

# 白洋淀漕河全新世早期古洪水事件的沉积特征及气候背景

王燕校, 王永, 姚培毅, 田飞, 袁路朋, 叶梦旒

(中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

**摘要:** 古洪水沉积物是研究地史时期极端降水事件和古环境演化的重要载体。基于地质记录开展古洪水重建研究, 可以为揭示区域洪水历史过程及机制提供依据, 对水资源利用和工程建设等具有重要的现实意义。本文以漕河古河道北岸出露较好的李迪城村剖面为研究对象, 综合地层序列、野外沉积特征、沉积构造及沉积物粒度分析, 对白洋淀地区漕河古河道沉积记录的古洪水事件进行了识别, 发现该剖面具有以下主要特征: 古洪水沉积层与下伏地层存在明显的冲刷侵蚀面, 沉积体形态呈透镜状, 由泥砾、炭屑、双壳类及灰黑色粉细砂混杂组成, 发育中小型交错层理; 洪水沉积物粒度指标(中值粒径、砂含量、黏土/粉砂值及 Q90)表现为高值, 以细砂为优势组分, 含混杂的粉砂及少量黏土, 分选较差; 古洪水沉积层中古树与双壳类集中埋藏, 呈定向排列, 其指示的方向与遥感影像揭示的古河道方向一致。通过该剖面沉积特征及地层 AMS  $^{14}\text{C}$  年代分析, 确定漕河在全新世早期约 10.8~9.6 ka BP 发生了 4 期古洪水事件, 这 4 期古洪水事件可以与该时期华北地区其它古洪水事件进行对比。当时正值全新世早期, 东亚夏季风增强, 为气温和降水频繁波动上升时期, 据此推断白洋淀地区全新世早期的古洪水事件是当时气候背景下的产物。

**关键词:** 古洪水; 河流沉积物; 粒度; 全新世; 白洋淀

中图分类号: P539.6

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2022)05-0916-13

## Sedimentary characteristics and climatic background of early Holocene paleoflood events in Caohe, Baiyangdian

WANG Yan-xiao, WANG Yong, YAO Pei-yi, TIAN Fei, YUAN Lu-peng and YE Meng-ni

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

**Abstract:** Paleoflood sediment is an important carrier to study extreme precipitation events and paleoenvironmental evolution in geological history. The study of paleoflood reconstruction based on geological records can provide basis for revealing the historical process and mechanism of regional flood, and has important practical significance for water resources utilization and engineering construction. In this paper, the Lidicheng village profile, which is well exposed on the north bank of the ancient channel of Caohe River, is taken as the research object. Based on the analysis of stratigraphic sequence, field sedimentary characteristics, sedimentary structure and sediment grain size, the ancient flood events recorded by the ancient channel of Caohe River in Baiyangdian area are identified. It is found that the profile has the following main characteristics: there are obvious scouring and erosion surfaces between the

收稿日期: 2022-03-29; 接受日期: 2022-05-24; 编辑: 郝艳丽

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目 (DD20189629, DD20221648)

作者简介: 王燕校 (1995-), 女, 硕士研究生, 第四纪地质学专业, E-mail: wangyanxiao95@163.com; 通讯作者: 王永 (1968-), 男, 博士, 研究员, E-mail: wangyong@cags.ac.cn。

网络首发时间: 2022-06-06; 网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1966.p.20220601.1343.002.html>

paleoflood sedimentary layers and the underlying strata, and the sedimentary body is lenticular in shape, which is composed of muddy gravel, charcoal fragments, bivalves and grayish black silt-fine sand, and medium- and small-sized cross-bedding is developed; The grain size indexes of flood sediment (median grain size, sand content, clay/silt and Q90) have high values, with fine sand as the dominant component, mixed silt and a small amount of clay, and poorly sorted; Ancient trees and bivalves are intensively buried in the paleoflood sediments in a directional arrangement, and the direction is consistent with that of ancient river channels revealed by remote sensing images. Based on the sedimentary characteristics of the profile and AMS  $^{14}\text{C}$  age analysis, it is determined that four paleoflood events occurred in Caohe at about 10.8~9.6 ka BP in the early Holocene, which can be compared with other paleoflood events in North China during this period. It is inferred that the paleoflood events in Baiyangdian area were the product of the climate in the early Holocene. At that time, the East Asian summer monsoon was strengthened, with frequent fluctuations in temperature and precipitation.

**Key words:** paleoflood; fluvial sediments; grain size; Holocene; Baiyangdian

**Fund support:** Project of China Geological Survey(DD20189629, DD20221648)

我国是世界上洪水灾害频发且影响范围较广泛的国家之一(李炳元等, 1996; 朱晓华, 1999)。近几十年来, 我国北方地区极端天气频发, 如发生在1963年8月(朱晓华, 1999)、1998年8月(徐霞等, 2000)和2012年7月(Zhou *et al.*, 2013)等的洪灾造成了巨大的生命和财产损失。由于洪水的突发性和严重性, 对洪水过程和规律的研究十分重要。国外学者对古洪水进行了大量研究, 并在沉积特征、水文重建及年代框架等方面取得了一系列的研究成果(Baker, 1987; Thorndycraft and Benito, 2006a, 2006b), 并发现古洪水事件与气候变化的敏感性具有一定的联系(Ely *et al.*, 1993; Knox, 2000; Benito *et al.*, 2003a, 2003b)。通过对古洪水事件进行研究, 可以将全球气候变化与河流系统中的极端事件建立长期尺度联系(Huang *et al.*, 2010)。20世纪80年代开始, 我国学者陆续在长江、黄河和淮河流域及其支流的基岩峡谷河段开展了基于滞流沉积物的古洪水研究, 并取得了一系列的研究成果(Huang *et al.*, 2002a, 2002b, 2010; Guo *et al.*, 2018; 李晓刚等, 2020)。然而由于受地形地貌及沉积过程的控制, 在冲积平原的河流沉积中不易保存和识别滞流沉积物, 因而难以确定洪水的年代和期次。

华北平原由多条河流的洪水、河道变化和长期淤积形成(Xu *et al.*, 1996), 全新世以来的古河道分布密集(吴忱等, 1986; Wu *et al.*, 1996b; 赵红梅等, 2021)。近年来在北京平原、河北平原古大洋开展了全新世古洪水的识别及气候演化过程研究, 仍存在不同的认识(张义丰, 1984; 袁宝印等, 2002)。白洋淀位于华北平原中部, 入淀河流主要

发源于太行山区, 河流汇水速度快, 洪水事件频发(吴忱等, 1986; Xu *et al.*, 1996), 是研究古洪水的理想场所。但由于器测资料时间的局限性, 全新世以来长时间尺度古洪水事件的记录还没有建立。一区域内洪水资料的缺乏, 制约了对不同时期和不同流域洪水事件发育过程及其演化规律的认识。更多剖面的沉积记录将扩展古洪水事件的时空范围, 提高对古洪水过程及机制的认识(Hall *et al.*, 2014; Merz *et al.*, 2014; 张鹏等, 2020)。笔者在白洋淀漕河流域进行地貌及第四纪地质调查时, 于安新县李迪城村(N 38°53'42.52", E 115°44'33.19")发现了全新世早期古洪水沉积记录, 为白洋淀的古洪水事件研究提供了良好的材料。本文选定漕河古河道北岸出露的李迪城村剖面, 综合沉积特征、AMS  $^{14}\text{C}$ 年代学及沉积物环境指标, 初步厘定了古洪水的起讫时间及发生期次, 并对古洪水发生的气候背景进行了探讨。古洪水事件的识别和期次的划分, 可为重建白洋淀地区长时间尺度的洪水序列、揭示古洪水的历史过程及发生规律提供资料, 从而为白洋淀流域工程建设及防洪减灾提供科学依据。

## 1 研究区域概况

白洋淀位于雄安新区境内, 是保定市和沧州市交界的143个大小淀泊的总称。白洋淀处在华北平原中部, 总面积366 km<sup>2</sup>, 平均年蓄水量13.2×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 是大清河中游的天然调蓄湖泊(图1)。它主要接纳瀑河、唐河、漕河、潴龙河等9条较大的河流入湖, 上游水源来自太行山, 后经赵王新河, 汇入大

清河。研究区气候属暖温带大陆性季风气候,降水集中在夏季,年均温 12.1℃,年平均降水量在 547 mm(Wu *et al.*, 1996a, 1996b)。白洋淀的形态轮廓和沉积特征受新生代以来的差异性断陷下沉的影响(何乃华等, 1994)。白洋淀为太行山东麓的永定河冲积扇与滹沱河冲积扇相夹持的低洼地带,这种浅盘式的湖泊洼地,使得其积水少而浅,大水成灾,

小水淀干(Wu *et al.*, 1996a, 1996b)。漕河是白洋淀的主要入淀河流之一,属海河流域大清河的南支流(图 1a),发源于保定市易县境内太行山脉的五回岭,原为徐河的支流,在漕河镇汇入徐水,始称漕河,后改流汇入府河,入藻苈淀(属白洋淀),全长 120 km,流域面积 800 km<sup>2</sup>,常年流量 15~40 m<sup>3</sup>/s,年输沙量 8.16×10<sup>4</sup> t(王成俊, 1960)<sup>①</sup>。

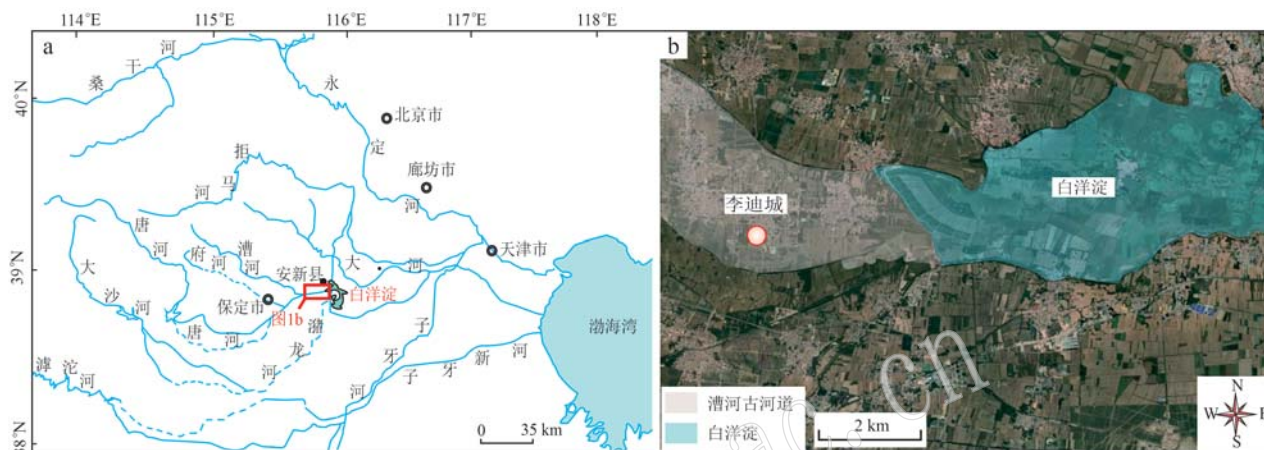


图 1 白洋淀流域水文概况图(a)和李迪城剖面古河道遥感影像图(b)

Fig. 1 Hydrological overview map of Baiyangdian watershed (a) and remote sensing image of ancient river channel in Lidicheng profile (b)

## 2 剖面描述

野外详细考察了白洋淀入淀河流的多个河段,在安新县李迪城村的漕河古河道边发现了出露较好的沉积剖面。该剖面(38°53'42.52"N, 115°44'33.19"E)位于李迪城村东南 1 km、漕河李迪城村河段的北岸 1.2 km(图 1b),为人工开挖的取土大坑。剖面厚度达 535 cm,根据沉积物颜色、粒度、结构构造等特点,可自下而上可划分为 16 层(图 2)。剖面全貌见图 3a。

剖面底部(1层):褐色粉砂。厚 30 cm。

剖面下段(2~9层):黑灰、灰色粉砂-砂,分选较差,其中第 2 层与下伏沉积存在水流冲刷形成的侵蚀面,沉积体的形态呈透镜状,泥砾、炭屑、双壳类与灰黑色的含黏土粉砂层混杂(图 3e),发育小型交错层理(图 3f);2~4 层发育不等厚的黑灰色粉砂-细砂与薄层黄色粉砂互层,含泥砾;第 5 层发育黄

色细砂-粉砂层;第 6~7 层发育厚层砂,粒度向上由细砂-粉砂过渡为细砂;第 7 层中含许多大小不一且定向排列的古树(图 3b),6~7 层顶部有炭屑分布(图 3c);8 层含破碎的丽蚌碎片。厚 285 cm。

剖面中段(10~11层):黑褐色的粉细砂-含黏土粉砂,10 层顶部及 11 层含螺。厚 60 cm。

剖面上段(12~16层):黄褐色含黏土粉砂到细砂-粉砂的旋回,第 12 层为褐黄色粉砂-细砂,含螺和钙质结核。厚 160 cm。

古树产出于剖面中下部的灰色细砂层(图 3b),埋藏深度为 295~365 cm。古树产出以树干为主,枝干顶端尖锐,横截面较破碎,树干直径大小不等,其中已发现直径最大约 38 cm,最小 2 cm 左右,呈 NE-SW 方向分布。

在剖面底部 505 cm 处,双壳类集中分布,对清理出的一个 70 cm × 90 cm 贝壳分布面进行的定向统计结果(图 3d)显示,双壳类大体分布在 SW-NE 方向,背部朝上,且多呈平铺状,由此判断双壳类

① 王成俊. 1960. 漕河中游龙门水库工程地质勘测报告. 河北省地质局水文队。

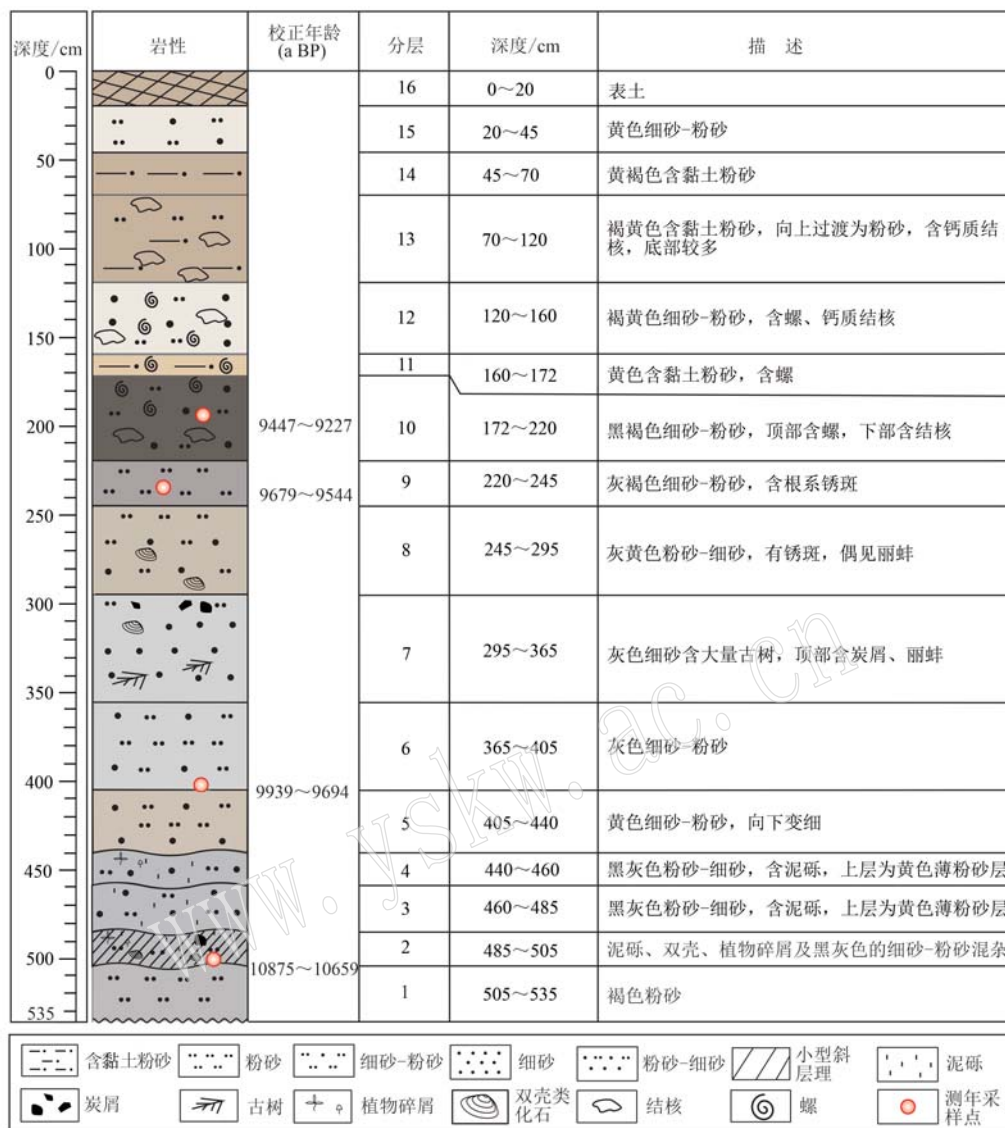


图 2 漕河下游李迪城村剖面柱状图

Fig. 2 Histogram of Lidicheng profile in the lower reaches of Caohe River

被洪水搬运至此，集中埋藏，而非其原始生活状态。

### 3 分析仪器及方法

对剖面以 5 cm 间隔连续采集样品共 107 件进行粒度分析。在测试前对粒度样品进行预处理，流程为：先加入 10 mL 10%浓度的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>，反应 8 h 以去除样品中的有机质；加入 10 mL 10%浓度的 HCl，反应 8 h 以去除 CaCO<sub>3</sub>；使用去离子水对加酸样品进行反复漂洗直至其呈中性状态；在测试前加入适量的(NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub> 并使用超声震荡仪震荡样品 15 min

使样品充分分散；对于一些有机质含量较高的样品，使用 30%浓度的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 并同时样品进行加热以完全去除其有机质。粒度测试于中国地质科学院地质研究所进行，测试仪器为英国 Malvern 公司生产的 Mastersizer 2000 型激光粒度仪，测试范围为 0.02~2 000 μm，重复测量误差小于 1%。

AMS <sup>14</sup>C 样品委托 Beta Analytic 公司(美国佛罗里达州迈阿密)进行测试，年龄采用 IntCal 20 曲线 (Reimer, 2020)校正后获得 2σ 日历年龄范围，并以均值加减误差的方式近似地作为该区间的日历年龄值。



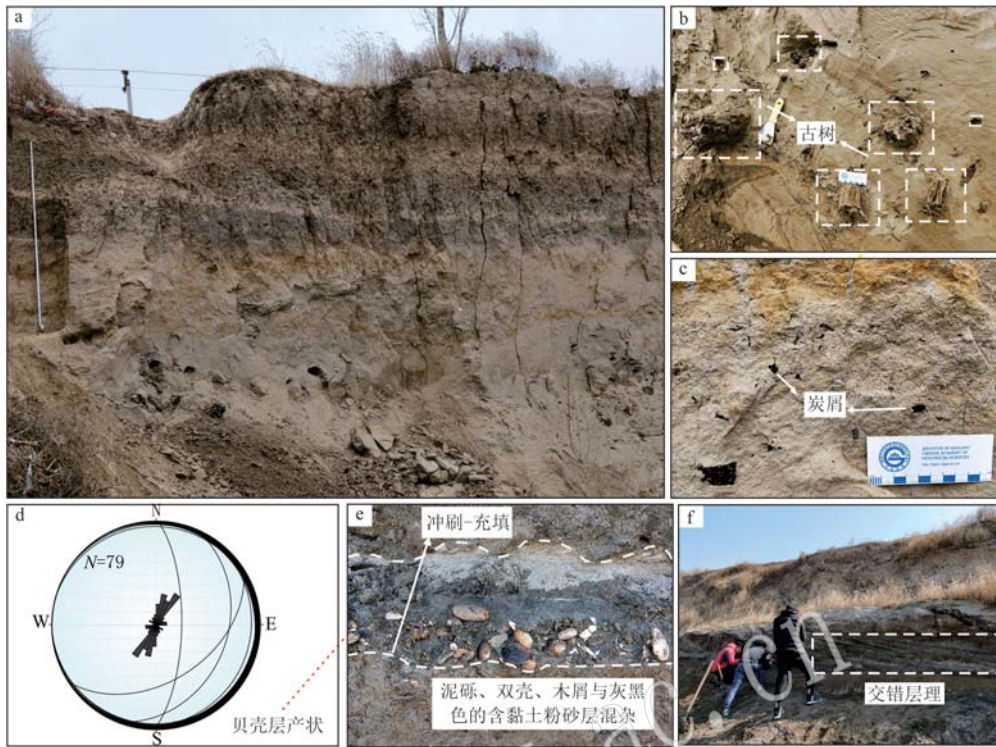


图3 李迪城村剖面主要沉积特征

Fig. 3 Sedimentary characteristics of Lidicheng profile

a—剖面全貌; b—含古树层; c—炭屑; d—贝壳产状统计图; e—冲刷面; f—交错层理

a—profile overview; b—ancient tree bearing layer; c—charcoal fragments; d—statistical chart of shell occurrence; e—erosion surface; f—cross bedding

## 4 结果分析

### 4.1 粒度特征

参照 Udden-Wentworth (Wentworth, 1922) 粒度分级标准, 将沉积物粒度分为中粗砂 ( $>250 \mu\text{m}$ )、细砂 ( $125 \sim 250 \mu\text{m}$ )、极细砂 ( $62.5 \sim 125 \mu\text{m}$ )、粉砂 ( $3.9 \sim 62.5 \mu\text{m}$ ) 和黏土 ( $<3.9 \mu\text{m}$ ) 5 级。利用粒度分布和统计软件 (Blott and Pye, 2010) 计算出平均粒径 (Md)、标准偏差 ( $\sigma$ )、偏度 (SK)、尖度 (K) 等主要粒度参数。计算结果表明, 李迪城村剖面粒度组分中, 砂和粉砂含量变化较大, 含量范围分别为 2.54%~77.50% 和 23.23%~90.27%, 平均含量分别为 34.34% 和 62.22%; 黏土组分含量最少 (0.16%~20.52%), 平均含量仅为 6.11%。该剖面中值粒径为 8.67~152.61  $\mu\text{m}$ , 属粗粉砂。标准偏差介于 0.48~2.12 之间, 平均值为 1.54, 分选较差。偏度介于 -0.07~ -0.49 之间, 平均值为 0.25, 正偏, 细粒组分稍多。峰度介于 0.74~1.83 之间,

平均值为 1.16, 属中等峰度。

该剖面沉积物的粒度频率分布曲线如图 4 所示。剖面底部 (1 层) 的粒度峰值在 50~60  $\mu\text{m}$  之间, 峰宽且缓, 呈单峰型。剖面下段 (2~9 层) 245~485 cm 厚度部分, 粒度频率分布曲线峰值在 70  $\mu\text{m}$  左右, 次高峰在 200~300  $\mu\text{m}$  之间, 峰值宽且缓, 呈双峰型; 485~505 cm 厚度部分峰值在 100  $\mu\text{m}$  左右, 次高峰在 200~300  $\mu\text{m}$  之间, 呈双峰型。剖面中段 (10~11 层) 粒度频率峰值在 50  $\mu\text{m}$  左右, 峰宽且缓, 呈单峰型。剖面上段 (12~16 层) 粒度频率峰值在 50~70  $\mu\text{m}$  之间, 呈单峰型。

### 4.2 剖面的年代

李迪城村剖面共测试了 4 个 AMS  $^{14}\text{C}$  年龄样品, 结果如表 1 所示。

剖面底部 LDC81 和 LDC101 号样品为古树和植物碎屑, 不受碳库效应影响 (Wilhelm *et al.*, 2013), 获得的 9 447~9 227、9 679~9 544 a BP 的 AMS  $^{14}\text{C}$  年龄较为可靠。剖面上部地层中零星含有一些贝壳, 但多已破碎, 为再搬运沉积。白洋淀其他剖面

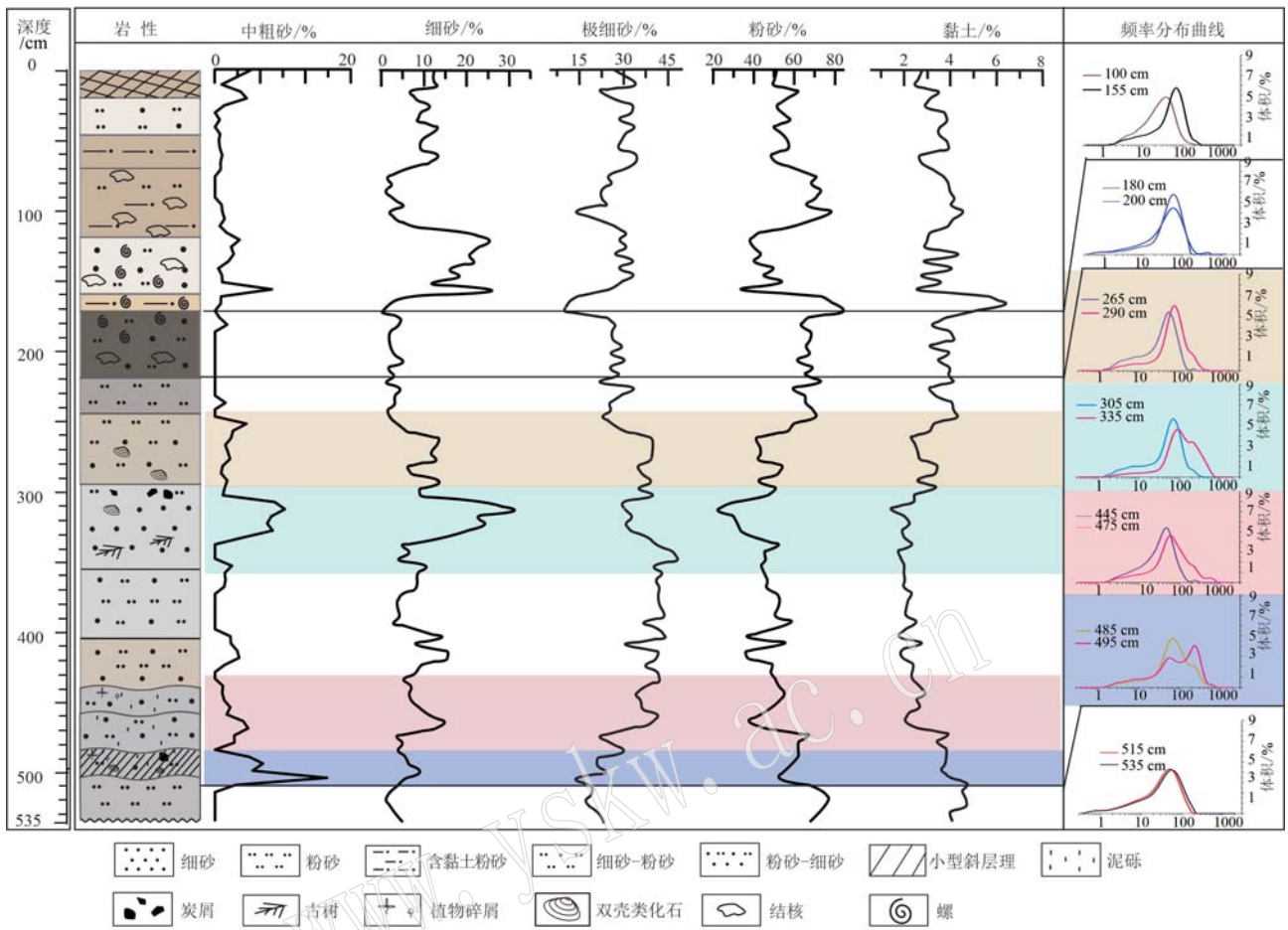


图 4 李迪城村剖面的粒度特征

Fig. 4 Grain size characteristics in Lidicheng profile

表 1 李迪城村剖面样品的 AMS <sup>14</sup>C 测年数据表

Table 1 AMS <sup>14</sup>C dating data of sample from Lidicheng profile

样号	深度/cm	测年材料	年龄/a BP	校正(cal)年龄(2σ)/a BP
LDC38	190	有机质沉积物	8 330±30	9 447~9 227
LDC46	230	有机质沉积物	8 660±30	9 679~9 544
LDC81	405	古树	8 810±30	9 939~9 694
LDC101	505	植物碎屑	9 510±40	10 875~10 659

一些贝壳的<sup>14</sup>C 测年结果表明，大多数年龄偏年轻 (Ni *et al.*, 2021)，可能受水体和大气<sup>14</sup>C 放射性碳不平衡的影响 (Goldsmith *et al.*, 2017)。因同层位缺少炭屑等其他测年材料，因此剖面上部地层使用沉积物全样 LDC38 和 LDC46 进行测年。但是由于沉积物有机碳来源比较复杂，可能受到老碳的影响而存在碳库效应，使得测年结果偏老。虽然该剖面目前没有其他测年方法和材料进行碳库校正，但从测年结果看，年龄没有发生倒置，与地层层序较一致，因此认为得到的 AMS <sup>14</sup>C 年龄数据较可靠，该

剖面 1.9 m 以下为全新世早期 10.8~9.4 ka BP 的沉积。

## 5 讨论

### 5.1 古洪水事件的确定

古洪水事件一般以沉积物粗粒部分作为识别的标志 (Toonen *et al.*, 2015; Wilhelm *et al.*, 2019; 张跃颖等, 2019)。砂含量、黏土/粉砂值及中值粒径可以反映沉积物中粗粒组分的相对含量 (李长安等, 2004; 刘祥奇等, 2020)，Q90 (粒度累积含量大于 90% 的组分) 可以指示携带沉积物的数量和粒度大小从而反映水动力变化 (Campbell, 1998; Parris *et al.*, 2010)，常作为识别古洪水事件的主要指标。同时，随着洪水的发生，由于水动力条件变化，一些特殊的沉积现象也可代表洪水事件，如河段中出现古树集中埋藏的现象 (尤玉柱, 1989; 夏正楷等,

2002; 赵得爱等, 2010), 河道发生侧向迁移、改道和下蚀形成侵蚀冲刷面(姚鲁烽, 1991)等。

李迪城村剖面位于漕河下游平原区, 由于地形坡度较小, 流速相对较慢, 沉积物组成以中细砂、粉砂、黏土为主, 洪水事件的识别与期次划分将主要依据沉积层上下界面变化、岩性特征与沉积结构构造的差异来确定。本研究选择 Q90、砂含量、黏土/粉砂值及中值粒径作为识别古洪水事件的主要指标, 并结合剖面野外沉积特征、粒度组分及参数, 在整个剖面中识别出 4 期古洪水沉积, 自下而上分别描述如下(图 5)。

古洪水层 1(485~505 cm)(图 6a 中 A 部分),

为黑色含黏土粉砂中泥砾与黑灰色细砂-粉砂混杂, 上下层存在明显的冲刷面(图 3e), 沉积体呈透镜状, 小型交错层理发育(图 3f), 沉积动力发生变化。粒度组分显示, 该段以细砂为优势组分, 中粗砂含量达到最大值接近 20%, 中值粒径增大(图 5), 分选较差, 指示水动力条件快速增强。沉积物的粒度频率分布曲线(图 4)显示, 505 cm 层位中粒度频率主峰在 100  $\mu\text{m}$  左右, 次峰为 200~300  $\mu\text{m}$  的粗粒峰, 呈双峰型, 含量相近, 表明河流沉积中水动力环境变化明显(刘祥奇等, 2020)。砂含量、Q90、中值粒径和高黏土/粉砂值, 较好地指示了古洪水沉积特征, 据此将该段识别为第 1 期古洪水沉积。

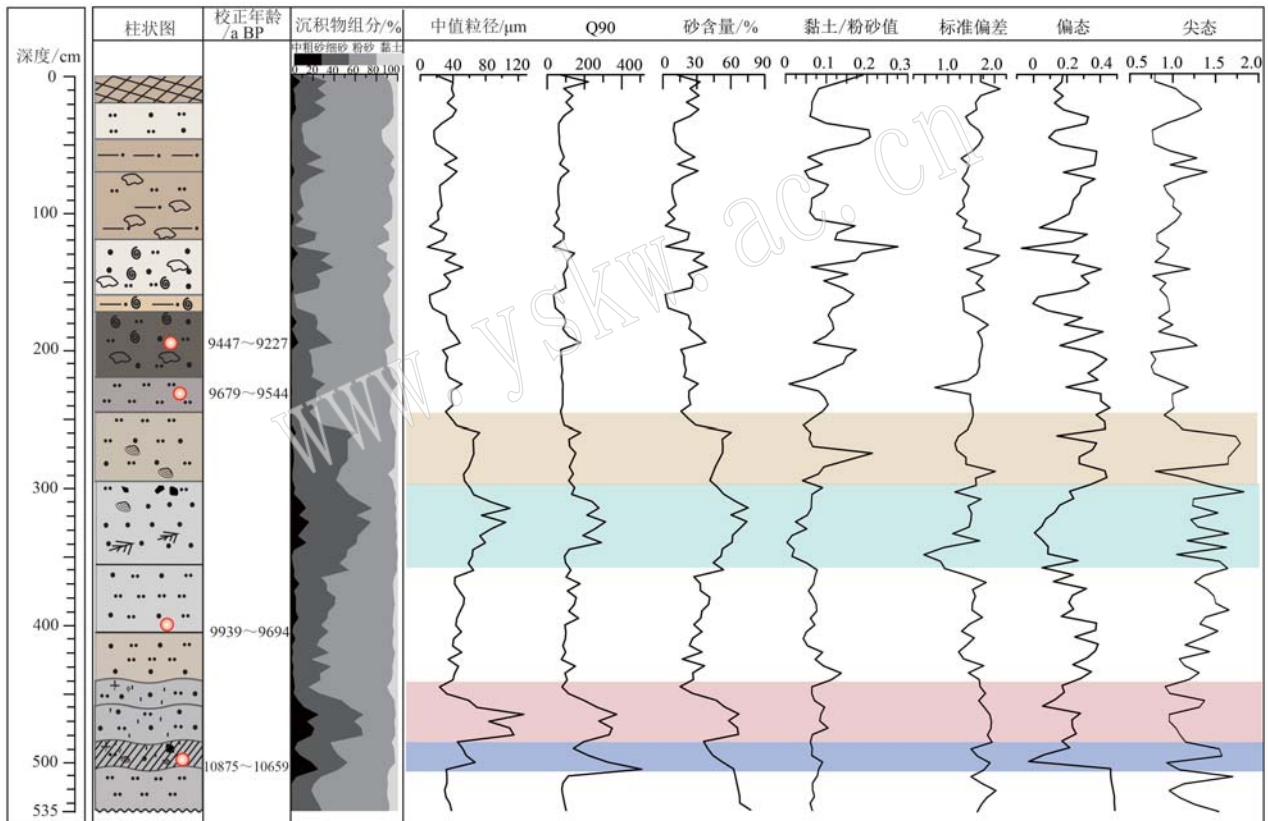


图 5 古洪水识别标志及古洪水层粒度特征

Fig. 5 Paleoflood identification signs and grain size characteristics in paleoflood layer

古洪水层 2(485~440 cm)(图 6a 中 B 部分), 为黑色粉砂到黄色细砂-粉砂, 沉积物中含泥砾, 发育交错层理(6b), 上下层均存在明显的冲刷面(图 6c), 该阶段粒度参数中细砂组分变化明显(图 4), 表现出由粗到细的两次旋回, 与野外观察结果较一致。该段的粒度分布曲线(图 5)主峰在 70  $\mu\text{m}$  左右, 并在 500  $\mu\text{m}$  处有次高峰, 频率分布曲线同样表

现出两个沉积旋回; 砂含量、Q90 和中值粒径的高值(图 5)较好地指示出古洪水沉积特征。根据岩性及冲刷面变化将 B 段划分两个沉积单元, 下层记为 B-1, 上层为 B-2(图 6a、6c)。该阶段沉积变化迅速, 且存在多个侵蚀冲刷界面, 这可能是一次古洪水事件的多个洪峰所致。

古洪水层 3(365~295 cm)(图 6a 中 C 部分),



不等厚沉积,呈透镜状,发育细砂、中粗砂。细砂为优势组分,粒度频率分布曲线显示,主峰约  $70\ \mu\text{m}$  (图4),中值粒径为高值(图5)。砂含量、Q90、中值粒径和黏土/粉砂值的高值,指示该序列在沉积开始和结束段粒度组分明较粗,厚度较大(图5)。综合看来,此阶段整体具有沉积速率较快、水动力条件较强且持续时间长的特征。而且该层出露较多破损的古树(图3b),这些古树和双壳类化石均呈SW-NE定向排列,这些现象是强水流冲刷堆积的结果。已有研究也指出平原地带河段出现的古树集中埋藏,可能代表一次洪水事件(尤玉柱,1989;夏正楷等,2002;赵得爱等,2010)。

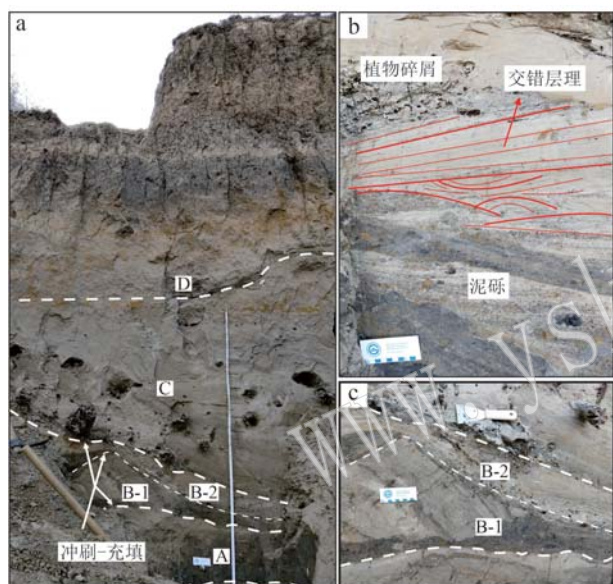


图6 古洪水事件沉积位置图及主要特征

Fig. 6 Sedimentary location and main characteristics of paleoflood events

a—A、B、C、D 分别对应 4 期古洪水事件,其中白色粗虚线分隔出每期古洪水事件开始位置,白色细虚线将第 2 期古洪水事件分隔为两个沉积单元(B-1 和 B-2); b—植物碎屑与泥砾; c—第 2 期古洪水事件

a—A, B, C and D represent four paleoflood events respectively, in which the white thick dashed lines separated from the beginning of the paleoflood events, and the white thin dashed line further divides the second ancient flood event into two deposition units (B-1 and B-2); b—charcoal fragments and muddy gravel; c—second paleoflood event

古洪水层 4 (295 ~ 245 cm) (图 6a 中 D 部分),发育灰色细砂,并含大量炭屑;中值粒径为  $100\ \mu\text{m}$  左右,达到峰值,为整段粒度最粗的部分,表明其水动力条件显著增加。野外沉积特征及粒度参数较一致地指示该层对应一期古洪水事件。

综上所述,李迪城村剖面共记录了 4 期古洪水事件,分别位于剖面 505、485、365 及 295 cm 处(图 6a)。Wilhelm 等(2019)根据河流沉积环境和沉积部位将古洪水沉积进一步划分为河道和河道边缘及漫滩两种大类。其中,河道及河道边缘包括垂向加积单元、巨砾堤坝及侧向加积单元;漫滩包括古河道充填、汇水洼地和滞流沉积(Wilhelm *et al.*, 2013)。区域上,全新世以来永定河流域暴雨洪水频繁出现的标志是地层中分布广泛的洪水泛滥时形成的侵蚀面和淤沙层(姚鲁烽,1991)。在研究区,遥感影像图显示李迪城村剖面位于漕河古河道边缘,代表了河道或河道边缘沉积。该剖面也发育典型的垂向加积单元和透镜状砂体沉积,沉积物粒度较粗,变化范围较大,发育交错层理(图 3f、6b)。这些沉积特征指示了河流相的沉积环境,因此本文识别的古洪水事件为河道边缘沉积。古洪水沉积发生在全新世早期,当时白洋淀地区的地形起伏不大(吴忱等,1986),洪水来临时沉积在汇水洼地,洪水过后,水动力骤减,使得古洪水事件沉积得以保留下来。

古洪水相对强度可以从每个洪水层中最粗的泥沙组分来估算,Q90 作为携带沉积物的数量和粒度大小也可指示水动力强度(Campbell, 1998; Parris *et al.*, 2010)。因此,河流沉积物粒度与层厚变化能够指示洪水事件的强度和规模。沉积物粒度粗、厚度大,指示沉积水动力较强,洪水规模大,沉积物粒度细,指示水动力弱。李迪城村剖面记录的古洪水层 1~4,沉积物的粒度相对较粗、厚度较大,指示了古洪水事件强度和规模较大。但由于平原区河道大多数为埋藏古河道,缺少河道宽度、水位等相关参数,具体的流量和洪峰值目前仍是研究难点(张鹏等,2020),还需要进一步的定量计算,本文未进行讨论。

## 5.2 古洪水发生的气候背景

气候变化是影响水文过程与河流系统的主要因素(Ely *et al.*, 1993; Knox, 2000; Guo *et al.*, 2018)。建立不同气候背景下古洪水沉积的时间序列,有助于理解极端降水事件对气候变化的响应(Benito *et al.*, 2015)。本文基于洪水沉积物有机质和古树的 AMS  $^{14}\text{C}$  测年方法,厘定了漕河全新世早期古洪水事件的起讫时间。测年结果表明,李迪城村剖面记录了 4 期古洪水事件,发生在 10.8 ~ 9.6 ka BP。区域上,李迪城村剖面处于太行山东麓永定河与滹沱河冲积扇相夹峙的低洼地区,上游水源来



自太行山,前人根据地层分析指出永定河在早全新世(10~9.5 ka BP)发生过多期暴雨事件(姚鲁烽,1991)。对同时期不同水文状况的地区进行对比分析,发现华北平原内邱、肃宁,黄河中游晋陕峡谷柳林滩段和吉县段,渭河支流石川河以及西北内陆和青藏高原等地区(殷春敏等,2001;王军等,2010;李晓刚,2014;李晓刚等,2014;刘雯瑾等,2016;

Zhong *et al.*, 2018; 王娜等, 2020; Chen *et al.*, 2021)(表2),在11.8~8.5 ka BP期间均有多次古洪水事件记录。该时期处在末次冰消期之后气温和降水量频繁波动的上升时期,上述古洪水事件与李迪城村剖面记录的4期古洪水事件在时间上较为接近,据此推断白洋淀地区全新世早期古洪水沉积记录反映的是全新世气候变暖背景下的极端降水事件。

表2 早全新世古洪水研究剖面位置与年代数据

Table 2 The age data and location of the early Holocene paleoflood research profiles

地点	河流	古洪水发生时间/ka BP	来源文献
白洋淀	海河支流漕河	10.8~9.6	本文
延庆盆地	海河支流永定河	10~9.5	姚鲁烽(1991)
内邱、肃宁	肃宁剖面: 滹沱河、潞龙河	10.5, 9.5, 8.8	殷春敏等(2000)
柳林滩	黄河中游晋陕峡谷柳林滩段	11.8~11, 10.8~10.2, 10.6~9.6	刘雯瑾等(2016)
窑村	渭河支流石川河	9.2~8.9	Zhong 等(2018)
安康-郧县河段	长江支流汉江上游	11.5~11.4, 9~8.5	王娜等(2020)
楼子滩村	长江支流丹江上游	9 680±770 a	李晓刚等(2014)
张家大庄	祁连山沙沟河	10.9~9.0	王军等(2010)
达尔琼	青藏高原黄河源	11.0~10.0	Chen 等(2021)
印度	恒河及其支流	9.8~9.0, 10.8~8.9	Karl(2007), Sridhar 等(2013)
西班牙	7个河流的流域和13个河流的漫滩	10.7~10.2, 9.5~9.1	Benito 等(2008)

从高分辨率的三宝洞、莲花洞石笋氧同位素记录(Dong *et al.*, 2010, 2018)来看,东亚夏季风(EASM)在11.5~9.5 ka BP逐渐增强(王军等, 2010; Wen *et al.*, 2010; Chen *et al.*, 2021),季风降水的波动增加,极端降水事件与EASM具有一定的相关性。全新世早期太阳辐射加强(Bergerand and Loutre, 1991),全球温度上升,格陵兰岛GRIP冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 值记录也指示了全新世早期的气候转暖和冰盖消融(Vinther *et al.*, 2006, 2008, 2009; Rasmussen *et al.*, 2006)。全新世极端降水事件在世界其他河流沉积物中都有记录,如印度恒河盆地中部和德干半岛河流的冲积期分别为9.8~9.0 ka BP和10.8~8.9 ka BP(Kale, 2007; Sridhar *et al.*, 2013)。Benito等分析了西班牙13条河流的漫滩沉积年代学数据,推断全新世存在6段古洪水高发期,其中全新世早期包括10.7~10.2 ka BP和9.5~9.1 ka BP两个阶段(Benito *et al.*, 2008)。全新世以来白洋淀地区的沉积特征所反映的气候环境特征表现为早期开始出现湖沼相沉积,气候偏湿;中期湖泊沉积发育,气候温暖湿润;晚期湖泊退缩,以河流-沼泽相沉积为主,气候向凉干转变(王会昌, 1983; 王永等, 2015)。因此,白洋淀地区早全新世的古洪水事件

是区域气候变化的产物,也可能是全新世早期东亚季风气候增强、冷暖干湿波动频繁响应(Zhao *et al.*, 2017)。

## 6 结论

(1) 根据白洋淀漕河剖面沉积物粒度、结构与构造及厚度等特征,识别出4期古洪水事件,漕河下游古洪水沉积层与下伏地层之间存在水流冲刷形成的侵蚀面,沉积体形态呈透镜状,发育中小型交错层理,泥砾与富含有机质的含黏土粉砂层混杂,河流水动力较强,整个剖面为河床-漫滩相沉积。

(2) 古洪水沉积物粒度以细砂为优势组分,含混杂的粉砂或含黏土粉砂,粒度指标(粒度频率曲线、中值粒径、砂含量及Q90等)能够有效识别古洪水事件。

(3) 基于AMS  $^{14}\text{C}$ 测年结果推断古洪水事件发生在全新世早期(10.8~9.6 ka BP)。该时期华北平原洪水事件频发,气候冷暖干湿波动频繁,因此白洋淀地区漕河剖面记录的古洪水事件可能为早全新世气候变暖过程的极端降水所引起。

## References

- Baker V R. 1987. Paleoflood hydrology and extraordinary flood events [J]. *Journal of Hydrology*, 96(1~4): 79~99.
- Benito G, Macklin M G, Panin A, *et al.* 2015. Recurring flood distribution patterns related to short-term Holocene climatic variability [J]. *Scientific Reports*, 5(1): 1~8.
- Benito G, Sanchez-Moya Y and Soena A. 2003b. Sedimentology of high-stage flood deposits of the Tagus River, central Spain [J]. *Sedimentology*, 157(1): 107~132.
- Benito G, Sopena A, Sanchez-Moya Y, *et al.* 2003a. Palaeoflood record of the Tagus River (Central Spain) during the Late Pleistocene and Holocene [J]. *Quaternary Science Reviews*, 22(15~17): 1 737~1 756.
- Benito G, Thorndyraft V R, Rico M, *et al.* 2008. Palaeoflood and flood-plain records from Spain: Evidence for long-term climate variability and environmental changes [J]. *Geomorphology*, 101(1): 68~77.
- Berger A and Loutre M F. 1991. Insolation values for the climate of the last 10 million years [J]. *Quaternary Science Reviews*, 10(4): 297~317.
- Blott S J and Pye K. 2010. GRADISTAT: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments [J]. *Earth Surface Processes & Landforms*, 26(11): 1 237~1 248.
- Campbell C. 1998. Late Holocene lake sedimentology and climate change in southern Alberta, Canada [J]. *Quaternary Research*, 49(1): 96~101.
- Chen Y L, Huang C C, Zhang Y, *et al.* 2021. Palaeoflood events during the last de-glaciation in the Yellow River source area on the northeast Tibetan Plateau [J]. *Geological Journal*, 56(8): 4 293~4 309.
- Dong J G, Shen C C, Kong X G, *et al.* 2018. Rapid retreat of the East Asian summer monsoon in the middle Holocene and a millennial weak monsoon interval at 9 ka in northern China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 151: 31~39.
- Dong J G, Wang Y J, Cheng H, *et al.* 2010. A high-resolution stalagmite record of the Holocene East Asian monsoon from Mt Shennongji, central China [J]. *Holocene*, 20(2): 257~264.
- Ely L L, Enzel Y, Baker V R, *et al.* 1993. A 5 000-year record of extreme floods and climatic change in the Southwestern United States [J]. *Science*, 262(5 132): 410~412.
- Goldsmith Y, Broecker W S, Xu H, *et al.* 2017. Northward extent of East Asian monsoon covaries with intensity on orbital and millennial timescales [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(8): 1 817~1 821.
- Guo Yongqiang, Huang Chunchang, Zhou Yali, *et al.* 2018. Sedimentary record and luminescence chronology of palaeoflood events along the gold gorge of the upper Hanjiang River, Middle Yangtze River Basin, China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 156: 96~110.
- Hall J, Arheimer B, Borga M, *et al.* 2014. Understanding flood regime changes in Europe: A state-of-the-art assessment [J]. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(7): 2 735~2 772.
- He Naihua and Zhu Xuanqing. 1994. Discussion on the cause of formation in Baiyang Dian [J]. *Geography and National Land Research*, 10(1): 50~54, 30 (in Chinese).
- Huang C C, Pang J L and Huang P. 2002a. An Early Holocene erosion phase on the loess tableland in the southern loess plateau of China [J]. *Geomorphology*, 43(3~4): 209~218.
- Huang C C, Pang J L and Huang P, *et al.* 2002b. Holocene climatic events on the loess tableland in western Guanzhong Basin, China [J]. *Arid Land Geography*, 25(1): 10~15.
- Huang C C, Pang J L, Zha X C, *et al.* 2010. Extraordinary floods of 4 100~4 000 a BP recorded at the Late Neolithic Ruins in the Jinghe River Gorges, Middle Reach of the Yellow River, China [J]. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 289(1): 1~9.
- Kale V S. 2007. Fluvio-sedimentary response of the monsoon-fed Indian rivers to Late Pleistocene-Holocene changes in monsoon strength: Reconstruction based on existing <sup>14</sup>C dates [J]. *Quaternary Science Reviews*, 26(11~12): 1 610~1 620.
- Knox J C. 2000. Sensitivity of modern and Holocene floods to climate change [J]. *Quaternary Science Reviews*, 19(1~5): 439~457.
- Li Bingyuan, Li Juzhang and Wang Jianjun. 1996. Areal association of natural hazard in China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 51(1): 1~11 (in Chinese with English abstract).
- Li Chang'an and Zhang Yufen. 2004. Flood sedimental characteristic and its mark on the middle reaches of Yangtze River [J]. *Advances in Water Science*, 15(4): 485~488 (in Chinese with English abstract).
- Li Xiaogang. 2014. The study of Holocene Paleoflood Hydrology in the Jin-shan Gorges of the Yellow River and in Baihe Reach of the Upper Hanjiang River [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 1~226 (in Chinese with English abstract).
- Li Xiaogang, Huang Chunchang and Pang Jiangli. 2014. Grain-size characteristics of the early Holocene flood slackwater deposits in the upper

- reaches of Danjiang River[J]. *Arid Land Geography*, 37(4): 646~655(in Chinese with English abstract).
- Li Xiaogang, Huang Chunchang and Pang Jiangli. 2020. Palaeoflood events in the lower reaches of the Wudinghe River[J]. *Arid Land Geography*, 43(2): 380~387(in Chinese with English abstract).
- Liu Wenjin, Huang Chunchang, Pang Jiangli, *et al.* 2016. Study on provenance of Holocene flood slackwater deposits in the Liulintan Reach of the Yellow River[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 30(2): 136~142(in Chinese with English abstract).
- Liu Xiangqi, Song Lei, Wu Qilong, *et al.* 2020. Application of the affinity propagation clustering algorithm based on grain-size distribution curve to discrimination of sedimentary environment—A case study in Baiyangdian Area [J]. *Marine Geology&Quaternary Geology*, 40(1): 198~209(in Chinese with English abstract).
- Merz B, Aerts J, Arnbjerg-Nielsen K, *et al.* 2014. Floods and climate: Emerging perspectives for flood risk assessment and management[J]. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(7): 1 921~1 942.
- Ni H T, Wang Y, Tian F, *et al.* 2021. Holocene climate evolution: Information from the Lacustrine-Fluvial sediment in North China [J]. *Journal of Paleolimnology*, 68: 71~89.
- Parris A S, Bierman P R, Noren A J, *et al.* 2010. Holocene paleostorms identified by grain size signatures in lake sediments from the north-eastern United States[J]. *Journal of Paleolimnology*, 43(1): 29~49.
- Rasmussen S O, Andersen K K, Svensson A M, *et al.* 2006. A new Greenland ice core chronology for the last glacial termination [J]. *Journal of Geophysical Research*, 111(D6): 1~16.
- Reimer P J. 2020. Composition and consequences of the IntCal20 radiocarbon calibration curve[J]. *Quaternary Research*, 96: 22~27.
- Sridhar A, Chamyal L S, Bhattacharjee F, *et al.* 2013. Early Holocene fluvial activity from the sedimentology and palaeohydrology of gravel terrace in the semi arid Mahi River Basin, India[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 66: 240~248.
- Thorndycraft V R and Benito G. 2006a. Late Holocene fluvial chronology of Spain: The role of climatic variability and human impact[J]. *Catena*, 66(1~2): 34~41.
- Thorndycraft V R and Benito G. 2006b. The Holocene fluvial chronology of Spain: Evidence from a newly compiled radiocarbon database[J]. *Quaternary Science Reviews*, 25(3~4): 223~234.
- Toonen W H J, Winkels T G, Cohen K M, *et al.* 2015. Lower Rhine historical flood magnitudes of the last 450 years reproduced from grain-size measurements of flood deposits using end member modelling[J]. *Catena*, 130: 69~81.
- Vinther B M, Buchardt S L, Clausen H B, *et al.* 2009. Holocene thinning of the Greenland ice sheet[J]. *Nature*, 461(7 262): 385~388.
- Vinther B M, Clausen H B, Fisher D A, *et al.* 2008. Synchronizing ice cores from the Renland and Agassiz ice caps to the Greenland ice core chronology[J]. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 113(D8): 1~10.
- Vinther B M, Clausen H B, Johnsen S J, *et al.* 2006. A synchronized dating of three Greenland ice cores throughout the Holocene [J]. *Journal of Geophysical Research*, 111(D13): 1~11.
- Wang Huichang. 1983. Expansion and contraction of the Baiyangdian Lake Since 10 000 years ago[J]. *Geographical Research*, 2(3): 8~18 (in Chinese with English abstract).
- Wang Jun, Gao Shanong, Pan Baotian, *et al.* 2010. Pleoflood sediment of Shagou River and its response to the climate change during Early Holocene[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 30(6): 943~949 (in Chinese with English abstract).
- Wang Na, Zha Xiaochun, Huang Chunchang, *et al.* 2020. Climate background about the palaeoflood events since late glacial epoch in the upper reaches of Hanjiang River, China[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 29(10): 2 250~2 260(in Chinese with English abstract).
- Wang Yong, Min Longrui, Dong Jin, *et al.* 2015. Sedimentary characteristics and stratigraphic division of Holocene series in Baiyang Dian, Hebei Province[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 36(5): 575~582(in Chinese with English abstract).
- Wen R, Xiao J, Chang Z, *et al.* 2010. Holocene precipitation and temperature variations in the East Asian monsoonal margin from pollen data from Hulun Lake in northeastern Inner Mongolia, China [J]. *Boreas*, 39(2): 262~272.
- Wentworth C K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments[J]. *Journal of Geology*, 30(5): 377~392.
- Wilhelm B, Arnaud F, Sabatier P, *et al.* 2013. Palaeoflood activity and climate change over the Last 1400 years recorded by lake sediments in the north-west European Alps[J]. *Journal of Quaternary Science*, 28(2): 189~199.
- Wilhelm B, Jab Cánovas, Macdonald N, *et al.* 2019. Interpreting historical, botanical, and geological evidence to aid preparations for future floods[J]. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 6(1): 1~22.
- Wu C, Xu Q H, Ma Y H, *et al.* 1996a. Palaeochannels on the North China Plain: Palaeoriver geomorphology [J]. *Geomorphology*, 18

- (1): 37~45.
- Wu C, Xu Q H, Zhang X Q, *et al.* 1996b. Palaeochannels on the North China Plain: Types and distributions[J]. *Geomorphology*, 18(1): 5~14.
- Wu Chen, Wang Zihui and Xu Qinghai. 1986. The shallow buried paleochannels in Hebei Plain[J]. *Acta Geographica Sinica*, 41(4): 332~340(in Chinese with English abstract).
- Xia Zhengkai, Chen Fuyou and Yue Shengyang. 2002. Discovery and significance of the buried ancient trees in the Peking University campus [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 38(2): 226~230(in Chinese with English abstract).
- Xu Qinghai, Wu Chen, Zhu Xuanqing, *et al.* 1996. Palaeochannels on the North China Plain: Stage division and palaeoenvironments[J]. *Geomorphology*, 18(1): 15~25.
- Xu Xia, Wang Jing'ai and Wang Wenyu. 2000. The Construction and application of the natural disaster case database in China[J]. *Journal of Beijing Normal University(Natural Science)*, 36(2): 274~280(in Chinese with English abstract).
- Yao Lufeng. 1991. The regularity of the flood of the Hanjiang River during the Holocene[J]. *Geographical Research*, 10(3): 59~67(in Chinese with English abstract).
- Yin Chunmin, Qiu Weili and Li Rongquan. 2001. Holocene paleofloods in the North China Plain[J]. *Journal of Beijing Normal University(Natural Science)*, 37(2): 280~284(in Chinese with English abstract).
- You Yuzhu. 1989. *Taphonomy for Prehistoric Archaeology*[M]. Beijing: Cultural Relics Publishing House, 8~44(in Chinese with English abstract).
- Yuan Baoyin, Deng Chenglong, Lu Jinbo, *et al.* 2002. A Late Quaternary accumulation period and the prehistoric flood in Beijing Plain[J]. *Quaternary Sciences*, 22(5): 474~482(in Chinese with English abstract).
- Zhang Luoying, Li Changan, Zhang Yufen, *et al.* 2019. Sedimentary strata and paleoflood identification indexes of Wuhan section, Yangtze River, during 4.5~2.5 ka BP[J]. *Geological Review*, 65(4): 973~982(in Chinese with English abstract).
- Zhang Peng, Yang Jinsong, Zhao Hua, *et al.* 2020. Research progress of the Holocene paleoflood in the Yellow River basin and a future prospect[J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 40(6): 11(in Chinese with English abstract).
- Zhang Yifeng. 1984. The changes of Da Luze and Da Yeze, the lower reaches of the Yellow River, preliminary discussion[J]. *Journal of Henan Normal University(Natural Science)*, (1): 79~82(in Chinese).
- Zhao Deai, Li Chang'an and Sun Xilin. 2010. Discovery and significance of the buried ancient trees in Hanjiang Plain[J]. *Quaternary Research*, 30(1): 228~229(in Chinese).
- Zhao Hongmei, Liu Linjing, Zhao Hua, *et al.* 2021. Sedimentary environment evolution of the paleochannel in the middle reaches of Hutuo River since 150, 000 years and its response of climate change[J]. *Geology in China*, 48(5): 1 408~1 417(in Chinese with English abstract).
- Zhao X, Wang J, Wei M, *et al.* 2017. Optically stimulated luminescence dating of Holocene palaeoflood deposits in the middle reach of the Yongding River, China[J]. *Quaternary International*, 453: 37~47.
- Zhong H, Hao L, Lin H Y, *et al.* 2018. Luminescence dating of a fluvial sequence using different grain size fractions and implications on Holocene flooding activities in Weihe Basin, central China[J]. *Quaternary Geochronology*, 49: 123~130.
- Zhou Tianjun, Song Fengfei, Lin Renping, *et al.* 2013. The 2012 North China floods: Explaining an extreme rainfall event in the context of a longer-term drying tendency[J]. *American Meteorological Society*, 94(9): s49~s51.
- Zhu Xiaohua. 1999. The research on characteristics of flood from 1840 to 1996 in China[J]. *Journal of Catastrophology*, 14(2): 7~12(in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 何乃华, 朱宣清. 1994. 白洋淀形成原因的探讨[J]. *地理学与国土研究*, 10(1): 50~54, 30.
- 李炳元, 李矩章, 王建军. 1996. 中国自然灾害的区域组合规律[J]. *地理学报*, 51(1): 1~11.
- 李长安, 张玉芬. 2004. 长江中游洪水沉积特征与标志初步研究[J]. *水科学进展*, 15(4): 485~488.
- 李晓刚. 2014. 黄河晋陕峡谷段与汉江上游白河段若干地点全新世古洪水研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 1~226.
- 李晓刚, 黄春长, 庞奖励. 2014. 丹江上游全新世早期古洪水滞流沉积物粒度特征研究[J]. *干旱区地理*, 37(4): 646~655.
- 李晓刚, 黄春长, 庞奖励. 2020. 无定河下游全新世古洪水研究[J]. *干旱区地理*, 43(2): 380~387.
- 刘雯瑾, 黄春长, 庞奖励, 等. 2016. 黄河柳林滩段全新世古洪水滞流沉积物物源研究[J]. *水土保持学报*, 30(2): 136~142.
- 刘祥奇, 宋磊, 吴奇龙, 等. 2020. 基于粒度分布曲线的邻近传播聚类算法在沉积环境识别中的应用——以白洋淀地区为例[J].



- 海洋地质与第四纪地质, 40(1): 198~209.
- 王会昌. 1983. 一万年来白洋淀的扩张与收缩[J]. 地理研究, 2(3): 8~18.
- 王军, 高红山, 潘保田, 等. 2010. 早全新世沙沟河古洪水沉积及其对气候变化的响应[J]. 地理科学, 30(6): 943~949.
- 王娜, 查小春, 黄春长, 等. 2020. 汉江上游晚冰期以来古洪水事件发生的气候背景分析[J]. 长江流域资源与环境, 29(10): 2250~2260.
- 王永, 闵隆瑞, 董进, 等. 2015. 河北白洋淀全新统沉积特征与地层划分[J]. 地球学报, 36(5): 575~582.
- 吴忱, 王子惠, 许清海. 1986. 河北平原的浅埋古河道[J]. 地理学报, 41(4): 332~340.
- 夏正楷, 陈福友, 岳升阳. 2002. 北京大学校园内埋藏古树的发现及其意义[J]. 北京大学学报(自然科学版), 38(2): 226~230.
- 徐霞, 王静爱, 王文宇. 2000. 自然灾害案例数据库的建立与应用——以中国1998年洪水灾害案例数据库为例[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 36(2): 274~280.
- 姚鲁烽. 1991. 全新世以来永定河洪水的发生规律[J]. 地理研究, 10(3): 59~67.
- 殷春敏, 邱维理, 李容全. 2001. 全新世华北平原古洪水[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 37(2): 280~284.
- 尤玉柱. 1989. 史前考古埋藏学概论[M]. 北京: 文物出版社, 8~44.
- 袁宝印, 邓成龙, 吕金波, 等. 2002. 北京平原晚第四纪堆积期与史前大洪水[J]. 第四纪研究, 22(5): 474~482.
- 张跃颖, 李长安, 张玉芬, 等. 2019. 长江武汉段4.5~2.5 ka沉积地层与古洪水标志识别[J]. 地质论评, 65(4): 973~982.
- 张鹏, 杨劲松, 赵华, 等. 2020. 黄河流域全新世古洪水研究进展及展望[J]. 海洋地质与第四纪地质, 40(6): 11.
- 张义丰. 1984. 黄河下游大陆泽和大野泽的变迁初探[J]. 河南师大学报, (1): 79~82.
- 赵得爱, 李长安, 孙习林. 2010. 江汉平原全新世埋藏古树的发现及其意义[J]. 第四纪研究, 30(1): 228~229.
- 赵红梅, 刘林敬, 赵华, 等. 2021. 滹沱河中游河道带150 ka以来沉积环境演化及其对气候变化的响应[J]. 中国地质, 48(5): 1408~1417.
- 朱晓华. 1999. 中国1840~1996年洪水灾害若干特征分析[J]. 灾害学, 14(2): 7~12.