edu>, 2013:400.

⁶ Duschl R A. The Second Dimension—Crosscutting Concepts[J]. Science & Children, 2012, 49(6):10-14.

含的具体跨学科概念共 11 个，具体解释如表 2 所示。

表 1 不同课标文件中具体跨学科概念统计

AAAS 共同主题 (AAAS common themes)	NSES 统一概念 (NSES unifying concepts)	CB 统一概念 (CB unifying concepts)	NRC 跨学科概念 (cross-cutting concept)	《大学成功标准》 (unifying concepts)	加拿大安大略省《科学课程标准》	澳大利亚《高中科学课程标准》	新加坡
<ul style="list-style-type: none"> •系统 •模型：物理，概念，数学 •稳定和变化 •恒常 •平衡，守恒和对称性 •模式 •趋势，周期，混沌 •演变 •可能性，比率，相互作用 •规模 	<ul style="list-style-type: none"> •系统，顺序和组织 •证据，模型和解释 •变化，稳定性和测量 •进化与平衡 •形式和功能 	<ul style="list-style-type: none"> •进化 •规模 •均衡 •物质和能量 •相互作用 •形式和功能 •模型解释，证据和表示 	<ul style="list-style-type: none"> •模式 •因果关系 •能量和物质 •尺度，比例，数量 •系统和系统模型 •稳定和变化 •结构和功能 	<ul style="list-style-type: none"> •证据、模型和解释 •系统、秩序和组织 •形式与功能 •恒定、变化和测量 •演变与平衡 	<ul style="list-style-type: none"> •系统和系统模型 •物质 •能量 •结构和功能 •稳定和变化 •可持续发展和管理 •相互作用 	<ul style="list-style-type: none"> •模式 •物质 •能量 •系统和系统模型 •结构和功能 •尺度、比例和数量 •稳定和变化 	<ul style="list-style-type: none"> •系统 •模型 •能量 •多样性 •循环 •相互作用

表 2 具体跨学科概念及其内容解释

具体跨学科概念	内容解释 ¹
模式	观察到的形式和事件模式指导了组织和分类，利于发现相关关系和影响它们的因素。
因果关系	包括机制和解释。事件有原因，有时简单，有时复杂。科学的一项主要活动是调查和解释因果关系及其介导机制。这样的机制可以在给定情境中进行测试，并用于预测和解释新情境中的事件。
尺度，比例，数量	在考虑现象时，重要的是要认识到在不同的尺度、时间和能量下，什么是相关的，并认识到规模、比例或数量的变化如何影响系统的结构或性能。
系统和系统模型	定义研究系统——明确其边界，并明确该系统的模型，为理解和测试适用于整个科学和工程领域的理论提供途径。
能量和物质	包括流动、循环和守恒。追踪能量和物质进入、流出和系统内部的流动有助于理解系统的可能性和局限性。
结构和功能 (同形式与功能)	物体或生物的形状及其子结构决定其许多性质和功能的方式。
稳定和变化	对于自然系统和非自然系统，系统的稳定条件和变化率或进化率的决定因

¹ A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concept, and Core Ideas. National Academies Press: <http://www.nap.edu>, 2013:400.

具体跨学科概念	内容解释 ¹
(同恒定与变化)	素是研究的关键要素。
演变和平衡	演变是逐渐发生或突然发生的一系列的变化；平衡是一种物理状态，物质相互作用的单元具有向平衡发展的趋势。
秩序	秩序是世间万物的行为，由自然规律所支配，能够通过统计学的方法进行描述。
组织	组织是由诸多要素按照一定方式相互联系起来的，不同系统有不同的组织水平。
测量	测量是按照相应的规则，用数据来描述观察到的现象，即对事物作出量化描述。

由于跨学科概念内容较多，需要抽取一部分进行研究，因此本研究进行以下两步筛选：（1）在已确定的跨学科概念内容中，排除一些独立性较差的概念。例如，组织是系统的不同层面，独立性较弱，则不保留；（3）结合我国高中物理、化学、生物课程标准以及 B 大学理科专业本科主要教科书中所涉及到的跨学科概念，排除一些没有明确作出要求的跨学科概念。如机制与解释在课程标准与课程内容中没有明确定义与要求，只在内容中隐晦地体现，因此删除；又如，模式（patterns）在国内课标中没有类似的术语对应，因此排除在本研究范围外。通过以上三个步骤筛选，我们将研究范围缩小至系统与模型、物质与能量、结构与功能、稳定与变化、规模与比例这五个内容。跨学科概念内容的筛选降低了首次研究的跨学科概念的类别和数量，使其构成更加清晰明确。删去的内容将在下文中继续讨论。本研究具体研究内容将通过对已有研究的综述，总结出具有一定可行性的内容要素，另外每个内容的对应研究方法也将在下文中进一步细化。

1.2.3 关于学生跨学科概念理解的研究

1.2.3.1 学生跨学科概念理解的水平

关于学生跨学科概念理解水平的研究，主要集中于对于某一个概念的学习进阶水平划分以及前概念理解水平划分。其中研究较多的主题为物质与能量概念，许多研究者在关于学生对跨学科概念的理解问题上提供了一系列明确定义的水平，量化学生们应该在学校生涯中取得的进步表现（如表 3）。但是对于这两个概念的理解水平多专注于某一个学科的进阶，如化学学科的物质概念以及物理学科的能量概念，只有少数研究关注到跨学科概念的跨学科理解水平（如 Liu & Lesniak, 2006）。在这部分，本文将以物质、能量这两个概念的理解水平研究为主进行总结，以期为本研究的水平划分提供依据。

1. 水平 1——无概念

García Franco 和 Taber(2009)在研究学生对物质概念的理解中应用了详细的一组水平，其中前两个水平均可体现为水平 1——无概念水平：（0）没有解释，（1）学生解释中没有

粒子概念¹；此外，Gómez, Benarroch 和 Marín (2006) 进一步关注学生对物质微粒性质概念的一致性程度，提出了一套五个等级排序的水平来描述学生理解的差异，从简单到复杂的理解，其中第 1 级水平为无概念水平²。

2. 水平 2——前概念/错误概念

García Franco 和 Taber (2009) 将“非科学方式的粒子概念使用”作为其物质概念理解水平的第 2 级⁶⁷；Löfgren 和 Helldén (2009) 在一项为期 10 年的纵向研究中将学生以非正确使用科学术语或事实划分为水平 1³；Gómez, Benarroch 和 Marín (2006) 进一步阐述了这一水平划分，将对物质微粒性质概念的理解错误划分为水平 2⁶⁸；此外，根据 Löfgren 和 Helldén (2009) 的观点，作者确定了两个层次的错误理解，即学生以非科学的方式感知粒子⁶⁹，物质被视为 (a) 嵌入的颗粒或间隙的连续体，以及 (b) 由具有宏观性质的颗粒组成；同样，一项侧重于与物质概念相关的学习进阶发展的研究，即学生对碳转化过程的理解，Mohan 等 (2009) 定义了四个等级水平以描述学生对这些过程的更高级理解的进阶，他将学生在学校教育开始时持有一种前概念作为第 1 级⁴。

3. 水平 3——正确的事实经验

Smothers 和 Goldston (2010) 通过两个类别对盲人学生对物质的理解进行了分类：宏观微观和微观微观理解，这一理解水平划分较为粗略，且均为实施经验层面的理解⁵；García Franco 和 Taber (2009) 划分对于粒子概念的第 3 水平为：以科学方式使用的粒子概念理解⁶。Löfgren 和 Helldén (2009) 认为学生对于粒子概念理解的最高水平为科学理解正确的粒子概念⁷。Gómez, Benarroch 和 Marín (2006) 将学生对物质微观性质的正确认识定义为水平 3⁸。此外，根据 Löfgren 和 Helldén (2009) 的观点，作者定义学生以科学正确

¹ García Franco, A., & Taber, K. S. (2009). Secondary students' thinking about familiar phenomena: Learners' explanations from a curriculum context where 'particles' is a key idea for organizing teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 31, 1917 - 1952.

² Gómez, E. J., Benarroch, A., & Marín, N. (2006). Evaluation of the degree of coherence found in students' conceptions concerning the particulate nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 43, 577 - 598.

³ Löfgren, L., & Helldén, G. (2009). A longitudinal study showing how students use a molecule concept when explaining everyday situations. *International Journal of Science Education*, 31, 1631 - 1655.

⁴ Mohan, L., Chen, J., & Anderson, C. W. (2009). Developing a multi-year learning progression for carbon cycling in socio-ecological systems. *Journal of Research in Science Teaching*, 46, 675 - 698.

⁵ Smothers, S. M., & Goldston, M. J. (2010). Atoms, elements, molecules, and matter: An investigation into the congenitally blind adolescents' conceptual frameworks on the nature of matter. *Science Education*, 94, 448 - 477.

⁶ García Franco, A., & Taber, K. S. (2009). Secondary students' thinking about familiar phenomena: Learners' explanations from a curriculum context where 'particles' is a key idea for organizing teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 31, 1917 - 1952.

⁷ Löfgren, L., & Helldén, G. (2009). A longitudinal study showing how students use a molecule concept when explaining everyday situations. *International Journal of Science Education*, 31, 1631 - 1655.

⁸ Gómez, E. J., Benarroch, A., & Marín, N. (2006). Evaluation of the degree of coherence found in students' conceptions concerning the particulate nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 43, 577 - 598.

的方式解释某些现象，即学生感知粒子之间的真空，为事实层面的理解。Crespo 和 Pozo（2004）分析了学生对物质的物理和化学变化的理解，并将对宏观属性的认识定义为第 2 级水平¹。Mohan 等（2009）将了解物质在变化时隐藏机制或涉及原子和分子的化学反应分别对应第 2、3 级理解水平²。Stevens 等（2010）将学生对“原子为球面”这一正确事实经验作为其理解水平初级水平³。

4. 水平 4——映射概括

Löfgren 和 Helldén（2009）将学生感知真空与粒子运动之间的因果协调作为正确理解粒子概念的第 4 级水平。Stevens 等（2010）专注于纳米尺度的物质，确定了两组水平，以描述学生在理解原子结构和电力方面的进阶。将学生通过感知原子由质子，中子和电子构成，可以根据玻尔模型或电子云模型来描述他们对原子结构的映射概括的理解作为其最高水平⁴。关于理解电力，将学生能够理解原子中的电子如何决定其与其他原子的潜在相互作用作为其最高水平。Mohan 等（2009）将学生可以应用复杂的模型，使他们能够通过亚显微尺度的变化来描述宏观的，可观察到的变化作为其理解水平的第 4 级⁵。

5. 水平 5——系统关联

这一水平需要学生对在不同学科中多个概念进行系统关联，对抽象的关系有网络化的认识。在物质科学领域，Gómez, Benarroch 和 Marín（2006）将“运动是必要的，与间隙互相随机协调”这一系统关联性理解作为最高水平⁶。同样，Stevens 等（2010）将学生对“应用电子云模型解释现象”以及“电子组态的影响”作为理解的最高水平，这两种水平均将原子概念以及电子概念与模型、系统关联起来，是深入理解的重要标志⁷⁸。

表 3 关于物质的理解水平划分

	水平 1	水平 2	水平 3	水平 4	水平 5
Smotherers 和 Goldston (2010)	对物质的宏观理解		对物质的微观理解		

¹ Crespo, M. A. G., & Pozo, J. I. (2004). Relationships between everyday knowledge and scientific knowledge: Understanding how matter changes. *International Journal of Science Education*, 26, 1325 - 1343.

² Mohan, L., Chen, J., & Anderson, C. W. (2009). Developing a multi-year learning progression for carbon cycling in socio-ecological systems. *Journal of Research in Science Teaching*, 46, 675 - 698.

³ Stevens, S. Y., Delgado, C., & Krajcik, J. S. (2010). Developing a hypothetical multi-dimensional learning progression for the nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 47, 687 - 715.

⁴ Stevens, S. Y., Delgado, C., & Krajcik, J. S. (2010). Developing a hypothetical multi-dimensional learning progression for the nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 47, 687 - 715.

⁵ Mohan, L., Chen, J., & Anderson, C. W. (2009). Developing a multi-year learning progression for carbon cycling in socio-ecological systems. *Journal of Research in Science Teaching*, 46, 675 - 698.

⁶ Gómez, E. J., Benarroch, A., & Marín, N. (2006). Evaluation of the degree of coherence found in students' conceptions concerning the particulate nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 43, 577 - 598.

	水平 1	水平 2	水平 3	水平 4	水平 5	
García 等 (2009)	宏观解释	非科学的粒子概念		科学方式的粒子概念		
Löfgren 和 Helldén(2009)	混淆分子与物 质	了解科学事 实, 不能运用	能够掌握并 运用分子概 念	以科学正确的方式运用分子概念		
Gómez 等 (2006)	物质是静态且 连续的	物质是连续 且由微粒填 充, 有间隙	物质是由微 粒构成, 且微 粒间含有间 隙	物质是由微粒构成 且其中间隙是必要 的	运动是必要的, 与间隙互相随 机协调	
Crespo 和 Pozo (2004)	变形	迁移	宏观属性	动力模型		
Mohan 等 (2009)	宏观动力学解 释	动力学解释 与内在机制	基于学校科学课的知识结 构	基于模型推理的知识结 构		
Stevens 等 (2010)	(原子结构)	原子为球面		存在亚原 子粒子	波尔模型	电子云模 型
	(电力)	非预期力的 影响	电力的影响	电子的 影响	价电子影响	电子组态 的影响

* (cf. Hadenfeldt 等, 2014)

虽然所评价的学生对跨学科概念的理解水平模型也是基于不同任务与背景的（如，Crespo 和 Pozo, 2004; Gómez 等, 2006; Smothers 和 Goldston, 2010），但通过对这些水平划分的比较，可以揭示一些共性。总的来说，学生似乎从对跨学科概念没有概念开始，如学生没有任何粒子概念（即无概念——水平 1）。其次表现为混淆概念或前概念，在能够应用简单的模型来解释与跨学科概念相关的现象后，但是学生不熟悉这个新的解释范围，并且通常存在特定的误解，例如将宏观属性归因于粒子性质（前概念——水平 2）。之后，了解这些概念的本质，学生们能够以科学正确的方式解释各种现象（正确事实经验——水平 3），即可以用一个学科的知识正确解释现象解决问题。接下来，学生概括并确立抽象概念和具体事物间的映射关系（映射概括——水平 4），即学生可从超过本学科的角度解决问题，但是只能建立与具体事物的联系，不能从宏观全面的视角，反映现象的本质。最后，学生们能够详细了解跨学科概念相关的特性并正确运用多个学科内容解释现象解决问题（系统关联——水平 5）。这些层次在不同概念中表现出异曲同工之处，表征学生获得概念的渐进式经验。由于以上所采用的水平划分的研究涵盖了广泛的时间范围，且包含了跨学科概念的主要方面，此外，此理论模型与由著名的心理学家比格斯(Biggs, J.B)及其同事科林斯(Collis, K.F)在 1982 年提出的 SOLO 认知发展水平理论（Structure of Observed Learning Outcome）相符，因此我们认为这一水平划分模型可以作为本研究提供基本模型来描述学

生对跨学科概念的理解水平。

1.2.3.2 关于学生跨学科概念理解的研究内容

由于跨学科概念数量较多，因此大多数关于学生跨学科概念理解的研究只就其中某一个概念进行了探查，研究内容主要集中于物质、能量、结构和功能，尺度、规模与比例这几个主要概念领域（如表 4）。对于物质概念，较为公认的为 Liu 和 Lesniak（2004）所划分的物质概念的四个方面，即守恒、物理性质和变化、化学性质和变化以及结构和组成¹，此外，综合已有研究，关于物质的探测还包括少数对滴剂实验的解释、对物质相变与溶解的理解以及碳转化过程等更加细微知识的涉猎。对于能量概念，较为公认的为 Liu 和 McKeough（2005）所划分的能量的四个方面：来源与形式，转移和转化，能量消耗及能量守恒。多数研究关注其中一个或几个方面进行研究²；对于结构与功能概念的研究，内容上没有一个统一而公认的划分，多数研究以某个具体事物为例探测学生对结构或其功能的认识，如对种子结构的认识；对于尺度、规模与比例概念，研究多用数量级或者无工具测量的内容来考察学生对这一概念的理解，其中关于尺度的研究，对象以特殊学生群体居多。

此外，也有许多研究者未针对某一个或几个跨学科概念进行调查与测量，关于个体跨学科概念的研究还包括对跨学科概念与标准化评估的对应研究以及对已有工具的有效性分析与改进研究。Laverty 与 Caballero（2018）使用三维学习框架来研究入门物理（即概念清单）中最常用的标准化评估与当下物理教育学习目标的一致性³。研究发现评估的个别科学实践和跨学科概念的工具仅限于少数几个。包括 FCI、FMCE、CSEM 以及 BEMA。其中 FCI 中包含的跨学科概念有“规模，比例和数量”，FMCE 中包含“规模，比例和数量”、“稳定和变化”，CSEM 中包含“规模，比例和数量”，BEMA 中包含“规模，比例和数量”、“结构与功能”。DeBarger 等（2016）以证据为中心的设计视角介绍了此类用途的有效性论证的结构，并在基于项目的科学课程的效能研究中解开了设计决策，以开发和实施这些评估。讨论了为方案评估目的设计与 NGSS 一致的评估的意义⁴。Yang 等（2018）提供了一种设计，验证和进一步改进工具的方法，以评估学生不同年级对跨学科概念的理解。该研究采用美国东北部跨学科科学与工程合作组织（ISEP）的中小学生的数据。结果表明，工具各个方面质量总体良好，且学生在理解跨学科概念（包括）的学习进阶显示出小学和

¹ Liu, X., & Lesniak, K. M. (2004). Students' progression of understanding the matter concept from elementary to high school. *Science Education*, 89(3), 433 - 450.

² Liu, X., & McKeough, A. (2005). Development growth in student's concept of energy: Analysis of selected items from the TIMSS database. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 493-517.

³ Laverty J T, Caballero M D. What are we assessing? An analysis of the most common concept inventories in physics[J]. *Physical Review Physics Education Research*, 2018, 14(1).

⁴ DeBarger, A. H., Penuel, W. R., Harris, C. J., Kennedy, C. K. (2016). Building an Assessment Argument to Design and Use Next Generation Science Assessments in Efficacy Studies of Curriculum Interventions. *American Journal of Evaluation*.

中学之间的急剧增长¹。该研究揭示了在评估基于新标准的学生科学理解方面开发更可靠和有效的工具，并且还提供了在教育研究和实践中实施的建议。

综上所述，在已筛选的跨学科概念范围中，物质与能量、结构和功能，规模与比例这三个概念在已有研究中涉及较多，相应的工具方法较为成熟，为后文中本研究筛选所研究跨学科概念过程提供依据。

1.2.3.3 关于学生跨学科概念理解的研究方法与工具

关于对学生跨学科概念理解的评估，《框架》在方法上予以相应的建议：对跨学科概念理解的评价意味着评估任务应该在一个不同年级间累积进阶，并包含许多“做”科学意义的概念特征；例如，叙述和论证，建模和展示。对跨学科概念的评估无需频繁；每学期或每年都进行一项概念评估任务以揭示学生跨学科概念理解情况。

跨学科概念的大部分评估任务都为结构化问题和表现型评估。如果评估要求学生明确模式概念，机制和解释，区分稳定性和变化，提供不同尺度的代表，分析模型数据以及参与科学实践等各个方面时，学生须出示“做”科学的证据，并体现批判性思维²。下一代科学标准（NGSS）评估将采用“学习表现”形式³。例如，设置开发任务让学生来解释气味如何穿过房间。可以使用第5节“能量和物质：流量，周期和守恒”中描述的表现期望进行评估。期望学生使用一些概念知识（例如，物质状态）和实践（例如，建模）来开发解释气味运动的机制（气体/粒子扩散）。另外，若教师需要评价的是证明学生正在开发由粒子构成的物质模型。相关任务可以是有色染料在水中扩散的机制，水中沉积物的分离，或生态系统或化学反应中限制因素的作用。这些任务可以在不同年级知识内收集，以开发关于学生对跨学科概念的理解的评价。Sonia 等（2018）考虑到开发跨学科概念评估十分耗时且超出大多数教师的工作范围。该研究提出一种可以帮助教师开发跨学科概念评估题目的方法，即通过学生的知识、做科学的证据来获取开发评估的题目内容⁴，与《框架》中所建议方法有异曲同工之处。

除了《框架》中对学生跨学科概念理解的评价给予的阐述，许多研究者运用了不同的方法对学生的跨学科概念理解现状进行评价（如表4）。

表 4 关于个体跨学科概念理解的研究清单

作者	研究对象	研究方法	研究内容	分析方法	是否关
----	------	------	------	------	-----

¹ Yang Y. (2017). Student Understanding of Science Crosscutting Concepts in Twelve Public Schools/ A Multi-level Modeling Study. Doctor Dissertation the University at Buffalo, State University of New York.

² Duschl R A. The Second Dimension—Crosscutting Concepts[J]. Science & Children, 2012, 49(6):10-14.

³ NGSS Lead States. (2013).Next generation science standards: For states, by states. Washington, DC: National Academies Press.

⁴ Underwood S M, Posey L A, Herrington D G, et al. Adapting Assessment Tasks to Support Three-Dimensional Learning[J]. Journal of Chemical Education, 2018, 95(2): pages.207-217.

（年份）			主要领域	具体内容		注跨学科理解
Silin Wei 等（2012）	美国与中国的 112 名高中生	计算机建模	物质	物质的宏观和微观性质	Rasch 模型	
Smothers &Goldston（2009）	先天性失明男性青少年	定性的多案例研究：个人访谈、模型制作为主，日志撰写和焦点小组访谈为辅	物质	物质变化：溶解、化学变化、膨胀和冷凝	内容分析法	
Gomez 等（2006）	43 名年龄在 9-22 岁的学生	访谈、问卷	物质	物质的微粒性质	一致性分析	
Eilam（2004）	初中生	单独进行科学实验并对滴剂现象进行推理	物质	滴剂现象	逐行内容分析法	
Nakhleh 等（2004）	9 名中学生	脚本化的半结构化访谈	物质	物质本质：物质成分（原子/分子）结构、微观结构与宏观性质的关系（如流动性和延展性）以及对相变和溶解等过程	描述性分析	
Singer 等（2003）	七年级中学生	前后测、访谈、学生绘画和课堂活动的录像探测	物质	物质的微粒性质	描述性分析	
Stains 和 Talanquer（2007）	本科化学专业新生	真实任务法与访谈法	物质	化学物质分类为元素，化合物或混合物时使用的推理模式	非线性分析	
Benson 等（1993）	小学二年级学生到化学专业大学生，共 1098 名	令学生绘制 1.0 大气压和 0.5 大气压下的空气视图	物质	气体性质的前概念	绘图分析法	
Liu（2007）	981 名学生（低年级到高年级）	测验法	物质	物质概念理解的进阶	Rasch 模型：量表《理解物质概念进阶》（PUM）	
Liu 和 Lesniak（2006）	54 名 1 至 10 年级学生	新皮亚杰概念框架和现象学方法：访谈法、任务法	物质	物质（即水，醋和小苏打）的概念以及这些物质的结合	描述性分析	
Liu 和 Lesniak（2004）	第三国际数学和科学研究（TIMSS）的美国国家样本：3-12 年级学生	测验法	物质	物质概念的四个方面，即守恒、物理性质和变化、化学性质和变化以及结构和组成	Rasch 建模	是
Hadenfeldt 等（2016）	6 至 13 年级共 1,388 名学生	测验法	物质	结构和组成，物理性质和变化，化学反应和守恒	多维 Rasch 分析：基于有序选择题（OMC）的工具	是
韦斯林（2010）	中国初三、高一以及美国 10 和 11 年级约 1600 名学生	测验法：“锚一测试”	物质	化学反应、溶液、酸和碱	等值化研究（三个量表）	是

作者 (年份)	研究对象	研究方法	研究内容		分析方法	是否关注跨学科理解
			主要领域	具体内容		
Aydeniz 等 (2017)	土耳其的 215 位职前科学教师 (PSTs)	测验法: 三层诊断测试	物质	颗粒物质性质 (PNM)	Rasch 建模	
Jin (2012)	访谈: 48 个中学生; 测验: 四年级到高中的 3, 903 个学生	访谈法、测验法	能量	碳转化过程	Rasch 建模	是
Herrmann Abell 与 DeBoer (2017)	美国各地 4 至 12 年级的超过 20, 000 名学生	测验法	能量	能量的形式和转化到能量转移到守恒	Rasch 建模 (所用工具包含 359 个多项选择题)	是
Liu 和 Mckeough (2005)	美国学生的 TMISS 数据库	数据分析法	能量	全方面	Rasch 建模	
Sebastian (2015)	3-6 年级学生	测验法	能量	形式和能源, 转移和转化, 能量消散, 以及能量守恒	Rasch 建模	是
Ou Lydia Liu (2015)	中学生	测验法	能量	能量综合		
Park 与 Liu (2014)	356 名大学生	测验法	能量	原子结构, 波, 电和磁能以及现代物理内容领域的能量概念	部分信用 Rasch 模型: 跨学科能源概念评估 (IDEA)	是
Laura Zangori 等 (2014)	早期儿童	长期调查, 包括课堂观察, 教师访谈和学生的写作作品分析。	结构和功能	种子的结构和功能	内容分析法、描述性分析	
Panaoura 等 (2017)	中学三年级, 四年级和五年级学生	任务法	结构和功能	(1) 定义功能概念和举出有关功能实例的能力, (2) 解决要求他们识别和解释有关功能的任务, 其中功能概念将以不同的表示形式呈现, (3) 解决有关功能的问题	验证性因子分析	
Sajka (2003)	中学生	任务法	结构和功能			
Thomas (2008)	中学生	测验法	结构和功能	代表性多功能性, 包括表示之间的关系		
Gail 等 (2013)	中学生	数量估算	规模、尺度和比例	规模和尺度		
Jones 等 (2009)	17 名视力障碍学生	问卷法、卡片任务法、访谈法	规模、尺度和比例	多个数量级上的尺度概念以及学生在校外学习规模概念	多维计分分析	

作者 (年份)	研究对象	研究方法	研究内容		分析方法	是否关注跨学科理解
			主要领域	具体内容		
			的经验			
Jones (2006)	二十二名中学生和六名科学教师	测验法、书面调查、访谈以及规模卡分类 (SCS) 任务	规模、尺度和比例	尺度与规模	T 检验	
Tretter 等 (2006)	5 年级, 7 年级, 9 年级和 12 年级以及博士生的 215 名参与者	书面评估和卡片分类任务, 并进行了个人访谈	规模、尺度和比例	尺度	排名分析 (ranking analysis)	
Tretter 等 (2006)	5 年级, 7 年级, 9 年级和 12 年级以及博士生的 215 名参与者	书面评估与个人访谈	规模、尺度和比例	1 纳米到 10 亿米的规模概念	描述性分析	

此外, 在我国, 研究者从心理学视角阐释了学生跨学科概念理解的重要性与必要性¹, 以及概念图方法尤其适合评测学生跨学科知识的学习性进步的结论²。例如, 胡卫平等 (2007) 利用跨学科概念图的方法探查了学生科学创造力的水平, 发现跨学科概念图创作任务能够有效反映学生的创造能力及跨学科信息整合能力, 也可作为教学过程中促进学生创造能力提高的有效工具。³。

综合以上研究, 对于学生跨学科概念的测评方式主要包括真实任务法 (如规模卡分类 SCS 任务)、跨学科概念图法、模型制作、计算机建模、触觉调查、访谈 (包括脚本化的半结构化访谈、个人访谈、焦点小组访谈)、日志撰写、问卷、对学生的书面解释进行逐行内容分析、课堂活动的录像探测、绘图分析法、测验法: 有序选择题 (如 OMC 测试)、“锚一测试”, 三层诊断测试等在内的多种形式。测验所采用题型多为简答题、选择题、分拣式测评题、完成式试题、类比试题、举异试题、对应、推理、故障诊断、重新设计和预测。其中访谈法、测验法、任务法较为普遍。另外, 考虑到可行性问题, 如日志撰写、书面作品分析法、录像探测法, 均不在本研究考虑范围内。因此, 我们将采用测验法、访谈法以及任务法对跨学科概念理解进行研究。

从所开发工具情况来看, 国际范围内针对学生跨学科概念理解的测评工具数量有限, 多数为学生对于某一个概念在单学科领域内的概念理解水平以及错误概念情况测评。其中针对学生对跨学科概念的跨学科领域理解的工具有 Hye Sun You 等 (2017) 开发的碳循环跨学科评估工具 (ISACC), 所针对跨学科概念分别为能量转化以及地质/地球科学的大气/

¹张淳俊, 陈英和. 采用跨学科概念图推进中学生跨学科学业成就[J]. 心理发展与教育, 2010, 26(2): 153-160.

²张淞云, 李曼丽, 莫拉·波利格, 查德·组斯万德, 利萨·麦克奈尔, & 肖恩·麦金尼斯等. (2009). 运用“概念图”评价工科学生的跨学科知识集成——以“绿色工程”课程的跟踪研究为案例. 清华大学教育研究, 30(2), 19-27.

³胡卫平, 张淳俊. 跨学科概念图创作能力与科学创造力的关系[J]. 心理学报, 2007, 39(4): 697-705.

水圈相互作用¹；Lee 和 Liu（2010）所开发的知识整合（KI）评估，所针对跨学科概念为能源的转化和守恒；Shen 等（2014）开发了大学生对渗透作用的跨学科理解的评估，采用测验法与真实任务法并使用 Rasch 模型中部分信用模型（PCM）分析，结果表明这些题目表现出数据拟合度较好，并有效揭示了学生的学科和跨学科理解之间的差异²；Park 与 Liu（2014）所开发的概念评估（IDEA），所针对跨学科概念为能量概念³；Jones（2006）所开发的规模卡分类（SCS）任务，所针对跨学科概念为规模与比例⁴；Yang 等（2018）分析的美国东北部跨学科科学与工程合作组织（ISEP）的中小學生测验，所针对概念为模式、因果关系、能量和物质、结构和功能、系统和系统模型、规模，比例和数量以及稳定和变化⁵；此外，多个大型测试也包括对跨学科概念的测查，包括 TIMSS、NAEP、FCI、FMCE、CSEM 以及 BEMA。我们将针对所选择的三个跨学科概念：物质与能量、结构与功能、规模与比例，在以上可参考题库与任务中挑选适合研究对象知识水平、教育背景，并对应我们的理解水平模型的试题与任务进行研究。例如，Shen 等（2014）开发的渗透作用跨学科任务，所涉及到的跨学科概念为结构与功能、物质与能量、稳定与变化，研究对象为物理、生物专业以及修读过相关课程的大学生，我们将对此任务进行翻译与修订，作为跨学科概念图法进行研究。

综合已有对个体跨学科概念理解的评估研究，学科知识在跨学科概念理解中的作用较为显著。学科知识是跨学科概念理解的前提。另外，综合有关个体跨学科概念理解实证研究，以及其衍生的开发具有跨学科性题目的实证研究，可以看出研究中关注学生对概念的跨学科理解的研究较少，同时更是极少研究是明确为了评估大学生跨学科概念理解而展开。此外，由于我国科学教育的分科原因，我国对学生概念理解的探查主要集中于物理、化学、生物等学科的单学科概念理解，缺乏对学生跨学科概念理解的相关评估。

1.2.4 已有研究述评

1.2.4.1 从研究内容上看，对学生的跨学科概念理解多关注于某一个概念

大多数关于学生跨学科概念理解的研究只就其中某一个概念进行了探查，研究内容主要集中于物质、能量、结构和功能，尺度、规模与比例这几个主要概念领域。其中在科学

¹ You, H. S. , Delgado, C. , & Marshall, J. A. . (2017). Assessing students' disciplinary and interdisciplinary understanding of global carbon cycling. *Journal of Research in Science Teaching*.

² Shen J, Liu O L, Sung S. Designing Interdisciplinary Assessments in Sciences for College Students: An example on osmosis[J]. *International Journal of Science Education*, 2014, 36(11):1773-1793.

³ Park, M. , & Liu, X. . (2016). Assessing understanding of the energy concept in different science disciplines. *Science Education*, 100(3), 34.

⁴ Jones, M. G. , Taylor, A. , Minogue, J. , Broadwell, B. , Wiebe, E. , & Carter, G. . (2007). Understanding scale: powers of ten. *Journal of Science Education & Technology*, 16(2), 191-202.

⁵ Yang Y. (2017). Student Understanding of Science Crosscutting Concepts in Twelve Public Schools/ A Multi-level Modeling Study. Doctor Dissertation the University at Buffalo, State University of New York.

教育界较为公认的内容划分包括对物质概念以及能量概念内容的划分：（1）物质概念的四个方面：物质守恒、物理性质和变化、化学性质和变化以及结构和组成；（2）能量概念的四个方面：形式和能源、转移和转化、能量消散以及能量守恒。综合已有研究，关于物质的探测还包括少数对滴剂实验的解释、对物质相变与溶解的理解以及碳转化过程等更加细微知识的涉猎。多数研究只关注某一个概念的其中一个或几个方面进行研究。对于结构与功能概念以及尺度、规模与比例概念，还未有公认的内容划分标准。

国外发达国家，尤其是美国，对于跨学科概念的理论成果较为丰富，但是对跨学科概念理解的评估研究也仍然处于起步阶段，主要集中于学生对某一个跨学科概念的学习进阶，而对大学生跨学科概念的理解现状研究较少。在国内，跨学科概念方面的研究以理论居多，更多的是对国外课标文本的解读与跨学科概念的引进，只有极少研究对学生跨学科概念的理解情况进行测查，关于学生跨学科概念理解研究基本空白。聚焦于跨学科概念理解这一前沿的研究领域，为我们提供了丰富的空间，但同时也是极大的挑战。

1.2.4.2 从研究方法上看，量化与质性结合是跨学科概念理解的研究趋势

从大多国际科学教育研究的角度来看，关于个体跨学科概念理解的研究主要采用了量化与质性相结合的研究取向，所采用研究方法中访谈法、测验法、跨学科概念图任务法较为普遍。此外，对于测验法，Rasch 模型分析多作为工具有效性检测的前提。因此量化与质性相结合的研究方法在国际科学教育研究领域，是跨学科概念理解的研究趋势。目前在我国，对跨学科概念的研究仍然处于对国外理念的介绍程度。极少量研究采取了实验法作为研究方法，对探究跨学科概念融入教学的效果有很好的说服力。但是实验法所解决的问题是探查教学干预的影响，与我们不同，另外实验法通常规模较小，不能进行大面积测查，无法了解整体水平。因此我们结合质性和量化的研究方法，采用测验、访谈、跨学科概念图任务法等多种方法来收集资料，以了解理科大学学生对跨学科概念的理解现状。测验试测之后进行区分度、难度等检验，之后再正式投入使用，并挑选具有代表性的样本进行访谈和跨学科概念图任务法测查，以获得更为生动的研究资料。

1.2.4.3 从研究对象上看，关注大学生的跨学科概念理解研究极为缺失

由于跨学科概念理解这一领域自身较前沿，在国际范围内只有少量研究将跨学科概念理解的研究对象设置为大学生以及职前教师，在我国，目前对于理科大学学生跨学科概念理解的研究还处于相对缺失的状态。仅有一篇硕士论文（周瑶，2014）关注大学生的跨学科概念理解情况，但是该研究更加关注不同专业学生之间的比较而非每位学生跨学科概念的理解水平测查，且所测查的跨学科概念仅为跨学科概念内容中的一小部分，从该角度来看，国内对于学生跨学科概念理解的测查研究几乎处于空白。在有关概念理解的研究方面，我国对于学生的科学概念理解现状研究主要关注了学生的科学前概念、个人概念以及概念转变等方面，且研究对象主要集中于中小學生，对理科大学学生的跨学科概念理解现状的研究

还处于极为缺失的状态。

跨学科概念因其对于科学教育的重要价值而受到高度关注。跨学科概念理解是学生的丰富知识基础与强化科学思维方式的重要前提，对跨学科概念的深刻理解也是对学生科学素养的基本要求。因此，我们认为需要对理科大学生的跨学科概念理解进行评估，以期为反观我国中小学科学教育质量、反映师范大学理科生的培养成果以及进行国际比较提供实证依据。

1.3 研究意义

1.3.1 理论意义

跨学科概念是科学研究和问题解决中的重要方法论，充分理解跨学科概念是学生分析和解决问题能力发展的重要前提。高等师范院校的师范大学理科生群体既包括未来理科教师的重要组成部分，又包括未来科学研究队伍的重要储备力量。作为未来的理科教师，对于跨学科概念的理解会影响其教学行为进而影响学生的跨学科概念理解；作为未来科学研究的一员，对于跨学科概念的理解会影响其知识储备进而影响其科学研究与实践行为。我们希望通过对学生跨学科概念理解现状的调查，丰富我国关于跨学科概念的实证研究，以便为国际比较提供实证依据。此外，我们在测查学生对跨学科概念理解时所编制的测验、跨学科概念图任务以及访谈提纲等研究工具将为之后的研究提供参考。

1.3.2 实践意义

我们试图通过对师范大学理科生理解跨学科概念的现状进行调查，并基于调查结果为我国职前科学教师的培养提供针对性建议。期待我们引起国内科学教育实践对跨学科概念的关注，为将来我国科学课程体系中纳入跨学科概念提供一定实证依据。另外，我们通过对学生跨学科概念理解现状的调查，可以引起高等师范院校理科专业学科专家对于跨学科概念的关注；基于学生跨学科概念理解现状的调查结果，可以为促进学生对跨学科概念的理解提供针对性建议。本研究无论是对于反思中小学科学教育实践、师范院校理科专业培养体系的不足，都具有重要的意义。

2 研究设计

我们主要采用测验法、访谈法以及跨学科概念图法，首先以《跨学科概念理解测验》进行施测，之后根据测验分析结果，从中测试对象群体中挑选部分学生进行跨学科概念图与访谈，以期了解目前师范大学理科生对跨学科概念的理解水平与特点。

2.1 研究问题的确立

高等师范院校师范大学理科生群体既包括未来国家科学研究的重要力量，又包括未来科学教师的重要储备力量。调查师范大学理科生跨学科概念理解现状既有助于反观我国中小学科学教育的效果，又有助于反思高校学科课程设置，优化理科课程体系，改善教学模式，还有助于了解高等师范院校理科教育的现状，为人才培养的进一步提高提供改进方向。因此，我们将对象聚焦于师范大学理科生，在已有文献的支持下，我们对 B 大学、L 大学、A 学院三所师范院校的部分师范大学理科生的跨学科概念理解现状进行调查，着重探讨和研究以下两个问题：

1. 研究师范大学理科生对跨学科概念的理解水平。我们将对师范大学理科生对某几个具体跨学科概念的理解水平以及跨学科概念整体水平进行分析，为反映其跨学科概念理解现状提供实证依据；

2. 研究师范大学理科生跨学科概念理解的特征。我们将通过讨论不同专业、不同年级、不同学校的师范大学理科生对跨学科概念的理解水平差异，结合跨学科概念测验、跨学科概念图以及访谈结果，反映师范大学理科生跨学科概念理解的特点。

2.2 研究对象

2.2.1 测验被试

测验法是为了从整体层面了解师范大学理科生的跨学科概念理解情况。为保证研究的客观性，我们根据师范院校的生源水平，选择了 B 大学、L 大学以及 A 学院三所师范院校的师范大学理科生。三所师范院校在高考录取分数线方面，B 大学理科专业在全国各地的招生录取分数线在 620-660 分之间，L 大学理科专业的招生录取分数线在 520-580 分之间，而 A 学院的录取分数线在 410-525 分之间。从高考录取分数线角度来看，这三所师范院校学生的学科知识储备、学科核心能力、科学素养、跨学科整合的能力等各个方面都具有

一定差异，在师范院校中具有代表性。此外，通过对三所师范大学理科专业培养方案的对比总结，我们选择物理、化学、生物、环境/地理四个专业作为跨学科概念理解的研究对象。原因如下：1. 四者均将系统的高等数学作为必修课，学生具有一定的数学基础；2. 物理、化学、生物三个专业为我国中学科学教育的传统科目，三者的测验结果可用来反观我国基础科学教育情况；3. 环境、地理科学专业均为环境学、地理学、物理学、化学、生物学等所形成的交叉学科，其本科专业课涉及化学、生物、以及物理实验，在能够回答其他理科专业的知识测验基础上，其学科的跨学科性质可能对学生跨学科概念理解有一定影响。由于我们只关注环境/地理专业所具有的跨学科属性，因此在本研究中两专业不做区分。

为了更好的保证测验工具的有效性，我们在开发工具的过程中经过了筛选概念——建立理论模型——汉化改编题目——试测——修订——正式测验的迭代流程。每一个环节涉及到的具体样本信息将在第三章详细阐明。

2.2.2 跨学科概念图任务对象

为了探析师范大学理科生认知范围内对跨学科概念的朴素理解情况，以及更好的测查学生对概念的跨学科整合能力，我们对参与测验的部分学生进行了跨学科概念图任务。根据跨学科概念理解测验结果，不同学科学生的理解水平分布有较大差异，我们将学生对跨学科概念的理解分为三个水平（具体划分方式见第四章）。本次抽样将在测验结果的基础上采用分层抽样法，每个专业中每个水平各随机抽取 3 人（尽量保证 3 人年级不同，但由于有的学科人比较少，对于年级无硬性要求），共 36 人进行跨学科概念图任务。

2.2.3 访谈对象

对参与跨学科概念图任务的大学生进行半结构式访谈，通过访谈了解大学生对跨学科概念的认识及其在问题解决过程中的困难、收获及感受等比较动态的资料，此外，了解测验工具的有效性并获得其跨学科学习情况的深入信息。

2.3 研究方法 with 工具

2.3.1 研究方法

2.3.1.1 文本分析法

对高中和大学物理、化学、生物和环境学科教材中与跨学科概念相关的内容进行提取。梳理国内教材中关注的跨学科概念。通过比较各个学科对跨学科概念的关注程度差异，进而确定所要测查的跨学科概念，并为解释学科差异提供依据。

2.3.1.2 测验法

我们通过构建跨学科概念为主要内容的测验,对师范大学理科生的跨学科概念理解水平进行分析。由于我们意在以知识为抓手编制能力测验剖析学生对跨学科概念的理解水平,因此采用知识测验的方式获取师范大学理科生跨学科概念理解的水平与特征。通过上文的综述,我们将要研究的跨学科概念分别为物质与能量、结构与功能、规模与比例,由于物质与能量概念在课标与教材内容中体现较为明确,且已有成熟量表较多,因此,我们测验法将以物质与能量为主要内容展开。

2.3.1.3 跨学科概念图法

概念图(concept maps)是表征学生对概念理解水平的评测方法之一,通过分析学生所画出的中心概念及对概念间的联系的标注,研究者可以从中获取学生对概念相对朴素的理解程度及整合程度等多方面的信息。跨学科概念图法是国际上较为前沿的评测技术,有助于了解学生对跨学科综合复杂的概念理解情况及整合情况。在师范大学理科生绘制跨学科概念图后,研究者将跟踪访谈获取过程性资料。对资料进行编码分析,从而分析师范大学理科生跨越学科进行概念整合的能力与意识,进而获得大学生跨学科概念理解的动态资料。我们将通过跨学科概念图的方法对所选择跨学科概念:物质与能量进行更深入的探查,以期获得大学生整合各个学科知识的真实情况。

2.3.1.4 访谈法

为了对所开发的测验的有效性与科学性进行进一步了解,为改进测验提供实证资料,需要对接受测验的部分大学生进行访谈。另外,测验法所得到的结果是影响学生对跨学科概念理解的宏观因素,但无法获得较为深刻和生动的研究资料。此外,对学生解决问题的过程性资料进行分析,不能获得学生在解决任务过程中的感受和收获。针对以上三个问题,我们将对参加跨学科概念图任务法的大学生进行半结构式访谈,以期获得测验的反馈信息、学生在个人学习情况方面更丰富的资料以及学生在跨学科概念图中的困难、收获和感受,从而为我们第二个研究问题:跨学科概念理解的认知特点,提供更多生动的证据。

2.3.2 研究工具

2.3.2.1 师范大学理科生跨学科概念理解测验

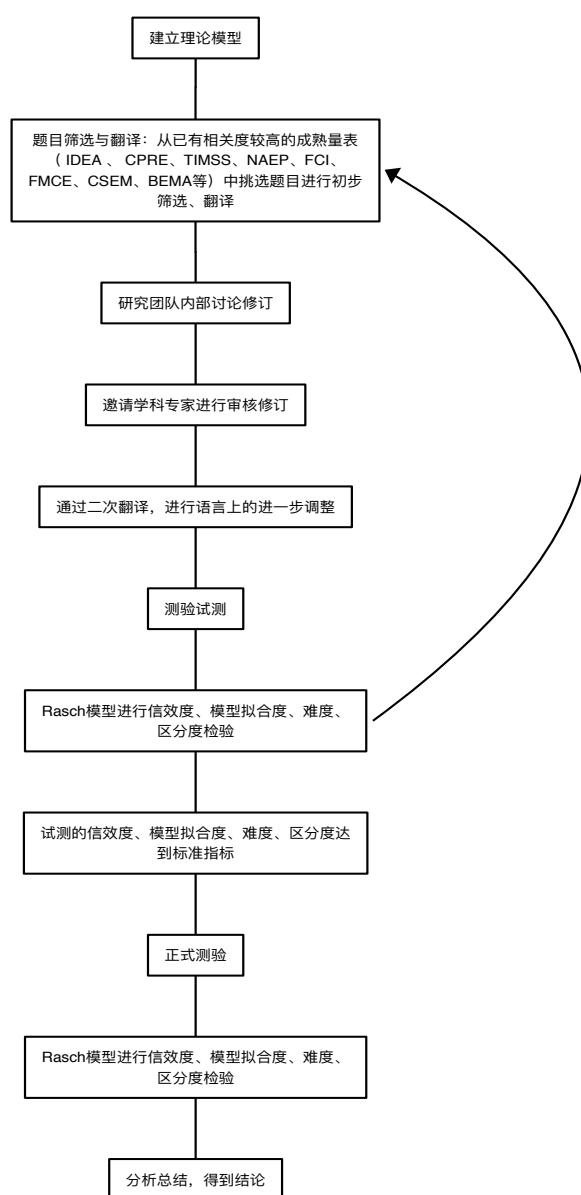
我们在对国内外跨学科概念以及其他科学概念相关的问卷和试题基础上,编制师范大学理科生跨学科概念理解测验。测验工具的开发讲经历理论模型建构、教材内容分析、题目筛选、汉化及改编、试测、正式测试等多个环节(如图 1 所示),具体开发过程将在第三章详细阐释。

2.3.2.2 跨学科概念图任务

为得到学生对跨学科概念的深入生动理解，我们将借鉴国外跨学科概念图的研究工具。跨学科概念图任务是一种反映认知图式表征复杂性水平的智力适应工具并进行外显表征的心理工具。我们以“能量”、“物质”概念为主题，采用跨学科概念图的方法对大学生跨学科表征和整合水平进行测查。具体操作步骤及示例如附件 2 所示。

2.3.2.3 “师范大学理科生跨学科概念理解”访谈提纲

根据测验收集的初步的师范大学理科生的跨学科概念理解情况，结合访谈对象在跨学科概念图中的表现编制访谈提纲，并且基于访谈中出现的问题和挖掘的信息对访谈提纲进行不断修正。



未命名 -

图 1 测验编制流程图

2.4 研究基本过程

由于此前国内对大学生跨学科概念理解的研究较为缺失，因此我们试图综合多种研究方法，期望能够全面而深入地挖掘并剖析出师范大学理科大学生跨学科概念理解的现状。我们主要分以下几个阶段：

2.4.1 文献调研

主要进行相关研究资料的收集，在广泛阅读的基础上，在广泛阅读的基础上，对已有研究进行全面的概括、归纳和分析梳理，确定研究主题为跨学科概念，进而确定研究问题。基于已有研究，对跨学科概念的内涵、内容、教学及个体的跨学科概念理解等内容进行梳理，撰写文献综述，为我们提供依据和支撑。

2.4.2 编制研究工具

基于前期对课标、教材和国内外相关文献的研究，对科学教育专家、理科大学生进行了访谈和预研究，初步聚焦跨学科概念。在此基础上，编制适用于师范大学理科大学生的测验、跨学科概念图任务及访谈提纲等工具，并请国际科学教育专家进行效度评审，结合专家意见进行修订。在试测结果的基础上进行二轮修订，最终确定研究工具，如图 1 所示。

2.4.3 选取被试与数据收集

根据研究目的选取被试，进行调查研究。采用随机抽样，在 B 大学、L 大学及 A 学院物理、化学、生物与环境专业的学生中共选择 652 名本科生进行跨学科概念理解测验。在问卷和测验所收集数据的基础上，采用分层抽样选择 36 位具有代表性的大学生作为跨学科概念图任务及访谈对象，再进行信息的深入收集。

2.4.4 资料分析与处理

对测验与问卷收集到的数据进行细致的量化处理，利用 Winsteps 3.72、SPSS25.0 统计软件对回收的有效问卷和测验进行统计分析，对于跨学科概念图作品及访谈资料，我们将对其进行转录和编码，以质性的方式进行分析。

2.4.5 论文撰写

基于资料分析与处理，得出研究结论。基于研究结果，对师范大学理科大学生的跨学科概念发展提出针对性建议，并完成论文撰写。

3 跨学科概念理解测评工具开发

本章将对跨学科概念理解的测评工具开发过程及工具质量进行描述。我们测评工具《师范大学理科生跨学科概念理解测验》的编制经历内容的筛选与确定——理论模型建构——初步形成测验工具——试测——修订——正式测试的开发流程，具体过程如下：

3.1 内容的筛选与确定

我们以人教版普通高中物理、化学、生物课程标准实验教科书以及大学物理、化学、生物、环境四个专业的必修教材，共 25 本教科书为分析对象，整理出高中、大学教材中所涉及的跨学科概念内容，从而为我们所要调查的跨学科概念提供依据。

我们参考了已有研究方式进行内容筛选¹，以各科《普通高中课程标准》中的学习目标、大学各必修教材中的学习目标为准，梳理学习目标与跨学科概念内容的对应关系。其中重点学习目标与跨学科概念相关内容的对应关系用“★”来表示，不作为重点学习的目标，但在目标中有一定体现的跨学科概念内容用“☆”来表示。例如，在物理学中，学习目标是“理解能量守恒定律，能用能量守恒定律分析生产生活中的有关问题”，因此与跨学科概念一致的对应要素是“能量”，标记“★”。由于能量的不同形式是学生需要了解的内容之一但非重点学习目标，且与“尺度、比率和数量”一定的关联，因此我们标记为“☆”。具体编码表请见附件 4。

通过分析，我们可以发现高中理科课程内容、大学各专业必修课程内容与跨学科概念关联性较强，且高中与大学阶段对于跨学科概念重视内容较为相似，具有较高的一致性。在编码的基础上，我们对各个跨学科概念在各学科中出现的“★”与“☆”总数进行频次与频率统计，并对各学科中最低出现频率进行排序（如表 5），前三名分别为物质与能量、模式/机制/秩序与模型；对各学科中最高出现频率进行排序，排在前三名的分别为物质与能量、结构与功能以及模型。对大学各教材中涉及到的跨学科概念用相同的方法进行统计，结果相对一致（如表 6），各个学科涉及的跨学科概念中对最低出现频率进行排序，排在前三名的分别为模型、物质与能量以及模式/机制与秩序。对各学科中最高出现频率进行排序，排在前三名的分别为物质与能量、结构与功能以及模式/机制/秩序。将最低出现频率与最高出现频率的顺序取交集，可以看出物质与能量这两个跨学科概念在高中和大学教材内容中所占比重较大。

¹ 王威，刘恩山，李倩. 将跨学科概念融入高中生物学课程初探[J]. 生物学通报, 2012(08):33-37.

表 5 高中各学科课程内容中涉及到的跨学科概念频率统计

跨学科概念	物质与能量	结构与功能	模式/机制/秩序	模型	尺度、比例与数量	稳定与变化	系统	解释
各学科最低出现频率	9.8%	2.5%	6.3%	7.6%	1.3%	0%	1.3%	0%
各学科最高出现频率	47.6%	26.9%	21.5%	39.2%	7.6%	4.1%	6.2%	4.3%

表 6 大学各专业必修教材中涉及到的跨学科概念频率统计

跨学科概念	物质与能量	结构与功能	模式/机制/秩序	模型	尺度、比例与数量	稳定与变化	系统	解释
各学科最低出现频率	7.6%	2.5%	6.3%	9.7%	0%	2.5%	1.3%	1%
各学科最高出现频率	30.6%	26.9%	25.5%	21.3%	7.6%	11.7%	11%	5.5%

此外，在对专业书内容统计结果的基础上，我们对 7 名不同专业学生进行了半结构访谈。访谈主要目的为确认本科阶段各个学科专业内容中跨学科概念的占比与重要性，并将访谈结果与内容分析进行对比。7 名不同专业学生分别为物理系 3 名研究生、化学系 1 名研究生、生物系 2 名研究生以及环境科学 1 名研究生（本科均为北师大相应专业）。通过访谈，可以发现与内容统计结果基本相同。因此，通过以上两个步骤，初步确认我们所要测查的跨学科概念：物质、能量。

鉴于高中、大学阶段均将物质与能量作为教学重点，所占内容比例比较大，我们将选择这两个跨学科概念进行测查，一定程度上反映学生对跨学科概念的整体理解情况。

3.2 跨学科概念理解水平理论模型

我们预设学生对跨学科概念的理解存在不同的水平，在前文中对物质、能量概念水平划分的相关文献综述基础上，我们结合更加上位的能力要素模型（Parchmann, 2011）¹，建立本研究工具开发的理论基础。该模型指出学生对跨学科概念的理解存在三个层级：事实经验水平、映射概括水平及系统关联水平，如下表所示。

¹ Bernholt S, Parchmann I. Assessing the complexity of students' knowledge in chemistry[J]. chemistry education research & practice, 2011, 12(2):167-173.

表 7 跨学科概念理解水平理论模型

水平	能力描述
L1 事实经验	了解科学事实，不能运用，各个概念间无联系，不具备解释能力。
L2 映射概括	对物质和能量的动力学解释与内在机制有一定的认识，能够简单解释情境中的相关问题，但缺乏不同情境间的整合能力
L3 系统关联	在复杂情境中联系相关概念，从原理上理解，各个概念间可以完全整合

此外，由于已有研究表明，学习的过程是在特定的情境中进行的，概念理解无法脱离情境（如，Singley 和 Anderson, 1989; Brown、Collins 和 Duguid, 1989; Oura, 2014 等）。有研究者认为情境是影响认知过程的实验或教学环境（Anderson、Reder 和 Simon, 1996），也有学者认为课堂活动本身就是情境（Cobb 和 Bowers, 1999）；在基于问题的学习过程中，问题指定了内容主题，并嵌入到情境中，从而启动和构建学生的学习（Allen 和 Tanner, 2003; Woods, 1985）。Grossman 和 Stodolsky（1995）认为，应将内容主题视为基于不同学科之间内容发展方式不同的情境。可见，内容与情境总是相辅相成，很难独立存在，情境总是伴随特定的内容。因此，我们认为内容主题与情境相互交织，在本研究中内容主题与学科情境不作区分。我们预设跨学科概念理解水平与学科具体情境相关，在后文中我们将对不同内容主题下的学生理解情况做相关性分析，进而回答研究问题 2。我们从现有能量、物质研究中以及现行教材中提取出以下内容主题：

化学学科：能量和原子结构、化学能与热能（熵）、化学键、化学方程式、原子结构；

物理学科：能量通过波的形式传播、简单机械、电磁能、现代物理、物质的物理构成、物质的物理变化与守恒；

生物学科：生物体内的能量、光合呼吸作用中的能量、生物体的组成、生物体食物来源、生物体中的物质来源；

环境科学：生态系统、可替代能源与能源效率、天气与气候、负反馈机制。

3.3 测验工具的开发

在这部分，我们进一步划分物质、能量概念的内容维度，结合目标内容维度、目标内容主题在题库中进行筛选，经过设计与改编初步形成跨学科概念测验工具。

3.3.1 确定跨学科概念内容维度

结合已有研究，我们进一步确认“物质”“能量”的内容维度如下：

1. 物质：美国国家科学教育标准（《The National Science Education Standards》）规定，

物质概念包括物质变化的形式和过程（如状态变化以及化学和物理变化），可分为四个方面：物质守恒，物理性质和变化，化学性质和变化，物质的组成和结构；

2. 能量：长久以来，能量概念主要分为以下四个方面：能量的来源和形式、能量的转化与转移、能量的消减以及能量守恒（Duit, 1984; Liu 和 McKeough, 2005）。但是，最近研究表明，能量的消减以及守恒在理解水平无法区分（Liu 和 Collard, 2005; Liu 和 Park, 2012）。Duit（2012）指出，只有在考虑了解消减的情况下，学生才能理解守恒概念。因此，我们最终将能量分为三个子维度：来源与形式、能量的转化与转移和能量守恒。

3.3.2 筛选测试题目

我们从 1995 年第三次国际数学和科学研究（TIMSS）、国家教育进展评估（NAEP）、纽约州科学考试（NYSE）、美国科学成果协会科学测试（AAAS）以及相关研究工具（如 IDEA 等）中筛选相应的题目。TIMSS 题目来源网站：<http://isc.bc.edu/timss1995i/Items.html>、NAEP 题目来源网站：<http://nces.ed.gov/nationsreportcard/itmrls>、NYSE 题目来源网站：<http://www.emsc.nysed.gov/osa/>、以及 AAAS 题目来源网站：<http://assessment.aaas.org/items/>。

题目的筛选遵循如下标准：（1）筛选试题能够涵盖物质、能量的所有内容维度与内容主题。如能量概念，在物理学科中，需要涉及来源、转化与守恒三个内容维度，所涉及内容主题需包括电磁能、现代物理等；（2）试题能够指向迷思概念，且具有一定难度；（3）筛选题目内容均属高中知识范围，不涉及大学专业知识；（4）筛选试题需要与前述理论模型（即三个理解水平）相匹配，包括三种类型：事实经验型、映射概括型以及系统关联型。随着题目类型不同，所考查的能力水平也逐级提高。

3.3.3 设计与改编题目

为了能够有效了解学生对概念理解的稳定性、全面性及学科整合性，我们根据研究需要进行设计与改编，设置题目形式为选择题及相应主观解释题目。主观解释题目主要作为选择题的二阶题目，起到进一步解释选项原因的作用。试题编码及其对应内容主题如表 8 所示。其中试题编码包括五个部分：学科-概念-题号-内容维度-水平等级。学科编码：P-物理，C-化学，B-生物，E-环境；概念编码：E-能量，M-物质；测验共包括 28 道题目，则题目编码范围为 1-28；根据物质与能量概念内容子维度进行编码：物质概念下包括物质守恒(Cn)，物理性质和变化(Ph)，化学性质和变化(Ch)，物质的组成和结构(Cm)；能量概念包括能量的来源和形式(SF)、能量的转化与转移(T)、能量守恒与消减(CD)；水平等级编码：如前文所述，本研究所依据理论模型将学生对跨学科概念理解水平划分为三个等级：事实经验水平-L1，映射概括水平-L2，系统关联水平-L3。

表 8 测试工具编码及内容主题分布

物理			化学		生物		环境	
概念	内容主题	题目编码	内容主题	题目编码	内容主题	题目编码	内容主题	题目编码
能量	能量通过波的形式传播	PE1SFL1	能量和原子结构	CE9SFL1	生物体内的能量	BE13SFL2	生态系统	EE5SFL2
				CE10TL3				EE7TL1
	简单机械	PE2CDL3		CE11CDL3				EE8CDL2
	电磁学	PE3SFL3	化学能与热能（熵）	CE12TL2	光合呼吸作用中的能量	BE14TL1	可替代能源与能源效率	EE6SFL1
	现代物理	PE4CDL3				BE15CDL2		
物质	物质的物理构成	PM16CmL1	化学键	CM20ChL2	生物体的组成	BM22CmL1	天气与气候	EM25CnL3
		PM17CmL1	化学方程式	CM21ChL1	生物体食物来源	BM23CmL2		EM26PhL3
	物质的物理变化与守恒	PM18PhL3	原子结构	CM27CmL3	生物体中的物质来源	BM24CmL2	负反馈机制	EM28CnL3
		PM19CnL2						

3.4 试测

3.4.1 样本信息

试测于 2019 年秋季学期进行，对 B 大学中化学学院、生命科学学院、物理系以及环境科学学院的本科生共 36 名学生进行测试，回收有效问卷 36 份，无效问卷 0 份，有效回收率为 100%。试卷由网络平台问卷星发放。有效测试样本量分布如表 9 所示：

表 9 试测有效样本分布

学科	物理	化学	生物	环境/地理科学	总人数
人数	12	10	8	6	36

3.4.2 试测工具质量分析

为了精确反映被试客观情况,我们以项目反应理论(item response theory, IRT)¹为基础,对测验工具进行质量分析。测验工具质量的分析包括对信度、效度、区分度、难度、项目拟合度等指标,由于试测样本量较小,所分析的难度、效度不足够具有代表性,无法反映出所有学生可能的能力水平,因此在试测分析时,我们只对工具的信度、区分度、项目拟合度及区分度进行测量。

3.4.2.1 信度分析

由于我们所采用测验工具包含客观题和主观题,因此,我们利用 Winsteps 3.72²对数据进行 partial-credit Rasch 模型分析,得到信度结果如下表所示。数据显示试题信度为 0.88,大于 0.8,表明试题信度较高。此外,试题分布值为 2.68,大于 2,表明试题与模型匹配度高。

表 10 试测工具信度结果

试题信度	试题分布值
0.88	2.68

3.4.2.2 项目拟合度分析

项目拟合度是反映研究工具质量的重要指标,指向工具能否与所测样本相匹配以测出学生能力水平的差异。此外,也反映了工具与理论模型的匹配程度。我们通过 Winsteps 3.72 对数据进行分析发现,试测多数试题的 MNSQ 值介于 0.7 至 1.3, ZSTD 值介于-2 至+2 (如表 11 所示),因此可以说明多数试题与模型具有很好的吻合度。其中第 1、10、16、19、21、24 及 25 题数据不在要求范围内,说明这些题目可能存在内容上的错乱,使得能力水平高的学生答错率较高,能力水平较低的学生错误率反而较低。

¹ 周巧晓,刘恩山.整合 CTT 和 IRT 技术提高监测工具质量——以小学科学试卷为例[J].首都师范大学学报(自然科学版),v.39;No.171(4):57-64.

² Linacre, J. M. (2011). WINSTEPS (version 3.72.0) [Computer program]. Retrieved from <http://www.winsteps.com>

表 11 试测样本项目拟合度

试题编号	MNSQ (INFIT)	ZSTD (INFIT)	MNSQ (OUTFIT)	ZSTD (OUTFIT)	难度值
PE1SFL3	0.96	0.3	0.35	-0.2	69.65
CM20ChL2	0.95	-0.2	0.88	-0.4	56.51
EM28CnL3	0.98	-0.1	0.91	-0.3	55.84
PE4CDL3	1.13	1.0	1.12	0.7	54.58
EE6SFL1	1.02	0.2	0.96	-0.1	54.51
EM25CnL3	1.29	2.3	1.47	2.6	53.38
CM27CmL3	1.20	1.6	1.22	1.3	53.38
EE7TL1	0.89	-1.0	0.84	-1.0	52.21
BM24CmL2	0.66	-2.1	0.62	-2.0	51.93
PE2CDL3	1.07	0.6	1.07	0.5	51.73
CE12TL2	0.79	-2.0	0.74	-1.7	51.63
CE10TL3	1.66	3.2	1.90	3.0	51.48
PM18PhL3	0.78	-1.2	0.78	-1.0	50.54
EE5SFL2	0.84	-1.4	0.77	-1.3	50.46
CE11CDL3	0.85	-1.2	0.78	-1.2	49.86
BE13SFL2	1.03	0.2	0.99	0.1	49.72
CM21ChL1	0.78	-1.5	0.68	-1.4	48.52
PM17CmL1	1.14	0.7	1.07	0.3	48.34
BM22CmL1	0.86	-0.9	0.77	-0.9	47.96
BE15CDL2	1.11	0.6	1.08	0.4	47.74
BE14TL1	1.02	0.2	0.95	-0.1	47.27
EE8CDL2	1.04	0.2	0.98	0.1	46.55
PM19CnL2	1.19	0.9	1.74	1.8	45.77
EM26PhL3	1.12	0.6	1.04	0.2	44.92
CE9SFL1	1.00	0.1	1.07	0.3	43.99
PM16CmL1	0.78	-0.5	0.47	-0.9	41.68
BM23CmL2	0.93	0.0	0.78	-0.2	41.68
PE3SFL3	1.10	0.4	1.23	0.5	38.06

3.4.2.3 区分度分析

作为诊断性知识测验，试题区分度是反映研究工具质量的重要指标之一，指向工具是否能够反射出学生理解水平的差异。从 Rasch 模型的区分度分析中可以看出，每个分数的概率曲线都明显显示不同峰值，如下图所示。由此可以说明本测验的区分度较好，评分也较为合适，不存在多余的评分等级。

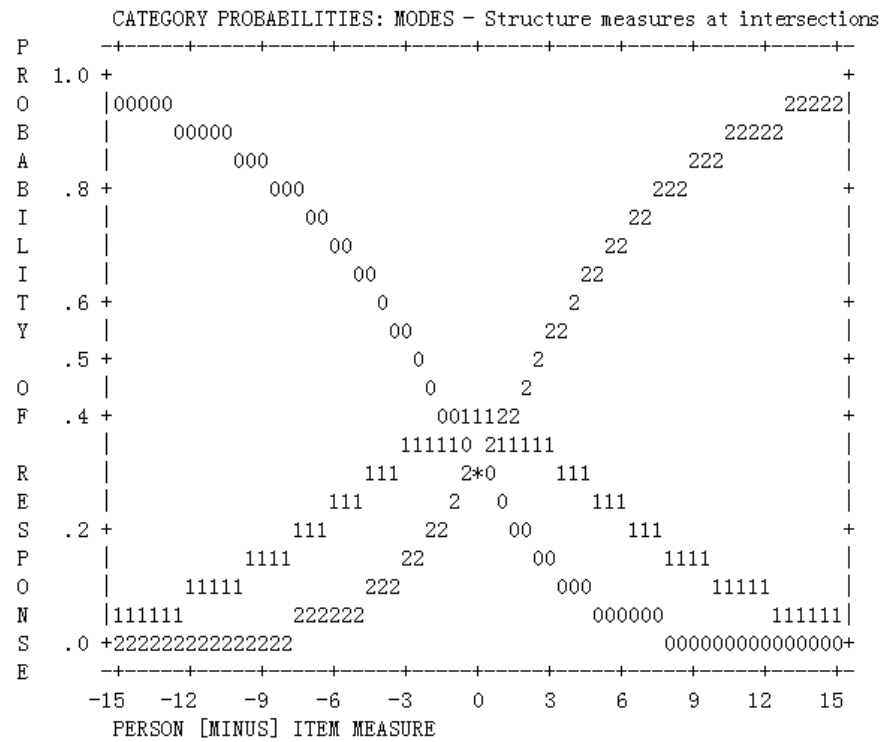


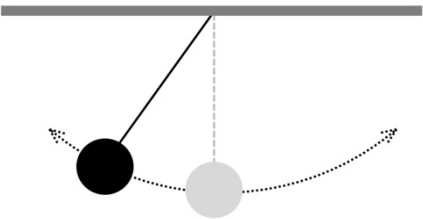
图 2 试测样本项目应答概率曲线（区分度）

3.5 测验工具的修订

我们在试测后对参与试测的学生样本进行随机访谈，结合试测结果与各学科专家组评审，对 6 道题目进行修订，删除第 19 题，新增第 28 题。修订方式包括新增主观选项、去除部分二阶主观解释题、内容精致化等。修订题目示例如下：

【修订题目 1】

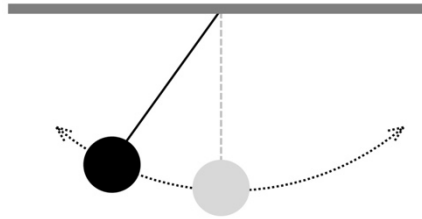
原题目：学生正在玩一个单摆，如图所示。球摆动一段时间后停止。为什么球停止摆动？



- A. 当球来回摆动时，球的动能转移到其他地方
- B. 球从一边摆动到另一边的过程中将会消耗一定量的动能，当球的动能消耗殆尽时，便停下来了
- C. 球的一部分动能转移到其他地方，一部分动能被消耗
- D. 物体只有当被人移动时才具有动能。因为学生不再推动球，球没有动能

修订后：小明在玩一个单摆，如图所示。球摆动一段时间后停止。

请问球**停止摆动**的原因是？（ ）

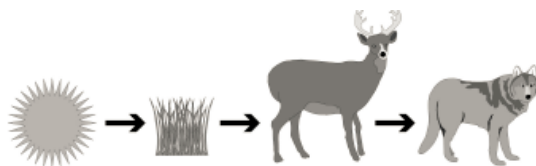


- A. 球在来回摆动过程中，球的动能转移到其他地方
- B. 球从一边摆动到另一边的过程中将会消耗一定量的动能，当球的动能消耗殆尽时，便停下来了
- C. 球的一部分动能转移到其他地方，一部分动能被消耗
- D. 物体只有当被人移动时才具有动能。因为小明不再推动球，所以球不具有动能
- E. 若上述选项均与您观点不同，请将您的想法写在下方（选填）：

根据随机访谈结果，我们发现上题中“消耗”和“转移”易造成混淆，在与专家组讨论后，我们新增主观选填项，即若对上述选项均不同意的可以在横线上用自己的语言表达。正式测试的结果显示，有相当一部分的同学选择了最后新增的选项，这样的修订有效的增大了测验的内容效度。

【修订题目 2】

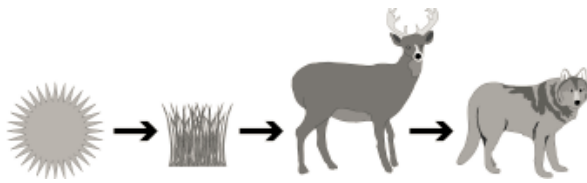
原题目：下图为一食物链



在上图中，能量以什么形式在有机体之间转移？

- A. 以光能形式转移 B. 以化学能形式转移 C. 以热能形式转移
- D. 以电能形式转移 E. 以动能形式转移

修订后：下图为太阳及一捕食食物链



在上图中，能量以什么形式在有机体之间转移？（ ）

- A. 以光能形式转移 B. 以化学能形式转移 C. 以热能形式转移
D. 以电能形式转移 E. 以动能形式转移

通过随机访谈得知：在生物学语境中，由于太阳是生产者，因此食物链中不包含太阳。另外，食物链也分很多种，上题图所展示的为捕食食物链，需要进一步明确。我们根据学生所反馈的建议，经过专家小组讨论，将原题目中“一食物链”改成“太阳及一捕食食物链”，将学科内容呈现得更加严谨。

3.6 正式测试

我们在试测与修订后进行正式测试，下面将从样本信息、工具质量分析分别进行汇报。

3.6.1 样本信息

正式测验于 2019 年秋季学期进行，对 B 大学、L 学院以及 A 学院中化学学院、生命科学学院、物理系以及环境/地理科学学院的大一到大四共 652 名学生进行测试，回收有效问卷 547 份，无效问卷 105 份，有效回收率为 83.4%。试卷由网络问卷平台问卷星及腾讯问卷进行发放回收。正式测试样本的专业背景、年级、学校、性别分布情况如表 12 所示：

表 12 正式测验样本分布一览表

学校分布	B 大学 39.1%	L 大学 41.7%		A 大学 19.2%
年级分布	大学一年级 36.2%	大学二年级 26.0%	大学三年级 23.0%	大学四年级 14.8%
学科分布	物理 23.6%	化学 30.0%	生物 29.4%	环境/地理 17.0%
性别分布	男 24.1%		女 75.9%	

3.6.2 评分标准

正式测验所采用测验工具包括 27 道客观题、9 道主观题。对于客观题（即单项选择题），我们采取二分法进行赋分，回答正确得 1 分，回答错误得 0 分。对于主观题目，我们依据

SOLO 分类评价理论进行赋分（表 13），达到前结构水平得 0 分，单一结构水平得 1 分，多元结构水平得 2 分。主观题具体评分标准请见附件 5。

表 13 基于 SOLO 理论的评分标准¹

SOLO 水平	得分	描述
前结构水平	0 分	回答错误、回答内容与题目无关或重复选项内容
单点结构水平	1 分	回答正确，符合科学事实； 背诵概念或公式，但未进一步进行解释
多元结构水平	2 分	回答正确，符合科学事实； 能够整合相关的理论或公式，对题目中的现象或情境进行解释或预测。

3.6.3 正式测验工具质量分析

3.6.3.1 信度分析

与试测分析相一致，我们利用 Winsteps 3.72 对数据进行 partial-credit Rasch 模型分析，得到信度结果如下图所示。数据显示试题信度为 0.99，大于 0.8，表明试题信度较高。此外，试题分布值为 9.41,大于 2，表明试题与模型匹配度高。

表 14 正式测验工具信度结果

试题信度	试题分布值
0.99	9.41

3.6.3.2 怀特图分析

怀特图，即项目-被试图，其优势在于能够通过 Rasch 模型等值化的方式，将试题难度与被试能力放在同一量尺中进行比较。怀特图能够使直观具体反映被试的能力水平分布、试题与被试的匹配程度以及试题难度范围等。我们通过 Winsteps 3.72 绘制怀特图，如下图所示。

通过怀特图，我们可以看到试题难度分布、被试能力分布呈正态分布，能够说明所选样本具有代表性，且试题能够覆盖不同能力水平的学生。此外，每个水平对应试题不超过 4 道，说明试题之间无重叠现象。从平均水平的对应程度方面（即图中“M”标志），可以看出学生平均水平略高于试题难度，整体对应情况较好。

¹ 高凌飏，吴维宁．开放性试题如何评分？——介绍两种质性评分方法[J]．学科教育，2006(8):1-6.

表 15 正式测试试题难度值和项目拟合度

试题编号	MNSQ (INFIT)	ZSTD (INFIT)	MNSQ (OUTFIT)	ZSTD (OUTFIT)	难度值
PM18PhL3	1.01	0.20	1.01	0.10	60.06
EM28CnL3	1.03	0.60	1.03	0.40	58.53
CM27CmL3	1.23	3.60	1.40	3.80	55.07
PE3SFL3	1.09	1.20	1.08	1.00	53.69
PE4CDL3	0.93	-1.00	0.90	-1.20	53.68
EM25CnL3	1.00	0.00	0.96	-0.30	52.83
PE2CDL3	0.92	-1.70	0.92	-1.20	52.80
CE10TL3	1.01	0.10	0.99	0.00	52.70
EM26PhL3	1.05	1.00	1.05	0.80	52.50
CE11CDL3	0.90	-1.20	0.82	-1.40	52.09
EE5SFL2	1.03	0.60	1.01	0.10	51.69
BM23CmL2	0.97	-0.40	0.93	-0.90	51.27
BE15CDL2	0.93	-1.10	0.89	-1.30	51.16
CM20ChL2	1.21	2.00	1.25	1.30	51.04
BM24CmL2	1.04	0.50	1.12	1.30	49.94
PM19CnL2	0.99	-0.10	0.97	-0.20	49.92
EE8CDL2	1.00	0.00	1.09	0.50	49.45
BE13SFL2	0.90	-1.10	0.87	-1.00	48.79
CE12TL2	0.96	-0.30	0.96	-0.30	48.52
CE9SFL1	1.00	0.00	0.94	-0.40	47.80
BM22CmL1	0.97	-0.30	0.93	-0.40	47.49
BE14TL1	0.95	-0.40	0.88	-0.60	46.84
CM21ChL1	1.05	0.40	1.05	0.30	45.52
EE6SFL1	0.94	-0.30	0.75	-1.20	45.09
PM16CmL1	1.00	0.10	0.94	-0.20	44.87
PM17CmL1	1.02	0.20	1.02	0.20	44.39
PE1SFL3	0.91	-0.40	0.82	-0.60	43.30
EE7TL1	0.95	0.00	0.57	-1.00	38.95

3.6.3.4 区分度

为了进一步考察测试的项目类别结构（区分度），下图展示了学生的应答概率曲线，横轴代表被试的理解水平，纵轴代表获得特定分数的概率。从中可以看出，每个分数的概率曲线都明显显示不同峰值。本测验的区分度较好。

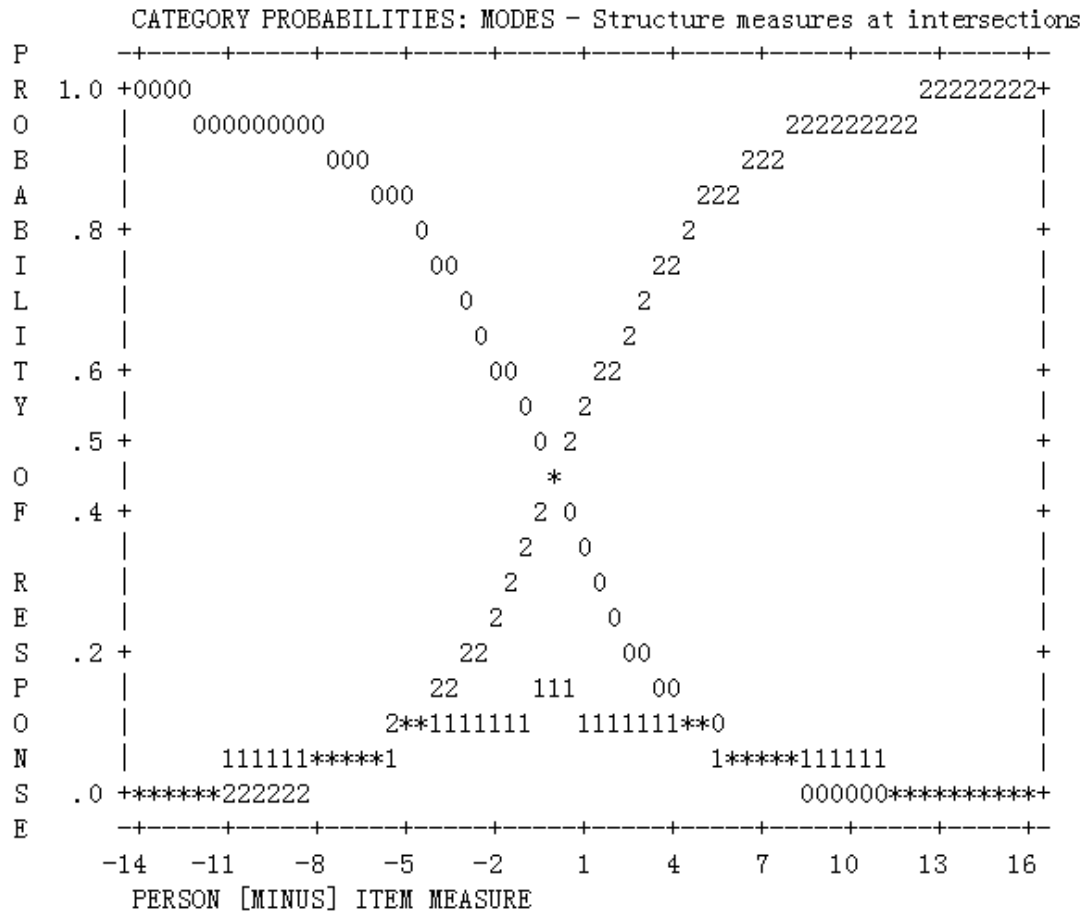


图 4 正式测试项目应答概率曲线图（区分度）

3.6.3.5 效度分析

效度是反映研究工具质量的重要指标，指向工具能否准确测量出所要测量的内容。我们将从内容效度和结构效度两个方面进行报告。

1. 内容效度分析

我们在工具开发的过程中，每个步骤都经过科学教育学领域、物理学、化学、生物学、环境科学的领域专家进行评审，根据专家组所提出的意见进行了修订，专家组成员包括北京师范大学教授、博士生，中国科学院博士生以及德国美因茨大学的博士生共 7 人。

2. 结构效度（维度图）

通过 Winsteps 3.72 对数据单维性进行分析，得到如下维度图。从维度图能够看出，正式测验工具可能存在第二种心理构造（即预设理论模型）的指标为 1.7 (<3)，即在 28 道

题中大概有 2 道题存在潜在的心理构造，而预设理论模型没能解释。从百分比中可以看到，潜在的第二类构造比例达 4.6%，模型已经解释比例与第二类构造相比为 6.2%，小于 10%，说明模型单维性已经得到满足。

Table of STANDARDIZED RESIDUAL variance (in Eigenvalue units)			
		-- Empirical --	Modeled
Total raw variance in observations	=	37.5 100.0%	100.0%
Raw variance explained by measures	=	9.5 25.4%	27.4%
Raw variance explained by persons	=	3.5 9.4%	10.2%
Raw Variance explained by items	=	6.0 16.0%	17.2%
Raw unexplained variance (total)	=	28.0 74.6%	100.0%
Unexplned variance in 1st contrast	=	1.7 4.6%	6.2%

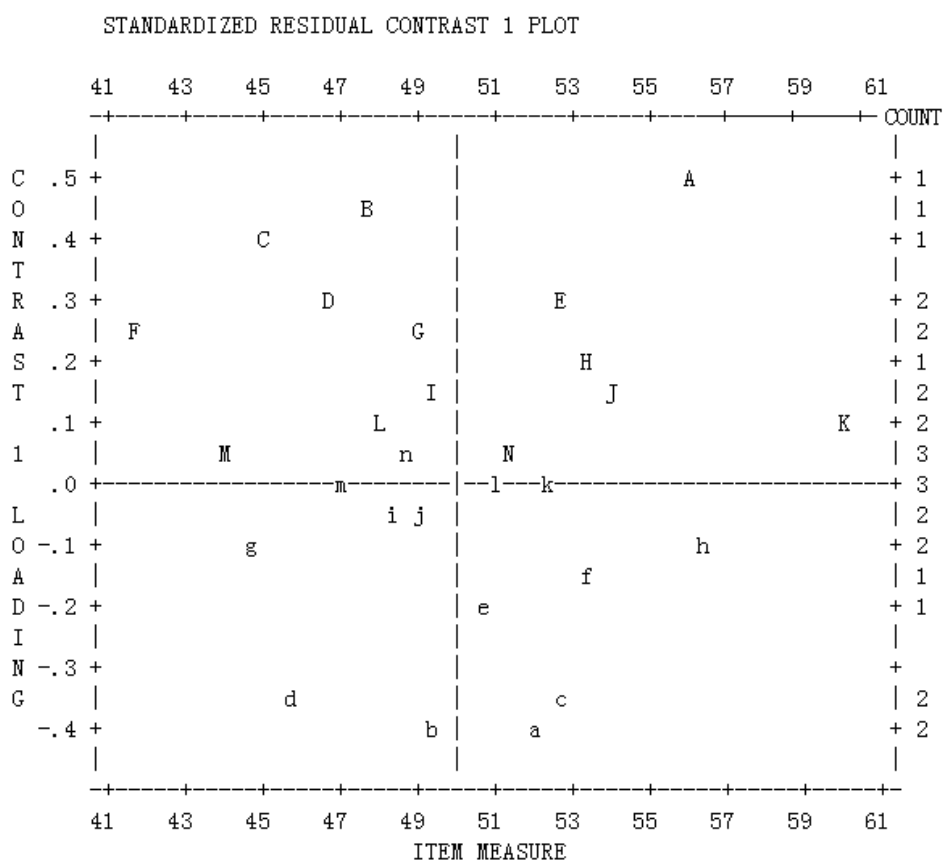


图 5 正式测试维度图

4 研究结果

本章将结合测验、跨学科概念图任务以及访谈的结果，分析师范大学理科生跨学科概念的总体理解水平与差异以及各个院校学生理解水平与差异。在此基础上，凝炼概括出师范大学理科生跨学科概念理解的特征。同时，我们将依据研究的结果进一步探讨可能影响师范大学理科生跨学科概念理解的因素。

4.1 师范大学理科生跨学科概念理解的水平

在这一部分，我们将从师范大学理科生对跨学科概念理解的整体水平、对具体跨学科概念及其内容维度的理解水平以及学生对不同内容主题中的跨学科概念理解水平三个方面进行分析。

4.1.1 师范大学理科生跨学科概念理解的整体水平

基于对 Rasch 模型所给出的试题难度值与学生能力值的匹配，我们将不同水平试题难度值分界点作为划分学生能力水平的分界点，即学生能力大于 50.05 对应最高水平——系统关联水平 L3；学生能力水平大于 48.35 小于等于 50.05 对应中间水平——映射概括水平 L2；学生能力水平小于等于 48.35 对应最低水平——事实经验水平 L1。在将学生的能力水平按照如上标准划分等级后，我们对三所师范院校的所有学生样本对跨学科概念的理解水平进行描述性统计，得到全样本在跨学科概念理解水平上的分布情况，其结果如图 6 所示。

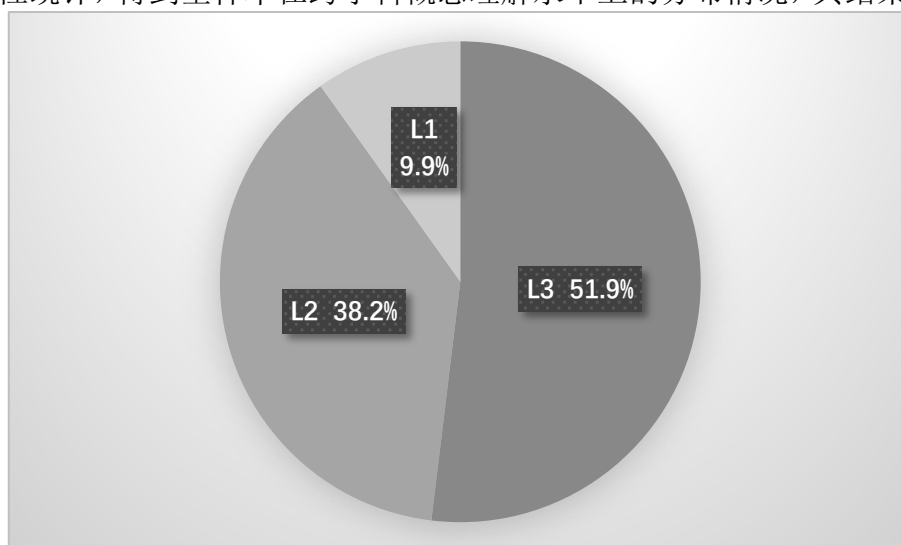


图 6 师范大学理科生跨学科概念理解水平样本分布情况（全样本）

统计结果显示，51.9%的师范大学理科生对跨学科概念的理解水平处于系统关联的层级；38.2%的学生处于映射概括水平；9.9%的学生仍处于事实经验水平。

分析结果表明，对于高中水平的测验内容，仅有接近一半的师范大学理科生能够对不同复杂情境下出现的能量、物质概念进行整合，形成知识网络，并应用概念解决相关科学问题；将近四成的师范大学理科生处于映射概括水平，只能能够简单解释情境中的相关问题，缺乏不同情境间的整合能力；还是有一部分的理科大学生（9.9%，54人）依然处于水平1，即只能通过生活中的实例或者简单的事实记忆对物质、能量进行认识，无法在简单或复杂情景中解释现象、解决问题。

从研究结果来看，尽管师范大学理科生已经进入大学阶段，但仍有将近一半的学生对高中水平的跨学科概念无法做到系统关联。对于未来可能成为中小学理科教师的师范大学理科生来说，情况不容乐观。

此外，从跨学科概念图任务中，我们能够看到，只有8.7%的学生能够从物理、化学、生物、环境/地球这四个学科领域对“物质”“能量”进行分解，能够从2个学科领域来解释的学生比例最高（如下图所示）。从这一结果中，我们能够进一步了解到，师范大学理科生对跨学科概念的整合意识不足，跨学科整合能力还有待加强。

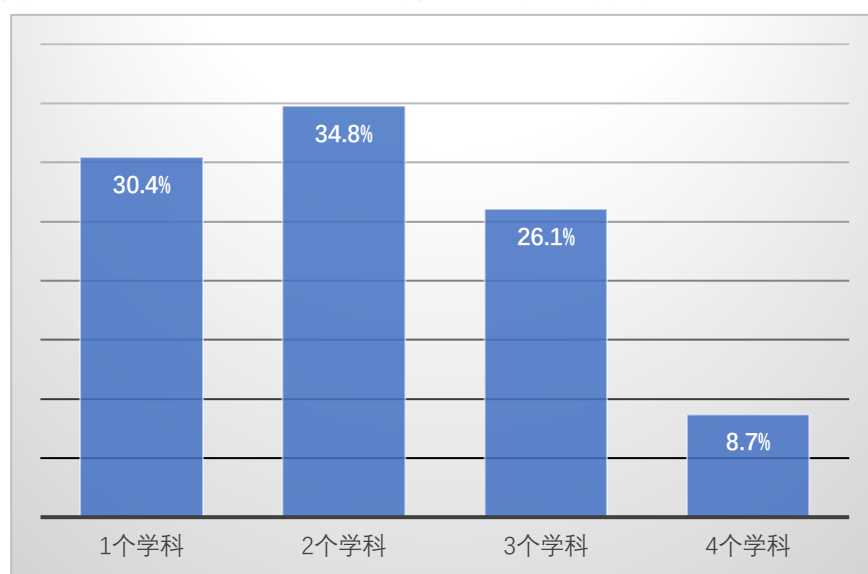


图 7 师范大学理科生跨学科概念图整合学科数分布

4.1.2 师范大学理科生对具体跨学科概念及其内容维度的理解水平

这部分我们将针对师范大学理科生对具体跨学科概念的理解水平及其内容维度的理解水平进行分析讨论。

4.1.2.1 师范大学理科生对具体跨学科概念中的理解水平

由于测验中“物质”“能量”的题量不同，因此利用概念的平均得分率反映大学生对这一概念的理解程度。我们对全样本的得分率进行描述性统计，结果如表16所示：

表 16 师范大学理科生在具体跨学科概念下的表现（全样本）

	能量	物质
平均得分率	63.8%	56.0%

统计结果显示：从平均得分率的角度来说，学生在“能量”概念上的平均得分率高于物质概念。因此，师范大学理科生对能量概念的理解水平相对较高。

将得分率转化为百分制下的得分，我们可以看到学生对“能量”概念的得分略高于及格线 60 分，而对“物质”概念的得分低于及格线。从这个角度来看，学生对两具体跨学科概念的理解较为不足，亟需改善。

4.1.2.2 师范大学理科生对具体跨学科概念的内容维度的理解水平

为了获得师范大学理科生在不同内容维度上的理解水平，我们对全样本的得分情况进行描述性统计，对学生在不同内容维度下的理解进行探析。通过描述性统计，我们可以得到所有样本的平均得分率和标准差，如下表所示：

表 17 师范大学理科生在不同跨学科概念内容维度上的得分情况

	S/F	T	C/D	Cm	Ph	Ch	Cn
平均得分率	56.86%	67.16%	46.41%	57.40%	37.05%	62.00%	42.10%

统计结果显示：（1）物质概念下“物理性质与变化(Ph)”中平均得分率最低（37.05%），能量概念中的“能量转移维度(T)”平均得分率最高（67.16%）；（2）总体来看，“能量”概念的子维度得分率总体高于“物质”概念子维度得分率（“能量守恒与降解”，即 C/D 维度除外）；

深入到“能量”“物质”的内容维度中，我们可以发现：

（1）在“物质”概念下，学生对“物质的物理性质与变化(Ph)”理解情况较差，相对理解情况较好的为“化学性质与变化(Ch)”概念；

（2）在“能量”概念下，学生对“能量的守恒与降解(C/D)”的理解相对不足，对“能量转移(S/F)”的理解较为扎实充分。

将得分率转化为百分制下的得分，我们可以看到高于及格分数线的内容维度只有“能量转移”以及“化学性质与变化”，且未达到百分制下的良好水平。其余内容维度得分均未超过及格水平。由此，我们进一步看到学生对各内容维度的理解均有待提高。

4.1.3 师范大学理科生对不同内容主题中的跨学科概念的理解水平

在这部分，我们将通过不同学科的试题得分率比较以及各学科对试题得分率的方差分析来呈现学生不同内容主题下对跨学科概念的理解水平。

首先，我们通过对试题的平均得分率进行分析，分析结果如表 18 所示。从下表中我

们可以看出物理题目的平均得分率在四个学科中最低，其次是化学题目、环境科学题目和生物题目。从而我们可以推断，对于学生来说，物理学科的题目是最难的，得分率最低，化学、环境次之，而生物学科的题目对于学生来说最简单，理解水平最高。

表 18 不同学科题目的平均得分率（全样本）

学科	题目数量	平均得分率
物理	8	54.4%
化学	7	58.4%
生物	6	65.8%
环境	7	65.3%

此外，为了更深入的反映在具体内容主题下学生对跨学科概念的理解，我们对能量、物质概念在各个内容主题的平均得分率进行统计，并绘制折线图，如下图所示：

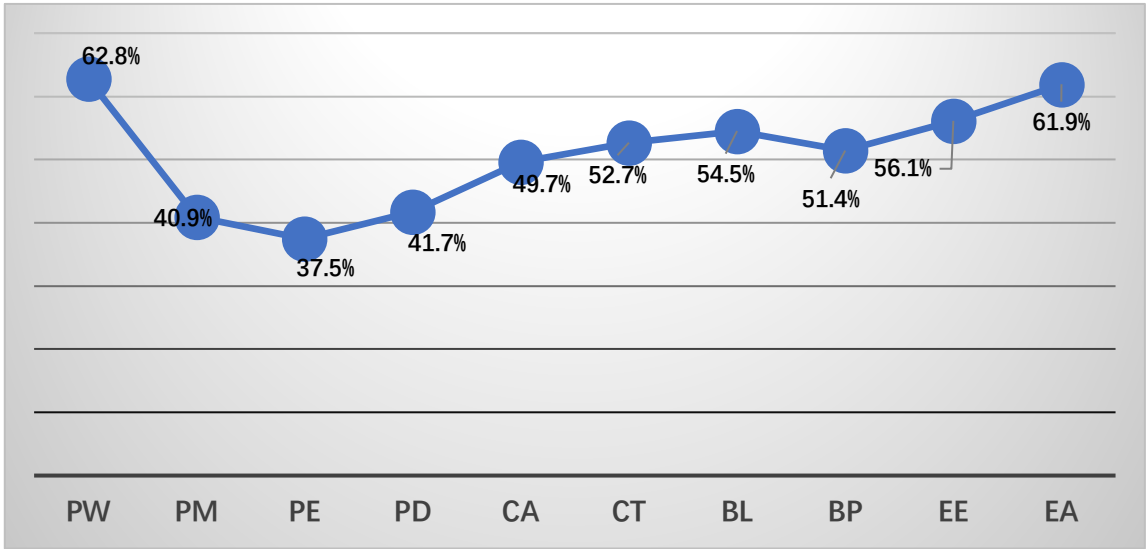


图 8 不同内容主题下能量概念的平均得分率比较

PW-能量通过波的形式传播,PM-简单机械,PE-电磁能,PD-现代物理,CA-能量和原子结构,CT-化学能与热能（熵）, BL-生物体内的能量,BP-光合呼吸作用中的能量,EE-生态系统,EA-可替代能源与能源效率.

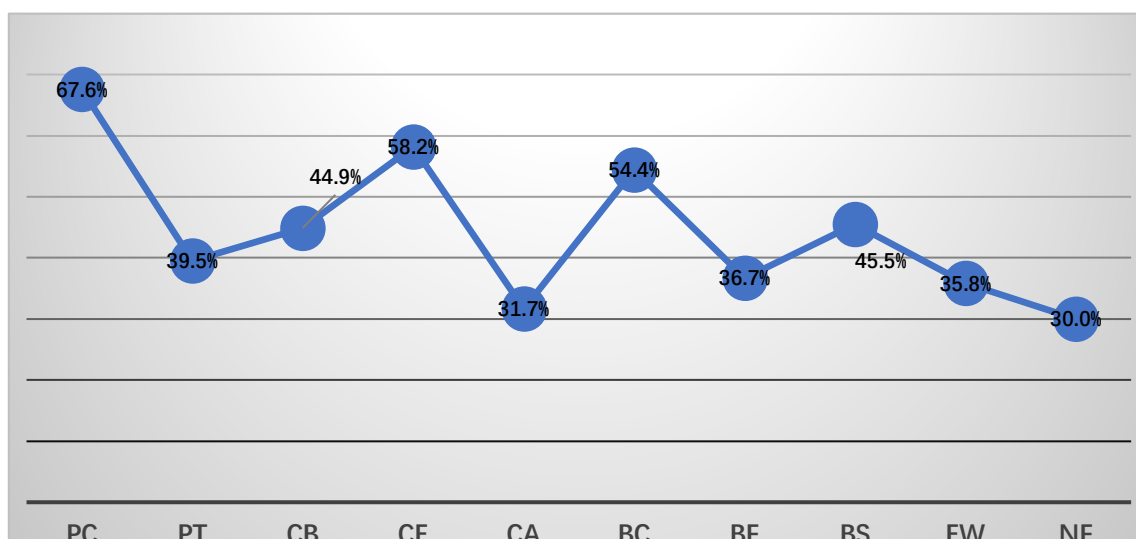


图 9 不同内容主题下物质概念的平均得分率比较

PC-物质的物理构成,PT-物质的物理变化与守恒,CB-化学键,CE-化学方程式,CA-原子结构,BC-生物体的组成,
BF-生物体食物来源,BS-生物体中的物质来源,EW-天气与气候,NF-负反馈机制.

从图 8、9 中可以看到如下结果：

(1) 对于能量概念：

a. 在所有内容主题中，物理学科中的“电磁能”得分率最低，同样是物理学科中的“能量通过波的形式传播”这一情境得分率最高；

b. 整体来看，能量概念在不同内容主题中的得分率相对一致，物理学科的内容主题相对来说难度最大，环境科学难度最小；

c. 具体来说，在物理学背景下，学生在“简单机械”、“电磁能”以及“现代物理”的内容主题下表现相近，得分率均较低；在化学情境中，原子结构情境下相对于化学能与热能的难度较大；在生物学情境中，“生物体内的能量”与“光合呼吸作用中的能量”得分率相当，“光合呼吸作用”相对来说略难一些；在环境科学背景下，“可替代能源与能源效率”相对于“生态系统”更加简单；

(2) 对于物质概念：

a. 在所有内容主题中，环境科学中的“负反馈机制”得分率最低，最简单的为“物质的物理构成”；

b. 总的来说，相对能量概念，物质概念在每个学科不同内容主题间的得分率差异较大，环境科学学科的题目难度相对最大，生物学科最为简单；

c. 具体来说，在物理学背景下，两个具体情境的得分率相差较大，“物质的物理变化与守恒”相对于“物质的物理构成”较难；在化学背景下，“原子结构”相对来说成为对学生最难的内容主题，“化学键”次之，最简单的是“化学方程式”；在生物背景下，不同内容主题的难度差异相对较小，最难的为“生物体食物来源”，“生物体中的物质来源”次之，最简单的为“生物体的组成”；在环境科学背景下，“负反馈机制”对于学生来说最难，

“天气与气候”相对简单。

4.2 师范大学理科生跨学科概念理解的差异分析

为进一步全面、细致地呈现不同背景变量下大学生跨学科概念理解的差异及具体的水平分布情况，我们对大学生的跨学科概念理解进行了差异分析。差异分析主要在背景变量与大学生的跨学科概念理解水平之间展开。

4.2.1 不同学校的师范大学理科生跨学科概念理解差异分析

为了能够涵盖不同水平的学生样本，更加全面的反应我国师范大学理科生对于跨学科概念的理解情况，本研究的调查对象来自三个不同的师范院校：B 大学、L 大学及 A 学院。由于三所师范学校在我国所代表的水平层级不同，生源质量有所差距，因此我们有必要对不同学校的大学生跨学科概念理解水平进行分析。首先，我们进行了方差分析，在方差齐性的前提下，方差分析的结果如表 19 所示：

表 19 不同学校大学生跨学科概念理解水平的方差分析

	df	F	显著性
组间	1	17.359	0.000

从上表中可以看出，三学校之间的差异显著（ $F=17.359$, $P=0.000<0.01$ ）。为了更加具体直观地呈现两学校之间的差异，我们对两学校的得分情况和水平等级分布进行了描述性统计，如表 20 与图 10 所示：

表 20 不同学校间学生得分情况的校际差异

	人数	平均得分率	最低分	最高分
A 学院	105	45.8%	7	26
L 大学	228	55.8%	7	32
B 大学	214	72.8%	14	36
总计	547	60.6%	7	36

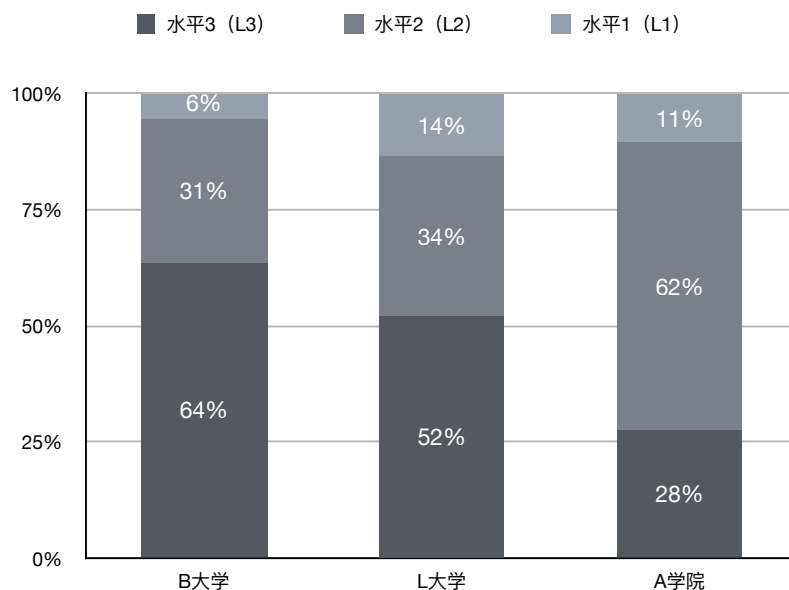


图 10 三所师范学校理科生对跨学科概念理解水平等级分布图

对比分析我们可以发现：

(1) 三所学校的得分率差距较大。将测验成绩百分制化，A 学院、L 大学的学生样本平均成绩均为达到 60 分及格分数线，因此这两所学校的学生样本对于跨学科概念的理解还有待提高；

(2) 对三所学校的样本进行等级划分（见上图），我们可以看到从 B 大学、L 大学到 A 学院，其学生样本对跨学科概念的理解水平逐渐降低：B 大学的学生样本在最低水平的人数比例为 6%，水平 2 的人数比例为 31%，最高水平的人数比例占 64%，从低到高水平的人数比例逐渐增大，大多数学生到达了水平 3；L 大学处于最低水平的人数占 14%，处于中间水平的占 34%，达到最高水平的为 52%；相比之下 A 学院的学生中大多数学生还在中间水平（L2），11%处于 L1，最高水平只有 28%。

4.2.2 不同专业背景的大学生跨学科概念理解水平的差异分析

在这部分我们将对不同专业背景的大学生跨学科概念理解水平进行差异分析，进而探析专业背景对学生跨学科概念理解的影响。首先我们进行了方差分析，在方差齐性的前提下，方差分析的结果如表 21 所示：

表 21 不同专业背景大学生跨学科概念理解水平的方差分析（全样本）

	df	F	显著性
组间	3	19.706	.000

我们发现，结果显示显著性为 $P=0.000$ ，小于 0.01，即不同专业背景的大学生在跨学科概念理解的水平上存在显著差异。为了进一步了解不同专业背景大学生的跨学科概念理解水平的差异所在，我们对三所师范大学的全样本按照学科分别进行描述性统计，得到学

生在跨学科概念理解水平上的人数百分比如下图所示：

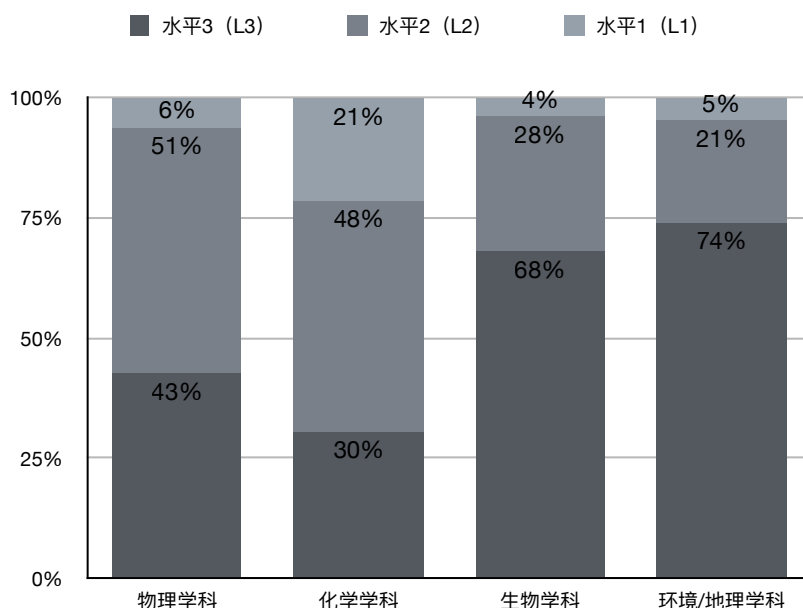


图 11 不同专业背景学生理解水平百分比分布图（全样本）

从上图中可以看到：（1）环境/地理学科达到水平 3 的人数百分比相对于其他学科最高，其次为生物学科、物理学科；化学学科达到水平 3 的人数百分比最低；（2）物理学科达到水平 2 的人数百分比最高，化学学科、生物学科次之，最低是环境/地理学科；（3）化学学科达到水平 1 的人数比例最高，物理学科、生物学科、环境/地理学科比例较低且极为相近。

从差异分析结果可以看出，学生专业背景对其跨学科概念理解水平具有较大的影响：值得注意的是：具有跨学科属性的环境/地理专业的学生在跨学科概念理解的水平上居高者比例较大、居低者比例最小。由此我们可以推测，接受跨学科教育能够有助于促进学生对跨学科概念的理解。

4.2.3 不同年级的师范大学理科生跨学科概念理解差异分析

为了探究在不同年级之间学生对跨学科概念的理解水平是否有差异，我们对不同年级的大学生跨学科概念理解水平进行了方差分析。在方差齐性的前提下，方差分析的结果如表 22 所示：

表 22 不同年级大学生跨学科概念理解水平的方差分析（全样本）

	df	F	显著性
组间	3	5.754	0.001

通过分析发现差异显著性为 $P=0.001$ ，小于 0.01，即不同年级的大学生在跨学科概念理解的水平上存在显著差异。此外，为了进一步研究不同年级与学生跨学科概念理解情况的关系如何，我们对年级与跨学科概念整体理解水平、各个跨学科概念理解情况以及不同

学科下的跨学科概念理解水平进行了相关性分析。我们采用皮尔逊相关性对数据进行统计，分析结果如下表所示：

表 23 学生所在年级与跨学科概念理解的相关性分析

	总得分率	能量概念得分率	物质概念得分率
年级	-.191**	-.179**	-.167**

** p<0.01

表 24 学生所在年级与不同学科下跨学科概念理解的相关性分析

	物理得分率	化学得分率	生物得分率	环境得分率
年级	-.130**	-.200**	-.127**	-.136**

** p<0.01

从上表中可以看到，学生对跨学科概念的理解总水平、各个具体跨学科概念的理解水平以及不同内容主题下的跨学科概念理解水平都与学生所处年级变量呈现强负相关。也就是说，学生年级越高，对在各种语境下的跨学科概念理解水平越低。

为了更直观的呈现这一结果，我们对三所师范大学的所有学生样本的跨学科概念理解水平按照年级分别进行描述性统计，得到学生在跨学科概念理解水平上的人数分布如下图所示：

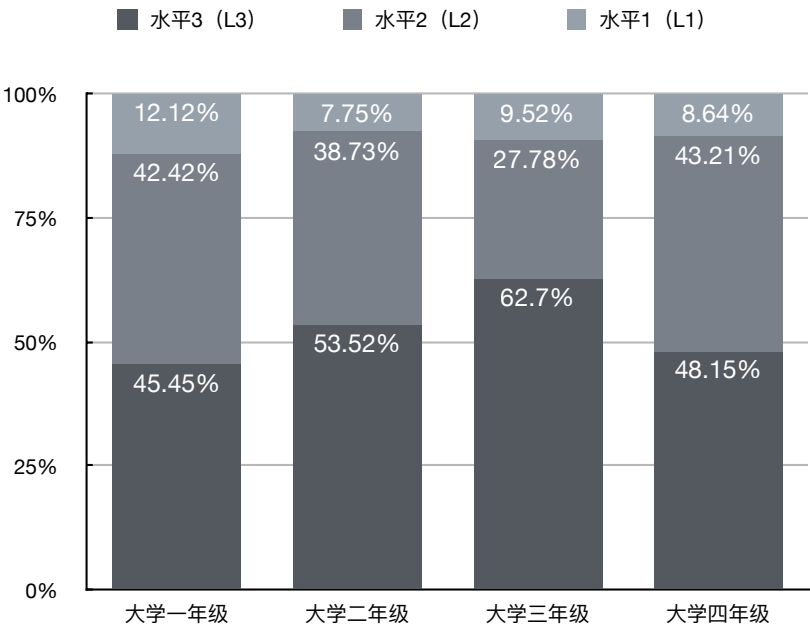


图 12 不同年级学生理解水平百分比分布图（全样本）

通过描述性分析，我们看到总体上大学三年级的学生处于水平 3 的人数百分比最高，处于水平 1 的人数百分比最低；大学一年级的学生处于水平 3 的人数百分比最低，处于水平 1 的人数百分比最高。总体来看，一到三年级整体呈现上升趋势，到大学四年级比例骤

减。

为了进一步探究这一变化趋势在各个学校是否具有普适性，我们分别对三所学校进行不同年级的差异分析，得到分布图如下所示：

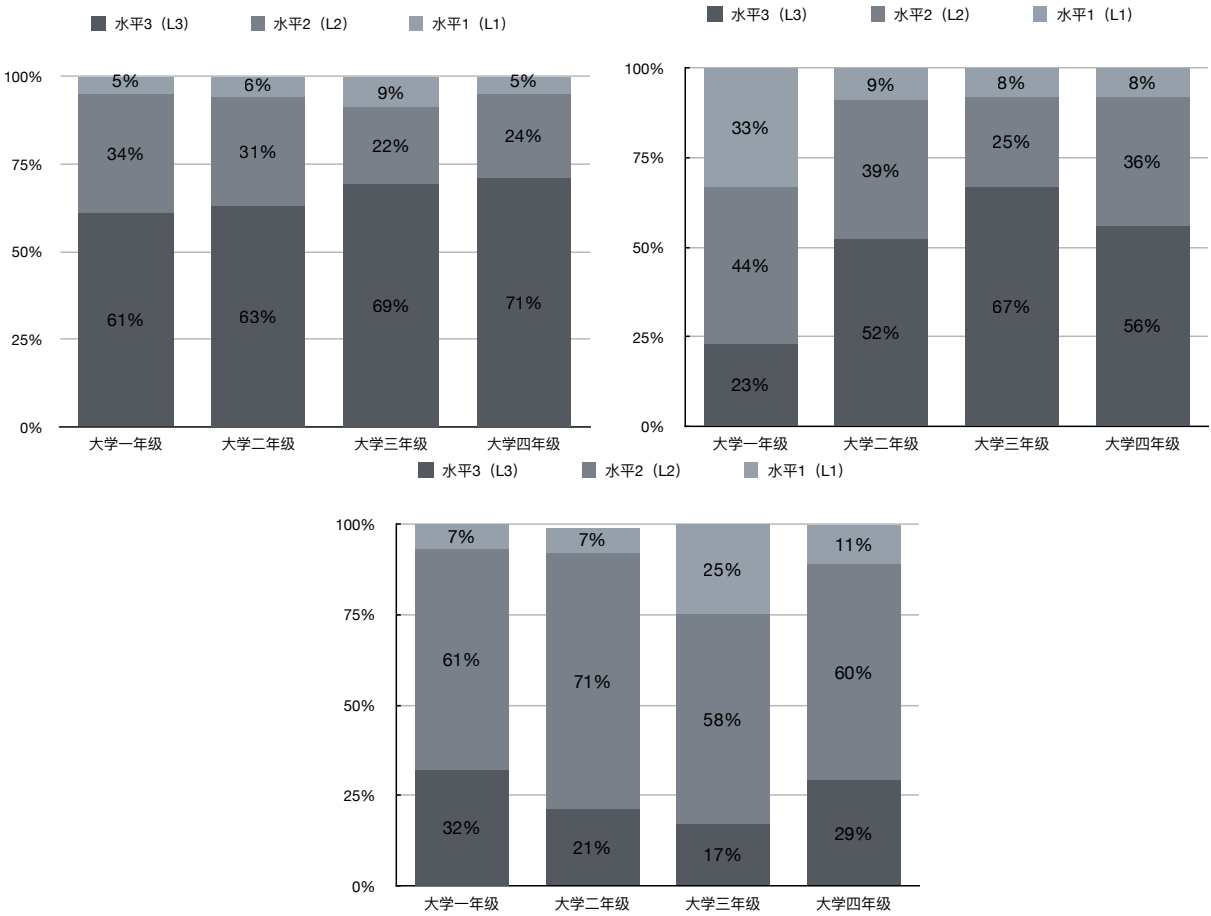


图 13 不同年级学生理解水平百分比分布图（左上-B 大学，右上-L 大学，下-A 学院）

从上图中我们可以得到如下结果：

(1) B 大学样本中学生随着年级的增长，处于最高水平的比例逐步提升，相应处于最低水平的比例逐步降低，即学生对跨学科概念的理解水平随着年级的递增而逐步提升，与全样本的统计结果存在差异；

(2) L 大学学生样本随年级的分布与全样本结果相一致，学生对跨学科概念的理解从一到三年级整体呈现上升趋势，到大学四年级人数比例向中间水平和最低水平转移，但从百分比上来看，大学四年级达到系统关联水平的人数比例依然处于第二位。

(3) A 学院的学生，从大学一年级至三年级，处于 L3、L2 水平的学生比例逐年降低，相反处于 L1 的学生比例在大学三年级达到最大比例 25%。大学四年级的最高水平学生比例增加，但与大学一年级相比，依然较低。

综上我们可以发现，不同学校学生跨学科概念理解水平随年级变化趋势不尽相同，我们推测造成这一现象的原因可能与各院校的培养方式相关，关于院校培养方式的分析将在后文中具体呈现。

4.2.4 不同性别的大学生跨学科概念理解水平差异分析

我们通过单因素分析（ANOVA）对不同性别的大学生的跨学科概念理解得分的差异进行分析，结果见表 25。在方差齐性的前提下，得到 $F=1.041$ ，显著性 $P=0.308$ ，大于 0.05，表明不同性别的大学生在跨学科概念测验上的得分不具有显著性差异。

表 25 不同性别大学生跨学科概念理解水平的方差分析

	df	F	显著性
组间	1	1.041	0.308

为了更加具体直观地呈现两学校之间的差异，我们对全样本的不同性别得分情况和水平等级分布进行了描述性统计，如表 26 与图 14 所示：

表 26 不同性别大学生跨学科概念理解描述性统计

性别	平均得分率	最小值	最大值
男	64.7%	7	36
女	58.7%	7	35

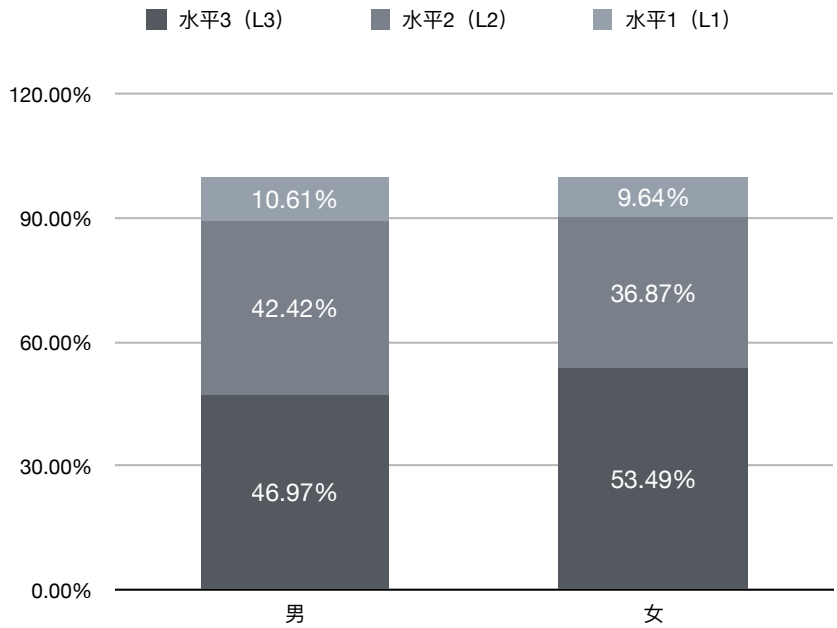


图 14 1

通过以上图表中可以得到如下结果：

- （1）从极值角度来看，男生女生之间的成绩最小值相同，最大值女生的最低成绩相对男生略低；
- （2）从平均得分率方面，女生的平均成绩相对男生略低；

(3) 从水平等级分布情况来看, 男生整体体现的水平略高于女生, 但是差别不大, 在水平 1 与水平 2 方面, 男生的比例略高于女生, 在水平 3 中, 女生所占比例较高, 超过一半, 而男生还未到一半。

综上可以看到, 虽然从描述性统计中看到了男女之间略微的差距, 但在统计学上不构成显著意义。由此说明, 学生跨学科概念理解水平与其性别无关。

4.3 师范大学理科生跨学科概念理解的特征

这部分我们将进一步对师范大学理科生对跨学科概念理解的特征进行归纳总结, 以期反映出大学生跨学科概念理解的一般规律, 为跨学科概念教学实践的开展提供依据。

4.3.1 师范大学理科生对不同跨学科概念的理解一致性突出

我们选择了能量、物质这两个具体的跨学科概念进行测查, 发现师范大学理科生对两个概念的理解水平存在差异。在此基础上, 我们探索了师范大学理科生关于这两个概念理解之间的关系, 发现学生对这两个跨学科概念的理解水平存在强正相关, 结果如下表所示。

表 27 不同跨学科概念得分率的相关性分析

	能量概念得分率
物质概念得分率	.828**

检验结果显示, 学生对“能量”、“物质”的理解之间存在统计学意义上的强正相关(相关系数 >0.8 , $p<0.01$), 即对物质概念理解较好的学生更有可能对能量概念形成更深入理解, 反之亦然。

这一分析结果与《框架》¹中的观点相一致。从概念本质上来看, 能量和物质是紧密相连的, 能量是以物质为载体存在的, 而物质是能量的表现形式。从前文对教材的内容分析, 也同样可以发现物质与能量两个跨学科概念经常结伴出现。因此, 无论从已有文件中、概念本质上或是教材分析中, 物质与能量两概念相互关联是十分合理的, 从而可以推论学生在认识这两个概念时也经常是相互关联的, 因此, 在理解两个概念时一致性较为突出。

关于学生对两个跨学科概念的理解, 我们对不同水平等级的学生也做了深入的概念图任务调查, 在所抽取的样本中, 82.6%的学生在做图时选择将物质和能量的概念画在一起或是用线连接建立联系, 如下图示例所示。

¹ National Research Council. A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas [M]. Washington, DC: National Academy Press, 2012.

具体来说，环境维度与化学高度相关，相关性最强。除物理与生物间之外，其他学科维度之间两两中度相关，相关系数均大于 0.4。相对来说生物维度与物理题目之间的相关性最低，这一结果可能是由于生物学中涉及到与物理学相似的内容较少。

综上所述，师范大学理科生的跨学科概念理解在四个学科背景下关联性显著，即学生在任一学科的理解水平将极大程度影响在其他三个学科的理解水平，其中环境与化学的关联程度最高，物理和生物的关联性相对较低。

4.3.3 师范大学理科生对跨学科概念的理解高度情境化

学生对概念的理解往往借助于内容主题，丰富的情境为其概念的构建提供了基础。如前文所述，我们为了更加稳定可信的测量出学生对概念的理解水平，在每一个内容维度下均设计了不同的内容主题进行测查，这部分我们将对不同内容主题下学生对同一概念理解情况进行相关性分析，分析结果如下表所示（由于结果较多，因此选取能量、物质各一个案例进行呈现）：

表 29 不同内容主题下大学生对“能量转移”理解水平的方差分析

	df	F	显著性
组间	3	80.599	0.000

表 30 不同内容主题下师范大学理科生对“物质守恒”理解水平的方差分析

	df	F	显著性
组间	2	128.439	0.000

在“能量”概念中，以“能量转移”内容维度为例，我们共设置四道题目：“生态系统”主题-第 7 题、“能量和原子结构”主题-第 10 题、“化学能与热能（熵）”主题-第 12 题以及“光合呼吸作用中的能量”主题-第 14 题。通过方差分析，我们发现学生对于这四道题目的理解情况具有显著差异（ $F=80.599$ ， $P=0.000$ ，小于 0.01）。

在“物质”概念中，我们对设置在“物质守恒”内容维度下的题目：第 19 题、第 25 题与第 28 题同样进行方差分析，结果显示学生得分差异十分显著（ $F=128.439$ ， $P=0.000$ ，小于 0.01）。

从以上统计结果中，我们可以看到学生对于跨学科概念的理解在不同内容主题下具有显著差异，学生对跨学科概念的理解具有情境依赖性。在相同的内容维度下，由于情境的改变，学生的理解程度也将随之发生变化。由此可以说明，学生对跨学科概念的理解高度情境化，因而即便是相同科学概念，学生的回答会随着情境的变化而产生不同的答案。

4.3.4 师范大学理科生的跨学科概念理解的深度和广度不足

广度和深度是表征师范大学理科生跨学科概念理解的重要指标。本研究中，主要采用

学生在跨学科概念图任务中的表现来分析学生跨学科概念理解的广度和深度。我们将师范大学理科生跨学科概念理解的学科领域和主题分布作为分析广度的依据，并基于跨学科概念内容情境的专业性来分析大学生跨学科概念理解的深度。

4.3.4.1 师范大学理科生跨学科概念理解的深度不足

我们通过统计师范大学理科生跨学科概念图的节点数，来分析学生的跨学科概念理解深度。例如，下图中从物质的分类视角，下分为纯净物，在纯净物中又包含有机物，这一图示包含了有关物质分类的三个层级，我们计节点数为 2 个。

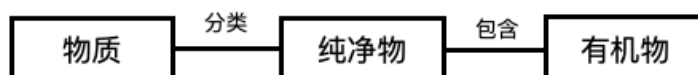


图 16 跨学科概念图节点数示例

通过对 36 份跨学科概念图的节点数进行编码，我们发现一般来说，节点数大于 5 个的跨学科概念图能够深入到具体学科专业领域对概念进行解释，逻辑层级清晰；处于 3-5 个节点数的学生多能够涉及专业知识，但深入性较为不足；而节点数小于 3 个的学生多数只能列举相关名词。因此我们按照以上分类进行描述性统计，得到结果如下图所示：

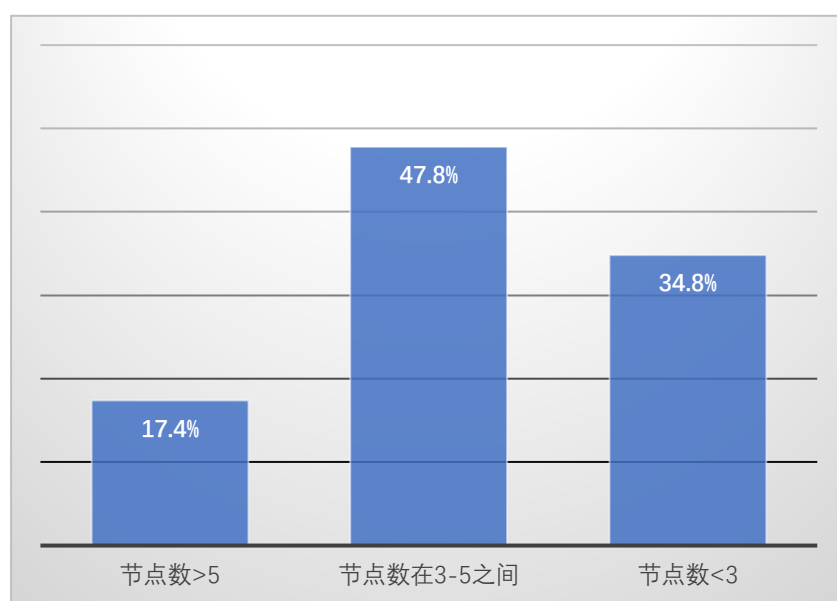


图 17 师范大学理科生跨学科概念图节点数分布图

我们可以看到，在跨学科概念图任务中，能够将所划分维度延伸至 5 个节点以上的学生数最少，只占 17.4%；处于 3-5 个节点数的学生人数最多。因此，师范大学理科生整体跨学科概念理解深度尚待提升。

为了进一步了解不同学科专业学生在跨学科概念图任务中的内容深度情况，我们进行

了描述性统计，如下图所示：

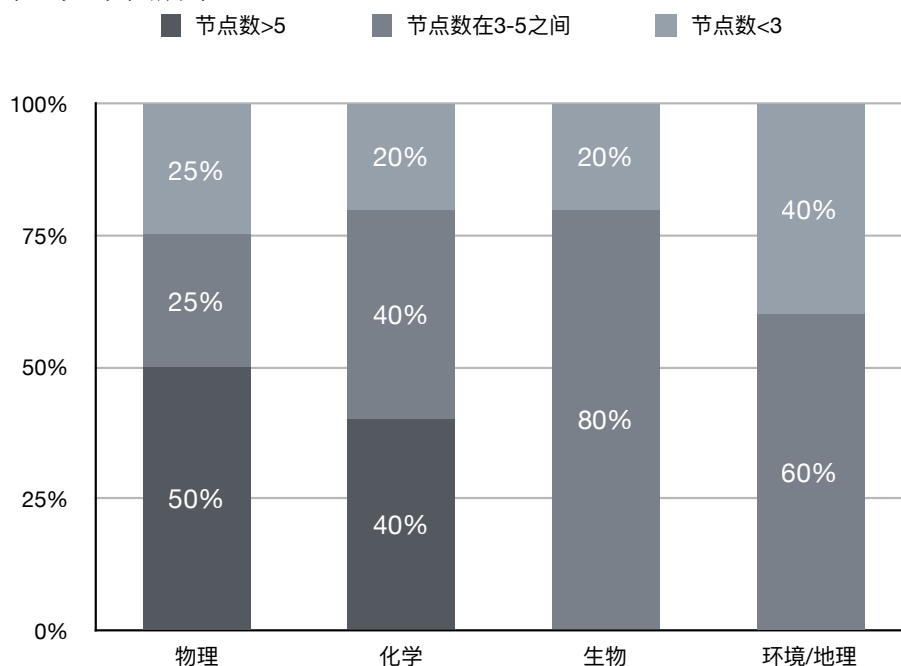


图 18 不同专业背景学生跨学科概念图节点数分布

从上图中可以看到，物理、化学专业学生在深度上整体优于生物、环境/地理专业学生。总体来看，环境/地理专业学生所做图中节点数小于 3 的学生比例在四个专业中最高。

同样的结论我们可以在学生所做概念图中直观看到：以图 21 为例，环境/地理专业的学生在每个学科下所涉及的关联概念均较为表浅，如图 21（5）中涉及到物理学科的多为科学家人名，化学分支主要呈现化学单位；在图 21（4）的学生案例中，对能量的划分只涉及“能量转化”，相比之下，其他三个专业的学生在概念的深入程度上高于环境、地理学生。

因此，师范大学理科生的跨学科概念理解呈现出相似的特征，即大多数学生对跨学科概念理解较为表浅，反映出师范大学理科生跨学科概念理解的深度有待提高。

4.3.4.2 师范大学理科生跨学科概念理解的广度不足

在广度方面，我们对师范大学理科生跨学科概念图的学科领域分布、内容主题分布分别进行统计，结果如下图所示：

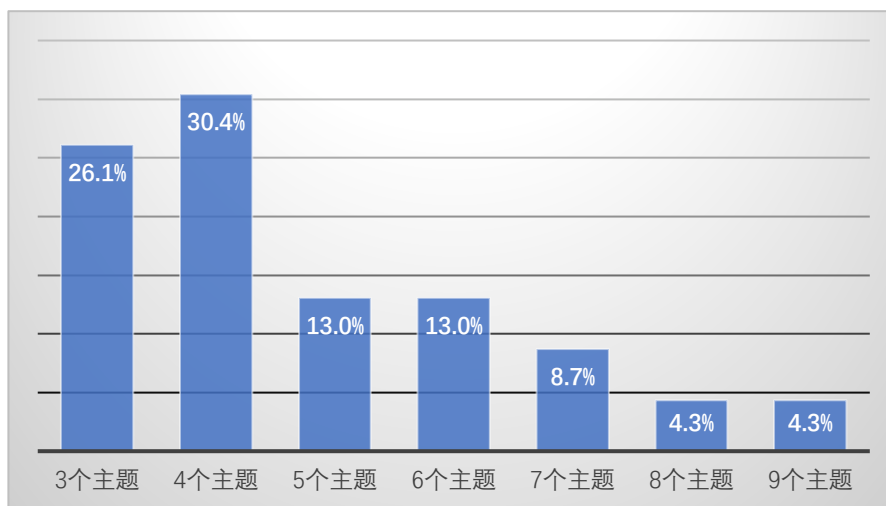
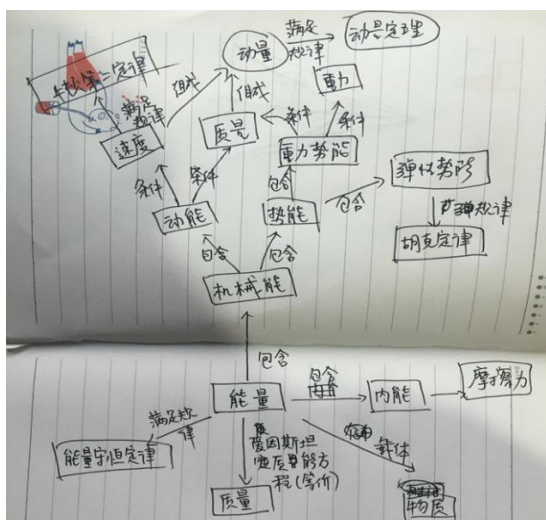


图 19 师范大学理科生跨学科概念图主题广度分布

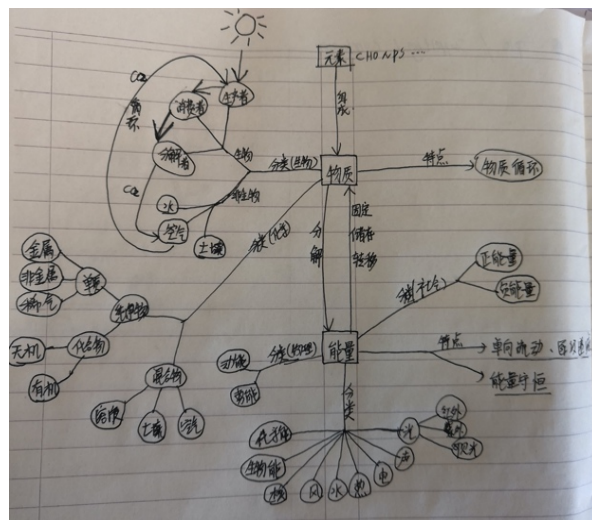
从内容主题分布来看，有 26.1% 的学生只涉及到 3 个主题；30.4% 的学生回答中包含了 4 个主题；随着主题数量增多，学生人数逐渐降低。学生对跨学科概念的理解需要在不同的内容主题下反复使用，而调查结果显示超过一半的学生对“物质”“能量”两个概念进行分解时，只能从四个及以下的视角来解读，这反映出学生跨学科概念理解的广度不足。

从所涉及学科领域中依然可以看到广度不足的现象。以图 20 为例，我们可以看到物理、化学、生物三个专业的大学生在构建跨学科概念图时更多的会从本专业的角度进行描述，其中物理专业的学生较为明显，如图 20（1）示例。相对来说，地理和环境专业的学生能够有意识的将这两个概念从多个学科的视角进行探讨。

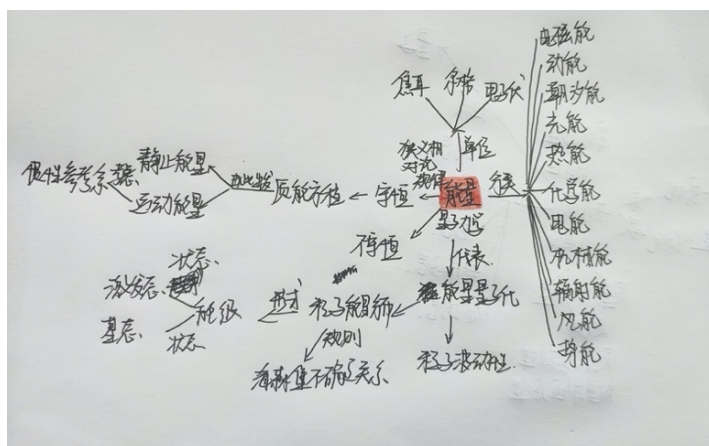
综上所述，师范大学理科生对跨学科概念的理解在深广度方面还较为欠缺，尚待提升。对于不同专业背景的学生来说，物理、化学专业学生所体现的学科性较强，内容较深入，但整合意识较低；生物与环境/地理专业的学生相对在学科关联度上体现的较为充分，但在深度上较为表浅。



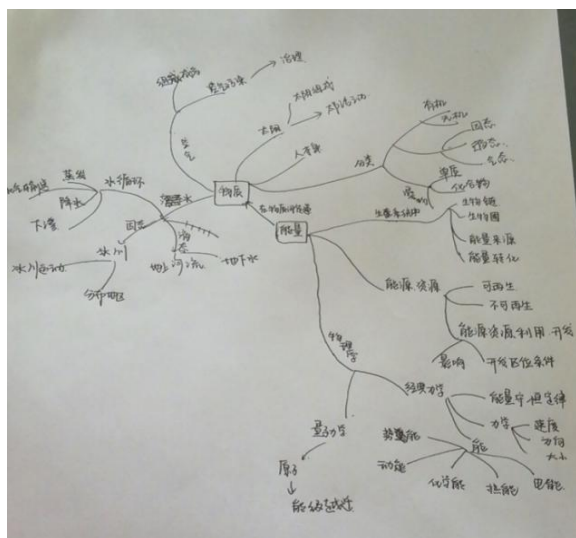
(1) 专业背景：物理



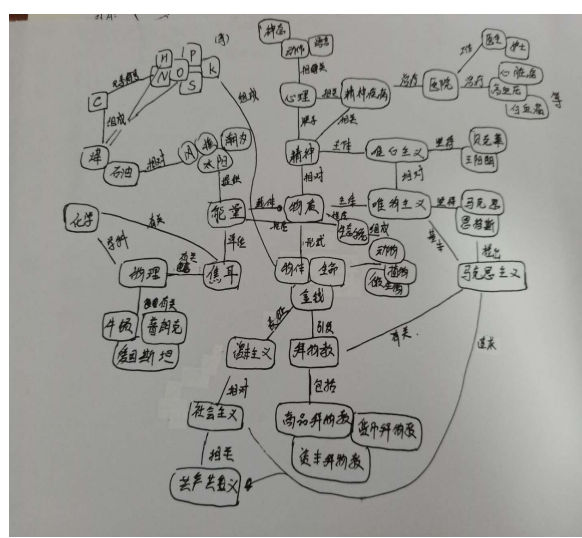
(2) 专业背景：生物



(3) 专业背景：化学



(4) 专业背景：地理



(5) 专业背景：环境

图 20 不同专业背景学生所做跨学科概念图典型示例

4.4 师范大学理科生跨学科概念理解的影响因素

这部分我们将在前文的数据分析基础上进一步挖掘影响学生跨学科概念理解的因素。在该部分，我们将以质性资料为主，结合测验的量化数据和学生的跨学科概念图，对师范大学理科生跨学科概念理解的影响因素进行分析和探讨。

4.4.1 专业背景

跨学科概念是科学领域的专业知识，因而学生的跨学科概念理解很大程度上受到专业背景的影响，在跨学科概念测验、跨学科概念图任务以及访谈中，我们都得到了这样的结论。

首先，在跨学科概念图的表现中，所有学科专业的学生在完成跨学科概念图时都会从本专业的角度进行诠释；其次，相对来说，环境/地理专业的学生在跨学科概念图中更倾向从多个学科的角度对物质和能量概念进行分解，而其他三个专业，尤其是物理和化学专业的学生更偏向于从本专业的角度进行引申。

在追踪访谈中，学生提到“可能是因为我是物理学科的，考虑物理学的分支会比较多…生物能和化学能如果给我规定我都可以做一些展开，但是觉得潜意识里没有写那么详细的想法”（B 学校，X 学生）；“接触生物比较多，所以可能临时想到的大多为生物…”（B 学校，Y 学生）。X 学生为物理专业大学四年级的学生，Y 学生为生物专业大学一年级学生。

在两名学生的经验中，可以看到不具有跨学科背景的理科生在完成跨学科概念图的过程中更偏向于从本学科的视角对物质、能量概念进行阐释，对于其他学科不能主动想到或是体现为效能感不足。相对来说，环境/地理专业的学生往往能够从多个学科的角度对两个跨学科概念进行分解和关联，在读大学四年级的环境学院 Z 学生在访谈中提到“对概念图中写到的学科我并没有体系化地了解很多，只凭相对来说碎片化的了解，我就直观地认为生物、食品、物理、机械等学科…我觉得环境专业是其他基础学科(化学、生物、物理、信息技术、数学等)之后发展起来的交叉学科…很多概念我觉得必须有物理、化学、生物在前的支持”。从中，我们可以看到，由于已经接受四年环境科学专业培养的学生已经对能量、物质概念有着十分广泛的认识，并能够有意识的进行整合。

另外，不同专业的培养可能是造成学生差异的主要原因。从必修课程方面，对于物理、化学、生物专业的学生来说，除了大学一年级上通识课的要求需要修读一门其他自然科学的课程之外，在其培养方案中没有明确对不同学科专业课的修读进行明确要求。在访谈中，我们了解到在物理学专业课中，极少涉及到其他学科的专业内容（除热力学与统计物理之外），化学生物专业课中包含物理化学、生物化学的必修课程，相对物理学专业，接触其他学科课程的几率较高；从教师的课堂教学上，物理、化学、生物专业的教师有意识进行跨学科整合的较少，如 A 学生提到的“热学可能会讲一些机械相关的，化学相关的，其他

的就没有了…其他学科的视角相对，物理学的很多专业课程来讲，联系性不是很大，最多作为一些知识拓展…”(A 学生为物理系大二年级学生)。而相对来说，本身具有跨学科属性的环境/地理科学专业，在其必修课中除了包含“基础物理、物理化学、有机化学、化学实验、物理实验、普通生物学等，专业性不强、但是是环境学院需要修的通识课”之外，在教师进行课堂教学时，也经常注意到不同学科之间的联系，如 Z 学生所说“老师讲的时候，我觉得肯定有其他学科渗透…比如物质循环、生命周期评价，生活污水中的热能利用，污水处理厂曝气池中厌氧微生物/好氧微生物的筛选，大气光化学污染/工厂尾气无害化排放等涉及气体的在高温高热下的化学反应…”。

因此，我们可以看到，无论是从必修课程的角度，或从教师课堂教学的实践中，不同专业背景的学生所接受的培养差别较大，从而直接导致其对跨学科概念的理解程度差异以及在跨学科概念图任务中进行学科整合的主动意识。

综上，我们认为专业背景将会从不同的内容层面进而造成学生内在思维的差异。内容层面将直接影响学生对跨学科概念的认知水平，从而间接影响师范大学理科生对跨学科概念的理解水平。

4.4.2 个人情感态度与行为

4.4.2.1 科学兴趣与效能感

在与师范大学理科生访谈过程中我们发现，学生对科学的兴趣与效能感是影响其跨学科概念理解的重要因素之一。

跨学科概念理解水平较高的学生往往对自然科学表现出浓厚的兴趣，除了对本专业内容的兴趣之外，较多学生也反映出了对其他专业的兴趣。在访谈中，测验得分率较高且跨学科概念图较全面深入的学生对其跨学科概念图的展开进行如下解释：“物理是比较肯定会提到的部分，因为我对物理相对来说感兴趣一些…提到生态是因为高中的时候喜欢研究生态系统的两个角度就是物质与能量，于是就延伸出来一些生态系统有关的东西。此外我觉得计算已经成为人理性认识世界的又一只眼睛，所以提到了计算机的内容。”(Z 学生，物理专业)此外，也有学生对除本专业之外的内容的浓厚兴趣：“虽然我是生科的，但是生命系统画的比较小和不具体，只是因为觉得生命系统在能量与物质之下，只是万千遵从着自然界法则的一个特例而已。另外我对物理化学这两个比较偏向基础理论层面的相对感兴趣，(因此)把生物弱化…我感觉对于各个特定学科的喜好会决定展开的多少。”(G 学生，生物专业)我们发现，对自然科学的兴趣，包括学生对本专业的兴趣及其他学科专业的兴趣，能够直接影响跨学科概念图的表现，反映出学生对跨学科概念理解的水平及跨学科整合能力。因此，提高学生科学兴趣是促进概念理解的重要途径。

此外，学生对本专业及其他专业的效能感也是重要影响因素之一。学生在跨学科概念图任务中展开较多的角度，往往由于效能感较高，而没有涉及到的学科，也多因为学生相

对不擅长。如地理专业的 Y 学生提到：“因为我相对比较擅长生物地理，所以在概念图中展开的比较多，物理十分不擅长，所以我虽然想到了但是觉得会写不太好就没有写。如果继续补充我可能会提一下，但不会扩展太多。”同样的原因也出现在其他学生的解释中：“我虽然上过一个学期的普通化学，但是感觉学的不是太好，也不太喜欢化学，所以画图的时候就往化学那里想。对物理展开的多，一是因为我是物理系的，对物理比较了解，二也是因为我感觉物质和能量的概念在物理中比较常见…”（Z 学生，物理专业）。可以发现，在跨学科概念图任务中，学生的效能感对其做图的视角和展开的深度起到了较大作用。

因此，我们发现，提高学生对科学的兴趣和效能感能够增强学生跨学科整合的意识，进而促进学生的跨学科概念理解。

4.4.2.2 学生自主的跨学科学习

在与师范大学理科生访谈过程中我们发现，学生自主通过多种方式进行跨学科学习时促进其跨学科概念理解的重要因素之一。

跨学科概念理解水平较高的学生往往会进行自主的跨学科阅读，而理解水平较低的学生多数不会进行额外的自主阅读。在访谈中，理解水平处于系统关联的学生在平时的阅读和学习中经常有意识地跨越学科，如：“我平时喜欢读一些与生物相关的科普读物，看一些纪录片…对，感觉很有意思”（Y 学生，地理专业）“我看过介绍物理学家和化学家的书籍（具体书名记不清了），课程需要有在看 E·雷·坎特伯里的《经济学简史·处理沉闷科学的巧妙办法》”（H 学生，化学专业）“我挺喜欢读我妹妹学校推荐的地理教材”（W 学生，地理专业）“我平时阅读了《时间简史》《中医导论》以及数理化的大学课本”（G 学生，生物专业）。我们发现，科普类读物、纪录片、教材等是学生进行跨学科学习，促进跨学科概念理解的重要途径。

除了阅读之外，积极参与其他专业的相关活动或修读课程对于促进师范大学理科生跨学科概念理解也具有重要作用。在访谈中我们发现，H 学生在阅读之外，“参与本专业的活动比较多，但是我修读了生物和环境专业的课程，现在对数学的一些竞赛也有些想法（比如数学建模），另外上个学期有位院士在图书馆讲的动荡的地球，我也觉得很有启发。”可以看到，化学专业的 H 学生积极参与其他专业的活动和课程，较有跨学科的意识。在跨学科概念测验以及跨学科概念图的表现也较为优异。

学生的跨学科概念理解等学科专业知识结构是不断发展和完善的。除了完成本专业的学习，更需要在能力范围内涉猎其他学科专业的知识，在专业不断深化的过程中，促进自身跨学科概念的理解。

4.4.3 基础教育阶段学习经历

在此之前，我们对三所学校学生跨学科概念理解情况与学校变量进行了方差分析，结

果发现，不同学校之间的跨学科概念理解程度差距较大：从 B 大学、L 大学到 A 学院，学生对跨学科概念的理解水平逐渐降低。由于三所学校学生在基础教育阶段的学习经历不同，因此我们推测这会对其跨学科概念理解有一定程度的影响。通过问卷主观题、跨学科概念图任务以及跟踪访谈我们发现，学生在基础教育阶段的学习经历是影响其跨学科概念理解的重要因素之一。

在问卷主观题部分，多名学生在回答中渗透所考察概念在其高中阶段的学习情况。如 L 大学地理专业大学三年级 W 学生在回答第 3 题时，在主观解释部分提到“我记得高中物理学过，应该是同种电荷相互排斥，导致电势能越低”，从解释中发现，该学生对物理学背景下电磁能部分存在错误概念，即认为“电荷排斥导致电势能较低”，未能准确建立做功与电势能变化之间的关系。这一错误概念是在高中阶段产生，并一直延续到大学三年级。因此我们可以看到，学生对跨学科概念的理解可能与其高中阶段的概念学习经历有关。

此外，在跨学科概念图任务中也同样看到相似的现象。以 B 大学化学学院大二年级 B 学生为例，下图为该生所做跨学科概念图。在图中我们看到，虽然身为化学学院学生，但在图中该生所采用视角大多为生物学视角。在后续的跟踪访谈中该生提到：“虽然我是学化学的，但是我做图的时候基本上是从生物的角度来画的。这可能与我高中时候参加生物竞赛有关系，因为高中我曾经参加过省级以上的生物竞赛，我对生物相对来说比较熟悉，而且这两个概念也基本上是高中涉及比较多的，所以我就以生物为主（来画）…”从 B 学生的表述中我们可以看到，学生在高中时参加学科竞赛的经历仍然对其具有较大印象，直接反映在对跨学科概念图的表征过程中。

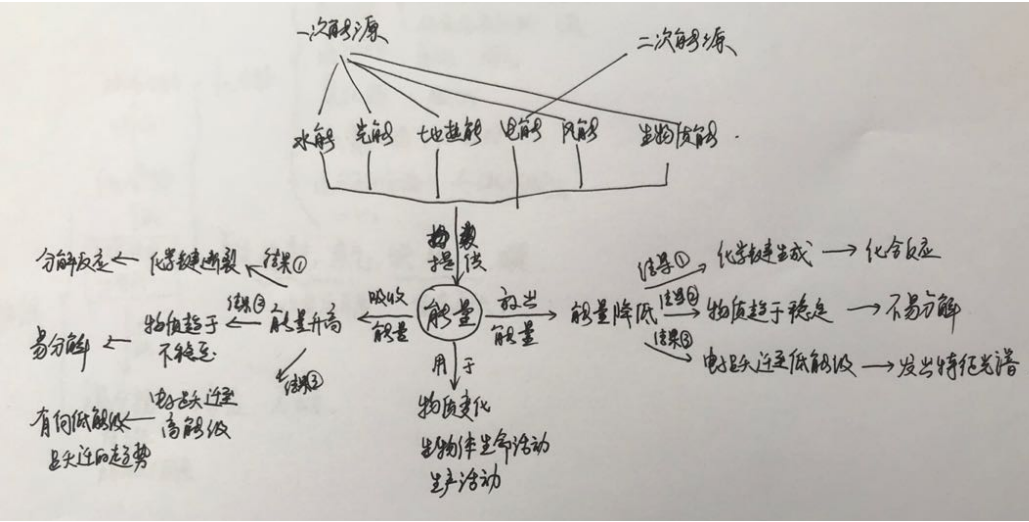


图 21 B 学生所作跨学科概念图

综上所述，我们认为，基础教育阶段的学习经历对师范大学理科生的跨学科概念理解具有一定影响。因此，提高基础教育阶段对跨学科概念的重视，在教学过程中加强对跨学科概念渗透可能对促进学生跨学科概念理解具有积极作用。

5 建议与反思

在此之前，我们对本研究所开发的跨学科概念测验工具的流程及质量标准进行报告，并对师范大学理科生对跨学科概念的理解水平、差异、特征及影响因素进行了分析，结果发现，师范大学理科生对跨学科概念的理解仍存在缺乏稳定性、深广度不足及整合水平较低等特点。因此，该部分将重点探讨促进师范大学理科生跨学科概念理解的方法与途径。

5.1 促进师范大学理科生跨学科概念理解的建议

本研究旨在基于师范大学理科生的跨学科概念理解现状的调查结果，为我国职前科学教师的培养提供针对性建议。因此，该部分将从师范院校理科专业教育以及基础科学教育两个角度出发，提出促进师范大学理科生跨学科概念理解的途径与举措。

5.1.1 师范院校理科专业需提高学生跨学科视野培养的关注

在对师范大学理科生的背景进行分析时，我们发现，从不同专业角度进行横向比较，具有跨学科属性的环境/地理专业学生相对来说水平往往较高；从不同年级角度进行纵向比较，学生对跨学科概念的理解水平随着年级的升高而提升。可见，本科阶段对跨学科视野的渗透对于学生跨学科概念理解具有积极影响。因此，我们从如下几个方面提出建议：

5.1.1.1 培养目标中需体现对学生跨学科视野培养的关注

通过对三所学校的理科专业培养方案进行分析，我们发现 B 大学理科专业在培养目标中关注到学生在相关交叉学科的发展，培养“高端复合型人才”是其目标之一。而跨学科的视角在其他两所学校均没有涉及，L 大学理科专业提到希望学生能够成为“本专业相关领域的复合型人才”，A 学院理科专业的目标设置更加切实，主要关注学生的应用能力、就业能力及创业能力。

从分析结果来看，B 大学学生对跨学科概念的整体理解水平随年级逐渐提升，L 大学学生在大学一到三年级逐渐升高，而 A 学院则呈现整体下降的趋势。通过追踪访谈我们了解到，学生对概念理解有所遗忘与其在学习过程中涉及较少有关，学生在访谈时提到“很多学科都用不到就不太记得了，印象或者残存的记忆吧…感觉…”（L 大学学生）我们能够发现可能由于学校理科专业培养过程中对其他学科专业的内容并不关注，学生会存在一定程度的遗忘现象，甚至出现错误概念。由此我们发现，在培养目标中关注学生跨学科视野对学生的影响较大。

因此，我们建议高等师范院校理科专业提高对学生跨学科视野培养的关注，加强各个学科专业间的横向联系，鼓励不同专业的交叉与合作。从目标的角度，提升学生对跨学科整合的自主性，进而促进其跨学科概念理解。

5.1.1.2 加强专业课程对不同学科领域内容的整合

本研究通过跨学科概念图任务，调查了师范大学理科生跨学科概念理解的学科整合性。结果发现，只有 8.7% 的学生能够从四个学科领域对跨学科概念进行整合，无论是能量还是物质，学生的概念理解仍然处于各学科领域内部相对独立的状态，并没有将不同学科领域间的内容进行融会贯通，形成跨领域的综合理解。

从访谈中我们了解到，在专业课程中，对不同学科领域的关注和整合较少。如物理专业的 Z 学生提到：“平时上课的时候没有什么跨学科的，基本上都是物理的”，化学专业的 F 学生也同样提到：“在专业课上，物理和生物学科，环境工程之类的学科视角特殊情况下老师会涉及到，但是并不多见。”我们能够看到，目前理科专业课堂上还是多以单学科的知识贯穿，跨学科整合的课程内容尚未被开发。

通过访谈，我们看到师范大学理科生的职业意向多为中小学理科教师，因此改善目前大学课堂上单学科满堂灌的现状将会直接影响未来中小学理科教师的教学方式，在大学理科专业尝试加强对不同学科领域的内容整合，探索跨学科的教学方式十分重要。

专业课程学习是促进师范大学理科生跨学科概念理解的重要途径。任课教师可以进一步拓宽自己的知识领域，在准备课程时探索在学科内容主题下与其他学科交叉的环节，从多学科的角度拓展知识并将知识传递给学生。同时，高等师范院校可以尝试开发跨学科课程，将不同专业的学科知识进行整合，形成交叉学科课程体系，提高交叉学科课程知识跨度。在不打破学科专业已有教学模式与规律的情况下，从理念、内容、方法等多个角度对不同专业不同学科课程进行整合，避免简单的叠加。借鉴已有经验：如华南师范大学对课程内容进行重组，补充结合科学研究前沿以及交叉学科方面的知识，合并现有专业。在大学理科课堂中整合不同学科领域的内容，能够打开职前理科教师的视野，同时也提升职前理科教师的科学教育理论素养。

5.1.2 基础科学教育需加强对跨学科概念的重视程度

我们在分析过程中发现，目前仍有 48.1% 的师范大学理科生对跨学科概念的理解为达到系统关联水平，在“物质”概念的平均得分率未超过百分制下的及格水平，在较多内容维度上还亟待加强。从跨学科概念图任务中我们也看到，学生对跨学科概念理解的深度和广度相对不足，学科整合水平相对较低。通过访谈我们发现，学生在基础教育阶段的学习经历是影响其跨学科概念理解的重要因素之一。

我们对各学科高中课标进行分析，发现目前高中课标中对跨学科概念关注较低。通过

内容分析发现,跨学科概念长久存在于高中各个学科当中,作为核心概念对学生进行要求。但是,在每个学科的课标中没有明显体现对其跨学科性的关注。在教学案例示例中,也多体现为单学科的教学设计,对共通概念的教学没有涉及。在对学生的评价方面,课标中也没有给出有关跨学科概念评价的相关要求或建议。此外,在访谈中我们发现,学生在基础教育阶段学习过程中,没有得到系统的跨学科学习经历,只有个别教师出于个人爱好或追求在课堂上尝试渗透跨学科的视角。

相较而言,美国从 1960 年代的课程改革以来,中小学的科学教育已经呈现整合的趋势。进入 21 世纪后,STEM 教育成为了美国科学教育改革的最新举措,进一步加深了课程与教学的整合与贯通¹。STEM 教育的目标是培养学生在科学、技术、工程及数学多个领域及其交叉领域的相关素养,帮助学生有机整合不同学科的知识方法,跨学科概念是重要的环节。从强调“科学知识”到“科学素养”再到“STEM 素养”,体现出当下美国科学教育的改革在努力适应时代发展的需求,超越了多个学科的简单组合,着眼培养学生的跨学科素养²。

因此,无论从课标的角度还是从科学教育实践的角度,我们都能看到目前中小学科学教育中对跨学科概念的重视程度依然不足,与美国基础科学教育对跨学科教育、跨学科概念的关注还存在一定差距。基础教育阶段是学生学习科学概念,提高科学素养,形成跨学科思维的重要阶段,我们建议中小学科学教育需加强对跨学科概念的重视程度,从而促进学生跨学科概念理解。

5.1.3 科学教育需为学生跨学科学习提供针对性支持

5.1.3.1 丰富学生跨学科学习资源

在探讨师范大学理科生跨学科概念理解的影响因素时,我们发现学生的自主跨学科学习是其跨学科概念理解的内在生长力。同时,我们也了解到,对于部分学校来说,学生能够进行跨专业选课,跨学科的活动及学习资料等资源仍相对不足。

在课程方面,通过对三所师范院校的培养方案分析中,我们能够看到,学生在选课通道较多,课程设置相对自由灵活的 B 大学理科专业,能够形成的跨学科概念理解程度较高。而其他两所学校没有提供给学生足够的机会进行跨学科的学习与发展。在中小学科学教育实践中,走班选课制也逐渐在全国范围内普及。因此,打破选课通道,让学生有足够机会接触不同专业的学科知识,在不同学科之间形成知识网络,提高整合能力。

在活动方面,对于 B 大学的学生来说形势相对丰富,如竞赛、讲座、研讨等,学生相

¹ 杨明全. 美国当代中小学科学教育改革:政策、理念与行动[J]. 比较教育研究, 2011, 33(10):86-90.

² 夏小俊,董宇,柏毅. 美国 STEM 对我国中小学科学教育的借鉴意义[J]. 东南大学学报(哲学社会科学版), 2016, 18(S1):169-171.

对能够自由选择与学习。但其他两所学校在活动方面相对欠缺。对于这一方面，高等师范院校以及中小学可以邀请各个学科专家进行讲座或研讨，鼓励学生组织或参与其中，培养学生跨学科的习惯，进而为其跨学科概念理解的提高提供途径。

在学习资料方面，可以尝试建立适合学生跨学科阅读的相关书单或影集，包含科普类读物、专业类杂志、科学发展纪录片等，为学生提供点面结合、系统化的学习资料。

丰富、优质的学习资源是促进学生跨学科学习的前提和保障。学生在自主的跨学科学习过程中，能够主动整合并关联不同领域的相同概念，这样才能进一步促进学生对于跨学科概念的理解。

5.1.3.2 关注学生薄弱概念与内容主题

本研究选取了“能量”“物质”两个跨学科概念进行了调查，结果发现，学生对“能量”概念的理解较好，而对“物质”这一跨学科概念的理解相对不足。在访谈中我们发现，基础科学课程以及大学专业课程中对概念的关注对学生跨学科概念理解具有较大影响。

调查结果显示，师范大学理科生对“能量”这一跨学科概念理解比较好。在访谈中我们了解到，无论在高中阶段的理科课程还是大学专业课程中，各个学科专业对“能量”的关注都比较多。对比不同年级的大学理科教材内容，发现大学对各个主题中能量概念呈现逐渐深入、逐渐专业化的趋势。例如大一时，学生所接受的通识课程(如大学物理)中，对能量的概念只需要知道能量的变化过程如何，内部基本的参数如何改变等。而到了物理学科大二、大三的专业课程，对能量概念本身的认识已经不作为教学目标之一，而是教师进行教学的基本前提。各具体跨学科概念也不再是需要学习的知识，而成为了解决问题的工具，即对学生理解水平的要求进一步提高。因此从知识的深度和广度方面，学生在多年的专业培养中，都得到了不同层面的加强。

但相对于“能量”概念，师范大学理科生对“物质”这一跨学科概念的理解相对较差。因此，本研究建议基础科学课程以及大学专业课程中多关注“物质”这一跨学科概念，尤其是“物质的物理性质与变化”的内容维度以及环境科学中的“负反馈机制”内容主题，加强对学生薄弱概念和内容主题的关注和强调，进而帮助学生发展对于跨学科概念的深刻理解。

5.2 本研究存在的不足与未来研究方向

在本研究中，我们以三所师范大学理科生为研究对象，采用量化研究与质性研究相结合的方法，对师范大学理科生对跨学科概念理解的水平、差异以及跨学科整合性进行了研究和分析，发现师范大学理科生对跨学科概念的整合能力相对不足，学生对不同内容、学科背景下的跨学科概念理解呈现强相关，学生的跨学科概念理解具有缺乏稳定性、深广度不足等特征。并在此基础上分析了可能的影响因素，提出促进学生跨学科概念理解的建议。

但是由于研究者自身经验、时间精力及多方面因素的影响，本研究还存在局限与不足，包括概念筛选全面性以及数据的挖掘深度等。在本研究的基础上，仍然有很多值得我们进一步研究的问题。

5.2.1 本研究存在的不足

由于研究的时间和精力局限，我们在跨学科概念的筛选过程中只选择了当前高中、大学教材中出现频率较高的能量和物质两个跨学科概念进行了调查，来表征大学生跨学科概念理解的现状，未能全面调查所有的跨学科概念。此外，虽然我们收集了来自三所不同师范院校学生的数据，但由于特殊时期只能线上收集的原因，导致无效问卷相对较多。

5.2.2 未来研究方向

在之后的研究中，为了更准确客观的反映学生跨学科概念理解水平，对学生回答问卷的过程性资料进行分析十分必要，例如采用出声思维的方法进行考察等。此外，可以进一步对影响师范大学理科生跨学科概念理解的因素进行深入挖掘，进而为促进师范大学理科生的跨学科概念理解提出更有效的方法和对策。最后，本研究虽然提出了相关建议以促进师范大学理科生的跨学科概念理解，但是其有效性还需要进一步在实践中探讨。

参考文献

中文参考文献

- [1]周叶中. 关于跨学科培养研究生的思考[J]. 学位与研究生教育, 2007(8):7-11.
- [2]刘楚佳.高校跨学科专业发展探讨[J].高等教育研究, 2002(06):76-79.
- [3]刘仲林, 赵晓春.跨学科研究:科学原创性成果的动力之源——以百年诺贝尔生理学和医学奖获奖成果为例[J].科学技术哲学研究, 2005, 22(6):105-109.
- [4]宗农.优秀拔尖人才成长规律探微——从改革开放后大学毕业的两院院士的高等教育经历说起[J].中国高等教育, 2005(z2):15-16.
- [5]路德维希·胡贝尔. 通识教育与跨专业学习[J]. 北京大学教育评论, 2007, 5(4):92-101.
- [6]刘楚佳.高校跨学科专业发展探讨[J].高等教育研究, 2002(06):76-79.
- [7]贺国庆, 华筑信. 国外高等学校课程改革的动向和趋势[M]. 保定:河北大学出版社, 2000.
- [8]张人杰. 法国教育改革[M]. 北京:人民教育出版社, 1994
- [9]颜晓丽.美国研究型大学本科教育新模式:统合教育[J].理工高等教育, 2007(2).
- [10]李兴业. 美英法日高校跨学科教育与人才培养探究[J]. 现代大学教育, 2004(5):71-75.
- [11]冷文君. 大学生跨学科学习现状调查研究[D]. 兰州大学, 2017.
- [12]郭大光. 世界一流大学解读——以美国密西根大学为例[J]. 高等教育研究, 2010(12):82-93.
- [13]何振海, 杨桂梅.MIT 本科教育特色及其启示[J].比较教育研究.2003(7).
- [14]中共中央国务院印发《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020 年)》[N]. 人民日报,2010-07-30(001).
- [15]国务院印发《统筹推进世界一流大学和一流学科建设总体方案》[J].大学(研究版),2015(11):96.
- [16]王焰新. 跨学科教育:我国大学创建一流本科教学的必由之路——以环境类本科教学为例[J]. 中国高教研究, 2016(6):17-24.
- [17]张大良.高等教育人才培养模式改革[M].北京:高等教育出版社.2012:40—46.
- [18]胡卫平, 张淳俊. 跨学科概念图创作能力与科学创造力的关系[J]. 心理学报, 2007, 39(4):697-705.
- [19]丁小婷, 宋怡. 职前理科教师教学观念的调查与分析[J]. 教师教育学报, 2016, 3(2):12-18.
- [20]中小学教师专业发展标准及指导课题组. 中小学教师专业发展标准及指导 理科[M]. 北京:北京师范大学出版社, 2012:11, 17, 33, 70.
- [21]李宛蓉,王威.美国新任科学教师专业标准研究及启示[J]. 中小学教师培训, 2015(3):74-78.
- [22]田守春, 郭元婕. 澳大利亚科学教师专业发展标准及启示[J]. 西南大学学报(社会科学版), 2011, 37(3):64-68.
- [23]石翡. 从“钟摆运动”到“螺旋上升”——评《下一代科学教育标准》及美国科学教育改革走向[J]. 上海教育科研, 2013(11):52-55
- [24]陈婵, 邹晓东.跨学科的本质内涵与意义探析[J].研究与发展管理, 2006(2): 104-107.
- [25]师保国.核心素养的“教”与“评”:以创新素养为例[J].人民教育, 2017(Z1): 47-50.
- [26]谢恭芹, 丁邦平. 建立科学学习中心网络,深化科学教师专业发展——英国科学教师专业发展及其启示[J]. 比较教育研究, 2007, 28(9):83-87.
- [27]路水. 新加坡教师专业发展计划与发展目标[J]. 科学大众:科学教育, 2006(9):109-109.
- [28]高潇怡. 我国幼儿园科学教育内容的问题与改进——基于对美国《下一代科学教育标准》借鉴的思考[J]. 教育研究与实验, 2017(1):30-36.
- [29]高潇怡,孙慧芳.美国科学课程发展的新趋向——基于共通概念的科学课程构建[J].比较教育研究,

2019,41(01): 53-60.

- [30]周玉芝. 美国新版 K-12 科学教育框架对我国基础教育阶段科学教育的启示[J]. 课程·教材·教法, 2012, 32(06):120-124.
- [31]张颖之. 美国科学教育改革的前沿图景——透视美国 K-12 科学教育的新框架[J]. 比较教育研究, 2012(3):74-78.
- [32]王磊, 黄鸣春, 刘恩山. 对美国新一代《科学教育标准》的前瞻性分析——基于 2011 年美国《科学教育的框架》和 1996 年《国家科学教育标准》的对比[J]. 全球教育展望, 2012(6):83-87.
- [33]万东升, 张红霞. 美国 2010《科学教育框架(草案)》述评及启示[J]. 比较教育研究, 2011(12):78-82.
- [34]吴颖, 吴畏. 工程技术教育:美国 K-12 科学教育框架中的新元素[J]. 上海教育科研, 2013(1):20-22.
- [35]黄桦, 刘贵昂. 美国科学教育新标准的概念框架及启示[J]. 岭南师范学院学报, 2012, 33(2):15-20.
- [36]史永悦, 杜欣, 苏玉成. 从科学与工程教育看美国新科学教育标准[J]. 现代中小学教育, 2016, 32(2):113-117.
- [37]冯翠典. 美国新一代《K-12 年级科学教育框架》简介[J]. 比较教育研究, 2013, 35(05):97-102.
- [38]谢绍平, 董秀红. 美国新《K-12 科学教育框架》解读[J]. 外国中小学教育, 2013(4):55-61.
- [39]王威, 刘恩山, 李倩. 将跨学科概念融入高中生物学课程初探[J]. 生物学通报, 2012, 47(8):29-33.
- [40]张淳俊, 陈英和. 采用跨学科概念图推进中学生跨科学业成就[J]. 心理发展与教育, 2010, 26(2): 153-160.
- [41]张淞云, 李曼丽, 莫拉·波利格, 查德·组斯万德, 利萨·麦克奈尔& 肖恩·麦金尼斯等. (2009). 运用"概念图"评价工科学生的跨学科知识集成——以"绿色工程"课程的跟踪研究为案例. 清华大学教育研究 30(2), 19-27.
- [42]陈英和, 张淳俊. 基于跨学科概念图的跨学科知识整合模型[J]. 北京师范大学学报(社会科学版), 2010(1): 37-44.
- [43]黄诗欣, 李玲, 谢莹莹. 通用概念融入高中生物教学实践研究[J]. 中学生物学, 2015, 31(9):8-10.
- [44]李春艳. 中学地理课程中的概念建构与学习进阶[J]. 课程·教材·教法, 2016, 36(4):38-43.
- [45]廖婷婷. 跨学科概念融入初中科学教育的初步研究[D]. 南京师范大学, 2015.
- [46]周瑶, 王磊, 徐聪. 理、化、生不同专业大学生关于能量概念的认识现状研究[J]. 化学教育(中英文), 2014, 35(10):51-56.
- [47]张静, 郭玉英, 姚建欣. 论模型与建模在高中物理课程中的重要价值——基于国际物理(科学)课程文件的比较研究[J]. 物理教师, 2014, 35(6):4-5.
- [48]陈钱钱, 赵国庆, 王晓静. 科学工程实践、跨学科概念与学科核心知识的整合——从《下一代科学教育标准》视角看 WISE 项目[J]. 远程教育杂志, 2018(2).
- [49]郭玉英. 中心理科课程标准国际比较与研究(物理卷)[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2014: 232.
- [50]郭宝仙. 核心素养评价: 国际经验与启示[J]. 教育发展研究, 2017(4): 48-55.
- [51]中华人民共和国制订. 全日制义务教育科学(7~9 年级)课程标准(实验稿)[M]. 北京师范大学出版社, 2001.
- [52]杨明全. 美国当代中小学科学教育改革: 政策、理念与行动[J]. 比较教育研究, 2011, 33(10):86-90.
- [53]夏小俊, 董宇, 柏毅. 美国 STEM 对我国中小学科学教育的借鉴意义[J]. 东南大学学报(哲学社会科学版), 2016, 18(S1):169-171.

英文参考文献

- [54]NGSS Lead States.(2013).Next generation science standards: For states, by states. Washington, DC: National Academies Press.
- [55]American Association for the Advancement of Science. (1989). Science for All Americans. Project 2061. New York: Oxford University Press. Available: <http://www.project2061.org/>

publications/sfaa/online/sfaatoc.html [March 2011].

[56]National Research Council. (1996). National Science Education Standards. National Committee for Science Education Standards and Assessment. Washington, DC: National Academy Press.

[57] National Research Council. (2013).A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts and Core Ideas. National Academies Press: <http://www.nap.edu>.

[58]Appendix G-Crosscutting Concepts(2012).National Academies Press: <http://www>.

Nextgenscience.org/sites/default/files/Appendix%20G%20-%20Crosscutting%20Concepts%20FINAL%20edit ed%204.10.13.pdf

[59]Waldron, A. M., Spencer, D., & Batt., C. A. (2006). The current state of public understanding of nanotechnology. *Journal of Nanoparticle Research*, 8, 569-575.

[60]You, H. S., Delgado, C., & Marshall, J. A. (2017). Assessing students' disciplinary and interdisciplinary understanding of global carbon cycling. *Journal of Research in Science Teaching*.

[61]Astin, A. W. (1993). What matters in college?: Four critical years revisited. San Francisco: Jossey-Bass.

[62]Buchbinder, S. B., Alt, P. M., Eskow, K., Forbes, W., Hester, E., Struck, M., & Taylor, D. (2005). Creating learning prisms with an interdisciplinary case study workshop. *Innovative Higher Education*, 29(4), 257 – 274.

[63]Newell, W. H. (1994). Designing interdisciplinary courses. *New Directions for Teaching and Learning*, 1994(58), 35 – 51.

[64]Newell, W. H., & Green, W. J. (1982). Defining and teaching interdisciplinary studies. *Improving College and University Teaching*, 30(1), 23 – 30.

[65]Nowacek, R. S. (2005). A discourse-based theory of interdisciplinary connections. *The Journal of General Education*, 54(3), 171 – 195.

[66]Hursh, B., Haas, P., & Moore, M. (1983). An interdisciplinary model to implement general education. *The Journal of Higher Education*, 54(1), 42 – 59.

[67]Jacobs, H. H. (1989). *Interdisciplinary curriculum: Design and implementation*. Alexandria, VA:Association for Supervision and Curriculum Development.

[68]Lattuca, L.R., Voigt, L.J., &Fath, K.Q.(2004).Does interdisciplinarity promote learning? Theoretical support and researchable questions. *The Review of Higher Education*, 28(1), 23 – 48.

[69]Wolfe, C.R., &Haynes, C.(2003).Assessinginterdisciplinarywriting. *PeerReview*, 6(1), 126 – 169.

[70]Boix Mansilla, V., & Duraisingh, E.D. (2007). Targeted assessment of students' interdisciplinary work: An empirically grounded framework proposed. *The Journal of Higher Education*, 78(2), 215 – 237.

[71]Leonard, B. J. B. (2007). Integrative learning as a developmental process: A grounded theory of college students' experiences in integrative studies. Unpublished doctoral dissertation. University of Maryland, College Park.

[72]Liu, O.L., Lee, H.S., Hofstetter, C., &Linn, M.C.(2008).Assessing knowledge integration in science: Construct, measures, and evidence. *Educational Assessment*, 13(1), 33 – 55. <https://doi.org/10.1080/10627190801968224>

[73]Bragaw, D., Bragaw, K. A., & Smith, E. (1995). Back to the future: Toward curriculum integration. *Middle School Journal*, 27(2), 39 – 46.

[74]Begg, M. D., & Vaughan, R. D. (2011). Are Biostatistics Students Prepared to Succeed in the Era of Interdisciplinary Science? (And How Will We Know?) *The American Statistician*, 65(2), 71-79. doi: 10.1198/tast.2011.10222

[75]Barisonzi, J., & Thorn, M. (2003). Teaching Revolution: Issues in Interdisciplinary Education. *College Teaching*, 51(1), 5-8. doi: 10.1080/87567550309596402

[76]Eisen, A., Hall, A., Lee, T. S., & Zupko, J. (2009). Teaching Water: Connecting Across Disciplines and into Daily Life to Address Complex Societal Issues. *College Teaching*, 57(2), 99-104.

- [77]Nissani, M. (1997). Ten Cheers for Interdisciplinarity: The Case for Interdisciplinary Knowledge and Research. *The Social Science Journal*, 34(2), 201-216. doi: 10.1016/S0362- 3319(97)90051-3
- [78]Lin Cong de. (2003). Learning and develop-the development and training of mental capacities in middle school students and primary school students(in Chinese).Beijing: Beijing Normal University Press, p308~325
- [79]Feldhusen L F. (1995). Creativity: a knowledge base, metacognitive skill, and personality factors. *Journal of Creative Behavior*, 29 (4) : 255~268
- [80]A mabile TM.(1988) A model of creativity and innovation in organizations. *Research in Organizational Behavior*, 10:123~167
- [81]Council for Science and Technology (CST)(2000) . *Science Teachers: a Report on Supporting and Developing the Profession of Science Teaching in Primary and Secondary Schools*. London: CST.
- [82]Ministry of Education. (2007).*The Ontario Curriculum Grades1-8: Science and Technology (revised)*[S]. Ontario, Canada.
- [83]AAAS (1993). *Benchmarks for Science Literacy*, New York, NY: Oxford University Press.
- [84]NRC (1996). *National science education standards*. Washington DC: National Academy Press.
- [85]NSTA (2010). *Science Anchors Project*. www.nsta.org/involved/cse/scienceanchors.aspx
- [86]Victorian Curriculum and Assessment Authority. *Victorian Certificate of Education Study Design: Physics*[M]. East Melbourne: Victorian Curriculum and Assessment Authority, 2008:47.
- [87]Michigan State Board of Education. (2010). *Michigan High school Science content standards and Expectations* [M].
- [88]Duschl R A. (2012). The Second Dimension—Crosscutting Concepts[J]. *Science & Children*, 49(6):10-14.
- [89]De Poorter J, De Lange J, Devoldere L. et al. Deep understanding of electromagnetism using crosscutting concepts[J]. *Physics Education*, 2017, 52(1):015008.
- [90]Yang Y. (2017). *Effects of an Interdisciplinary Science Professional Development Program on Teacher Pedagogical Content Knowledge, Science Inquiry Instruction, and Student Understanding of Science Crosscutting Concepts in Twelve Public Schools: A Multilevel Modeling Study*, A dissertation submitted the University at Buffalo, State University of New York.
- [91]Wyner Y., Doherty J H. (2017). Developing a learning progression for three-dimensional learning of the patterns of evolution[J]. *Science Education*.
- [92]Patrick Schwab. (2013). *Evaluation of Online Teacher and Student Materials for the Framework for K-12 Science Education Science and Engineering Crosscutting Concepts*, A Dissertation presented in ARIZONA STATE UNIVERSITY.
- [93]Fick S J. (2017). What does three-dimensional teaching and learning look like? Examining the potential for crosscutting concepts to support the development of science knowledge[J]. *Science Education*, 102(1):5-35.
- [94]Boix Mansilla, V.(2005). Assessing student work at disciplinary crossroads. *Change: The Magazine of Higher Learning*, 37(1), 14 – 21.
- [95]Shen J, Liu O L, Sung S. (2014). Designing Interdisciplinary Assessments in Sciences for College Students: An example on osmosis[J].*International Journal of Science Education*, 36(11): 1773-1793.
- [96]Schaal, S., Bogner, F.X., &Girwidz, R.(2010). Concept mapping assessment of media assisted learning in interdisciplinary science education. *Research in Science Education*, 40(3), 339 – 352.
- [97]Lynn, M.R.(1986).Determination and quantification of content validity. *Nursing Research*, 35(6), 382 – 386.
- [98]Lee, H.S., &Liu, O.L.(2009).Assessing learning progression of energy concepts across middle school grades: The knowledge integration perspective. *Science Education*, 94(4), 665 – 688.
- [99]Underwood S M, Posey L A, Herrington D G, et al. (2018). *Adapting Assessment Tasks To Support*

- Three-Dimensional Learning[J]. *Journal of Chemical Education*, 95(2): p207-217.
- [100]Silin W, Xiufeng L, Zuhao W, et al. (2012). Using Rasch Measurement to Develop a Computer Modeling-Based Instrument to Assess Students' Conceptual Understanding of Matter[J].*Journal of Chemical Education*, 89: 335–345
- [101]Jin H, Anderson C W. (2012). A learning progression for energy in socio - ecological systems[J]. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(9):1149-1180.
- [102]Herrmann - Abell C F, Deboer G E. (2017). Investigating a learning progression for energy ideas from upper elementary through high school[J]. *Journal of Research in Science Teaching*.
- [103]Liu, X., McKeough, A. (2005). Developmental growth in students' concept of energy: Analysis of selected items from the TIMSS database[J].*Journal of Research in Science Teaching*, 42(5): 493–517.
- [104]Sebastian T. Opitz, Ute Harms, Knut Neumannetal. (2015). Students' Energy Concepts at the Transition Between Primary and Secondary School[J]. *Research of Science Education*, 45: 691 – 715.
- [105]Ou Lydia Liu, Kihyun Ryoo, et al. (2015). Measuring Knowledge Integration Learning of Energy Topics: A two-year longitudinal study[J].*International Journal of Science Education*, 37(7): 1044 – 1066.
- [106]Bahadir N, Shen J. (2015). Modeling-Oriented Assessment in K-12 Science Education: A synthesis of research from 1980 to 2013 and new directions[J]. *International Journal of Science Education*, 37(7): 993 – 1023.
- [107]Laura Z, Cory T.F. (2014). Scientific Practices in Elementary Classrooms: Third-Grade Students' Scientific Explanations for Seed Structure and Function[J].*Science Education*, 98(4): 614-639.
- [108]Gail M.J, Manuela P et.al. (2013). Teachers' concepts of spatial scale: An international comparison[J]. *International Journal of Science Education*, 35(14): 2462–2482.
- [109]Laverty J T, Caballero M D. (2018). What are we assessing? An analysis of the most common concept inventories in physics[J]. *Physical Review Physics Education Research*, 14(1).
- [110]DeBarger, A. H., Penuel, W. R., Harris, C. J., Kennedy, C. K. (2016). Building an Assessment Argument to Design and Use Next Generation Science Assessments in Efficacy Studies of Curriculum Interventions. *American Journal of Evaluation*.
- [111]Barab, S. A., & Landa, A. (1997). Designing effective interdisciplinary anchors. *Educational Leadership*, 54(6), 52 – 55.
- [112]LOONEY J.(2009). *Assessment and Innovation in Education*[R]. OECD Publishing.
- [113] Brown, J. S., Collins, A., & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18(1), 32–41.
- [114]Singley, K., & Anderson, J. R. (1989). *The transfer of cognitive skill*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- [115]Oura, H. (2014). Disentangling “discipline-specific” epistemologies: A conceptual framework to guide epistemic sense-making in curriculum and instruction. Paper presented at the 2014 AERA Annual Conference, Philadelphia, PA.

附录

附录 1：师范大学理科生跨学科概念理解调查问卷

同学您好！感谢您在百忙之中填答这份问卷。

本调查旨在了解您对跨学科概念的理解，研究结果可为了解高等理科教育与基础科学教育中跨学科教育情况提供实证依据。测验部分共 28 题，27 道单选题（其中 7 道单选题后附有对选择的解释）与 1 道简答题，**均为必答题**。请写出正确的选项并在给定的横线上写下您对所选答案的解释。您的回答将被严格保密。测验成绩不会对您的学分和考试成绩造成影响，请您不必有任何担心和顾虑。您的真实回答对我们的研究非常重要，请您**仔细阅读题干**，根据个人理解作答。非常感谢您的参与和帮助！

第一部分 基本信息

请您根据实际情况在空白处填写信息，或在适当的选项上画“√”。

所在学校：_____

姓名：_____

性别： 男 女

专业： 物理 化学 生物 环境

年级： 大一 大二 大三 大四

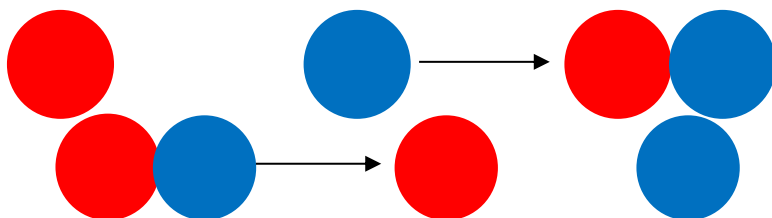
第二部分 跨学科概念理解测验

1. 下列哪项不具有波的特性？（ ）

A. 电磁能 B. 热能 C. 声能 D. 振动能

2. 图 1 中一质子（正电荷）和一电子（负电荷）被拉开。图 2 中一质子（正电荷）和一电子（负电荷）相互吸引在一起。下面哪一项对两电荷电势能变化描述正确？（ ）

A. 图 1 中两电荷电势能增加，图 2 中两电荷电势能减少



B. 图 1 右侧的电荷比图 2 右侧的电荷具有更少的电势能

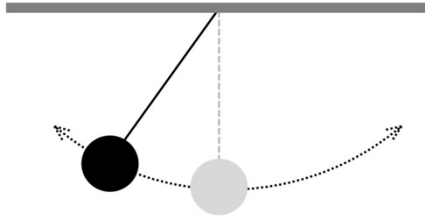
C. 两图中左右两侧的电势具有相同的电势能

D. 图 1 中右侧电荷电势能为负，图 2 中右侧电荷电势能为正

*请解释你的选择：_____

3. 小明在玩一个单摆，如图所示。球摆动一段时间后停止。

请问球**停止摆动**的原因是？（ ）



- A. 球在来回摆动过程中，球的动能转移到其他地方
 - B. 球从一边摆动到另一边的过程中将会消耗一定量的动能，当球的动能消耗殆尽时，便停下来了
 - C. 球的一部分动能转移到其他地方，一部分动能被消耗
 - D. 物体只有当被人移动时才具有动能。因为小明不再推动球，所以球不具有动能
 - E. 若上述选项均与您观点不同，请将您的想法写在下方（选填）：
-

4. $X \rightarrow Y + Z + \text{能量}$ 。上述方程表示核衰变，其中 X 核衰变为 Y 粒子和 Z 核，并释放能量。以下哪一项准确描述上述方程式？（ ）

- A. X 的总质量小于 Y 和 Z 的总质量
- B. X 的总能量小于 Y 和 Z 的总能量
- C. X 的总质量大于 Y 和 Z 的总质量
- D. X 的总能量等于释放的总能量

*请解释你的选择： _____

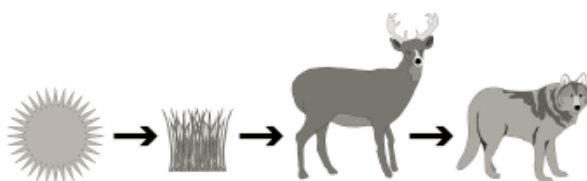
5. 地球上大气运动、水循环等的主要动力来自于（ ）

- A. 地球内部的热能 B. 重力势能 C. 太阳辐射 D. 风能

6. 以下哪一项使用了可替代能源？（ ）

- A. 给房子供暖的电暖气片
- B. 计算器中的太阳能电池
- C. 烘干湿衣服的吹风机
- D. 使用电动电池和柴油发动机的混合动力汽车

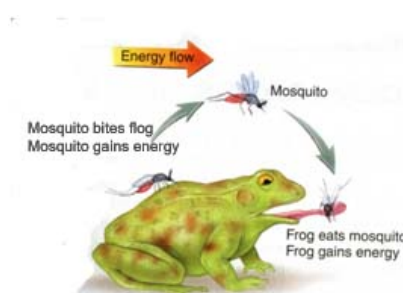
7. 下图为太阳及一捕食食物链



在上图中，能量以什么形式在有机体之间转移？（ ）

- A. 以光能形式转移 B. 以化学能形式转移 C. 以热能形式转移 D. 以电能形式转移
E. 以动能形式转移

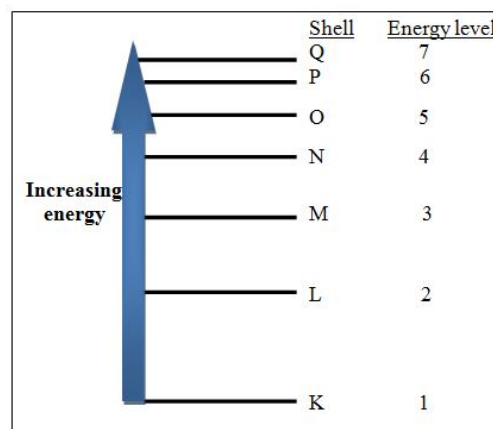
8. 图中为一由青蛙和蚊子构成的生态系统。青蛙吃掉了刚咬完它的蚊子，此时青蛙的总能量与蚊子咬青蛙之前蚊子加上青蛙的初始能量之和相比如何？（ ）



- A. 青蛙总能量大于蚊子和青蛙的初始能量之和
B. 青蛙总能量小于蚊子和青蛙的初始能量之和
C. 青蛙总能量等于蚊子和青蛙的初始能量之和

***请解释你的选择：**

9. 由玻尔的理论发展而来的现代量子物理学认为原子核外电子的可能状态是不连续的，因此各状态对应能量也是不连续的。这些能量值就是能级，如右图所示。每个能级代表什么类型的能量？（ ）

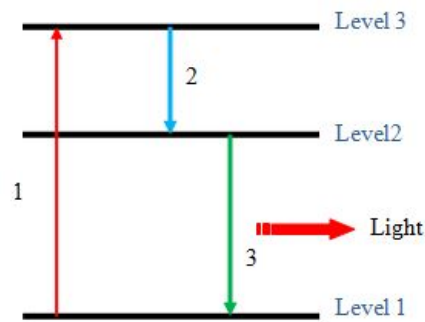


- A. 热能
B. 键能
C. 势能
D. 化学能

10. 当火焰中被加热的氯化钠晶体产生的光通过棱镜时，棱镜后面的屏幕显示黄色线条。为什么会出现这种现象？（ ）

- A. 因为用于加热氯化钠晶体的火焰是黄色的
B. 因为钠原子中的电子释放出特定大小的能量
C. 因为钠原子与氯原子在火焰中发生反应并释放出一定能量
D. 因为棱镜吸收了其他颜色的光，仅透射黄光

11. 下图为铬离子 Cr(III) 中的电子能级。请问图中哪个过程一定是自发的？（ ）



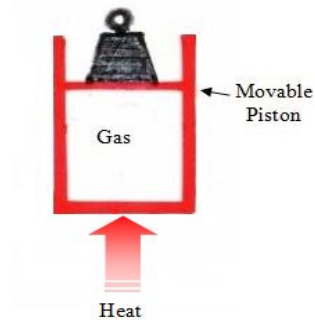
- A. 1 B. 2 C. 3 D. 1 and 2 E. 2 and 3 F. 1 and 3

*请解释你的选择： _____

12. 下图为一个封闭系统，包括一充满气体的容器、活塞以及活塞上的砝码。随着系统温度升高，气体将活塞连同活塞顶部的砝码一起推升。系统吸收热能并推动活塞，那么系统的内部能量是如何变化的？

（假设气体是理想气体）（ ）

- A. 内能的变化等于供给系统的热能
B. 内能的变化等于活塞势能的增加量
C. 内能的变化等于供给系统的热能减去系统所做的功
D. 内能的变化等于系统对周围环境所做的功
E. 内能的变化是零



13. 小红欲将自行车推上山，如图所示。

(1) 小红体内细胞从哪一项中获取能量推动自行车？（ ）

- A. 血液中的循环氧
B. 分解食物提供的碳水化合物
C. 糖酵解产生的二氧化碳和水分子
D. 分解食物中的维生素



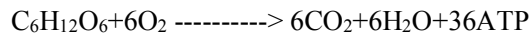
(2) 请问从小红身体的**细胞分子**中释放出来用于推动自行车的能量是哪种能量？（ ）

- A. 化学能 B. 动能 C. 重力势能 D. 热能

14. 下面哪个正确描述了能量是以什么形式在太阳和树之间传递的？（ ）

- A. 能量是以光的形式从太阳辐射出来，直接被树吸收
B. 能量是以电流的形式从太阳传到树上
C. 能量是以热能的形式从太阳散发出来，直接被树吸收
D. 能量不会在太阳和树之间转移

15. 细胞呼吸可用以下方程式描述：



葡萄糖+氧气-----> 二氧化碳+水+能量

在细胞呼吸前后系统总能量（包括周围环境），即有机体和环境的总能量，如何变化？（ ）

- A. 细胞呼吸后，系统总能量增加
- B. 细胞呼吸后，系统总能量降低
- C. 细胞呼吸后，系统总能量保持不变

***请解释你的选择：** _____

16. 如果将图中椅子的所有原子都移除，椅子会如何变化？（ ）

- A. 不会发生变化
- B. 这把椅子看起来没变，但会更轻
- C. 什么都不会留下
- D. 一种粘稠的液体会残留下来
- E. 会留下一些木屑



17. 玻璃窗的优点在于它可以保护你不受风雨的侵袭，但你仍然可以看到外面发生了什么。为什么玻璃是透明的？（ ）

- A. 因为玻璃微粒是透明的
- B. 因为玻璃微粒之间没有任何东西，所以光线不会被挡住
- C. 玻璃微粒本身是不透明的，但它们所含的物质是透明的
- D. 玻璃微粒以特殊的方式排列，因此光线可以不受阻碍地通过
- E. 玻璃不是由微粒组成的

18. 夏天，车库的金属门经常难以打开。请解释原因？（ ）

- A. 金属粒子在高温下会熔化，使门和门框融为一体
- B. 金属是导热的，因此门和门框会粘在一起
- C. 金属粒子在较高的温度下容易与空气微粒发生反应，导致门和门框受热膨胀，互相摩擦
- D. 金属粒子在较高的温度下移动速度加快，导致彼此之间的距离加大
- E. 金属粒子在较高温度下移动速度不变，但彼此之间的距离加大，导致门和门框互相摩擦

19. 想象一下你正在用爆米花机做爆米花。你先把一些玉米粒放进一个密封的爆米花机里，然后把它们放在一起称重。制作爆米花后，爆米花和爆米花机的总重量有什么变化？（ ）
- A. 因为爆米花的密度比玉米粒小，所以总重量减少
 - B. 因为爆米花机是密封的，所以总重量不变
 - C. 因为爆米花比玉米粒大，所以总重量增加
 - D. 如果不即刻称量每一块爆米花的重量，就不可能准确测定总重量的变化
20. 当一个氯原子和一个氢原子结合成氯化氢分子时会发生什么？（ ）
- A. 化学键断裂，能量释放
 - B. 化学键断裂，能量被吸收
 - C. 形成化学键并释放能量
 - D. 形成化学键并吸收能量
21. 下面哪个方程表示质量守恒和电荷守恒？（ ）
- A. $\text{Cl}_2 + \text{Br}^- \longrightarrow \text{Cl}^- + \text{Br}_2$
 - B. $\text{Cu} + 2\text{Ag}^+ \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{Ag}$
 - C. $\text{Zn} + \text{Cr}^{3+} \longrightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{Cr}$
 - D. $\text{Ni} + \text{Pb}^{2+} \longrightarrow \text{Ni}^{2+} + \text{Pb}$
22. 动物是由原子组成的。动物死后原子会发生什么变化？（ ）
- A. 原子停止运动
 - B. 原子循环回到环境中
 - C. 原子分裂成更简单的部分，然后结合形成其他原子
 - D. 一旦动物腐烂了，原子就不复存在了
23. 水是植物和动物的食物来源吗？为什么？（ ）
- A. 是的，因为食物为植物和动物所需要的东西
 - B. 是的，因为食物是能够为植物和动物提供能量的东西，水能够提供能量
 - C. 不是，因为液体不能作为植物和动物的食物，水是液体
 - D. 不是，因为食物必须含有碳原子相连的分子，水分子不具有相连的碳原子
24. 以下结构中用于储存养分的包括（ ）
- A. 动物的脂肪组织，植物的鳞茎和种子
 - B. 只有动物的脂肪组织
 - C. 动物的脂肪组织和植物种子
 - D. 以上结构都不用于储存食物养分

25. 当空气从湖面上方移动时，空气湿度会怎样变化？（ ）
- A. 如果空气温度较高，无论原有湿度多大，空气的湿度都会增加
 - B. 无论空气的温度或湿度是多少，穿过湖面的空气湿度都会增加
 - C. 无论空气的温度或湿度是多少，穿过湖面的空气湿度都将保持不变
 - D. 因为空气的湿度可能已经达到最大值，需要更多信息来预测在湖中移动的空气湿度变化

***请解释你的选择：** _____

26. 空气正在从位置 1 移动到位置 2。当空气到达位置 2 时，温度将降低。如果两个位置的空气中的水蒸气量相同，那么哪个位置降雨的可能性更大？（ ）
- A. 由于位置 1 温度较高，因此雨更可能落在位置 1
 - B. 降雨更可能在位置 2，因为空气温度低
 - C. 这取决于风的强度。因为下雨并不依赖于空气温度，只取决于风吹的速度
 - D. 雨落在位置 1 和位置 2 的可能性相同，因为两个位置的空气中都有相同数量的水蒸气

***请解释你的选择：** _____

27. 用准直的 α 射线轰击厚度为微米的金箔，发现绝大多数的 α 粒子都照直穿过薄金箔。请解释原因：

28. 地球具有气温调节机制，可以在很长的时间尺度上（十万年）防止自身过热。以下哪一选项完善了这一调节机制的**负反馈关系**？

大气中二氧化碳浓度增加 → 全球平均温度升高 → 硅酸盐矿物风化速率增加 → （ ）

- A. 物理风化速率增加
- B. 植物生长更快
- C. 植物生长缓慢
- D. 大气中二氧化碳浓度增加
- E. 大气中二氧化碳浓度降低

.....

对您来说，本测验的难度如何？（ ）

- A. 特别简单 B. 比较简单 C. 一般 D. 比较难 E. 特别难

附录 2：师范大学理科生跨学科概念图任务

此次跨学科概念图任务分为两个部分：1. 在无情境环境下，让学生用朴素的理解做以“能量”、“物质”为主题的跨学科概念图；2. 根据学生所做图进行提问。具体如下所示：

第一部分 跨学科概念图任务

- xxx 同学你好，谢谢你能参与这次任务，本次任务分为两个部分：
- 1. 画概念图：请你按照下面第一张图中的步骤进行做图，以“能量”、“物质”两个概念为主题，请尽可能多的写出与其相关的概念并画出联系，示例如下面第二张图（示例以“绿色工程设计为主题”），请参考示例，用约 20 分钟时间作出概念图拍给我；
 - 2. 我将针对你拍给我的概念图提一些问题，大约 10 分钟。
- 现在请你先自行阅读做图步骤，认真做图，尽可能多的把你所知道的所有相关的概念放进图中，用纸笔做图即可，中途有任何问题可以问我。

表 1 概念图制作步骤

1. 写下你所知道的与选定主题有关的主要概念或术语（例如，主题是法式薯条或绿色工程设计）
2. 将每个概念或术语分别写在胶贴上
3. 对写好的胶贴进行整理，将其中不理解的概念放在一边。将与任何其他概念无关的也放在一边。将剩下的胶贴用来作出概念图。
4. 对胶贴进行排列，相关的概念放在一起。
5. 将胶贴贴在纸板上。注意留下画线的空间。
6. 在你认为相关的概念之间画线表示存在联系。
7. 在每条线上写出概念间的关系。
8. 如果在第 3 步中你将任何胶贴放在一边，回顾其中是否有概念能放入你作出的概念图。如果可以，给新放入的概念画上表示联系的线。如果作图过程中想到新的概念，在胶贴上写下相应概念并加入图中。
9. 今天的任务是作出“能量”、“物质”的概念图。在纸板的中心写上这个主题，对主题相关的概念进行头脑风暴，将它们写上胶贴并整理排列，再画出相关的联系。
提示：概念图制作是一个创造性活动，正确的答案并不唯一。

附录 3：师范大学理科生跨学科概念理解访谈提纲

本次访谈将与概念图任务共同进行，因此抽样方式同上。访谈分为两个部分：1. 对学生在回答问卷（测验）过程中的心理过程进行补充调查，从而反馈出问卷质量、设计方面可能存在的问题；2. 对影响学生跨学科概念理解的因素进行探查。具体如下：

第一部分 测验回答过程中的心理过程调查

这一部分内容主要目标为探查不同水平学生在回答测验题目时的思维过程，更进一步了解学生对于物质和能量概念的各维度子概念的核心概念理解情况以及跨学科理解情况。研究者将调取访谈样本的测验结果，挑取当时学生提供信息量较少的题目进一步追问。如 Q11 第二问的难度较高，且主观题部分提供信息较少，没有学生达到 2 分水平，若访谈的学生在这一题得到 1 分，研究者将针对这一题进一步追问如：“自发辐射是否与释放光子有必然联系？为什么？”等问题。

第二部分 跨学科概念理解影响因素探查

这一部分旨在通过了解不同水平学生的背景信息，进一步推断可能影响学生理解水平不同的原因。由于问卷调查结果显示，大学所学专业对于理解水平有较大影响，访谈过程中，研究者将针对物质、能量两个跨学科概念进一步了解学生的认识来源，如：

1. 物质与能量两个概念在专业课中是否会有所提及？若提及，教师在讲授过程中是否渗透了多个学科的视角？如果有，请举例。
2. 在你的本科学习过程中，有没有参与过其他理科专业的课程、活动（包括讲座、竞赛等）？（如果有，请举例。）
3. 个人是否在课余阅读过其他理科专业相关的书目？
 1. 对构成自然科学的相关学科是否有所偏好？为什么？
 2. 高中的时候是否参与过与本专业不同的其他理科的竞赛？
 3. 高中时教师讲解物质、能量概念时是否渗透了多个学科的视角？如果有，具体是什么学科的教师如何渗透的，可以举个例子。
4. 未来是否有从事教师行业的打算？

附件 4：高中大学教材内容分析编码表

一、高中教材中与跨学科概念的对应编码表

高中生物教材中涉及的跨学科概念								
必修章节	物质与能量	结构与功能	模式/机制/秩序	模型	尺度、比例与数量	稳定与变化	解释	系统
1.1 细胞的分子组成	★	★			☆			
1.2 细胞的结构		★		★	☆			★
1.3 细胞的代谢	★	★	★	★	☆			
1.4 细胞增殖	★		★	★	☆			
1.5 细胞分化、衰老、凋亡			★			☆	☆	
2.1 遗传因子的发现	★							
2.2 基因和染色体的关系		★	★	★	☆			
2.3 基因的本质	★		★					
2.4 基因的表达			★					
2.5 基因突变及其他变异			☆			☆		
2.6 从杂交育种到基因工程	★							
2.7 现代生物进化理论	★				☆			☆
3.1 人体的内环境与稳态						★		★
3.2 动物和人体生命活动的调节	★				☆	☆		
3.3 植物的激素调节	★							
3.4 种群和群落								★
3.5 生态系统及其稳定性			☆			☆		★

高中物理教材中涉及的跨学科概念

必修章节	物质与能量	结构与功能	模式/机制/秩序	模型	尺度、比例与数量	稳定与变化	解释	系统
1.1 运动的描述				★			☆	
1.2 匀变速直线运动的研究				★	☆			
1.3 相互作用			☆					
1.4 牛顿运动定律			★		☆			
2.1 曲线运动			★				☆	
2.2 万有引力与航天				★			☆	☆
2.3 机械能守恒定律	★		★					
3-1.1 静电场	☆			★				
3-1.2 恒定电流	☆			★	☆			
3-1.3 磁场	★			★				
3-2.1 电磁感应	★				☆			
3-2.2 交变电流	★			★				
3-2.3 传感器	★							
3-4.1 机械振动	☆		★					
3-4.2 机械波	☆			★				
3-4.3 光	★			★				
3-4.4 电磁波	★							
3-4.5 相对论简介	★		★		☆			
3-5.1 动量守恒定律	★		★		☆			
3-5.2 波粒二象性				★				
3-5.3 原子结构		★		★				

高中化学教材中涉及的跨学科概念

必修章节	物质与能 量	结构与功 能	模式/机制/ 秩序	模 型	尺度、比例与 数量	稳定与变 化	解 释	系 统
1.1 从实验学化学			☆					
1.2 化学物质及其变化	★							
1.3 金属及其化合物	★							
1.4 非金属及其化合物	★							
2.1 物质结构 元素周期律	★	★			☆			
2.2 化学反应与能量	★		☆		☆			
2.3 有机化合物	★							
2.4 化学与自然资源的开发 利用						☆		☆
3.1 原子结构与性质		★		☆				
3.2 分子结构与性质		★		☆				
3.3 晶体结构与性质	★	★		☆				
4.1 化学反应与能量	★		★					
4.2 化学反应速率和化学平 衡					★			
4.3 水溶液中的离子平衡			★					
4.4 电化学基础			☆					
5.1 认识有机化合物	★				☆			
5.2 烃和卤代烃	★				☆			
5.3 烃的含氧衍生物	★				☆			
5.4 生命中的基础有机化学 物质	★							
5.5 进入合成有机高分子化 合物的时代			☆					

二、 大学教材中与跨学科概念的对应编码表

环境科学专业书中涉及的跨学科概念

环境生物学	物质 与能量	结构 与功能	模式/机制/ 秩序	模型	尺度、比例 与数量	稳定 与变化	系统	测量	证据	解释
绪论						☆	☆			
生物与受损环境			★	★						
污染物在生态系统中的行为	★		★							
污染物对生物的影响和毒害作用		★				☆	★			
生态退化及其对生物的影响			★							
生物在受损环境中的响应	★		★							
全球变化及其对环境中的影响			★							
生物对受损环境的监测	★	☆	★					★		
生态退化环境的生物修复	★		★				★			
污染环境的生物修复	★		★							
生物多样性的保护			★	★						
环境生物学在环境影响评价中的应用			★							
环境化学	物质与能量	结构与功能	模式/机制/秩序	模型	尺度、比例与数量	稳定与变化	系统	测量	证据	解释
绪论										
大气圈和大气污染	★			★		★	★			
水圈和水体污染	★	★				★				
土壤圈和土壤污染	★	★								
生物圈和生物污染	★					★	★			
环境分析与检测概要								★		
环境无机污染物化学	★									
环境有机污染物化学	★									
环境化学专题						★	★			★
环境物理学	物质 与能量	结构 与功能	模式/机制/ 秩序	模型	尺度、比例 与数量	稳定 与变化	系统	测量	证据	解释
绪论										
环境物理学概论		★		★			★			
地球大气系统环境物理学概念			★	★						
地球系统中辐射能量传输的基本物理定律	★		★				★			
土壤环境物理				★				★		
土壤中水环境物理	★			★		★				
地球表面与大气之间环境物理交换过程	★		★	★						

遥感环境物理学			★	★							
跨学科概念	物质 与能量	结构与功能	模式/机 制/秩序	模型	尺度、比例 与数量	稳定与变化	系统	测量	证据	解释	总数
出现频数	30 黑	4 黑 1 白	25 黑	13 黑	0	6 黑 2 白	9 黑 1 白	10 黑	0	1 黑	98 黑 4 白
出现频率（分）	30.6%黑	4.1%黑 25%白	25.5%黑	13.3%黑	0	6.1%黑 50%白	9.2%黑 25%白	10.2%黑	0	1.0%黑	共 102 星
出现频率（总）	29.4%	4.9%	24.5%	12.7%	0.0%	7.8%	9.8%	9.8%	0.0%	1.0%	100.0%
黑色分名次	1	7	2	3	9	6	5	4	9	8	
黑+白总名次	1	7	2	3	9	6	4	4	9	8	

物理学专业书中涉及的跨学科概念（物质与能量多为能量）

力学	物质 与能量	结构 与功能	模式/机制 /秩序	模型	尺度、比例 与数量	稳定 与变化	系统	测量	证据	解释
质点运动学				★	☆			★		
牛顿力学				★	☆					★
动量				★			☆			
功与能	★			★						
角动量	★			★	☆					
刚体力学				★						
液体力学				★						
振动与波	☆			★		★				
波				★		★				
相对论和相对论力学				★						
热力学与统计物理（下）	物质 与能量	结构 与功能	模式/机制/ 秩序	模型	尺度、比例 与数量	稳定 与变化	系统	测量	证据	解释
微观可逆性和宏观不可逆性	☆		☆	☆	★					
近独立子系组成的系统的统计理论	★			★	☆		★			
系综理论	★			★						
非平衡态统计理论初步	★			★	☆					
涨落理论	★			★	☆					
原子物理和量子力学（下）	物质 与能量	结构 与功能	模式/机制/秩 序	模型	尺度、比例与 数量	稳定 与变化	系统	测量	证据	解释
外场中的原子	★			★						
多体问题	★		★	★			☆			
分子结构与能谱	★	☆	☆	★						☆
散射	★			★						
量子测量				★						
量子态的非定域性和量子关联				★						★
理论力学	物质 与能量	结构 与功能	模式/机制/ 秩序	模型	尺度、比例与 数量	稳定 与变化	系统	测量	证据	解释
数学基础										
静力学				★		☆	☆			
刚体平面运动学			☆	★						
刚体空间运动学				★						
刚体系运动学计算机辅助分析				★						
矢量动力学基础	★		★	★	★					
刚体动力学			★	★						
分析力学基础			★							

刚体系动力学计算机辅助分析											
★											
固体物理	物质 与能量	结构 与功能	模式/机制/ 秩序	模型	尺度、比例 与数量	稳定 与变化	系统	测量	证据	解释	
晶体的结构		★	★								
晶体的结合	★			★							
晶格振动与晶体热学性质	★			★							
晶体的缺陷	★	★		★							
晶体中电子能带理论	★			★							
自由电子论和电子的输运性质	★			★							
电磁学	物质 与能量	结构 与功能	模式/机制/秩 序	模型	尺度、比例与 数量	稳定 与变化	系统	测量	证据	解释	
静电场的基本规律	★			★							
有导体时的静电场	★										
静电场中的电介质	★			★							
恒定电流和电路	★			★							
恒定电流的磁场				★							
电磁感应与暂态过程	★			★							
磁介质	★			★							
交流电路				★							
时变电磁场和电磁波	★			★							
跨学科概念	物质 与能量	结构 与功能	模式/机制/ 秩序	模型	尺度、比例 与数量	稳定 与变化	系统	测量	证据	解释	总数
出现频数	23 黑 2 白	2 黑 1 白	5 黑 3 白	41 黑 1 白	2 黑 6 白	2 黑	1 黑 3 白	1 黑	0	3 黑 1 白	80 黑 17 白
出现频率（分）	28.8%黑 11.8%白	2.5%黑 5.9% 白	6.3%黑 17.6%白	51.3%黑 5.9%白	2.5%黑 35.3%白	2.5%黑	1.3%黑 17.6%白	1.3%黑	0	3.8%黑 5.9% 白	共 97 星
出现频率（总）	25.8%	3.1%	8.2%	43.3%	8.2%	2.1%	4.1%	1.0%	0%	4.1%	100%
黑色分名次	2	5	3	1	5	5	8	8	10	4	
黑+白总名次	2	7	3	1	3	8	5	9	10	5	

生物类专业书中涉及的跨学科概念

植物学	物质与能量	结构与功能	模式/机制/秩序	模型	尺度、比例与数量	稳定与变化	解释	系统	
植物细胞		★	☆	☆		★		☆	
植物组织		★	★					★	
种子和幼苗		★	★						
根		★				☆			
茎		★				☆			
叶		★				☆			
营养器官之间的联系	★	★							
花	★	★	☆			★			
种子和果实		★		☆		★			
植物界的基本类群与系统演化		★	☆模式			☆	分类学		
被子植物分类的形态学术语							分类学		
被子植物分类		☆				☆	分类学		
植物与环境	★			★		★		★	
植物资源利用与保护									
动物学	物质与能量	结构与功能	模式/机制/秩序	模型	尺度、比例与数量	稳定与变化	系统	证据	解释
原生动物门		★				★			
多细胞动物的发育与起源						★		☆	☆
多孔动物门		★				★			
刺胞动物门		★	消化★机制			★	★		
扁型动物门		★				★	★		
假体动物门		★				★	★	☆	☆
环节动物门		★				★	★		
软体动物门	★	★					★		
节肢动物门	★	★		★		☆	★		
苔藓、腕足动物门		★					★	☆	☆
棘皮动物门		★				★	★		
半索动物门		★				☆	★	☆	☆
无脊椎动物的起源与演化			★模式			★		☆	☆
脊索动物门		★	逆行★变态				★		
圆口纲		★					★		
鱼类		★	☆			☆	★		
两栖纲		★	☆			☆	★		
爬行纲		★		☆			★		
鸟纲	★	★		★	☆		★		
哺乳纲		★		☆			★		
脊索动物的起源与演化						☆		★	★

微生物学	物质与能量	结构与功能	模式/机制/秩序	模型	尺度、比例与数量	稳定与变化	系统	测量	解释
微生物世界	★				★				
微生物代谢	★能量		★	★	☆				
信息的储存与传递		★	★	★	☆				
细菌的结构与功能		★	★	★	☆			★	
细菌的遗传		★	★	☆		☆		★	
环境中的细菌与古生菌	★		★	☆		☆			
真核微生物概述		★	★	☆		★			
真菌及其相关门类	★	★	★	★	★	☆		★	
绿藻门和原生生物	★	★	★			★			
病毒		★	★	☆	☆	☆		★	分类学

遗传学	物质与能量	结构与功能	模式/机制/秩序	模型	尺度、比例与数量	稳定与变化	系统	测量	证据	解释
遗传的细胞学基础		★	★	☆	★	★				
遗传物质的分子基础		★	★	★	☆					
孟德尔遗传			★		★					★
连锁遗传和性连锁			★	☆	★	☆				★
基因突变		☆	★	☆	☆	☆				
染色体结构变异			★	★		☆				☆
染色体数目变异			★		★	☆				☆
数量性状的遗传			★	★	★					☆
近亲繁殖和杂种优势			★	☆	★					☆
细菌和病毒的遗传		★	☆	★	★	★				☆
细胞质遗传		☆	★	★		☆				
基因工程			★	☆	★					
基因组学				★						
基因表达的调控		★	☆	★	☆					
遗传与发育			☆	☆		☆				
群体遗传与进化					★					★

跨学科概念	物质与能量	结构与功能	模式/机制/秩序	模型	尺度、比例与数量	稳定与变化	系统	测量	证据	解释	总数
出现频数	11 黑	39 黑 3 白	25 黑 8 白	14 黑 14 白	11 黑 8 白	17 黑 20 白	16 黑 1 白	4 黑	5 白	8 黑 10 白	145 黑 69 白
出现频率（分）	7.6%黑	26.9%黑 4.3%白	17.2%黑 11.6%白	9.7%黑 20.3%白	7.6%黑 11.6%白	11.7%黑 29.0%白	11.0%黑 1.4%白	2.8%黑	7.2%白	5.5%黑 14.5%白	共 214 星
出现频率（总）	5.1%	19.6%	15.4%	13.1%	8.9%	17.3%	7.9%	1.9%	2.3%	8.4%	100%
黑色分名次	6	1	2	5	6	3	4	10	9	8	
黑+白总名次	8	1	3	4	5	2	7	10	9	6	

化学专业书中涉及的跨学科概念（物质与能量一般均涉及，以物质为主）

有机化学	物质 与能量	结构 与功能	模式/机制/ 秩序	模型	尺度、比例 与数量	稳定 与变化	系统	测量	证据	解释
绪论				★						
烷烃	物★质	★		★	☆					
烯烃和红外光谱	★	★		★	☆					
炔烃、共轭二烯烃和外光谱	★	★		★	☆					
脂环烃	物★质	★		★	☆					
芳香烃	★	★		★						
对映异构	物★质	★		★						
卤代烃	物★质	★	★	★	☆					
醇、酮、醚	物★质	★		★						
醛、酮和核磁共振谱	物★质	★	★	★						
羧酸、羧酸衍生物和质谱	物★质	★		★						
胺及其生物	物★质	★		★						
碳水化合物	物★质	★		★						
杂环化合物	物★质	★		★						
氨基酸、蛋白质和核酸	物★质	★	☆	★						
有机化学	物质与能量	结构与功能	模式/机制/秩序	模型	尺度、比例与数量	稳定与变化	系统	测量	证据	解释
物质的状态		☆	☆	★						
化学势力学初步	物★质						☆			
电离平衡	物★质					★				
氧化还原反应			★			★				
原子结构	★	☆	☆	★						
化学键和分子结构	★	☆	★	★	☆					
配合物与配位平衡	物★质	☆		★	☆	★				
s 区元素	★				☆					
p 区元素	★			★	☆					
ds 区元素	★			☆		★				
d 区元素	★		☆	☆	☆					
无机化学言简介	物★质	★								
物理化学	物质 与能量	结构 与功能	模式/机制/秩序	模型	尺度、比例与数量	稳定 与变化	系统	测量	证据	解释
化学热力学基础	★			★			★			
自由能、化学势和溶液	★			★						
相平衡				★		☆	★			
化学平衡	☆			★				★		
电解质溶液			★	★	☆			★		

物理化学	物质 与能量	结构 与功能	模式/机制/秩 序	模型	尺度、比例与 数量	稳定 与变化	系统	测量	证据	解释
电化学			☆	☆				★		
化学动力学	★		★	★						
表面物理化学	★	☆	☆	★	☆			☆		
胶体化学	★	★	★	★			★	★		
高分子溶液		☆		★	☆	★				
结构化学基础	★	★		★	☆					
光谱学简介	★		☆	★	☆					

水分析化学	物质与能量	结构与功能	模式/机制/秩 序	模型	尺度、比例与 数量	稳定与变化	系统	测量	证据	解释
绪论										
水分析测量的质量保证	★							★		
酸碱滴定法			★			☆		★		
络合滴定法	★		★			☆		★		
沉淀滴定法			★			★		★		
氧化还原滴定法	★			★		☆		★		
电化学分析法			★					★		
吸收光谱法			★					★		
色谱法								★		
原子光谱法			★					★		
课堂实验	★							★		

有机化学实验	物质 与能量	结构 与功能	模式/机制/秩 序	模型	尺度、比例 与数量	稳定 与变化	系统	测量	证据	解释
有机化学实验基本操作			☆	★				★		
有机化合物的制备与反应	★							★		
有机化合物的鉴定	★							★		

晶体化学及晶体物理学	物质与能量	结构与功能	模式/机制/秩 序	模型	尺度、比例与 数量	稳定与变化	系统	测量	证据	解释
绪论										
晶体学基础	★		★	★						
原子键合	★	★		★	★					
晶体场理论与配位理论	★	★	★							★
晶体结构		★								
晶体的相变及有关现象		★	★							

晶体缺陷		★	★
晶体的物理性质	★	★	★
晶体生长简介	★	★	★

跨学科概念	物质 与能量	结构 与功能	模式/机制/ 秩序	模型	尺度、比例 与数量	稳定 与变化	系统	测量	证据	解释	总数
出现频数	42 黑 1 白	21 黑 10 白	20 黑 7 白	36 黑 5 白	1 黑 15 白	6 黑 4 白	3 黑 1 白	17 黑 1 白	0	2 黑	148 黑 44 白
出现频率（分）	28.4%黑 2.3%白	14.2%黑 22.7%白	13.5%黑 15.9%白	24.3%黑 11.4%白	0.7%黑 34.1%白	4.1%黑 9.1% 白	2.0%黑 2.3% 白	11.5%黑 2.3%白	0	1.4%黑	共 192 星
出现频率（总）	22.4%	16.1%	14.1%	21.4%	8.3%	5.2%	2.1%	9.4%	0.0%	1.0%	100%
黑色分名次	1	3	4	2	9	6	7	5	10	8	
黑+白总名次	1	3	4	2	6	7	8	5	10	9	

附件 5：正式测验主观题评分标准

题号	回答标准	示例	得分
Q2	A		0
	B		2
	C		0
	D		
	E:存在科学错误	如“动能和势能均为零。机械能被消耗殆尽”	
	E:放弃解释	如“猜的”	
	E:回答不完整，构不成语句	如“有阻力”	1
	E:能够从克服阻力以及能量消耗的角度分析原因，但没有明确使得小球停下来所消耗的能量类型（即动能）	如“球在运动的过程中会有空气阻力，将能量消耗了”或“空气阻力做功”	
	E:叙述完整正确，但未准确回应题目中“停下来”的理由（即动能消耗）	如“小球下降过程中重力势能一部分转化为动能一部分由于阻力而被消耗”	
	E:叙述完整，从克服阻力做功以及动能消耗的角度分析原因，但存在不严谨信息	如“小球停止摆动说明此系统为非理想性模型，则存在其他力，而最后小球停下来了，动能被转化为克服空气阻力摩擦力做功，能量并不会凭空消失。”	
Q3B	E. 回答完整，正确，准确回应题目问题，理解做功与能量转化的联系，能够认识到小球停下来的本质原因为动能被耗尽，而非其他形式能。	如“小球克服重力和空气阻力做功，导致动能转化为自己的内能和重力势能，重力势能与动能再次相互转化，克服空气阻力做功产生内能，最终小球动能全部转化为内能”	2
	能够准确说出电场力做功与电势能变化之间的关系，语句完整通顺，逻辑清楚	如“图一两电荷被拉开时电场力做负功，电势能增加。图二两电荷被吸引在一起电场力做正功，电势能减少。”	1
	存在科学错误	如“每个电荷所受库仑力大小相同”	0
	放弃解释题目	如“不会写这道题”	
Q4B	只写出与电势能、电势或电场有关的公式，但是没有相关解释	如“根据电势能公式 $\phi = -kQq/2r$ ”	1
	能够准确说出质量损耗的过程、结果和依据，语句完整无错误	如“因为核衰变前后质量守恒，而反应后释放出了一部分质量以能量形势存在，所以 X 质量=Y 和 Z 的总质量+释放出的能量（质量），所以选 C。” 或“由质能方程，可知放出能量后体系质量会减少，相当于部分质量转化为能量。”	
	存在科学错误	如“质量守恒”或“能量耗散 结合能”	0
	放弃解释题目	如“不清楚”	
	只写出与质能方程有关的公式或提到质能方程，但是没有相关解释	如“显然。 $e=mc^2$ ”或“质能方程”	
	叙述虽然符合科学事实，与题目有关，但没有点明正确选项中质量减小的根据，文不对题	如“能量守恒”	

题号	回答标准	示例	得分
Q8B	语句完整无错误，能够准确说出青蛙和蚊子在过程中的能量转化或在生物链/食物链中能量与能级的关系，或利用能量转化效率的概念解释现象。	如“生命活动消耗能量，包括“吃”这一动作以及呼吸等。”或“能量在食物链的传递是逐级递减的（利用率低）。”或“能量在营养级之间的传递效率为 10%—20%并不是全部”	1
	存在科学错误	如“蚊子总能量不变 蚊子吸血后又被吃掉相当于不变”	0
	放弃解释题目	如“猜的...”	
	只写出与能量守恒定律相关的概念，但是没有相关解释	如“能量守恒”	
	叙述虽然符合科学事实，但与题目所问问题关联不大，文不对题	如“蚊子吸青蛙的血不构成食物链”	
	语句不完整，无法了解学生对问题的具体看法	如“因为被消耗了”	
Q11B	语句完整无错误，能够准确说出电子自发跃迁是从高能级到低能级，或明确题目 3 个过程的能量变化与自发跃迁的关系	如“由于当铬离子处于第三能级的激发态时不稳定，容易跃迁到低能级的基态，并以光子的形式释放能量，此过程是自发进行的”或“电子能级的跃迁，从低能级到高能级要吸收能量，为非自发；而从高能级到低能级要释放能量，为自发，所以是 2 和 3。”	1
	存在科学错误	如“能级可以自发降低”	0
	放弃解释题目	如“忘了这部分知识，蒙的”	
	只写出与能量相关的概念或公式，但是没有相关解释	如“ $E=h\nu$ ”或“能量最低原理”	
	叙述虽然符合科学事实，但未能直接回答题目问题，即文不对题	如“提升能级需要吸收能量，降低能级需要放出能量”或“低能级比高能级更稳定”	
	语句不完整，无法了解学生对问题的具体看法	如“能量由高到低”	
Q15B	语句完整无错误，能够准确理解在孤立系统中，总能量为守恒的，而细胞呼吸作用只会影响系统内部的能量转化	如“整个系统中可以近似看做能量守恒”或“有机物里原有的化学能一部分转化为 ATP 等高能磷酸化合物里的化学能，一部分以热能的形式散发到周围的环境当中，但根据能量守恒原理，系统的总能量不变”或“能量守恒”	1
	存在科学错误	如“还没用能量”或“细胞呼吸释放能量用于生命活动，且部分能量以热能形式散失，系统总能量降低”	0
	放弃解释题目	如“应该不变吧？”	
	叙述虽然符合科学事实，但未能直接回答题目问题，即文不对题	如“水不属于能量”	
	语句不完整，无法了解学生对问题的具体看法	如“孤立体系”	
Q25B	语句完整无错误，能够准确说出饱和蒸气压、相对湿度或相似概念，或对湿度的影响因素有所描述，非简单重复选项	如“可能到达水的饱和蒸气压，这时空气湿度最大。”或“湿度和温度与环境都有很大的联系，初始湿度不定时，变化不可知。”	1
	存在科学错误	如“空气经过，即风的经过，可以扩散水汽，湿度增加。”	0
	放弃解释题目	如“这个不太懂，靠感觉选的。”	
	只写出与湿度相关的概念，但是没有相关解释	如“相对湿度”	

题号	回答标准	示例	得分
	所述回答完整，较有逻辑，但考虑不够周到，不清楚空气湿度饱和的概念	如“因为湖面上的水分子在不停的运动，当空气经过，水分子进入到空气中，所以湿度会增加”	
	简单重复选项内容	如“本身的空气湿度未知”	
	语句不完整，无法了解学生对问题的具体看法	如“影响因素较多”	
Q27B	语句完整无错误，能够准确理解卢瑟福实验的目的，即发现原子核式结构，正确解释 α 粒子大多数未发生偏转的原因或 α 粒子发生偏转的原因从而解释实验现象。	如“金原子中能干扰阿尔法粒子通过的是位于原子中心的原子核，但原子核只占极小的一部分体积。” 或“因为在原子中，原子核占地很小，电子又无法阻挡 α 粒子，这个金箔又比较薄，所以大部分 α 粒子都穿过了原子没受太大影响。”	1
	存在科学错误	如“ α 粒子原子核大”或“衍射现象吧”	0
	放弃解释题目	如“书上有我忘记了”	
	只写出与原子结构或实验相关的概念，但是没有相关解释	如“原子核式结构”或“ α -粒子散射实验”	
	叙述虽然符合科学事实，但所回答内容并非本题的本质原因	如“ α 射线具有更强的穿透力” 或“根据卢瑟福的理论，大多数 α 粒子不改变轨迹，只有少数发生偏转。”	
	语句不完整，无法了解学生对问题的具体看法	如“穿透性强”	

致 谢

匆匆又三年，这已经是我在师大的第七个年头。转眼毕业将至，回忆起七年前初来北师大时的场景，仿佛就在眼前，不禁感叹时间流逝。三年一路走来，汗水与泪水交织，快乐与痛苦相伴。这三年，让我更加懂得感恩，懂得珍惜。

首先，我想感谢我的恩师高潇怡教授的耐心教导。本论文从选题、设计工具、收集数据到论文的撰写，每一步都是在高老师的耐心指导下完成的。在遇到选题的困惑时，高老师帮我把握方向；在收集数据受阻时，高老师主动帮我解决，扫除路上坎坷；在写作成文时，每一个细节之处高老师都事无巨细地帮我指出问题...也正是老师的辛勤付出才让这篇论文在最后能够收获较好的评价。当然，高老师对我的指导远不止论文这么一点，三年来高老师为了培养我倾注了大量的心血，让我树立了远大的学术目标、掌握了基本的研究方法，还教给了我许多待人接物与为人处世的道理。在学术上，是高老师帮助我搭上了学术的顺风车：为我搭建平台与国外的优秀学者对话、合作；带着我参加国际会议看看前沿的学术探讨、拓宽眼界；给我机会参与课题，让我充分锻炼、平衡发展...在生活上，高老师为人宽厚，待人公平，对学生像对自己的孩子一样：当学校发了话剧票，老师会带着我和师姐去看；元宵节到了，老师会亲手为离家在校的我们煮元宵；当我身体不舒服，老师会跟着担心；当我遇到生活上的困难，老师会给予我安慰并告诉我该怎么做；出国在外的日子，老师会不辞辛劳的从家中带着厨具，清晨会早早将水果洗好递给我，即使身体不舒服也坚强地告诉我她没事，不用担心；老师喜欢看到我们的成长与进步，说那是她最幸福的时刻...

三年来，老师的一言一行都传递了学者的风范和教师的高尚，她的人格魅力感染着师门的每一个人。我在过程中学到了很多，却也有很多还没有达到老师对我的期望。在此，我想对老师说：您辛苦了！在未来的日子我会牢记您教给我的道理，做个积极、善良的人。将来到实践中我也会时常反省自己、勤于思考，不辜负您这三年对我的培养。希望在以后的日子里，您能成为一个更加懂得养生的人，注意休息，别像我一样总是为学生的事情而着急上火。学生这几年有不懂事儿的地方希望老师能够原谅，未来无论我在哪里，您都是我一生最敬爱的老师，有机会我一定常回家看看！

此外，本论文的顺利完成，离不开各位老师、同学的关心和帮助。在此感谢沈迹老师、柳秀峰老师、刘恩山老师、Treagust 教授、Lederman 教授夫妇的指导；感谢魏锐老师、李国军老师以及无名的老师们在收集数据时给予的帮助；感谢三所师范大学物理、化学、生物、环境、地理专业的学生，是你们的支持才能让这篇论文顺利完成；感谢师门小伙伴们在工具编制、收集数据、论文修改等环节的帮助，感谢慧芳师姐、树君师姐、黄真、菲菲、佳音、雅洁、宁萱、敏汝、文莉、娅妮、晓雅、宇琪，谢谢你们，因为你们我感到了团队

的强大和家的温暖；感谢班主任鲁妩媚老师对我的鼓励和帮助；感谢张斐老师对我的关心。祝各位老师、同学日后生活顺意，开开心心！

感谢与我相伴生活了三年的三个好姐妹，火火、雯雯和娇儿，三年的宿舍生活，我们一起经历了很多的欢乐，留下了很多美好的记忆。日后我们将分布全国各地，希望还能有机会聚到一起谈天说地；感谢研会的小伙伴，雪涵主席大大、学敏、璐辰、张岩还有办公室的仙女们，我在研会收获了很多技能，也收获了最珍贵的友谊，希望我们的友谊能够地久天长。

感谢一直陪伴我的好朋友，亚男、雨晴、梦雪、美姗、叶子还有总不出现的小林子，从本科建立起的友谊到今天已经七年，路上的风雨让我们更加了解彼此，也更珍惜彼此。还记得我们当时许下的十年之约，希望有一天我们可以实现。

最后，我要感谢我的父母，你们给了我生命，教育我成长，无微不至地关心我，尽全力帮助我，为我提供了温馨无忧的生活环境。有父母如此，我是如此幸运，愿你们平安健康，幸福一生。

回看三年，收获满满。现在的我比三年前自知、自信，在做学问、做事、做人上都得到了很大的成长和锻炼。真心感谢三年路上的每一个人，是你们的支持、帮助，让我成为今天的我。这三年的经历、遇到的人、遇到的事，都是我未来路上珍贵的宝藏，遇见你们我很幸运，希望在未来的工作生活中，我能将这份幸运传递给我的学生。

李佩珊

2020 年 6 月于家