

地下空间规划热点和趋势

——基于 CiteSpace 的国内外比较研究

洪辰玥

(西华大学 建筑与土木工程学院, 成都 610000)

摘要:随着城市化进程的加速发展,城市用地日益紧张,而地下空间的开发利用可以有效缓解这一问题。因此,近年来地下空间的开发和利用越来越受到重视,相关研究也越来越多。研究城市地下空间开发利用的研究热点和发展趋势对城市用地集约化发展具有重要现实意义。运用 CiteSpace 软件,以地下空间规划为关键词,对中国知网和 Web of Science(科学引文索引)数据库中的相关文献进行可视化分析。结果表明:关于地下空间规划的研究主要集中在 2000 年后,且呈现波动增长趋势;研究内容主要集中在空间规划、轨道交通、综合管廊、国土空间、城市更新等方向,随着时间的变化,其研究侧重也有所不同。借助对上述内容的分析和整理,归纳总结地下空间规划研究的热点和趋势,为地下空间规划的相关研究提供参考。

关键词:地下空间;规划设计;CiteSpace;可视化分析

中图分类号:TU929 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)17-0118-07

随着经济发展和城市化进程加快,城市问题也相继产生。城市的快速发展以及相继涌现的城市问题,迫使人们开发利用地下空间。合理开发利用地下空间对节约城市用地、改善城市交通、扩大城市空间容量、提高土地利用集约程度等都具有重要作用,是城市走可持续发展道路的重要途径。因此近年来国内外也十分重视地下空间开发利用和研究,并取得了一定成果。分析城市地下空间开发利用的研究热点和发展趋势,不仅有利于快速学习前人的研究成果和经验,也能充分了解该方向研究的发展趋势和不足,对该领域研究具有重要意义。

有学者已对这些年来关于该研究领域的成果进行了总结和梳理。田野等^[1]对中国地下空间学术研究发展做了综述研究;韦海民和贺广学^[2]基于中国知网(China National Knowledge Infrastructure, CNKI)对地下综合管廊文献研究现状进行了分析;张志和吴梦涵^[3]基于 CNKI 对 1990—2021 年的地下空间研究进行了分析。这些文献在一定程度上为该领域的研究进行了归纳总结并提供了方向,但这些研究仍然存在着一些不足。早期关于该研究领域的综述主要是以定性研究为主,这类研究在研

究内容的梳理上更加具体和详细,但是系统性不强,对研究发展趋势和变化体现较差。近年来由于大数据分析的兴起,CiteSpace 等软件也开始被学者使用。CiteSpace 软件可以方便地对大量数据处理,可视化分析可以更加直观地看到近些年来研究的趋势和热点。然而,目前关于该领域的分析研究数据来源主要是 CNKI,对外文文献分析较少。即便样本中包含了中外数据库^[4],也缺乏对中外文献的比较研究,这使得研究结果具有片面性。针对这一不足展开研究,通过分析中外文献在该领域的研究热点和趋势,以期对地下空间规划的相关研究提供借鉴和参考。

1 研究方法 with 数据来源

采用 CiteSpace 软件对中外相关研究文献进行可视化分析。CiteSpace 软件是近年来兴起的一种用于文献研究的分析软件,它可以通过网络寻径算法对大量文献进行可视化分析,通过绘制图谱,进而呈现某一研究领域研究热点和发展趋势^[4-7]。

以地下空间为研究对象,分别对国内外相关文献进行检索,检索时间为 2022 年 12 月。其中,中文文献检索数据库为 CNKI 数据库,以“地下空间规

收稿日期:2023-05-19

基金项目:教育部春晖计划项目(191627);西华大学人才引进项目(Z201058)。

作者简介:洪辰玥(1988—),女,浙江宁波人,西华大学建筑与土木工程学院,讲师,博士,研究方向为地下空间、绿色建筑、碳排放。

划”作为检索词,检索文献类型为期刊,筛选后共检索到相关文献 1 095 篇。外文文献检索数据库为 Web of Science(WOS)核心集,检索词为“underground space planning”,筛选后共检索到相关文献 874 篇。

2 发文特征分析

从发文量看(图 1),在 2000 年以前,无论是外文文献还是中文文献数据库,关于地下空间规划的相关研究都比较少。从 2000 年开始,相关中外文献开始大幅度增多,并整体呈波动增长的趋势。其中,中文文献从 2000 年的 8 篇,增长到 2011 年的 94 篇、2022 年 42 篇;外文文献从 2000 年的 1 篇增加到 2021 年的 112 篇、2022 年 83 篇。尽管 2000 年前相关文献检索较少,但并非没有,说明国内外已经开始关注地下空间的开发利用,而 2000 年后相关研究开始快速增加,这与城市化发展进程和土地利用有一定关系。

中文文献发文机构主要是国内各高校以及科研院所。外文文献中发文量最多的作者机构所在国家是中国(341 篇),其次是美国(94 篇)。除此之外,发文量分布在前几位的还有韩国(87 篇)、英国(63 篇)、澳大利亚(42 篇)、德国(31 篇)等。从发文量可以看到,中国发文比重在外文文献中仍然占据主要位置,占总文献的 1/3 还多,这与中国的人口结构变化和城市化快速发展等因素密不可分。从最早发文时间看,这几个国家展开研究时间相差不大,最早的是美国,出现在 2002 年,其次是韩国、英国和澳大利亚,最早发文时间是 2003 年。与之相比,中国发文时间稍晚,最早发文时间为 2008 年,但发文量后来居上,赶超其他东西方国家。

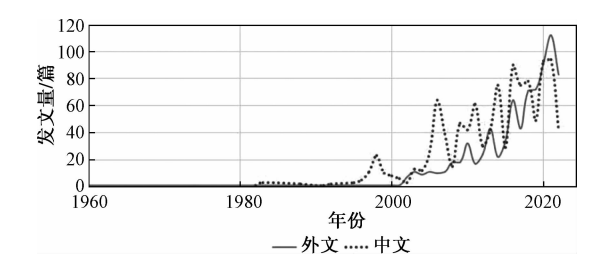


图 1 中外文献发文量分布

3 研究热点与趋势分析

3.1 中文文献分析

3.1.1 高频关键词和关键词聚类分析

通过高频关键词分析可以看到该领域研究和关注的热点问题。从表 1、图 2 中可以看到,中文文献关于地下空间规划研究的关键词主要集中在地

下空间、开发利用、城市规划、空间规划、综合管廊、轨道交通规划、国土空间、城市更新等内容。从关键词最早出现的时间上看,2000—2005 年地下空间、轨道交通、总体规划、空间规划等内容开始受到关注;从 2005—2015 年,人防工程、专项规划、地下管线、国土空间等研究也开始出现;到 2015 年后,综合管廊、城市更新开始受到重视,这与当前城市规划和发展的背景分不开。

对关键词进行聚类分析(表 2、图 3),其中聚类#0 的标签是地下空间,聚类#1 的标签是开发利用,聚类#2 的标签是上海市,聚类#3 的标签是城市规划,聚类#4 的标签是综合管廊,聚类#5 的标签是规划,聚类#6 的标签是空间规划,聚类#7 的标签是总体规划,聚类#8 的标签是土地管理等。通过聚类分析,可以将关系较近的关键词归为一类,数字越小,该聚类包含的关键词越多。从分析可以看出,最大的两个聚类分别是地下空间和开发利用,节点数分别为 124 和 36。这些聚类标签在一定程度上代表了该领域的研究前沿。CiteSpace 中提供了多种聚类算法,本文运用 LLR(Log-likelihood ratio,对数似然比)法,从表 2 中可以看出各聚类所涉及的相关关键词,如聚类#0 地下空间所涉及的主题有地下空间、开发利用、城市规划、综合开发、交通组织。

表 1 中文文献关键词频次及最早出现时间

关键词	频次	年份
地下空间	430	2000
开发利用	87	2002
规划	57	2002
城市规划	38	2003
空间规划、综合管廊、城市	23	2000
		2016
		2004
人防工程	20	2006
上海市	15	2004
规划设计	14	2001
总体规划、轨道交通	13	2001
		2002
利用	11	2006
地下管线	10	2007
专项规划、开发、地铁	9	2013
		2006
		2005
综合开发、国土空间	8	2006
		2014
城市更新、对策、商务区、城市建设、城市地质	7	2015
		2007
		2006
		2009
		2007

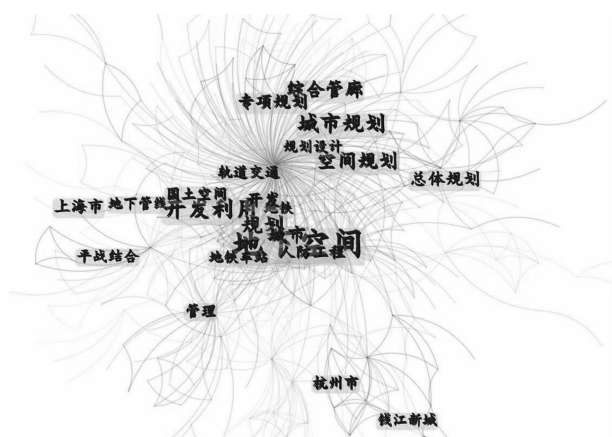


图 2 中文文献高频关键词图谱

表 2 中文文献关键词聚类(前 7)

聚类标签	节点大小	主要年份	相关关键词
#0	124	2012	地下空间;开发利用;城市规划;综合开发;交通组织
#1	36	2012	开发利用;分层;共同沟;城市地下空间;新城
#2	33	2007	上海市;管理;地下管线;空间综合;平战结合
#3	31	2011	城市规划;一体化;三维;中心城区;广州市
#4	31	2014	地下空间;综合管廊;北京市;城市地质;专项规划
#5	27	2008	规划;利用;人防工程;开发;地铁站
#6	25	2011	空间规划;韧性城市;地下建筑;地下空间;城市更新



图 3 中文文献关键词聚类图谱

3.1.2 关键词突变分析

关键词突变分析通常意味着一个研究前沿的兴起,进而导致该词汇在一定时期内出现爆发,并

很可能演变成成为下一个研究热点,通过关键词突现图谱可以看出一个时期内该领域研究热点。从突现图谱(图 4)中可以看出,关于地下空间规划的研究可以以 2012 年左右为界大致分为两个阶段。2012 年以前关于地下空间的研究主要集中在人防工程、平战结合、综合开发、利用和对策等层面。这一时期地下空间规划研究处于起步阶段,研究内容相对宏观,铺开范围大。其中平战结合和利用对策是这一时期研究的重点,持续出现时间较长。2012 年以后,地下空间规划开始快速发展,研究内容也更加具体,如综合管廊、轨道交通等内容,同时宏观层面的研究也仍在进展,具体包含了总体规划、国土空间等内容。

3.1.3 关键词时序图谱分析

时序图谱可以显示关键词最早出现的时间、出现的频率以及文章和关键词之间的关系。图谱中的定位是该关键词第一次出现的时间,连线表示该关键词和其他包含该关键词文章之间的共现关系,其中节点越大表示该关键词出现的次数越高。为探索地下空间规划研究热点,通过 CiteSpace 软件对关键词进行聚类,并在此基础上通过 time-zone 运算,从聚类文献中提取标签词,即为对应的研究热点^[5]。从图 5 可以看出研究内容在时间上的维度变化。从内容上可以看出,2010 年以前地下空间规划研究内容主要包含总体规划、轨道交通规划等内容。2014 年以后,结合时代背景,出现了综合管廊、国土空间、专项规划等内容。

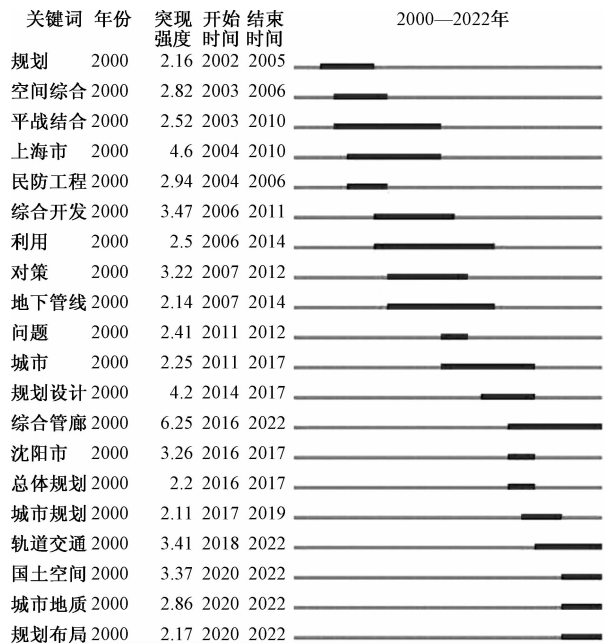


图 4 中文文献关键词(前 20)突现图谱

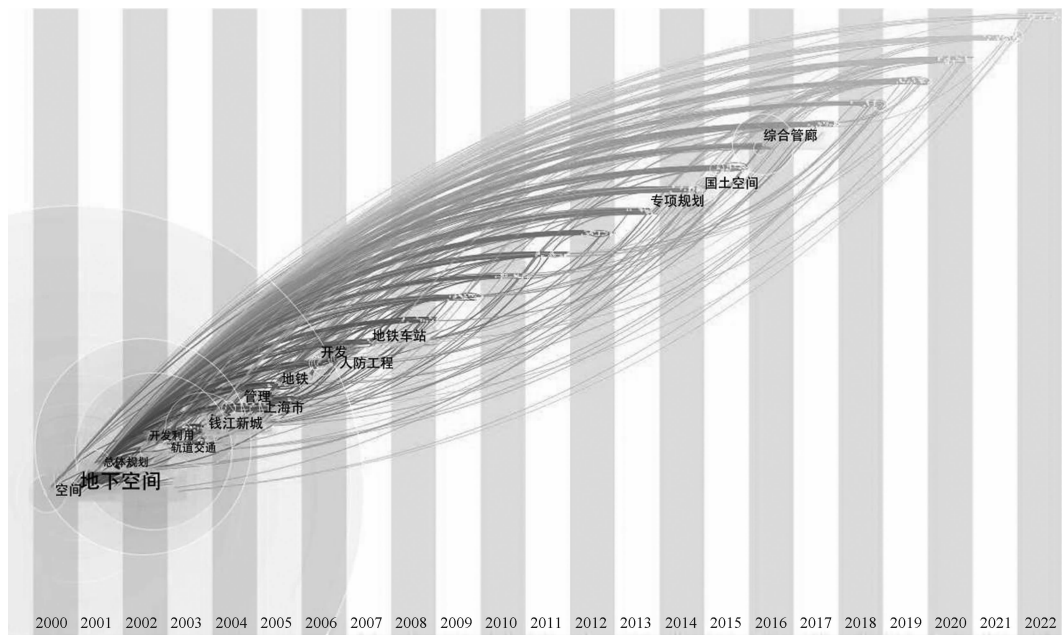


图 5 关键词时序图谱

3.2 外文文献分析

3.2.1 高频关键词和关键词聚类分析

从表 3、图 6 中可以看到,外文文献关于地下空间规划研究的关键词主要集中在 model(模式)、design(设计)、system(系统)、city(城市)、behavior(行为)、prediction(预测)、management(管理)等内容。从关键词最早出现的时间上看,2010 年以前主要有设计(2006)、城市(2008)、空间(2004)等;2010 年后出现了模式(2012)、系统(2013)、行为(2012)、预测(2013)、管理(2010)等词汇。对关键词进行聚类分析(图 7),其中聚类 # 0 的标签是 urban underground space,聚类 # 1 的标签是 change detection,聚类 # 2 的标签是 salt rock,聚类 # 3 的标签是 evaluation method,聚类 # 4 的标签是 tunnel fire,聚类 # 5 的标签是 aerodynamics,聚类 # 6 的标签是 urban underground space resource,聚类 # 7 的标签是 ahp,聚类 # 8 的标签是 multilayered ground 等。其中最大的两个聚类分别是 urban underground space 和 change detection,节点数分别为 87 和 51。各聚类包含的主题词见表 4,如聚类 # 0 所涉及的主题词又包含了 urban underground space、subsurface、sustainable development 等。

3.2.2 关键词突变分析

从突现图谱(图 8)中可以看出,国外关于地下空间规划的研究突显主要出现在2013年以后,其中

表 3 外文文献关键词频次分析

关键词	频次
model	66
design	53
underground space	50
system	44
city	43
space	33
behavior	32
urban underground space	31
prediction	26
management	24
construction	23
deformation	23

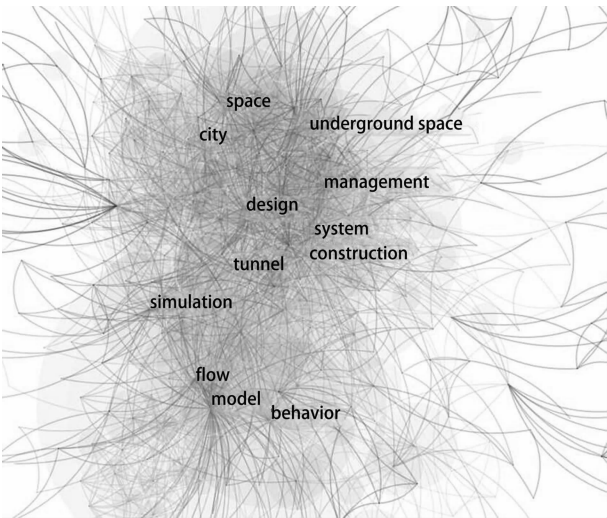


图 6 外文文献高频关键词图谱

又可以 2018 年大致进行分界。2013—2018 年的研究热点主要集中在 rock(岩土)、strategy(策略)、综

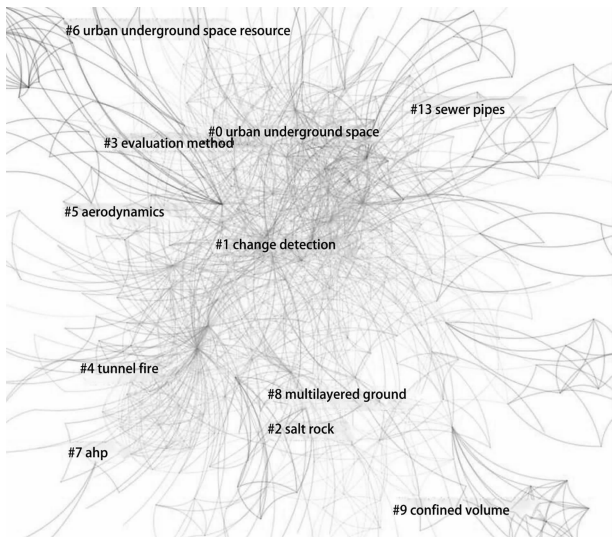


图 7 外文文献关键词聚类图谱

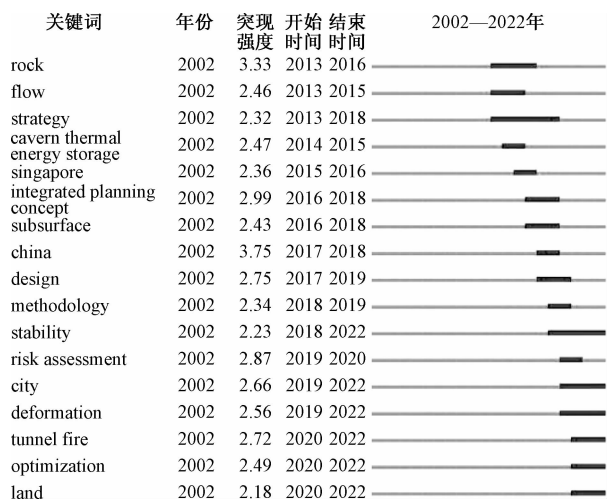


图 8 关键词突现图谱(前 17)

合规划等层面,其中策略研究持续时间较长。2018 年以后出现的研究热点主要包含了风险评估、隧道火灾、用地、稳定和优化等内容,可以看出比之上一阶段主要以宏观策略和设计研究为主,这一阶段的研究更多的偏向工程结构,其中关于稳定性和形变等研究持续时间较长,近年来关于土地利用、隧道火灾等研究也较多。

3.2.3 关键词时序图谱和共引分析

共引图谱可以直观地表达文章之间的关系,被同时引用的频次越高,表明文章关系越密切,研究领域越相似。从时序上可以看到(图 9),国外研究早期主要是围绕城市、地下空间、管理等展开的研究,近年来出现了综合概念规划、隧道火灾研究等内容。从共引分析可以看出,Bobylev N 等一些作者文章共引次数较高。Bobylev^[8]分析了城市地下空间的使用及其对城市的影响可持续性,提出应将立体规划、优先考虑地下空间服务、研究不同类型基础设施之间的潜在功能和空间相互关系以及综合评估纳入考虑。Cano-Hurtado 和 Canto-Perello^[9]探讨了城市公用设施地下空间的可持续发展,通过研究城市地区多功能公用隧道系统的使用,作为解决浅层地下拥堵问题的技术。Canto-Perello 和 Curiel-Esparza^[10]研究了多用途公用隧道中的人为因素工程,认为公用隧道的智能规划可以减轻员工工作的痛苦和压力,这些系统的横截面设计必须考虑到两个空间要求,一个用于公用事业,另一个用于工人操作,同时为了使公用设施隧道的受限工作环境适合员工,提出了一些设计规则。从共引较高的文章研究内容及趋势可以看到,国外关于地下空间的研究多关注可持续发展和使用者的需求,且研究内容更加细化。

表 4 外文文献关键词聚类(前 9)

聚类标签	节点大小	主要年份	相关关键词
# 0	87	2014	urban underground space; underground space; subsurface; sustainable development; underground urbanism
# 1	51	2013	change detection; wastewater collection networks; pipe jacking; seismic response; financial sustainability
# 2	48	2015	salt rock; numerical simulation; deformation; behavior; mechanical property
# 3	45	2015	evaluation method; urban underground space (uus); gis; town & city planning; integration
# 4	43	2017	tunnel fire; maximum temperature; cavern thermal energy storage; temperature; natural ventilation
# 5	37	2012	aerodynamics; metro train; transient pressure; shield tunnel; numerical analysis
# 6	32	2010	urban underground space resource; urban subsurface; geological model; milan; quality estimation
# 7	30	2014	ahp; soil temperature; opening shape; angle of draw; underground concourse
# 8	27	2013	multilayered ground; discrete element method (dem); epb shield tunnel; computational fluid dynamics; soil disturbance

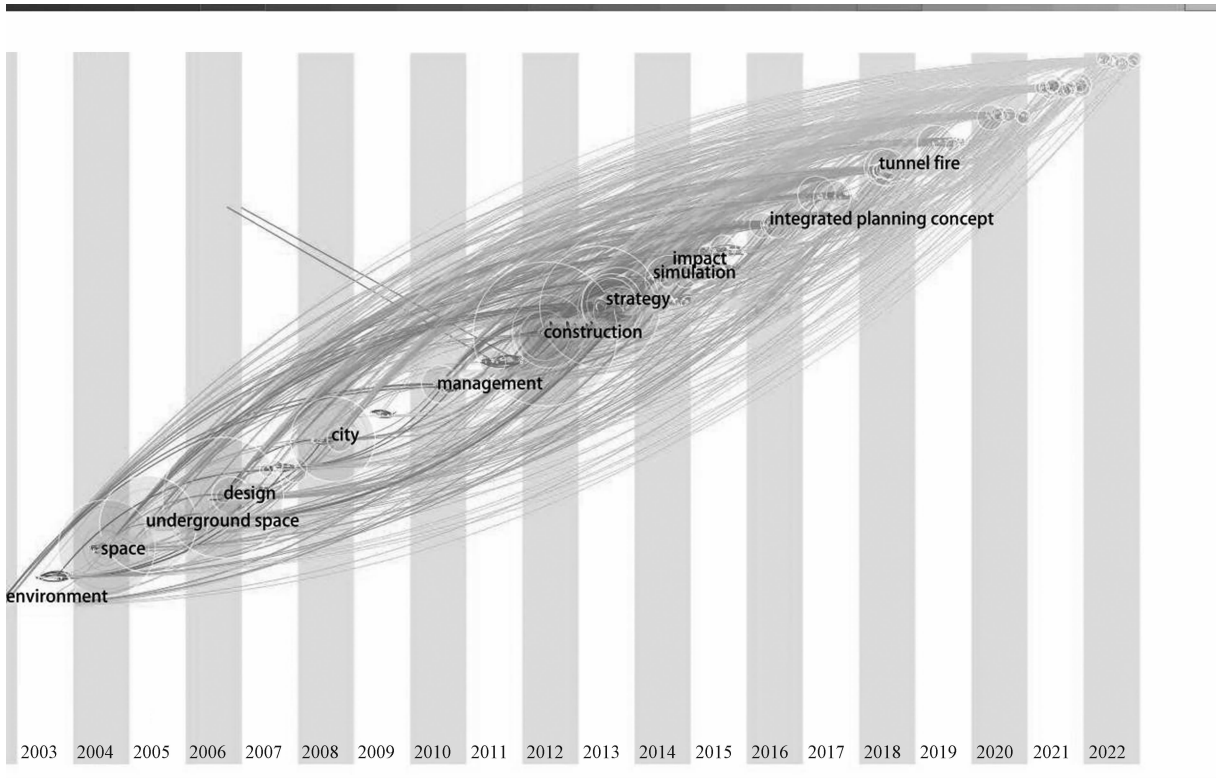


图 9 外文文献关键词时序图谱

4 国内外地下空间规划研究比较

4.1 发文特征比较

从上述研究分析中可以看到,在发文时间上,检索范围中国外关于地下空间研究的出现时间比国内要早,WOS中最早出现的关于地下空间的文献研究的时间是1927年,而CNKI中则是1982年,早了55年。但是在2000年以前,无论国内还是国外关于地下空间的研究都相对较少。从2000年开始,国内外关于地下空间的研究则呈现快速增长趋势,这与城市发展、用地需求以及技术进步有必然联系。

从发文量看,2000年以前国内外发文量都比较少。从2000年开始,中文文献发文量总体高于外文文献,近两年来有所回落。从发文趋势看,中外文献都呈现波动增长趋势,其中中文文献波动较大,而外文文献波动相对较小。从发文国家看,中国在国内外文献中发文都占据重要地位,发文量远超其他国家,这与我国近年来城市快速发展及政策导向密不可分。

4.2 研究内容比较

从中外文献研究分析中可以看到,中外文献研究内容具有一些共同特征,主要体现在研究内容多元化。文献研究内容覆盖了地下空间规划和设计、综合管廊开发、轨道交通建设、地下空间更新、地下

空间防灾、地下空间环境设计等多方面内容,为地下空间的开发和建设提供了借鉴和理论依据。但在研究内容和方法上中外文献又有所区别。

首先,在研究范围上,中文文献研究范围覆盖的更加广泛,在尺度上涵盖了宏观、中观和微观,内容上既有政策层面、国土空间方向等研究,也有市政管线、地下交通方向的研究,既有城市设计层面的研究,也有更新改造方向的研究;而外文文献在研究内容上更倾向于工程和结构的研究。

其次,在研究方法上,中文文献的研究更多集中在设计和规划层面,有时会结合实际案例进行分析,研究以定性研究为主。例如,汤宇卿等^[11]从多点开发、多元复合、多廊贯通等角度提出了城市旧区地下空间布局模式。而外文文献中的研究多以定量研究为主,通常会结合模型和软件进行模拟计算和分析。例如,Dong等^[12]在其文献中提出了一种基于非优势排序遗传算法(non-dominated sorting genetic algorithms, NSGA)的智能布局规划模型,以制定地铁车站周边地下空间的最优规划方案。

除此之外,从突现图图4和图8可以看出,即便是同一个研究方向,在时间节点和延续时间上中外文献也有所不同。例如策略、对策方向的研究,中

文文献主要集中在 2007—2012 年,外文文献则集中在 2013—2018 年,出现时间相对较晚。关于规划设计方向的研究,中文文献集中出现时间和延续时间都比外文文献要早和长。

5 结论和展望

综上所述,城市地下空间开发利用对城市用地集约化发展具有重要意义。通过上述分析研究可以看到,近年来国内外关于地下空间的开发建设已经取得了一些成就,未来地下空间研究可以关注以下几个方面:

1)地下空间开发与环境关系。近年来,节能减排和绿色可持续成为城市发展的重要目标,而地下空间的开发运营对节能减排也有重要意义。从上述研究可以看到,关于地下空间的开发利用及规划设计方向的研究已经较为成熟,而有关地下空间开发与环境方面的研究相对较少,后续可以从此方向入手展开相应研究。

2)细化研究对象和内容。从文献分析可以看到,细化研究对象和内容是十多年来该领域的研究发展趋势。地下空间开发根据其开发深度和使用功能等不同又可以分为多种类型,不同类型的地下空间设计方法和使用需求也不相同,未来研究可进一步细化研究对象和研究内容。

3)多学科交叉研究。地下空间的开发建设涉及多学科,如工程学、环境学、心理学、建筑规划学科等,目前关于地下空间的研究主要是工程结构学和建筑规划设计类学科,事实上,由于地下空间位于地下,其在环境设计和使用心理方面也十分重要。未来关于该方向的研究可从多方位展开。

参考文献

- [1] 田野,刘宏,张智峰,等.中国地下空间学术研究发展综述[J].地下空间与工程学报,2020,16(6):1596-1610.
- [2] 韦海民,贺广学.基于 CNKI 的地下综合管廊研究文献计量分析[J].土木工程与管理学报,2019,36(5):81-89.
- [3] 张志,吴梦涵.基于 CiteSpace 的中国城市地下空间研究发展综述[J].安全与环境工程,2023,30(1):25-34.
- [4] 谢军,姜早龙,张杰,等.基于 CiteSpace 的城市地下空间可持续开发分析[J].施工技术,2022,51(13):52-61.
- [5] 陈煜蕊.基于文献计量分析的康复景观研究综述[J].攀枝花学院学报,2022,39(3):18-27.
- [6] 陈悦,陈超美,刘则渊,等.CiteSpace 知识图谱的方法论功能[J].科学学研究,2015,33(2):242-253.
- [7] 丁立平,邵峰.基于 CiteSpace 的中国城市地下空间研究进展综述[J].建筑与文化,2021(7):47-50.
- [8] BOBYLEV N. Mainstreaming sustainable development into a city's master plan: a case of urban underground space use[J]. Land Use Policy, 2009, 26(4): 1128-1137.
- [9] CANO-HURTADO J J, CANTO-PERELLO J. Sustainable development of urban underground space for utilities[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 1999, 14(3): 335-340.
- [10] CANTO-PERELLO J, CURIEL-ESPARZA J. Human factors engineering in utility tunnel design[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2001, 16(3): 211-215.
- [11] 汤宇卿,王梦雯,吴新珍,等.面向有机更新的城市旧区地下空间规划策略与布局模式[J].规划师,2022(2):134-139.
- [12] DONG Y H, PENG F L, ZHA B H, et al. An intelligent layout planning model for underground space surrounding metro stations based on NSGA-II[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2022, 128: 1-16.

Hot Spots and Trends of Underground Space Planning:

A comparative study at home and abroad based on CiteSpace

HONG Chenyue

(School of Architecture and Civil Engineering, Xihua University, Chengdu 610000, China)

Abstract: With the accelerated development of urbanization, urban land is increasingly tense, and the development and utilization of underground space can effectively alleviate this problem. Therefore, more and more attention has been paid to the development and utilization of underground space in recent years. It is of great practical significance to study the hot spot and development trend of urban underground space exploitation and utilization. Using CiteSpace software and taking underground space planning as key words, a visual analysis of relevant literatures in CNKI and Web of Science database over the years is conducted. The results show that the research on underground space planning is mainly concentrated after 2000, and shows a trend of fluctuation growth. The research content mainly focuses on spatial planning, rail transit, integrated corridor, territorial space, urban renewal and other directions. With the change of time, its research emphasis also varies. By analyzing and sorting out the above contents, the hot spots and trends of underground space planning research is summarized to provide reference for the relevant research of underground space planning.

Keywords: underground space; planning and design; CiteSpace; visual analysis