

章程. 岩溶动力学理论与现代岩溶学发展[J]. 中国岩溶, 2022, 41(3): 378-383.

DOI: 10.11932/karst20220305

# 岩溶动力学理论与现代岩溶学发展

## 章程<sup>1,2</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, 广西 桂林 541004;  
2. 联合国教科文组织国际岩溶研究中心, 广西 桂林 541004)

**摘要:** 岩溶动力学理论的核心是碳水钙循环, 强调系统思维和全球视野观, 提出了岩溶动力系统概念模型、结构与功能。岩溶动力学研究产生的新的学科生长点, 对现代岩溶学形成与发展具有里程碑式的意义。“岩溶形态组合”概念的提出为岩溶不均一性研究、岩溶类型与形成环境划分奠定了完整的方法体系; 将岩溶学研究成功引入全球变化领域, 由此开辟了岩溶碳循环与碳汇效应研究, 为重新认识岩溶作用在全球碳循环中的地位打开了窗口; 将岩溶地球化学研究延伸至无机与有机过程的融合研究, 为脆弱岩溶环境修复与保护提供了更加清晰的思路与方法。岩溶 IGCP 项目的执行, 体现了岩溶动力学理论为建立联合国教科文组织国际岩溶研究中心的指导意义, 同时, 岩溶动力学理论为我们自觉融入国家“一带一路”倡议、生态文明发展战略和“双碳”目标等奠定了坚实的理论与方法基础。

**关键词:** 岩溶动力学; 现代岩溶学; 岩溶形态组合; 岩溶碳循环; 岩溶环境可持续性; 国际地学计划

**中图分类号:** P642.25 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-4810 (2022) 03-0378-06 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



## 0 引言

岩溶学研究内容主要包括碳酸盐岩组成与结构、岩溶水地质、岩溶塌陷与工程地质、岩溶地貌与洞穴及含水层探测技术方法等<sup>[1-6]</sup>。因碳酸盐岩的可溶性特点, 岩溶表层系统常表现为地上地下双层结构, 地表水系缺乏或以季节性河流呈现, 但地下水系统发育, 岩溶含水层需要特殊的调查与探测技术方法, 尤其强调地下水示踪和洞穴探测<sup>[7]</sup>。近 30 年来, 随着 6 个岩溶 IGCP 项目的连续成功执行, 已形成多个学科交叉生长点, 并取得了丰富的成果, 其中比较重要的研究方向有岩溶碳循环与应对气候变化、岩溶记录与全球变化、岩溶石漠化治理与生态修复<sup>[8-10]</sup>, 这些成果的取得不仅拓展了岩溶学科研究领域, 而

且更加面向应用与解决实际问题, 进而有力地推动了现代岩溶学的形成与发展<sup>[11]</sup>, 可以说, 此阶段在岩溶动力学理论指导下提出的一系列新概念、模型和方法体系<sup>[12-14]</sup>, 并由此产生的新的岩溶学科生长点, 对现代岩溶学形成与发展具有里程碑式的意义。本文企图以岩溶 IGCP 项目为主线, 解读岩溶动力学理论的内涵与外延, 其核心碳水钙循环在岩溶动力系统运行与动力、产物结构与功能、边界与效应等。以期在岩溶动力学理论<sup>[15]</sup>与岩溶关键带理念<sup>[16-17]</sup>的融合指导下, 促进现代岩溶学的不断完善与发展。

## 1 岩溶动力学理论的核心要义

岩溶动力学理论的核心关键词是碳水钙循环(图 1), 强调从系统高度, 即以地球系统科学为指导,

基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFE0204700); 科技部援外项目(KY201802009); 桂林市科学研究与技术开发计划项目(20180107-1)

作者简介: 章程(1965—), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事岩溶水文地质、碳循环与全球变化研究。E-mail: zhangcheng@mail.cgs.gov.cn。

收稿日期: 2022-03-01

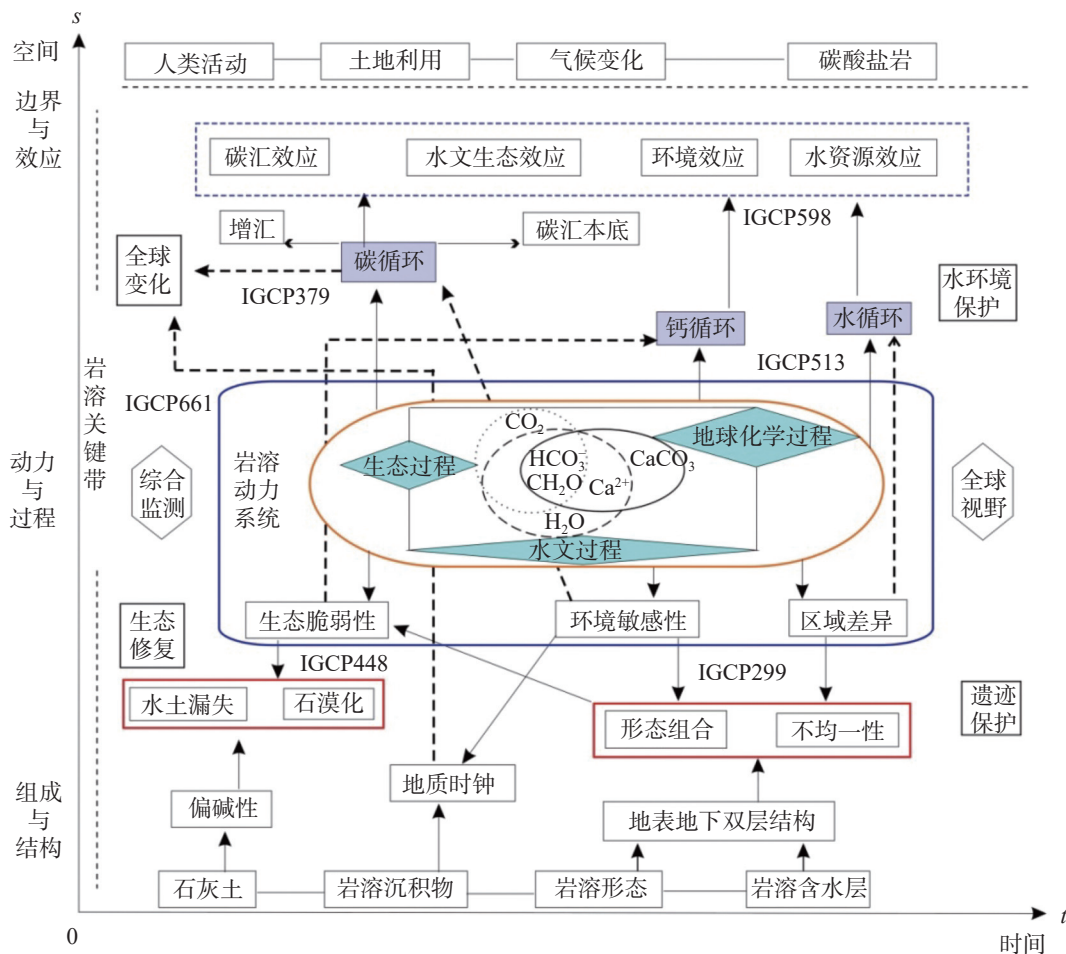


图 1 岩溶动力学系统内涵与外延

Fig. 1 Connotation and extension of karst dynamics system

和全球视野研究岩溶，提出了岩溶动力系统概念模型、结构与功能。通过 IGCP299“地质、气候、水文与岩溶形成”（1990-1994）的执行，岩溶动力系统、岩溶形态组合等概念得到了国际同行的广泛认可，形成了捕作碳水钙循环的一系列技术方法、岩溶类型与形成环境划分的完整方法体系。为全球岩溶对比研究、岩溶不均一性研究和共同面临的资源环境问题解决奠定了理论与方法基础。作为岩溶领域开展的第一个国际地学计划项目，IGCP299 项目的执行，不仅建立了岩溶学术圈科学家之间的密切交流，同时也加强了岩溶宏观地貌、形态与形成环境之间的国际对比研究<sup>[18]</sup>。来自 15 个国家的科学家联合撰写了 IGCP299 项目“全球岩溶对比”成果专著，内容涵盖极地、温带、热带、地中海等气候条件下不同地质背景岩溶动力系统结构、演化与运行规律<sup>[13]</sup>。

IGCP379“岩溶作用与碳循环”（1995-1999）执行的意义在于将岩溶学研究成功引入全球变化领域，

由此开辟了岩溶碳循环与碳汇效应研究，认识到岩溶作用的环境敏感性<sup>[19]</sup>，为重新认识全球碳循环研究中地质过程（含岩溶作用）时间尺度打开了窗口。2014 年政府间气候变化专门委员会（IPCC）第五次报告第一工作组报告，已将碳酸盐风化列为 CO<sub>2</sub> 移除四种方式之一，其 CO<sub>2</sub> 移除时间尺度属于 100-1 000 年级<sup>[20-21]</sup>。2021 年岩溶碳汇被列入国家“双碳”目标行动方案，意味着与生态系密切相关的岩溶碳循环将在岩溶碳汇列入大气 CO<sub>2</sub> 源汇清单和服务“双碳”目标中继续发挥更大作用。

IGCP448“岩溶生态系统”（2000-2004）的执行进一步拓展了岩溶学研究的边界和应用前景。将岩溶地球化学研究延伸至土壤圈和生物圈，无机与有机过程的融合研究为脆弱岩溶环境修复与保护、岩溶碳循环与土地利用及岩溶碳汇稳定性提供了更加清晰的思路与方法（如 IGCP598 项目的执行）<sup>[22-23]</sup>，一方面充分体现地球系统科学思维观，另一方面也为

地球关键带理念在岩溶领域的实践与应用,建立岩溶关键带概念与监测方法体系(IGCP661项目的执行)铺平了道路(图1)。

## 2 岩溶碳循环与全球变化

IGCP379项目执行,标志着碳酸盐风化与岩溶作用溶蚀速率全球对比研究的开始,进入岩溶动力学碳循环研究阶段<sup>[24]</sup>,成功将岩溶作用引入全球变化研究<sup>[25-26]</sup>。岩溶碳循环研究在此后连续执行的4个岩溶IGCP项目中得到延续和加强。二十余年来,相关研究内容不断扩充与丰富,包括碳酸盐岩风化强度及区域对比<sup>[26]</sup>、水文地球化学指标的环境敏感性<sup>[6, 27-28]</sup>、岩溶碳循环与土地利用的关系<sup>[29]</sup>、水生光合利用无机碳生成内源有机碳及转化效率<sup>[30-31]</sup>、水体惰性有机碳形成<sup>[32-33]</sup>,揭示了岩溶作用的短时间尺度效应和碳汇稳定性机制,暗示岩溶作用积极参与现今全球碳循环,其形成的碳汇可能是全球碳循环中“遗漏碳汇”的重要组成<sup>[26, 34-35]</sup>。IPCC发布的第五次评估报告将碳酸盐岩风化碳汇时间尺度从原来的 $10^4-10^6$ 年缩短为 $10^3-10^4$ 年<sup>[20-21]</sup>。

全球碳酸盐岩分布面积为2200万 $\text{km}^2$ ,约占陆地总面积的12%<sup>[6]</sup>,岩溶作用消耗大气与土壤 $\text{CO}_2$ ,对全球变化具有负反馈效应(大气 $\text{CO}_2$ 上升促进碳酸盐岩溶蚀吸收更多大气 $\text{CO}_2$ )<sup>[36]</sup>,同时受生态系统控制,即森林或草地增加溶蚀速率也增强,吸收更多土壤 $\text{CO}_2$ ,因而兼具有大气 $\text{CO}_2$ 汇和土壤 $\text{CO}_2$ 汇效应。目前,岩溶碳循环领域已发展到应用地球关键带理念研究其形成机理与碳汇效应阶段,强调关键带三大过程,即水文过程、生物地球化学过程与生态过程的耦合研究,发现了岩溶碳循环的短时间尺度特征,且与陆地生态系统碳循环、土壤碳循环及土地利用变化密切相关,是全球碳循环的重要组成部分。碳酸盐岩溶蚀消耗的 $\text{CO}_2$ 可来自大气,也可来自土壤微生物或根系呼吸,成为区域和全球尺度大气 $\text{CO}_2$ 汇或土壤生物成因 $\text{CO}_2$ 汇<sup>[37]</sup>。即:碳酸盐岩风化产生的碳汇可能是全球碳循环“遗漏碳汇”的贡献者,同时具有缓解土壤 $\text{CO}_2$ 向大气释放的作用,进而成为全球碳循环模型中“土地利用变化项”(E<sub>LUC</sub>)的重要调节者(减源效应)<sup>[38]</sup>。

目前,“碳汇能力巩固提升”已列为中国2030年前碳达峰十大行动(重点任务)之一<sup>[39]</sup>,其中就包括“岩溶的固碳作用”。中国是岩溶大国,开展岩溶碳汇研究是应对气候变化和中国实现“双碳”目标的基

础支撑。随着岩溶碳循环过程监测、机理与碳汇效应研究的渗入,流域碳汇测量与区域增汇评价方法的完善,岩溶碳汇有望在不久的将来列入全球碳收支大气 $\text{CO}_2$ 源汇清单,助推“双碳”目标的实现。

## 3 岩溶动力学理论对现代岩溶学发展的贡献

岩溶动力学理论的形成与实践是地球系统科学思想在岩溶研究领域的成功体现与应用<sup>[40]</sup>。岩溶动力学理论强调从系统高度和全球视野来研究岩溶形成过程、产物表现形式及区域差异,更加有利于理解其动力及作用方式、效应变化的控制机理、变化边界对系统过程产生的反馈机制,更好理解不同时间尺度过程之间的有机联系,加强了岩溶形成、过程、环境因子、全球变化、土地利用等之间的逻辑关系(图1),大大拓展了岩溶学研究领域,通过理论创新和IGCP国际平台,推动国际认同与广泛合作,更加有利于解决全球岩溶区共同面临的类似环境问题,如岩溶碳汇在全球碳循环中的作用与地位,岩溶生态环境脆弱性与保护,岩溶含水层水资源利用与水环境保护等。也为我们自觉融入国家“一带一路”倡议、生态文明发展战略和“双碳”目标等奠定了坚实基础和支撑条件,如在岩溶动力学理论指导和IGCP延伸的双边与多边合作推动下,“岩溶动力学系统与全球变化”国家级国际联合研究中心和岩溶地质“一带一路”联合实验室等平台先后获科技部批准。

## 4 IGCP对岩溶动力学研究的推动作用

IGCP作为UNESCO五大科学计划之一,在地学界有着广泛而深刻的影响,从第一个IGCP项目开始执行,就有中国科学家的身影,是中国地学走向全球的重要舞台,也是国际同行了解中国地质的重要窗口。岩溶IGCP项目的连续执行,成功将中国岩溶的地域优势转化为学术优势,形成广泛且稳定的国际合作研究团队进而又为持续提升岩溶动力学的学术引领地位提供了有利条件。

得益于岩溶IGCP的成功执行和广泛影响,2007年10月,联合国教科文组织第三十四届会议(第34 C/32号决议)决定,在中国桂林建立由教科文组织赞助的国际岩溶研究中心(以下简称“中心”)。这是地学领域建立的第一个由教科文组织赞助的研



究中心,中心能为教科文组织国际地球科学计划(IGCP)和国际水文计划(IHP)的实施发挥重要作用。在中国政府与教科文组织签订的关于中心建立与运行的协定中,明确指出中心主要目标为通过科学研究、出版和国际合作,推动岩溶动力系统的监测与建模,促进岩溶动力学的发展,中心职能第一条为开展现代岩溶学方面的实验与理论科学研究。协定一方面肯定了岩溶动力学理论在中心建立过程中的指导意义和作用,同时中心的建立也为该理论的应用和发展提供了更为广阔的国际合作交流平台。

2012年在巴黎召开庆祝IGCP成立40周年暨学术研讨会,系列岩溶IGCP项目作为水文地质领域的代表性成果在四十周年专著中作了双倍篇幅介绍<sup>[18]</sup>,自然资源部/广西岩溶动力学重点实验室代表获邀参会并作“气候变化、水资源与水环境”大会报告。后续“岩溶动力系统与全球变化”国家级国际联合研究中心成立、IGCP661项目获批执行和国际标准化组织岩溶技术委员会的成立,岩溶动力学国际合作深度与广度不断加强,更可喜的是,在各地政府支持与岩溶国际团队科学家的共同努力下,岩溶IGCP项目执行期间国内数个对比研究或考察站点先后被列入UNESCO自然遗产地名录,如桂林、石林、金佛山、茂兰等,充分说明全球岩溶界对中国南方喀斯特发育和演化完整性与典型性的认可,进一步提升和巩固了中国岩溶的学术优势。

## 5 结 语

岩溶动力学理论的形成和发展轨迹,是与近30年来6个岩溶IGCP项目的成功执行密切关联的。提出的一系列概念与模型,不仅使岩溶研究领域不断拓宽,形成新兴交叉学科,并服务于全球变化与应对气候变化、石漠化治理与生态修复、水环境修复与水资源可持续利用。成功把中国岩溶的地域优势转化为学术优势,并得到了国内外同行的认可,目前,岩溶碳汇已列入国家“双碳”目标行动计划,岩溶记录已成为全球变化研究中核心介质,随着技术方法的完善,众多指标被用于不同时间尺度环境信息的替代指标。不仅揭示了岩溶含水层的不均性、系统的环境敏感性、区域差异性的内在机制,也揭示了其边界和效应。体现了理论创新的生命力和先导作用,也是一个学科发展和行业保持长盛不衰的源泉。

岩溶动力学理论为岩溶石漠化治理中自然恢复为主,人工干预为辅原则的提出奠定了科学支撑,为回答岩溶碳循环时间尺度与稳定性问题提供了科学依据,为全球变化研究找到一种记录时间跨度长、分辨率高的天然载体(时钟)。IGCP是中国岩溶学研究走向国际的重要途径,是中国科学家引领岩溶研究前沿的重要抓手,也是培养具有全球视野领军科技人才的重要舞台。

**致谢:** 仅以此文献给恩师袁道先院士九十华诞!祝愿先生福如东海,寿比南山!感谢恩师袁道先院士在学术道路上的不倦指导。我庆幸在桂林,一座以岩溶景观著称于世的美丽城市,幸遇名师。先生是现代岩溶学和岩溶动力学理论的奠基人,九十春秋,织岩溶锦绣,道传七十岁月;香远益清,书峰林文章,先生教泽绵长。

## 参考文献

- [1] White W B. Geomorphology and hydrology of karst terrains[M]. New York: Oxford University Press, 1988: 1-464.
- [2] 袁道先,蔡桂鸿. 岩溶环境学[M]. 重庆:重庆出版社,1988: 1-332. YUAN Daoxian, CAI Guihong. Karst environment[M]. Chongqing: Chongqing Publishing House, 1988: 1-332.
- [3] 朱学稳,汪训一,朱德浩,等. 桂林岩溶地貌与洞穴研究[M]. 北京:地质出版社,1988: 1-249. ZHU Xuewen, WANG Xunyi, ZHU Dehao, et al. Guilin karst geomorphology and cave study[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988: 1-249.
- [4] Ford D C, Williams P W. Karst geomorphology and hydrology[M]. London: Unwin Hyman, 1989: 1-601.
- [5] Yuan D, Zhu D, Weng J, et al. Karst of China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991, 224 p.
- [6] Ford D C, Williams P. Karst hydrogeology and geomorphology[M]. London: John Wiley and Sons Ltd. 2007: 1-562.
- [7] Goldscheider N, Drew D (Eds). Methods in karst hydrogeology[M]. Leiden: Taylor & Francis, 2007, 264 p.
- [8] 袁道先. 现代岩溶学和全球变化研究[J]. 地学前缘(中国地质大学,北京), 1997, 4(1-2): 17-25.
- [9] 袁道先. 碳循环与全球岩溶[J]. 第四纪研究. 1993a, 13(1): 1-6. YUAN Daoxian. Carbon cycle and global karst[J]. Quaternary Sciences, 1993a, 13(1): 1-6.
- [10] Yuan Daoxian. IGCP448, World correlation of karst ecosystem (2000-2004)[J]. Episodes, 2000, 23(4): 285-286.
- [11] 袁道先,蒋勇军,沈立成,等. 现代岩溶学[M]. 北京:科学出版社,2016: 1-363. YUAN Daoxian, JIANG Yongjun, SHEN Licheng, et al. Modern karstology[M]. Beijing: Science Press, 2016: 1-363.
- [12] Yuan Daoxian, On the karst ecosystem [J]. Acta Geologica Sinica, 2001, 75(3): 336-338.
- [13] Yuan Daoxian, Liu Zaihua (Eds). Global karst correlation [M].

- Utrecht, Netherlands/Beijing, New York: Science Press. 1998, 308 pages.
- [14] Yuan D, Summary of IGC P379 “Karst Processes and the Carbon Cycle” (1995-1999) [A]. In: Yuan D, Zhang C (Eds), Karst processes and the carbon cycle-final report of IGCP379 [C]. Beijing: Geological Publishing House. 2002: 1-32.
- [15] 袁道先, 章程. 岩溶动力学的理论探索与实践[J]. 地球学报, 2008, 29(3): 355-365.  
YUAN Daoxian, ZHANG Cheng. Karst dynamics theory in China and its practice[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2008, 29(3): 355-365.
- [16] National Research Council. Basic research opportunities in earth science [M]. Washington D C: National Academy Press, 2001, Chapter 2: 35-45.
- [17] Brantley S L, White T S, White A F. Frontiers in exploration of the critical zone [R]. USA, 2005.
- [18] Chris Groves, Yuan Daoxian, Zhang Cheng. IGCP 299, 379, 448, 513, 598: Global efforts to understand the nature of karst systems: over two decades with the IGCP[A]. In: Derbyshire E(Editor). Tales Set in Stone—40 years of the International Geoscience Programme. Paris: UNESCO, 2012: 80-87.
- [19] Yuan Daoxian. Sensitivity of karst process to environmental change along the PEP II Transect[J]. *Quaternary International*, 1997, 37: 105-113.
- [20] Regnier P, Friedlingstein P, Ciais P, et al. Anthropogenic perturbation of the carbon fluxes from land to ocean[J]. *Nature Geoscience*, 2013, 6(8): 597-607.
- [21] Ciais P, Sabine C, Bala G, et al. Carbon and other biogeochemical cycles//Climate Change 2013: The Physical Science Basis[A]. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2014: 465-570.
- [22] Zhang Cheng, Yuan Daoxian. New development of IGCP 448 “World Correlation of Karst Ecosystem (2000–2004)” [J]. *Episodes*, 2001, 24(4): 279-280.
- [23] Zhang Cheng, Chris Groves, Yuan Daoxian. New development of IGCP/SIDA 598 “Environmental Change and Sustainability in Karst Systems(2011-2015)” [J]. *Episodes*, 2015, 38(3): 219-221.
- [24] Yuan DX. Contribution of IGCP379 “Karst Processes and Carbon Cycle” to Global Change[J]. *Episodes*, 1998, 21(3): 198.
- [25] 袁道先, 蒋忠诚. IGCP379 “岩溶作用与碳循环” 在中国的研究进展[J]. 水文地质工程地质, 2000, 27(1): 49-51.  
YUAN Daoxian, JIANG Zhongcheng. Progress of IGCP379 “Karst Processes and Carbon Cycle” in China. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2000, 27(1): 49-51.
- [26] Yuan D X, Zhang C(Eds). Karst Processes and the carbon cycle-Final Report of IGCP379. Beijing: Geological Publishing House. 2002, 1-220.
- [27] Merkel B J, Planer-Friedrich B. Groundwater geochemistry [M]. Berlin: Springer, 2005, 1-200.
- [28] Zhang C, Yuan D X, Cao J H. Analysis of the environmental sensitivities of a typical dynamic epikarst system at the Nongla monitoring site, Guangxi, China[J]. *Environmental Geology*, 2005, 47: 615-619.
- [29] Zhang C. Carbonate rock dissolution rates in different landuses and their carbon sink effect[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2011, 56(35): 3759-3765.
- [30] Liu Z, Liu X, Liao C. Daytime deposition and nighttime dissolution of calcium carbonate controlled by submerged plants in a karst spring-fed pool: insights from high time-resolution monitoring of physico-chemistry of water[J]. *Environmental Geology*. 2008, 55, 1159-1168.
- [31] Zhang C, Wang J L, Pu J B, et al. Bicarbonate daily variations in a karst river: the carbon sink effect of subaquatic vegetation photosynthesis[J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 2012, 86(4): 973-979.
- [32] 肖琼, 赵海娟, 章程, 贺秋芳, 吴夏. 岩溶区地表水体惰性有机碳研究[J]. 第四纪研究. 2020, 40(4): 1058-1069.  
XIAO Qiong, ZHAO Haijuan, ZHANG Cheng, HE Qiufang, WU Xia. Study of the recalcitrant dissolved organic carbon in karst surface water[J]. *Quaternary Sciences*, 2020, 40(4): 1058-1069.
- [33] He Q F, Xiao Q, Fan J X, et al. The impact of heterotrophic bacteria on recalcitrant dissolved organic carbon formation in a typical karstic river[J]. *Science of the Total Environment*, 2022, 815 152576.
- [34] 刘再华, Dreybrodt W, 王海静. 一种由全球水循环产生的可能重要的CO<sub>2</sub>汇[J]. 科学通报, 2007, 52(20): 2418-2422.  
LIU Zaihua, Dreybrodt W, WANG Haijing. A potentially important CO<sub>2</sub> sink caused by the global water cycle. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(20): 2418-2422.
- [35] Yuan D X. Foreword for the special topic “Geological Processes in Carbon Cycle” [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2011, 56(35): 3741-3742.
- [36] Andrews J A, Schlesinger W H. Soil CO<sub>2</sub> dynamics, acidification, and chemical weathering in a temperate forest with experimental CO<sub>2</sub> enrichment[J]. *Global Biogeochemical cycles*, 2001, 15(1): 149-162.
- [37] Schindlbacher A, Borken W, Djukic I, et al. Contribution of carbonate weathering to the CO<sub>2</sub> efflux from temperate forest soils[J]. *Biogeochemistry*, 2015, 124: 273-290.
- [38] Zhang C, Xiao Q, Wu Z, et al. Ecosystem-driven karst carbon cycle and carbon sink effects[J]. *Journal of Groundwater Science and Engineering*, 2022, 10(2): 99-112.
- [39] [http://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content\\_5644984.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content_5644984.htm).
- [40] 袁道先, 刘再华, 林玉石, 等. 中国岩溶动力系统[M]. 北京: 地质出版社, 2002: 1-275.  
YUAN Daoxian, LIU Zaihua, LIN Yushi, et al. Karst dynamic systems in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002:1-275.

## Theory of karst dynamics and development of modern karst science

ZHANG Cheng<sup>1,2</sup>

( 1. *Institute of Karst Geology, CAGS/ Key Laboratory of Karst Dynamics, MNR & GZAR, Guilin, Guangxi 541004, China*; 2. *International Research Center on Karst Under the Auspices of UNESCO, Guilin, Guangxi 541004, China* )

**Abstract** The core of the theory of karst dynamics is the carbon-water-calcium cycle, which emphasizes the systematic thinking and global view, and puts forward the conceptual model, structure and function of the karst dynamic system. The new growing point of discipline resulted from karst dynamics research has a milestone significance for the formation and development of modern karst science. The concept of "karst feature complex" has laid a complete method system for the study of karst heterogeneity, classification of karst types and formation environment. The initiation study of karst carbon cycle and carbon sink effects has successfully introduced karstology study into the field of global change, which opens a window for recognizing the role of karst processes in the global carbon cycle. Moreover, extending the study of karst geochemistry to the integration of inorganic and organic processes provides a clearer idea and method for the restoration and protection of fragile karst environment. The implementation of karst IGCP project reflects the guiding significance of karst dynamics theory for the establishment of International Karst Research Center under the auspices of UNESCO, meanwhile, karst dynamics theory has laid a solid theoretical and method foundation for us to consciously integrate into the national "Belt and Road" initiative, ecological civilization development strategy and the goals of "double carbon".

**Key words** karst dynamics, modern karst science, karst feature complex, karst carbon cycle, sustainability of karst environment, IGCP

( 编辑 张玲 )