《管理建模杂志》

利用大型语言模型增强决策分析：pyDecision——一个全面的 Python 多准则决策分析方法库

2024 年 4 月 21 日收到
2025 年 1 月 12 日修订
2025 年 6 月 10 日接受

Valdecy Pereira, Marcio Pereira Basilio and Carlos Henrique Tarjano Santos
巴西联邦里约热内卢州立大学生产工程系,尼泰罗伊市

摘要

目的——多准则决策分析（MCDA）在复杂环境中的决策制定中变得越来越重要。为满足这一需求，已开发出 pyDecision 库，该库用 Python 编写，可在 https://bit.ly/3tLFGtH 获取，它提供了一套全面且易于使用的多准则决策分析方法。本文旨在展示 pyDecision 的功能，并说明如何有效地将其应用于解决多准则决策问题。

设计/方法/途径——pyDecision 提供了 70 种多准则决策分析方法，包括层次分析法、逼近理想解排序法、偏好排序组织方法富集评价法以及 ELimination Et Choix Traduisant la RÉalité 系列方法。除了提供众多技术手段外，该库还提供了可视化工具，以便更直观地解读结果。除了这些功能外，pyDecision 还集成了先进的大型语言模型 ChatGPT，决策者可以利用 ChatGPT 讨论和比较不同方法的结果，从而更互动、更直观地理解解决方案。

研究结果表明——大型语言模型无疑功能强大，但有时也是一把双刃剑。如果没有对其输出进行严格的验证，其答案可能会具有误导性，尤其是对于缺乏深厚领域专业知识的研究人员而言。因此，必须以敏锐的眼光和扎实的相关领域知识来审视其提供的见解。

原创性/价值——通过将多准则决策分析（MCDA）方法与 ChatGPT 相结合，pyDecision 为科学界做出了重大贡献，因为它为研究人员、从业者和决策者在处理复杂决策问题并寻求基于 MCDA 方法的最适当解决方案时提供了宝贵的资源。

关键词 多准则决策分析、Python、决策制定

研究论文

1. 简介

多准则决策分析（MCDA）是一种在金融、工程、环境科学和公共政策等诸多领域广泛应用的决策方法。例如，Pendokhare 等人（2024 年）展示了 MCDA 技术在优化电火花加工过程中的成功应用，而 Kalita 等人（2022 年）则采用基于 MCDA 的方法解决了磨料射流加工中的参数优化问题。*同样,Trivedi* 等人（2024 年）利用 MCDA 有效地对道路安全改进措施进行了优先排序，这表明这些技术在不同领域具有广泛的适用性。当决策者必须基于多个标准做出复杂决策时，MCDA 方法能够帮助决策者确定最佳方案。

Journal of Modelling in Management ©Emerald Publishing Limited
1746-5664 DOI 10. 1108/JM2-04-2024-0118

该文件由华中科技大学用户 o 从 http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf 下载。

在可行的选项中。然而，各领域决策问题的日益复杂性增加了对稳健且易于使用的工具的需求（Taherdoost 和 Madanchian，2023；Pereira 等人，2017）。

图 1 展示了一个通用的多准则决策分析框架，通过结构化的步骤来指导决策过程。该过程始于“定义目标和标准”，在此步骤中，决策者阐明决策的目的，并确立评估备选方案的标准。目标为决策所要达成的目标提供路线图，而标准则提供了可衡量或定性的方面来评估选项，与决策的目的和利益相关者的优先事项保持一致。接下来的步骤是“识别备选方案”，这一步涉及列出所有可供评估的潜在选项。这些备选方案代表了实现目标的竞争选择，全面的清单确保不会遗漏任何可行的选项。第三步“收集数据”，重点在于收集有关备选方案和标准的相关信息，包括定量数据（例如成本、收益和绩效得分）和定性输入（例如专家意见和利益相关者的反馈）。准确可靠的数据对于确保公平评估至关重要。在第四步“选择多准则决策分析方法”中，根据问题的背景、复杂性和偏好选择合适的决策技术。常用的方法包括层次分析法（AHP）、逼近理想解排序法（TOPSIS）和多准则优化妥协解法（VIKOR），每种方法对准则的权重设定、备选方案的评估以及结果的得出都有不同的影响。第五步“评估备选方案”应用所选的多准则决策分析方法，根据已定义的标准对各选项进行评估，通常涉及标准化、加权和评分，以生成可操作的见解。评估完成后，在第六步“分析结果”中对结果进行分析，以理解备选方案之间的权衡、冲突和优先级。最后，在第七步“做出决策”中，通过权衡各方因素做出明智的选择。

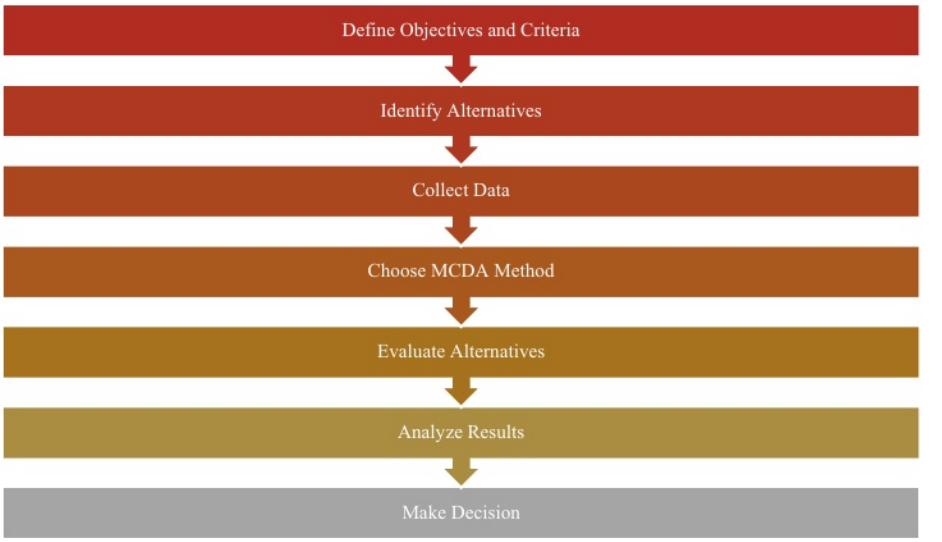

图 1.多准则决策分析（MCDA）的一般框架 **来源：**作者自创

该文件由华中科技大学用户 o 从 http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf 下载。

结合客观结果、专家判断和实际考量。所选方案应与目标一致，并提供最佳的整体价值。

Cinelli 等人（2021 年）强调了多准则决策分析（MCDA）技术在决策过程中日益凸显的重要性，这进而催生了大量封装这些方法的软件工具和库。这些工具主要有助于明确决策问题，使决策者能够系统且一致地识别相关标准和备选方案。随后，它们通过各种技术简化了评估备选方案的过程。这些工具促进了结果的传达和可视化，为决策者提供了连贯且简洁的数据，以增强其决策能力。

辛内利等人（2014 年）强调了多准则决策分析（MCDA）领域内丰富的软件工具生态系统。这一多样化的集合包括传统的选项，如体现层次分析法（AHP）的“专家选择”（Expertchoice，2020 年）以及旨在支持层次分析法和网络分析法（ANP）的“超级决策”（CREATIVE DECISIONS FOUNDATION，2020 年）。这些软件产品的广泛性和多样性突显了 MCDA 的广泛应用以及决策方法论的持续发展。

尽管多准则决策分析（MCDA）软件工具得到了广泛应用，但它们并非毫无缺陷，存在一些尚未解决的问题。例如，像 Expert Choice 这样的软件仅专注于特定的方法，如层次分析法（AHP），这限制了那些希望探索和比较多种 MCDA 技术以解决决策难题的用户。一些 MCDA 软件工具的学习曲线较为陡峭，用户需要投入大量时间和精力才能掌握其复杂性和功能。此外，商业 MCDA 软件工具可能价格不菲，这给规模较小的组织或个人研究人员设置了障碍，而闭源 MCDA 软件的专有性质也阻碍了协作和持续改进。这些问题和挑战凸显了不断改进和完善 MCDA 软件工具的必要性，以确保其能够更好地满足研究人员和从业人员不断变化的需求。

如上所述，理想的多准则决策分析（MCDA）软件应考虑诸多因素。它应支持多种 MCDA 方法，使用户能够探索和比较不同的技术，并提供定制功能以适应其决策过程的需求。软件应具备用户友好性、直观的界面和全面的文档，以降低学习难度。作为开源平台，该软件将促进协作和持续改进，使用户能够及时了解最新进展。与数据管理、分析或可视化工具的无缝集成将简化将 MCDA 结果纳入更广泛工作流程的过程。

大型语言模型（LLM）在自然语言处理方面取得了显著进展；这些模型能够生成类似人类的文本，理解上下文，并以高度互动和引人入胜的方式回答问题（KIM 等人，2023 年）。这种能力可以融入多准则决策分析（MCDA），彻底改变处理复杂决策问题的方式。将 LLM 集成进来，为决策过程提供了一个对话式界面，这在解释不同标准的相对权重、各种备选方案的优劣排序以及最终决策的得出方式方面特别有用。这种方法为应对 MCDA 的复杂性提供了一种高度互动且直观的方式，使复杂的决策过程更易于理解和操作。

多准则决策分析（MCDA）软件的功能与大型语言模型（LLM）的前沿能力相结合，形成了一种革命性的方法，能够简化并优化复杂的决策过程。这种创新的融合打造了一个互动性强、以用户为中心的平台。

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

这架起了多准则决策分析（MCDA）计算刚性和大型语言模型（LLM）动态对话性质之间的桥梁，以一种启发性和引人入胜的方式使决策过程充满活力。此外，Python 成为执行这种集成的理想环境。Python 以其多功能性、用户友好性和强大的开源社区而闻名，其简洁性加上丰富的库选择，能够与各种数据管理、分析和可视化工具实现无缝集成。

在多准则决策分析（MCDA）软件和大语言模型（LLM）不断进步的背景下，我们推出了 pyDecision，这是一款全面且具有开创性的 Python 库，旨在彻底改变 MCDA 领域。我们的库为用户提供了定制 70 种不同 MCDA 方法的能力，以满足其独特的决策需求，其中包括广受赞誉的方法，如层次分析法（AHP）、逼近理想解排序法（TOPSIS）和“选择与决策反映现实”（ELECTRE）系列等。pyDecision 的核心是一套全面的功能套件，使用户能够构建、评估和解析复杂的决策场景，其深度和清晰度无与伦比。

本文全面探讨了 pyDecision 库，涵盖了其广泛的性能和独特的优势。我们的叙述从多准则决策分析（MCDA）软件工具的环境介绍开始，包括 pyDecision 中实现的 MCDA 方法，详见第 2 节。第 3 节通过代码片段展示了 pyDecision 的功能及其通用框架。第 4 节深入探讨了 pyDecision 库，详细介绍了其比较排序生成方法的能力以及与大语言模型（LLM）的集成，突出了这种组合的协同效应。第 5 节比较了能够生成权重的方法及其与 LLM 的集成。第 6 节，我们评估了各种 MCDA 技术在解决涉及大量准则和/或备选方案的决策问题时的效率和性能。最后，第 7 节总结了 pyDecision 对科学界做出的不可磨灭的贡献。

2. 相关软件

多准则决策分析（MCDA）作为一种结构化的方法，通过引导识别潜在的备选方案、选择评估标准以及整合各利益相关方的偏好，增强了决策过程。该方法的稳健性和实用性已在众多领域得到认可，从而促使大量专门用于简化和优化 MCDA 流程的软件工具应运而生。（BISDORF 等人，2015 年；GRECO 等人，2016 年）

在此背景下，我们对“软件”的定义更为宽泛，涵盖了独立应用程序以及各种库和包。库和包是预编译例程、函数和多种资源的集合。库通常是可复用代码和函数的组织集合，开发人员可以在其程序中调用，从而提高效率并减少冗余。包的功能与库类似，但通常还包括文档、配置数据和其他辅助资源等额外组件。库和包都为封装经过验证的解决方案提供了途径，促进了软件的可复用性、可维护性以及协同进化（SOMMERVILLE，2011）。

多准则决策分析（MCDA）工具和库大致可分为两类，即专有类和开源类，分类依据是其可获取性和可适应性。这两类工具在决策过程中发挥着不同的作用，兼顾了易用性、透明度和灵活性。以下是这两类现有 MCDA 工具的概述，并对其目标和局限性进行了讨论。

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

2.1 专有技术

1000minds（1000MINDS，2023 年）是一款基于网络的应用程序，它完全采用汉森和奥姆伯勒（2008 年）提出的“所有可能备选方案的潜在成对排序”方法，以满足决策过程的需求。作为一款专有平台，1000minds 通过向学术研究人员和学生提供免费访问权限，缓解了部分局限性，从而在特定的学术和研究群体中提高了可访问性。另一个例子是 Expert Choice，这是一款专有的决策工具和专门用于实施层次分析法（AHP）的软件。它简化了 AHP 的实施，但属于闭源软件，限制了自定义扩展或修改的机会。Criterium DecisionPlus（INFOHARVEST，2023 年）是一款基于多准则决策分析（MCDA）的决策支持软件。它主要实现了层次分析法（AHP）和简单多属性偏好排序技术（SMART）。D-Sight（ENTERPRISE SOFTWARE，2023 年）专注于决策支持软件和服务。具体而言，D-Sight 的工具使用偏好排序组织方法增强评估（PROMETHEE）、几何分析交互式决策辅助（GAIA）、多属性效用理论（MAUT）和层次分析法（AHP）。

2.2 开源

VoraciousAHP（佩雷拉，2022 年）、3 MO-AHP（弗洛里亚诺等人，2022 年）、pyMissingAHP（海曼等人，2024 年）、SuperDecisions、J-Electre（佩雷拉和内波穆塞诺，2021 年）以及 Electre Tree（蒙特内格罗·德·巴罗斯等人，2021 年）共同代表了多准则决策分析（MCDA）领域内的一系列解决方案，它们分别实现了某种方法或方法家族，并且都是开源的。VoraciousAHP 采用层次分析法（AHP），能够对成对比较矩阵进行一致性校正。3 MO-AHP 也关注 AHP 中的一致性问题，它将这一功能扩展到了传统 AHP 和模糊 AHP，根据决策者的需求提供多种解决方案。pyMissingAHP 则采用遗传算法来处理 AHP 和模糊 AHP 中的缺失值，生成确保成对比较矩阵保持一致性的值，从而保持决策过程的完整性。SuperDecisions 作为一款免费工具，旨在帮助学习 AHP 和 ANP 方法。相比之下，J-Electre 提供了一个专门的平台，实现了 ELECTRE 方法家族，包括 ELECTRE I、Is、Iv、II、III、IV 和 Tri，适用于各种多准则决策分析场景。最后，专注于 Electre Tri 算法的 Electre Tree 通过推断缺失参数并适应不完整信息，实现了创新，同时又不牺牲稳健性。Ranking Trees（RODRIGUES 等人，2021 年）提供了一种专门的算法，能够为 ELECTRE II、III 和 IV 以及 PROMETHEE I、II、III 和 IV 方法推导出各种参数组合。*Python 库 pyFDM（WI⊠CKOWSKI 等人，2023a）*和 pyIFDM（WI⊠CKOWSKI 等人，2023b）分别提供了处理不确定数据和直觉模糊多准则决策分析方法的高级工具。进一步拓展 Python 在这一领域的应用，pymcdm（KIZIELEWICZ 等人，2023 年）和 pyrepo-mcda（W⊠tróbski 等人，2022 年）涵盖了广泛的多准则决策分析方法。与此同时，R MCDA（Bigaret 等人，2017 年）利用 R 环境的统计优势部署了各种算法，而 JMcDM（SATMAN 等人，2021 年）则将 Julia 语言引入多准则决策分析，其界面设计直观。这些开源库包含各种多准则决策分析方法，为决策分析构建了一个丰富且多面的生态系统。

Python 和 R 语言围绕其开源库培养了强大且充满活力的社区，使其成为多准则决策分析（MCDA）发展的重要推动力。这些语言的每个库都有其独特的目标和局限性，在满足不同用户需求的同时促进了协作。

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

pyFDM 和 pyIFDM 均基于 Python 语言，旨在处理决策过程中的不确定性。pyFDM 专注于模糊多准则决策分析方法，对于需要在标准评估中体现模糊性或不精确性的应用来说非常有用。pyIFDM 则进一步扩展到直觉模糊逻辑，能够应对更大的不确定性。然而，这两个库的专业性很强，对于需要更广泛多准则决策分析方法的用户来说，其适用性有限。相比之下，pymcdm 和 pyrepo-mcda 等更通用的 Python 库则致力于全面涵盖多准则决策分析技术。pymcdm 支持多种方法，为解决不同类型问题的决策者提供了灵活性。同样，pyrepo-mcda 侧重于可重复性，对于学术研究而言具有特别的价值。尽管这些 Python 库各具优势，但由于它们主要依赖社区驱动开发，因此在标准化和文档方面仍面临挑战。

在 R 生态系统中，R MCDA 充分利用了 R 在统计分析方面的优势，将多准则决策分析（MCDA）技术与先进的数据分析和可视化工具相结合。这种结合使其成为将统计工作流程与决策分析相结合的研究人员的有力选择。然而，与许多 R 包一样，R MCDA 对于不熟悉 R 语法和环境的用户来说，往往需要一个陡峭的学习曲线，这可能会让新用户望而却步。JMcDM 是用 Julia 实现的，它优先考虑计算效率和用户友好的界面。虽然其对现代 MCDA 方法的关注与前沿研究相契合，但它的社区规模小于 Python 和 R，这可能会限制资源和贡献。

Python 和 R 社区的对比凸显了 Python 更广泛的通用性和更易上手的语法，使其在普通用户和多学科团队中颇受欢迎。然而，R 在统计严谨性和分析方面表现出色，这对于学术和高度技术性的多准则决策分析应用来说至关重要。这两个生态系统都得益于其开源的特性，促进了透明度和创新，但 Python 更广泛的采用率和开发者社区使其库对更广泛的受众来说更具可访问性和协作性。

与专有模型不同，开源平台能够实现完全透明，便于学术界进行严格审查，并不断改进。此外，开源意味着这些工具可以定制以满足任何特定项目或研究工作的独特需求。这种适应性鼓励了一个包容、协作的环境，在这个环境中，方法和工具由全球的研究人员和从业者不断改进、扩展和更新。而且，这些平台通常支持多种多准则决策分析方法，为各种决策场景提供广泛的覆盖和灵活的解决方案。相比之下，仅仅专注于单一方法或特定方法系列可能会限制能够有效解决的问题范围，从而限制了对不同决策情境的适应性。

因此，鉴于上述优势，支持多种多准则决策分析方法的开源软件提供了一个丰富的方法库，为多准则决策制定构建了一个更强大且更具适应性的框架。这些库与同样遵循开源模式并支持多种多准则决策分析方法的 pyDecision 进行的详细比较见表 1。在该比较中，(X) 表示经典方法的实现，(F) 表示模糊版本的实现，(I) 表示直觉模糊版本的实现。此外，带星号（*）的方法仅生成每个准则的权重，带井号（#）的方法表示适应多准则决策分析背景的投票方法。

表 1 为多准则决策分析（MCDA）库的场景提供了全面的指南，通过结构化的编码系统突出了它们的专业方法。有几个库具有

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

表 1. 多准则决策分析方法

方法	层次分析法（萨帕1990)	ARAS 扎瓦德斯卡斯以及图尔斯基斯2010)	#博尔达（博尔达，1781)	宝马（BMW）雷扎伊，2015)	CILOS 扎瓦德斯卡斯和波德韦茨科2016)	CoCoSo 亚兹达尼等。2019)	CODAS 戈拉巴伊（等人,2016 年）	彗星 萨拉布恩，2015)	#科佩兰 科佩兰，1951)	COPRAS（扎瓦德斯卡斯（等人,1994 年）	CRADIS（普什卡等人，（2022 年）	评论家（迪亚库拉基）（等人,1995 年）	DEMATEL 丰特拉以及加布斯，1976)	EDAS 戈拉巴伊（等人,2015 年）	ELECTRE 熵 罗伊，1968)	香农，1948)	GRA 邓，1989)
pyDecision	XF	XF	X	XF	X	X	X		X	XF	X	X	XF	XF	X	X	X
JMcDM	X	X				X	X		X	X		X	X	X	X	X	X
pyFDM		F					F			F				F			
pyIFDM		I					I			I				I			
pymcdm		X				X	X	X		X				X			
pyrepo - 多准则决策分析	X	X				X	X			X	X			X			
R MCDA	X														X		
	伊多克里乌扎瓦德斯卡斯和波德韦茨科2016)	MABAC 帕穆查尔以及 ⊠iovi⊠，2015)	麦克白 玛尔卡科斯塔和范斯尼克，1994)	帕穆查尔（等人,2018 年）	马科斯（斯蒂维奇等人（等,2020）	母马霍德格特等。2014)	MAUT（基尼以及雷法，1976)	美瑞克（凯什瓦尔兹 - 戈拉巴伊（等人,2021）	MOORA 布劳尔斯和扎瓦德斯卡斯，2006)	MOOSRA 贾格迪什还有雷，2014)	MRSORT（布伊索和马钱特2007)	多准则优化决策分布劳尔斯和扎瓦德斯卡斯，2010)	析方法 OCRA 米洛什（等人,2015 年）	奥雷斯特鲁本斯，1982)	PIV 穆法扎尔和穆扎基尔2018)	皮罗梅特 PROSA-C 布兰斯和（文克，1985 年）	齐姆巴，2020)
pyDecision	X	X	X	X	X		X	X	XF	X		X	XF	X	X	X	
JMcDM		X		X	X			X	X						X	X	
pyFDM		F		F					F				F				
pyIFDM		IX		I					I								
pymcdm				X	X				X				X			X X	
pyrepo - 多准则决策分析		X			X							X					X
R MCDA						X					X					X	
	PSI（马尼亚）以及巴特，2010)	政权 海诺普恩和尼杰炊普，1990)	遥控潜水器 马迪奇（等人,2016 年）	锯子 丘奇曼·凯沙瓦兹（等人,1954 年）	SECA 戈拉巴埃（等人,2018 年）	聪明的（爱德华兹，1971)	SPOTIS（德泽尔（等人,2020 年）	SRMP（哈努西（等人,2022 年）	当然 霍德格特还有萨拉杰，2019)	TODIM 戈麦斯（以及兰格尔2009)	TOPSIS 黄和尹，1981 年）	UTA（雅克特-拉格雷兹和（西斯科斯，1982 年）	VIKOR（奥普里科维奇，1990)	翅膀（米奇尼克，2013)	WSM 菲什伯恩，1967)	每分钟打字数（米勒（斯塔尔，1960 年）	WASPAS（扎瓦德斯卡斯（等人,2014 年）
pyDecision	X	X	X	X		X	X			X	XF		XF	X	XF	XF	XF
JMcDM	X		X	X	X						X		X			X	X
pyFDM											F		F				
pyIFDM											I		I				
pymcdm							X				X		X				
pyrepo - 多准则决策分析				X			X				X		X				X
R MCDA								X	X		X	X					

来源：作者原创

该文件由华中科技大学用户 o 从 http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf 下载。

出现了支持多种方法论途径的工具。像层次分析法（AHP）、加法比率评估（ARAS）和简单加权法（SAW）等经典的多准则决策分析（MCDA）方法在各图书馆中仍然广受欢迎。这种普遍采用的做法有多种用途：它为决策提供了可靠的基础，为刚接触该领域的人员提供了易于理解的入门途径，并为衡量新兴方法提供了一个严格的基准。这些传统方法的模糊变体也被纳入其中，例如模糊加法比率评估（FU 等人，2021 年）、模糊复杂比例评估（COPRAS）（NARANG 等人，2021 年）和基于距离平均解的模糊评估（EDAS）（ZINDANI 等人，2019 年）。这些模糊变体将 MCDA 技术的适用性扩展到了需要更细致地处理不确定性的场景，从而为从业者提供了更丰富的决策工具。

诸如最佳-最差法（BWM）[包括其简化版——Amiri 等人（2021 年）]、理想方案妥协列表（CILOS）和基于准则间相关性的准则重要性（CRITIC）等权重生成方法至关重要，因为它们为更复杂的评估奠定了基础。各库逐渐认识到这些权重分配的重要性，强调其在整体分析准确性方面的基础性作用。最后，纳入诸如波达计数法和科佩兰法等投票方法标志着多准则决策分析（MCDA）的跨学科方法，将社会选择理论中的技术融入决策框架，以增强决策支持。像 pyDecision 和 JMcDM 这样的库已经采用了这些方法，反映出 MCDA 在方法上的适应性，能够融合来自不同学科的各种策略，以应对现实世界决策的复杂性。总体而言，这些趋势表明 MCDA 社区致力于方法多样性、基础严谨性和适应性创新，以应对现实世界决策的复杂性。

pyDecision 是多准则决策分析（MCDA）领域内一款全面且灵活的工具。它不仅支持多达 70 种不同的 MCDA 方法，而且涵盖了从经典的层次分析法（AHP）、ELECTRE（I、I-s、I-v、II、III、IV 和 Tri）和 PROMETHEE（I、II、III、IV、V、VI 和 GAIA）到诸如距离理想解的折衷排序（CRADIS）和熵权 PROMETHEE（EC PROMETHEE）（BASILIO 等人，2023 年）等创新现代方法的广泛范围。这种多样性使其能够应对各种决策挑战。此外，pyDecision 还通过提供某些方法的模糊逻辑版本，使其成为处理不确定性及模糊性更强场景的首选工具。它还集成了诸如 BWM 和 CRITIC 等先进的准则权重确定方法以及 Borda 和 Copeland 等投票算法，为复杂的决策过程提供了丰富的工具包。pyDecision 的实用性进一步得到增强，因为它集成了大型语言模型（LLM），特别是 ChatGPT（OPENAI，2023 年），这使得用户能够比较由不同方法生成的结果，例如排名、模糊排名和权重。此功能增强了平台的交互性，并简化了多标准决策中的复杂性。凭借其广泛的方法论范围和诸如 LLM 等高级功能，pyDecision 旨在成为个人和组织应对各种决策任务的一站式解决方案。

JMcDM 成为一个专注于经典且成熟方法的有力竞争者。它在涵盖久经考验的算法方面表现出色，包括但不限于层次分析法（AHP）、多属性分析法（ARAS）、ELECTRE I 和 PROMETHEE II，进一步突显了其作为经典决策场景中多功能工具的资质。该库还提供了诸如 CRITIC 和熵等标准权重技术，从而增强了其灵活性。不过值得注意的是，它不支持模糊方法，这限制了其在需要对不确定性和模糊性采取细致处理的场景中的应用。对于那些重视经典且经过充分测试的方法的人来说，JMcDM 是一个可靠的选择。

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

pyFDM 和 pyIFDM 通过专注于模糊方法和直觉模糊方法而脱颖而出，分别提供了比 ARAS 和 EDAS 等经典技术更为细致的替代方案。这两个库对于需要精细处理不确定性、模糊性或歧义性的复杂决策场景来说，都是不可或缺的。pyFDM 特别擅长解决传统精确逻辑局限性明显的问题，为处理不确定性提供了更为细致的模糊方法。相反，pyIFDM 则更深入到直觉模糊方法的专业领域，为应对更为复杂的不确定性及模糊性提供了先进的框架。尽管这种高度的专业化使它们在各自的细分领域表现出色，但也限制了它们在更通用或经典的多准则决策分析任务中的适用性。因此，pyFDM 和 pyIFDM 是处理特定复杂场景的强大专业工具。不过，它们方法论上的狭窄聚焦可能无法满足那些需要更全面决策工具集的需求。

pymcdm 占据了一个独特的中间地带，它侧重于诸如 PROMETHEE II 这类久经考验的经典方法，以及其独有的特征对象方法（COMET）技术。这种对经典方法的专注既是其优势也是其局限。虽然它便于使用，为用户提供了简化的体验，但也限制了该库在处理更多多准则决策分析（MCDA）问题方面的灵活性。

pyrepo-mcda 成为一个平衡且处于中等水平的竞争者。其独特之处在于精心挑选的经典方法，如 PROMETHEE II，以及诸如 PROSA-C 这样的专业方法。这些独特的包含内容为那些希望探索常规方法之外的用户提供了一个明显的优势。不过，该库也存在局限性，尤其是缺乏对模糊技术的支持，这限制了其在需要细致处理不确定性和模糊性的复杂场景中的应用。

R MCDA 提供了诸如随机鲁棒多准则可接受性分析偏好（SRMP）、使用指数函数的简单加法排序（SURE）和多属性排序利用（MARE）等专门算法。R MCDA 可能没有提供广泛的多准则决策分析技术。然而，它与 R 生态系统的集成以及对少数几种知名方法的精挑细选，使其成为应对特定决策挑战用户的理想选择。

多准则决策分析（MCDA）库的全景图丰富多样，各具特色，各有优劣和专长。这些库的选择满足了不同类型的用户和特定问题的需求，从涵盖全面的 pyDecision 到专注于特定领域的 pyFDM 和 pyIFDM 等库。在方法覆盖方面，像层次分析法（AHP）、逼近理想解排序法（ARAS）、ELECTRE 和简单加权法（SAW）等特定方法得到了广泛支持。相比之下，像 MARE、准则与备选方案的同步评估（SECA）和 SRMP 等更专业或较少使用的特定方法仅在某些特定库中才有。这表明它们具有专业性或在 MCDA 领域的应用范围有限。从应用角度来看，pyDecision 和 JMcDM 是通用型的全面选择，涵盖了各种经典和模糊方法。而专家可能会发现 R MCDA、pyFDM 和 pyIFDM 等库更符合他们的需求，专注于 MCDA 方法的特定子集。然而，必须认识到现有 MCDA 软件存在固有的局限性。对单一模型方法的偏好可能会限制其通用性，适应广泛的决策场景颇具挑战性，而且用户友好性仍是一大障碍，尤其是对于多准则决策分析的新手而言。因此，尽管每个库都有其独特的优势，但应根据决策环境的具体需求和限制条件谨慎选择最合适的工具。

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

3. PyDecision – 概述

在本节中，我们将通过简单的代码示例简要介绍 pyDecision 的功能。我们的目标是展示在安装并准备好 pyDecision 后如何应用该库的多准则决策分析（MCDA）算法。

此外，为了让更广泛的用户能够使用该库，pyDecision 中的每个方法都配有专门的 Colab 演示，可通过库的页面（https://bit.ly/3tLFGtH）获取。这些演示提供了基于浏览器的交互式环境，用户无需安装 Python 或设置本地开发环境即可执行代码。这一功能特别有利，因为它可以在任何有互联网连接的设备上运行，例如手机和平板电脑，计算工作完全由 Colab 服务器处理。此外，由于每个方法可能需要特定的参数和设置，这些演示确保了所有水平的用户都能清晰地了解并轻松进行实验。对于那些对方法的理论基础感兴趣的人，每个 Colab 演示都链接到了相应的科学论文。这些论文深入解释了各种方法，讨论了其基本原理、优点、特点和局限性。

安装 pyDecision 简单易行且用户友好。由于该库托管在 Python 包索引（PyPI）上，您可以在 Python 环境中打开终端或命令提示符，并运行图 2 中所示的命令。

安装完成后，pyDecision 及其所需依赖项即可投入使用，用户能够立即探索该库丰富的经典和模糊多准则决策分析（MCDA）技术以及其人工智能驱动的功能。为展示其功能，我们将演示如何使用 pyDecision 通过 TOPSIS 方法解决一个通用的 MCDA 问题，TOPSIS 是一种流行的 MCDA 技术。它根据备选方案与理想解的接近程度以及与负理想解的距离来对备选方案进行排序。

在图 3 中，我们导入了进行分析所需的库。NumPy 库以“np”为别名导入，用于方便进行数值计算，例如将决策矩阵作为结构化数组处理。从 pyDecision 库中，我们导入了“topsis_method”函数，该函数实现了 TOPSIS 方法。此方法将对数据集进行分析，计算相对贴近度得分，并根据各备选方案与理想解的接近程度对其进行排序。

图 4 中的输入显示了“数据集”，这是一个二维矩阵，其中每一行代表一个备选方案（例如，不同的评估选项），每一列对应一个标准（例如，影响决策的不同因素）。因此，此数据集包含 10 个备选方案，每个方案都根据 4 个标准进行评估。数值表示每个备选方案在每个标准下的表现。“权重”指定了决策过程中每个标准的相对重要性；在此，每个权重均设为 0.25。

```
pip 安装 pydecision
```

图 2. 安装 **来源：**作者自创

```
导入 numpy 作为 np
from pyDecision.算法 import topsis 方法
```

图 3. 导入库 **来源：**作者自创

该文件由华中科技大学用户 o 从 http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf 下载。

```
dataset = np.array([
                    [6, 8, 4, 7],
                    [9, 3, 4, 6],
                    [4, 9, 7, 3],
                    [8, 2, 5, 8],
                    [4, 9, 2, 3],
                    [7, 5, 9, 9],
                    [9, 6, 3, 1],
                    [3, 5, 7, 6],
                    [5, 3, 8, 5],
                    [4, 6, 3, 8]
                  ])

weights        = [ 0.25,  0.25,  0.25,  0.25]
criterion_type = ['max', 'max', 'max', 'max']
```

图 4. 数据**来源：**作者自创

这表明所有标准都同等重要。“criterion_type”定义了每个标准的方向：更高的值是可取的（max）还是不可取的（min）。在此示例中，所有标准都被标记为 max，这意味着每个标准的更高值都被认为是更好的。这种设置反映了在决策框架内对诸如利润、绩效或效率等正向指标进行评估的情景，使它们易于比较。

在图 5 中，函数“topsis_method”接受四个主要参数：“数据集”、“权重”、“准则类型”以及可选参数“图形”和“详细输出”。当“图形”参数设置为 True 时，会生成一个备选方案的可视化排名。同时，当“详细输出”参数也设置为 True 时，会在控制台中打印出每个备选方案的详细得分。该函数返回一个“相对贴近度”值数组，其中每个值表示给定备选方案与理想解的接近程度，值越高表示备选方案越优。

图 6 所示结果展示了基于 TOPSIS 法计算出的相对贴近度得分对各备选方案的排序情况。各备选方案从最有利（顶部）到最不利（底部）纵向排列。得分表明了每个备选方案与理想解的接近程度，得分越高表示性能越好。备选方案 a6 以 0.73 的相对贴近度得分位居榜首，是最优选择。紧随其后的是 a1（0.59）、a3（0.53）、a4（0.52）和 a8（0.50）。备选方案 a9 和 a10 的得分均为 0.49，排名相近。接下来依次是 a2（0.48）和 a5（0.41），而 a7 的得分最低，为 0.40，是最不理想的备选方案。这种直观且量化的表示方式清晰地展现了每个选项的相对表现，有助于决策者选择最佳方案。

使用像 pyDecision 这样的基于 Python 的库的一个关键优势在于它能与 Python 的其他工具和库无缝集成，使用户能够进行超出该库内置功能的高级分析。例如，敏感性分析——这是至关重要的。

```
relative_closeness = topsis 方法（数据集，权重，准则类型，绘图 = True，详细输出 = True）
```

图 5. TOPSIS**来**源：作者自创

该文件由华中科技大学用户 o 从 http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf 下载。

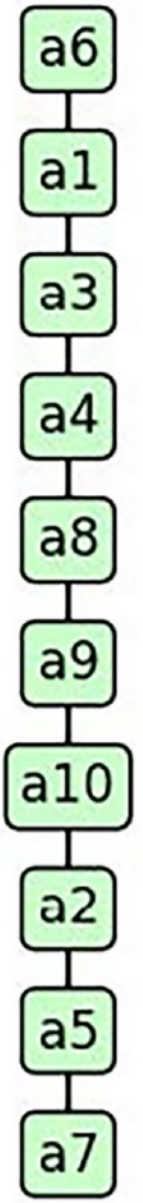

图 6. TOPSIS 结果

来源： 作者原创

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

为了理解输入参数（例如权重）的变化如何影响决策结果，可以轻松地将 pyDecision 与其他 Python 库（如 NumPy、Pandas 和 Matplotlib）结合使用。这种灵活性使用户能够探索、可视化并量化其排名在不同条件下的稳定性，从而增强决策过程的稳健性。

在图 7 中，代码使用 TOPSIS 方法进行了敏感性分析，通过改变分配给各项标准的权重，并分析不同权重集下备选方案的排名变化情况。定义了七种不同的权重集，每种权重集对各项标准的重要性分配方式均有所不同。对每个权重集应用 TOPSIS 方法，计算所有备选方案的贴近度得分。然后，根据贴近度得分从高到低对备选方案进行排序。结果存储在一个字典中，其中每个键对应一个权重集，值为该权重集下备选方案的排名。最后，以清晰展示权重变化如何影响备选方案排序的格式打印出所有权重集的排名。

敏感性分析结果（见图 8）显示了随着各项标准所分配权重的变化，备选方案的排名是如何变化的。在所有权重组合下，备选方案 a6

```
import numpy as np
from pyDecision.algorithm import topsis_method

dataset = np.array([
                    [6, 8, 4, 7],
                    [9, 3, 4, 6],
                    [4, 9, 7, 3],
                    [8, 2, 5, 8],
                    [4, 9, 2, 3],
                    [7, 5, 9, 9],
                    [9, 6, 3, 1],
                    [3, 5, 7, 6],
                    [5, 3, 8, 5],
                    [4, 6, 3, 8]
                  ])

criterion_type = ['max', 'max', 'max', 'max']

weight_sets    = [
                  [0.25, 0.25, 0.25, 0.25], # Weight Set 1
                  [0.40, 0.20, 0.20, 0.20], # Weight Set 2
                  [0.10, 0.30, 0.30, 0.30], # Weight Set 3
                  [0.30, 0.30, 0.20, 0.20], # Weight Set 4
                  [0.50, 0.10, 0.20, 0.20], # Weight Set 5
                  [0.20, 0.20, 0.30, 0.30], # Weight Set 6
                  [0.10, 0.40, 0.20, 0.30]  # Weight Set 7
                 ]

results = {}

for i, weights in enumerate(weight_sets, 1):
   closeness_scores        = topsis_method(dataset, weights, criterion_type, graph = True, verbose = True)
   ranked_alternatives     = np.argsort(closeness_scores)[::-1]
   ranked_alternatives     = ['a' + str(i + 1) for i in ranked_alternatives]
   results[f'Weight Set {i}'] = ', '.join(ranked_alternatives)

for weight_set, ranking in results.items():
   print(f'{weight_set} -> {ranking}')
```

图 7. 敏感性分析 **来源：** 作者自创

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

```
Weight Set 1 -> a6, a1, a3, a4, a8, a9, a10, a2, a5, a7
Weight Set 2 -> a6, a2, a4, a1, a7, a9, a3, a10, a8, a5
Weight Set 3 -> a6, a1, a3, a8, a10, a9, a4, a5, a2, a7
Weight Set 4 -> a6, a1, a3, a2, a7, a4, a5, a10, a8, a9
Weight Set 5 -> a6, a4, a2, a7, a1, a9, a10, a3, a8, a5
Weight Set 6 -> a6, a4, a1, a8, a9, a3, a10, a2, a5, a7
Weight Set 7 -> a1, a6, a3, a10, a5, a8, a4, a9, a2, a7
```

图 8. 敏感性分析结果 **来源：** 作者自创

该选项始终排名在第一或第二位，表明无论采用何种权重方案，它都是一个非常有利的选择。同样，诸如 a1、a3 和 a4 这样的备选方案也经常出现在排名的前列，这表明它们通常是具有竞争力的选择。另一方面，像 a7、a5 和 a2 这样的备选方案在大多数权重组合中排名靠后，这意味着在给定的场景下它们不太有利。中间排名（例如 a9、a10 和 a8）的波动性表明这些备选方案对权重分布的变化较为敏感，这说明它们相对于其他方案的表现很大程度上取决于对特定标准的重视程度。

在图 9 中，代码片段展示了如何使用该方法计算决策问题中各项标准的目标权重。输入包括一个“数据集”，其中每一行对应一个备选方案，每一列代表一个标准（对五个备选方案在四个标准上进行评估）。“criterion_type”指定了每个标准是要最小化（min）还是最大化（max），这反映了决策者的偏好。“critic_method”函数根据每个标准的对比强度（变化）及其与其他标准的相关性来计算每个标准的权重。这些权重客观地反映了从数据集中得出的每个标准的相对重要性。输出是所有标准的计算权重。代码遍历这些权重，将每个权重四舍五入到小数点后三位，并以 w（g1）、w（g2） 等形式打印出来，其中 g1、g2 等分别对应各个标准。

图 10 显示了通过 CRITIC 方法确定的每个标准的相对重要性。标准 g2 的权重最高（0.284），表明其影响力最大。

```
import numpy as np
from pyDecision.algorithm import critic_method

dataset = np.array([
                    [250, 16, 12, 5],
                    [200, 16,  8, 3],
                    [300, 32, 16, 4],
                    [275, 32,  8, 4],
                    [225, 16, 16, 2]
                   ])

criterion_type = ['min', 'max', 'max', 'max']

weights = critic_method(dataset, criterion_type)

for i in range(0, weights.shape[0]):
  print('w(g'+str(i+1)+'): ', round(weights[i], 3))
```

图 9.批评**来源：** 作者原创

该文件由华中科技大学用户 o 从 http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf 下载。

```
w(g1): 0.270
w(g2): 0.284
w(g3): 0.255
w(g4): 0.191
```

图 10. CRITIC 结果 **来源：** 作者自创

关于决策制定。标准 g1 的权重为 0.270，表明它也发挥着重要作用，但影响力略低于 g2。标准 g3 的权重为 0.255，属于中等水平，对决策有重要贡献，但重要性低于前两个标准。最后，标准 g4 的权重最低（0.191），表明其对决策的影响最小。这些权重从数据集的内在结构和关系中直接得出，客观地反映了每个标准的重要性。

图 11 中的代码展示了如何通过集成外部 Python 库（如 Matplotlib）来补充和增强 pyDecision 的功能。权重以柱状图的形式进行可视化，其中每个柱条代表一个标准，其高度对应于计算得出的权重值。还添加了文本注释以显示确切的权重值，并且该图包含标题、标签和网格，以便更好地进行解释。

在图 12 中，条形图展示了使用 CRITIC 方法计算出的各准则权重，其中每个准则由一个条形表示。这些权重客观地反映了各准则在数据集结构中的重要性，权重越高表明

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from pyDecision.algorithm import critic_method

dataset = np.array([
                    [250, 16, 12, 5],
                    [200, 16,  8, 3],
                    [300, 32, 16, 4],
                    [275, 32,  8, 4],
                    [225, 16, 16, 2]
                  ])

criterion_type = ['min', 'max', 'max', 'max']
weights        = critic_method(dataset, criterion_type)
criteria       = ['g1', 'g2', 'g3', 'g4']

plt.figure(figsize = (8, 6))
bars = plt.bar(criteria, weights, color = 'skyblue', edgecolor = 'black')
for bar in bars:
  plt.text(bar.get_x() + bar.get_width() / 2, bar.get_height() - 0.02, f"{bar.get_height():.3f}", ha = 'center', va =
'bottom', fontsize = 12, color = 'black')
plt.title('CRITIC Method: Criterion Weights', fontsize = 16)
plt.xlabel('Criteria',  fontsize = 14)
plt.ylabel('Weights', fontsize = 14)
plt.ylim(0, 0.35)
plt.grid(axis = 'y', linestyle = '--', alpha = 0.7)
plt.tight_layout()
```

图 11. 图形代码 **来源：** 作者自创

该文件由华中科技大学用户 o 从 http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf 下载。

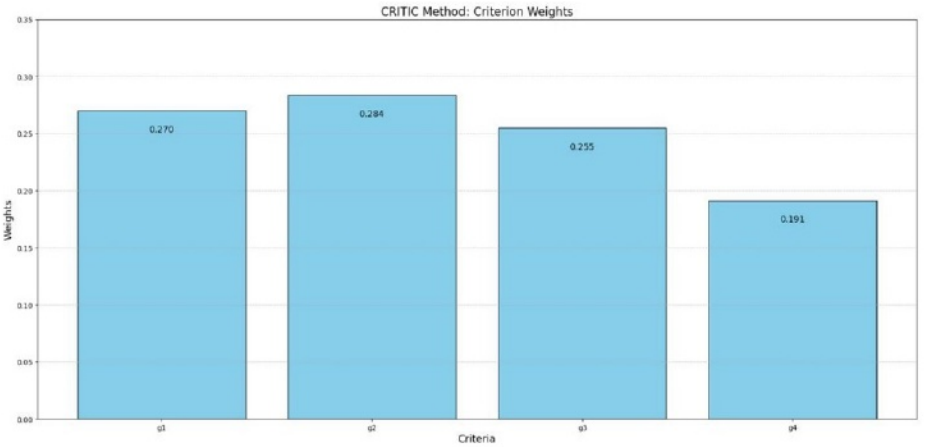

图 12. 图形代码结果 **来源：**作者自创

对于评估过程而言更为关键的标准。该可视化呈现方式有助于直观地理解每个标准的相对重要性。

本节旨在突出 pyDecision 的一些核心功能，包括其执行敏感性分析和可视化的能力，以及与 Python 其他库的集成，表明其灵活性不仅限于 pyDecision 自身提供的工具。在接下来的部分中，我们将重点关注案例研究，展示 LLM 在 pyDecision 中的集成。这些案例研究将探讨 LLM 如何通过提供自然语言解释、解释结果和比较排名来增强决策制定。

4. PyDecision——大型语言模型——首个案例研究

在本节中，我们旨在展示 pyDecision 与 ChatGPT 结合使用的灵活性。第一个案例研究探讨了多种能够生成排名的方法，其中包括两种学术文献中提及但 pyDecision 本身并不支持的方法。ChatGPT 在解读结果方面发挥着关键作用。我们通过一系列有针对性的提示来引导决策者评估和理解结果。需要注意的是，由于模糊方法即使输入是模糊的也能生成明确的排名，因此底层分析本质上是相同的。因此，为避免重复，我们将不会对模糊方法生成的排名进行单独评估。

第一个案例研究可在此处访问：<https://bit.ly/47aAVrZ> 。

4.1 首个案例研究——方法比较

第一个案例研究涉及为用于运输液氮的低温储罐选择一种最优材料。储罐的具体性能要求被细致地转化为相应的材料属性。所选材料必须具备出色的可焊性、可加工性、较低的密度和比热容等指标，同时还需具备极低的热膨胀系数和热导率，同时保持足够的强度。

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

在工作温度下的刚度和韧性。对于这一特定应用，人们寻求具有更高机械性能的材料，尤其看重韧性指数（TI）、屈服强度（YS）和杨氏模量（YM）的最高值。选择过程评估了七种不同的属性，将所需材料特性与七种替代材料进行对比。其中，TI、YS 和 YM 是有益属性（最大值），数值越高越有利。相反，其余四种属性——即密度（D）、热膨胀（TE）、热导率（TC）和比热容（SH）——被视为非有益属性（最小值），因为它们的值越低越符合应用需求（RAO，2006；Dehghan-Manshadi 等人，2007）。

如表 2 所示，所考虑的材料选择方案包括 a1（材料 1 - 铝 2024-T6）、a2（材料 2 - 铝 5052-O）、a3（材料 3 - 不锈钢 301-FH）、a4（材料 4 - 不锈钢 310-3AH）、a5（材料 5 - 钛合金 Ti-6Al-4V）、a6（材料 6 - 因科镍合金 718）和 a7（材料 7 - 铜锌合金 70Cu-30Zn）。为了使材料选择过程符合应用的特定需求，表 2 还列出了 Rao（2006 年）和 Manshadi 等人（2007 年）分配的权重，以反映每个属性的相对重要性。这些权重在评估每种材料的适用性方面起着关键作用，引导决策过程与应用的独特要求相一致。

如表 2 所示，该数据集揭示了决策过程的复杂性，因为没有一种材料能在所有评估属性上都表现出色。这种相互竞争的属性之间的微妙平衡凸显了为这一高度专业化的任务选择材料所面临的挑战。

表 3 展示了通过两种不同的技术确定的每个备选方案的排名：由 Rao（2006 年）提出的图论技术，以及由 Manshadi 等人（2007 年）描述的经改进的数字逻辑方法增强的非线性归一化方法。

关于每个备选方案的排名，表 3 显示了令人满意的趋同和差异。例如，两种方法都一致将第三个备选方案列为最佳（第一名）；第二个和第五个备选方案也是如此。然而，中间排名存在差异；根据 Rao（2006 年）的排名，第一个备选方案排在第六位，但在 Manshadi 等人（2007 年）的研究中，其排名稍好，为第五位。

表 4 旨在全面展示各种多准则决策分析（MCDA）方法的比较情况。行列表示所考虑的方法，列代表正在评估的不同方案。在每个单元格中，为每个方案分配了相应的排名。所使用的方法包括：ARAS、组合折衷解法（CoCoSo）、组合距离型评估法（CODAS）、COPRAS、CRADIS、EDAS、灰色关联分析（GRA）、

表 2. 第一个案例研究

替代方案	TI（最大值）	YS（最大值）	YM（MAX）	D（最小值）	最低温度（TE）	TC（最小值）	SH（最大值）
权重	0.28	0.14	0.05	0.24	0.19	0.05	0.05
a1	75.50	420	74.2	2.80	21.40	0.370	0.16
a2	95	91	70	2.68	22.10	0.330	0.16
a3	770	1,365	189	7.90	16.90	0.040	0.08
A4	187	1,120	210	7.90	14.40	0.030	0.08
a5	179	875	112	4.43	9.40	0.016	0.09
a6	239	1,190	217	8.51	11.50	0.310	0.07
a7	273	200	112	8.53	19.90	0.290	0.06

来源： 作者原创

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

表 3. 第一个案例研究结果

替代方案	饶（2006）	曼沙迪等人（2007 年）
a1	17.29（第 6 名）	-1.71（第 5 名）
a2	16 点 26 分（第七）	-8.75（第 7 名）
a3	39.11（第 1 名）	47.40（第 1 名）
A4	30.63（第三名）	31.88（第 4 名）
a5	34.05（第二名）	43.52（第二名）
a6	4 月 29 日（第四天）	33.44（第三名）
a7	20.04（第五）	-3.07（第 6 名）

来源：作者原创

表 4.等级比较

方法	a1	a2	a3	A4	a5	a6	a7		a1	a2	a3	A4	a5	a6	a7
饶（2006）	6	7	1	3	2	4	5	OCRA	6	7	1	2	3	4	5
曼沙迪等人（2007 年）	5	7	1	4	2	3	6	奥雷斯特	5	6	2	3	1	4	7
ARAS	5	6	1	4	2	3	7	PIV	5	6	1	4	2	3	7
CoCoSo	5	6	1	3	2	4	7	PROMETHEE II	7	6	1	4	2	3	5
CODAS	4	2	1	6	3	5	7	PROMETHEE IV	6	7	1	3	4	2	5
COPRAS	5	7	1	4	2	3	6	EC PROMETHEE	5	7	1	3	2	4	6
CRADIS	6	7	2	3	1	4	5	PSI	5	6	2	4	1	3	7
EDAS	6	7	1	4	2	3	5	遥控潜水器	5	6	1	4	2	3	7
GRA	5	4	1	6	2	3	7	锯子	5	6	1	4	2	3	7
MABAC	5	6	1	3	2	4	7	SPOTIS	5	6	1	4	2	3	7
麦克白	5	6	1	4	2	3	7	TODIM	5	6	1	3	2	4	7
MAIRCA	5	6	1	4	2	3	7	TOPSIS	5	6	1	4	2	3	7
马科斯	5	6	1	4	2	3	7	VIKOR	3	5	6	4	1	2	7
MAUT	4	6	1	3	5	2	7	WSM	5	6	1	4	2	3	7
MOORA	5	6	1	4	2	3	7	每分钟单词数	5	6	1	3	2	4	7
MOOSRA	5	7	1	4	2	3	6	WASPAS	5	6	1	3	2	4	7
多准则优化方法	5	7	1	3	2	4	6	-//-	–	–	–	–	–	–	–

来源：作者原创

多属性边界近似区域比较法（MABAC）、基于类别评估技术的吸引力测量法（MACBETH）、多属性理想与现实比较分析法（MAIRCA）、根据折衷解进行备选方案测量与排序法（MARCOS）、多属性效用理论（MAUT）、基于比率分析的多目标优化法（MOORA）、基于简单比率分析的多目标优化法（MOOSRA）、MOORA 加全乘法形式（MULTIMOORA）、序数分类与排序分析法（OCRA）、关系数据的组织、整理与综合法（ORESTE）、偏好指数值（PIV）、PROMETHEE II、PROMETHEE IV、EC PROMETHEE、偏好选择指数（PSI）、值域（ROV）、加权和法（SAW）、趋向理想解的稳定偏好排序法（SPOTIS）、多准则决策迭代法（TODIM）、逼近理想解排序法（TOPSIS）、VIKOR 法、加权和模型（WSM）、加权积模型（WPM）以及加权综合和积评估法（WASPAS）。此外，还纳入了 Rao（2006）和 Manshadi 等人（2007）的研究结果。

具体参数与特定方法相关，具体如下：对于 PROMETHEE II、PROMETHEE IV 或 EC PROMETHEE：Q = 5、10、1.7、0.02、0.01、0.01 和 0.01；S = 7、15、

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

1.9、0.03、0.02、0.02 和 0.02；p = 9、20、2.5、0.04、0.03、0.03 和 0.03；F = 常规偏好。对于 EC PROMETHEE 还有：自定义集 = 0.5、0.5、0.5、0.5、0.5、0.5 和 0.5；迭代次数 = 10,000。对于 MAUT：效用函数 = 指数/阶梯函数（最大/最小准则）；步长 = 1。对于 CoCoSo：L = 0.5。对于 CODAS：Lambda = 0.02。对于 GRA：Epsilon = 0.5。对于 ORESTE：Alpha = 0.4。对于 TODIM：Teta = 1。对于 VIKOR：策略系数 = 1。对于 SPOTIS：S_{min} = 70、90、50、2.7、9.0、0.01 和 0.05；S_{max} = 780、1，200、220、9.7、24.0、0.41 和 0.25。

通过分析表 4，可以观察到几种模式和变化。备选方案 a3 在几乎所有方法中的排名最为稳定。它经常排在第 1 位，这表明根据评估标准，各方普遍认为它是最佳方案。备选方案 a2 和 a7 的排名变化较为适度；虽然它们在各种方法中的排名通常处于中游或下游，但具体位置有所波动。例如，a2 的排名从 CODAS 方法中的第 2 位到其他几种方法中的第 7 位不等。相反，备选方案 a4 和 a5 在不同方法中的排名变化较大。例如，a4 的排名从第 3 位到第 6 位不等，而 a5 则在第 1 位和第 4 位之间变动，这表明在评估这些备选方案时存在较少的共识。

如果决策者愿意，他们可以使用每个备选方案的主要排名来得出最终排名。但在多模态场景中，即某个备选方案可能有多个排名，或者在出现并列情况时，即不同备选方案具有相同的排名，建议谨慎处理。在我们的案例研究中，通过众数得出的最终排名为 a3、a5、a6、a4、a1、a2 和 a7。另外，也可以使用投票系统来确定排名。Borda 法和 Copeland 法在 pyDecision 中原生可用。对于本案例研究，这两种方法计算出的最终排名与众数相同。不过，决策者仍可灵活选择其他任何偏好的方法。

4.2 首个案例研究——方法比较——大型语言模型辅助

为了从表 4 中获取更深入的见解并可能发现隐藏的模式，我们将借助 ChatGPT（gpt4 模型）的分析能力。我们计划使用一系列有针对性的提示来补充我们的初步分析，以揭示我们可能忽略的方面。

哪些方法更相似，哪些方法更不相似?

可以通过观察方法对备选方案的排序一致性来分析方法的相似性。从给定的超排序表来看，若不进行额外计算（例如计算欧几里得距离或皮尔逊相关系数），无法确切指出哪些方法更相似，哪些更不相似。不过，仍可观察到一些总体趋势。例如，在“aras”和“macbeth”这两种方法中，表中提供的排序值在所有备选方案上显示出高度相似性，因为它们对备选方案的排序方式相同。同样，“mabac”和“marcos”或“maut”和“moora”这两种方法似乎在备选方案上给出的排序也较为相似。另一方面，像“vikor”这样的方法似乎与其他方法差异较大。例如，在“vikor”中，第一个和第五个备选方案的排序分别为第六和第一，这与其他大多数方法有显著差异。不过，这只是初步评估，要更准确地解读，还需要进行诸如计算相关系数之类的数学计算，以确定相似性或差异性的程度。这也假定备选方案的排序是唯一重要的，而与每个位置的实际数值无关。[原文如此]

在所有方法中，哪些备选方案始终排名靠前或靠后?

在所有方法中始终排名靠前的备选方案是第三个。它在几乎所有方法中都排名第一，只有在 rov 和 oreste 这两种方法中排名第二。

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

另一方面，在所有方法中始终排名靠后的方案是第六个。它大多排名第七，这是最低的，只有少数例外情况会稍高一些。[原文如此]

这几种方法在排名上是否存在显著差异？如果有，造成这些差异的原因可能是什么？

确实，多准则决策分析（MCDA）方法在排名上存在显著差异。例如，第三种方案在几乎所有 MCDA 方法中都排名第一，除了在 OCRA、PIV 和 SAW 方法中排名第二，在 VIKOR 方法中排名第六，这表明其在多种评估标准下表现强劲。而第六种方案则大多处于中游位置。不过，在 MOORA、TODIM 和 COPRAS 等少数方法中，其排名靠后，但在 EC_Promethee 和 WASPAS 方法中排名较好。其他方案的情况也是如此，其排名会因所采用的 MCDA 方法的不同而有所变化。这些差异可能是由于每种 MCDA 方法内在的优先级设定和分析机制不同所致。具体而言，权重分配、优化类型（最大化或最小化）、偏好分析、主观意见的考虑、归一化方法等因素在不同方法中的影响也各不相同。例如，某些方法可能会赋予某些标准更高的权重，或者直接将决策者的偏好纳入决策过程，从而影响最终结果。其他方法可能会使用加法聚合函数，而其他方法可能会使用乘法聚合函数，导致不同的结果。换句话说，每种多准则决策分析技术的具体方法以及它们对标准和备选方案在这些标准上的表现的不同处理方式可能会导致不同的排名。此外，原始数据中的不确定性、数据收集和处理工具中的潜在偏差以及对标准的主观解释也可能导致最终排名的差异。此外，与方法相关的因素，如对参数变化的敏感性、对标准之间不平等的处理以及考虑标准之间相互作用的能力，以及与问题相关的方面，如问题的复杂性、备选方案和标准的数量和性质以及标准之间的冲突程度，也可能起到作用。

对于任何特定的替代方案，这些方法之间是否存在共识？

如果我们对所有多准则决策分析方法中每个备选方案的排名求平均值，就能得出一个共识，用作备选方案的综合排名。根据给定的超序表，平均排名如下：——备选方案 1：平均排名 = 5.24；备选方案 2：平均排名 = 6.16；备选方案 3：平均排名 = 1.26；备选方案 4：平均排名 = 3.84；备选方案 5：平均排名 = 2.03；备选方案 6：平均排名 = 3.57；备选方案 7：平均排名 = 6.39。因此，各方法的共识排序如下：1. 第三备选方案；2. 第五种选择；3. 第六种选择；4. 第四种选择；5. 第一选择；6. 第二种备选方案；以及第七种备选方案 这种特定的排序意味着备选方案 3 是最优先的，备选方案 5 是次优先的，依此类推。根据这些多准则决策分析方法的排序，第七种备选方案是最不优先的。[原文如此]

在不同方法进行比较时，某些备选方案的排名是否出现了意外的情况？

确实，在不同多准则决策分析（MCDA）方法的比较中存在一些出人意料的排名情况。以下是几个例子：1. 在第二个备选方案中，CODAS 和 MARCOS 的排名有所不同，它们将其排在第二位，而其他所有方法都将其排在第六或第七位。2. 在第三种替代方案中，VIKOR 的排名出现了显著偏差，将其排在了第六位，而其他所有方法

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

将其置于首位。3. 同样，在第四种替代方案中，通过 CODAS 和 GRA 方法得出的排序与其他方法有所不同。4. 在第五种备选方案中，多属性效用理论将其排在第五位，而大多数其他方法则将其排在第二位。5. 第七种备选方案显示出很大的差异性。大多数方法将其排在第七位，但像灰色关联分析（GRA）和普罗米修斯 IV（Promethee IV）等一些方法将其排在第五位。这种差异和出乎意料的排名可能是由于每种多准则决策分析方法使用了一套不同的准则权重或偏好函数，而且它们可能从不同的视角或假设出发来处理问题。

是否存在某些方法，其对备选方案的排序结果始终与大多数其他方法不同?

从给定的超序表中可以看出，一些多准则决策分析（MCDA）方法对备选方案的排序与大多数其他方法存在显著差异。例如：——“codas”方法始终将第二个备选方案排在第二位（第二名），而大多数其他方法将其排在第六位到第七位之间。——“cradis”方法则将第三个备选方案排在第二位（第二名），而大多数其他方法将其排在第一位（第一名）。——“vikor”方法将第一个备选方案排在第三位，将第三个备选方案排在第六位，这与其他方法将这两个备选方案分别排在第六位和第一位的情况大相径庭。还有一点值得注意的是，这些方法不仅预测的排序不同，其结果差异的程度也各不相同。有些方法对某些选项的排序与其他方法存在显著差异，而有些方法的差异则相对较小。这种差异程度对于决策者来说是重要的信息，因为它反映了对备选方案排序的不确定性和分歧程度。采用多种方法进行决策可能会有益处，这样能够获得全面的见解，并且考虑各种不同的视角。此外，建议了解每种多准则决策分析方法的基本原理和假设，因为它们对排序结果有着显著的影响。由于这些操作原则和假设的不同，不同的方法可能会得出不同的结果，从而为决策问题提供不同的见解。

在所有方法中，每个备选方案最常见的排名是什么?

根据所给表格，以下是每个选项最常见的排名：1. 第一个选项最常见的排名是 5。2. 对于第二个备选方案，最常见的排名是 6。3. 最常见的对第三种选择的排名是 1。4. 对于第四个选项，最常见的排名是 3 或 4。5. 对于第五种选择，最常见的排名是 2。6. 对于第六种选择，最常见的排名是 3 或 4。7. 第七种选择最常见的排名是 7。[原文如此]

利用 ChatGPT 对表 4 中的数据进行分析，为理解数据增添了细微的层次，这超出了传统分析方法所能提供的范畴。该模型提供了对各种多准则决策分析方法之间的一致性和差异性的见解，展示了其在初步数据解读和假设形成方面的价值。对于像提示 4 这样讨论基于平均排名的方法共识的特定提示，需要谨慎对待，因为对序数排名取平均值可能会产生误导。提示 7 展示了最常见的排名（众数），这是处理序数数据的正确方法。必须记住，尽管 ChatGPT 能提供有益的初步见解，但它不能替代严格的分析审查。研究人员应将该模型作为传统研究方法的补充，而非替代。

4.3 第一个案例研究——相关性分析

为了更深入地探究不同方法之间的关系，如表 4 所示，我们将采用肯德尔 Tau 相关系数来进行分析。这一选择尤为恰当，因为肯德尔 Tau 相关系数主要是为有序数据设计的，非常契合

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

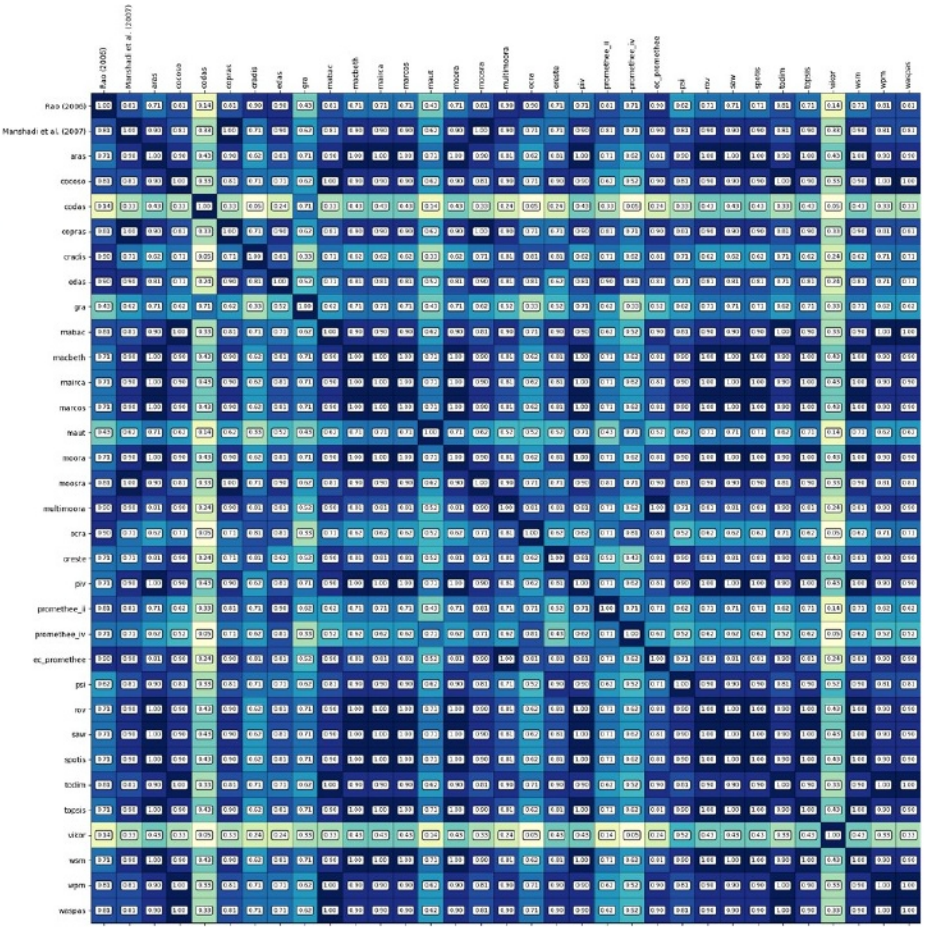

图 13. 第一个案例研究的等级相关性 **来源：**
作者自创

针对这个问题的性质。图 1 提供了一个用颜色编码的矩阵来直观展示这些相关性。方法之间的正相关关系用不同深浅的蓝色表示，蓝色越深表示正相关性越强。相反，接近零的相关性用绿色和黄色表示，突出了方法之间不太积极的关系。值得注意的是，矩阵中没有显示方法之间的负相关性，这表明总体上存在一致的趋势，尽管程度有所不同。

图 13 展示了各种多准则决策分析（MCDA）方法之间的相关性。排除对角线上的值（其自然为 1.0），整体上观察到的最小相关性为 0.05，而最大值则达到了 1.0。值得注意的是，CODAS 和 VIKOR 这两种方法与其他方法以及彼此之间的相关性最低，均为 0.05，这表明这两种方法可能与矩阵中的其他方法相比具有独特的视角。

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

4.4 首个案例研究——相关性分析——大型语言模型辅助

为了从图 1 中获取更深入的见解并可能发现隐藏的模式，我们将借助 ChatGPT（gpt4 模型）的分析能力。我们计划使用一系列有针对性的提示来补充我们的初步分析，以揭示我们可能忽略的方面。

解释分析不同多准则决策分析（MCDA）方法之间排名相关性的意义。

分析不同多准则决策分析（MCDA）方法之间排名相关性的目的在于了解这些方法彼此之间的一致性程度。换句话说，它确定了一种方法与另一种方法给出相同排名的倾向程度。从相关性表格来看：——任意两种方法之间的高相关值（接近 1）意味着这两种方法对备选方案的排名相似。例如，“*Rao*（2006）”和“Manshadi 等人（2007）”的相关值为 0.809524，表明这两种方法之间存在很强的正相关性。——低相关值（接近 0）则表明这两种方法对备选方案的排名往往差异很大。例如，“Rao（2006）”和“Codas”的相关值为 0.142857，表明这两种方法之间的一致性较低。这种分析有助于研究人员或决策者了解哪些方法彼此之间最为一致，这在选择使用哪种方法或解读结果时可能非常重要。如果某些方法始终给出相似的排名，研究人员可能会对使用其中任何一种方法充满信心。然而，如果某些方法经常与其他方法得出不同的结论，这可能表明这些方法考虑到了其他方法未考虑的因素，或者对某些因素的重视程度更高。在这种情况下，理解这些不一致之处及其原因，能够为不同多准则决策分析方法的局限性和优势提供重要的见解。此外，如果决策具有敏感性或关键性，决策者可能会选择使用最一致的方法，或者使用一组能产生相似排名的方法，以确保所选方案的稳健性和可靠性。[原文如此]

如果不同多准则决策分析（MCDA）方法得出的排名之间存在高度相关性，这会带来哪些影响?

不同多准则决策分析（MCDA）方法得出的排名之间存在高度相关性，这表明决策过程具有一定的共识或一致性。这可能具有以下几方面的意义：1. 显示稳健性：不同方法之间存在高度相关性意味着结果具有稳健性。这表明所做出的决策或排名不受所使用具体 MCDA 方法的影响。2. 确认有效性：如果多种方法得出相似的结果，这会增加结果的有效性。这能够增强对决策过程结果的信任和信心。3. 简化流程：了解不同的方法会产生非常相似的结果，这可以简化决策过程。决策者可能会根据简便性、易用性或计算效率选择一种方法而非另一种，而不会对结果产生显著影响。4. 表明冗余：然而，如果您使用了多种多准则决策分析方法来确保对决策因素进行全面且多样化的分析，那么高度相关性可能意味着存在冗余。如果多种方法得出的结果非常相似，那么可能没有必要全部实施。5. 结果一致性：高相关性表明排名之间有良好的一致性。无论使用哪种多准则决策分析方法，所选的行动或趋势很可能相同或非常相似。最后，排名之间的高相关性并不一定意味着实际给出的数值评分之间有高相关性，因为得出这些评分的方法可能因所使用的多准则决策分析方法而大不相同。[原文如此]

不同多准则决策分析（MCDA）方法之间的排名相关性较低，可能是什么原因造成的?

不同多准则决策分析（MCDA）方法之间的相关性较低，可能由以下因素导致：1. 不同的 MCDA 方法可能会考虑问题的不同方面。

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

因此，这些替代方案反映了决策过程中不同的观点。2. 所分析的方法可能采用完全不同的理论模型，因此得出的结论也各不相同。3. 这种差异也可能源于每种方法对决策问题所作的不同假设。4. 此外，所选方法的输出结果可能会有很大差异。有些方法可能会输出完整的排名，而其他方法则可能将决策方案分类为不同的偏好组。5. 这些方法还可能对各项标准赋予不同的权重，而权重的细微变化可能会极大地改变最终的排名。有些方法对这些权重更为敏感。6. 最后，这些方法对不确定性的定义和解释可能有所不同。这在某些数据包含显著不确定性的情况下可能会产生巨大差异。[原文如此]

在比较不同多准则决策分析（MCDA）方法的排名时，应当采取哪些预防措施或注意事项?

在比较不同多准则决策分析（MCDA）方法的排名时，需要牢记以下几点：1. 并非所有 MCDA 方法都以相同的方式评估标准。有些方法可能完全优先考虑表现最佳的备选方案，而其他方法则会考虑补偿因素。2. 多准则决策分析（MCDA）方法对于各类问题的适用方式可能不尽相同。例如，某些多准则决策分析方法需要线性偏好函数，这意味着它们并不适用于非线性问题。3. 不同的多准则决策分析（MCDA）方法可能涉及不同的假设和逻辑。例如，有些方法可能假定各准则之间可以相互补偿，而有些则不假定。4. 每种 MCDA 方法的结果可能会因分析设置的不同而有显著差异。例如，分配给不同准则的权重会对结果产生重大影响。5. 需要注意的是，相关值并非不同方法生成的排名之间相似性的精确指标。鉴于这些考虑因素，与其直接比较不同多准则决策分析（MCDA）方法的最终排名，不如考察每种方法得出其排名的过程。这可能会让您更好地理解为何不同方法会产生不同的结果，并对最符合您对问题直觉和理解的方法更有信心。[原文如此]

将 ChatGPT 与研究人员的专业知识相结合，可以为给定的问题提供新的视角。然而，必须认识到它在捕捉广泛主题的每一个细微差别方面存在局限性。具体且有针对性的提示往往能获得更精准的回答。相比之下，开放式的问题可能会遗漏某些关键方面，正如在 VIKOR 和 CODAS 与其他方法的差异案例中所观察到的那样。尽管 ChatGPT 提供了有价值的见解，但人类的监督仍然不可或缺，尤其是在辨别像我们示例中那样明显的模式时。

5. PyDecision – 大型语言模型 – 第二个案例研究

再次，本节旨在展示 pyDecision 与 ChatGPT 结合使用的灵活性。第二个案例研究探讨了多种生成权重的方法，其中包括两种学术文献中提到但 pyDecision 本身并不支持的方法。然后，ChatGPT 在解读结果方面发挥了重要作用。我们通过一系列有针对性的提示来引导决策者评估和理解结果。在本节中，我们将展示 pyDecision 和 ChatGPT 的结合使用。我们的第二个案例研究考察了多种生成权重的方法，其中也包括两种学术文献中提到但 pyDecision 本身并不具备的方法。同样，我们通过一系列提示来使用 ChatGPT，并尝试更好地理解结果。

第二个案例研究可在此处访问：<https://bit.ly/3QAaJle> 。

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

5.1 第二个案例研究——方法比较

第二个案例研究基于 Bottero 等人（2015 年）的研究，他们运用 ELECTRE III 方法构建了一个多准则决策框架。该研究基于六个标准，对五个分别标记为 a1 至 a5 的项目进行了全面评估。投资成本（IVC）是第一个标准，重点关注建设支出。盈利能力（PRF）这一标准不仅评估直接的财务收益，还通过定性尺度评估项目的更广泛经济效益。同样，为民众提供新服务（NSP）衡量项目对公共设施（如休闲空间或绿地）的贡献。景观生态学（LSE）考察项目的生态足迹，即其对当地生物多样性的具体影响，以公顷为单位计算自然化土地面积。环境影响（EVE）则审视项目对水文和地质条件等物理和生态方面的潜在影响，并采用定性尺度进行评估。最后，一致性与地方规划要求（CPR）这一二元标准确定项目是否符合现有的监管框架。除了投资成本（IVC）这一最小化指标外，所有标准都是为了实现最大化而设计的。

表 5 展示了每个项目（a1 - a5）在各项标准下的表现值。例如，项目 a1 的投资成本为 30,000，盈利性得分为 3，而项目 a5 的投资成本为 900,000，但在环境影响方面得分最高，为 7 分。表 6 列出了基于两种不同方法（Bottero 等人，2015 年；Rodrigues 等人，2021 年）为各项标准分配的权重。对于每个标准，权重表示其在整体决策过程中的重要性。Rodrigues 等人（2021 年）使用名为“排名树”的算法来计算每个标准的权重。相比之下，Bottero 等人（2015 年）依靠领域专家来确定权重。

表 7 展示了多准则决策分析（MCDA）方法 BWM、CILOS、CRITIC、熵值法、IDOCRIW 和 MEREC；此外，还整合了两种自定义方法，即 Bottero 等人（2015 年）和 Rodrigues 等人（2021 年）的方法。对于 BWM 方法，重点在于确定最重要的因素。

表 5. 第二个案例研究

替代方案	IVCI（最小值）	PRF（最大值）	NSP（最大值）	伦敦政治经济学院（最高分）	最大值）	心肺复苏术（最大值）
a1	30,000	3	1	2	4	1
a2	45,000	3	5	5	5	1
a3	90,000	1	6	3.2	7	1
A4	120,000	1	7	3.5	6	1
a5	900,000	7	7	1	3	0

来源：作者原创

表 6. 第二个案例研究——权重

标准	博特罗等人（2015 年）	罗德里格斯等人（2021 年）
IVCI	0.140	0.170
PRF	0.250	0.130
NSP	0.080	0.100
伦敦政治经济学院	0.200	0.230
伊芙	0.310	0.190
心肺复苏术	0.020	0.180

来源：作者原创

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

表 7. 第二个案例研究——结果

方法	IVCI	PRF	NSP	伦敦政治经济学院伊芙		心肺复苏术
博特罗等人（2015 年）	0.140	0.250	0.080	0.200	0.310	0.020
罗德里格斯等人（2021 年）	0.170	0.130	0.100	0.230	0.190	0.180
宝马	0.178	0.119	0.084	0.124	0.416	0.078
CILOS	0.050	0.059	0.361	0.08	0.116	0.327
批评家	0.140	0.313	0.178	0.106	0.114	0.148
熵	0.288	0.236	0.116	0.109	0.039	0.212
IDOCRIW	0.361	0.166	0.117	0.114	0.086	0.156
MEREC	0.065	0.055	0.074	0.028	0.014	0.763

来源： 作者原创

标准（MIC = 2、4、5、3、1 和 6）和最不重要标准（LIC = 6、1、3、5、4 和 2），以每种情况下的 1 至 6 排序表示；因此，最佳标准为 EVE（MIC 中排在首位），最差标准为 PRF（LIC 中排在首位）。

第二个案例研究表明，BWM 方法具有独特的权重分配，更侧重于 EVE 标准。CILOS 方法似乎更重视 NSP 和 CPR，而 CRITIC 方法则优先考虑 PRF。熵赋权法将最高权重分配给 IVCI，而 IDOCRIW 方法也是如此，但其重视程度更为突出。最后，MEREC 方法则通过将大部分权重分配给 CPR 而脱颖而出。

5.2 第二个案例研究——方法比较——大型语言模型辅助

为了从表 7 中获取更深入的见解并可能发现隐藏的模式，我们将借助 ChatGPT（gpt4 模型）的分析能力。我们计划使用一系列有针对性的提示来补充我们的初步分析，以揭示我们可能忽略的方面。

哪些方法更相似，哪些方法更不相似?

为了确定不同多准则决策分析（MCDA）方法之间的相似性和差异性，可以使用多种统计分析方法。其中，相关性分析和聚类分析是最常用的。对于这种特定类型的数据（由每种 MCDA 方法计算出的每个标准的权重），相关性分析会是一个不错的选择。这种分析衡量的是两组变量之间的统计关系，而非确定性关系。较高的正相关值（接近 1）意味着两种方法非常相似——它们倾向于对相同的准则赋予较高的权重，对相同的另一组准则赋予较低的权重。另一方面，较高的负相关值（接近 -1）意味着两种方法非常不同——它们倾向于对另一种方法赋予较低权重的准则赋予较高的权重，反之亦然。然而，仅从表格来看，我们无法确切地说出哪些方法最相似或最不同，因为这需要计算和分析。根据所提供的权重进行粗略估计，“Bottero 等人（2015 年）”和“Rodrigues 等人（2021 年）”的方法似乎有些相似。“cilos” 方法似乎与其他方法相比差异较大，这基于其独特的权重分配模式。但请注意，这些只是经验性的观察。要进行准确的相似性/差异性评估，应计算诸如相关系数之类的可量化的统计指标。[原文如此]

在所有方法中，是否存在某些始终被赋予高权重的标准？这些关键标准对于当前的决策问题可能意味着什么?

从表格中获取的信息似乎不太完整，难以进行深入的解释。不过，根据现有内容来看，似乎存在某些情况。

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

在不同方法中平均权重较高的标准。例如，第一和第五标准在所有方法中的平均权重相对较高，这表明它们可能对当前的决策问题特别重要。在多准则决策分析（MCDA）中，分配给不同标准的权重反映了它们在决策问题中的相对重要性。因此，这些权重表明这两个因素/标准可能具有相当大的重要性，可能对整体决策产生重大影响。然而，问题中并未给出这些标准的具体含义或当前的决策问题，这限制了分析的深度。尽管如此，请记住，即使某个标准的平均权重较高，也不一定意味着它总是最重要的——不同的方法可能会优先考虑不同的方面，反映出对同一决策问题的不同看法。此外，决策的背景（例如，选择最佳方案、对方案进行排序、将方案分类等）也会影响对这些权重的解读。不同方法得出的权重之间的比较可用于验证结果的稳健性（如果获得的权重相似，则可以增强对这些权重的信心），或者用于探究结果对所用具体加权方法的敏感性。请注意，最后一列中的高权重（0.763368）可能是异常值，也可能表明对于 merec 方法而言这是一个非常重要的标准。由于缺乏上下文信息，无法给出确切的解释。[原文如此]

相反，是否存在某些标准在所有方法中都始终被赋予较低的权重？这可能表明这些方面在决策情境中不太重要。

看起来，较新的方法（cilos、critic、熵、idocriw、merec）始终给第五项标准（第 5 行）分配较低的权重，其中 merec 分配的权重最低（0.013805）。这表明在这些多准则决策分析方法中，第五项标准可能不太重要。*有趣的是，较早的方法（Bottero 等人，2015 年；Rodrigues 等人，2021 年，bwm）则更重视第五项标准。这可能表明不同方法在优先级排序上存在差异。此外，Bottero 等人（2015 年）和 Rodrigues 等人（2021 年）的方法给第六项标准分配的权重非常低，这可能意味着这些方法认为第六项标准不太重要。不过，还需要进一步分析才能确定这些模式在不同决策情境中是否普遍成立，并解释其在每个具体情境中的意义。[原文如此]

不同方法为各项标准分配的权重差异有多大？权重差异较大可能表明不同方法对各项标准重要性的理解存在差异。

为了确定不同方法对每个标准所分配权重的差异性，计算每行的标准差会很有用。标准差将显示与平均（均值）权重的偏差程度。例如，让我们计算每个方法对第一个标准所分配权重的标准差：——*博特罗等人（2015 年）的值：0.14；罗德里格斯等人（2021 年）的值：0.17；bwm 的值：0.178310；cilos 的值：0.039830；critic 的值：0.140939；熵的值：0.288163；idocriw 的值：0.360795；merec 的值：0.065421。我们可以使用标准差计算器或像 Excel 这样的软件来进行此计算。然后，我们对每一行（即每个标准）重复此过程，以查看不同方法对每个标准重要性的分配存在多大差异。在获得所有标准差后，如果它们较高，则表明这些方法对标准重要性的解读存在差异。但如果它们较低，则表明这些方法对标准重要性的解读较为一致。请注意，在这些示例中我没有给出实际的标准差计算结果，因为此助手无法使用计算函数来进行此类计算。[原文如此]

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

不同方法所赋予的权重之间是否存在任何明显的相关性?

根据所提供的数据，仅通过直观评估很难确定任何明确的相关性。不过，可以观察到一些模式：1. Bottero 等人（2015 年）和 Rodrigues 等人（2021 年）：这两种方法中第三、第四和第五项标准的权重倾向于同向变动，即当其中一项增加时，其他项也会增加；当其中一项减少时，其他项也会减少。2. 博特罗等人（2015 年）和西洛斯：对于第一和第三项标准，当博特罗等人（2015 年）的评分较低时，西洛斯的评分较高，这表明两者之间存在反向关系。3. 罗德里格斯等人（2021 年）和 IDOCRIW：对于第一和第二标准，当罗德里格斯等人（2021 年）朝着一个方向移动时，IDOCRIW 则朝着相反的方向移动。要得出任何相关性及其显著性的结论，需要进行统计分析（如皮尔逊相关性、斯皮尔曼相关性等），以分析不同多准则决策分析方法内部和之间的数值模式。这包括计算相关系数，从而为这些方法之间的任何关系提供定量的理解。仅通过纯视觉检查数据，人工智能模型无法最终确定相关性。[原文如此]

您能否识别出那些分配权重与其它方法显著不同的异常值检测方法?

要识别出离群的多准则决策分析（MCDA）方法，一种方式是将每种方法的权重与所有方法在每个标准上的权重的中位数（或平均值）进行比较。我们将离群方法定义为与其它方法偏差超过一定阈值（比如 0.2）的方法。*Bottero* 等人（2015 年）和 Rodrigues 等人（2021 年）似乎为每个标准分配了相似的权重。他们的大多数权重都处于相同的范围。对于“bwm”，权重变化较大。其第五个标准的权重在所有方法中是最高的，这可能使“bwm”在这一特定标准上成为离群值。“cilos”为第三和第六个标准分配的权重明显高于其他方法，因此可以认为它在这些标准上是离群值。“critic”与“bwm”类似，第二个标准的权重较高。“entropy”为第一个标准分配的权重最大，高于其他方法。“idocriw”在各标准上的权重变化相对较小，但第一个标准的权重仍最高，略高于其他方法。“merec” 对最后一个标准的权重设置得非常高，这可能会使其成为该标准下的异常方法。需要注意的是，这些差异的相关性取决于应用领域以及特定方法的固有特性。这些差异可能有其合理之处，也可能表明存在实际问题，也可能没有。[原文如此]

提示 7：是否存在一种特定的方法，始终对所有标准赋予更高的权重或更低的权重？如果有，这表明该方法的评估方式有何特点?

根据所给表格，若不明确具体评估的标准，很难确定哪种方法会始终给所有标准分配更高的权重或更低的权重。但从概念上讲，如果一种方法始终给所有标准分配更高的权重，这可能意味着它对所有被衡量的方面都给予了高度重视，是一种较为宽泛的方法，可能适用于一般性分析，但缺乏针对性。相反，如果一种方法始终给所有标准分配更低的权重，这可能表明该方法在权重分配上更为保守或严格，对每个标准的影响持更为怀疑的态度。从表格中的观察结果来看，“idocriw”总体上分配的权重相对较高，而“cilos”和“merec”则通常分配较低的权重。这可能意味着“idocriw”对所有标准都给予了较高的重视，认为各种标准都有可能产生影响。“cilos”和“merec”方法可能在权重分配上更为保守或具有选择性，或者它们可能对某些标准分配了更高的权重，只是这些标准未在表格中体现。

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

列于本表中。不过，掌握具体的标准以及理解每种多准则决策分析方法背后的算法，对于得出准确的见解而言，无疑是至关重要的。

不同方法的权重分配是否表明对各项标准重要性排序达成了共识?

不同多准则决策分析方法得出的结果差异很大，这表明在准则的重要性排序方面缺乏共识。*一些方法更重视第一个准则(Bottero 等人、Rodrigues* 等人、bwm、critic、idocriw），但其他方法则更看重第二个准则（熵、merec），甚至还有方法更看重第六个准则（cilos）。因此，准则的重要性在很大程度上取决于所采用的多准则决策分析方法。进一步探究其背后的原因，并根据具体决策问题的性质和要求来确定权重方法，将会有助于解决这一问题。

在没有上下文的情况下运行时，ChatGPT 有时可能会陷入对研究人员可能已经熟悉的概念进行基础性解释的境地。例如，在提示 4 和 5 中，其回答有时会显得过于基础或缺乏深度。提供具体背景信息或运用领域专业知识对于获取最有价值和最深刻的答案至关重要。

5.3 第二个案例研究——相关性分析

我们将使用皮尔逊相关系数作为分析工具，来考察表 7 中所展示的多准则决策分析方法的连续值之间的相互关系。图 2 提供了这些相互关系的彩色编码矩阵。蓝色的深浅表示方法之间的正相关关系，颜色越深，相关性越强。相反，绿色和黄色分别表示接近零的相关性和负相关性。值得注意的是，该矩阵突出了某些方法之间存在的显著负相关关系。

通过分析图 14 的结果，可以发现几个显著的关系。最突出的是，CILOS 和 MEREC 之间存在很强的正相关关系，相关系数为 $r = 0.85$，表明这两种方法往往同步变化。ENTROPY 和 IDOCRIW 也显示出很强的正相关关系，相关系数为 $r = 0.83$，表明它们具有相似的趋势。*在另一端,Bottero* 等人（2015 年）的结果与 CILOS 之间存在明显的负相关关系，相关系数为 $r = -0.76$。另一个显著的负相关关系出现在 CRITIC 与 Rodrigues 等人（2021 年）的结果之间，相关系数为 $r = -0.66$。

5.4 第二个案例研究——相关性分析——大型语言模型辅助

为了从图 2 中获取更深入的见解并可能发现隐藏的模式，我们将借助 ChatGPT（gpt4 模型）的分析能力。我们计划使用一系列有针对性的提示来补充我们的初步分析，以揭示我们可能忽略的方面。

解释分析不同多准则决策分析（MCDA）方法之间权重相关性的意义。

分析不同多准则决策分析（MCDA）方法之间权重的相关性具有重要意义：1. 检查一致性：通过考察相关性，我们可以检查决策过程的一致性。如果不同的 MCDA 方法在某些权重比较上给出相互矛盾的结果，这表明可能存在不一致，需要重新审视决策问题的结构和数据。2. 验证多准则决策分析方法：这些相关数据还有助于验证和比较不同多准则决策分析方法的可靠性。如果两种方法的权重相关性较高，那么它们可能具有相似的有效性。相反，如果相关性较低，则可能表明其中一种方法不太可靠。3. 揭示偏见：相关性分析还能揭示潜在的偏见，这些偏见

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

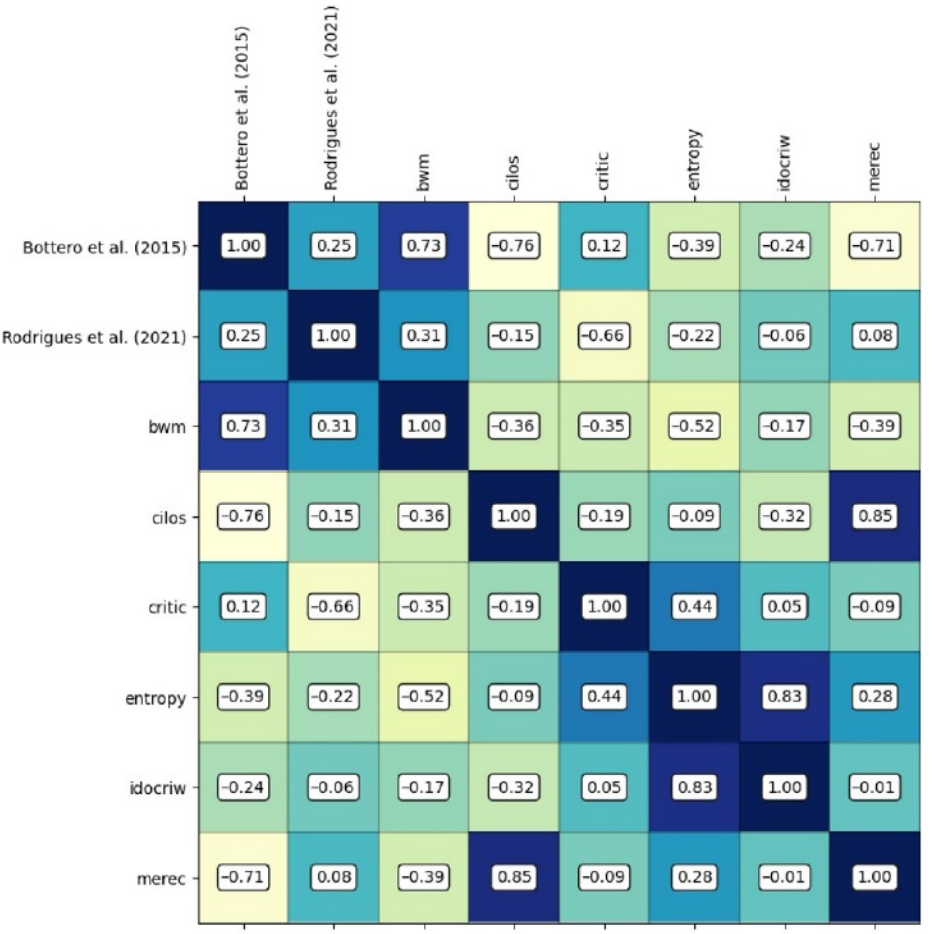

图 14.第二个案例研究权重相关性 **来源：**作者自创

当分别考虑每种方法时，这一点可能并不明显。4. 改进决策过程：高相关性增强了我们对决策过程的信心，而低相关性则可能促使进一步调查以揭示潜在原因，并进而改进决策过程。5. 整合多种多准则决策分析方法：如果发现两种方法的权重相关性较高，人们可能会考虑将这两种方法整合为一种“混合”方法，这有可能提高模型的稳健性。在给定的表格中，正值表明存在正相关关系，即一种方法中的权重增加时，另一种方法中的权重也会增加。相反，负值表明存在负相关关系，即一种方法中的权重增加时，另一种方法中的权重会减少。接近 1 或 -1 的值分别表明存在很强的正相关或负相关关系，而接近 0 的值则表明相关性较弱或不存在相关性。[原文如此]

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

在不同的多准则决策分析（MCDA）方法中，导致各项标准权重差异的原因可能是什么?

多准则决策分析（MCDA）方法中各项标准权重的差异可能由多种因素造成：1. 对标准重要性的不同解读：对某一标准重要性的认知会因评估者而异。不同的人可能会基于自身的视角对不同要素进行优先排序。例如，专家和外行，或者不同的人口群体，对各项标准重要性的认知很可能会有所不同。2. 选择不同的方法：不同的多准则决策分析（MCDA）方法采用不同的算法来解释各项标准的重要性，它们使用不同的有效性衡量标准。例如，层次分析法（AHP）采用成对比较的方法来确定权重，而 PROMETHEE 方法则使用偏好函数。3. 数据形式和类型的差异：不同的多准则决策分析方法更适合不同类型的数据（定量、定性、区间、顺序等），这可能会影响权重的确定。4. 对不确定性的敏感度：一些多准则决策分析方法比其他方法更易受不确定性的影响。如果数据或偏好不确定，这些方法可能会对不同标准赋予不同的权重。5. 决策问题的具体应用领域或背景可能会影响权重分配过程。例如，在环境决策中，生态标准可能比经济因素更受重视，而且这种重视程度可能会因方法的不同而有所变化。6. 偏见和主观性：由于多准则决策分析（MCDA）反映的是人的判断，个人的偏见和看法可能会影响标准的选择以及所分配的权重。这些因素会因所采用的 MCDA 方法的不同而有所差异。[原文如此]

不同多准则决策分析（MCDA）方法之间权重的相关性如何影响最终决策?

不同多准则决策分析方法之间权重的相关性会对最终决策产生重大影响，因为它决定了这些方法之间的一致性或不一致性。1. 正相关：如果两种多准则决策分析（MCDA）方法具有较高的正相关性，比如博特罗等人（2015 年）的方法和 BWM 方法，这意味着它们在为各项标准分配权重的方式上大体一致。使用这些方法做出的决策可能会相似，因为它们认为相同的标准很重要。2. 负相关：如果两种多准则决策分析（MCDA）方法之间存在高度负相关，比如*博特罗等*人（2015 年）的方法和西洛斯方法，这意味着它们在对各项标准重要性的排序上存在分歧。使用这些方法做出的决策可能会大相径庭，从而可能使决策过程变得复杂。3. 无相关性：如果两种多准则决策分析（MCDA）方法的相关性接近于零（例如特征值法和 idocriw 法），这意味着这两种方法所分配的权重之间不存在线性关联。在没有其他信息的情况下，我们无法推断出如果使用这些方法的不同组合，决策结果会如何变化。高度相关的 MCDA 方法如果得出相同的结果，可能会有助于强化决策，从而为所做决策提供更多的信心。然而，如果 MCDA 方法之间存在分歧或缺乏相关性，这可能表明决策更为复杂，不同的方法突出了不同的优先事项。因此，决策者可能希望仔细审查这些差异，探究其根本原因，并最终选择最适合其问题和背景的方法。请记住，相关性并不意味着因果关系——虽然它显示了两者之间的关系，但并不能说明为何这些权重会以这种方式相互影响。同样重要的是，要认识到 MCDA 只是决策过程中的一个步骤，决策不应仅仅基于 MCDA 的结果。其他因素，包括专家意见、监管方面的考虑以及公众反应，也需要予以考虑。

如果在不同的多准则决策分析（MCDA）方法中权重存在高度相关性，这可能会带来哪些影响?

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

如果不同多准则决策分析方法的权重之间存在高度相关性，这意味着这些方法得出的结果几乎相同。这可能有以下几方面的含义：1. 一致性：在决策过程中，一致性至关重要，因此高度相关性可能表明决策过程具有较高的一致性。2. 有效性确认：强相关性可作为验证所应用方法得出的结果准确且有效的依据。如果在不同的多准则决策分析方法中，对相同的备选方案赋予了相似的权重，那么结果更有可能真实地反映了实际情况。3. 决策的便利性：如果不同多准则决策分析（MCDA）方法之间存在高度相关性，这意味着各方对哪些备选方案更优的看法一致，从而更容易做出最终决策。但需要注意以下几点：1. 冗余风险：如果所有方法得出的结果几乎相同，使用多种 MCDA 方法可能会造成效率低下，因为可能会在应用和分析多种方法上浪费精力和资源，而实际上一种方法就已足够。2. 限制创新：在某些情况下，决策者可能希望获得多样化的分析和结果。在这种情况下，权重的高度相关性会缩小找到创新解决方案的范围。3. 可靠性：高度的相关性也可能表明这些方法并不像看起来那样可靠，因为它们没有为决策问题提供不同的视角。这可能意味着这些方法受到相同潜在因素的影响，而非各自提供独特的分析。总体而言，理解这些相关性可以创造机会，以便在特定情境下使用最适合的多准则决策分析方法，或者将各种方法的结果融合起来，以进行更全面的分析。[原文如此]

如何解决不同多准则决策分析（MCDA）方法所分配权重的不一致问题，有哪些策略可用?

从上表可以看出，不同多准则决策分析（MCDA）方法所赋予的权重存在一些显著差异和不一致之处。以下是一些可用于解决这些不一致性的策略：1. 决策矩阵：使用决策矩阵来比较不同方法所赋予的权重。这可能涉及根据这些方法准确反映决策者偏好的能力对其进行排序。2. 方法比较：并非所有的多准则决策分析方法对于手头的数据类型或决策问题都同样有效。对这些方法进行比较，以了解哪种方法最适合特定的决策情境，并相应地确定其权重或进行优化。3. 平均值：您可以考虑对每个标准由所有方法确定的权重取平均值。这种简单的方法有助于解决不同方法之间的不一致问题，尽管它可能并不总是能得出最理想的结果。4. 敏感性分析：进行敏感性分析以研究输入数据的变化（即不同多准则决策分析方法所分配权重的变化）对最终决策的影响。5. 元建模：元模型是一种对多次运行原始模型所获得的知识进行总结的模型。这可用于解决不一致的问题。6. 专家判断：在确定权重时纳入决策者或专家的意见。考虑不同标准相对重要性的定性观点也可能有所帮助。7. 加权技术：采用成熟的加权技术，以便更好地体现决策者的偏好。可以使用诸如层次分析法（AHP）或 BWM 法等技术。8. 交叉验证：与实际结果进行交叉验证，以查看一种方法的权重是否往往比其他方法更准确。请记住，这些策略并非相互排斥，通常可以结合使用，以达到最佳可能的结果。[原文如此]

ChatGPT 偶尔会误解某些特定技术或方法的细微差别。例如，提示 2 正确描述了层次分析法（AHP）生成权重的方法，但却不准确地

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

声称 PROMETHEE 方法使用偏好函数来达到相同的目的。虽然该模型能够提供有价值的见解，但对其响应进行准确性交叉核对至关重要。

6. 大型数据集

为了评估不同多准则决策分析（MCDA）方法在复杂度不断增加情况下的计算性能，我们将对其在一系列矩阵规模下的执行时间进行评估，这些矩阵规模代表了备选方案和标准的数量，包括 10×10、10×25、10×50、10×100、25×10、25×25、25×50、25×100、100×10、100×25、100×50 和 100×100。对于每种配置，我们将进行 100 次独立运行，记录平均执行时间（以秒为单位）和标准差，以确保结果可靠且具有统计学意义。某些为标准分配权重的方法不适用于大规模的压力测试，因为随着标准数量的增加，计算出的权重差异往往会减小，导致所有标准的权重几乎相同。同样，像层次分析法（AHP）这样专门针对规模较小、结构良好的问题设计的方法，对于规模显著增大的数据集缺乏验证，因此在这样的情况下很少被使用。因此，用于压力测试的方法是表 4 中所列的那些，因为它们更适合处理更大、更复杂的决策场景。

表 8 清晰地揭示了在计算效率方面的显著差异。COPRAS、SPOTIS、MOORA、MACBETH、SAW、CRADIS、MARCOS 和 TOPSIS 这一组方法在处理小到中等规模的问题（例如 10×25 和 25×50）时，其计算开销极低（通常低于 0.001 秒）。即使问题规模增加到 100×100，其运行时间也依然很短，平均很少超过几毫秒。这一组方法近乎线性甚至次线性的扩展性表明其数学公式简单且实现高效，因此非常适合处理相对较大的备选方案 - 标准矩阵的场景。

另一组方法，包括 EDAS、MAIRCA、MULTIMOORA、MABAC 和 MAUT，其运行时间适中但仍相当可行，对于中等规模的数据，通常在几毫秒范围内，偶尔在 100×100 的情况下会升至几十或几百毫秒。这些方法的复杂度较高，源于决策流程中更复杂的转换或部分迭代步骤。不过，其运行时间的标准差仍保持在较低水平，表明性能稳定。这类方法在实际应用中可轻松处理多达几百个备选方案和标准，因为即使进行多次分析或敏感性检查，也不会造成过大的计算负担。

相比之下，PROMETHEE 系列（特别是 PROMETHEE II、PROMETHEE IV 和 EC PROMETHEE）以及 TODIM 在矩阵规模扩大时执行时间显著增加，EC PROMETHEE 在 100×100 时达到约 6 秒。尽管处理时间相对较长，但在大多数情况下标准差仍然较小，表明计算负载较为稳定。我们可以注意到，采用简单比率或加法公式的那些方法在执行时间的较低端占据主导地位。相反，迭代或基于偏好流的方法在大规模应用时需要格外谨慎。

7. 结论

总之，PyDecision 库实现了 70 多种多准则决策分析方法，为研究人员和从业人员提供了一个全面的工具包，用于探索、分析和解决复杂的决策问题。它与 Python 生态系统的集成相比传统多准则决策分析软件具有诸多优势。其开源性质鼓励协作和持续改进，确保该库始终与最新技术保持同步。

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

表 8. 时间结果

矩阵大小	10 乘以 10	10 乘以 25	10 乘以 50	10 乘以 100	二十五乘以十	二十五乘二十五	二十五乘以五十	25 乘以 100
ARAS	0.0002 ± 0.0000	0.0003 ± 0.0000	0.0006 ± 0.0000	0.0012 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0004 ± 0.0000	0.0020 ± 0.0001	0.0016 ± 0.0001
CoCoSo	0.0002 ± 0.0000	0.0003 ± 0.0000	0.0006 ± 0.0000	0.0011 ± 0.0001	0.0002 ± 0.0000	0.0003 ± 0.0000	0.0011 ± 0.0002	0.0012 ± 0.0000
CODAS	0.0002 ± 0.0000	0.0003 ± 0.0000	0.0006 ± 0.0000	0.0009 ± 0.0000	0.0007 ± 0.0001	0.0009 ± 0.0000	0.0030 ± 0.0001	0.0019 ± 0.0000
COPRAS	0.0000 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000
CRADIS	0.0001 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0003 ± 0.0000	0.0006 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0008 ± 0.0001	0.0007 ± 0.0001
EDAS	0.0002 ± 0.0000	0.0005 ± 0.0001	0.0008 ± 0.0000	0.0016 ± 0.0001	0.0004 ± 0.0000	0.0011 ± 0.0000	0.0035 ± 0.0002	0.0039 ± 0.0001
GRA	0.0002 ± 0.0000	0.0004 ± 0.0000	0.0008 ± 0.0000	0.0015 ± 0.0001	0.0001 ± 0.0000	0.0004 ± 0.0000	0.0016 ± 0.0001	0.0015 ± 0.0001
MABAC	0.0014 ± 0.0001	0.0032 ± 0.0001	0.0062 ± 0.0001	0.0133 ± 0.0002	0.0039 ± 0.0000	0.0098 ± 0.0001	0.0368 ± 0.0012	0.0398 ± 0.0003
麦克白	0.0001 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0004 ± 0.0000	0.0007 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0007 ± 0.0003	0.0008 ± 0.0000
MAIRCA	0.0003 ± 0.0000	0.0005 ± 0.0001	0.0011 ± 0.0000	0.0022 ± 0.0000	0.0003 ± 0.0000	0.0006 ± 0.0000	0.0026 ± 0.0005	0.0022 ± 0.0000
马科斯	0.0001 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0005 ± 0.0001	0.0010 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000	0.0003 ± 0.0000	0.0011 ± 0.0003	0.0010 ± 0.0000
MAUT	0.0004 ± 0.0000	0.0010 ± 0.0000	0.0020 ± 0.0001	0.0043 ± 0.0001	0.0006 ± 0.0000	0.0014 ± 0.0001	0.0058 ± 0.0007	0.0052 ± 0.0001
MOORA	0.0001 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0005 ± 0.0001	0.0001 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000	0.0007 ± 0.0002	0.0005 ± 0.0001
MOOSRA	0.0001 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0005 ± 0.0001	0.0001 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000	0.0007 ± 0.0002	0.0005 ± 0.0001
多准则优化方法	0.0002 ± 0.0000	0.0004 ± 0.0000	0.0006 ± 0.0000	0.0010 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0006 ± 0.0000	0.0025 ± 0.0004	0.0016 ± 0.0000
OCRA	0.0001 ± 0.0000	0.0004 ± 0.0000	0.0007 ± 0.0001	0.0014 ± 0.0001	0.0002 ± 0.0000	0.0004 ± 0.0000	0.0013 ± 0.0003	0.0017 ± 0.0001
奥雷斯特	0.0009 ± 0.0000	0.0019 ± 0.0000	0.0037 ± 0.0001	0.0080 ± 0.0001	0.0011 ± 0.0000	0.0024 ± 0.0001	0.0107 ± 0.0007	0.0100 ± 0.0001
PIV	0.0002 ± 0.0000	0.0003 ± 0.0000	0.0007 ± 0.0001	0.0014 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000	0.0003 ± 0.0000	0.0018 ± 0.0003	0.0013 ± 0.0000
PROMETHEE II	0.0013 ± 0.0001	0.0029 ± 0.0000	0.0055 ± 0.0001	0.0119 ± 0.0002	0.0070 ± 0.0001	0.0165 ± 0.0002	0.0703 ± 0.0017	0.0691 ± 0.0007
PROMETHEE IV	0.0041 ± 0.0001	0.0099 ± 0.0002	0.0185 ± 0.0003	0.0366 ± 0.0005	0.0238 ± 0.0003	0.0613 ± 0.0004	0.1767 ± 0.0052	0.2439 ± 0.0022
EC PROMETHEE	0.0030 ± 0.0006	0.0073 ± 0.0006	0.0143 ± 0.0006	0.0271 ± 0.0007	0.0147 ± 0.0005	0.0363 ± 0.0008	0.0802 ± 0.0011	0.1458 ± 0.0012
PSI	0.0001 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0003 ± 0.0000	0.0006 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0008 ± 0.0002	0.0006 ± 0.0000
遥控潜水器	0.0002 ± 0.0000	0.0005 ± 0.0000	0.0011 ± 0.0000	0.0021 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0005 ± 0.0000	0.0023 ± 0.0002	0.0022 ± 0.0000
锯子	0.0001 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0004 ± 0.0001	0.0007 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0008 ± 0.0001	0.0007 ± 0.0000
SPOTIS	0.0000 ± 0.0000	0.0000 ± 0.0000	0.0000 ± 0.0000	0.0000 ± 0.0000	0.0000 ± 0.0000	0.0000 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0002	0.0001 ± 0.0000
TODIM	0.0041 ± 0.0000	0.0099 ± 0.0001	0.0199 ± 0.0002	0.0396 ± 0.0003	0.0263 ± 0.0002	0.0722 ± 0.0020	0.1982 ± 0.0069	0.2574 ± 0.0009
TOPSIS	0.0001 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0004 ± 0.0000	0.0008 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000	0.0004 ± 0.0000	0.0004 ± 0.0000	0.0008 ± 0.0000
VIKOR	0.0002 ± 0.0000	0.0004 ± 0.0001	0.0005 ± 0.0000	0.0009 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0007 ± 0.0001	0.0005 ± 0.0000	0.0009 ± 0.0000
WSM	0.0002 ± 0.0000	0.0004 ± 0.0000	0.0009 ± 0.0001	0.0016 ± 0.0001	0.0002 ± 0.0000	0.0006 ± 0.0001	0.0009 ± 0.0000	0.0016 ± 0.0001
每分钟单词数	0.0002 ± 0.0000	0.0004 ± 0.0000	0.0009 ± 0.0001	0.0016 ± 0.0001	0.0002 ± 0.0000	0.0006 ± 0.0001	0.0009 ± 0.0000	0.0016 ± 0.0001
WASPAS	0.0002 ± 0.0000	0.0004 ± 0.0000	0.0009 ± 0.0001	0.0016 ± 0.0001	0.0002 ± 0.0000	0.0006 ± 0.0001	0.0009 ± 0.0000	0.0016 ± 0.0001

（续）

该文件由华中科技大学用户 o 从 http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf 下载。

表 8（续）

矩阵大小	50 乘以 10	50 乘以 25	五十乘五十	50 乘以 100	100 乘以 10	100 乘以 25	一百乘以五十	100 乘以 100
ARAS	0.0003 ± 0.0000	0.0007 ± 0.0001	0.0011 ± 0.0000	0.0051 ± 0.0007	0.0004 ± 0.0000	0.0011 ± 0.0000	0.0048 ± 0.0006	0.0036 ± 0.0001
CoCoSo	0.0002 ± 0.0000	0.0003 ± 0.0000	0.0006 ± 0.0000	0.0025 ± 0.0005	0.0002 ± 0.0000	0.0004 ± 0.0000	0.0013 ± 0.0002	0.0013 ± 0.0000
CODAS	0.0024 ± 0.0001	0.0027 ± 0.0000	0.0031 ± 0.0000	0.0093 ± 0.0006	0.0087 ± 0.0001	0.0091 ± 0.0001	0.0233 ± 0.0009	0.0127 ± 0.0001
COPRAS	0.0001 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0002	0.0001 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0002	0.0001 ± 0.0000
CRADIS	0.0001 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0004 ± 0.0000	0.0014 ± 0.0004	0.0001 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0013 ± 0.0004	0.0007 ± 0.0000
EDAS	0.0009 ± 0.0000	0.0021 ± 0.0000	0.0042 ± 0.0001	0.0141 ± 0.0008	0.0017 ± 0.0000	0.0038 ± 0.0001	0.0179 ± 0.0009	0.0166 ± 0.0002
GRA	0.0002 ± 0.0000	0.0004 ± 0.0000	0.0009 ± 0.0000	0.0034 ± 0.0006	0.0002 ± 0.0000	0.0004 ± 0.0000	0.0021 ± 0.0005	0.0017 ± 0.0000
MABAC	0.0103 ± 0.0001	0.0265 ± 0.0002	0.0540 ± 0.0003	0.2053 ± 0.0031	0.0320 ± 0.0002	0.0790 ± 0.0004	0.1955 ± 0.0068	0.3157 ± 0.0019
麦克白	0.0001 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0004 ± 0.0000	0.0016 ± 0.0004	0.0001 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0004 ± 0.0000	0.0008 ± 0.0000
MAIRCA	0.0003 ± 0.0000	0.0006 ± 0.0001	0.0011 ± 0.0000	0.0046 ± 0.0005	0.0002 ± 0.0000	0.0006 ± 0.0000	0.0012 ± 0.0000	0.0022 ± 0.0000
马科斯	0.0001 ± 0.0000	0.0003 ± 0.0000	0.0005 ± 0.0000	0.0023 ± 0.0005	0.0002 ± 0.0000	0.0003 ± 0.0000	0.0006 ± 0.0001	0.0010 ± 0.0000
MAUT	0.0008 ± 0.0000	0.0021 ± 0.0000	0.0040 ± 0.0001	0.0179 ± 0.0009	0.0014 ± 0.0001	0.0031 ± 0.0000	0.0061 ± 0.0001	0.0119 ± 0.0001
MOORA	0.0001 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0008 ± 0.0002	0.0001 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0003 ± 0.0000	0.0004 ± 0.0000
MOOSRA	0.0001 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0015 ± 0.0004	0.0001 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0003 ± 0.0000	0.0004 ± 0.0000
多准则优化方法	0.0003 ± 0.0000	0.0011 ± 0.0000	0.0019 ± 0.0000	0.0066 ± 0.0007	0.0004 ± 0.0000	0.0016 ± 0.0000	0.0034 ± 0.0001	0.0048 ± 0.0001
OCRA	0.0002 ± 0.0000	0.0007 ± 0.0001	0.0011 ± 0.0000	0.0049 ± 0.0005	0.0003 ± 0.0000	0.0008 ± 0.0000	0.0016 ± 0.0001	0.0030 ± 0.0000
奥雷斯特	0.0015 ± 0.0000	0.0041 ± 0.0001	0.0073 ± 0.0001	0.0311 ± 0.0012	0.0024 ± 0.0001	0.0060 ± 0.0001	0.0117 ± 0.0001	0.0226 ± 0.0001
PIV	0.0001 ± 0.0000	0.0004 ± 0.0000	0.0006 ± 0.0000	0.0023 ± 0.0001	0.0001 ± 0.0000	0.0003 ± 0.0000	0.0007 ± 0.0000	0.0012 ± 0.0000
PROMETHEE II	0.0268 ± 0.0003	0.0686 ± 0.0006	0.1572 ± 0.0042	0.3334 ± 0.0089	0.1826 ± 0.0051	0.2800 ± 0.0069	0.5142 ± 0.0036	0.9437 ± 0.0081
PROMETHEE IV	0.0954 ± 0.0012	0.2359 ± 0.0025	0.8862 ± 0.0132	1.8584 ± 0.0367	0.7867 ± 0.0102	1.7114 ± 0.0446	2.4003 ± 0.0721	4.1288 ± 0.0785
EC PROMETHEE	0.0859 ± 0.0050	0.4551 ± 0.0057	0.8928 ± 0.0083	1.4930 ± 0.0488	0.6465 ± 0.0177	1.5108 ± 0.0419	2.9664 ± 0.0822	6.1946 ± 0.1198
PSI	0.0001 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0004 ± 0.0000	0.0006 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0002	0.0003 ± 0.0000	0.0003 ± 0.0000	0.0009 ± 0.0000
遥控潜水器	0.0002 ± 0.0000	0.0006 ± 0.0000	0.0016 ± 0.0001	0.0023 ± 0.0001	0.0006 ± 0.0003	0.0007 ± 0.0000	0.0011 ± 0.0000	0.0028 ± 0.0001
锯子	0.0001 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0007 ± 0.0001	0.0007 ± 0.0000	0.0000 ± 0.0000	0.0003 ± 0.0000	0.0004 ± 0.0000	0.0011 ± 0.0001
SPOTIS	0.0000 ± 0.0000	0.0000 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000	0.0000 ± 0.0000	0.0000 ± 0.0000	0.0000 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000
TODIM	0.1044 ± 0.0006	0.2643 ± 0.0010	0.8447 ± 0.0255	1.5841 ± 0.0352	0.6662 ± 0.0201	2.0244 ± 0.0315	2.0392 ± 0.0193	4.9159 ± 0.0870
TOPSIS	0.0001 ± 0.0000	0.0002 ± 0.0000	0.0006 ± 0.0003	0.0007 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000	0.0005 ± 0.0002	0.0004 ± 0.0000	0.0008 ± 0.0000
VIKOR	0.0002 ± 0.0000	0.0006 ± 0.0001	0.0014 ± 0.0004	0.0010 ± 0.0000	0.0003 ± 0.0000	0.0008 ± 0.0003	0.0005 ± 0.0001	0.0009 ± 0.0000
WSM	0.0002 ± 0.0000	0.0004 ± 0.0000	0.0019 ± 0.0004	0.0017 ± 0.0001	0.0002 ± 0.0000	0.0010 ± 0.0002	0.0008 ± 0.0000	0.0017 ± 0.0001
每分钟单词数	0.0002 ± 0.0000	0.0004 ± 0.0000	0.0019 ± 0.0004	0.0017 ± 0.0001	0.0002 ± 0.0000	0.0010 ± 0.0002	0.0008 ± 0.0000	0.0017 ± 0.0001
WASPAS	0.0002 ± 0.0000	0.0004 ± 0.0000	0.0019 ± 0.0004	0.0017 ± 0.0001	0.0002 ± 0.0000	0.0010 ± 0.0002	0.0008 ± 0.0000	0.0017 ± 0.0001

来源：作者原创

该文件由华中科技大学用户 o 从 http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf 下载。

该领域的最新进展。此外，它与 ChatGPT 的集成提供了额外的 AI 驱动的分析层，不过研究人员在解读输出结果时应谨慎行事并保持辨别力。值得注意的是，PyDecision 具有便于比较多准则决策分析（MCDA）方法的模块，无论是生成排名还是权重的方法。此外，其投票方法也针对 MCDA 场景进行了调整，能够从排名比较矩阵中选出最优方案。通过 PyDecision 将 MCDA 与 AI 相融合，既革新了久经考验的方法，也推动了新方法的发展，展现了决策工具的未来趋势。

在未来的工作中，我们打算开展受控实验和比较研究，以系统地评估 ChatGPT 在决策过程中的整合情况。这些研究旨在量化人工智能驱动的解释对决策准确性、决策速度和易用性等关键因素的影响。这些实证评估将为在诸如 pyDecision 等决策分析框架中融入大型语言模型的实际益处和局限性提供更深入的见解，从而有助于开发更强大、更适应性强且以数据为驱动的决策支持系统。

声明

本稿件的撰写未获任何资金支持。

所有作者均声明，他们与任何在本稿件所讨论的主题或材料方面具有任何经济利益或非经济利益的组织或实体均无关联或参与。

本研究中所用的数据集和计算细节均可完全获取，以确保透明度和可重复性。第一个案例研究的数据可在 https:// bit.ly/47aAVrZ 查找，第二个案例研究的数据可在 https:// bit.ly/3QAaJle 获取。

参考文献

Amiri, M., Hashemi-Tabatabaei, M., Ghahremanloo, M., Keshavarz-Ghorabaee, M., Zavadskas, E.K. and Kaklauskas, A. (2021), “Evaluating life cycle of buildings using an integrated approach based on Quantitative-Qualitative and simplified Best-Worst methods (QQM-SBWM)”, *Sustainability*, Vol. 13 No. 8, p. 4487, doi: 10.3390/su13084487.

Basilio, M.P., Pereira, V. and Yigit, F. (2023), “New hybrid EC-Promethee method with multiple iterations of random weight ranges: APPLIED to the choice of policing strategies”, *Mathematics*, Vol. 11 No. 21, p. 11214432, doi: 10.3390/math11214432.

Bigaret, S., Hodgett, R.E., Meyer, P., Mironova, T. and Olteanu, A.L. (2017), “Supporting the multicriteria decision aiding process: r and the MCDA package”, *EURO Journal on Decision Processes*, Vol. 5 Nos 1-4, pp. 169-194, doi: 10.1007/s40070-017-0064-1.

Bisdorf, R., Dias, L., Mousseau, V., Pirlot, M. and Meyer, P. (2015), “Evaluation and decision models with multiple criteria. Case studies”, *International Handbooks on Information Systems*, Springer, Berlin, doi: 10.1007/978-3-662-46816-6.

Borda, J.C. (1781), “Mémoire sur les élections au scrutin”, *Histoire De L'Académie Royale Des Sciences*, Vol. 102, pp. 657-665, available at: http://gerardgreco.free.fr/IMG/pdf/MA_c_moire-Borda-1781.pdf

Bottero, M., Ferretti, V., Figueira, J.R., Greco, S. and Roy, B. (2015), “Dealing with a multiple criteria environmental problem with interaction effects between criteria through an extension of the ELECTRE III method”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 245 No. 3, pp. 837-850, doi: 10.1016/j.ejor.2015.04.005.

Bouyssou, D. and Marchant, T. (2007), “An axiomatic approach to noncompensatory sorting methods in MCDM, II: more than two categories”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 178 No. 1, pp. 246-276, doi: 10.1016/j.ejor.2006.01.033.

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

Brans, J.P. and Vincke, P. (1985), "A preference ranking organisation method", *Management Science*, Vol. 31 No. 6, pp. 647-656, doi: 10.1287/mnsc.31.6.647.

Brauers, W.K. and Zavadskas, E.K. (2006), "The MOORA method and its application to privatization in a transition economy", *Control and Cybernetics*, Vol. 35 No. 2, pp. 445-469.

Brauers, W.K. and Zavadskas, E.K. (2010), "Project management by multimoora as an instrument for transition economies", *Technological and Economic Development of Economy*, Vol. 16 No. 1, pp. 5-24, doi: 10.3846/tede.2010.01.

Churchman, C.W., Ackoff, R.L. and Smith, N.M. (1954), "An approximate measure of value", *Journal of the Operations Research Society of America*, Vol. 2 No. 2, pp. 172-187, doi: 10.1287/opre.2.2.172.

Cinelli, M., Coles, S.R. and Kirwan, K. (2014), "Analysis of the potentials of multicriteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment", *Ecological Indicators*, Vol. 46, pp. 138-148, doi: 10.1016/j.ecolind.2014.06.011.

Cinelli, M., Spada, M., Kim, W., Zhang, Y. and Burgherr, P. (2021), "MCDA index tool: an interactive software to develop indices and rankings", *Environment Systems and Decisions*, Vol. 41 No. 1, pp. 82-109, doi: 10.1007/s10669-020-09784-x.

Copeland, A.H. (1951), "A reasonable social welfare function", Mimeographed notes from a Seminar on Applications of Mathematics to the Social Sciences.

Costa, C.A.B. and Vansnick, J.C. (1994), "MACBETH –an interactive path towards the construction of cardinal value functions", *International Transactions in Operational Research*, Vol. 1 No. 4, pp. 489-500, doi: 10.1016/0969-6016(94)90010-8.

Creative Decisions Foundation (2020), "SuperDecisions [software]", available at: www.superdecisions.com

Dehghan-Manshadi, B., Mahmudi, H., Abedian, A. and Mahmudi, R. (2007), "A novel method for materials selection in mechanical design: combination of non-linear normalization and a modified digital logic method", *Materials and Design*, Vol. 28 No. 1, pp. 8-15, doi: 10.1016/j. matdes.2005.06.023.

Deng, J.L. (1989), "Introduction to grey system theory", *The Journal of Grey System*, Vol. 1 No. 1, pp. 1-24, available at: https://uranos.ch/research/references/Julong_1989/10.1.1.678.3477.pdf

Dezert, J., Tchamova, A., Han, D. and Tacnet, J.M. (2020), "The SPOTIS rank reversal free method for multicriteria Decision-Making support", *2020 IEEE 23rd International Conference on Information Fusion (FUSION)*, doi: 10.23919/FUSION45008.2020.9190347.

Diakoulaki, D., Mavrotas, G. and Papayannakis, L. (1995), "Determining objective weights in multiple criteria problems: the CRITIC method", *Computers and Operations Research*, Vol. 22 No. 7, pp. 763-770, doi: 10.1016/0305-0548(94)00059-H.

Edwards, W. (1971), "Social utilities. Engineering economist", *Engineering Economic Systems*, Vol. 16 No. 3, pp. 119-129.

Enterprise Software (2023), "D-Sight [software]", available at: www.d-sight.com

Expertchoice (2020), "ExpertChoice [software]", ExpertChoice Solutions, available at: www.expertchoice.com

Fishburn, P.C. (1967), "Additive utilities with incomplete product set: applications to priorities and assignments", *Journal of the Operations Research Society of America*, Vol. 15 No. 3, doi: 10.1287/opre.15.3.537.

Floriano, C.M., Pereira, V. and Rodrigues, B.E.S. (2022), "3MO-AHP: an inconsistency reduction approach through Mono-, multi- or many-objective quality measures", *Data Technologies and Applications*, Vol. 56 No. 5, pp. 645-670, doi: 10.1108/DTA-11-2021-0315.

Fontela, E. and Gabus, A. (1976), *The DEMATEL Observer*, Battelle Geneva Research Centre, Geneva.

Fu, Y.K., Wu, C.J. and Liao, C.N. (2021), "Selection of In-Flight Duty-Free product suppliers using a combination fuzzy AHP, fuzzy ARAS, and MSGP methods", *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2021, p. 8545379, doi: 10.1155/2021/8545379.

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

Ghorabaee, M.K., Zavadskas, E.K., Olfat, L. and Turskis, Z. (2015), "Multi-criteria inventory classification using a new method of evaluation based on distance from average solution EDAS)", *Informatica*, Vol. 26 No. 3, pp. 435-451, doi: 10.15388/Informatica.2015.57.

Ghorabaee, M.K., Zavadskas, E.K., Turskis, Z. and Antucheviciene, J. (2016), "A new combinative Distance-Based assessment(codas) method for multicriteria Decision-Making", *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, Vol. 50 No. 3, pp. 25-44, available at: https://ideas.repec.org/a/cys/ecocyb/v50y2016i3p25html

Gomes, L.F.A.M. and Rangel, L.A.D. (2009), "An application of the TODIM method to the multicriteria rental evaluation of residential properties", *European Journal of Operational Research*, Vol. 193 No. 1, pp. 204-211, doi: 10.1016/j.ejor.2007.10.046.

Greco, S., Ehrgott, M. and Figueira, J. (2016), *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, Springer, New York, NY, doi: 10.1007/b100605.

Hansen, P. and Ombler, F. (2008), "A new method for scoring additive multi-attribute value models using pairwise rankings of alternatives", *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, Vol. 15 Nos 3-4, pp. 87-107, doi: 10.1002/mcda.428.

Heymann, M.C., Pereira, V. and Caiado, R.G.G. (2024), "PyMissingAHP: an evolutionary algorithm for filling missing values in incomplete pairwise comparisons matrices with real or fuzzy numbers via Mono and multiobjective approaches", *Arabian Journal for Science and Engineering*, Vol. 49 No. 5, pp. 7375-7394, doi: 10.1007/s13369-023-08227-4.

Hinloopen, E. and Nijkamp, P. (1990), "Qualitative multiple criteria choice analysis", *Quality and Quantity*, Vol. 24 No. 1, pp. 37-56, doi: 10.1007/BF00221383.

Hodgett, R.E., Martin, E.B., Montague, G. and Talford, M. (2014), "Handling uncertain decisions in whole process design", *Production Planning and Control*, Vol. 25 No. 12, pp. 1028-1038, doi: 10.1080/09537287.2013.798706.

Hodgett, R.E. and Siraj, S. (2019), "SURE: a method for decision-making under uncertainty", *Expert Systems with Applications*, Vol. 115, pp. 684-694, doi: 10.1016/j.eswa.2018.08.048.

Hwang, C.L. and Yoon, K. (1981), *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, Springer-Verlag, Cham, doi: 10.1007/978-3-642-48318-9.

INFOHARVEST (2023), "Criterium DecisionPlus [software]", available at: www.infoharvest.com/ihroot/infoharv/cdpfreedownloads.asp

Jacquet-Lagreze, E. and Siskos, J. (1982), "Assessing a set of additive utility functions for multicriteria decision-making, the UTA method", *European Journal of Operational Research*, Vol. 10 No. 2, pp. 151-164, doi: 10.1016/0377-2217(82)90155-2.

Jagadish, J. and Ray, A. (2014), "Green cutting fluid selection using MOOSRA method", *International Journal of Research in Engineering and Technology*, Vol. 3 No. 15, doi: 10.15623/ijret.2014.0315105.

Kalita, K., Pal, S. and Haldar, S. (2022), "A hybrid TOPSIS-PR-GWO approach for multi-objective process parameter optimization", *Process Integration and Optimization for Sustainability*, Vol. 6 No. 4, pp. 1011-1026, doi: 10.1007/s41660-022-00256-0.

Keeney, R.L. and Raiffa, H. (1976), *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*, Wiley, London, ISBN-10: 0521438837.

Keshavarz-Ghorabaee, M., Amiri, M., Zavadskas, E.K., Turskis, Z. and Antucheviciene, J. (2021), "Determination of objective weights using a new method based on the removal effects of criteria (MEREC)", *Symmetry*, Vol. 13 No. 4, p. sym13040525, doi: 10.3390/sym13040525.

Keshavarz-Ghorabaee, M., K.G., Amiri, M., Zavadskas, E.K., Turskis, Z. and Antucheviciene, J. (2018), "Simultaneous evaluation of criteria and alternatives (SECA) for multicriteria Decision-Making", *Informatica*, Vol. 29 No. 2, pp. 265-280, doi: 10.15388/Informatica.2018.167.

Khannoussi, A., Olteanu, A.L., Labreuche, C. and Meyer, P. (2022), "Simple ranking method using reference profiles: incremental elicitation of the preference parameters", *4OR*, Vol. 20 No. 3, pp. 499-530, doi: 10.1007/s10288-021-00487-w.

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

Kim, J.K., Chua, M., Rickard, M. and Lorenzo, A. (2023), "ChatGPT and large language model (LLM) chatbots: the current state of acceptability and a proposal for guidelines on utilization in academic medicine", *Journal of Pediatric Urology*, Vol. 19 No. 5, p. 37328321, doi: 10.1016/j.jpurol.2023.05.018.

Kizielewicz, B., Shekhovtsov, A. and Sa⊠abun, W. (2023), "PYMCDN –The universal library for solving multicriteria decision-making problems", *SoftwareX*, Vol. 22, p. 101368, doi: 10.1016/j.softx.2023.101368.

Madi⊠, M., Radovanovi⊠, M. and Mani⊠, M. (2016), "Application of the ROV method for the selection of cutting fluids", *Decision Science Letters*, Vol. 5, pp. 245-254, doi: 10.5267/j.dsl.2015.12.001.

Maniya, K. and Bhatt, M.G. (2010), "A selection of material using a novel type decision-making method: preference selection index method", *Materials and Design*, Vol. 31 No. 4, pp. 1785-1789, doi: 10.1016/j.matdes.2009.11.020.

Manshadi, B.D., Mahmudi, H., Abedian, A. and Mahmudi, R. (2007), "A novel method for materials selection in mechanical design: combination of non-linear normalization and a modified digital logic method", *Materials and Design*, Vol. 28 No. 1, pp. 8-15, doi: 10.1016/j.matdes.2005.06.023.

Michnik, J. (2013), "Weighted influence non-linear gauge system (WINGS) –an analysis method for the systems of interrelated components", *European Journal of Operational Research*, Vol. 228 No. 3, pp. 536-544, doi: 10.1016/j.ejor.2013.02.007.

Miller, D.W. and Starr, M.K. (1960), *Executive Decisions and Operations Research*, Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, NJ, U.S.A.

Milo⊠, M., Du⊠an, P. and Miroslav, R. (2015), "Selection of non-conventional machining processes using the OCRA method", *Serbian Journal of Management*, Vol. 10 No. 1, pp. 61-73, doi: 10. 5937/sjm10-6802.

MINDS (2023), "1000minds decision-making and conjoint analysis software [software]", available at: www.1000minds.com

Montenegro DE Barros, G.M., Pereira, V. and Roboredo, M.C. (2021), "ELECTRE tree: a machine learning approach to infer ELECTRE Tri-B parameters", *Data Technologies and Applications*, Vol. 55 No. 4, pp. 586-608, doi: 10.1108/DTA-10-2020-0256.

Mufazzal, S. and Muzakkir, S.M. (2018), "A new Multi-Criterion decision making (MCDM) method based on proximity indexed value for minimizing rank reversals", *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 119, pp. 427-438, doi: 10.1016/j.cie.2018.03.045.

Narang, M., Joshi, M.C. and Pal, A.K. (2021), "A hybrid fuzzy COPRAS-base-criterion method for multicriteria decision making", *Soft Computing*, Vol. 25 No. 13, pp. 8391-8399, doi: 10.1007/s00500-021-05762-w.

OPENAI (2023), "GPT-4 technical report", arXiv, doi: 10.48550/arXiv.2303.08774.

Opricovi⊠, S. (1990), "Programski paket VIKOR za visekriterijumsko kompromisno rangiranje", *Proceedings of the 17th International Symposium on Operational Research SYM-OP-IS*; *Dubrovnik-Kupari, Croatia*. 9 –12 October.

Pamu⊠ar, D. and S., ⊠irovi⊠, G. (2015), "The selection of transport and handling resources in logistics centers using Multi-Attributive border approximation area comparison (MABAC)", *Expert Systems with Applications*, Vol. 42 No. 6, pp. 3016-3028, doi: 10.1016/j.eswa.2014.11.057.

Pamu⊠ar, D.S., Tarle, S.P. and Parezanovic, T. (2018), "New hybrid multicriteria decision-making DEMATEL-MAIRCA model: sustainable selection of a location for the development of multimodal logistics Centre", *Economic Research-Ekonomska Istra⊠ivanja*, Vol. 31 No. 1, pp. 1641-1665, doi: 10.1080/1331677X.2018.1506706.

Pendokhare, D., Kalita, K., Chakraborty, S. and ⊠ep, R. (2024), "A comprehensive review of parametric optimization of electrical discharge machining processes using multi-criteria decision-making techniques", *Frontiers in Mechanical Engineering*, Vol. 10, p. 1404116, doi: 10.3389/fmech. 2024.1404116.

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

Pereira, V. (2022), "Voracious-AHP", Github, available at: https://github.com/Valdecy/Voracious-AHP

Pereira, V. and Nepomuceno, L., D.O. (2021), "J-ELECTRE. Sourceforge", available at: https://sourceforge.net/projects/jlectre/files

Pereira, F.C., Costa, H.G. and Pereira, V. (2017), "Patent filings versus articles published: a review of the literature in the context of multicriteria decision aid", *World Patent Information*, Vol. 50, pp. 17-26, doi: 10.1016/j.wpi.2017.07.003.

Pu⊠ka, A., Stevi⊠, ⊠. and Pamu⊠ar, D.S. (2022), "Evaluation and selection of healthcare waste incinerators using extended sustainability criteria and multicriteria analysis methods", *Environment, Development and Sustainability*, Vol. 24 No. 9, pp. 11195-11225, doi: 10.1007/s10668-021-01902-2.

Rao, R.V. (2006), "A material selection model using graph theory and matrix approach", *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 431 Nos 1-2, pp. 248-255, doi: 10.1016/j.msea.2006.06.006.

Rezaei, J. (2015), "Best-worst multicriteria decision-making method", *Omega*, Vol. 53, pp. 49-57, doi: 10.1016/j.omega.2014.11.009.

Rodrigues, B.S., Floriano, C.M., Pereira, V. and Roboredo, M.C. (2021), "An algorithm to elicitate Electre II, III and IV parameters", *Data Technologies and Applications*, Vol. 55 No. 1, pp. 82-96, doi: 10.1108/DTA-07-2020-0161.

Roubens, M. (1982), "Preference relations on actions and criteria in multicriteria decision making", *European Journal of Operational Research*, Vol. 10 No. 1, pp. 51-55, doi: 10.1016/0377-2217 (82)90131-X.

Roy, B. (1968), "Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE)", *Revue Française d';Informatique et de Recherche Opérationnelle*, Vol. 2 No. 8, pp. 57-75.

Saaty, T.L. (1990), "How to make a decision: the analytic hierarchy process", *European Journal of Operational Research*, Vol. 48 No. 1, pp. 9-26, doi: 10.1016/0377-2217(90)90057-I.

Sa⊠abun, W. (2015), "The characteristic objects method: a new distance-based approach to multicriteria decision-making problems", *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, Vol. 22 Nos 1-2, pp. 37-50, doi: 10.1002/mcda.1525.

Satman, M.H., Yildirim, B.F. and Kuruca, E. (2021), "JMcDM: a Julia package for Multiple-Criteria Decision-Making tools", *Journal of Open Source Software*, Vol. 6 No. 65, p. 65, doi: 10.21105/ joss.03430.

Shannon, C.E. (1948), "A mathematical theory of communication", *Bell System Technical Journal*, Vol. 27 No. 3, pp. 379-423, doi: 10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x.

Sommerville, I. (2011), *Software Engineering*, 9th ed., Pearson, London, ISBN-13: 9780137035151. ISBN-10: 0137035152.

Stevi⊠, Z., Pamu⊠ar D, S., Pu⊠ka, A. and Prasenjit Chatterjee, P. (2020), "Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: measurement of alternatives and ranking according to compromise solution (MARCOS)", *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 140, p. 106231, doi: 10.1016/j.cie.2019.106231.

Taherdoost, H. and Madanchian, M. (2023), "Multicriteria decision making (MCDM) methods and concepts", *Encyclopedia*, Vol. 3 No. 1, pp. 77-87, doi: 10.3390/encyclopedia3010006.

Trivedi, P., Shah, J., ⊠ep, R., Abualigah, L. and Kalita, K. (2024), "A hybrid Best-Worst method (BWM) -Technique for order of preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) approach for prioritizing road safety improvements", *IEEE Access*, Vol. 12, pp. 30054-30065, doi: 10.1109/ ACCESS.2024.3368395.

W⊠tróbski, J., B⊠czkiewicz, A. and Sa⊠abun, W. (2022), "Pyrepo-mcda - Reference objects based MCDA software package", *SoftwareX*, Vol. 19, p. 101107, doi: 10.1016/j.softx.2022.101107.

Wi⊠ckowski, J., Kizielewicz, B. and Sa⊠abun, W. (2023a), "pyFDM: a python library for uncertainty decision analysis methods", *SoftwareX*, Vol. 20, p. 101271, doi: 10.1016/j.softx.2022.101271.

Downloaded from http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf by Huazhong University of Science and Technology user o

Wi⊠ckowski, J., Kizielewicz, B. and Sa⊠abun, W. (2023b), “Handling decision-making in intuitionistic fuzzy environment: PYIFDM package”, *SoftwareX*, Vol. 22, pp. 101344, doi: 10.1016/j.softx. 2023.101344.

Yazdani, M., Zarate, P., Zavadskas, E.K. and Turskis, Z. (2019), “A combined compromise solution (CoCoSo) method for multicriteria decision-making problems”, *Management Decision*, Vol. 57 No. 9, pp. 2501-2519, doi: 10.1108/MD-05-2017-0458.

Zavadskas, E.K. and Turskis, Z. (2010), “A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making”, *Technological and Economic Development of Economy*, Vol. 16 No. 2, pp. 159-172, doi: 10.3846/tede.2010.10.

Zavadskas, E.K. and Podvezko, V. (2016), “Integrated determination of objective criteria weights in MCDM”, *International Journal of Information Technology and Decision Making*, Vol. 15 No. 2, pp. 267-283, doi: 10.1142/S0219622016500036.

Zavadskas, E.K., Kaklauskas, A. and Sarka, V. (1994), “The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects”, *Technological and Economic Development of Economy*, Vol. 1 No. 3, pp. 131-139, available at: www.researchgate.net/publication/ 285902199_The_new_method_of_multicriteria_complex_proportional_assessment_of_projects

Zavadskas, E.K., Vilutien⊠, T., Turskis, Z. and ⊠aparauskas, J. (2014), “Multicriteria analysis of projects’ performance in construction”, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, Vol. 14 No. 1, pp. 114-121, doi: 10.1016/j.acme.2013.07.006.

Ziemba, P. (2020), “Multicriteria stochastic selection of electric vehicles for the sustainable development of local government and state administration units in Poland”, *Energies*, Vol. 13 No. 23, doi: 10.3390/en13236299.

Zindani, D., Maity, S.R. and Bhowmik, S. (2019), “Fuzzy-EDAS (evaluation based on distance from average solution) for material selection problems”, in Narayanan, R., Joshi, S., Dixit, U. (Eds), *Advances in Computational Methods in Manufacturing. Lecture Notes on Multidisciplinary Industrial Engineering*, Springer, Singapore, doi: 10.1007/978-981-32-9072-3_63.

进一步阅读

Turskis, Z. and Zavadskas, E.K. (2010), “A new fuzzy additive ratio assessment method (aras-F). Case study: the analysis of fuzzy multiple criteria in order to select the logistic centers location”, *TRANSPORT*, Vol. 25 No. 4, pp. 423-432, doi: 10.3846/transport.2010.52.

Van Laarhoven, P.J.M. and Pedrycz, W. (1983), “A fuzzy extension of Saaty’s priority theory”, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 11 Nos 1-3, pp. 229-241, doi: 10.1016/S0165-0114(83)80082-7.

通讯作者

瓦尔德西·佩雷拉的电子邮箱是：valdecy.pereira@gmail.com

For instructions on how to order reprints of this article, please visit our website:
www.emeraldgrouppublishing.com/licensing/reprints.htm
Or contact us for further details: **permissions@emeraldinsight.com**
该文件由华中科技大学用户 o 从 http://www.emerald.com/jm2/article-pdf/doi/10.1108/JM2-04-2024-0118/10050024/jm2-04-2024-0118en.pdf 下载。