

doi:10.3969/j.issn.1000-7695.2023.18.024

科学生产率视角下我国理工学科“双碳”研究现状分析

韩红旗^{1,2}, 马 峥¹, 张兆锋^{1,2}, 林 毅^{1,2}

(1. 中国科学技术信息研究所, 北京 100038;
2. 富媒体数字出版内容组织与知识服务重点实验室
(国家新闻出版署), 北京 100038)

摘要: 关注“双碳”学科建设和科技创新中职业学者这一相对稳定的人才队伍, 以及作为减碳、降碳、固碳重要科技和工程基础的理工类学科的“双碳”研究发展状况, 为学科发展和科技政策制定提供相关依据。从科学生产率视角出发, 引入“职业学者”概念, 根据文献调研和专家咨询确定 11 个与“双碳”相关的理工学科, 基于期刊学科映射表选择学科重要期刊, 通过采取关键词统计、专家经验、分类算法等确定相关论文, 并根据发文量特征确定作者中的职业学者, 形成可供进一步分析的数据, 然后从人员投入、论文产出、知识创新效率 3 个方面设计指标, 分析、对比职业学者群体在各学科领域的发展特征, 找出“双碳”科研发展存在的突出问题。结果显示: 我国理工类“双碳”科技人才、论文产出在总体上增长较快。职业学者方面, 其“双碳”论文产出处于明显的支配地位, 是学科新知识的主要贡献者, 但其创造新知识的速度与普通作者相比要差一些; 其科学生产率也远超过普通学者, 且其科学生产率变化一般要显著优于全部作者, 只有石油与天然气工程学科是个例外。但同时存在理科发展受阻和环境科学与工程、交通运输工程、石油与天然气工程、矿业工程等 4 个工科学科知识创新效率下降较快的问题, 特别是化学、大气科学、石油与天然气工程和环境科学与工程 4 个学科的职业学者的科学生产率明显下降问题, 并针对此提出采取措施重视理科学科的“双碳”科研发展、提高学者的科学生产率和充分发挥现有工科学科的人才和成果优势等建议。

关键词: “双碳”研究; 职业学者; 理工科; 科学生产率; 学科发展

中图分类号: G353.1; G311; G301

文献标志码: A

文章编号: 1000-7695 (2023) 18-0203-08

Current Situation Analysis of the Research of Carbon Peaking and Carbon Neutrality in Science and Engineering in China from the Perspective of Scientific Productivity

Han Hongqi^{1,2}, Ma Zheng¹, Zhang Zhaofeng^{1,2}, Lin Yi^{1,2}

(1. Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038, China;

2. Key Laboratory of Rich-media Knowledge Organization and Service of Digital Publishing Content, National Press and Publication Administration, Beijing 100038, China)

Abstract: It will provide relevant decision support for discipline development and science and technology policy formulation in carbon peaking and carbon neutrality (CPCN) to concern professional scholars which are relatively stable research groups, and analyze the current situation in science and engineering disciplines which are important scientific and engineering foundations for carbon emission reduction, carbon reduction and carbon sequestration. From the perspective of scientific productivity, the concept of professional scholars is introduced, and 11 science and engineering disciplines related to CPCN are identified according to literature survey and suggestions of experts. Afterwards, scientific papers are collected from 67 important journals based on the mapping table between journals and disciplines. The analysis dataset is created based on keyword statistics, expert experience, and classification algorithms. The professional scholars among authors are determined according to the characteristics of publication counts. Then, personnel investment indicators, scientific output indicators and knowledge innovation efficiency indicators are designed to discover prominent problems by analyzing and comparing the development characteristics of professional scholars in various disciplines. The results show that the overall growth of authors and publications in CPCN disciplines in China is relatively fast. As for professional scholars, their scientific publications are clearly dominant and they are the

收稿日期: 2023-04-19, 修回日期: 2023-10-24

基金项目: 国家重点研发计划项目“颠覆性技术识别理论、方法与专家预判系统”(2019YFA0707201); 中国科学技术信息研究所创新基金青年项目“细粒度的多模态科技文献检测”(QN2023-08)

main contributors to new knowledge in CPCN disciplines. However, their speed of creating new knowledge is slower than that of ordinary authors, their scientific productivity is also much higher than that of ordinary scholars, and their growth speeds in scientific productivity are significantly better than other authors in all disciplines with the exception of the discipline of petroleum and natural gas engineering. At the same time, two prominent problems are found. The first problem is that there are some obstacles in the development of CPCN science disciplines. The second problem is that the declining in scientific productivity has emerged in four CPCN engineering disciplines, namely environmental science and engineering, transportation engineering, oil and gas engineering, and mining engineering. In particular, the scientific productivity of professional scholars has significantly decreased in four engineering disciplines, namely chemistry, atmospheric science, oil and gas engineering, and environmental science and engineering. In response to this, some constructive suggestions are proposed, such as attaching importance to CPCN science disciplines, improving the scientific productivity of scholars, and fully leveraging the talent and achievements advantages of CPCN engineering disciplines.

Key words: carbon peaking and carbon neutrality research; professional scholar; science and engineering disciplines; scientific productivity; disciplinary development

1 研究背景

2030 年碳达峰和 2060 年碳中和是我国政府经过深思熟虑作出的重大战略决策。碳达峰碳中和（以下简称“‘双碳’”）目标将引导中国经济走向更加绿色和可持续发展^[1]，有利于形成更加健康和可持续的生产生活方式^[2]，有利于提升中国的能源安全^[3]。教育部为落实国家实现“双碳”目标的重大战略决策，于 2022 年 10 月 26 日印发《绿色低碳发展国民教育体系建设实施方案》，鼓励有条件、有基础的高等学校、职业院校加强相关领域的学科、专业建设，创新人才培养模式，支持高等学校开展碳达峰碳中和科研攻关、政策研究和社会服务。显然，“双碳”学科的建设 and 科技创新需要依靠对领域研究现状的充分了解。然而，当前对于学科发展现状的研究多基于发文量、被引频次等计量指标，比如郭金忠等^[4]对于物理学科、邹亚飞等^[5]对于植物保护学科、潘颖等^[6]对于农业工程学科的发展现状研究等，多关注国家、区域、机构等层面，很少关注到人的因素，尤其是没有考虑到职业学者的情况。职业学者是在高校、科研院所或企事业单位从事相关科研工作的科研人员，他们在相关学科科技发展中是相对稳定的人才队伍，常常以论文作为主要研究成果，一般职业变化较小、在学科领域的人数较少，但在领域科技发展中有举足轻重的地位，常常主导着学科领域的科技发展方向。与职业学者对应的是普通学者，他们一般是从事短期科研工作的研究生或企事业单位工作人员，相对而言，他们在学科建设和科技研发中处于辅助地位，对学科发展的影响较小。这两类学者是科技论文发表的主要贡献者，两类人员变化情况、知识生产效率等群体特征影响着学科科研的发展。

“科学生产率（scientific productivity）”是美国学者洛特卡（Lotka）^[7]于 1926 年提出的一个概念，是通常以论著数量来衡量的科学生产能力，表示论文与作者之间的定量关系。科学生产率不仅能用来衡量个人著述的频率分布规律，而且也能衡量机构和团体著述的频率分布规律^[8]。对科学生产率概念的理解有两种认识，一种将此概念与洛特卡定律（Lotka's law）视为同一个概念，如 Priya 等^[9]、伍玉成等^[10]的研究；另一种从该概念含义出发，将科学生产率定义为平均每个作者发表的论文数量^[11]。本研究采用后一种认识，将学科作者的平均发文量定义为该学科的科学生产率，它衡量了学科科研人员在科学上所表现出的能力和工作效果。

“双碳”目标的达成需要多学科合作，其中理工类学科是减碳、降碳、固碳的重要科技和工程基础。为了解我国理工类“双碳”相关学科的发展情况，对“双碳”包含的学科进行调研，选择 11 个与“双碳”相关的一级学科开展研究。基于学科期刊映射表选择每个学科的重要核心期刊，采集中文论文数据，然后根据论文学科属性和作者发文特征确定学科中的职业学者，根据关键词特征确定学科领域的“双碳”研究论文，形成分析数据集。最后，从科学生产率视角下的科研人员、论文产出、科学生产率出发，设计相关指标，研究普通学者和职业学者两个群体的数量指标变化特征，以了解各学科人才储备和知识生产发展变化情况，提出政策建议供相关部门参考。

2 研究设计

研究大体上可以分为 3 个阶段：获取“双碳”学科相关论文数据、对数据加工处理并形成可分析的数据格式、“双碳”学科发展情况分析，具体流程见图 1。

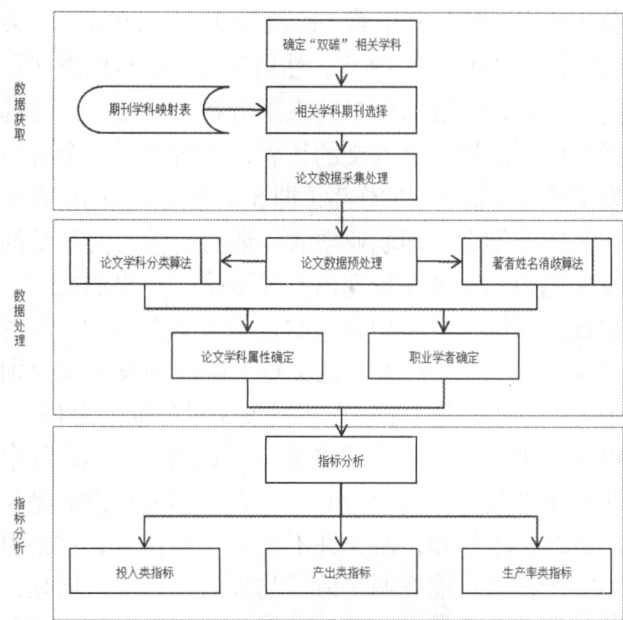


图 1 我国理工类“双碳”相关学科发展研究流程

表 1 我国理工类“双碳”相关学科和重要期刊

学科代号	学科名称	期刊名称
0703	化学	《电化学》《分子催化》《化学学报》《物理化学学报》
0706	大气科学	《大气科学学报》《气候变化研究进展》《气象》
0805	材料科学与工程	《中国材料进展》《复合材料学报》《无机材料学报》
0807	动力工程及工程热物理	《动力工程学报》《燃烧科学与技术》《热能动力工程》《制冷学报》
0813	建筑学	《城市规划学刊》《给水排水》《建筑节能中英文版》《建筑科学》《南方建筑》《暖通空调》《西安建筑科技大学学报自然科学版》《西部人居环境学刊》《混凝土》
0817	化学工程与技术	《当代化工》《化工进展》《化工学报》《膜科学与技术》《无机盐工业》《现代化工》《粘接》《煤化工》《石化技术与应用》《天然气化工》《造纸科学与技术》
0819	矿业工程	《中国矿业》《金属矿山》《矿山机械》《矿业研究与开发》
0820	石油与天然气工程	《石油炼制与化工》《石油学报石油加工》《天然气工业》《油气储运》《能源化工》
0823	交通运输工程	《城市交通》《汽车技术》《长安大学学报自然科学版》《中国公路学报》《船舶工程》《船舶力学》《大连海事大学学报》《上海海事大学学报》《铁道科学与工程学报》《中国铁道科学》
0828	农业工程	《农业工程学报》《农业环境科学学报》《农业机械学报》《农业现代化研究》《农业资源与环境学报》
0830	环境科学与工程	《环境保护科学》《环境工程》《环境工程技术学报》《环境科学》《环境科学学报》《环境科学与技术》《环境污染与防治》《中国环境科学》《自然资源学报》

然后，考虑“双碳”目标是 2020 年正式提出的，以及 2019 年年底开始的新冠疫情可能对科学研究的影响，采集选定期刊 2010 至 2019 年的论文题录信息，主要包括题名、摘要、关键词、作者、作者机构、发表时间等字段，剔除形式多样的征稿启事、会议通知、新书介绍等非论文数据，并对类别众多的异常数据进行额外处理后，剩余 157 013 篇论文（以下简称“全部论文”）数据。之后，对论文数据的关键词进行统计，人工从各个学科的关键词统计结果中筛选出频率高（阈值设定为出现在 3 篇论文以上）且与“双碳”研究内容相关（在文献数据库和搜索引擎中验证）的词，频率高说明该词得到较多学者认可，内容相关表明该词与“双碳”相关，形成学科“双碳”词集，并根据调研和专家意见形成通用“双碳”词集。进一步，将关键词出现在“双碳”通用词集或对应“双碳”学科词集中的论文筛选出来作为“双碳”论文数据，

第 1 阶段的目的是采集相关论文数据。“双碳”是一个跨学科研究领域，涉及交通运输工程、石油与天然气工程、化学工程与技术等多学科，掌握“双碳”相关全部学科知识的学者几乎没有，因此构造关键词检索式从数以千万或亿篇计的文献中检索“双碳”研究论文成为一个基本不可能完成的任务。鉴于此，本研究首先根据文献调研和专家咨询确定“双碳”相关的理工学科，然后根据中国科学技术信息研究所在长期开展的期刊评价工作中形成的期刊学科映射表选择学科的相关核心期刊（见表 1）。

共 17 226 条论文数据（以下简称“‘双碳’论文”），约占全部论文数量的 11%。

第 2 阶段的目的是对全部论文数据进行加工处理，主要包括论文学科类别确定和作者姓名消歧处理，为学科的发展分析奠定基础。现有的中文文献数据库中缺少学科字段（中国社会科学引文索引除外，但该数据库并不涵盖工程科技类论文），因此首先需要确定论文的学科类别。虽然论文的学科类别可以根据期刊学科映射表来确定，但有两类论文的学科类别属性还不能判定。一类是刊载在大学学报等综合性期刊中的论文，这些论文可能是本学科的，也可能是其他学科的。另一类是有两个或以上中图分类号的论文，它们一般是跨学科论文，但其内容究竟属于哪个或哪些学科需要确定。为此，抽取类别没有疑问的论文形成训练数据集，参考 Ran 等^[12]和冉亚鑫等^[13]的研究思路，基于 FastText

算法开发的层次分类算法和 Stacking 分类算法构建分类模型，其中 FastText 算法用于学科门类确定，Stacking 算法用于一级学科确定，然后采用分类模型对上述两类论文的学科类别进行标注。借鉴 Han 等^[14]的做法，作者姓名消歧采用语义指纹著者姓名消歧算法，对全部论文中的同名作者进行消歧处理，消歧后共有 399 761 位作者，其中“双碳”论文的作者数量 59 576 位，约占全部论文数量的 15%。

第 3 阶段的目的是从科学生产率视角提出相关指标来分析“双碳”领域职业学者群体的特征。借鉴唐崇敏等^[15]、王鸿飞等^[16]、李金算等^[17]学者关于科技论文产出效率的研究，设计人员投入、论文产出、知识创造效率 3 类指标来分析各学科发展情况。其中，人员投入测算了两类学者的数量和变化情况，成果产出测算了他们产生的论文数量和变化情况，知识创造效率测算了他们创造“双碳”论文知识的效率。

为了确定职业学者，将论文数据按照发表时间

分为两个阶段，其中第 1 阶段为 2010—2014 年，第二阶段为 2015—2019 年，然后对每个学科的发文量进行统计，通过对结果的人工分析和验证，最终选择在两个阶段均有发文的作者，或者在每一个阶段发文量在 3 篇以上的作者（即 5 年发文 3 篇的作者）作为职业学者，即职业学者一般有持续时间较长的发文能力，或者在短期内有较多论文产出的能力。假设“双碳”论文中共包含的论文数量为 P ，作者数量为 A 。将“双碳”论文每个阶段的发文量分别记为 P_1 、 P_2 ，其中职业学者的发文量分别记为 PP_1 、 PP_2 ；将两个阶段的作者数量分别记为 A_1 、 A_2 ，其中职业学者数量分别记为 PA_1 、 PA_2 。需要注意的是， P 是 P_1 、 P_2 的和，而 A 并不是 A_1 、 A_2 的和，这是因为一个作者可能在两个阶段均发表了论文；同理，若记职业学者数量为 PA 的话，它也不是 PA_1 、 PA_2 的和。表 2 展示了“双碳”论文作者数量和发文量、职业学者数量和发文量指标，以及各指标在两个阶段的情况。

表 2 “双碳”论文有关统计结果

学科代码	全部学者						职业学者					
	作者数量 / 人			发文量 / 篇			作者数量 / 人			发文量 / 篇		
	A	A_1	A_2	P	P_1	P_2	PA	PA_1	PA_2	PP	PP_1	PP_2
0703	5 141	3 018	2 367	1 334	781	553	1 312	916	635	1 013	617	396
0706	1 879	985	1 011	583	306	277	575	349	324	450	239	211
0805	3 047	1 226	1 930	735	306	429	609	322	392	472	211	261
0807	2 906	1 311	1 782	1 008	423	585	876	474	585	862	366	496
0813	1 945	855	1 170	638	286	352	707	368	417	482	228	254
0817	17 857	6 294	12 618	5 305	1 814	3 491	5 693	2 572	4 168	4 320	1 518	2 802
0819	2 324	917	1 499	766	311	455	687	317	440	496	209	287
0820	2 962	1 376	1 766	1 001	466	535	935	497	618	743	365	378
0823	2 426	817	1 712	750	263	487	746	317	527	563	209	354
0828	7 369	3 294	4 638	2 055	903	1 152	2 428	1 293	1 618	1 791	778	1 013
0830	11 720	5 191	7 172	3 051	1 374	1 677	3 965	2 002	2 537	2 589	1 175	1 414

有关 3 类指标定义如下：第一类，人员投入指标。包括：

（1）作者数量变化率指标（ I_1 ）。该指标定义为两个阶段作者数量的变化率，即

$$I_1 = \frac{A_2 - A_1}{A_1}$$

(1)

当 I_1 指标为正时，表示学科的吸引力上升，人才储备能力增强，未来发展将有更多可用的人才；反之，表明学科吸引力下降，人才将面临减少的局面。

（2）职业学者数量变化率指标（ I_2 ）。该指标定义为两个阶段职业学者数量的变化率，即

$$I_2 = \frac{PA_2 - PA_1}{PA_1}$$

(2)

当 I_2 指标为正时，表示学科对职业学者的吸引力上升，职业人才储备能力增强，学科未来发展将

有更多可用的职业人才；反之，表明学科吸引力下降，职业人才将面临减少的局面。

（3）职业学者占比指标（ I_3 ）。该指标定义为职业学者占全部学者的比例，即

$$I_3 = \frac{PA}{A}$$

(3)

当 I_3 指标较高时，说明学科的职业人才队伍力量较强，学科发展更多地依赖于职业学者，一般学者的影响力较弱；反之，说明学科的职业人才队伍力量较弱，一般学者对学科发展有更多的影响力。需要注意的是，虽然职业学者占比指标能够说明一定的问题，但因为学科的特点不同，我们不能简单地根据该指标来说明一个学科的职业学者占比高则该学科就一定发展得好。

（4）职业学者占比变化率指标（ I_4 ）。该指标

定义为职业学者占全部学者比例的变化率,即

$$I_4 = \frac{\frac{PA_2 - PA_1}{A_2 - A_1}}{\frac{PA_1}{A_1}} \quad (4)$$

当 I_4 为正值时,说明职业学者占比提高,学科可能出现了好的发展势头,吸引了更多的普通学者成为职业学者,学科建设核心人才队伍扩大,数值越大则表示核心人才队伍规模扩大得越多;反之,当 I_4 为负值时,说明学科对职业学者的吸引力下降,学科建设的核心人才队伍出现萎缩,数值越小则表示核心人才队伍规模萎缩得越大。

第二类是论文产出指标。包括:

(1) 发文量变化率指标 (R_1)。该指标定义为两个阶段发文量的变化率。即

$$R_1 = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \quad (5)$$

当 R_1 为正值时,说明学科的发文量同比增加,学科的知识增长速度为正,学科整体实力得到加强,数值越大表明增长速度越快;反之,当 R_1 为负值时,说明学科的发文量出现下降,学科的知识增长速度下降,数值越小则表明发文量减少的比例越大。

(2) 职业学者发文量变化率指标 (R_2)。该指标定义为职业学者在两个阶段发文量的变化率。即

$$R_2 = \frac{PP_2 - PP_1}{PP_1} \quad (6)$$

当 R_2 为正值时,说明职业学者的发文量同比增加,说明职业学者生产更多的学科知识;反之,当 R_2 为负值时,说明职业学者生产学科知识的数量同比下降。

(3) 职业学者发文量占比指标 (R_3)。该指标定义为职业学者论文数量占整体论文数量的比例。该指标说明职业学者对学科知识的贡献度。即

$$R_3 = \frac{PP}{P} \quad (7)$$

R_3 数值越大,说明职业学者对整个学科知识的贡献越大;反之,当 R_3 数值较小时,说明职业学者对学科发展的贡献较小。

(4) 职业学者发文量占比变化率指标 (R_4)。该指标定义为职业学者的发文量在前后两个阶段的变化率。该指标反映了职业学者对整个学科知识贡献度的变化情况。即

$$R_4 = \frac{\frac{PP_2 - PP_1}{P_2 - P_1}}{\frac{PP_1}{P_1}} \quad (8)$$

当 R_4 为正值时,表明职业学者对学科的贡献度

增加,值越大越说明职业学者对学科发展的贡献越来越多,也就是说对学科发展起着更多的影响力;反之,当 R_4 为负值时,表明职业学者对学科的贡献度减少,值越小越说明职业学者对学科发展的贡献越来越少。

第三类为知识创造效率指标。包括:

(1) 科学生产率指标 (E_1)。该指标定义为论文总数量与作者总数量的比值。该指标说明了平均每个学者产出的论文数量。即

$$E_1 = \frac{P}{A} \quad (9)$$

E_1 数值越大,说明学科的论文生产效率越高,即学科的知识生产能力越强;反之亦然。

(2) 科学生产率变化率指标 (E_2)。该指标定义为科学生产率的变化率。该指标反映了论文产出效率的变化率,说明了学科知识生产能力的上升或下降。即

$$E_2 = \frac{\frac{P_2 - P_1}{A_2 - A_1}}{\frac{P_1}{A_1}} \quad (10)$$

当 E_2 为正值时,表明学科的知识生产能力得到加强,数值越大越说明学科知识生产效率水平变得越高;反之,当 E_2 为负值时,表明学科的知识生产能力出现下降,数值越小越说明学科知识生产效率水平变得越差。

(3) 职业学者科学生产率指标 (E_3)。该指标定义为职业学者发文量与职业学者人数的比值。该指标反映了职业学者的知识生产能力,即平均一个职业学者产出的论文数量。即

$$E_3 = \frac{PP}{PA} \quad (11)$$

E_3 值越大,说明职业学者的科学生产率越高,知识生产能力越强;反之亦然。

(4) 职业学者科学生产率变化率指标 (E_4)。该指标定义为职业学者论文产出效率的变化率。该指标反映了职业学者科学生产率的变化情况。即

$$E_4 = \frac{\frac{PP_2 - PP_1}{PA_2 - PA_1}}{\frac{PP_1}{PA_1}} \quad (12)$$

当 E_4 为正值时,说明职业学者的生产率水平同比得到增强,数值越大越说明职业学者的生产率水平变得越高;反之,当 E_4 为负值时,说明职业学者的知识生产率水平下降,数值越小越说明职业学者的生产率水平下降得越快。

3 分析与讨论

为了深入了解相关学科职业学者群体的特征，对以上所设计的3类指标进行计算和分析。

3.1 人员投入指标分析

表3展示了“双碳”论文的作者数量的变化率及其中职业学者数量的变化率、职业学者占比、职业学者占比变化率的情况。

第一，显然，化学和大气科学两个理科类学科的表现较工科类学科差了很多，而且化学学科作者数量下降了21.57%，下滑非常大；大气科学虽然出现正增长，但作者数量只增长了2.64%。这说明，理科类学科对人才的吸引力远不如工科类学科。相比而言，工科类学科均出现了较大的增长，平均增长56.78%，显示了工科对人才的高吸引力。增长率最高的是交通运输工程学科，作者数量增加了109.55%，其次是化学工程与技术学科，作者数量增加了100.48%。

第二，两个理科学科的职业学者数量同比均出现下降，其中化学出现了超过30%的下降，下降非常明显，而9个工科学科的职业学者数量同比均出现明显的增加，平均增长33.53%。与 I_1 指标类似，对职业学者来说，理科学科的吸引力显著减弱，工科学科的吸引力显著增加。 I_2-I_1 列是职业学者数量的增长率与全部学者数量的增长率之差，可以看出，全部学科的职业学者数量同比增加的速度均不如整体水平，即职业学者的人数增加速度低于普通学者。

第三，从数字上看， I_3 的各学科平均值为30.29%。职业学者占比最高的学科为建筑学，占比为36.35%；占比最低的是材料科学与工程，只有19.99%，其次是化学学科，占比为25.52%。虽然不同学科有其自身特点，职业学者占比高低不一定说明学科的发展得好坏，但一定比例的职业学者是学科稳定发展的根基，若职业学者占比较少，可能对学科长期发展不利。因此，远低于平均值的材料科学与工程、化学两个学科需要重视提升职业学者的比例。

第四，全部学科的 I_4 指标均为负值。两个理科类学科的职业学者数量均出现下降，而工科类学科的职业学者数量均出现上升，结合 I_1 反映的情况，说明化学学科人才数量和职业学者数量均出现较大的下滑，需要引起重视。工科类学科随着人才数量规模的扩大，职业学者的数量并没有出现同比例的扩大，平均来说，职业学者占比下降了13.42%，下降最大的学科是材料科学与工程（下降了22.67%），下降最小的是石油与天然气工程（下降了3.11%）。需要关注的是指标值低于平均值较

多的材料科学与工程、交通运输工程、化学工程与技术3个学科。

表3 “双碳”论文人员投入指标分析

学科代码	学科	I_1	I_2	I_3	I_4	I_2-I_1
0703	化学	-21.57	-30.68	25.52	-11.61	-9.11
0706	大气科学	2.64	-7.16	30.60	-9.55	-9.80
0805	材料科学与工程	57.42	21.74	19.99	-22.67	-35.68
0807	动力工程及工程热物理	35.93	23.42	30.14	-9.20	-12.51
0813	建筑学	36.84	13.32	36.35	-17.19	-23.53
0817	化学工程与技术	100.48	62.05	31.88	-19.17	-38.42
0819	矿业工程	63.47	38.80	29.56	-15.09	-24.67
0820	石油与天然气工程	28.34	24.35	31.57	-3.11	-4.00
0823	交通运输工程	109.55	66.25	30.75	-20.66	-43.30
0828	农业工程	40.80	25.14	32.95	-11.13	-15.67
0830	环境科学与工程	38.16	26.72	33.83	-8.28	-11.44

3.2 论文产出指标分析

表4展示了“双碳”论文产出指标情况。一般认为论文是创新性的研究成果，是科研的知识基础，因此论文产出数量的变化间接反映了学科知识的发展情况。

第一，两个理科学科的 R_1 指标为负值，说明它们的论文产出数量同比均出现下降，知识创造能力出现明显退步，这可能是人员投入减少造成的；相较而言，化学学科下降了29.19%，下降幅度非常明显。9个工科学科的指标均为正值，论文产出数量较同期均有增长，平均来说，增长了43.33%。发文量增长最大的两个学科是化学工程与技术和交通运输工程，分别增长了92.45%和85.17%，说明它们是“双碳”领域创造新知识的主要学科。发文量远低于平均值的是石油与天然气工程、环境科学与工程、建筑学和农业工程4个学科，分别增长了14.81%、22.05%、23.08%和27.57%，说明它们产生“双碳”新知识的能力较弱。

第二，与 R_1 指标相似， R_2 指标有两个理科学科均为负值，9个工科学科均为正值，平均来说，9个工科学科职业学者产出新知识的增加速度为35.11%，低于 R_1 指标分析中全部作者的增加速度（43.33%），说明普通作者产出“双碳”新知识的速度要快于职业学者。 R_2-R_1 列是职业学者发文量的增长率与全部作者发文量增长率的差值，从中也可以看出来，除了农业工程外，其他学科的职业学者 R_2 指标值均低于 R_1 指标值。职业学者发文量增长速度最大的两个学科是化学工程与技术和交通运输工程，与全体作者情况类似；远低于平均值的学科除了石油与天然气工程、环境科学与工程、建筑学和农业工程4个学科，还增加了材料科学与工程，这说明，材料科学与工程学科的职业学者产出新知识的速度要远远低于普通学者。

第三,平均来说,职业学者对学科论文生产的贡献率为76.9%,虽然他们的知识创造速度出现下降,但整体上仍然是“双碳”领域新知识生产的主力军。贡献度超过80%的学科有动力工程及工程热物理(85.52%)、化学工程与技术(81.43%)、农业工程(87.15%)、环境科学与工程(84.86%),说明这4个学科知识创造对职业学者的依赖性 强;贡献度远低于平均值的两个学科是矿业工程(64.75%)、材料科学与工程(64.22%),说明这两个学科的知识创造对职业学者的依赖性较低。

第四,绝大多数学科的职业学者的贡献度较同 比出现了下降,平均下降幅度为5.73%,其中下降最多的是材料科学与工程(11.77%),只有农业工程是个例外,反而增长了2.06%。结合 R_1 、 R_2 指标,可以看出职业学者创造新知识的速度不仅与普通作者相比要差一些,而且与其自身在第一阶段相比也要差一些。职业学者对学科知识贡献度下降说明,各学科的发展对职业学者的依赖降低,或者说职业学者对学科发展的影响力下降是一种普遍现象。

表 4 “双碳”论文产出指标分析

学科代码	学科	R_1	R_2	R_3	R_4	R_2-R_1
0703	化学	-29.19	-35.82	75.94	-9.36	-6.63
0706	大气科学	-9.48	-11.72	77.19	-2.47	-2.24
0805	材料科学与工程	40.20	23.70	64.22	-11.77	-16.50
0807	动力工程及工程热物理	38.30	35.52	85.52	-2.01	-2.78
0813	建筑学	23.08	11.40	75.55	-9.48	-11.67
0817	化学工程与技术	92.45	84.58	81.43	-4.09	-7.86
0819	矿业工程	46.30	37.32	64.75	-6.14	-8.98
0820	石油与天然气工程	14.81	3.56	74.23	-9.79	-11.25
0823	交通运输工程	85.17	69.38	75.07	-8.53	-15.79
0828	农业工程	27.57	30.21	87.15	2.06	2.63
0830	环境科学与工程	22.05	20.34	84.86	-1.40	-1.71

3.3 知识创造效率指标分析

表5展示了相关学科在“双碳”领域的知识创造效率指标情况。

第一,由表5可以计算得出平均一个学者产出0.3篇论文。因为本“双碳”论文数据集只是抽取了每

个学科的若干期刊(见表1),而且每个学科特点不同,因此这个数字不能代表学科整体水平,其高低也不能说明某学科生产率一定比另一个学科优劣,但仍然可以由此了解不同学科的论文产出效率。产出效率最高的是动力工程及工程热物理,平均每个作者产出0.35篇论文;产出效率最低的是材料科学与工程学科,平均每个作者只产出0.24篇论文,其次是环境科学与工程、农业工程两个学科,分别为0.26、0.28篇论文。

第二,指标 E_2 除了动力工程及工程热物理是1.74%的正增长外,其他学科的科学生产率同比均是下降的,平均下降8.96%。这个结论与关于我国高校中文论文发表效率下降的研究结果基本相似^[18]。科学生产率下降幅度在10%以上的学科有大气科学(11.81%)、环境科学与工程(11.66%)、交通运输工程(11.63%)、石油与天然气工程(10.55)、矿业工程(10.50%)。

第三,平均来说,一个职业学者产出论文0.77篇,这远远超出学科的平均水平(0.30篇),说明职业学者的科研能力远远超过普通学者。科学生产率最高的是动力工程及工程热物理学科,平均每个职业学者产出0.98篇;最低的是环境科学与工程,只有0.65篇。和指标 E_1 相比,所有学科职业学者的科学生产率均明显高于整体水平,平均高了0.47篇。

第四,产出效率同比提升的有材料科学与工程、动力工程及工程热物理、化学工程与技术、交通运输工程和农业工程5个学科,同比下降的有化学、大气科学、建筑学、矿业工程、石油与天然气工程和环境科学与工程6个学科。科学生产率水平提升最多的是化学科学与工程学科,同比增长了13.90%;下降最多的是石油与天然气工程学科,同比下降了16.71%。与指标 E_2 相比,几乎所有学科的职业学者的科学生产率变化率较好,即相比而言均为增长较多或减少较少,只有石油与天然气工程学科的职业学者的科学生产率的变化率差于整体水平。

表 5 “双碳”论文知识创造效率类指标分析

学科代码	学科	全部学者		职业学者		职业学者与全部学者对比	
		E_1	E_2	E_3	E_4	E_3-E_1	E_4-E_2
0703	化学	0.26	-9.72	0.77	-7.42	0.51	2.30
0706	大气科学	0.31	-11.81	0.78	-4.90	0.47	6.90
0805	材料科学与工程	0.24	-10.94	0.78	1.61	0.53	12.55
0807	动力工程及工程热物理	0.35	1.74	0.98	9.81	0.64	8.06
0813	建筑学	0.33	-10.06	0.68	-1.69	0.35	8.37
0817	化学工程与技术	0.30	-4.00	0.76	13.90	0.46	17.91
0819	矿业工程	0.33	-10.50	0.72	-1.07	0.39	9.43
0820	石油与天然气工程	0.34	-10.55	0.79	-16.71	0.46	-6.17
0823	交通运输工程	0.31	-11.63	0.75	1.88	0.45	13.52
0828	农业工程	0.28	-9.39	0.74	4.05	0.46	13.45
0830	环境科学与工程	0.26	-11.66	0.65	-5.04	0.39	6.62

4 结论与建议

本研究以科学论文为研究对象，从科学生产率视角出发，引入“职业学者”的概念，分数据获取、数据处理、指标分析3个阶段考察了我国理工类11个学科“双碳”相关研究中的人才投入、论文产出和知识创造效率情况，为了解“双碳”研究的发展提供了一种新的视角和方法参考。根据对相关指标的分析，可以得出如下结论：

(1) 相关工科学科的“双碳”研究人才数量出现不同程度的高速增长，但理科相关学科的研究人才数量或出现较大的下滑，或没有明显的变化；第2阶段和第1阶段相比，职业学者数量是理科出现明显下滑、工科出现明显增长，职业学者占比则均出现下降。

(2) 不管是职业学者还是全部学者，工科各学科产出论文的速度均出现明显的增长，而理科学科产出论文的速度出现明显下降，化学学科下降尤为明显；职业学者在“双碳”研究的论文产出中处于明显的支配地位，是学科新知识的主要贡献者，但职业学者创造新知识的速度不仅与普通作者相比要差一些，而且与自身在第1阶段相比也要差一些。

(3) 各学科“双碳”研究普通学者的科学生产率同比均出现下降，而职业学者的科学生产率则有升有降但总体表现较好，其科学生产率远超过普通学者，且其科学生产率变化一般要显著优于全部作者，只有石油与天然气工程学科是个例外，该学科的职业学者的科学生产率下降速度超过一般学者。

根据以上结论，提出如下3个方面的政策建议：

(1) 采取措施重视理科学科的“双碳”相关研究发展。一般认为，理学学科是基础研究的学科，而基础研究作为科技创新价值链的基础端，是科学研究的根基，其重大突破能够以链式反应形式催生后续的科学突破，是技术进步的引领者^[19]。而本研究中发现的理科萎缩、工科繁荣的发展情况，显然不利于“双碳”相关科研的长期发展，这需要引起相关部门的高度重视。

(2) 采取措施提高学者的科学生产率，关注化学、大气科学、石油与天然气工程和环境科学与工程4个学科的职业学者的科学生产率明显下降问题，以及材料科学与工程学科的职业学者科学生产率不强的问题。

(3) “双碳”科技发展一方面要充分发挥现有工科学科的人才和成果优势，另一方面要注意一些学科存在的问题，主要是理科发展受阻和环境科学与工程、交通运输工程、石油与天然气工程、矿业工程等4个工科学科知识创新效率下降较快两个问题。

本研究虽然得出了一些有价值的结论，但在利

用时需要注意存在的以下问题：第一，所选择的11个学科只是与“双碳”研究比较密切的学科，并不是全部学科。第二，只抽取了各学科的部分核心期刊，而不是全部期刊，数据抽样的分析结果可能与事实不符。第三，指标数据是基于实验数据计算所得，并不代表实际水平，指标值很可能与实际存在很大的出入。第四，所确定的职业学者只是发表论文的职业科研人员，而不是全部职业科研人员。

参考文献：

- [1] 武汉大学国家发展战略研究院课题组. 中国实施绿色低碳转型和实现碳中和目标的路径选择[J]. 中国软科学, 2022(10):1-12.
- [2] 刘志成, 伊晓东, 高飞雪, 等. 绿色碳科学: 双碳目标下的科学基础: 第292期“双清论坛”学术综述[J]. 物理化学学报, 2023, 39(1):99-107.
- [3] 吴文盛, 李小英, 陈丽新. 实现“双碳”目标的五位一体联动机制[J]. 当代经济管理, 2023, 45(2):25-30.
- [4] 郭金忠, 王申宏, 刘晓玲, 等. 投入产出视角下世界城市学科学术影响力的评价研究: 以物理学科为例[J]. 情报工程, 2022, 8(6):88-102.
- [5] 邹亚飞, 孙文, 田芳, 等. 基于文献计量学的植物保护学科发展态势分析[J]. 植物保护, 2021, 47(4):197-202, 220.
- [6] 潘颖, 沈钰淇, 卢章平, 等. 引用视角下高影响力学术成果特征分析: 以农业工程学科为例[J]. 情报工程, 2022, 8(6):3-15.
- [7] LOTKA A J. The frequency distribution of scientific productivity[J]. Journal of the Washington Academy of Sciences, 1926, 16(12):317-323.
- [8] 钟旭, 余东芳. 科研人员优质科研成果的科学生产率研究[J]. 情报杂志, 2002(9):1-1.
- [9] PRIYA, SHIVARAMA R K. Scientific productivity of Central University of Himachal Pradesh: a bibliometric analysis[J]. International Journal of Information Studies & Libraries, 2021, 6(2):11-19.
- [10] 伍玉成, 刘小乐, 马捷. 知识管理论文著者科学生产率统计分析[J]. 情报科学, 2012, 30(1):21-24.
- [11] RUIZ-CASTILLO J, COSTAS R. The skewness of scientific productivity[J]. Journal of Informetrics, 2014, 8(4):917-934.
- [12] RAN Y, HAN H, ZHANG Y, et al. Hierarchical classification algorithm based on fasttext[C]//Chengdu: International Conference on Computation and Information Science (ICICIS 2019), 2019:909-916.
- [13] 冉亚鑫, 韩红旗, 张运良, 等. 基于Stacking集成学习的大规模文本层次分类方法[J]. 情报理论与实践, 2020, 43(10):171-176, 182.
- [14] HAN H, YAO C, FU Y, et al. Semantic fingerprints-based author name disambiguation in Chinese documents[J]. Scientometrics, 2017, 111:1879-1896.
- [15] 唐崇敏, 官建成. 基于DEA方法的科学论文产出效率分析[J]. 科学学与科学技术管理, 2007, 28(6):28-34.
- [16] 王鸿飞, 陈恩强. 广东省科技论文投入产出分析[J]. 科技创新发展战略研究, 2017, 1(2):69-75.
- [17] 李金算, 赵巧萍. 台湾科技投入产出统计指标与数据分析解读[J]. 科技管理研究, 2016, 36(7):89-92, 98.
- [18] 康乐, 陈晓宇. 我国高校论文发表的变化趋势: 全要素生产率的视角[J]. 北京大学教育评论, 2018, 16(1):115-137, 190-191.
- [19] 刘慧慧, 张树良. 从马太效应看我国基础研究评价体系改革[J]. 科技管理研究, 2022, 42(7):61-67.

作者简介：韩红旗（1971—），男，河南洛阳人，研究员，博士，主要研究方向为科技情报、文本挖掘、知识管理；马峥（1975—），男，河北沧州人，副主任，研究员，博士，主要研究方向为科技评价；张兆锋（1979—），男，河南许昌人，副研究员，博士，主要研究方向为情报学；林毅（1989—），男，河北唐山人，助理研究员，博士，主要研究方向为情报学。