

郭永丽, 章程, 吴庆, 等. 基于文献计量学分析岩溶水文地质学研究热点[J]. 中国岩溶, 2020, 39(6): 817-828.  
DOI: 10. 11932/karst2020y13

# 基于文献计量学分析岩溶水文地质学 研究热点

郭永丽<sup>1,2,3</sup>, 章程<sup>1,3</sup>, 吴庆<sup>1,3</sup>, 全洗强<sup>1,3</sup>

(1. 中国地质科学院岩溶地质研究所/自然资源部、广西岩溶动力学重点实验室, 广西桂林 541004; 2. 中国地质大学(武汉)环境学院, 武汉 430074; 3. 联合国教科文组织国际岩溶研究中心, 广西桂林 541004)

**摘要:**利用文献计量学方法分析2011—2018年国内外岩溶水文地质学领域研究的动态特征。通过Web of Science (WoS)核心合集数据库,以“Karst hydrogeology”、“Karst groundwater”、“Karst aquifer”、“Karst underground river”、“Karst subterranean stream”、“Karst underground stream”、“Karst spring”、“Karst geothermal water”、“Karst thermal groundwater”或“Karst water landscape”为主题词,检索得到1460篇论文,通过中国知网(CNKI)收录的EI、核心期刊和CSSCI数据库,以“岩溶水文地质”、“岩溶地下水”、“岩溶含水层”、“喀斯特水文地质”、“喀斯特地下水”、“喀斯特含水层”、“地下河”、“岩溶泉水”、“岩溶地热水”、“喀斯特泉水”、“喀斯特地热水”、“岩溶水景观”或“喀斯特水景观”为主题词,检索得到918篇论文。基于WoS和CNKI自带功能及CiteSpace软件分析国家、机构、发文量及期刊等情况,结果表明:中国地质科学院岩溶地质研究所充分发挥了其在国内的机构职能和专业优势,中国有待进一步加强其在国际上的地域优势及其活跃度;由基于CiteSpace平台的关键词共现图谱发现国际岩溶水文地质学领域研究的热点问题包括“岩溶水动力学”、“岩溶地下水数值模拟”、“岩溶水文地球化学”和“岩溶水污染”,而国内岩溶水文地质学领域研究的热点问题范围更广,包括“岩溶含水系统”、“岩溶水资源”、“岩溶水环境”和“岩溶水工程”。

**关键词:**文献计量学; CiteSpace; 岩溶水文地质; 热点

**中图分类号:**G353.1; P641 **文献标识码:**A

**文章编号:**1001-4810(2020)06-0817-12 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



## 0 引言

岩溶水文地质学是研究岩溶地下水的科学,是岩溶学和水文地质学的分支,具有自身研究特点。岩溶含水介质是由可溶岩中的孔隙、裂隙、溶蚀裂隙—溶蚀管道—地下河通道等构成的多重复杂介

质<sup>[1]</sup>,岩溶水文地质学相关的概念、理论和研究方法等具有较广的探索空间。岩溶水文地质学的研究内容包括岩溶含水介质特征、岩溶地下水形成条件(补给、径流、蓄积和排泄)、岩溶地下水运动规律、岩溶地下水水化学场及水质、岩溶地下水动态、岩溶地下水与环境、岩溶地下水资源和岩溶水文地质勘察技

基金项目:国家自然科学基金项目(41702277); UNESCO/IUGS项目(IGCP 661); 广西自然科学基金(2017GXNSFFA198006); 自然资源部、广西岩溶动力学重点实验室开放课题(KDL201401); 中国地质科学院基本科研业务费(JYYWF20182002); 桂东北岩溶系统基础地质调查(DD20190022); 广西重点实验室建设项目(17-259-06)

第一作者简介:郭永丽(1989—),女,博士研究生,助理研究员,主要从事岩溶水文地质方面的研究。E-mail: gylguo@karst.ac.cn, ylguo89@163.com。

收稿日期:2019-05-09

术。目前,岩溶水文地质学在典型岩溶泉、岩溶洞穴系统、新技术和新方法(水化学、同位素、物探技术、洞穴探测等)、岩溶含水介质和水流状态、岩溶水系统分析、岩溶水动力模拟及水资源定量研究和岩溶水的开发利用及保护等方面取得了重要进展<sup>[1]</sup>。本文旨在基于文献计量学定量分析国内外岩溶水文地质学领域研究的核心方向及热点,以便能够更好地掌握中国岩溶水文地质学亟待解决的关键技术及其应用推广,服务国家需求和目标。

集数学、统计学、文献学为一体的文献计量学是进行文献统计及其可视化分析的一种重要手段<sup>[2]</sup>。科研工作者在一段时间内的主要关注点及探讨的问题/现象称为“研究热点”;“关键词”是论文的高度浓缩和提炼,通过分析论文的高频关键词可挖掘出“研究热点”<sup>[3]</sup>。Web of Science(WoS)核心合集数据库和中国知网(CNKI)收录了国内外2万多种学术期刊,利用WoS和CNKI自带功能和CiteSpace软件对其近几年收录的岩溶水文地质学领域的文献进行可视化分析,获取国内外岩溶水文地质学领域的研究进展、核心方向和热点,以期为岩溶水文地质学学者在该领域研究的创新/突破指明方向。

## 1 数据采集与处理

### 1.1 数据采集

WoS核心合集数据库收录的岩溶水文地质学领域的研究数据能表征国际上的相关研究状况,以“Karst hydrogeology”、“Karst groundwater”、“Karst aquifer”、“Karst underground river”、“Karst subterranean stream”、“Karst underground stream”、“Karst spring”、“Karst geothermal water”、“Karst thermal groundwater”或“Karst water landscape”为主题词检索2011–2018年发表的文献,文献类别为“Article”、“Review”和“Proceedings paper”。筛选剔除后共得到1460篇文献,将记录内容为“全纪录与引用的参考文献”检索结果保存为“.txt”格式。

CNKI收录的岩溶水文地质学领域的研究数据能表征国内的相关研究状况,以“岩溶水文地质”、“岩溶地下水”、“岩溶含水层”、“喀斯特水文地质”、“喀斯特地下水”、“喀斯特含水层”、“地下河”、“岩溶泉水”、“岩溶地热水”、“喀斯特泉水”、“喀斯特地热水”、“岩溶水景观”或“喀斯特水景观”为主题词检索2011–2018年发表的文献,期刊来源类别为EI、核心

期刊和CSSCI。利用数据去重功能后共得到918篇文献,按照CiteSpace软件规定将记录内容保存为Refworks格式。

### 1.2 分析方法

CiteSpace是一款应用于科学文献中识别并显示科学发展新趋势和新动态的软件。文中利用CiteSpace软件(5.3.R4.8.31.2018版本)定量分析WoS核心合集数据库和CNKI获得的数据,基于关键词共现图谱、国家合作图谱等可视化分析2011–2018年有关岩溶水文地质学领域的文献报道,获取岩溶水文地质学的发展特点、研究热点、合作关系等;国家、机构以及个人论文发表数量和质量基于WoS和CNKI的自带分析功能获取<sup>[2]</sup>。

在关键词共现图谱中,一个节点代表一个关键词,关键词标注的大小代表相应关键词出现的频次,彼此相邻的关键词表示它们出现在相同的文献中<sup>[2,4]</sup>。在国家合作图谱中,节点的大小表示论文所属国家或机构出现的频度,节点间的连线表示两国或机构间具有合作<sup>[2,4]</sup>。

在利用CiteSpace文献计量分析过程中,节点类型选择“Keyword”或“Country”;Top100(关键词共现分析)和Top20(国家合作分析)被选为节点阈值;在关键词共现、国家合作分析中选择Pathfinder(寻径)和Pruning sliced networks(修剪每篇网络)为网络修剪方式;在国际发文分析中节点类型和阈值选择“Country”和“Top20”,无网络修剪。

## 2 结果与分析

### 2.1 2011–2018年国际岩溶水文地质学领域发文分析

基于WoS自带分析检索功能分析1460条检索结果的国家/地区发文数量可知,发文量前10的国家/地区依次为中国、美国、德国、意大利、法国、西班牙、伊朗、澳大利亚、新西兰和英国(图1)。基于CiteSpace软件分析发文前20的国家合作关系可知,在岩溶水文地质学领域德国与其他国家的合作最活跃,其次是英国、法国和美国,中国多与美国、德国和澳大利亚开展合作,中国在国际上的活跃程度有待进一步加强(图2)。

分析国际岩溶水文地质学领域发表的1460篇文章的所属机构、作者和期刊,排名前10的机构出现

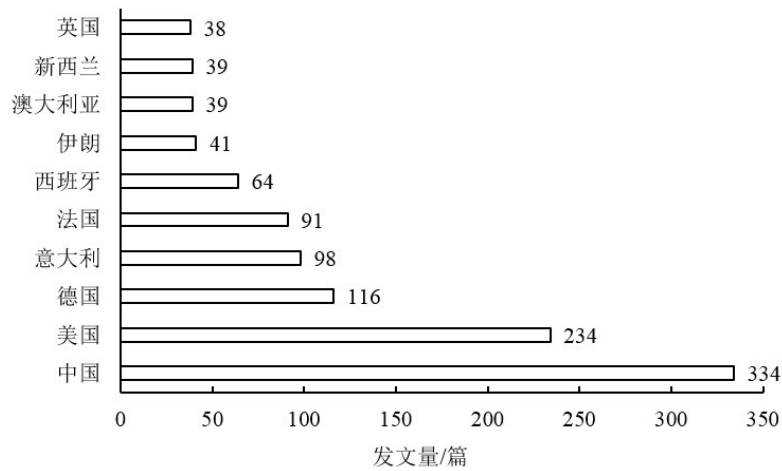


图1 2011-2018年岩溶水文地质学领域主要国家发文量

Fig. 1 Number of published papers in the field of karst hydrogeology by major countries from 2011 to 2018

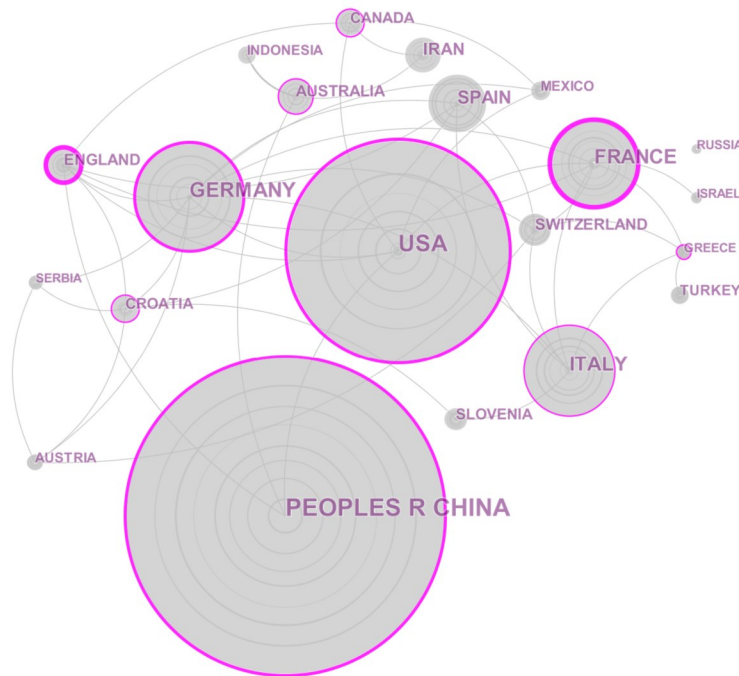


图2 2011-2018年岩溶水文地质学领域发文国际合作关系网

Fig. 2 International cooperation relation network of published papers in the field of karst hydrogeology from 2011 to 2018

频次由高到低依次为佛罗里达州立大学(State University System of Florida)、亥姆霍兹联合会(Helmholtz Association)、中国地质大学(China University of Geosciences)、国家科学研究中心(Centre National De La Recherche Scientifique Cnrs)、中国科学院(Chinese Academy of Sciences)、美国内政部(United States Department of the Interior)、卡尔斯鲁厄理工学院(Karlsruhe Institute of Technology)、美国地质调查局(United States Geological Survey)、佛罗里达大学(University of Florida)和中国地质科学院(Chinese Academy of

Geological Sciences)(表1)。中国有1所高校和2个研究院所进入前10。国际上2011-2018年岩溶水文地质学领域的研究成果主要集中在发表在Environmental Earth Sciences、Journal of Hydrology、Hydrogeology Journal、Advances in Karst Science、Science of the Total Environment、Hydrological Processes、Water、Acta Carsologica、Carbonates and Evaporites 和 Groundwater 期刊上(表1),这些期刊属于地学、水文、地下水的相关期刊,其中Advances in Karst Science、Acta Carsologica 和 Carbonates and Evaporites 是专门针对岩溶/碳酸盐

岩研究的期刊;同时该领域在国际上的研究成果主要由 Goldscheider N、Andreo B、Martin J B、Sauter M、Hartmann A、Mudarra M、De Waele Z、Yuan D X、Mo-

hammad Z 和 Stevanovic Z 贡献(表 1),袁道先院士作为著名的岩溶水文地质学家成为唯一一个进入前 10 的中国研究学者。

表 1 2011–2018 年国际岩溶水文地质学领域发文机构、作者和期刊

Table 1 Statistics of international publishing institutions, authors and journals of published articles in the field of karst hydrogeology from 2011 to 2018

序号	机构	篇	作者	篇	期刊	篇
1	State University System of Florida	56	Goldscheider N	21	Environmental Earth Sciences	143
2	Helmholtz Association	38	Andreo B	17	Journal of Hydrology	88
3	China University of Geosciences	34	Martin J B	13	Hydrogeology Journal	78
4	Centre National De La Recherche Scientifique Cnrs	33	Sauter M	13	Advances in Karst Science	41
5	Chinese Academy of Sciences	28	Hartmann A	12	Science of the Total Environment	41
6	United States Department of the Interior	27	Mudarra M	12	Hydrological Processes	31
7	Karlsruhe Institute of Technology	26	De Waele Z	10	Water	30
8	United States Geological Survey	26	Yuan D X	9	Acta Carsologica	30
9	University of Florida	24	Mohammadi Z	9	Carbonates and Evaporites	22
10	Chinese Academy of Geological Sciences	23	Stevanovic Z	9	Groundwater	22

## 2.2 2011–2018 年国际岩溶水文地质学领域研究方向及热点

利用 CiteSpace 软件分析检索出来的 1 460 篇文章的关键词,共获得 212 个节点、749 条连线。前 20 的高频关键词分别为 Karst(岩溶)、Groundwater(地下水)、Water(水)、System(系统)、Karst aquifer(岩溶含水层)、Flow(水流)、Model(模型)、Recharge(补给)、Transport(运移)、Spring(泉)、Basin(流域)、Groundwater flow(地下水水流)、Hydrogeology(水文地质)、Hy-

drochemistry(水化学)、Contamination(污染)、Evolution(演化)、Stable isotope(稳定同位素)、Groundwater recharge(地下水补给)、Simulation(模拟)、Carbonate aquifer(碳酸盐岩含水层)(表 2),可反映出 2011–2018 年岩溶水文地质学领域的研究热点。此外,由聚类分析检索到的 1 460 篇文章的前 100 个高频关键词可将近年来岩溶水文地质学领域的研究热点划分为岩溶水动力学、岩溶地下水数值模拟、岩溶水文地球化学和岩溶水污染 4 类(图 3),这 4 类研究热点之间既有联系也有区别。

表 2 2011–2018 年国际岩溶水文地质学领域发文高频关键词

Table 2 High-frequency keywords published in the field of international karst hydrogeology from 2011 to 2018

序号	关键词	频次	序号	关键词	频次
1	Karst	386	11	Basin	125
2	Groundwater	320	12	Groundwater flow	83
3	Water	288	13	Hydrogeology	78
4	System	246	14	Hydrochemistry	76
5	Karst aquifer	220	15	Contamination	69
6	Flow	198	16	Evolution	65
7	Model	187	17	Stable isotope	63
8	Recharge	164	18	Groundwater recharge	63
9	Transport	163	19	Simulation	60
10	Spring	152	20	Carbonate aquifer	58

### 2.2.1 岩溶水动力学

图 3 中 Karst、Aquifer、Flow、Hydrogeology、Precipi-

tation、Spring、Carbonate aquifer、Conduit、Porosity、Hydraulic conductivity、Infiltration、Inversion 等关键词聚



图 3 2011–2018 年国际岩溶水文地质学领域前 100 高频关键词共现网

Fig. 3 Top 100 high-frequency keywords co-occurring networks of international papers on karst hydrogeology from 2011 to 2018

类形成岩溶水动力学方向。该方向主要研究岩溶含水系统的水文地质特征、水文地质参数、补径排、水流、水力联系、水循环等水文动态特征，其研究成果可为岩溶水资源的合理开发利用、岩溶水环境保护等提供基础支撑。

Delbart 等<sup>[5]</sup>利用多种示踪剂研究不同时间尺度下岩溶裂隙含水系统中的水流特征，并指出多种地球化学示踪剂的耦合有助于揭示复杂的岩溶水文过程，其研究表明高分辨率监测的物理化学参数、主要离子在季节尺度和补给期可有效表征岩溶水文过程，利用稳定同位素、<sup>3</sup>H 和 Cl 基于二元模型可有效估测孔隙度较大区域内快速入渗补给量，补给期岩溶地下水样品中的 CFC 和 SF<sub>6</sub> 可有效计算基流的年龄，<sup>85</sup>Kr 和 <sup>39</sup>Ar 在预估岩溶地下水滞留时间方面具有很大潜力。通过岩溶水水温的动态变化结合岩溶水径流路径可解译出岩溶含水系统的动态变化机制，Luhmann 等<sup>[6]</sup>通过对 Minnesota 东南部的 25 个岩溶泉和岩溶地下水水温的长期监测得出岩溶含水层中同时存在有效（如孔隙和裂隙介质中）和无效（如岩溶管道中）的热交换径流路径，岩溶水水温明显受到补

给方式的影响。岩溶水动力特征与岩溶水文地质条件和物理结构的空间不均一性密切相关，同时也控制着岩溶水资源的的空间分布情况。Zhang 等<sup>[7]</sup>利用 MSM (Minimum Smoothed Method) 和二元混合模型分别计算了 Houzhai 流域上游到下游监测点的基流指数 (Baseflow Index, BFI) 和慢速流、快速流；从上游到下游，随着岩溶管道和裂隙连通性的减弱，慢速率和基流的比例增加，储存的岩溶地下水资源随之增加。Toulon 泉群接受两个多重岩溶含水层的补给，Lorette 等<sup>[8]</sup>提出了利用浅水区和深水区的水动力图、水化学图耦合主成分分析法 (Principle component analysis, PCA) 研究 Toulon 泉群补给区——多重岩溶含水层之间地下水交换量，这表明 Toulon 泉群主要接受深层含水层的补给。研究岩溶含水系统的水力联系特征有助于岩溶水资源的可持续开发利用，Zhang 等<sup>[9]</sup>利用地下水水位数据 (2014–2017) 基于改进的灰色振幅关联模型探索济南泉域的水力特征，并提出一个定量评价指数——水位波动关联度 (WTFRD)，初步探索量化岩溶水力联系，具有很大应用潜力，值得进一步深入研究。

### 2.2.2 岩溶地下水数值模拟

图3中 Karst aquifer、Water、System、Groundwater flow、Model、Simulation、Discharge、Hydrograph、Identification、Uncertainty、Conceptual model、Time series analysis 和 Evolution 等关键词聚类形成岩溶地下水数值模拟方向。该方向以岩溶含水系统为单元,在已知水文地质条件、水动力特征、实测数据等的基础上,建立模型模拟和预测不同情景下岩溶含水系统中水流/水化学等动态变化过程,其研究成果也可作为岩溶水资源的合理开发利用、岩溶水环境保护、岩溶区矿产资源合理开采等提供基础支撑。

岩溶含水系统中基岩和管道的水文地质参数相差几个数量级,Giese等<sup>[10]</sup>耦合理想试验和离散管道—连续模型模拟岩溶含水系统的层流和紊流,利用定量管道流概化为层流来描述大比例尺下复杂岩溶含水系统抽水试验的相对误差。Hosseini和Ataieashtiani<sup>[11]</sup>利用传统的水箱模型(Classic Reservoir, CR)和双重孔隙介质模型(Dual Porosity Approach, DPR)模拟伊朗西南部岩溶泉在地表补给和衰退时期的日水文过程曲线(泉域内岩溶发育弱),DPR模型模拟结果的拟合度优于CR模型,且DPR模型可量化不同含水介质之间的水力交换特征。Xu等<sup>[12]</sup>耦合CFP代码和UMT3D模拟佛罗里达北部Woodville岩溶含水系统的水流及NO<sub>3</sub>-N迁移转化过程,岩溶孔隙介质和管道中的水流分别基于达西定律和达西—维斯巴赫方程模拟,利用野外实测数据验证模型的可靠性并进行预测模拟,研究结果表明岩溶管道网络控制着区域内NO<sub>3</sub>-N的空间污染特征。气候变化对岩溶水资源具有重要的影响,Hartmann等<sup>[13]</sup>耦合基于GIS的年平均补给模式的空间分布信息和基于过程岩溶模型随着时间变化的补给信息,可获得水文气候变化条件下岩溶区内时空补给信息和地下水水动力特征,可为岩溶区应对气候变化下岩溶水资源相关问题提供科学依据。岩溶矿区的地下水数值模拟研究可为岩溶地下水环境保护和水资源合理利用提供科学依据,Qiao等<sup>[14]</sup>综合中国山西太原西山岩溶矿区的地质矿产赋存特征及地下水水流系统建立了三维地下水水流模型,以模拟不同开采和排水情景下的岩溶水动态变化过程及相关的系列影响,合理优化区内矿产开采和地下水资源保护。

### 2.2.3 岩溶水文地球化学

图3中 Groundwater、Hydrochemistry、Stable isotope、Karst groundwater、Karst spring、Solute transport、Environmental isotope 和 Hydrogeochemistry 等关键词聚类形成岩溶水文地球化学方向。水化学、同位素等环境示踪剂、水文地球化学模拟的手段、化学地质温度计等广泛应用于岩溶含水系统中水文地球化学演化过程及趋势的研究,可为岩溶区水资源保护、人类活动强度、社会经济发展措施等提供科学指导。

Krienen等<sup>[15]</sup>选取两个地质背景相同的岩溶泉,基于水化学模型、物理化学参数、饱和指数、散点图、水化学类型等分析气候(降水和蒸发)、岩性对岩溶泉水水文地球化学特征的影响。Qian等<sup>[16]</sup>指出中国淮北平原岩溶地下水水文地球化学演化过程包括白云岩的溶解、石膏溶解及白云石化作用以及上覆孔隙水的补给,地下水水化学演化过程的研究可折射出地下水水流系统的历史、状态及动态变化过程。Wu等<sup>[17]</sup>基于长时间监测岩溶含水系统中主要水化学离子、稳定同位素(Sr、C、S)、氮氧同位素、遥感和社会发展情况,得知碳酸盐、硫化物、硅酸盐、石膏风化、人类活动、水动力条件决定着岩溶水化学组成及其动态变化特征,其研究结果能进一步理解城市化进程对岩溶水化学的影响,在岩溶水资源管理方面也有重要的指导意义。Cardona等<sup>[18]</sup>利用地球化学指标(主要离子、微量元素)和 $\delta^{34}\text{S}$ 数据开展Cuatrociénegas地区岩溶水化学及其演化过程研究,结果表明:地质背景条件下的水化学特征受到水—岩相互作用、混合作用和蒸发过程的控制;基于 $\delta^{34}\text{S}$ 示踪和质量守恒定律分析地下水径流过程中的水化学特征受到石膏溶解作用和脱白云石化反应的作用;基于化学地质温度计理论计算的深岩溶地下水温高于地表水塘15~20℃;岩溶地下水排泄到地表后持续蒸发、CO<sub>2</sub>脱气和矿物沉淀。Guerrero等<sup>[19]</sup>利用岩溶含水系统中最具有代表性的放射性核素(<sup>238</sup>U、<sup>235</sup>U、<sup>234</sup>U和<sup>226</sup>Ra)深入研究Sierra de Gádor含水层的矿物溶解、水盐运移、氧化还原反应、水岩相互作用、同位素分馏等水文地球化学过程。

### 2.2.4 岩溶水污染

图3中 Contamination、Recharge、Catchment、Area、Pollution、Karst hydrology、Environment、Land use、Water quality、Environmental tracer 和 Groundwater

monitoring等关键词聚类形成岩溶水污染方向。土地利用方式(Land use)成为影响全球岩溶区水质的一个重要因子。国际上,水化学和环境同位素示踪、数值模拟及地下水监测等手段已广泛应用于岩溶水污染研究,岩溶水污染的研究可探讨污染物来源、迁移转化过程及其影响机制,从根源上指导岩溶区水资源的优化利用。

Long等<sup>[20]</sup>研究了旱季、雨季和土地利用类型对岩溶含水系统水质的影响:鉴于岩溶含水系统在旱季和雨季的优势流分别为基岩裂隙流和管道流, $\text{NO}_3^-$ 和粪大肠杆菌类分别是旱季和雨季的污染指标;水岩相互作用和水文特征对岩溶含水系统水质的影响大于土地利用类型;水文条件、土地利用类型与岩溶含水系统水质动态变化过程之间的具体关系仍是个值得深入探索的问题。Li等<sup>[21]</sup>基于分析贵州岩溶煤矿开采区矿水、地表水和岩溶地下水的常规水化学地球化学过程、水化学类型及稳定同位素( $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ 、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 和 $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ ),获知区内地表水和岩溶地下水主要来源于大气降水且补给过程中受到蒸发作用的影响,而地表水和岩溶地下水中硫酸盐主要来源于矿区黄铁矿的氧化溶解。Henson等<sup>[22]</sup>耦合PPTT(Push-pull tracer tests)、定量聚合酶链式反应(quantitative polymerase chain reaction, qPCR),依据萃取水体的微生物特征及选择功能氮转化基因的定量反转录酶链式反应,指出岩溶含水层中不同氧化条件下硝酸盐的还原机制及速率,这有助于水资源管理者缓解岩溶水体中硝酸盐污染和保护岩溶泉域的生态系统。Kavouri等<sup>[23]</sup>耦合地下水水流模型和脆弱性评价结果以更接近现实情况管理岩溶含水层,该方法适用于区域性且长期水文地质问题,同时可为优化岩溶水资源和土地利用规划提供建议。

### 2.3 2011–2018年国内岩溶水文地质学领域发文分析

基于CNKI自带分析检索功能分析筛选出的918条检索结果的发文机构、作者和期刊来源。发文数量前10的机构/单位依次为中国地质科学院岩溶地质研究所、西南大学、中国地质大学(武汉)、中国地质大学(北京)、桂林理工大学、成都理工大学、河海大学、贵州师范大学、贵州大学和中国矿业大学(徐州),其中60%的机构/单位位于中国西南部,与中国岩溶区域分布密切相关。分析作者成果数量可知,中国地质科学院岩溶地质研究所所有6位固定人员进入国内发文量前10名(表3)。2011–2018年国内岩

溶水文地质学领域的成果主要发表在《中国岩溶》、《环境科学》、《水文地质工程地质》、《人民长江》、《地球学报》、《桂林理工大学学报》、《人民黄河》、《矿业安全与环保》、《南水北调与水利科技》和《煤矿安全》上,90%属于地学和水利类报道方向;在《环境科学》期刊上的发文量排名第二,表明近年来科研工作者越来越关注岩溶地下水环境领域,同时也折射出国家越来越重视地下水水源问题及人民日益增长的美好生活需求。《矿业安全与环保》和《煤矿安全》期刊分别位于第7和第8名,表明近年来矿区岩溶水文地质研究的迅速发展,这和矿区岩溶水文地质条件的复杂性及其涉及的安全、环境及社会经济问题密切相关。中国地质科学院岩溶地质研究所在国内充分发挥了自身的机构职责和专业优势,其2011–2018年在岩溶水文地质学领域的发文量占比高达31%。近8年,中国地质科学院岩溶地质研究所主办的《中国岩溶》在岩溶水文地质学领域的发文量排名第一,且该单位固定人员在国内的发文量名列前茅。

### 2.4 2011–2018年国内岩溶水文地质学领域研究方向及热点

利用CiteSpace软件对918篇论文的关键词进行定量分析,共获得114个节点、228条连线。其中排名前30位的高频关键词(表4)、排名前100的高频关键词可聚类成4个相对独立的研究方向,分别为岩溶含水系统、岩溶水资源、岩溶水环境、岩溶水文工程(图4)。近年来,国内岩溶水文地质学研究方向广泛,从基础的岩溶水文地质到与岩溶水相关的社会环境问题等都有涉及。

#### 2.4.1 岩溶含水系统

图4中岩溶、水文地质、水文地质条件、示踪试验、岩溶区、地下河系统、含水层、含水介质、岩溶管道、岩溶含水系统等关键词聚类形成岩溶含水系统方向。岩溶含水系统的识别和划分可为岩溶水资源评价、开发与保护以及地质环境保护区划分等工作提供重要参考。不同类型岩溶区的岩溶含水介质结构和补径排特征等的研究可为评估国内不同类型岩溶水资源的开发利用潜力提供重要的资料和数据,为保障国内岩溶区人民的用水提供重要的技术支撑。

夏日元等<sup>[24]</sup>基于多年来南方岩溶水文地质环境地质调查及示范工程的工作经验总结出了10个南方岩溶区水文地质环境地质条件和8个调查研究的关

表3 2011–2018年国内岩溶水文地质学领域发文机构、作者和期刊

Table 3 Statistics of domestic institution, authors and journals of published articles in the field of karst hydrogeology from 2011 to 2018

序号	机构	篇	作者	篇	期刊	篇
1	中国地质科学院岩溶地质研究所	286	杨平恒	25	中国岩溶	140
2	西南大学	114	裴建国	24	环境科学	54
3	中国地质大学(武汉)	87	孙玉川	23	水文地质工程地质	40
4	中国地质大学(北京)	43	卢丽	21	人民长江	21
5	桂林理工大学	35	袁道先	20	地球学报	20
6	成都理工大学	30	邹胜章	20	桂林理工大学学报	19
7	河海大学	30	夏日元	19	人民黄河	19
8	贵州师范大学	30	王喆	17	矿业安全与环保	18
9	贵州大学	28	许模	17	南水北调与水利科技	17
10	中国矿业大学(徐州)	27	梁作兵	17	煤矿安全	17

表4 2011–2018年国内关于岩溶水文地质学领域高频关键词

Table 4 High-frequency keywords published in the field of domestic karst hydrogeology from 2011 to 2018

序号	关键词	频率/次	序号	关键词	频率/次
1	岩溶	85	16	多环芳烃	20
2	地下水	81	17	水文地质条件	18
3	岩溶水	73	18	岩溶区	18
4	岩溶地下水	63	19	影响因素	16
5	地下河	53	20	水文地球化学	14
6	岩溶塌陷	39	21	岩溶水系统	13
7	水化学特征	37	22	碳酸盐岩	12
8	数值模拟	32	23	氢氧同位素	12
9	水化学	30	24	发育特征	11
10	水文地质	27	25	岩溶泉	11
11	岩溶地下河	26	26	岩溶管道	10
12	岩溶隧道	25	27	地下河系统	10
13	示踪试验	22	28	人类活动	9
14	喀斯特	21	29	表层岩溶泉	9
15	岩溶隧道	10	30	隧道工程	9

键科学问题,在岩溶含水系统调查与评价方面具有重要的借鉴和指导作用。郭芳等<sup>[25]</sup>指出电导率频率分布(Conductance Frequency Distributions, CFDs)取决于水的来源和滞留时间,其隐藏的峰代表水流经系统的能力和每一种类型的水的平均电导率;利用CFDs可准确、有效地刻画岩溶含水系统不同来源水的比例,也可指示岩溶发育的程度。邢立亭等<sup>[26]</sup>利用示踪试验、泉水位动态观测等方法获知济南泉域含水系统岩溶发育具有多重性且存在垂直分带性;

岩溶水赋存在小型管道、裂隙、溶隙、溶孔、网络状溶隙等结构中,在单一管道和多管道通道中径流。罗明明等<sup>[27]</sup>以岩溶含水系统结构为目标导向,利用地面调查、裂隙测量、洞穴探测、示踪试验、动态监测等技术手段和方法,查明岩溶含水系统的边界结构、主径流通道、岩溶多重含水介质类型,刻画出南方岩溶含水系统的概念模型。张亮等<sup>[28]</sup>在水文地质调查的基础上,利用地球物理勘探技术获知岩溶含水介质的发育规律,利用示踪试验解析岩溶径流通道特征,再利用水文地球化学技术进行验证,为典型岩溶泉的含水系统研究提供了技术支撑。王宇<sup>[29]</sup>综合地层岩性、地质构造、地形地貌和岩溶发育特征将岩溶高原地下水径流系统垂向上划分为浅循环径流带(表层径流带、垂向径流带、季节波动带和潜水—承压水径流带)和深循环径流带(层状承压径流带和带状承压径流带)。

#### 2.4.2 岩溶水资源

图4中岩溶水、岩溶地下水、岩溶泉、地下水资源、影响因素、季节变化等关键词聚类形成岩溶水资源方向。岩溶含水系统的水文地质结构特征决定着岩溶水的空间分布情况,岩溶水循环特征及资源量可利用同位素、水均衡法和数值模拟等手段获取。北方和南方岩溶水资源的动态变化过程、表层岩溶带的储水特征以及岩溶高原区水资源的分布格局的研究可为不同类型岩溶区水资源的合理开发及可持续利用提供重要技术支撑,为解决贫困岩溶区人民用水困难提供经验,进而促进人与自然的和谐共处。

识别岩溶水动态变化特征是合理开发、利用和





图 4 2011-2018 年国内岩溶水文地质学领域前 100 高频关键词共现网络

Fig. 4 Top 100 high-frequency keywords co-occurring networks of domestic papers on karst hydrogeology from 2011 to 2018

保护岩溶水资源的前提条件。赵良杰等<sup>[30]</sup>基于 NARX 模型较好预测了短期寨底地下河日流量的变化趋势和极值等动态特征;杨晓俊<sup>[31]</sup>利用时间序列方法中的移动平均模型和指数平滑模型预测还原流量的动态变化特征,为柳林泉域水资源的开发利用和保护提供了科学依据。迟光耀等<sup>[32]</sup>利用小波分析、Mann-Kendall 趋势检验、突变检验法研究济南岩溶泉域 1956-2013 年地下水动态变化过程及其影响因素,为实施保泉工作提供理论指导。表层岩溶带是岩溶关键带物质循环最强烈的过渡带,在地下水埋深较大的岩溶峰丛和岩溶高原地区具有重要的供水意义,朱海彬等<sup>[33]</sup>探讨了贵州省表层岩溶带水资源的开发利用条件和模式等,这对解决西南岩溶缺水山区的供水问题具有重要指导意义。岩溶高原区地下水埋藏深,岩溶含水介质空间分布及连通性高度不均匀,地下水以快速的管道流和裂隙流为主,潘晓东等<sup>[34-35]</sup>指出岩溶高原区的逆断层为“拦水坝”,补给区含水介质为“地下水水库”,并在分析贵州岩溶高原区岩性、构造、水文地质条件的基础上,提出了“下伏碎屑岩隔水模式”、“逆断层阻水模式”和“上覆碎屑岩阻水模式”3 种打井找水模式,这为岩溶高原区

岩溶水资源的合理开发利用及解决人民饮水问题提供了重要的保障。

### 2.4.3 岩溶水环境

图 4 中岩溶地下河、水文地球化学、水化学特征、发育特征、地球化学、地下水脆弱性、人类活动、土地利用、多环芳烃、有机氯农药、溶质运移、主成分分析、成因分析、水-岩作用等关键词聚类形成岩溶水环境方向。岩溶水环境由地质背景条件和人类活动共同影响,岩溶水动力作用形成的奇妙岩溶景观为人类提供视觉上的享受和旅游资源;随着城市化进程的发展和人类活动强度的增加,岩溶含水系统的敏感性又为人类饮水安全带来隐患;而岩溶水环境的研究可为岩溶水资源的保护与防治提供理论依据,也为保障岩溶区人民用水安全提供强有力的技术支持,同时也可为满足人民日益增长的对美好生活的的需求提供有效措施。

韦跃龙等<sup>[36]</sup>在分析和研究都安地下河地质背景及岩溶景观特征的基础上,解析出地表岩溶地貌由西北至东南的高峰丛深洼地向低峰林谷地依次过渡,地下岩溶由西北至东南逐渐形成庞大、复杂的地苏地下河系,地表和地下岩溶作用既彼此独立又相

互制约、协同共生,由此形成都安地下河地质公园的天窗群。邹胜章等<sup>[37]</sup>主要考虑地质背景条件,根据岩溶含水系统结构及水文地质条件的复杂性,提出了埋藏型岩溶含水系统、南方裸露型岩溶含水系统、局部裸露浅埋和北方裸露型岩溶含水系统以及覆盖型岩溶含水系统分别采用PTHQET、EPIK、COP和PLEIK模型进行防污性能评估。

人类活动对岩溶水水质的影响越来越明显,任坤等<sup>[38]</sup>利用主成分分析法和实测值推测出管道—裂隙岩溶水文系统——重庆城镇区南山老龙洞流域地下河出口Mn、Pb、Cu、As等重金属来源于城市地表径流、水土流失、洞穴滴水 and 雨水的输入;李瑞等<sup>[39]</sup>基于常规水化学、硫同位素和氮氧同位素分析得知里湖地下水化学类型以 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 为主,硫酸盐来源于工业和居民生活燃煤,硝酸盐来源于土壤氮、人畜粪便和污水;卢丽等<sup>[40]</sup>阐明了清水泉地下河系统中空气、地下水、沉积物和土壤中的多环芳烃(PAHs)的污染特征,并讨论该岩溶含水系统空间上PAHs的来源。

综合分析地质背景和人类活动的共同影响。郭芳等<sup>[41]</sup>指出地下河的自净机制主要是物理过程的稀释作用和化学过程的氧化还原反应,其中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 衰减比例最高、保守元素Cl<sup>-</sup>最低,常规水化学组分在洞穴伏流段衰减最快,人类活动影响的水化学参数/组分从上游到下游逐渐减少,常见的金属离子进入岩溶含水系统中就会完全衰减。张连凯等<sup>[42]</sup>利用三维荧光光谱技术(EEMs)、平行因子分析(PARAFAC)和水化学得知岩溶水的溶剂性有机质(DOM)为内源、地表水DOM既有内源也有陆源;DOM荧光物质受到水化学的影响具有明显的分异性,且其能很好地示踪岩溶水循环及岩溶水环境动态变化过程。

#### 2.4.4 岩溶水文工程

图4中岩溶塌陷、岩溶隧道、喀斯特、涌水量预测、岩溶陷落柱、隧道工程、岩溶储层和石漠化等关键词聚类形成岩溶水文工程。岩溶地下水资源量、水位动态变化及岩溶含水介质空间分布特征与岩溶区隧道开挖、矿区排水、石油开采等工程密切相关;岩溶水文动态过程研究是相关岩溶地质工程的重要基础,直接关系到相关岩溶区社会、经济和生态环境的可持续发展。

蒙彦等<sup>[43]</sup>基于地下水动力条件监测(GDCM)探索岩溶塌陷预警阈值,地下水监测数据的异常值间接表征岩溶塌陷的突变阶段,其最大次数、最小异常

值和最大异常值可预测岩溶塌陷的发生,预测精度与监测点位置、密度及监测频率密切相关。孙西增等<sup>[44]</sup>综合水文地质钻探、抽水试验、水文监测、地面物探和水质分析等手段,获知铁新煤矿区的水文地质条件及各个岩溶含水层之间的水力联系,根据突水系数划分突水危险区,为煤矿开采提供了安全保障。张彦龙等<sup>[45]</sup>基于降水量、降水强度和入渗强度,利用降水入渗法和地下径流模拟法预测岩溶区公路隧道的涌水量,评估隧道排水能力是否满足需求,获知岩溶隧道水害的状态条件,为实施岩溶隧道工程提供了理论指导。李源等<sup>[46]</sup>指出岩溶含水系统水文特征及水动力作用和碳酸盐岩岩溶缝洞系统的发育关系密切、控制着塔河油田岩溶储层发育特征,可为相关工程的开展提供科学指导。

### 3 结 语

通过文献计量学分析2011–2018年岩溶水文地质学领域国内外期刊发表的2378篇论文,反映出近年来岩溶水文地质学领域关注的热点问题:

(1)中国地质科学院岩溶地质研究所作为国内唯一专门从事岩溶地质研究的机构,其发文量及其主办期刊刊出量在国内占绝对优势,充分发挥了其机构职能和专业优势。国际上,中国地质大学、中国科学院和中国地质科学院的发文量进入前10名,且中国在岩溶水文地质学领域的研究成果较丰富,但活跃度较弱,有待加强国际合作;

(2)整体上看,近年来在岩溶水文地质学领域,国内的研究热点问题涵盖了国际的研究热点问题。国内的涉及到岩溶区居民用水、居民饮水安全、居民生活水平及生态环境等方面,在今后的岩溶水文地质研究中应继续加强与国家社会、经济、生态、文明等建设的内在联系,研究手段需时刻保持与国际上的岩溶水动力学理论、水文地球化学方法、地下水数值模拟技术接轨。国际上研究热点的理论与技术方法针对性强,今后的岩溶水文地质学研究须与不同国家不同类型岩溶区的资源、生态、环境、社会、经济等问题相结合,更好地用于解决实际问题,共同促进地球村的可持续发展。

#### 参考文献

- [1] 韩行瑞. 岩溶水文地质学[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [2] 李强. 基于文献计量学分析2016年度岩溶学研究热点[J]. 地球科学进展, 2017, 32(5): 535-545.

- [3] 马鑫,狄艳红. 基于CiteSpace分析新媒体环境下国内期刊发展研究现状[J]. 农业图书情报学报, 2015, 27(11): 152-156.
- [4] 吴同亮,王玉军,陈怀满,等. 基于文献计量学分析2016年环境土壤学研究热点[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(2): 205-215.
- [5] Delbart C, Barbecot F, Valdes D, et al. Investigation of young water inflow in karst aquifers using SF<sub>6</sub>-CFC-<sup>3</sup>H/He-<sup>85</sup>Kr-<sup>39</sup>Ar and stable isotope components [J]. Applied Geochemistry, 2014, 50(1): 164-176.
- [6] Luhmann A J, Covington M D, Peters A J, et al. Classification of thermal patterns at karst springs and cave streams [J]. Groundwater, 2011, 49(3): 324-335.
- [7] Zhang R R, Shu L C, Zhu J T, et al. Storage and drainage characteristics of a highly heterogeneous karst aquifer in Houshai basin [J]. Groundwater, 2016, 54(6): 878-887.
- [8] Lorette G, Lastennet R, Peyraube N, et al. Groundwater-flow characterization in a multilayered karst aquifer on the edge of a sedimentary basin in western France [J]. Journal of Hydrology, 2018, 566(1): 137-149.
- [9] Zhang Z X, Wang W Pe, Qu S S, et al. A new perspective to explore the hydraulic connectivity of karst aquifer system in Jinan spring catchment, China [J]. Water, 2018, 10(1): 1368.
- [10] Giese M, Reimann T, Baillycomete V, et al. Turbulent and laminar flow in karst conduits under unsteady flow conditions: interpretation of pumping tests by discrete conduit-continuum modeling [J]. Water Resources Research, 2018, 54(1), 1918-1933.
- [11] Hosseini S M, Ataieashtiani B. Conceptualization of karstic aquifer with multiple outlets using a dual porosity model [J]. Groundwater, 2017, 55(4): 558-564.
- [12] Xu Z X, Hu B X, Davis H, et al. Simulating long term nitrate-N contamination processes in the Woodville Karst Plain using CFPv2 with UMT3D [J]. Journal of Hydrology, 2015, 524(1): 72-88.
- [13] Hartmann A, Mudarra M, Andreo B, et al. Modeling spatio-temporal impacts of hydroclimatic extremes on groundwater recharge at a Mediterranean karst aquifer [J]. Water Resources Research, 2014, 50(1): 6507-6521.
- [14] Qiao X J, Li G M, Li M, et al. Influence of coal mining on regional karst groundwater system: a case study in west mountain area of Taiyuan city, northern China [J]. Environmental Earth Sciences, 2011, 64(6): 1525-1535.
- [15] Krienen L, Heuser M, Höbig N, et al. Hydrogeological and hydrochemical characterization of two karstic discharge areas in San Luis Potosí, Mexico [J]. Environmental Earth Sciences, 2017, 76(2): 825.
- [16] Qian J Z, Peng Y X, Zhao W D, et al. Hydrochemical processes and evolution of karst groundwater in the northeastern Huaibei Plain, China [J]. Hydrogeology Journal, 2018, 26(1): 1721-1729.
- [17] Wu Y, Luo Z H, Luo W, et al. Multiple isotope geochemistry and hydrochemical monitoring of karst water in a rapidly urbanized region [J]. Journal of Contaminant Hydrology, 2018, 218(1): 44-58.
- [18] Cardona A, Gutierrez-Ojeda C, Martínez-Morales M, et al. Hydrogeochemical characterization and evolution of a regional karst aquifer in the Cuatrociénegas area, Mexico [J]. Environmental Earth Sciences, 2018, 77(23): 785, 1-20.
- [19] Guerrero J L, Vallejos Á, Cerón J C, et al. U-isotopes and <sup>226</sup>Ra as tracers of hydrogeochemical processes in carbonated karst aquifers from arid areas [J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2016, 158(1): 9-20.
- [20] Long D T, Pearson A L, Voice T C, et al. Influence of rainy season and land use on drinking water quality in a karst landscape, State of Yucatán, Mexico [J]. Applied Geochemistry, 2018, 98(1): 265-277.
- [21] Li X X, Wu P, Han Z W, et al. Effects of mining activities on evolution of water quality of karst waters in Midwestern Guizhou, China: evidences from hydrochemistry and isotopic composition [J]. Environmental Science Pollution Research, 2018, 25(1): 1220-1230.
- [22] Henson W R, Huang L, Graham W D, et al. Nitrate reduction mechanisms and rates in an unconfined eogenetic karst aquifer in two sites with different redox potential [J]. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 2017, 122(1): 1062-1077.
- [23] Kavouri K P, Karatzas G P, Plagnes V. A coupled groundwater-flow-modelling and vulnerability-mapping methodology for karstic terrain management [J]. Hydrogeology Journal, 2017, 25(5): 1301-1317.
- [24] 夏日元,邹胜章,唐健生,等. 南方岩溶区1:5万水文地质环境地质调查技术要点分析[J]. 中国岩溶, 2017, 36(5): 599-608.
- [25] 郭芳,姜光辉,刘绍华,等. 利用泉水电导率频率分布辨别岩溶含水系统的水源组分[J]. 水科学进展, 2018, 29(2): 245-251.
- [26] 邢立亭,李常锁,周娟,等. 济南泉域岩溶径流通道特征[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(17): 57-65.
- [27] 罗明明,尹德超,张亮,等. 南方岩溶含水系统结构识别方法初探[J]. 中国岩溶, 2015, 34(6): 543-550.
- [28] 张亮,陈植华,周宏,等. 典型岩溶泉水文地质条件的调查与分析:以香溪河流域白龙泉为例[J]. 水文地质工程地质, 2015, 42(2): 31-37.
- [29] 王宇. 岩溶高原地下水径流系统垂向分带[J]. 中国岩溶, 2018, 37(1): 1-8.
- [30] 赵良杰,夏日元,易连兴,等. 基于NARX模型的岩溶地下河日流量预测[J]. 水电能源科学, 2015, 33(5): 19-21, 25.
- [31] 杨晓俊. 基于时间序列分析的柳林泉流量预测[J]. 人民黄河, 2017, 39(11): 99-102.
- [32] 迟光耀,邢立亭,侯新宇,等. 基于小波分析与Mann-Kendall法的岩溶大泉动态研究[J]. 中国岩溶, 2018, 37(4): 515-526.
- [33] 朱海彬,任晓冬,李开忠. 贵州喀斯特地区表层岩溶带水资源开发利用研究[J]. 中国农村水利水电, 2015, 36(2): 60-63, 77.

- [34] 潘晓东,唐建生,苏春田,等. 贵州高原斜坡岩溶地区逆断层两盘地下水开采规律探讨[J]. 地质论评, 2015, 61(1): 121-127.
- [35] 潘晓东,张发旺,孟小军,等. 深切河谷附近岩溶地区打井找水模式[J]. 现代地质, 2015, 29(2): 272-278.
- [36] 韦跃龙,陈伟海,罗劭侃. 广西都安地下河地质公园喀斯特景观特征及其形成演化[J]. 热带地理, 2018, 38(1): 34-47.
- [37] 邹胜章,李录娟,卢海平,等. 岩溶地下水系统防污性能评价方法[J]. 地球学报, 2014, 35(2): 262-268.
- [38] 任坤,杨平恒,江泽利,等. 降雨期间岩溶城镇区地下水重金属变化特征及来源解析[J]. 环境科学, 2015, 36(4): 1270-1276.
- [39] 李瑞,肖琼,刘文,等. 运用硫同位素、氮氧同位素示踪里湖地下水硫酸盐、硝酸盐来源[J]. 环境科学, 2015, 36(8): 2878-2885.
- [40] 卢丽,王喆,裴建国. 岩溶地下河系统多介质中多环芳烃污染特征及来源解析[J]. 环境科学, 2015, 36(3): 862-868.
- [41] 郭芳,王文科,姜光辉,等. 岩溶地下河污染物运移特征及自净能力:以广西里湖地下河为例[J]. 水科学进展, 2014, 25(3): 414-419.
- [42] 张连凯,刘朋雨,覃小群,等. 溶解性有机质在岩溶水系统中的迁移转化及影响因素分析[J]. 环境科学, 2018, 39(5): 2104-2116.
- [43] 蒙彦,黄健民,贾龙. 基于地下水动力特征监测的岩溶塌陷预警阈值探索:以广州金沙洲岩溶塌陷为例[J]. 中国岩溶, 2018, 37(3): 408-414.
- [44] 孙西增,王磊,郭珍. 下组煤带压开采水文地质补勘与安全评价[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(7): 118-121, 135.
- [45] 张彦龙,田卿燕,张建同. 广东地区某公路岩溶隧道水害分析及其数值模拟研究[J]. 中国岩溶, 2018, 37(2): 307-313.
- [46] 李源,蔡忠贤,张恒,等. 塔河油田海西早期岩溶古水系识别方法及其特征[J]. 地质科技情报, 2016, 35(4): 184-191.

## Analysis of focused topics in karst hydrogeology research based on bibliometrics

GUO Yongli<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Cheng<sup>1,3</sup>, WU Qing<sup>1,3</sup>, QUAN Xiqiang<sup>1,3</sup>

(1. Institute of Karst Geology, CAGS / Key Laboratory of Karst Dynamics, MNR&GZAR, Guilin, Guangxi 541004, China; 2. School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China; 3. The International Research Center on Karst under the Auspices of UNESCO, Guilin, Guangxi 541004, China)

**Abstract** Dynamic characteristics of the research on karst hydrogeology at home and abroad from 2011 to 2018 were analyzed by means of bibliometrics analysis. Taking karst hydrogeology, karst groundwater, karst aquifer, karst underground river, karst subterranean stream, karst underground stream, karst spring, karst geothermal water, karst thermal groundwater and karst water landscape as the key words, 1,460 papers and 918 papers from 2011 to 2018 were collected in Web of Science (WoS) and China National Knowledge Infrastructure (CNKI), respectively. Relying on the analysis function of WoS and CNKI and CiteSpace software to analyze key words, such as countries, institutions, publications and journals, it can be seen that the Institute of Karst Geology of Chinese Academy of Geological Sciences has taken full advantage of its institutional functions and professional advantages in China, and China needs to further strengthen its geographical advantages and cooperation internationally. The clustering results of key words in WoS show that the highly concerned issues of international research in the field of karst hydrogeology include "karst hydrodynamics", "karst groundwater numerical simulation", "karst hydrogeochemistry" and "karst water pollution". The clustering data show that the main research topics in CNKI are "karst water-bearing system", "karst water resources", "karst water environment" and "karst hydrological engineering". In sum, statistics and analysis of focused research topics at home and abroad point out the future and innovation direction for karst hydrogeologists.

**Key words** bibliometrics, CiteSpace, karst hydrogeology, research hotspots

(编辑 黄晨晖)