

深度学习在医学影像学中的国内研究新趋势:基于 CiteSpace 的科学计量分析

张哲尧,徐凯

【摘要】 目的:基于 CiteSpace 软件对我国深度学习在医学影像应用方面的文献进行科学计量分析,找出应用领域及研究趋势,为未来开展人工智能在医学影像应用的研究提供借鉴。**方法:**检索中国知网论文数据库(CNKI)中以医学影像、深度学习、机器学习和影像组学为主题的文献,应用 Microsoft Excel 2019 和 CiteSpace 6.2.R2 进行可视化分析,得出文献的发文时间、作者、机构、期刊、关键词的共现网络及关键词突现情况。**结果:**共 1048 篇文献纳入分析,年发文量呈稳步上升趋势。关键词共引聚类分析,高频聚类词为深度学习、人工智能、医学影像、影像组学、图像分割、机器学习、医学图像、迁移学习、神经网络、肺结节。关键词突现分析结果显示,近三年的研究热点为数据库、图像质量、CT 图像、残差网络。**结论:**深度学习在医学影像应用的研究热度呈逐年上升的趋势。深度学习在医学影像中的应用研究,分布在图像处理、目标检测、图像分割和影像组学四个领域。医学影像数据库的构建和运用、残差网络及深度学习在医学影像中的应用为未来的研究趋势。

【关键词】 深度学习;人工智能;医学影像;影像组学;研究趋势;科学计量学

【中图分类号】 R81;G353.1 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2024)09-1233-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2024.09.018

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Domestic emerging trends on deep learning in medical imaging: A scientometric analysis via CiteSpace

ZHANG Zhe-yao, XU Kai. School of Medical Imaging, Xuzhou Medical University, Jiangsu 221004, China

【Abstract】 Objective: Based on CiteSpace software, the literature on deep learning in medical imaging applications in China was analyzed scientifically and metrologically to find out the application areas and research trends to provide a reference for future research on the application of artificial intelligence in medical imaging. **Methods:** We researched the literature of China Knowledge Network Essay Database (CNKI) on medical imaging, deep learning, machine learning, and radiomics. We applied Microsoft Excel 2019 and CiteSpace 6.2.R2 to conduct visualization and analysis, which resulted in the co-occurring network of the time of issuance of the literature, the authors, the institutions, the journals, the keywords, and the keyword emergence. **Results:** We included 1048 documents in the analysis, with a steady upward trend in annual publications. The keyword co-citation clustering analysis showed that high-frequency clustered terms were as follows: deep learning, artificial intelligence, medical imaging, radiomics, image segmentation, machine learning, medical image, migration learning, neural network, and lung nodule. Keyword emergence analysis showed that the research hotspots in the last three years were database, image quality, CT images, and residual networks. **Conclusion:** The research of deep learning in medical imaging applications is increased yearly. The research on the application of deep learning in medical imaging is distributed in four areas: image processing, object detection, image segmentation, and radiomics. Future research trends include constructing and utilizing medical image databases, residual networks, and deep learning applications.

【Key words】 Deep Learning; Artificial Intelligence; Medical Imaging; Radiomics; Emerging trend; Scientometrics

医学影像是临床上准确、快捷方便、安全高效的诊断方法^[1]。影像诊断报告需要依靠影像科医生进行判读,不同医院及医生对图像处理之间存在差异,会出现不一致的诊断结果,影响到后续诊疗的实施^[2]。深度学习(deep learning, DL)技术是人工智能(artificial Intelligence, AI)领域的一个分支,通过多层神经网络对数据进行学习和理解。DL 已经被广泛应用于医学影像的各种任务,如图像筛查、病灶分类、辅助诊断等^[3]。

CiteSpace 软件广泛应用于文献计量学中,用以分析文献中隐藏的潜在信息,于科学计量学、数据可视化大环境中逐渐发展起来的一款分时、多元、动态的可视化引文分析软件^[4]。本文基于 CiteSpace 软件,运用科学计量学方法,旨在从整体角度评估近十年国内关于 DL 在医学影像学上应用的知识领域及未来的发展趋势。

材料与方法

1. 文献来源

从中国知网期刊数据库(CNKI)中进行文献筛选。文献发表时间选择:2003—2023 年;文献类型选择“中文文献”。检索词和检索策略: # 1, topic: (医学影像 * OR 影像组学 *); # 2, topic: (深度学习 * OR 人工智能 * OR 机器学习 *); # 3, “# 1” AND “# 2”。最终检索到 1538 篇文献。

2. 文献筛选

纳入文献类型包括实验研究、观察研究、综述等。排除标准:排除征稿启示、会议论文、科普宣传、报告计划、新闻稿、重复发表及与主题不相关的文献,共排除 490 篇,最终纳入 1048 篇。

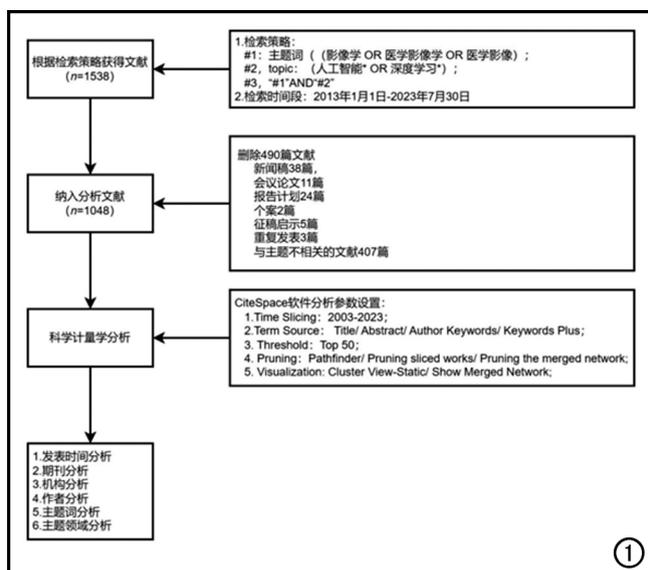


图 1 文献筛选分析过程。

3. 文献分析

对筛选出的文献,采用 CiteSpace 6.2.R2 软件,以作者、机构、关键词为节点,对机构分布、作者分布、研究领域等进行共现和聚类分析。利用“创建引文报告”功能,获取各文献的总被引次数、平均被引次数和 H 指数。采用 Excel 2018 进行文献发行时间、频数及相关性的统计分析。文献筛选分析过程见图 1。

结果

1. 研究文献的发行时间

根据发文量的年度统计,2003—2016 年期间,发文量较少;从 2017 年开始,相关文献的发文量呈迅速增长趋势,表明该时间段内国内学者逐渐开始关注对影像方面人工智能应用的研究。发文量回归方程为 $Y=11.131X-72.538$,呈增长趋势(图 2)。

2. 发文作者合作网络

合作网络显示,发文作者已经形成了一些稳定的研究团队,但尚有部分作者未形成团体或团队较小,发文量也相对较少,本领域内作者合作需进一步加强。发文量排名前 5 的作者为:王霄英(11 篇)、张晓东(10 篇)、周俊林(9 篇)、薛彩强(8 篇)、韩丹(7 篇)(图 3)。

3. 研究机构合作网络

众多机构对人工智能在医学影像的应用领域进行了深入研究,主要集中在各大学及其附属医院,形成了数个研究机构合作团体。发文量较多的前 5 所机构分别为西安电子科技大学(32 篇)、电子科技大学(24 篇)、吉林大学(24 篇)、华中科技大学(20 篇)、北京邮电大学(20 篇)(图 4)。

4. 关键词

关键词结构图:对关键词进行共现分析,在运行 CiteSpace 后得到关键词共现图,共纳入 505 个关键词,网络分析图中各个节点之间联系紧密,中心化程度高。关键词“人工智能”、“影像组学”、“深度学习”位于中心位置,作为枢纽联系其他节点,体现近年来深度学习在医学影像领域研究发展的热点和大致方向,另外还有较为核心的以技术为分类的关键词,如“目标检测”、“图像分类”、“影像组学”等,以及以疾病为分类的关键词“肺结节”、“乳腺癌”等(表 1、图 5)。

关键词聚类分析:对关键词进行聚类分析,所得聚类分析图显示平均轮廓值(weighted mean silhouette)为 0.9018,模块值(modularity)为 0.9839,均大于 0.8,证明聚类结构可信,聚类方式合理。共有 19 个聚类,每个模块各代表一个聚类,以不同的颜色表示(图 6)。

关键词突现分析:中文突现关键词共 24 个,其中近 3 年内的高频突现关键词为“数据库”、“图像质量”、“CT 图像”、“残差网络”、“食管癌”(图 7)。

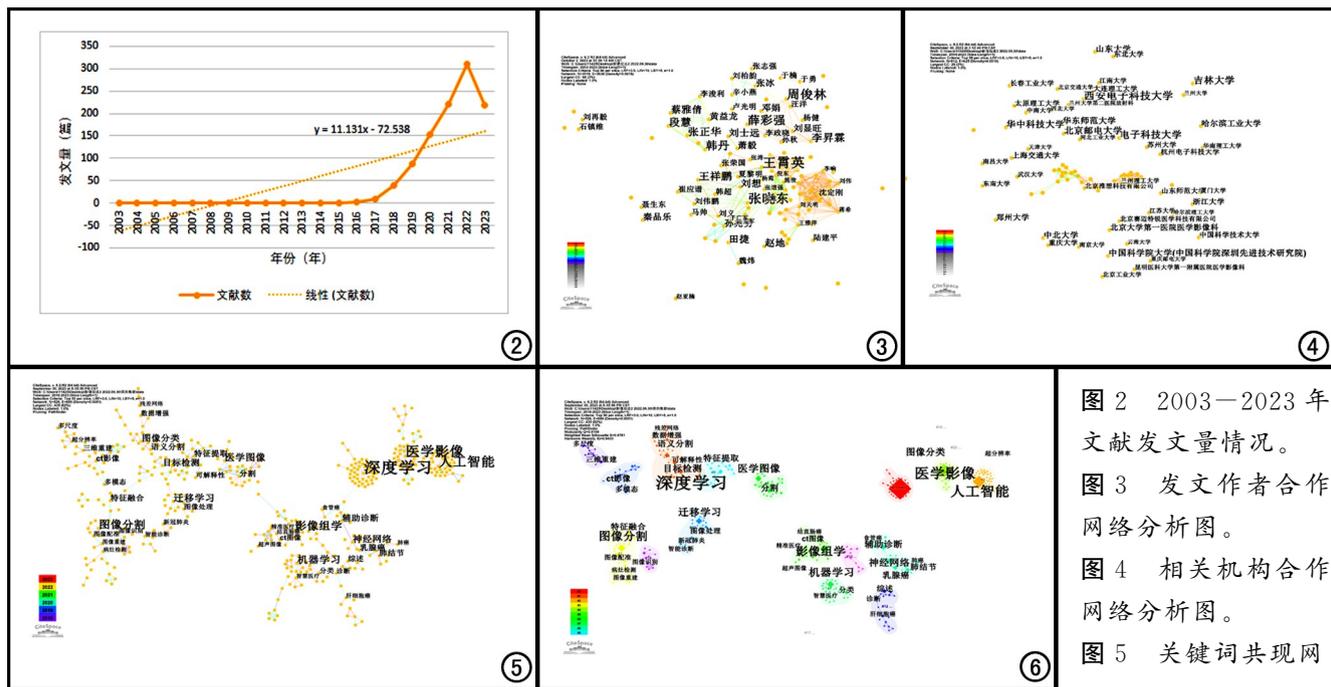


图 2 2003—2023 年文献发文章量情况。图 3 发文作者合作网络分析图。图 4 相关机构合作网络分析图。图 5 关键词共现网络分析图。图 6 关键词聚类分析图。

表 1 相关文献中高频关键词出现时间、中心性与频次

关键词	出现时间	中心性	频次
深度学习	2015	0.49	488
人工智能	2013	0.39	248
医学影像	2013	0.18	195
影像组学	2018	0.62	76
图像分割	2016	0.10	61
机器学习	2018	0.34	46
医学图像	2016	0.95	35
迁移学习	2018	0.16	33
神经网络	2017	0.06	29
肺结节	2017	0.47	26
图像分类	2018	0.13	24
辅助诊断	2018	0.04	24
目标检测	2019	0.08	23
乳腺癌	2019	0.10	20
特征融合	2020	0.06	16

讨论

1. 研究发文情况

本研究结果显示,近年来深度学习在医学影像上应用的相关文献发文章量稳步攀升,国内开始逐渐重视人工智能在影像领域的潜力,并逐步开展研究探索人工智能的功用,人工智能已经成为医学影像的研究热点之一。但作者与作者之间,机构与机构之间,还没有体现出较大的合作趋向,对此建议学者紧跟政策的脚步,放眼世界,加强与国内外有实力的研究机构的交流合作,从人才队伍的组建、相关课题的申报等方面着手,从而深化相关领域的研究。

关键词突现情况显示,近十年内深度学习在医学影像的应用,从 2018 年开始快速增加。2018—2020

年期间,以“医疗诊断”、“精准医疗”、“图像增强”、“图像识别”的相关研究为主;2021—2023 年,“数据库”、“图像质量”、“CT 图像”、“残差网络”的相关研究逐渐上升。

2. 研究领域分析

关键词聚类分析的结果显示,DL 在医学影像中的研究知识领域,集中在图像处理、目标检测、图像分割和影像组学四个方面。

影像信息处理:深度学习图像重建技术(deep learning image reconstruction, DLIR)利用高质量的滤波反投影(filtered back-projection, FBP)数据集,来训练深度学习神经网络(deep neural network, DNN)学习如何区分信号和噪声,并且在不影响解剖和病理结构的情况下有效地抑制噪声^[5]。CT 检查尤其是 CT 血管成像(computed tomography angiography, CTA)中,运用的 DLIR 强度越大,影像图像的信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)数值越高,图像质量越高。MRI 检查中,基于 AI 的滤波和插值图像重建算法(artificial intelligence based filtering and interpolation, AIFD)进行图像重建后,可显著提高图像 SNR 和图像锐利度^[6]。基于卷积神经网络(Convolutional Neural Network, CNN)的 DL 在 PET 图像去噪中也得到了广泛应用,与传统滤波方法相比,其去噪效果好且速度快^[7]。

目标检测:DL 在医学影像中的病变检测和定位方面也有广泛应用。DL 与影像组学结合,能够自动提取和选择影像中的特征,并建立影像组学模型,自动



图 7 关键词突现情况。

检测和识别医学影像中的异常病灶,使得诊断和预测的结果更为准确可靠^[8,9]。目前已运用于鉴别诊断乳腺良恶性病变^[10,11]、肺结节的自动检测及表型提取^[12,13]、早期识别肝硬化肌少症^[14]、鉴别胰腺实性与囊性肿瘤^[15]等领域。

图像分割:通过训练 DL 模型,可以实现对医学影像中的组织、器官或病变进行精确地分割和重建,从多个层面提供病灶区域及其周围区域的更多信息,这些信息对于手术规划、放射治疗以及疾病进展监测等方面具有重要意义^[16]。目前已运用于三维乳腺超声影像自适应分割^[17]、肝脏语义分割和体积测量^[18]、宫颈癌的自动识别及分割^[19]、脑卒中缺血区域定位^[20]、肺炎病变区域的分割定位^[21]等领域。

影像组学 (radiomics) 是一个快速发展中的研究领域,其目的在于发现从临床图像和临床数据中提取的定性和定量信息之间的关联^[22]。影像组学可用于捕获组织和病变特性,如形状和异质性,以及在治疗或监视期间,利用连续成像跟踪病变组织随时间的变化。影像组学的基本工作流程涵盖以下:特征计算与选择、降维以及数据处理^[23]。

肿瘤诊断与预后评估:通过对肿瘤(如肝癌、膀胱癌、卵巢癌等)医学图像的分析,可以提取出大量的定量特征,如肿瘤的大小、形状、密度、纹理等,并结合基因组学数据和临床数据,对肿瘤的诊断、分期和预后进行评估^[24-26]。

神经疾病诊断:通过对脑部医学图像的分析,可以提取出脑部结构和功能的定量特征,如脑区体积、皮质厚度、血流灌注等,并结合临床数据和其他医学数据,对神经疾病(如阿尔茨海默病、帕金森病等)进行诊断和评估^[27,28]。

心血管疾病风险评估:通过对心血管医学图像的分析,可以提取出心血管结构和功能的定量特征,如冠状动脉钙化、心室壁运动异常等,并结合临床数据和其他医学数据,对心血管疾病的风险进行评估和预测^[29,30]。

3. 研究热点及趋势分析

由关键词突现分析可了解到 2021—2023 年间 DL 在医学影像研究的热点,包括数据库、图像质量、CT 图像、残差网络等,借此可推测将来数年的研究趋势。

医学影像数据库:医学影像数据集和算法模型是基于 DL 方法开展研究最重要的两大因素^[31]。**数据规模:**DL 算法需要大量的数据进行训练,医学影像数据库需包含足够多的图像数据。同时,这些图像数据需要涵盖不同的疾病类型、病情程度和患者人群,以便训练出具有泛化能力的模型^[32]。**数据标注:**DL 算法需要标注好的数据进行训练,因此医学影像数据库需要提供高质量的标注数据。这些数据包括图像级别的标注(如疾病分类)和像素级别的标注(如病灶分割)。同时,标注数据需要由专业的医生或专家进行,以确保标注的准确性和可靠性^[33]。**数据质量:**医学影像数据库需要提供高质量的图像数据,以保证 DL 算法的训练效果和模型的准确性。这些图像数据需要具有清晰的图像质量、合适的分辨率和对比度,以及尽可能少的噪声和伪影^[34]。

残差网络 (residual network, ResNet) 是一种深度卷积神经网络 (convolutional neural networks, CNN),由来自 Microsoft Research 的 4 位学者提出。残差网络的主要特点是容易优化,能够通过增加深度来提高准确率^[35]。在肿瘤、心脑血管、神经系统疾

病的诊断、分期、预测、治疗决策和定位方面取得了较好效果^[36,37]。

本研究存在以下局限性:以 CNKI 数据库为数据源,导出的文献不包含参考文献,未能进行文献的共被引分析^[38]。后续研究将尝试使用其他文献可视化计量分析软件(如 VOSviewer)进行分析。

综上所述,深度学习在医学影像应用的研究热度呈逐年上升的趋势,不同研究者和研究机构还需要进一步加强互相之间的协作性和关联度。深度学习在医学影像中的应用研究,分布在图像处理、目标检测、图像分割和影像组学四个领域。医学影像数据库的构建和运用、残差网络及深度学习的应用为未来的研究趋势。

参考文献:

[1] 常海婷.医学影像技术在医学影像诊断中的应用[J].泰州职业技术学院学报,2023,23(3):79-82.

[2] 杨兆凯,王龙,陈金栋.人工智能与深度学习在医学影像辅助诊断中的应用[J].电脑知识与技术(学术版),2021,17(35):91-93.

[3] 殷保才.基于深度学习的医学影像辅助诊断技术研究[D].合肥:中国科学技术大学,2022.

[4] 陈超美,李杰.CiteSpace 科技文本挖掘及可视化(第 2 版)[M].北京:首都经济贸易大学出版社,2017.

[5] 陈其龙,叶启君.高权重深度学习图像重建算法在冠状动脉 CT 血管造影中的应用价值[J].影像研究与医学应用,2023,7(12):86-88.

[6] 徐旭,彭婉琳,张金戈,等.基于人工智能的滤波和插值图像重建算法在腹部磁共振图像降噪中的价值[J].四川大学学报(医学版),2021,52(2):293-299.

[7] 贺钰茹.基于深度学习与 MRI 结构信息的动态 PET 滤波方法研究[D].广州:南方医科大学,2022.

[8] 蒋健,周俊林.胶质瘤假性与真性进展的临床及影像组学研究进展[J].磁共振成像,2023,14(4):142-146,153.

[9] 李宇玥,贾传亮,宋西成.基于医学图像的影像组学和深度学习在头颈部鳞状细胞癌颈部淋巴结转移预测中的研究现状[J].中国耳鼻咽喉头颈外科,2023,30(4):270-272.

[10] 黄晓妮,江远亮,黄文才.多参数 MRI 影像组学在乳腺癌诊疗中的研究进展[J].磁共振成像,2023,14(6):151-155.

[11] 吴俊锋,刘文亚.磁共振成像在乳腺癌诊断及预后评估中的应用现状及研究进展[J].磁共振成像,2023,14(4):171-175.

[12] 谭双平,张彤,祖江林,等.深度学习驱动的 CT 影像肺结节检测:挑战、进展和展望[J].中国医疗器械杂志,2023,47(2):163-172.

[13] 杨露,欧阳治强,单海燕,等.影像组学在预测非小细胞肺癌表皮生长因子受体基因突变中的应用[J].放射学实践,2023,38(6):783-787.

[14] 徐媛,刘建莉.影像学和人工智能技术定量评估肝硬化肌少症的研究进展[J].磁共振成像,2022,13(11):149-153.

[15] 胡道予,李震,李佳丽.促进人工智能在腹部影像中的应用[J].放射学实践,2023,38(1):18-19.

[16] 杨鸿杰,徐巧枝,于磊.基于深度学习的多模态医学影像分割研究

综述[J].计算机应用研究,2022,39(5):1297-1306.

[17] 李晓峰,王妍玮,卫晋.基于深度学习的三维乳腺超声影像自适应分割[J].吉林大学学报(信息科学版),2023,41(1):84-92.

[18] 秦勇,张长彪.基于医学影像图像的深度学习在肝脏语义分割和体积测量中的研究进展[J].临床医学进展,2023,13(7):11581-11587.

[19] 夏邵君,朱海涛,赵博,等.基于深度学习 T₂WI 及弥散加权成像双模态影像一体化模型自动识别及分割宫颈癌[J].中国介入影像与治疗学,2023,20(6):366-371.

[20] 周升海,马平川,陆奇傲,等.基于深度学习的脑卒中病灶分割系统研究[J].计算机时代,2023(5):85-87,90.

[21] 毛丽,李秀丽.基于深度学习和 CT 影像的新型冠状病毒肺炎病灶分割[J].集成技术,2020,9(6):40-47.

[22] Rizzo S, Botta F, Raimondi S, et al. Radiomics: the facts and the challenges of image analysis[J]. Eur Radiol Exp, 2018, 2(1):36.

[23] Mayerhoefer ME, Materka A, Langs G, et al. Introduction to radiomics[J]. J Nucl Med, 2020, 61(4):488-495.

[24] 袁恩雨,宋彬.肝癌影像组学的临床应用:现状与展望[J].放射学实践,2023,38(9):1084-1088.

[25] 王东,周川,王超,等.深度学习和影像组学在膀胱癌精准诊疗中的研究进展[J].磁共振成像,2023,14(9):186-191.

[26] 王金裕.基于 CT 平扫影像组学模型在预测卵巢癌腹膜种植转移中的价值研究[D].南昌:南昌大学,2023.

[27] 吴小佳,汤琳,刘欢,等.基于全脑影像组学的阿尔茨海默病诊断研究[J].重庆医科大学学报,2022,47(10):1187-1192.

[28] 王瑾,王波,吴昆华.帕金森病的神经影像纹理分析及影像组学研究进展[J].磁共振成像,2023,14(8):118-123.

[29] 伍希,唐玲玲,胡云涛,等.MRI 影像组学在心脏病中的研究进展[J].磁共振成像,2021,12(11):113-116.

[30] 王凯,刘子暖,陈韵岱,等.影像组学在冠心病中的应用价值[J].临床放射学杂志,2022,41(1):186-190.

[31] 刘锐,丁辉,尚媛园,等.COVID-19 医学影像数据集及研究进展[J].计算机工程与应用,2021,57(22):15-27.

[32] 黄江珊,高娃,宿静,等.基于卷积神经网络与长短期记忆网络的医学影像数据管理方法研究[J].医学与社会,2020,33(6):84-89,110.

[33] 李子良.基于深度学习的消化道医学影像半自动化标注与智能分析系统[D].西安:西安电子科技大学,2022.

[34] 白浩博.医学影像数据采集及标准化系统的设计与实现[D].郑州:郑州大学,2021.

[35] Wang TJ, Dou ZH, Bao CL, et al. Diffusion mechanism in residual neural Network; theory and applications[J]. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell, 2024, 46(2):667-680.

[36] 周涛,霍兵强,陆惠玲,等.医学影像疾病诊断的残差神经网络优化算法研究进展[J].中国图象图形学报,2020,25(10):2079-2092.

[37] 高媛,王晓晨,秦品乐,等.基于深度可分离卷积和宽残差网络的医学影像超分辨率重建[J].计算机应用,2019,39(9):2731-2737.

[38] 冉从敬,李旺,谢真强.中国知网文献共被引方法及实证研究——以“智慧医疗”为例[J].现代情报,2023,43(9):154-164.