

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2022.421>



从湖泊演化角度谈武汉创建国际湿地城市

顾延生^{1,2}, 李越南³, 谢树成^{1,2}, 殷鸿福^{1,2}

1. 中国地质大学生物地质与环境地质国家重点实验室, 湖北武汉 430074
2. 中国地质大学湿地演化与生态恢复湖北省重点实验室, 湖北武汉 430074
3. 中国地质大学环境学院, 湖北武汉 430074

摘要: 武汉是百湖之市, 是世界内陆城市湖泊资源最丰富的城市之一, 2022 年获得了“国际湿地城市”认证。为了深入推进“国际湿地城市”建设, 需要查明武汉地区湖泊形成演化历史及其影响因素。为此, 系统探讨了区域构造环境、河道演化、气候变化及人类活动对武汉地区湖泊形成演化和生态环境的影响。结果表明, 武汉地区众多湖泊的形成有其深刻的地质环境与气候背景。在第四纪新构造掀斜抬升背景影响下, 区域沉降与拗陷作用为成湖创造了条件, 末次冰消期以来温暖湿润气候促进了湖群的兴盛。历史时期以来, 汉水下游河口段演化对汉口和汉阳地区湖泊形成演化影响深刻。近百年来, 日益增强的人类活动带来武汉地区湖泊快速萎缩、污染与生态退化问题, 旱涝灾害加剧。因此, 深刻反思人湖关系, 充分考虑湖泊生态系统自然恢复的长期性和人类活动引发的生态系统严重退化的不可逆性, 建立和谐共生的人湖模式对武汉城市生态安全至关重要。基于以上湖泊演化的历史教训与问题, 在当前长江大保护和武汉创建“国际湿地城市”的关键时期, 我们有针对性提出武汉地区湖泊生态保护的“世界湿地之都”战略规划, 亟需“统筹规划山水林田湖草保护体系、污染与退化湖泊水体环境治理与生态恢复、建立湖泊健康管理的武汉范式”顶层设计, 进一步完善湖泊生态保护、治理、管理与评价体系。以上研究不仅有利于武汉创建“国际湿地城市”, 且为把武汉建成“世界湿地之都”, 深入实施“长江大保护”战略树立了典范作用。

关键词: 武汉地区; 湖泊演化; 国际湿地城市; 世界湿地之都; 战略规划; 水文地质。

中图分类号: P641.6

文章编号: 1000-2383(2023)08-3193-12

收稿日期: 2022-10-03

On the Establishment of Wuhan as an International Wetland City from the Perspective of Lake Evolution

Gu Yansheng^{1,2}, Li Yuenan³, Xie Shucheng^{1,2}, Yin Hongfu^{1,2}

1. State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
2. Hubei Key Laboratory of Wetland Evolution and Eco-Restoration, Wuhan 430074, China
3. School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: Wuhan, the city of a hundred lakes, is one of the biggest cities with the richest lake resources in the world's inland cities, and has been certified as an "international wetland city" in 2022. In order to further promote the construction of "international wetland city", it is necessary to find out the formation and evolution history of lakes in Wuhan and its influencing factors. In this paper, the impacts of regional tectonic environment, river channel evolution, climate change and human activities on the formation and evolution, ecology and environment of lakes in Wuhan Area are systematically discussed. The results show that the causes and evolution of lakes in Wuhan Area have profound geological environment and climate background. Under the influence of neotectonic tilting and uplifting in the

基金项目: 中国工程科技发展战略湖北研究院咨询研究项目(No. KZ19Z5006).

作者简介: 顾延生(1970—), 男, 教授, 主要从事生态地质环境的教学与科研工作. ORCID: 0000-0001-6620-1946. E-mail: ysgu@cug.edu.cn

引用格式: 顾延生, 李越南, 谢树成, 殷鸿福, 2023. 从湖泊演化角度谈武汉创建国际湿地城市. 地球科学, 48(8): 3193-3204.

Citation: Gu Yansheng, Li Yuenan, Xie Shucheng, Yin Hongfu, 2023. On the Establishment of Wuhan as an International Wetland City from the Perspective of Lake Evolution. *Earth Science*, 48(8): 3193-3204.

Quaternary, regional subsidence and depression created conditions for the formation of the lakes, and the warm and humid climate since the last deglaciation promoted the expansion of the lakes. Since the historical period, the evolution of estuary section of the lower Hanshui River has had a profound impact on the formation and evolution of lakes in Hankou and Hanyang districts. In the past hundred years, the increasing human activities have brought about the rapid shrinkage of lakes in Wuhan, pollution and ecological degradation, and the aggravation of drought and flood disasters. Therefore, rethinking profoundly the human-lake relationship, taking into account the long-term natural restoration of lake ecosystems and the irreversibility of serious ecosystem degradation caused by human activities, and establishing a harmonious coexistence of human-lake relationship are crucial to the Wuhan's urban ecological security. Based on the above historical lessons and problems of lake evolution, in the key period of current Yangtze River Protection and Wuhan's establishment of "international wetland city", we have targeted in "world wetland capital" strategic planning for Wuhan lake ecological protection, which need a top-level design on "the overall plans for the protection system of mountains, rivers, forests, farmland, lakes and grasslands", environment management and ecological restoration of pollution and degradation lake water", and "establishment of lake health management of Wuhan Paradigm", and further improvement on the lake ecological protection, management and evaluation system. The above research is not only conducive to building Wuhan into an "international wetland city", but also set a model role in building Wuhan into a "world wetland capital" and the thorough implementation of the strategy of "Yangtze River Protection".

Key words: Wuhan Area; lake evolution; international wetland city; world wetland capital; strategic planning; hydrogeology.

0 引言

大江大湖大武汉,武汉是中国内陆湿地资源最丰富的特大城市,湿地面积 16.2 万公顷,湿地率达 18.9%,也是世界内陆城市湿地资源最丰富的城市之一,因拥有丰富的湖泊湿地资源被称为“百湖之市”和“湿地之城”(Wang *et al.*, 2017, 2021),一座原本就起源于湿地上的城市,近日获得了“国际湿地城市”认证(<https://www.ramsar.org/activity/wetland-city-accreditation>). 2018 年全球一共有 18 个城市获得首批“国际湿地城市”称号,其中 6 个是中国城市,2022 年全球一共有 25 个城市获得第二批“国际湿地城市”称号,其中 7 个是中国城市,包括武汉. 第 14 届国际《湿地公约》缔约方大会(COP14)计划于 2022 年 11 月在武汉召开,以“珍爱湿地、人与自然和谐共生”为主题,审议公约发展战略性议题,发布《武汉宣言》,为实现人与自然和谐共生的美好未来作出新的贡献. 近年来,基于中国工程科技发展战略湖北研究院咨询研究项目支持,我们于 2020 年 7 月向武汉市人民政府决策咨询委员会提交了“深入实施“长江大保护”战略、全力创建武汉“世界湿地之都”提案,得到了市政府高度重视,采纳并组织实施. 当前,武汉地区湖泊生态环境保护迎来一个巨大机遇期,深入调查武汉地区湖泊形成演化历史及生态环境现状,有针对性提出湖泊生态保护与修复的战略规划是更好推进“国际湿地城市”建设的关键. 为此,本文从武汉地区湖泊形成演化角度系统探讨了地质构造、河道演化、气候变化与人

类活动对湖泊生态环境的影响,基于湖泊演化历史、现状和当前“国际湿地城市”建设需要,建议加强顶层设计,实施“世界湿地之都”战略规划,实现跨越式发展.

1 研究区概况

武汉($113^{\circ}41'E \sim 115^{\circ}05'E$, $29^{\circ}58'N \sim 31^{\circ}22'N$)是我国中部地区的特大城市(图 1),由 7 个中心城区(江汉、江岸、汉阳、硚口、武昌、洪山、青山区)和 6 个郊区(黄陂、东西湖、蔡甸、汉南、江夏、新洲区)组成,南北长 134 km,东西宽 155 km,全市土地面积为 8 494.41 km²,年平均气温 15.8~17.5 °C,年降水量 1 150~1 450 mm(武汉市统计局, 2018).

武汉地貌以冲积、湖积平原为主,兼有低山丘陵和岗地. 长江、汉水交汇于此,区内河网密布,湖泊资源丰富,全市湖泊数量 166 个,面积 800 多 km²(武汉市水务局, 2014)(图 1),湖泊汇水面积 5 925.2 km²,占全市国土面积的 69.76%,是世界内陆城市湿地资源最为丰富的城市之一(Wang *et al.*, 2021). 2018 年武汉市常住人口达 1 364 万人(户籍人口 883.73 万人),社会生产总值(GDP)为 1.48 万亿元(武汉市统计局, 2018),经济的快速发展与城市化建设对武汉地区湖泊生态与环境造成了巨大的影响.

2 湖泊形成演化分析

长江中下游地区在北半球同纬度线发育了独

特的淡水湖泊群,是我国乃至世界罕见的淡水湖泊群,丰富的自然资源与温暖适宜的环境条件孕育了源远流长的长江流域文明.自古至今,长江中下游湖区具有重要的历史文化价值和战略地位.武汉地区湖泊是长江中游江汉湖群的重要组成部分,其形成演化背景与新构造运动、河道演化、气候变化和人类活动息息相关.

2.1 新构造运动、河道演化与湖泊成因

在大地构造位置上,武汉地区跨扬子准地台和秦岭褶皱系,襄樊—广济断裂为二者分界(湖北省地质调查院,2003;罗小杰,2013).新生代以来,武汉地区新构造运动(间歇性抬升与沉降)对沉积环境的控制作用显著.古近纪时期,武汉中部及周边地区总体表现为沉降,发育陆相沉积.新近纪一早更新世时期,武汉地区处于隆升状态,遭受剥蚀(罗小杰,2013).对武汉地区全新世湖泊群形成分布有

影响的主要是麻城—团风断裂、咸宁—灵乡断裂等.其中,麻城—团风断裂是长期活动性断裂(湖北省地质调查院,2003),该断裂中更新世以来东升西降,垂直断距约为10 m(谢广林等,1993).咸宁—灵乡断裂晚近期有继承性活动表现,南侧为低山丘陵地形,北侧为低丘岗,湖泊发育.沙湖—湘阴断裂是一条规模较大的隐伏断裂,对武汉西南侧湖泊分布有影响,往往湖泊发育,潜水不散(湖北省地质调查院,2003).中、晚更新世时期,本区出现了两个新的拗陷中心,一个在涨渡湖,一个在梁子湖(谢广林等,1993).在以上断裂活动控制下,全新世初期的沉降运动为成湖提供了可能(徐瑞瑚等,1988),气候变化则促进了湖群发育(顾延生等,2018;Liu *et al.*, 2019).因此,得益于地壳缓慢下降,全新世以来武汉地区湖泊群(如沟谷雍塞湖)广泛发育,许多湖泊呈沉溺状态,湖岬、湖湾迂回曲折,呈锯齿状,阶地直接濒临湖岸甚至延伸入湖内.全新统常常超覆于上更新统之上,造成晚更新世5~10 m阶地前缘成为埋藏阶地(徐瑞瑚等,1988;谢广林等,1993).武汉地区现存大型湖泊中数量最多的一类湖泊即为沟谷雍塞湖,一些规模较大的湖泊如东湖、梁子湖、汤逊湖、童家湖、武湖、涨渡湖、南湖、墨水湖、南太子湖、北太子湖、严西湖、严东湖等均属于此类湖泊(李长安等,2022).东湖就是一个典型的沟谷雍塞湖,其钻孔资料表明湖泊发育于早全新世(蔡述明和官子和,1979),成湖时代应是末次冰消期至全新世初期(李长安等,2022).

此外,由于新构造自西北向东南掀斜抬升作用(李长安,1998),长江和汉水等水系河道整体向南迁移(Zhu *et al.*, 1998),使得江湖关系发生变化,影响了部分地区(如汉口、汉阳地区)湖泊沉积环境的连续性,湖泊沉积可能出现此消彼长态势,但长江南岸(如武昌地区)的沟谷雍塞湖(如东湖、梁子湖等)则呈稳定发育态势.

2 000多年来,汉水下游入江口几经变迁,历史时期汉水河口段的演变过程对汉口、汉阳地区的湖泊群形成、分布影响深刻(张修桂,1984;赵艳和杜耘,1998).唐和两宋时期,是汉水河口段从顺直河型演变为弯曲河型的一个过渡阶段,至今在河道两侧,还残留着许多自然裁弯所遗弃的牛轭湖痕迹.由于曲流的发育,汉水入江口有明显的向南摆动的趋势,主要表现为曲流的发育,水流动力轴线的变动所引起的汉水入江口门的迁徙(张修桂,1984).

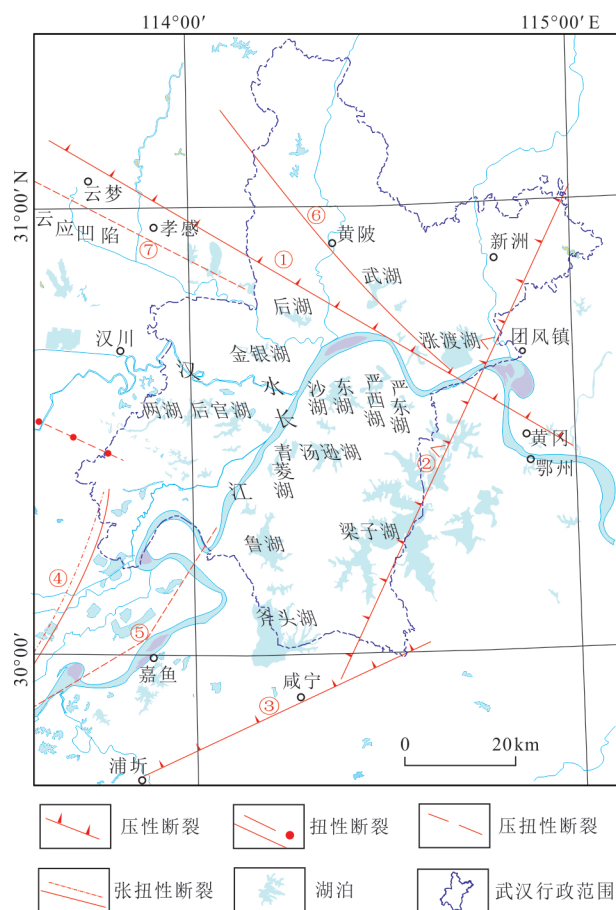


图1 武汉地区构造环境与湖泊分布图

Fig. 1 Outline map of tectonic environment and the distribution pattern of lakes in Wuhan Area

改自湖北省地质调查院(2003);①. 襄樊—广济断裂;②. 麻城—团风断裂;③. 咸宁—灵乡断裂;④. 沙湖—湘阴断裂;⑤. 武汉—嘉鱼断裂;⑥. 英店—青山口断裂;⑦. 三合断裂

明成化年间,舵落口至郭茨口(郭师口)段裁弯取直后,迂回约 40 km 的弯道成为废弃河道,牯牛洲上下两段的汉水故道,地势低洼蓄水成湖,称后湖,后淤浅和肢解,形成今日汉口北部湖泊众多的低洼平原景观(赵艳和杜耘,1998).与此同时,汉水龟山南分流由于汉水裁弯而断流,逐渐淤废为断续的牛軋湖,如潇湘湖、月湖港等,后因人为修筑堤防、围滩围湖垦殖,控制了水流,几乎完全消失(张修桂,1984),汉水逐渐固定在龟山北侧今南岸咀入江,南支故道则被填平为市,这种形势至今已有 500 多年历史(赵艳和杜耘,1998).

总之,由于长江、汉水河道极易受到洪水、裁弯取直、江心洲并岸等影响,导致武汉地区出现了河堤溃口湖(决口湖)、河间洼地湖、牛軋湖、河道遗迹湖(包括河道废弃湖与河道洲滩夹湖等)等,如青山的倒口湖为仅存的溃口湖,汉阳的夹河、武昌的沙湖、青菱湖均属于河道洲滩夹湖,汉口至东西湖地区为典型的河间洼地湖地形,历史时期曾经存在大型浅水湖泊(李长安等,2022),后由于血吸虫防治遭大规模填埋而消失殆尽(图 3).唐宋时期,武昌一侧的江心洲东城洲已成靠岸边滩,原先长江右支汉河道演变为近日沙湖、白杨湖、青山西侧断续河湖(张修桂,1984).因此,历史时期以来,在长期新构造掀斜抬升背景影响下,长江、汉水河道变迁与地貌过程对武汉地区湖泊成因演化影响深刻.

2.2 气候变化与湖泊演化

地质历史时期以来,长江中游地区气候波动十分显著,古水文气候变化对季风降水和全球气候变化响应敏感,东亚副热带西风急流、厄尔尼诺与南方涛动(ENSO)关联的副热带高压(WPSH)位置变化塑造了东亚季风环流格局及其降水分布,造就了长江中下游地区水文气候格局的非均质性和时空复杂性(Zhang *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2019; Xu *et al.*, 2020). 2 万年来,长江中游地区东亚夏季风演变及水文气候变化对流域湿地沉积、水资源分布及人类生产生活息息相关(顾延生等, 2009; Xie *et al.*, 2013; Huang *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2019, 2020, 2021).

由上可知,武汉地区湖泊的形成与河流地貌过程密切相关,沟谷壅塞湖是现存湖泊的主要类型,其形成演化与区域气候变化背景下的河海相互作用密切相关(李长安等, 2022). 2 万年来,气候变化对武汉地区湖泊形成演化的影响总体表现为 3 个阶段: (1) 20~15 cal ka BP 处于末次冰盛期(LGM),

气候寒冷,海平面处于最低位置(杨怀仁等, 1984; 顾延生等, 2009),研究区 Qp_{2-3} 时期堆积的网纹红土和下蜀土岗地遭广泛侵蚀,形成低洼的侵蚀洼地,为湖盆形成期(蔡述明和官子和, 1979; 李长安等, 2021); (2) 15.0~11.5 cal ka BP 为末次冰消期,为武汉地区湖泊雏形期,由于温度升高,降水增加,全球海平面开始快速上升,海平面迅猛上升与河流侵蚀基准面的抬升导致研究河湖沉积环境发生根本性变化,该时期出现的异常湿润气候环境对神农架亚高山泥炭发育和江汉平原地区湖相沉积产生了重要影响(杨怀仁等, 1984; 顾延生等, 2009; Zhang *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2019, 2020). 特别是 13 cal ka BP 以来,神农架地区亚高山泥炭湿地沉积发育(Liu *et al.*, 2019, 2021),江汉平原腹地由河流沉积环境向河湖交错的沉积环境转变(Gu *et al.*, 2012),东湖地区湖相沉积层开始发育并覆盖于 Qp_3 下蜀土侵蚀洼地之上(蔡述明和官子和, 1979; 李长安等, 2021),而梁子湖的湖相沉积层直接覆盖于 Qp_{2-3} 红土岗地的侵蚀洼地之上(Lee *et al.*, 2008),涨渡湖的河湖相沉积发育于 Qp_3 侵蚀洼地之上(杨青雄等, 2018); (3) 11.5 cal ka BP 至今为湖泊形成演化期,全新世气候变化经历了多个阶段的冷暖、干湿变化,湖泊水位和沉积环境也敏感响应了阶段性的水文气候变化. 约 3 cal ka BP 以来,武汉地区整体为湖泊沉积兴盛期(刘建华等, 2004; 林晓等, 2011; 杨青雄等, 2018).

2.3 近代人类活动与湖泊萎缩退化

武汉地区属于温暖多雨的亚热带季风气候,雨量丰富,气候暖热,可耕可渔,生活资料获得比较容易,宜于原始居民的生息,正是由于自然条件的优越性,历史时期以来,武汉地区人类生产与生活活动发展迅速. 作为张之洞推行洋务运动的重镇,武汉在清朝末期工业开始逐步发展,汉阳铁厂、湖北枪炮厂声名显赫. 新中国成立后,作为国家重点建设城市的武汉,一批批重大项目相继落户,武钢、武船、武重等武字头国有企业建成投产使武汉经济长期位居国内前四位.

近代以来,围湖、填湖是改变武汉市地貌景观的重要活动,其结果是湖泊大面积萎缩、破碎、消亡,东西湖的变迁就是个很有代表性的例子. 为了重现武汉地区近代湖泊演化过程,本文利用归一化水指数(normalized difference water index)对武汉地区(红色框区)近百年来 11 个时间点的湖泊水域面

表 1 近百年来(1927~2018 年)武汉地区湖泊数量与面积变化
Table 1 Changes in lake number and area in Wuhan in the past hundred years (1927-2018 AD).

年代(AD)	数量(个)	面积(km ²)	较 1927 变化量(km ²)	较 1927 变化率
1927	38	389.12		
1944	38	388.98	-0.13	0.00
1952	55	259.54	-129.58	-0.33
1960	65	208.80	-180.31	-0.46
1973	88	149.07	-240.05	-0.62
1983	76	152.08	-237.03	-0.61
1993	96	137.66	-251.45	-0.65
2003	82	115.45	-273.66	-0.70
2010	86	120.28	-268.83	-0.69
2014	85	108.22	-280.89	-0.72
2018	86	113.70	-275.42	-0.71

注:数据来源:中华民国十六年(1927)湖北省汉口地图(日军参谋本部陆地测量局 1927 年绘制);1944 年大武汉市地形图(湖北省政府 1944 年绘制);1952 年武汉市区全图(武汉市人民政府建设局 1952 年绘制);1960 年武汉市地图(武汉市勘测公司(现武汉市测绘研究院)1960 年绘制);1973,1983 年 Langsat-1-MSS 数据;1993,2003,2010 年 Langsat-5-TM 数据;2014,2018 年 Langsat-8-OLI 数据;地图统计 10 亩以上、遥感图统计 20 亩以上湖泊面积)

积进行了提取,获得不同时期湖泊面积变化分布图(图 2),受人类活动阶段性影响,武汉地区近代湖泊演化表现为 3 个阶段(图 3).

2.3.1 第 I 阶段(1927~1949AD):湖泊稳定存在期 清末张之洞任湖广总督时期,先后筑堤,围湖造田,奠定了武汉至今的城市发展轮廓.清末至解放前,武汉因水而兴,成为继上海之后的全国第二个工商业大城市.清道光二十年(1840),武汉三镇人口 30 万.民国时期,武汉被称为东方的芝加哥,1928 年人口达到 85.43 万,1935 年达到 128.73 万,1946 年人口达到 101.87 万(武汉地方志编纂委员会,1998).1927~1949 年,研究区内大小湖泊共 38 个,湖泊面积为 389.1 km² 左右,湖泊数量与面积在 1949 年以前均较为稳定,该时期研究区大湖众多,众多湖泊相互贯通,且江湖联系密切(图 2),旱涝发生频率较低(图 3).

2.3.2 第 II 阶段(1949~1978AD):大湖快速瓦解与萎缩期 1949 年以后,武汉地区人口快速增长,由 1949 年的 276.47 万增长至 1978 年的 548.29 万,与此同时,武汉地区湖泊逐渐退化,众多大湖不断瓦解,面积萎缩,湖泊由大到小,个体碎片零星分布,其中汉口一带湖泊瓦解尤为显著,东西湖受到治理血吸虫的影响而填湖消失.特别是 1952 年后,武汉地区湖泊在三次大规模的围垦运动中不断萎缩(Fang *et al.*, 2005),尽管湖泊数量增至 55 个,但湖泊面积已锐减至 259.6 km²,较 1927 年湖泊面积减少约 33%.1960 年大东湖区域江湖之间联系被切

断,东湖变成人为控制的内陆湖(图 2e).1973 年后,人口快速增长至 508.82 万,武汉地区湖泊加速萎缩,研究区内湖泊面积减至 149.1 km²,湖泊数量则增至 88 个.此时,东西湖地区的大湖景观已基本消失,以涨渡湖、武湖、鲁湖、青山北湖为主的远城区大湖遭受严重蚕食,湖泊主体不断变小,湖泊碎片化日益严重(图 2f).

综上,1949 年后,众多大湖快速瓦解、萎缩,湖泊面积锐减,其中东西湖区域尤为明显,人口增加、生产生活活动加剧了围湖、填湖进程.由于武汉地区湖泊数量、湖面(容)的锐减,使全市湖泊调蓄能力迅速下降,增加了洪涝、旱灾害的频度和影响范围,旱灾严重(图 3).同时,由于武钢、青山热电厂等的兴建,人口骤增,工厂废物及垃圾的抛填,使水面迅速减少,湖深不及建国初的一半,湖泊水体亦遭受污染.

2.3.3 第 III 阶段(1978 年至今):湖泊缓慢萎缩与污染退化期 由上可知,武汉地区大规模的围垦湖泊运动直到上世纪 70 年代末期才被禁止.此后,政府开始引导农民逐步调整用地结构,湖泊萎缩逐渐得到控制(黄进良,2001).但 1990 年以来,武汉城市建设迎来高潮,沌口、东湖开发区和吴家山台商投资开发区等建设成为城市稳步发展的新动力,在城市建设影响下湖泊开始再次萎缩.1983 年,研究区内湖泊数量为 76 个,湖泊面积为 152.08 km²(表 1).1993 年,研究区湖泊面积萎缩至 137.66 km²,而湖泊数量为 96 个.2003 年以来,随着《武汉市湖泊保护

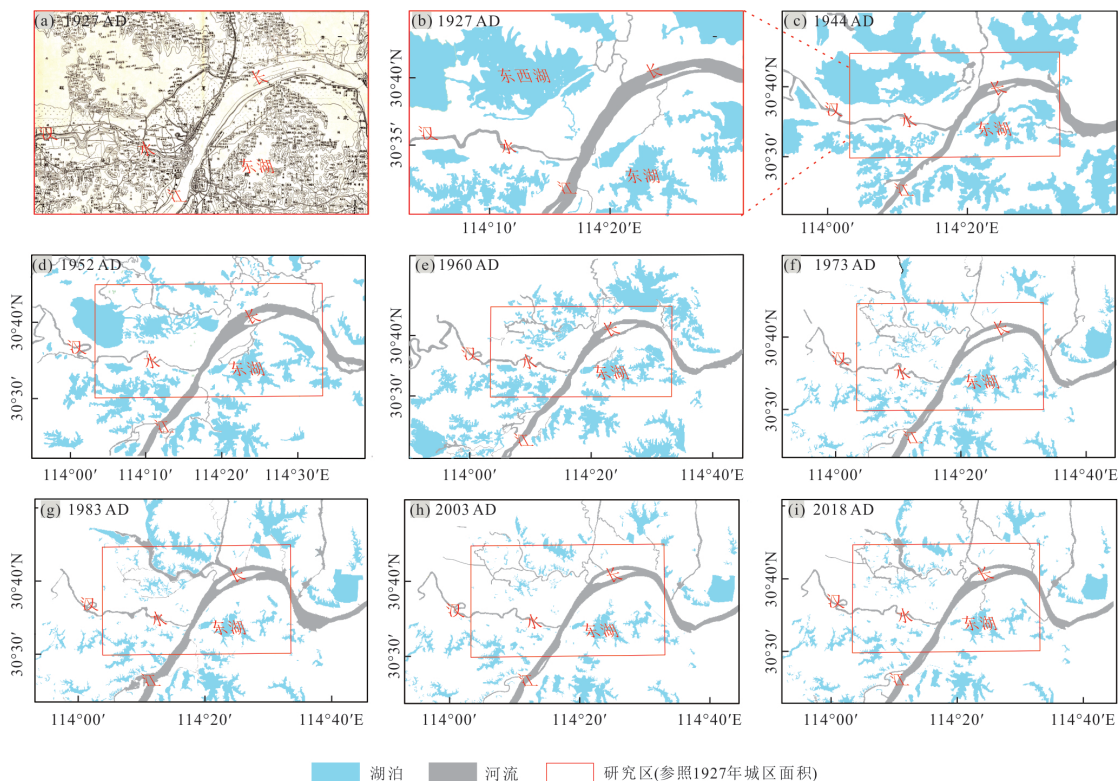


图2 近百年来(1927~2018年)武汉地区(红色框区)湖泊演化历史分布图

Fig. 2 Distribution picture of lake evolution history in Wuhan Area (red box area) in the recent century (1927-2018 AD)
底图来源: 中华民国十六年(1927)湖北省汉口地图(日军参谋本部陆地测量局1927年绘制); 1944年大武汉市地形图(湖北省政府1944年绘制); 1952年武汉市市区全图(武汉市人民政府建设局1952年绘制); 1960年武汉市地图(武汉市勘测公司(现武汉市测绘研究院)1960年绘制); 1973, 1983年 Langsat-1-MSS数据; 2003, 2010年 Langsat-5-TM数据; 2014, 2018年 Langsat-8-OLI数据

条例》的颁布施行,湖泊侵占得到有效控制,武汉地区湖泊数量与面积均保持较稳定水平,2003年研究区湖泊面积为115.45 km²,2018年研究区内湖泊数量为86个,湖泊面积为113.70 km². 与1973年相比,武汉近50年的发展中,四分之一的湖泊面积已完全消失,消失面积达258 km²(表1). 以东湖为例,作为武汉城区最大的城中湖,原为敞水湖泊,与沙湖相连,湖水紧贴青山江边,与长江相通,受长江水位涨落所制约. 清末以来随着余家湖的淤没和1958年青山武丰闸建成,东湖由天然湖泊变成为人工控制的城市内陆水系,人为活动对东湖影响日益剧增. 1927年至今,东湖面积从36.55 km²减少至29.61 km². 其中,建国后至20世纪70年代,东湖萎缩最为迅速. 此后,东湖进入一个缓慢的萎缩期和污染退化阶段. 20世纪50年代中后期东湖周边建设的一批国家重点企业的工业废水及生活污水排放对水生植物群落结构产生了一定影响,特别是20世纪80年代以来,生活污水的大量排放导致湖泊水体处于快速富营养化,湖泊生态系退化、水质恶化,由此产

生了一系列生态与环境问题(顾延生等,2008a).
丰富的水资源本是“百湖之市”武汉得天独厚的条件,但却使武汉陷入了“优于水而忧于水”的尴尬境地(汪常青等,2004). 近百年来,由于武汉地区湖泊数量、湖面(容)的锐减,改变了区域水分蒸发和降雨等,诱导了极端的灾害性天气,加剧了城市热岛效应(汪常青等,2004),旱洪涝灾害呈同步上升趋势(图3). 近50年来,由于武汉地区经济高速发展,生产和生活排污、流域覆盖改变和水产养殖等人类活动导致武汉地区部分湖泊重金属污染(乔胜英等,2005;段雪梅等,2007)和富营养化情况严重(顾延生等,2008a,2008b;Qin *et al.*, 2009;Chen *et al.*, 2022). 据2018年武汉市水资源公报显示:武汉市79个主要湖泊中水质达Ⅱ类的1个,水质为Ⅲ类的7个,水质为Ⅳ类的29个,水质为Ⅴ类的19个,水质为劣Ⅴ类的19个;轻度中营养湖泊10个,轻度富营养湖泊42个,中度富营养湖泊22个,5个湖泊为重度富营养状态(武汉市生态环境局,2012,2013,2014;武汉市水务局,2016,2017,2018). 值得一提

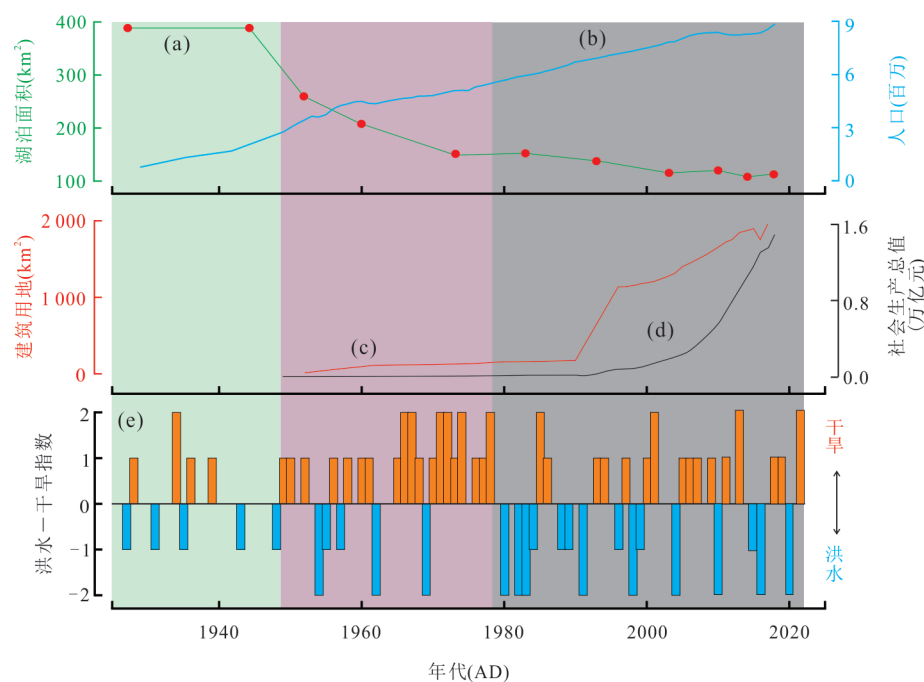


图3 近百年来武汉市人口、城区面积与湖泊面积变化统计

Fig. 3 Statistics of urban population, urban area and lake area in Wuhan in the past hundred years

a. 湖泊面积变化(1927~2018、参照1927年城区面积); b. 武汉市户籍人口变化(武汉地方志编纂委员会, 2010; 武汉市统计局, 2018); c. 武汉市建筑用地面积变化(武汉市城市规管理局, 1999; 杨欣和谢向向, 2020); d. 武汉市社会生产总值变化(武汉市统计局, 1989, 2018); e. 近百年来武汉市洪水干旱记录(刘志文等, 2014; Zhang *et al.*, 2019; 侯雨坤和耿川, 2022)

的是, 2016年以来, 武汉市人民政府坚持生态优先原则, 全面扎实落实“湖长制”, 拆除湖泊渔业“三无”(围网、拦网、网箱), 全面推行生态养殖模式, 为后期湖泊生态环境修复与治理创造了必要条件。

总之, 武汉地区湖泊萎缩与污染带来的生态退化与环境问题令人担忧, 湖泊的萎缩、衰退引起生态环境恶化, 它们反作用于城市生态安全, 带来诸多不良影响和损失。因此, 反思人湖关系, 建立良性的人湖关系显得尤为重要, 才能防患于未然(赵艳和杜耘, 1998; 顾延生等, 2008a, 2008b; Chen *et al.*, 2022)。

3 谈武汉创建“国际湿地城市”、打造“世界湿地之都”

长江流域有三大国家级城市群, 即长江三角洲城市群(上海为首)、中游城市群(武汉为首)和上成渝城市群。三大城市群的绿色发展是建设美丽长江的必要条件和亮点。长江经济带发展与“一带一路”建设和京津冀协同发展一起被党中央、国务院确立为三大发展战略。习近平同志要求把修复长江生态环境摆在压倒性位置, 共抓大保护, 不搞大开发。为了实现这一国家目标, 武汉应该敢为人先、独

树一帜, 尽快发挥领头羊作用。在国内一些城市纷纷申请加入国际湿地城市之际, 武汉应该超越这个目标, 充分发挥自身湖泊湿地的资源优势, 建成“世界湿地之都”, 才能实现跨越式发展, 为把长江建成“世界大河之样板”发挥典范作用。

武汉地区近百年来湖泊演化历史表明, 湖泊面积锐减、生态退化等问题已成为制约武汉城市快速发展的短板, 与湖泊相关的宝贵生态资源的消失关乎城市生态安全问题。为了更好创建“国际湿地城市”, 武汉还需继续发力, 进一步加大湿地生态保护和修复力度, 建立人、城市与湖泊湿地共生共融的武汉模式。在当前长江大保护和武汉城市发展转型的关键时期, 武汉市应努力创建好“国际湿地城市”, 全力打造“世界湿地之都”, 为了尽快实现由“国际湿地城市”向“世界湿地之都”的跨越式发展, 亟需顶层设计、完善湖泊生态保护、治理、管理与评价体系。

3.1 统筹规划山水林田湖草保护体系

在湖泊生态环境保护保护方面, 应充分吸收流域生态学思想, 才能全面实现流域生态保护。首先, 要控制湖岸三线(建筑控制红线、绿化控制绿线、水域保护蓝线), 实现从湖面保护向湖岸保护、流域保

护拓展.着力建设湖岸缓冲带、河流入湖交换带.改变以往统一固化湖岸、湖堤建设的单一工程景观,还湖岸自然地貌、生境多样性和生态多样性景观.其次,精准定位各类湖泊的服务功能及区划,结合武汉城市规划,开展主要湖区生态服务功能价值评估,明确主要湖区(城区、城郊、郊区)功能区划与定位.再次,严格管控入湖污染、养殖、旅游、围湖垦殖、水利工程等,推行全域湖泊定期监测、调查、评价,建立湖泊持久档案与科学管理机制.最后,在湖泊环境评价方面,需从单一水质评价向水生态完整性评价转变,整合物理栖息地、环境水质和生物组合特征形成综合评价指数来反映水生态系统健康状况,是流域水生态系统健康管理的重要手段.

3.2 污染、退化湖泊水体环境治理与生态恢复

抢救武汉湖泊资源,污染、退化湖泊水体生态环境改善及修复不容懈怠,让污染、退化湖泊早日恢复健康生态系统是当前最为关键的任务,也是建设“世界湿地之都”的先决.在污染、退化湖泊水体环境治理方面,需要把工程措施和生态治理充分结合.首先,需要实施污染源、营养盐等输入的顶端严格控制,对污染水体进行有序的净化与治理.其次,要有序进行相关的生态恢复工程,如恢复或重建环湖湿地保护带、恢复或重建入湖河流的河口湿地系统、湖岸带生态建设等.最后,在恢复水生生态系统恢复的过程中要求重建干扰前的物理条件,需要借鉴第四纪古湖沼学调查的湖泊自然本底信息,参考湖泊底泥中保存种子库和孢粉库资源,调整水和土壤中的化学条件,再植水体中的植物、动物和微生物群落.

3.3 建立湖泊健康管理的武汉范式

首先,在持久湖泊健康档案与科学管理机制方面,需杜绝急功近利的短视行为,推行目标湖泊定期监测、调查、评价系统,建立主要湖泊生态系统健康档案库.其次,设立全民爱湖日,推行湖长制和干部问责制,建立激励机制,鼓励公众、社会团体等参与湖泊生态保护与宣传,政府、学校和科研院所等是推动“全民爱湖、全民护湖”主要力量.再次,尊重湖泊形成演化的自然客观规律,需充分考虑中心城区至郊区湖泊在历史条件、人为干扰强度、演化趋势等方面的差异性(Chen *et al.*, 2022),实现湖泊资源合理开发利用与保护并举,使湖泊资源充分发挥作用.最后,需充分关注全球变化如温度、降水、酸雨、生物入侵等对湖泊生态系统的影响,掌握湖泊

演化的现状与趋势.

4 结论

2022年,武汉顺利进入第二批“国际湿地城市”名单,为了更好地建设“国际湿地城市”,需全面了解武汉地区湖泊形成演化历史和现状,才能有针对性提出湖泊生态保护与修复的战略规划.为此,本文从地质构造、河道演化、气候变化与人类活动对湖泊形成演化的影响方面全面阐述了武汉地区湖泊演化历史、现状及未来保护战略规划,主要取得以下认识:

(1)第四纪以来的新构造运动如沉降与拗陷为成湖创造了条件,末次冰消期以来的气候暖湿变化促进了研究区湖群的兴盛,特别是研究区主要湖泊类型沟谷雍塞湖群的发育.

(2)在第四纪新构造掀斜抬升背景影响下,历史时期以来,汉水下游河口段河道演化与地貌过程对汉口、汉阳地区的河间洼地湖、牛轭湖、河道遗迹湖等湖泊成因演化影响深刻.

(3)近代以来,增强的人类活动带来武汉地区湖泊快速萎缩、污染与生态退化问题,旱涝灾害加剧,深刻反思人湖关系,建立和谐共生的人湖关系显得尤为重要.

(4)在创建“国际湿地城市”的同时,武汉应该超越这个目标,充分发挥自身湖泊湿地的资源优势,建成“世界湿地之都”,提升国际地位.

总之,本文以武汉创建“国际湿地城市”、打造“世界湿地之都”为抓手,分析武汉湖泊生态保护的瓶颈,建议强化湖泊生态环境保护、治理与管理体系统,加强顶层设计,实现跨越式发展.本文研究结果不仅为武汉打造“世界湿地之都”提供佐证,且为深入实施长江大保护战略与武汉高质量发展提供了决策参考.

References

- Cai, S. M., Guan, Z. H., 1979. Study on Lake Geology (Quaternary Period) of East Lake in Wuhan: Discussion on the Origin of East Lake and the Question of Ancient Yunmeng Lakes. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 10(4): 383–394 (in Chinese with English abstract).
- Chen, X., Liang, J., Zeng, L. H., et al., 2022. Heterogeneity in Diatom Diversity Response to Decadal Scale Eutrophication in Floodplain Lakes of the Middle Yangtze Reaches. *Journal of Environmental Management*, 322(8): 116164.

- <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116164>
- Fang, J. Y., Rao, S., Zhao, S. Q., 2005. Human-Induced Long-Term Changes in the Lakes of the Jiangnan Plain, Central Yangtze. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 3(4): 186—192. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2005\)003\[0186:hlcitl\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2005)003[0186:hlcitl]2.0.co;2)
- Gu, Y. S., Qiu, H. O., Xie, S. C., et al., 2008b. Lake Sediment Records for Eutrophication History in Response to Human Activity during Recent Century in the Liangzi Lake, Hubei Province. *Earth Science*, 33(5): 678—685 (in Chinese with English abstract).
- Gu, Y. S., Wang, H. L., Huang, X. Y., et al., 2012. Phytolith Records of the Climate Change since the Past 15 000 Years in the Middle Reach of the Yangtze River in China. *Frontiers of Earth Science*, 6(1): 10—17. <https://doi.org/10.1007/s11707-012-0302-6>
- Gu, Y.S., Guan, S., Ma, T., et al., 2018. Quaternary Sedimentary Environment Documented by Borehole Stratigraphical Records in Eastern Jiangnan Basin. *Earth Science*, 43(11): 3989—4000 (in Chinese with English abstract).
- Gu, Y.S., Li, X.Y., Qiu, H.O., et al., 2008a. Sediments Records of Eutrophication History in the Donghu Lake, Wuhan, over the Past 100 Years. *Ecology and Environment*, 17(1): 35—40 (in Chinese with English abstract).
- Gu, Y.S., Qiu, H.O., Xie, S.C., et al., 2008b. Lake Sediment Records for Eutrophication History in Response to Human Activity during Recent Century in the Liangzi Lake, Hubei Province. *Earth Science*, 33(5): 678—685 (in Chinese with English abstract).
- Hou, Y.K., Geng, C., 2022. Analysis and Study on the Historical Evolution of Drought and Flood Changes and Sudden Water Resources in Wuhan. *China's Rural Water Resources and Hydropower Station*, (2): 110—116 (in Chinese with English abstract).
- Huang, J.L., 2001. Historical Thought on Land exploitation in Recent 500 Years in Jiangnan Plain. *Journal of Central China Normal University (Natural Science)*, 35(4): 485—488 (in Chinese with English abstract).
- Huang, X. Y., Pancost, R. D., Xue, J. T., et al., 2018. Response of Carbon Cycle to Drier Conditions in the Mid-Holocene in Central China. *Nature Communications*, 9(1): 1369. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03804-w>
- Institute of Hubei Geology Survey, 2003. An Evaluation Report on the Flooding Areas of Environmental Geological Investigation in the Jingjiang River and Jiangnan Plains in the Middle Reaches of the Yangtze River. Institute of Hubei Geological Survey, Wuhan (in Chinese).
- Lee, C. S. L., Qi, S. H., Zhang, G., et al., 2008. Seven Thousand Years of Records on the Mining and Utilization of Metals from Lake Sediments in Central China. *Environmental Science & Technology*, 42(13): 4732—4738. <https://doi.org/10.1021/es702990n>
- Li, C. A., 1998. Effect of Tilted Uplift of Tongbai-Dabie Mountains on Middle Yangtze River Environment. *Earth Science*, 23(6): 562—566 (in Chinese with English abstract).
- Li, C.A., Zhang, Y.F., Li, G.Q., 2022. Genetic Classification of Lakes in Wuhan Based on River and Lake Geological Process. *Earth Science*, 47(2): 577—588 (in Chinese with English abstract).
- Li, C.A., Zhang, Y.F., Li, G.Q., et al., 2021. Formation of Wuhan East Lake. *Earth Science*, 46(12): 4562—4572 (in Chinese with English abstract).
- Lin, X., Lu, J.Y., Tian, W. X., et al., 2011. Sedimentary Environment and Palaeoclimate Changes Reflected by Quaternary Sediments of the Bore ZK25 in Dongxihu District of Wuhan City. *Geological Science and Technology Information*, 30(3): 33—40 (in Chinese with English abstract).
- Liu, H. Y., Gu, Y. S., Huang, X. Y., et al., 2019. A 13,000-Year Peatland Palaeohydrological Response to the ENSO-Related Asian Monsoon Precipitation Changes in the Middle Yangtze Valley. *Quaternary Science Reviews*, 212(1): 80—91. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.03.034>
- Liu, H. Y., Gu, Y. S., Qin, Y. M., et al., 2021. The Elemental Enrichments at Dajihu Peatland in the Middle Yangtze Valley in Response to Changes in East Asian Monsoon and Human Activity since 20,000 cal yr BP. *Science of The Total Environment*, 757(4—7): 143990. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143990>
- Liu, H. Y., Gu, Y. S., Yu, Z. C., et al., 2020. Holocene Peatland Water Regulation Response to ~1 000-Year Solar Cycle Indicated by Phytoliths in Central China. *Journal of Hydrology*, 589(5): 125169. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125169>
- Liu, J.H., Qi, S.H., Zhang, G., et al., 2004. Response of the n-Alkanes and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Records in Sediments from Lake Liangzi to the Environmental change. *Geochimica*, 33(5): 501—506 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Z.W., Li, Z.S., Pan, H., et al., 2014. Analysis of the Causes of Drought in Wuhan. *Science and Technology Innovation Guide*, (30): 91—92 (in Chinese with English abstract).
- Luo, X.J., 2013. On the History of Tectonic Evolution and Karstification in Wuhan. *Carsologica Sinica*, 32(2): 195—

- 202(in Chinese with English abstract).
- Qiao, S.Y., Jiang, J.Y., Xiang, W., et al., 2005. Distribution of Heavy Metals in Sediments in Lake in Wuhan with Assessment on Their Potential Ecological Risk. *Resources and Environment of the Yangtze River Basin*, 14 (3): 353—357 (in Chinese with English abstract).
- Qin, Y. M., Booth, R. K., Gu, Y. S., et al., 2009. Testate Amoebae as Indicators of 20th Century Environmental Change in Lake Zhangdu, China. *Fundamental and Applied Limnology*, 175(1): 29—38. <https://doi.org/10.1127/1863-9135/2009/0175-0029>
- Wang, C., Ma, L., Zhang, Y., et al., 2021. Spatiotemporal Dynamics of Wetlands and their Driving Factors Based on PLS-SEM: A Case Study in Wuhan. *Science of The Total Environment*, 806: 151310. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151310>
- Wang, C.Q., Wu, Y.H., Liu, J.T., 2004. Quality Status in Urban Lake Water in Wuhan City with Integrated Approaches on Restoration. *Resources and Environment of the Yangtze River Basin*, (5): 499—502 (in Chinese with English abstract).
- Wang, W. F., Ndungu, A. W., Li, Z., et al., 2017. Microplastics Pollution in Inland Freshwaters of China: A Case Study in Urban Surface Waters of Wuhan, China. *Science of The Total Environment*, 575(39): 1369—1374. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.213>
- Wuhan Ecology and Environment Bureau. 2012. Wuhan Environmental Status Bulletin in 2011. http://hbj.wuhan.gov.cn/fbjd_19/xxgkml/zwgk/hjjc/hjzkgb/202004/t20200424_1110621.html. Citation Date 2022-08-05 (in Chinese).
- Wuhan Ecology and Environment Bureau. 2013. Wuhan Environmental Status Bulletin in 2012. http://hbj.wuhan.gov.cn/fbjd_19/xxgkml/zwgk/hjjc/hjzkgb/202004/t20200424_1110631.html. Citation Date 2022-08-05 (in Chinese).
- Wuhan Ecology and Environment Bureau. 2014. Wuhan Environmental Status Bulletin in 2013. http://hbj.wuhan.gov.cn/fbjd_19/xxgkml/zwgk/hjjc/hjzkgb/202004/t20200424_1110634.html. Citation Date 2022-08-05 (in Chinese).
- Wuhan Local Chronicle Compilation Committee, 1998. Concise Readings of Wuhan Municipal Chronicle. Wuhan Publishing House, Wuhan (in Chinese).
- Wuhan Local Chronicle Compilation Committee, 2010. Concise Readings of Wuhan Municipal Chronicle. Wuhan Publishing House, Wuhan (in Chinese).
- Wuhan Statistics Bureau, 1989. Forty Years in Wuhan: 1949—1989. Wuhan University Press, Wuhan (in Chinese).
- Wuhan Statistics Bureau. 1958—2018. Wuhan Statistical Yearbook (1995—2018). China Statistics Press, Beijing (in Chinese).
- Wuhan Statistics Bureau. 2018. Wuhan Statistical Yearbook (2018). China Statistics Press, Beijing (in Chinese).
- Wuhan Urban Planning Administration, 1999. Chronicle of City Planning in Wuhan. Wuhan: Wuhan Publish House (in Chinese).
- Wuhan Water Resources Bureau, 2014. Wuhan Lake Chronicle. Hubei Art Press, Wuhan (in Chinese).
- Wuhan Water Resources Bureau, 2016. Wuhan Water Resources Bulletin in 2015. http://swj.wuhan.gov.cn/szy/202004/t20200427_1129148.html. Citation Date 2022-08-05 (in Chinese).
- Wuhan Water Resources Bureau, 2017. Wuhan Water Resources Bulletin in 2016. http://swj.wuhan.gov.cn/szy/202004/t20200427_1129145.html. Citation Date 2022-08-05 (in Chinese).
- Wuhan Water Resources Bureau, 2018. Wuhan Water Resources Bulletin in 2017. http://swj.wuhan.gov.cn/szy/202004/t20200427_1129144.html. Citation Date 2022-08-05 (in Chinese).
- Xie, G.L., Rao, Y.Y., Jiang, L.Z., et al., 1993. Evaluation of Neotectonic Movement and Stability of Wuhan Area. Crustal Deformation and Earthquake, 13 (3): 59—65 (in Chinese with English abstract).
- Xie, S. C., Evershed, R. P., Huang, X. Y., et al., 2013. Concordant Monsoon - Driven Postglacial Hydrological Changes in Peat and Stalagmite Records and their Impacts on Prehistoric Cultures in Central China. *Geology*, 41(8): 827—830. <https://doi.org/10.1130/g34318.1>
- Xu, H., Goldsmith, Y., Lan, J.H., et al., 2020. Juxtaposition of Western Pacific Subtropical High on Asian Summer Monsoon Shapes Subtropical East Asian Precipitation. *Geophysical Research Letters*, 47(3): e2019GL084705. <https://doi.org/10.1029/2019gl084705>
- Xu, R.H., Qi, G.F., Yang, L.M., 1988. Research on Quaternary Geology and Neotectonic Movement in Wuhan Area. *Journal of Hubei University (Natural Science)*, 10 (2): 93—101 (in Chinese with English abstract).
- Yang, H.R., Xie, Z.R., 1984. Sea-Level Changes along the East Coast of China over the Last 20, 000 Years. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 15(1): 1—13 (in Chinese with English abstract).
- Yang, Q.X., Feng, W., Du, X.F., et al., 2018. Grain-Size Magnetic Susceptibility and Sporopollen Assemblage Characteristics and Sedimentary Environment Change of ZK04-1 Core in Wuhan Zhangdu Lake. *Resources Environment & Engineering*, 32(3): 335—339 (in Chinese with English abstract).

- Yang, X., Xie, X.X., 2020. Kuznets Curve Empirical Analysis of Wuhan Construction Land Expansion and Carbon Emission Effect. *Journal of Huazhong Agricultural University*, (4):158—165, 182 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, H., Griffiths, M.L., Chiang, J.C.H., et al., 2018. East Asian Hydroclimate Modulated by the Position of the Westerlies during Termination i. *Science*, 362(6414): 580—583. <https://doi.org/10.1126/science.aat9393>
- Zhang, Q.H., Dong, X.H., Yang, X.D., 2019. Hydrologic and Anthropogenic Influences on Aquatic Macrophyte Development in a Large, Shallow Lake in China. *Freshwater Biology*, 64(4): 799—812. <https://doi.org/10.1111/fwb.13263>
- Zhang, X.G., 1984. Historical Evolution of Hanjiang Estuary Section and Its Influence on Hankou Section of the Yangtze River. *Journal of Fudan University (Social Science)*, (3): 29—39(in Chinese with English abstract)..
- Zhao, Y., Du, Y., 1998. Human Activity and Natural Geographical Environment of Wuhan City The Change of River and Transformation of Business Centre of Wuhan City. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 7(3): 278—283 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, Y. X., Wang, S. M., Wu, R. J., 1998. Sedimentologic Evidence for Date of Southward Moving of the Yangtze River in the Jiangnan Plain since the Holocene. *Chinese Science Bulletin*, 43(8): 659—662. <https://doi.org/10.1007/bf02883570>
- 附中文参考文献**
- 蔡述明,官子和,1979.武汉东湖湖泊地质(第四纪)研究——有关东湖成因和古云梦泽问题的讨论.海洋与湖沼学报,10(4):383—394.
- 段雪梅,胡守云,杨涛,2007.武汉市汤逊湖沉积物重金属垂向变化的磁响应特征及环境意义.第四纪研究,2007,27(6): 1105—1112.
- 顾延生,葛继稳,黄俊华,等,2009.2万年来气候变化——人类活动与江汉湖群演化.北京:地质出版社.
- 顾延生,管硕,马腾,等,2018.江汉盆地东部第四纪钻孔地层与沉积环境.地球科学,43(11):3989—4000.
- 顾延生,李雪艳,邱海鸥,等,2008a.100年来东湖富营养化发生的沉积学记录.生态环境,17(1):35—40.
- 顾延生,邱海鸥,谢树成,等,2008b.湖北梁子湖近代沉积记录对人类活动的响应.地球科学,33(5):679—686.
- 侯雨坤,耿川,2022.武汉市水资源旱涝变化及其急转情况历史演变分析研究.中国农村水利水电,(2): 110—116.
- 湖北省地质调查院,2003.长江中游荆江及江汉平原水患区环境地质调查评价成果报告.武汉:湖北省地质调查院.
- 黄进良,2001.近500年江汉平原湖区土地开发的历史反思.华中师范大学学报:自然科学版,35(4):485—488.
- 李长安,1998.桐柏—大别山掀斜隆升对长江中游环境的影响.地球科学,23(6):562—566.
- 李长安,张玉芬,李国庆,2022.基于河湖地质过程的武汉市湖泊的成因划分.地球科学,47(2):577—588.
- 李长安,张玉芬,李国庆,等,2021.武汉东湖是如何形成的?地球科学,46(12):4562—4572.
- 林晓,卢佳仪,田望学,等,2011.武汉东西湖区第四系钻孔的沉积环境及古气候变化.地质科技情报,2011,30(3):33—40.
- 刘建华,祁士华,张干,等,2004.湖北梁子湖沉积物正构烷烃与多环芳烃对环境变迁的记录.地球化学,33(5):501—506.
- 刘志文,李正珊,潘卉,等,2014.武汉市旱情成因分析与对策探讨.科技创新导报,(30):91—92.
- 罗小杰,2013.试论武汉地区构造演化与岩溶发育史.中国岩溶,32(2):195—202.
- 乔胜英,蒋敬业,向武,等,2005.武汉地区湖泊沉积物重金属的分布及潜在生态效应评价.长江流域资源与环境,14(3): 353—357.
- 汪常青,吴永红,刘剑彤,2004.武汉城市湖泊水环境现状及综合整治途径.长江流域资源与环境,(5): 499—502.
- 武汉地方志编纂委员会,1998.武汉市志—总类志.武汉:武汉大学出版社.
- 武汉地方志编纂委员会,2010.武汉市志简明读本.武汉:武汉出版社.
- 武汉市城市管理局,1999.武汉市城市规划志.武汉:武汉出版社.
- 武汉市生态环境局,2014.2013年武汉市环境状况公报.http://hbj.wuhan.gov.cn/fbjd_19/xxgkml/zwgk/hjjc/hjzkgb/202004/t20200424_1110634.html.引用日期 2022-08-05.
- 武汉市生态环境局,2012.2011年武汉市环境状况公报.http://cn.chinagate.cn/infocus/2012-06/08/content_25601169_3.htm.引用日期 2022-08-05.
- 武汉市生态环境局,2013.2012年武汉市环境状况公报.http://hbj.wuhan.gov.cn/fbjd_19/xxgkml/zwgk/hjjc/hjzkgb/202004/t20200424_1110631.html.引用日期 2022-08-05.
- 武汉市水务局,2014.武汉湖泊志.武汉:湖北美术出版社.
- 武汉市水务局,2016.2015年武汉市水资源公报.http://swj.wuhan.gov.cn/szy/202004/t20200427_1129148.html.引用日期 2022-08-05.
- 武汉市水务局,2017.2016年武汉市水资源公报.http://swj.wuhan.gov.cn/szy/202004/t20200427_1129145.html.引用日期 2022-08-05.
- 武汉市水务局,2018.2017年武汉市水资源公报.http://swj.wuhan.gov.cn/szy/202004/t20200427_1129144.html.引用日期 2022-08-05.
- 武汉市统计局,1989.武汉四十年1949—1989.武汉:武汉大学出版社.

武汉市统计局, 2018. 武汉统计年鉴(1995—2018). 北京:中国统计出版社, 1995—2018.

谢广林, 饶扬誉, 蒋蔺珍, 等, 1993. 武汉地区新构造运动与区域稳定性评价. 地壳形变与地震, 13(3):59—65.

徐瑞瑚, 齐国凡, 杨礼茂, 1988. 武汉地区第四纪地质与新构造运动的研究. 湖北大学学报(自然科学版), 10(2):93—101.

杨怀仁, 谢志仁, 1984. 中国东部近 20000 年来的气候波动与海面升降运动. 海洋与湖沼, 15(1): 1—13.

杨青雄, 冯稳, 杜小锋, 等, 2018. 武汉涨渡湖 ZK04-1 钻孔沉积物粒度、磁化率、孢粉组合特征及其环境演变. 资源环境与工程, 32(3):335—339.

杨欣, 谢向向, 2020. 武汉市建设用地扩张与碳排放效应的库兹涅茨曲线分析. 华中农业大学学报, (4):158—165, 182.

张修桂, 1984. 汉水河口段历史演变及其对长江汉口段的影响. 复旦学报(社会科学版), (3):29—39.

赵艳, 杜耘, 1998. 武汉市河道变迁与商业中心的转移. 华中师范大学学报:自然科学版, 32(2):241—245.

新书推荐:《地球的过去与未来》

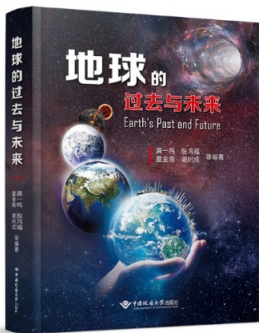
由中国地质大学(武汉)龚一鸣(国家级教学名师)、殷鸿福(中国科学院院士)、童金南(国家杰出青年科学基金获得者)和谢树成(中国科学院院士)教授领衔编著的《地球的过去与未来》已于 2023 年 5 月在中国地质大学出版社出版发行。

本书是同名国家精品视频公开课(2013 年上线)的纸质升级扩展版教材兼科普读物, 由绪论(第 1 章)、总论(第 2~3 章)、分论(第 4~8 章)和结束语(第 9 章)4 个部分构成。全书包含 274 幅插图(其中彩图 246 幅)、26 个表、190 个知识点、75 道思考题。

本书集科学性、系统性、通俗性和趣味性于一体, 试图实现线上与线下教学资源通融、科学内容互融、教学方式兼融、教学效果共融的目标。本书立足基础、兼顾前沿, 以介绍基本的地球科学知识和解读地球史的原理与方法为基础, 从地球系统科学的角度, 聚焦生物圈、大气圈、水圈和岩石圈的形成与演化及其耦合关系, 并试图回答 3 个问题:你(地球和人类)是谁?你从何而来?你将向何处去?

本书可作为大学地学类通识课教材, 也可作为大学学生、教师、管理人员和科技工作者以及具有一定科学和文化素养的社会大众的地学类科普读物。

全书共 500 余页, 为提高清晰度, 达到更舒适的阅读体验, 并保证频繁使用情况下的牢固性, 采用纯质纸全彩四色印刷、锁线装订, 为惠及广大的大学生群体和读者, 定价仅为 86 元, 且出版社购书平台目前 8 折销售。



图书封面立体图



购买链接



图书详情