

# 陕西省自然科学奖公示信息

(2025年度)

## 一、项目基本情况

项目名称	基于序理论的拓扑、逻辑代数与聚合算子研究
主要完成人	赵彬，韩胜伟，覃锋，汪开云，鲁静，贺鹏飞
主要完成单位	陕西师范大学，江西师范大学

## 二、提名意见（适用于提各单位）

提 名 者	陕西省教育厅
<p>提名意见（不超过 600 字）：</p> <p>本成果属于基础数学、应用数学和信息科学等多学科交叉领域的基础研究类项目。多年来课题组在国家自然科学基金重点项目等多个国家级项目的资助下，以数学的三大母结构—序结构、拓扑结构与代数结构为基础，聚焦序拓扑、逻辑代数与聚合算子交叉融合中的关键科学问题开展了系统研究，为非经典逻辑和理论计算机科学研究提供了新思想和新方法，具有重要的科学意义和潜在的应用价值。取得的研究成果如下：建立了偏序集和 <math>T_0</math> 空间中的收敛理论，实现了序结构和拓扑结构的深度融合；研究了 Quantale 及相关逻辑代数的结构和表示，为子结构逻辑奠定了代数基础；研究了有界格上聚合算子的构造和分配性方程的解，丰富了信息聚合算子理论。本成果选题前沿，内容丰富，体系完善，原创性强，特色鲜明，具有重要的理论意义和潜在的应用价值，得到了国内外专家学者的广泛认可，达到了国际领先水平。本成果曾获得 2023 年陕西高等学校科学技术研究优秀成果奖特等奖。</p> <p>经审核，该项目成果材料齐全、规范。经公示，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合 2025 年度陕西省科学技术奖自然科学奖提名条件。提名该项目为陕西省自然科学奖一等奖。</p>	
<p>说明：省科学技术奖一、二等奖项目，实行按等级标准提名、独立评审表决的机制。提名单者应严格依据省科学技术奖的标准条件，说明提名项目的贡献程度及等级建议。“提名一等奖”评审落选项目不再降格参评二等奖。项目组与提各单位沟通后，做出提名等级意见；提名项目提交后，提名等级建议不得变更。</p>	

### 三、项目简介

本成果属于基础数学、应用数学和信息科学等多学科交叉领域的基础研究类项目。自 2004 年以来，课题组以数学的三大母结构——序结构、拓扑结构与代数结构为基础，聚焦基于序理论的拓扑、逻辑代数与聚合算子交叉融合中的关键科学问题开展了系统研究，为非经典逻辑和理论计算机科学研究提供了新思想和新方法，具有重要的科学意义和潜在的应用价值。取得的研究成果如下：

(1) 建立了偏序集和  $T_0$  空间中的收敛理论，实现了序结构和拓扑结构的深度融合。研究了偏序集中序收敛、 $O_2$ -收敛的可拓扑化问题，证明了双连续偏序集中序收敛以及  $\alpha^*$ -双连续偏序集中  $O_2$ -收敛都是可拓扑化的；讨论了偏序集上的序拓扑与双 Scott 拓扑，给出了一类偏序集中序收敛是可拓扑化的充要条件；基于既约子集，定义了  $T_0$  空间中的既约收敛和既约序收敛，将偏序集中的下极限收敛和序收敛提升至  $T_0$  空间，证明了  $T_0$  空间中既约(序)收敛是可拓扑化的当且仅当  $T_0$  空间是既约(序)连续空间。

(2) 研究了 Quantale 及相关逻辑代数的结构，为子结构逻辑奠定了代数基础。提出了序半群的 Quantale 完备化，证明了序半群最大的 Quantale 完备化恰好是它在序半群范畴中的内射壳，从而回答了 J. Lambek 在序半群范畴中提出的公开问题；给出了 Quantale 代数的序半群表示、模表示和关系表示，解决了 Quantale 子结构的计数问题；利用代数方法建立了剩余格上的内态理论，实现了剩余格上态与内态的统一，证明了局部内态剩余格的分类定理，为子结构逻辑的计量化奠定了代数基础。

(3) 研究了有界格上聚合算子的构造和分配性问题，拓展了聚合算子理论。利用闭包算子和内部算子给出了有界格上一致模的不同构造方法，给出了由闭包算子构造的二元算子是一致模的充要条件，从而解决了关于有界格上一致模的公开问题；利用一致模这类聚合算子的结构与构造，系统地研究了它与其它聚合算子之间的分配性，获得了相应分配性方程的完全解；刻画了广义柯西函数方程的解结构，并以此为基础，根据蕴涵算子分配性方程中聚合算子幂等元的分布情况，完整地回答了 M. Baczynski 和 B. Jayaram 提出的关于解蕴涵算子分配性方程的公开问题。

本成果代表作 8 篇(部)，其中 5 篇代表性学术论文发表在《Topology and its Applications》《Rocky Mountain Journal of Mathematics》《Acta Mathematica Sinica, English Series》《IEEE Transactions on Fuzzy Systems》《International Journal of Approximate Reasoning》期刊上，在科学出版社出版专著 2 部《Quantale 理论基础》《聚合函数及其应用》，在陕西师范大学出版总社出版专著 1 部《量化 Domain 理论》。

本成果先后得到11项国家自然科学基金项目(1项重点项目11531009,6项面上项目10471083、10871121、11171196、11871320、11971210、11971286,4项青年科学基金项目11001158、11301316、11601302、12101383)、2项陕西省自然科学基金项目(1项面上项目2015JM2010,1项青年项目2017JQ1005)和1项江西省自然科学基金重点项目(20171ACB20010)的资助;研究成果得到了国内外专家同行的广泛关注,截止2025年8月29日,经Web of Science数据库和CNKI检索,8篇代表性论著被来自美国、法国、德国、希腊、日本、新加坡等国家或地区的知名学者他引89次;基于本成果,研究团队培养博士后5人,博士研究生20人,硕士研究生50余人,其中1人荣获“全国模范教师”称号,1人先后入选江西省“百千万人才工程”、江西省青年科学家培养对象(江西省“杰青”)和江西省主要学科学术和技术带头人,1人荣获“陕西省青年科技新星”称号,1人博士学位论文被评为陕西省优秀博士学位论文。本成果曾获2023年陕西高等学校科学技术研究优秀成果奖特等奖。

## 四、客观评价

本研究成果已在序拓扑、逻辑代数与非经典逻辑领域产生了重要影响，得到了国内外专家、同行的广泛关注，如：比利时根特大学 B. De Baets 教授、土耳其黑海科技大学 G. D. Çaylı教授、武汉大学胡宝清教授团队、湖南大学李庆国教授团队、山东大学刘华文教授团队积极跟踪我们的研究工作，产生了积极的学术效应。截止 2025 年 8 月 29 日，经 Web of Science 数据库和 CNKI 检索，8 篇代表性论著被来自美国、法国、德国、英国、希腊、澳大利亚、日本、新加坡等国家或地区的知名学者在《Topology and its Applications》《IEEE Transactions on Fuzzy Systems》《Fuzzy Sets and Systems》《International Journal of Approximate Reasoning》《International Journal of General Systems》等著名期刊上他引 89 次。

1. 同行评价引用：希腊学者 A. C. Megaritis 等人肯定了我们在偏序集中关于  $O_2$ -收敛方面的研究工作，并且基于我们的研究思想开展了理想  $O_2$ -收敛的研究工作，相关成果见(Topology and its Applications, 2020, 275: 106994)。我国拓扑学领域知名学者李庆国教授强调指出我们证明了一类偏序集中  $O_2$ -收敛是可拓扑化的，并引用了我们在偏序集中关于  $O_2$ -收敛方面的研究工作，相关成果见(Mathematica Slovaca, 2018, 68: 11-20)。拓扑学领域知名学者赵东升教授和杨忠强教授肯定了我们在双连续偏序集方面的研究工作，并基于我们在序拓扑中闭子集的刻画得到了序凸拓扑方面的相关结果，相关成果见(Topology and its Applications, 2022, 322: 108314)。我国拓扑学领域知名学者徐晓泉教授强调我们证明了双连续偏序集中序收敛是可拓扑化的，并引用了我们在偏序集中关于序收敛方面的研究工作，相关成果见(Topology and its Applications, 2016, 204: 79-89)。

2. 同行评价引用：不确定性数学领域知名学者、不确定性数学领域 Top 期刊《Fuzzy Sets and Systems》主编 B. De Baets 教授肯定并引用了我们在有界格上一致模构造方面的研究工作，相关成果见(Fuzzy Sets and Systems, 2022, 441: 286-309)。我国学者修振宇教授引用了我们在有界格上一致模构造方面的研究工作，相关成果见(Fuzzy Sets and Systems, 2023, 465: 108535)。土耳其学者 G. D. Çaylı发表在不确定性数学领域知名期刊《International Journal of General Systems》上的论文中强调有界格比单位区间[0,1]结构复杂，研究有界格上一致模具有很大的挑战，同时肯定了我们在有界格上一致模构造方面的工作，相关成果见(International Journal of General Systems, 2023, 52: 414-442)。我国不确定性数学领域知名学者王学平教授指出，我们在有界格上基于闭包算子和内部算子构造一致模的方法对于分析聚合算子的结构具有极大的帮助，相关成果见(Fuzzy Sets and Systems, 2023, 462: 108424)。

## 五、代表性论文专著目录

(不超过 8 条。其中代表性论文不超过 5 篇，代表性专著不超过 3 部，应公开发表 2 年以上，即 2023 年 8 月 1 日前)

序号	论文专著名称	刊名	作者	年卷页码 (xx 年 xx 卷 xx 页)	发表时间 (年月 日)	通讯作 者(含 共同)	第一作 者(含 共同)	国内作者	他引 总次 数	检索数 据库	知识产权 是否归国 内所有
1	$O_2$ -convergence in posets	Topology and its Applications	Bin Zhao, Juan Li	2006 年 153 卷 2971-2975 页	2006 年 9 月 1 日	Bin Zhao	Bin Zhao	赵彬, 李娟	17	WOS 核心 合集	是
2	Irreducible convergence in $T_0$ spaces	Rocky Mountain Journal of Mathematics	Bin Zhao, Jing Lu, Kaiyun Wang	2020 年 50 卷 337-353 页	2020 年 3 月 1 日	Kaiyun Wang	Bin Zhao	赵彬, 鲁静, 汪开云	1	WOS 核心合 集	是
3	Order topology and bi-Scott topology on a poset	Acta Mathematica Sinica, English Series	Bin Zhao, Kaiyun Wang	2011 年 11 卷 2101-2106 页	2011 年 11 月 1 日	Bin Zhao	Bin Zhao	赵彬, 汪开云	10	WOS 核心合 集	是
4	On non-commutative residuated lattices with internal states	IEEE Transactions on Fuzzy Systems	Bin Zhao, Pengfei He	2018 年 26 卷 1387-1400 页	2018 年 6 月 1 日	Pengfei He	Bin Zhao	赵彬, 贺鹏飞	5	WOS 核心合 集	是

5	Some further results about uninorms on bounded lattices	International Journal of Approximate Reasoning	Bin Zhao, Tao Wu	2021 年 130 卷 22-49 页	2021 年 3 月 1 日	Tao Wu	Bin Zhao	赵彬, 吴涛	20	WOS 核心合集	是
6	Quantale 理论基础	北京: 科学出版社	韩胜伟, 赵彬	2016 年	2016 年 8 月 1 日		韩胜伟	韩胜伟, 赵彬	24	CNKI	是
7	聚合函数及其应用	北京: 科学出版社	覃锋	2019 年	2019 年 2 月 1 日		覃锋	覃锋	12	CNKI	是
8	量化 Domain 理论	西安: 陕西师范大学出版总社	汪开云, 鲁静, 赵彬	2021 年	2021 年 8 月 1 日		汪开云	汪开云, 鲁静, 赵彬	0	CNKI	是
合 计									89		
补充说明 (视情填写):											

## 六、主要完成人情况表

姓 名	赵彬	排 名	1
行政职务	无	技术职称	教授
工作单位	陕西师范大学	完成单位	陕西师范大学
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>负责本成果的整体设计。建立了偏序集和 <math>T_0</math> 空间中的收敛理论，系统地研究了一致模与其它聚合算子间的分配性，是成果代表性论著[1-6]、[8]的主要完成人之一。</p>			

姓 名	韩胜伟	排 名	2
行政职务	无	技术职称	教授
工作单位	陕西师范大学	完成单位	陕西师范大学
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>提出了序半群的 Quantale 完备化，给出了 Quantale 代数的序半群表示、模表示和关系表示，解决了 Quantale 子结构的计数问题，是成果代表性专著[6]的主要完成人之一。</p>			

姓 名	覃锋	排 名	3
行政职务	无	技术职称	教授
工作单位	江西师范大学	完成单位	江西师范大学
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>系统研究了一致模聚合算子与其它聚合算子间的分配性和相应分配性方程的完全解，完整地回答了 M.Baczynski 和 B. Jayaram 提出的关于解蕴涵分配性方程的公开问题，是成果代表性专著[7]的主要完成人。</p>			

姓 名	汪开云	排 名	4
行政职务	无	技术职称	教授
工作单位	陕西师范大学	完成单位	陕西师范大学
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>基于序拓扑与双 Scott 拓扑，给出了一类偏序集中序收敛是可拓扑化的充要条件，系统研究了量化 Domain 理论，是成果代表性论文[2, 3]和[8]的主要完成人之一。</p>			



姓 名	鲁 静	排 名	5
行政职务	无	技术职称	副教授
工作单位	陕西师范大学	完成单位	陕西师范大学
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>系统研究了 <math>T_0</math> 空间上的 Domain 理论，是成果代表性论文[2]和[8]的主要完成人之一。</p>			

姓 名	贺鹏飞	排 名	6
行政职务	无	技术职称	教授
工作单位	陕西师范大学	完成单位	陕西师范大学
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>建立了剩余格上的内态理论，为子结构逻辑的计量化提供了代数基础，是成果代表性论文[4]的主要完成人之一。</p>			

## 七、主要完成单位情况表

单位名称	陕西师范大学
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>作为本项目的依托单位，陕西师范大学为项目的顺利完成并取得优异成绩做出了重要贡献，主要表现为：</p> <p>（1）组织并完成了项目策划和实施工作；</p> <p>（2）为项目的顺利实施提供了人力资源与优质的工作环境与场所；</p> <p>（3）提供了本项目所需的设备、能源、图书资料和数据库等资源；</p> <p>（4）格上拓扑学与非经典数理逻辑是陕西师范大学的传统优势方向之一，研究基础扎实，团队实力雄厚，学术氛围浓厚，研究成果丰硕，国内外学术影响力高。在本项目中，获得了 2023 年度陕西高等学校科学技术研究优秀成果奖特等奖。</p>	

单位名称	江西师范大学
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>作为本项目的合作单位，江西师范大学为项目的顺利完成做出了较大贡献，主要表现为：</p> <p>（1）为项目的顺利完成提供了人员、场地与资源支持。</p> <p>（2）8 篇代表性论著中有 1 部专著是由江西师范大学作为第一署名单位完成的。</p>	

## 八、完成人合作关系说明

成果完成人赵彬、韩胜伟、覃锋、汪开云、鲁静、贺鹏飞长期致力于该项目合作研究，具有良好的长期合作关系，为项目目标达成均做出了不可或缺贡献。完成人 1 赵彬教授是本成果的负责人，负责成果的整体研究，完成人 2 韩胜伟教授和完成人 1 赵彬教授合作系统研究了 **Quantale** 及相关逻辑代数的结构理论，完成人 2 韩胜伟教授和完成人 3 覃锋教授合作系统讨论了量子 **B**-代数的单位化问题；完成人 3 覃锋教授曾跟随完成人 1 赵彬教授进行博士后合作研究，主要从事聚合算子的理论研究；完成人 4 汪开云教授和完成人 1 赵彬教授合作系统研究了偏序集中的收敛理论；完成人 1 赵彬教授、完成人 5 鲁静副教授、完成人 4 汪开云教授合作建立了  $T_0$  空间中的收敛理论；完成人 6 贺鹏飞教授和完成人 1 赵彬教授合作建立了剩余格上的内态理论，为子结构逻辑的计量化奠定代数基础。

### 完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作时间	合作成果	证明材料
1	论文 合著	赵彬(1), 汪开云(4)	200901- 201111	Order topology and bi-Scott topology on a poset	代表性论文 3
2	论文 合著	赵彬(1), 鲁静(5), 汪开云(4)	201509- 202003	Irreducible convergence in $T_0$ spaces	代表性论文 2
3	论文 合著	赵彬(1), 贺鹏飞(6)	201508- 201806	On non-commutative residuated lattices with internal states	代表性论文 4
4	论著 合著	韩胜伟(2), 赵彬(1)	200409- 201608	Quantale 理论 基础	代表性论著 6
5	论著 合著	汪开云(4), 鲁静(5), 赵彬(1)	201301- 202108	量化 Domain 理论	代表性论著 8
6	论文 合著	覃锋(3), 赵彬(1)	200401- 200511	The distributive equations for idempotent uninorms and nullnorms	Fuzzy Sets and Systems, 2005, 155: 446-458.
7	论文 合著	韩胜伟(2), 覃锋(3)	201501- 201805	The unitality of quantum B-algebras	International Journal of Theoretical Physics, 2018, 57: 1582-1590.
8	项目 立项	赵彬(1), 韩胜伟(2), 汪开云(4)	201601- 202012	复杂推理的序、代 数和逻辑方法及其 计量化模型 (11531009)	国家自然科学基金 重点项目