

# 基于 Web of Science 的钢结构文献可视化图谱分析

杨平生

(西安建筑科技大学 图书馆, 陕西 西安 710055)

**摘要:** 为了明确世界钢结构研究领域文献的整体状况, 以 Web of Science 数据库为基础, 对 2000—2017 年的钢结构相关文献进行检索, 采用 HistCite 及 CiteSpace 软件, 进行数据分析及知识图谱绘制。结果显示, 该领域的文献发表量呈现逐年快速增长的趋势, 中美两国占据领先地位; 在研究机构和学者的分布上, 中美英澳高校有很强实力; 从文献共被引网络分析得出了 9 个研究方向的 28 篇关键文献; 借助关键词共现分析, 从一定程度上反映了相关研究文献的发展情况。

**关键词:** 钢结构; 知识图谱; 信息可视化; 文献计量

**中图分类号:** G 255.2    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1008-7192(2018)03-0095-06

科学知识图谱是显示科学知识的发展进程与结构关系的一种图形。随着文献总量的迅速增长, 依靠传统的方法捕捉学科发展的脉动越来越困难, 基于引文分析、词频分析、多元统计分析、共被引分析、聚类分析等方法形成的可视化图谱能直观地描述某一领域随时间而积累的知识资源及其载体, 以及某一领域知识创造者的共同体<sup>[1]31-39</sup>。自从可视化图谱的开创者加菲尔德于 1964 年手工完成 DNA 领域的历时态图谱以来, 随着计算机技术的进步, 出现了 Bibexcel、Pajek、Ucinet、HistCite、CiteSpace 等应用软件, 可视化图谱分析方法在越来越多的领域得到了应用。

钢结构是主要的建筑结构类型之一, 广泛应用于海洋石油工程装备、桥梁、建筑等领域。2016 年 2 月国务院发布《国务院关于钢铁行业化解过剩产能实现脱困发展的意见》, 明确提出推广应用钢结构建筑, 结合棚户区改造、危房改造和抗震安居工程实施, 开展钢结构建筑推广应用试点, 大幅提高钢结构应用比例, 并将其作为推动钢铁行业升级的内容<sup>[2]</sup>。我国“十二五”期间钢结构建筑用钢量 3 000 万~5 000 万吨左右, 仅占我国钢产量的 4%~6%, 远低于欧美、日本等发达国家 20%~30% 的水平, 因此钢结构行业还有很大

的发展空间<sup>[3]</sup>。

在钢结构研究领域, 国内外学者的相关文献众多, 但是从文献计量学的角度, 尤其是从科学知识图谱的角度对钢结构文献进行分析的研究还几乎空白。本文以 Web of Science 数据库为基础, 对 2000—2017 年的钢结构研究文献进行分析, 揭示该领域文献的动态变化和发展态势, 以期能够为相关研究提供参考。

## 一、数据来源及分析方法

本文数据来源于美国科技信息所引文索引数据库 Web of Science 核心合集集中的 SCI-EXPANDED 数据库。检索式: TS = (“steel structure \*” OR “steel building \*” OR “steel construction \*”), 时间跨度为 2000—2017 年, 检索时间为 2018 年 1 月 1 日, 共获得文献 49 266 篇, 从中精炼出“土木工程”与“建筑施工技术”类别文献 12 341 篇。以检索所得文献为基础, 利用统计、比较、图解等文献计量学中引文分析的方法<sup>[4]268-288</sup>, 采用引文分析软件 HistCite 及美国德雷塞尔大学陈超美教授与大连理工大学 WISE 实验室联合开发的知识图谱可视化分析软件 CiteSpace 5.0, 对这些数据进行

分析研究。

## 二、分 析

### 1. 发文量年度分布

钢结构领域内“土木工程”与“建筑施工技术”方向自2000—2017年被SCI-EXPANDED数据库收录的文献情况如图1。从图1可见,该领域文献发表量呈现逐年增长的趋势。2000—2006年发文量平稳增长,2007年有一个突进,2009年之后又开始呈爆发式增长,直到现在。

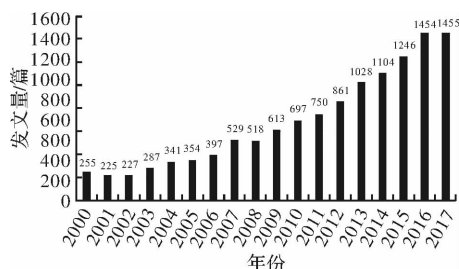


图1 2000—2017年年度发文量

从图2可知,这一阶段的增长主要是因为中国因素的显著提高,我国的发文量从2007年的55篇上升到2017年的438篇,增长了8倍。而同期对

总发文量影响最大的美国只增长了1倍,并在2015年被我国从年度发文数量上大幅度超越。这一点充分显示了我国随着国内经济的发展,钢产量逐年上升,钢结构应用范围越来越广,相关科研力量也越来越强的现状,并逐渐在2006年后进入了一个发展的高峰期<sup>[5]</sup>。

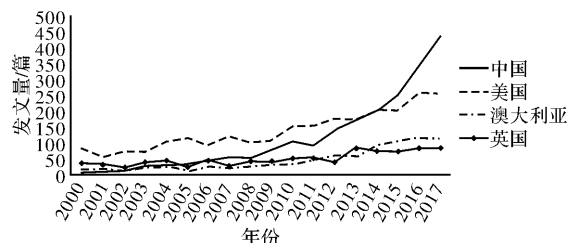


图2 2000—2017年主要国家年度发文量曲线

### 2. 发文量国家分布

各国文献发表量的分布是显示其研究能力的重要指标。从表1可见,中美两国的发文量处于领先地位,占世界总量的37.6%;英国、澳大利亚、加拿大、韩国等国发文量均在500篇以上,说明这些国家在钢结构领域的研究中占据一定地位,七国的发文量占世界总量的37%。

表1 2000—2017年发文量前10位的国家排名

序号	国家	发文量(篇)	中心度	被引频次(次)	平均被引频次(次)
1	美国	2 530	0.30	25 344	10.0
2	中国	2 108	0.04	16 756	7.9
3	英国	942	0.33	11 590	12.3
4	澳大利亚	865	0.28	9 723	11.2
5	加拿大	743	0.11	7 253	9.7
6	韩国	737	0.02	5 595	7.6
7	意大利	713	0.09	7 395	10.4
8	德国	667	0.03	1 920	2.9
9	伊朗	640	0.01	3 608	5.6
10	日本	496	0.08	4 906	9.9

中心度又称中间中心性,它是指网络中经过某点并连接这两点的最短路径占这两点之间的最短路径总数之比<sup>[6]</sup>。从中心度来看,美国、英国、澳大利亚三个国家都非常高,均达到了0.28以上,说明他们与别国在钢结构研究领域的合作中处于主导地位,而我国的中心度只有0.04,可见我国在加强国际合作上还有所缺乏。

文献被引频次是衡量文献学术水平和受重视程度的一个重要测度,美国、中国、英国、澳大利亚的被引频次总计数量较高,但是如果从平均被引频次来看,英国、澳大利亚、美国、意大利

则处于最领先地位,说明这四国的文献具有更大的影响范围。

### 3. 发文量机构分布

从表2可见,在机构文献发表量上,同济大学位列首位,清华大学、哈尔滨工业大学、香港大学、香港理工大学也表现出色,显示这些机构在钢结构领域拥有突出的地位。在机构间合作方面,同济大学、伊利诺伊大学等都与较多研究机构有合作关系。从平均被引频次看,帝国理工学院、香港理工大学、伊利诺伊大学、莫纳什大学等都具有更大的影响力,我国大陆研究机构或因为历

史与文化的原因，或因为研究注重于应用方面，相比还有一些差距，提升空间很大。在基础研究方面力度不够，因此在国际影响力上

表 2 2000 - 2017 年发文量前 10 位的机构排名

序号	机构	发文量（篇）	中心度	被引频次（次）	平均被引频次（次）
1	同济大学	339	0.24	1 919	5.7
2	清华大学	218	0.06	1 884	8.6
3	香港大学	150	0.04	1 990	13.3
4	香港理工大学	139	0.06	3 512	25.3
5	哈尔滨工业大学	138	0.01	1 145	8.3
6	帝国理工学院	137	0.05	3 172	23.2
7	新南威尔斯大学	137	0.06	1 824	13.3
8	莫纳什大学	116	0.04	1 949	16.8
9	伊利诺伊大学	116	0.14	1 978	17.1
10	悉尼大学	116	0.04	1 084	9.3

4. 作者共被引分布

从学者在研究领域内的发文量和被引频次就能够评价其学术贡献力度和学术影响力，是衡量其学术价值的重要参数<sup>[7]</sup>。表 3 根据发文量排名列举了国内外 10 位钢结构领域的学者，发文量和被引频次都较高的包括：香港大学杨立伟教授，研究方向为冷弯型钢结构、钢结构设计与检测、薄壁结构、不锈钢结构、铝合金结构、金属结构

抗火<sup>[8]</sup>；莫纳什大学赵晓林教授，研究方向为管状结构、薄壁结构、FRP 结构<sup>[9]</sup>；清华大学韩林海教授，研究方向为钢管混凝土及其混合结构、钢-混凝土组合结构抗火<sup>[10]</sup>；以及帝国理工学院的 Gardner Leroy 教授、新南威尔斯大学的 Uy Brian 教授。我国内地的重要学者还有同济大学的李国强教授，研究方向为多高层建筑钢结构分析与设计、钢结构抗火计算与设计理论等<sup>[11]3</sup>。

表 3 2000 - 2017 年发文量前 10 位的作者排名

序号	作者	所属机构	发文量（篇）	被引频次（次）	平均被引频次（次）
1	Young B（杨立伟）	香港大学	95	1 668	17.6
2	Mahendran M	昆士兰科技大学	78	692	8.9
3	Zhao XL（赵晓林）	莫纳什大学	75	1 533	20.4
4	Han LH（韩林海）	清华大学	74	1 824	24.6
5	Gardner L	帝国理工学院	66	2 049	31.0
6	Uy B	新南威尔斯大学	66	1 453	22.0
7	Bradford MA	新南威尔斯大学	65	679	10.4
8	Kim J	成均馆大学	65	710	10.9
9	Li GQ（李国强）	同济大学	57	315	5.5
10	Liew JYR（刘德源）	新加坡国立大学	57	671	11.8

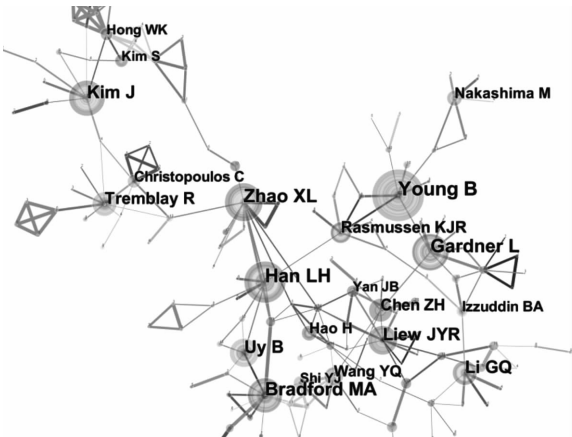


图 3 作者共被引图谱

5. 文献共被引分析

通过文献共被引分析可以反映出一个学科或者知识领域的经典文献及中心性文献。自 2000—2017 年，每年选取被引频次前 100 位的文献，分别用 CiteSpace 及 HistCite 形成图谱进行分析（图 4、图 5）。钢结构研究领域早期的经典文献可追溯到 S. P. 铁摩辛柯（S. P. Timoshenko）和 J. M. 盖莱（J. M. Gere）1961 年出版的《弹性稳定理论》一书，该书在钢结构基础研究方面影响深远。近期的文献，除美国钢结构学会（AISC）、美国土木工程师学会（ASCE）、美国联邦应急管理署（FE-

MA)、美国混凝土学会(ACI)、美国焊接学会(AWS)的设计标准、规范外,能够具有中心性意义的文献,按研究方向列举如下。

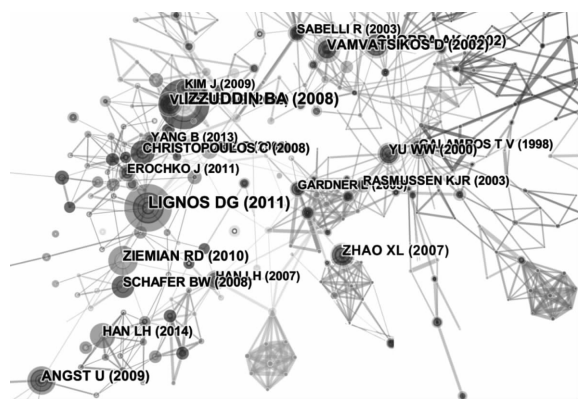


图4 CiteSpace 文献共被引图谱

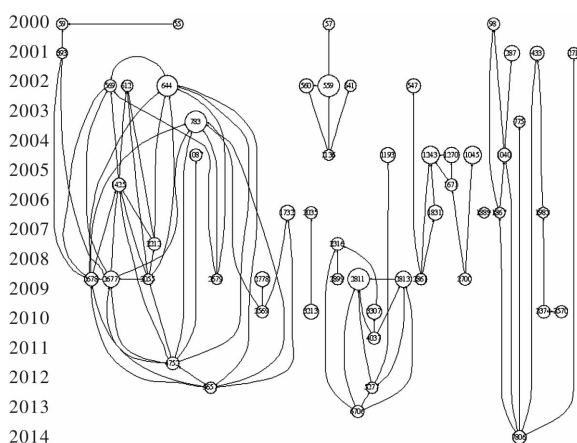


图5 HistCite 引文图谱

(1) 钢结构稳定研究: B. A. Izzuddin 的《Progressive collapse of multi-storey buildings due to sudden column loss—Part I: Simplified assessment framework》(2008); AG Vlassis、B. A. Izzuddin 的《Progressive collapse of multi-storey buildings due to sudden column loss—Part II: Application.》(2008); Ziemian RD 的《Guide to stability design criteria for metal structure》(2010); Galambos T V 的《Guide to stability design criteria for metal structures》(1998); Kim J 的《Assessment of progressive collapse-resisting capacity of steel moment frames》(2009); Schafer BW 的《Review: The Direct Strength Method of cold-formed steel member design》(2008); Uriz P 的《Model for cyclic inelastic buckling of steel braces》(2008)。

(2) 钢框架结构抗震: DG Lignos 的《Deterioration Modeling of Steel Components in Support of Collapse Prediction of Steel Moment Frames under Earth-

quake Loading》(2011); Cornell CA 的《Probabilistic basis for 2000 SAC Federal Emergency Management Agency steel moment frame guidelines》(2002); Vamvatsikos D 的《Incremental dynamic analysis》(2002); Chopra AK 的《A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings》(2002); 周中哲(Chou Chung-Che) 的《Subassembly tests and finite element analyses of sandwiched buckling-restrained braces》(2010); Christopoulos C 的《Self-centering energy dissipative bracing system for the seismic resistance of structures: Development and validation》(2008); Khandelwal K 的《Progressive collapse analysis of seismically designed steel braced frames》(2009)。

(3) 钢-混凝土组合结构: Angst Ueli 的《Critical chloride content in reinforced concrete—A review》(2009); 韩林海(Han LH) 的《Developments and advanced applications of concrete-filled steel tubular (CFST) structures: Members》(2014) 和《Performance of concrete-filled thin-walled steel tubes under pure torsion》(2007)。

(4) 与 FRP 相关的研究: 赵晓林(Zhao XL) 的《State-of-the-art review on FRP strengthened steel structures》(2007); Chen JF 的《Anchorage strength models for FRP and steel plates bonded to concrete》(2001)。

(5) 冷弯型钢方面: 于炜文(Yu WW) 的《Cold-formed steel design》(2000)。

(6) 螺栓钢柱节点研究: 杨立伟(Yang B) 的《Experimental tests of different types of bolted steel beam-column joints under a central-column-removal scenario》(2013)。

(7) 不锈钢结构: Rasmussen KJR 的《Reply to: Discussion of Full-range stress-strain curves for stainless steel alloys》(2003); Gardner L 的《The use of stainless steel in structures》(2005) 和《Experiments on stainless steel hollow sections—Part 1: Material and cross-sectional behaviour》(2004)。

(8) 钢结构防火研究: Wald F 的《Experimental behaviour of a steel structure under natural fire》(2006)。

(9) 结构优化设计: Adel Hoggat 和 Jiang XM 的《Dynamic fuzzy wavelet neural network model for

structural system identification 》( 2006 ) 以及《Neuro-genetic algorithm for non-linear active control of structures 》( 2008 ) ; Lee KS 的《A new structural optimization method based on the harmony search algorithm 》( 2004 ) 。

6. 关键词共现分析

关键词是对文献内容的高度概括。共词分析

是依据文献中关键词的共现, 来确定某个研究领域里不同主题间的内部相关性, 并以此分析某个学科的发展进程、研究热点。本文将获取的文献按时间分为 2000—2005 年、2006—2011 年、2012—2017 年三个区间, 抽取每一区间前 50 位关键词, 去除检索词及一般性关键词后, 在表 4 中按频次及中心度进行排序分析。

表 4 各区间关键词排序

2000 - 2005 年		2006 - 2011 年		2012 - 2017 年	
频次	关键词	频次	关键词	频次	关键词
80	corrosion	204	beam	650	performance
80	beam	196	strength	572	strength
78	bridge	178	model	488	model
76	column	159	building	453	building
72	strength	156	reinforced concrete	440	beam
71	ductility	155	bridge	380	column
68	connection	151	corrosion	370	reinforced concrete
65	steel frame	149	connection	342	system
64	buckling	142	column	341	connection
62	reinforced concrete	141	performance	325	steel frame
57	building	138	steel frame	292	corrosion
47	seismic design	127	ductility	260	test
47	composite structure	97	nonlinear analysis	260	bridge
43	model	95	system	232	earthquake
39	cold formed steel	88	joint	215	mechanical property

在专业性关键词中, 能保持逐年较高增长的关键词有: beam (梁)、column (柱)、strength (强度)、connection (连接)、reinforced concrete (钢筋混凝土)、building (建筑)、model (模型)、test (测试)、performance (性能), 表明这些关键词一直是研究热点; 能保持一般增长速度的有: corrosion (腐蚀)、bridge (桥)、ductility (塑性)、steel frame (钢框架)、seismic design (防震设计)、composite structure (组合结构)、earthquake (地震)、optimization (优化)、fatigue (疲劳)、finite element analysis (有限元分析), 表明这些关键词一直受到研究者关注; 增长幅度一直不大, 2011—2016 年区间严重下降的关键词有: buckling (扣件)、cold formed steel (冷轧钢)、stability (稳定), 表明这些关键词受到的关注减少; 前期出现不多, 2011 - 2017 年区间迅速增长的关键词有: system (系统)、genetic algorithm (遗传算法)、member (构件)、progressive collapse (连续性倒塌)、mechanical property (机械特性), 表明这些关键词相关的方面近年有显著的发展。

近 5 年来的突发性关键词包括 cfrp (碳纤维增强复合材料)、microstructure (微观结构)、simulation (模拟)、cost optimization (成本优化)、elevated temperature (高温)、damage (损坏)、high strength steel (高强度钢) 等。图 6 为近几年来的突发性关键词, 包括 capacity (容量)、seismic response (地震反应)、finite element (有限元), 表明与这些关键词相关的研究有可能形成了热点或有所突破。

Top 50 Keywords with the Strongest Citation Bursts

Keywords	Year	Strength	Begin	End	2012 - 2017
capacity	2012	8.6607	2014	2015	
seismic response	2012	18.1419	2015	2017	
finite element	2012	7.711	2015	2017	

图 6 引用量突发性关键词

三、结 论

本文通过检索 2000—2017 年的 Web of Science 数据库核心合集中钢结构相关学科文献数据, 借助可视化科学知识图谱的方法, 从多个角度进行分析, 得出以下结论。

(1) 钢结构领域的文献发表量总体呈现逐年快速增长的趋势,其中中美两国的发文量处于领先地位,英国、澳大利亚、加拿大、韩国等七国也占据一定地位,2006年以后我国在该领域具有越来越重要的影响因素。

(2) 按发文量列举了排名前10的机构和学者。其中我国的同济大学、清华大学、哈尔滨工业大学、香港大学、香港理工大学发文量较高,我国学者当中杨立伟、韩林海、李国强发文量较高。从平均被引频次看,帝国理工学院、香港理工大学、伊利诺伊大学、莫纳什大学等都具有更大的影响力。

(3) 依靠 CiteSpace 及 HistCite 引文图谱,列举出了钢结构领域中的经典文献以及钢结构稳定、钢框架结构抗震、钢-混凝土组合结构、FRP、冷弯型钢、螺栓钢柱节点、不锈钢结构、钢结构防火、结构优化设计九个研究方向的中心性文献28篇。

(4) 借助关键词共现分析,分析了50个关键词,从三个时间阶段展示了不同时期钢结构领域内关键词的出现频次及相关关系,显示了不同关键词快速增长、一般增长、下降和突发的情况,从一定程度上反映了相关研究文献的发展情况。

### 参 考 文 献

[1] 刘则渊,陈悦,侯海燕,等. 科学知识图谱方法与应用[M]. 北京:人民出版社,2008.

- [2] 中华人民共和国国务院. 国务院关于钢铁行业化解过剩产能实现脱困发展的意见[EB/OL]. [2016-09-22]. <http://www.mofcom.gov.cn/article/b/g/201604/20160401305114.shtml>.
- [3] 党保卫. 2016年中国钢结构建筑行业报告[R]. 合肥:中国建筑金属结构协会建筑钢结构分会,2016.
- [4] 王崇德. 文献计量学教程[M]. 天津:南开大学出版社,1990.
- [5] 李冰,曹现雷. 我国钢结构的发展与对策[J]. 山西建筑,2008,34(9):126-139.
- [6] CHEN C. CiteSpace II: detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature[J]. Journal of the American Society for information Science and Technology, 2006, 57(3): 359-377.
- [7] 李旋,郝继英. 学者的学术影响力评价方法[J]. 中华医学图书情报杂志,2016,25(8):48-52.
- [8] The University of Hong Kong. Research interests[EB/OL]. [2018-01-04]. <http://www.civil.hku.hk/pp-youngb.html>.
- [9] ZHAO X L, HEIDARPOUR A, GARDNER L. Recent developments in high-strength and stainless steel tubular members and connections[J]. Steel Construction, 2014, 7(2): 65-72.
- [10] 清华大学土木水利学院. 防灾减灾工程研究所[EB/OL]. [2018-01-04]. <http://www.civil.tsinghua.edu.cn/ce/essay/264/538.html>.
- [11] 李国强. 多高层建筑钢结构设计[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2004.

## An Analysis on the Visualizing Map of the Research Literature of Steel Structure on Web of Science

YANG Ping-sheng

(Library, Xi'an Univ. of Arch. and Tech., Xi'an 710055, China)

**Abstract:** Based on the relevant literatures retrieval about steel structure from 2000 to 2017 and the database of Web of Science, this paper conducts the data analysis and the knowledge mapping by means of HistCite and CiteSpace in order to clarify the overall situation of the research literature of steel structure in the world. It turns out that the publication of literature in this field shows a trend of rapid growth year by year and China and the United States take the lead especially. In the distribution of research institutions and scholars, the universities of China, USA, UK and Australian are powerful and influential. From the analysis of literature co-citation network, 28 key documents of 9 research directions are obtained. With the key words co-occurrence analysis, the development of relevant research literature is reflected to a certain extent.

**Key words:** steel structure; knowledge mapping; information visualization; bibliometric

【编辑 吴晓利】