

章程, 蒋忠诚, Chris Groves, 等. 岩溶 IGCP 国际合作 30 年与岩溶关键带研究展望[J]. 中国岩溶, 2019, 38(3): 301-306.
DOI: 10.11932/karst20190302

岩溶 IGCP 国际合作 30 年与岩溶关键带研究展望

章程¹, 蒋忠诚¹, Chris Groves², 袁道先¹

(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. 美国西肯塔基大学地质地理系, 肯塔基 鲍灵格林 42101)

摘 要: 全球岩溶类型多样, 对环境变化敏感, 资源与环境问题突出, 是地球关键带监测与研究的重点, IGCP661 项目的执行为岩溶区关键带类型划分与监测对比研究提供了契机和国际合作平台。近 30 年岩溶 IGCP 执行始终强调岩溶系统与人类活动环境的相互作用, 其轨迹实际上与地球系统科学到地球关键带理念是一脉相承的。IGCP299 提出了岩溶形态组合概念, 揭示各种岩溶形态与其形成环境之间的因果关系。岩溶动力系统(IGCP379), 岩溶生态系统(IGCP448)概念的提出有助于我们更好地理解岩溶系统的整体功能, 及系统内水、生物地球化学过程、人类活动的相互作用, 进而形成了一整套岩溶动力学研究方法体系。开辟了岩溶记录与全球变化、碳循环与应对气候变化、石漠化形成演变与生态修复等研究新领域, 并取得了丰硕的研究成果, 有力地推动了现代岩溶学的发展。

关键词: 岩溶关键带; 生物地球化学过程; 水文过程; 生态过程; 监测; 国际对比

中图分类号: P642.25; X142

文献标识码: A

文章编号: 1001-4810(2019)03-0301-06

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



0 引 言

2017 年 2 月, IGCP661 项目在巴黎获 IGCP 科学委员会批准, 于 2017—2021 年执行, 这是继 IGCP299 成功执行以来的第六个岩溶 IGCP 项目。项目旨在推动岩溶区关键带形成、演化及其与环境相互作用的国际对比, 划分全球岩溶区关键带类型及其结构特征, 建立监测指标体系, 为构建全球岩溶关键带监测网络奠定基础^[1]。

地球关键带理念提出于 2001 年, 是地球系统科学研究成果的最新体现。它强调水文过程、生物地球化学过程与生态过程三大过程的监测与耦合研究。目前全球已建立关键带监测站 21 个, 但没有一个在岩溶区。这与全球岩溶分布面积和面临突出的环境问题不相符。IGCP661 项目的执行为岩溶区关键带监测与研究提供了契机和国际合作平台。

全球岩溶区面积 2 200 万 km², 占陆地总面积的 12%^[2], 类型多样, 对环境变化敏感, 资源与环境问题突出, 是地球关键带监测与研究的重点地区。近 30 年岩溶 IGCP 执行轨迹实际上与地球系统科学到地球关键带理念是一脉相承的。如 IGCP299 项目的提出就是基于地球系统科学思想, 从四大圈层相互作用出发, 综合考虑地质、气候、水文与岩溶形成的关系, 提出岩溶形态组合概念(KFC), 揭示各种岩溶形态与其形成环境之间的因果关系。

岩溶 IGCP 项目始终强调岩溶系统与人类活动环境的相互作用, 如全球变化对岩溶地下水资源的影响, 土地利用变化与岩溶表层带水资源调蓄能力, 农业活动及城镇化对地下水环境的影响, 岩溶碳循环及其碳汇效应对应现代气候变化的可能贡献, 关注气候变化与人类活动对岩溶系统可持续性的影响等。

因而有必要回顾一下已有岩溶 IGCP 项目(表 1)

资助项目: UNESCO/IUGS 国际地学计划项目(IGCP661); 科技部援外项目(KY201802009); 中国地质调查局基本科研业务费项目(YYWF201639, JYYWF20182002); 中国科学院国际伙伴计划项目课题(132852KYSB20170029-01)

第一作者简介: 章程(1965—), 男, 研究员, 博士生导师, 从事岩溶环境、岩溶作用与碳循环研究。E-mail: chzhang@karst.ac.cn。

收稿日期: 2019-03-30

开展的国际合作成果,以利于更好地促进岩溶关键带对比研究与监测站网建立。

表 1 岩溶 IGCP 项目名称及其实施年限

Table 1 Number, title and duration of six karst IGCP projects

项目编号	项目名称	实施年限
IGCP299	地质、气候、水文与岩溶形成	1990—1994
IGCP379	岩溶作用与碳循环	1995—1999
IGCP448	全球岩溶生态系统对比	2000—2004
IGCP513	岩溶含水层与水资源	2005—2010
IGCP/SIDA598	环境变化与岩溶系统可持续性	2011—2015
IGCP661	岩溶关键带结构与功能	2017—2021

1 岩溶系统认识的不断深化

IGCP299 提出了岩溶形态组合概念,总结了岩溶地表地下、微观宏观形态组合与形成环境之间的相互关系,为全球岩溶对比提供了方法基础。使岩溶研究从形态描述阶段进入岩溶动力系统研究阶段,是地球系统科学应用于岩溶领域的具体表现^[3]。通过全球意义上的区域岩溶对比——国际对比的开展推动了现代岩溶学的形成。

岩溶动力系统(KDS)(IGCP379),岩溶生态系统(IGCP448)概念的提出有助于我们更好地理解岩溶系统的整体功能,及系统内水、生物地球化学过程、人类活动的相互作用,进而形成了一整套岩溶动力学研究方法体系。在岩溶动力学理论指导下把岩溶研究引向全球变化研究领域(岩溶记录与古环境重建,岩溶碳循环与现今气候变化)^[4-5],即岩溶作用溶蚀碳酸盐岩可消耗大气 CO₂。岩溶作用形成的碳汇可对大气 CO₂ 浓度产生较大影响,因而与现今气候变化密切相关,可成为应对气候变化碳减排中潜在的重要贡献者。

IGCP 作为 UNESCO 五大科学计划之一,其重要目标之一是实现地球科学为社会服务。岩溶 IGCP 在这方面的主要贡献体现在从生态学(IGCP 448)和人类活动影响(IGCP 513)角度出发,开展岩溶水资源开发利用与保护方面的技术交流与培训^[6]。其中环境变化对岩溶系统可持续性影响的研究与对比工作在后续 IGCP/SIDA598 项目中得到延续和加强,参与该项目的科学家和相关实验室,共同致力于生物地球化学过程(流域过程与河流过程)和人类活动(如土地利用变化)对碳循环的控制与影响研究与

对比工作,主要进展在国际地球科学联合会地质[Episodes]幕期刊进行了介绍^[7],代表性成果于 2016 年以 IGCP598 专辑形式在 Acta Carsologica 发表。

2 生物地球化学过程与岩溶碳循环

岩溶系统主要是碳水钙循环,表层 C 的迁移不仅与大气、土壤和岩石 C 库密切相关,也与水圈、生物圈密切相关。岩溶关键带中碳循环与三大过程的关系如图 1 所示,左半部代表传统岩溶作用过程,主要受水文过程控制,右半部代表生物地球化学过程和生态过程,受光合作用/呼吸作用控制。由于短时间尺度生物过程的参与,岩溶作用成为一种较快的地质作用过程,因而碳酸盐岩风化速率远远大于硅酸盐岩风化速率^[8-11],导致岩溶流域水体的电导率和溶解无机碳(DIC)含量相对较高^[12]。IGCP379“岩溶作用与碳循环”项目将岩溶研究引入全球变化领域^[13-14]。碳酸盐岩溶蚀因消耗大气或土壤 CO₂(岩溶作用消耗土壤 CO₂减少了土壤 CO₂向大气的释放,具有减源效应),成为大气 CO₂汇,因而对大气 CO₂沉降(汇项)作出潜在贡献^[15]。

已有估算表明岩溶作用消耗大气 CO₂的汇量占全球遗漏汇的 15%~30%^[3,13,16-17]。尤其是考虑水生植物碳泵效应,岩溶作用碳汇效应更加显著^[18-19]。另外还发现,随着植被的恢复碳汇强度也显著增加^[20],在地质岩性条件相似情况下,热带岩溶区碳汇强度是亚热带的 1.5~2.5 倍^[21]。

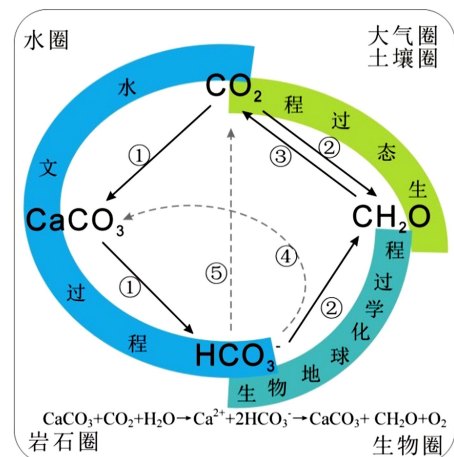


图 1 岩溶关键带碳循环模式

Fig. 1 Carbon cycle in karst critical zones

注:蓝色代表水文过程;青色代表生物地球化学过程;绿色代表生态过程;①表征碳酸盐岩溶蚀作用,②和③分别表征植物光合作用与呼吸作用,④表征有机体钙化作用,⑤表征脱气作用。

3 气候变化与岩溶地下水资源

岩溶含水层受构造抬升、断裂和褶皱等控制,两个显著特点是地表地下双层结构和不均一性(空隙、裂隙与管道并存),因而对环境变化极其敏感^[13,22]。构造强烈抬升区,地下水位埋深大,如中国西南的云贵高原峰丛洼地区,垂直渗流带厚度达 500 m^[23],降雨可以通过落水洞快速进入含水层,导致山区饮用水短缺和耕地用水困难,严重制约区域经济社会可持续发展^[24]。

岩溶 IGCP 与欧盟 COST Action 620 计划同步开展,以欧洲科学家为主的共同努力下,提出了一系列用于不同区域与类型地下水的编图方法,包括两种岩溶含水层脆弱性评价与编图方法^[25-30]。一是 EPIK 方法,用于判别地下水对污染物质的敏感性,另一种是 VULK 方法,通过确定污染物质的迁移时间与路径评价含水层脆弱性,针对地中海型岩溶含水层地下水脆弱性评价新方法,气候变化对水资源的影响,同位素示踪新技术应用与含水层保护等方面代表性成果于 2012 年以 IGCP598 专辑“岩溶水文地质进展”形式在 *Environmental Earth Sciences* 期刊 65 卷发表。

表层岩溶泉的存在对解决峰丛山区人畜饮用极为重要,有时是唯一的饮用水源。泉流量大小与季节变化与土地利用密切相关,监测数据表明,随着植被的恢复(正向演替)表层岩溶带水的调蓄能力得到加强^[22,31]。岩溶表层带是地表岩石—土壤—植被系统中生物地球化学过程最为活跃的区段,该带的研究对于精细刻画岩溶关键带结构、水土流失与碳循环研究及地表与表层带水资源高效利用至关重要,贵州高原普定试验场的应用表明,探地雷达为揭示表层带发育厚度及其空间不均一性提供了有力支撑^[32]。

目前,岩溶地质研究所和中国地质大学(武汉)的科学家正在联合开展基于惯性导航技术的地下河轨迹探测设备研发。

4 水土流失控制与石漠化治理

地球关键带研究强调水文过程、生物地球化学过程与生态过程的耦合研究,IGCP448“岩溶生态系统”研究将岩溶传统的碳水钙无机过程研究向有机延

伸^[33],对土地利用变化与水文过程^[34]、岩溶区植被的喜钙性、旱生性、石生性有了更加深入的理解,为石漠化水土流失和生态修复开辟了新途径^[35]。在中国西南岩溶区,石漠化面积为 $11.35 \times 10^4 \text{ km}^2$ (2000 年),加之山区人口密度大,同时面临突出的水资源问题和地表土壤流失。2000 年来,中国政府实施了国家级石漠化治理工程,通过 15 年的林草建设与生态移民,至 2105 年石漠化面积减少至 $9.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[36]。

中国西南虽然属于亚热带季风气候区,水热配套,但由于受青藏高原隆升影响,水位埋深大,地表深洼地发育,降雨后地表水快速通过落水洞进入地下河,典型峰丛洼地区监测研究表明,因落水洞产生的土壤流失占土壤流失总量的比例高达 75%,植被缺失的石漠化导致本就不多的土壤极易流失,当植被覆盖度达到 70% 以上,则水土流失下降到 $10 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[36]。另外,构造抬升对塑造中国西南峰丛地貌多样性极为有利,但对水土资源开发利用则是个极为不利的挑战(地下水位埋深大,水土随降雨流失快)。近年来,广西果化石漠化治理与生态修复基地火龙果种植解决了生态效益与经济效益相结合的问题^[37],贵州普定试验场表层岩溶泉开发利用、路一沟一池模式则解决了山区人畜饮用与种植用水问题,为全球类似区域提供了中国经验。

5 岩溶关键带监测与研究展望

近年来,地表地球科学重点研究近地表岩石圈—土壤圈—生物圈—水圈—大气圈相互作用的地球关键带(Earth Critical Zone),这是人类活动与地质环境发生密切联系的区域,敏感地响应环境变化,因而与人类社会可持续发展息息相关^[38-39]。地球关键带概念是美国国家理事会于 2001 年提出^[40],强调监测与多学科综合研究。

10 多年来全球多学科领域科学家提出多圈层相互作用的地球关键带具有提供养分和涵养水源,支撑生态系统,提供人类生存和发展的物质基础等重要功能,这是地球系统科学理论的进一步发展。截止 2016 年,全球已建立 21 个系统的关键带观测站(美国 13 个,欧盟 8 个),关键带地质结构、水文地质、环境地质、生态地质地球化学调查、研究工作是当前及未来发展的重点。近年来其通过“填图—监测—模

拟”思路取得的主要成果体现在初步揭示了风化和侵蚀过程对关键带环境因素与生物过程的互馈作用机理、气候变化对关键带生物地球化学过程的影响方式和速率、地球关键带结构的演化与预测等。解决的科学问题主要是地球关键带属性和过程,地球关键带生物地球化学过程对土壤和水资源的影响,地球关键带的结构、物质的存储和转化如何响应气候变化与土地利用,然而其调查地区或对象均未涉及到岩溶关键带。全球岩溶面积结构类型复杂,岩溶关键带物质能量交换频繁,对环境变化十分敏感,是一个独特的关键带类型,是地球关键带的典型和代表。

随着 IGCP661 项目的实施和国际多边与双边合作的展开,岩溶关键带调查研究工作优先在“一带一路”沿线岩溶区得到良好推进。如依托地调项目“中南半岛 5 国水文与环境地质合作编图”开展中国南方亚热带岩溶与泰国热带岩溶水文地球化学与碳循环对比研究;科技部援外项目开展中国西南季风型典型岩溶区与伊朗干旱半干旱岩溶区及斯洛文尼亚地中海型气候经典岩溶区对比研究。

在岩溶地区,其典型的地表、地下双层地质结构和特殊的物理化学生物过程,使岩溶区地球关键带结构清晰,特征十分明显。“一带一路”沿线岩溶区占全球岩溶分布面积约 60%,横跨热带、亚热带、温带气候环境,穿越中南半岛、喜马拉雅构造带、阿尔卑斯构造带,区内分布有从古生代到第三纪的碳酸盐岩,环境跨度大,自然景观多样,地质条件复杂,形成了具有不同特点的岩溶关键带类型。“一带一路”沿线共同面临的资源环境问题的主要原因是对岩溶关键带物质能量循环转化规律及其与岩溶动力过程的关系,岩溶关键带结构、组成及类型缺乏系统深入的科学认识,因此,以岩溶关键带理念为指引,推动“一带一路”沿线国家合作开展岩溶关键带结构、组成及类型划分研究,建立监测站网,创新性系统性监测岩溶关键带物质循环转化过程,能够在揭示其资源环境问题形成机理方面取得科学突破,合作破解岩溶资源环境难题,促进区域可持续发展,并进而引领全球岩溶关键带的研究。

岩溶地质研究所牵头提出的国际标准化组织(ISO)岩溶技术委员会(karst TC319)于 2018 年 6 月获 ISO 技术管理局通过,秘书处成功落户桂林,为岩溶关键带国际对比的顺利展开及相关监测技术国际

标准的形成提供了有力保障。

参考文献

- [1] Jiang Z Ch, Zhang Ch, Qin X Q, et al. Structure feature and function of the karst critical zone[J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 2019,93(s1):109-112.
- [2] Ford D C, William P W. *Karst hydrogeology and geomorphology* [M]. Chichester: JohnWilly&Sons, 2007:1-562.
- [3] Yuan D X, Liu Z H(Eds.), *Global Karst Correlation*[C]. Beijing/New York:Science Press; Utrecht/Tokyo:VSP BV. 1998, 308.
- [4] Yuan D X. The carbon cycle in karst[C]. *Z. Geomorph N F, SupplBd*,1997,108:91-102.
- [5] Yuan D X, Cheng H, Edwards R L, et al. , Timing, duration, and transitions of the last interglacial Asian monsoon[J]. *Science*, 2004, 304:575-578.
- [6] Chris G, Yuan D X,Zhang Ch. IGCP299, 379, 448, 513, 598: Global efforts to understand the nature of karst systems: over two decades with the IGCP[C]. In:Derbyshire E. (Ed.), *Tales Set in Stone — 40 Years of the International Geoscience Programme(IGCP)*. UNESCO Paris, France,2012:80-87.
- [7] Zhang Ch, Chris G, Yuan D X, New development of IGCP/ SIDA 598 "Environmental Change and Sustainability in Karst Systems (2011-2015)"[J]. *Episodes*, 2015,38(3):219-221.
- [8] Plummer L N, Wigley T M L, Parkhurst D L. Kinetics of calcite dissolution in CO_2 -water systems at 5 °C to 60 °C and 0.0 to 1.0 atm CO_2 [J]. *America Journal of Science*, 1978,278: 179-216.
- [9] Kump L R, Brantley S L, Arthur M A. Chemical weathering, atmospheric CO_2 , and climate[J]. *Annu Rev Earth Planet Sci*, 2000,28:611-667.
- [10] Dreybrodt W. *Processes in Karst systems:Physics, Chemistry, and Geology* [M]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1988, 288.
- [11] Liu Z, Dreybrodt W. Dissolution kinetics of calcium carbonate minerals in $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ solutions in turbulent flow: The role of the diffusion boundary layer and the slow reaction $\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_2 \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1997, 61: 2879-2889.
- [12] Hélie J-F, Hillaire-Marcel C, Rondeau B. Seasonal changes in the sources and fluxes of dissolved inorganic carbon through the St. Lawrence River-isotopic and chemical constraint. *Chemical Geology*[J]. 2002, 186(1):117-138.
- [13] Yuan D X, Sensitivity of karst process to environmental change along the PEP II transect[J]. *Quaternary International*, 1997, 37:105-113.
- [14] Jiang Zh C, Yuan D X. CO_2 Source-sink in karst processes in

- karst areas of China[J]. Episodes, 1999, 22:33-35.
- [15] Yuan D X, Zhang Ch (Eds). Karst Processes and the carbon cycle-Final Report of IGCP379[C]. Beijing: Geological Publishing House, 2002, 220.
- [16] Yoshimura K, Inokura Y. The geochemical cycle of carbon dioxide in a carbonate rock area, Akiyoshi-dai Plateau, Yamaguchi, Southwestern, Japan[C]. In: Proceedings of 30th International Geological Congress, 1997, 24: 114-126.
- [17] Liu Z, Zhao J. Contribution of carbonate rock weathering to the atmospheric CO₂ sink[J]. Environmental Geology, 2000, 39: 1053-1058.
- [18] Montety V de, Martin J B, Cohen M J, et al. Influence of diel biogeochemical cycles on carbonate equilibrium in a karst river [J]. Chemical Geology, 2011, 283: 31-43.
- [19] Liu Z, Dreybrodt W, Wang H. A new direction in effective accounting for the atmospheric CO₂ budget: Considering the combined action of carbonate dissolution, the global water cycle and photosynthetic uptake of DIC by aquatic organisms[J]. Earth-Sci Rev., 2010, 99: 162-172.
- [20] Zhang Ch. Carbonate rock dissolution rates in different landuses and their carbon sink effect[J]. Chinese Sci Bull, 2011, 56: 3759-3765.
- [21] Zhang Ch, Mahippong W, Wang J L, et al. Dissolution rates in soil of different landuses of typical tropical karst peak depression valley in Thailand[J]. Quaternary Science, 2016, 36 (6): 1393-1402.
- [22] Zhang Ch, 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.
- [23] 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.
- [24] Yuan D X, Karst of China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991: 224.
- [25] Doerfliger N, Jeannin P Y, Zwahlen F. Water vulnerability assessment in karst environment; a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method) [J]. Environmental Geology, 1999, 39 (2): 165-176.
- [26] Jeannin P Y, Cornaton F, Zwahlen F, et al. VULK: a tool for intrinsic vulnerability assessment and validation[C]. In: Seventh conference on limestone hydrology and fissured media, Besnacon 20-22 Sep 2001, Sciences et techniques de l'environnement. Mémoire hors-série, 2001, 13: 185-190.
- [27] Malik P, Švasta J. REKS-An alternative method of karst groundwater vulnerability estimation[C]. In: Proceedings of XXIX IAH Congress: Hydrogeology and land use management. Editors: Miriam Fendeková, Marián Fendek. Bratislava, Slovak Republic, 1999, 79-86.
- [28] Daly D, Dassargues A, Drew D, et al. Main concepts of the European approach for (karst) groundwater vulnerability assessment and mapping[J]. Hydrogeol J, 2002, 10(2): 340-345.
- [29] Malik P, Švasta J, Groundwater Vulnerability Assessment Using Physical Principles of Contamination[C]. In: Decision support for natural disasters and intentional threats to water security (Illangasekare T H et al. (eds.)), Springer Science+Business Media B. V. 2009: 199-211.
- [30] Malik P, Švasta J, Michalko J, et al. Indicative mean transit time estimation from $\delta^{18}\text{O}$ values as groundwater vulnerability indicator in karst-fissure aquifers[J]. Environmental Earth Science, 2016, 75: 988. (<https://doi.org/10.1007/s12665-016-5791-2>.)
- [31] 章程, 曹建华. 不同植被条件下表层岩溶泉动态变化特征对比研究: 以广西马山弄拉兰电堂和东旺泉为例[J]. 中国岩溶, 2003, 22(1): 1-5.
- [32] 彭韬, 周长生, 宁茂岐, 等. 基于探地雷达解译的喀斯特坡地表层岩溶带空间分布特征研究[J]. 第四纪研究, 2017, 37(6): 1262-1270.
- [33] Yuan D X. IGCP448, World Correlation of Karst Ecosystem (2000-2004) [J]. Episodes, 2000, 23(4): 285-286.
- [34] Zhang Cheng, Yuan Daoxian. New development of IGCP 448 "World Correlation of Karst Ecosystem (2000-2004)" [J]. Episodes, 2001, 24(4): 279-280.
- [35] Jiang Z C, Lian Y Q, Qin X Q. Rock desertification in southwest China: impact, cause, and restoration[J]. Earth Science Review, 2014, 132: 1-12.
- [36] 蒋忠诚, 罗为群, 童立强, 等. 21 世纪西南岩溶石漠化演变特点及影响因素[J]. 中国岩溶, 2016, 35(5): 461-468.
- [37] Luo W Q, Jiang Zh Ch, Yang Q Y, et al. The features of soil erosion and soil leakage in karst peak-cluster areas of Southwest China[J]. Journal of Groundwater Science and Engineering, 2018, 6(1): 18-30.
- [38] Brantley S L, White T S, White A F. Frontiers in exploration of the critical zone[R]. USA, 2005.
- [39] Lin H S. Earth's Critical Zone and hydrogeology: concepts, characteristics, and advances[J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2010, 6(2): 3417-3481.
- [40] National Research Council. Basic Research Opportunities in Earth Science[M]. Washington DC: National Academy Press, 2001, Chapter 2: 35-45.

30 years international cooperation with IGCP and perspectives of karst critical zone research

ZHANG Cheng¹, JIANG Zhongcheng¹, GROVES Chris², YUAN Daoxian¹

(1. *Key Laboratory of Karst Dynamics, MNR&GZAR / Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin, Guangxi 541004, China;*

2. *Department of Geography and Geology, Western Kentucky University, Bowling Green, KY 42101, USA*)

Abstract IGCP661 "the Critical Zone in Karst Systems" (2017—2021) is a successive karst related project of IGCP299, 379, 448, 513 and 598. The implementation of IGCP661 provides a fine opportunity to bring scientists in karst community together and an international cooperation platform to conduct karst critical zone monitoring work and research. Tracing back to the six karst IGCP projects, the implementation trajectory and development of those projects are in line with the earth system science in 1990s to earth critical zone science in early 21st century. The impacts of climate change and anthropogenic activities to karst systems' sustainability are always concerned over two decades. In this paper, main scientific results and progresses achieved by working groups of six karst IGCP projects were summarized, in hope of promoting the correlation of various karst critical zones and establishing a global network of monitoring sites.

Following the guideline of Earth System Science and multidisciplinary cooperation, systematic methodologies, namely, the Karst Feature Complex concept was raised and adopted in IGCP299 as a tool to avoid the confusion of isomorphism that might arise in morphological correlation on karst. The Karst Dynamic System(KDS) (in Project 379), Karst Ecosystem (in Project448) were used to better understand how karst systems function, and how the water, chemical, biological and human systems interact within them. Guideline with this synthesized conceptual framework, karst study was extended to global change research field. IGCP 379 sets up a link between karst processes and global change. Carbonate rock dissolution consumed atmospheric CO₂ and/or soil CO₂, thus the resulting CO₂ uptake could contribute to atmospheric CO₂ precipitation (sink). There will be an increase on this value with further consideration of carbon-pumping effect of aquatic plants.

The greatest societal contribution to karst science within the framework of the IGCP has come by way of study and training efforts in the development and protection of karst water resources, with both ecological (IGCP 448) and human (IGCP 513) dimensions. Some extension works focusing on environmental change impacts upon karst system sustainability were continued and enhanced (IGCP/SIDA598), scientists and laboratories affiliated with IGCP/SIDA 598 made contributions to quantifying the impact of biogeochemical processes and human activities such as land use change on the carbon cycle.

Correlation work of IGCP661 is planned to start along the Belt and Road karst zone. Karst Technical Committee(TC319) under International Organization for Standardization, will work closely with IGCP 661 to develop technical specifications for karst critical zone monitoring, thus supporting site international correlation and network establishment.

Key words karst critical zone, biogeochemical process, hydrological process, ecological process, monitoring, international correlation

(编辑 张玲)