



海河流域万年尺度水循环演变

刘家宏^{①②*}, 徐鹤^①, 秦大庸^{①②}, 王浩^{①②}, 王建华^{①②}, 李海红^{①②}, 鲍淑君^{①②}

① 中国水利水电科学研究院, 流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038;

② 水利部水资源与水生态工程技术研究中心, 北京 100044

* 联系人, E-mail: liujh@iwahr.com

2012-09-16 收稿, 2012-11-07 接受, 2012-12-27 网络版发表

国家自然科学基金(51279208, 51021006, 40830637)和国家重点基础研究发展计划(2006CB403401)资助

摘要 海河流域是我国水资源短缺问题最严重的地区, 近 30 年来旱象丛生, 地下水超采亏损严重. 解决这些问题需要对水循环要素进行长系列地分析和科学地诊断, 进行海河流域万年尺度水循环演变的分析研究十分必要. 基于古气候、古地理、历史记载和植物孢粉等资料, 综合应用沉积特征分析、孢粉组合分析、有机物分析和放射性同位素分析等方法, 发现在万年尺度上, 能量转换是海河流域水循环通量演变的内在动力, 气温主导降水变化且正相关; 仰韶温暖、湿润期的充分补给形成了海河平原第四纪承压地下水的主体; 水循环主导了海河流域水系及海陆格局的演变, 中全新世频发的大洪水和宽阔稳定的河道将黄土高原和太行山的泥沙强有力地推进到渤海, 形成了天津、黄骅、沧州等滨海平原; 距今 3000 年以来, 温凉偏寒期的小洪水在太行山前地带泛滥、改道形成了邯郸、邢台、石家庄、保定等山前平原. 本研究系统揭示了万年以来海河流域气温、降水及水系的演变成因与规律, 对科学认识该地区目前的水循环和水资源现状具有重要意义.

关键词

水循环演变
万年尺度
气温变化
水资源
海河流域

黄淮海流域是我国第一大地下水富集区^[1,2], 也是世界三大储水构造之一. 位于黄淮海流域北部的海河流域近 30 多年来地下水持续超采, 地下水储量累计消耗超过 $1200 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[3]. 地下水位的下降对地表水循环造成了深刻的影响, 也对未来水资源的可持续利用带来了严峻挑战. 海河流域目前的严峻水问题到底是短期效应还是水循环长期演变的结果, 这要放在水循环演变的历史大视野中审视. 目前关于水循环演变的研究多是基于水文记录和科学实验数据, 海河流域最早的实测降水记录可以追溯到 1841 年^[4], 这一时间序列对于研究流域水循环的历史演变还是太短. 从万年尺度看, 影响流域水循环的主要是气温和水系变迁. 其中, 温度的影响主要体现在: 在温暖时期, 降雨充沛, 地下水既得到降水补给, 又有河湖、洼淀补给, 大气水、地表水、地下水系统之间能量交换与水分转移通量值较大; 在寒冷时期,

降雨贫乏, 地下水得不到充分补给, 大气水、地表水、地下水系统之间能量交换与水分转移通量值较小. 水系变迁的影响主要表现在: 古黄河改道南迁, 使海河水系逐渐独立, 奠定了近代海河“九河汇天津”的总体格局; 中全新世(仰韶时期)频发的大洪水和宽阔稳定的河道将黄土高原和太行山的泥沙强有力地推进到渤海, 形成了天津、黄骅、沧州等滨海平原; 距今 3000 年以来, 温凉偏寒期的小洪水泛滥、改道形成了邯郸、邢台、石家庄、保定等山前平原. 人类活动对流域水循环具有直接和间接的影响, 但从万年尺度上来看, 没有气温和水系变迁的作用大.

1 海河流域万年尺度气温变化曲线

本研究调研分析了以往研究成果^[5-9], 将前人研究中位于海河流域的样本资料集中起来, 应用沉积特征分析^[10]、孢粉组合分析^[11-13]、有机物分析和放

引用格式: 刘家宏, 徐鹤, 秦大庸, 等. 海河流域万年尺度水循环演变. 科学通报, 2013, 58: 1078-1084

英文版见: Liu J H, Xu H, Qin D Y, et al. Water cycle evolution in the Haihe River Basin in the past 10000 years. Chin Sci Bull, 2013, 58, doi: 10.1007/s11434-012-5609-x

射性同位素分析等方法,发现海河流域万年以来的气温大致经历了四个大的变化阶段(图 1): (1) 晚更新世末期,海河流域处于玉木主冰期,气候寒冷干燥; (2) 早全新世,大约距今 11000~8000 年前,气候迅速变暖变湿; (3) 中全新世,大约距今 8000~3000 年前,气候温暖,为仰韶温暖期,但后期气候温暖偏干; (4) 晚全新世,即距今 3000 年以来,气候变化频繁,但整体偏凉偏干,1660 年前后气温达到近 3000 年的最低值,之后海河流域气温开始上升,现在气温大体处于万年以来的平均值附近。

图 1 所示的温度变化曲线与竺可桢^[14]的研究成果基本一致,也得到了海河流域不同地区研究成果的证实。海河流域的研究点分布见图 2^[15-19]。

Xu 等人^[15]采用孢粉组合分析与沉积特征分析法,对山前平原、沉积平原和滨海平原的古气候进行了研究,认为在早全新世,大约距今 11000~7500 年前,气候相当凉爽;在中全新世,大约距今 7500~2500 年前,年平均温度比现在高 3.5 ± 1 °C;在距今 2500 年以后,属于凉爽微干的气候。童国榜等人^[16]对华北平原东部地区(宝坻-濮阳)的五口井和一个剖面的孢粉资料的研究表明,距今 12000~10000 年左右,气温低于平均值约 4°C 左右;距今 10000~9000 年,气温明显回升,约比现在高 1°C 左右,距今 9000~7500 年,气候有短暂降温;距今 7500~5000 年,气候温暖湿润,可能比今约高 3~4°C 左右;距今 5000~2500 年,是一个降温变旱过程,气温下降 2~3°C,但略高于现今;距今 2500~1000 年前,由两个暖期和一个冷期组成,即周汉温暖期、晋朝低温期和唐朝温暖期,距今 1000 年以来,为现代冷期,与明清低温干旱期相当。王艳^[17]对渤海湾西北岸的曹妃甸进行了孢粉研究,距今 7500 年前左右,气候温暖湿润,一月份平均温度

比现在高 3~5°C,七月份平均温度比现在高约 1~2°C;大约距今 6000~5000 年前,气温下降,气候变干;在距今 5000 年左右出现了一个短暂的冷期,延续时间很短。郭盛乔等人^[18]对宁晋泊地区的隆尧县南王庄剖面的文史分析和孢粉分析,得到了华北平原的古气候变化,认为大约 10830~10060 年前,是一个快速升温过程,且湿度也相对增加,当时气候条件凉偏干到凉湿;大约 10060~8350 年前是温和湿润的气候特点;大约 5400~4900 年前出现了一个冷事件,随后在大约 4900~4000 年前,温度迅速回升,这时气候温暖,比较稳定,大约距今 1010~630 年前,气候温暖;而距今 630~200 年前,气候冷干。Jin 等人^[19]通过对太师庄泥炭 ¹⁴C 测年、孢粉和氧同位素分析,获得了距今 6000~3000 年来较高分辨率的环境演化记录,距今 5700~5400 年环境冷湿;距今 5400~4800 年温暖湿润;距今 4800~4200 年气候发生突变,出现降温事件,植被稀少;距今 4200~3300 年温暖干燥。太师庄泥炭记录的降温气候事件在北半球有普遍性。

以上同位素和孢粉等的研究证据说明海河流域万年尺度的气温变化划分为图 1 所示的四段是基本合理的,当然这条温度曲线上没能反映出一些短期的降温骤冷事件,例如郭盛乔等人^[18]提出的距今 5400~4900 年的冷事件,以及 Jin 等人^[19]提出的距今 5700~5400 年环境冷湿过程(郭盛乔提出的冷事件与 Jin 和 Liu 提出的冷湿过程可能是指同一个降温骤冷过程)。这在万年尺度的趋势分析上是可以接受的。

2 海河流域万年尺度降水变化曲线

为了揭示气温变化与降水的相关关系,需要反演海河流域万年以来的降水变化曲线。依据的数据资料主要包括: (1) 1841 年以来海河流域实测降水记

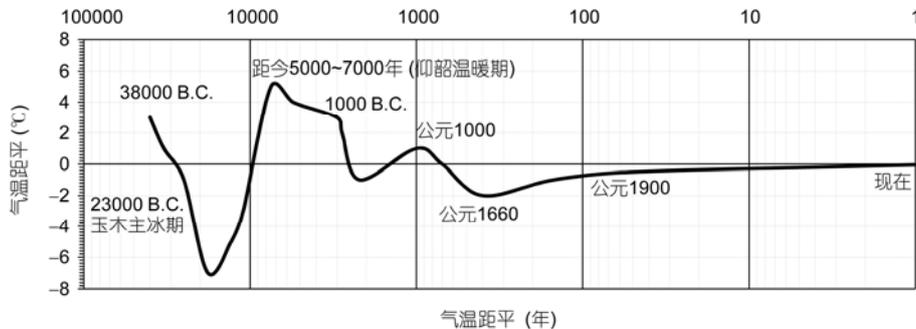


图 1 海河流域万年尺度气温变化曲线

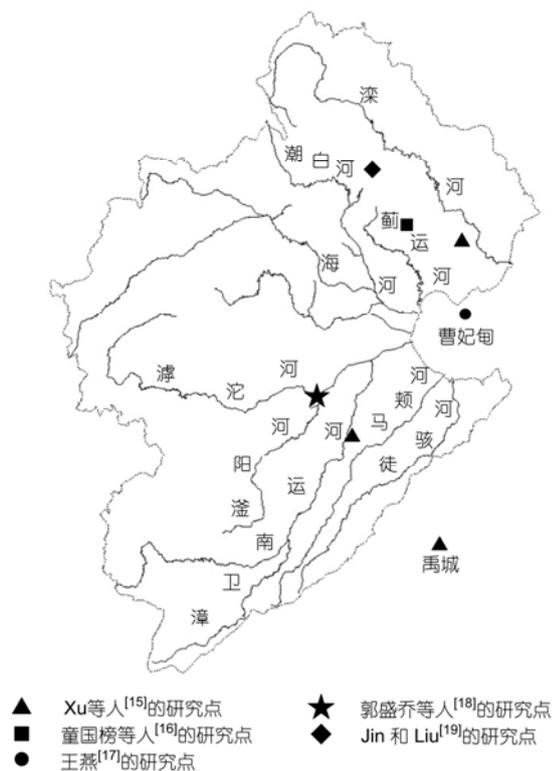


图2 海河流域研究点的分布图

录^[4]; (2)《水旱灾害网络共享数据库》^[20]; (3) 中国古代文献中 22567 条旱涝灾害记述^[9]; (4) 植物孢粉、树木年轮、动物生活遗迹等资料. 本次对降水变化曲线的研究主要分为 6 个大的时间段: (1) 玉木冰期; (2) 6000 BC~137 BC; (3) 136 BC~1469; (4) 1470~1841; (5) 1841~1955; (6) 1956~至今.

玉木冰期前段温度稍高, 气候偏湿润, 海河流域太行山前平原植被以云杉、冷杉林及蒿、藜等草本植物为主; 后段气温寒冷干燥, 降水量大为减少, 平原上原有的云杉、冷杉林逐渐消失, 代之以干旱草原或荒漠草原植被^[21]. 按照地理纬度、植被、降水的相关性和相似性推测, 当时海河流域的降水与现在内蒙乌兰察布干旱草原的降水量大致相当, 约为 300 mm.

公元前 6000 年至公元前 137 年, 历史文献记录很少, 主要依据施雅风等人^[22]的研究成果. 施雅风等人指出, 亚洲象在距今 8000~3000 年前分布到海河流域的阳原县(属河北省), 而亚洲象习惯生活在亚洲的热带雨林地区, 以竹笋、嫩叶、野芭蕉等作为食物. 根据亚洲象需要的生存环境和依存的食物链, 重建了“中国全新世大暖期”的降水, 认为华北地区当时的降水量比现在高 200~300 mm^[22], 由此推测海河流

域当时年平均降水量约为 800 mm. 在天津静海、北塘同时期的地层中均发现了现生长在亚热带湖沼地区的水蕨孢子, 这从另一个方面印证当时海河流域的降水量与现代淮河及长江中下游地区的降水量相当. 历史上, 海河流域北京站的短系列的年均降水量也曾经达到 800 mm 以上, 1884~1894 年 11 年的年均降水量为 904 mm(1841~2010 年降水全记录中连续最丰的 11 年). 这个温暖期大致持续到距今 3000 年前, 之后进入温凉偏干期, 在大暖期繁盛的动植物开始衰落. 根据《竹书纪年》记载, 周孝王时北方冰冻的范围扩大到长江流域, 汉水有两次结冰, 发生于公元前 903 年和 897 年, 结冰之后紧接着就是大旱^[14]. 根据历史记述, 当时的降水量和光绪年间华北大旱类似, 由此推测当时的降水量与 19 世纪相当, 约为 490 mm. 周朝早期寒冷干燥时期没有持续多久, 大概 100~200 年, 到春秋时期又暖和了^[14].

公元前 136 年至 1469 年, 这段时间历史文献记录较多, 此区间降水存在干湿周期性变化, 主周期约为 80 年. 继西周时期低温少雨之后, 海河流域降水总体上先升后降, 存在一个短暂的宋元小温暖期(1200~1300 年). 这时期著名道士邱处机(公元 1148~1227 年)曾住在北京长春宫数年, 于公元 1224 年寒食节作《春游》诗云“清明时节杏花开, 万户千门日往来”, 可知那时北京物候正与北京今日相同^[14], 推测当时海河流域的降水量为 550 mm.

1470~1841 年, 这段时间的明清地方志、清代洪涝档案对当时的洪旱灾害有比较详细的记录, 可以比较准确地重建这一时期的降水变化趋势——先降低后升高, 在 1640 年左右达到历史低值. 根据谭徐明等《水旱灾害网络共享数据库》的估算结果, 1637~1643 年海河流域的均值如表 1, 取其均值(378 mm)为此降水极低点的作图采样值.

1841~1955 年, 利用本研究收集到的海河流域北京站这段时间的实测降水记录均值, 基于水文的周期性和一致性, 通过相关性换算, 得到海河流域这段时间的平均降水量为 490 mm.

1956 年至今, 利用海河流域第二次水资源评价的数据, 取现状海河流域的平均降水量为 535 mm^[23].

表 1 1637~1643 年海河流域年降水量(mm)

| 年份 | 1637 | 1638 | 1639 | 1640 | 1641 | 1642 | 1643 |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| 降水量 | 358 | 401 | 368 | 283 | 294 | 466 | 479 |

基于以上 6 段分析得出的 7 个特征点的数据,可作出海河流域万年尺度降水变化的趋势图(图 3)。

3 气温主导下的流域水循环演变

基于上述海河流域气温和降水的变化趋势图,可发现气温对流域水循环演变的作用主要体现在两个方面:在气候温暖期,降雨充沛,河流流量大,水系湿地发育,对地貌改变和冲积平原的形成起积极作用,地下水补给充分,蓄存量;在气候寒冷期,降雨减少,地下水获取的补给较少,甚至年净补给量为负值,平原地下水蒸发咸化作用明显。基于上述气温对水循环的作用原理,分 3 个时间段分析如下。

(1) 晚更新世(玉木主冰期)至早全新世,气候寒冷干燥,华北平原大气水、地表水、地下水系统之间能量交换与水分转移通量达到万年时间尺度的极小值,当时海平面低,第三和第四含水组中水流速度加快,水头降低,更新出更老的水,氢氧稳定同位素含量贫。山前平原以溶滤作用为主,地下水中碳酸钙含量高;中东部平原以蒸发作用为主,潜水水质咸化。因此,该时期是末次冰期以前补给的地下水输干、咸化的发育阶段。

(2) 中全新世,气候温暖湿润,河流宽阔稳定,水流动力强劲。距今 7000~5000 年前,蒸发与降水过程达到鼎盛期,海河流域年均降水量在 800 mm 以上。山前平原在洪水作用下以切割为主,将晚更新世洪积扇切割成侵蚀谷。在洪积扇前缘为局部有水的冲积扇间洼地,堆积了砂壤质土及河道延伸堆积的砂质土。中部平原至滨海平原为洪积扇——冲积平原堆积,形成了细粉砂质古河道和亚砂、亚黏质古河道的泛滥平原(滨海平原)。这一期间,冰川退缩过程中的融水通过山前在冰后期乃至全新世早期进入含水层,加上本时期丰沛的降水和河湖补给,地下水以淡化、蓄积作用为主。实际上,海河流域现在超采的地

下水,基本都是近一万年以来的存货(图 4 中第 II、III 含水组),其主要形成期就是仰韶温暖期^[24]。

含水层组 I 至 IV 由老变新,依次对应于更新世到全新世地层,第 I 含水层最为古老,埋深 350 m 以下,厚度 50~60 m,形成年代约为 2~6 万年前^[25]。山前平原地区埋深小于 300 m,由胶结砂砾及薄层风化砂组成,厚度 20~40 m,单位涌水量 5~10 m³/(h m),地下水矿化度小于 1 g/L;中部平原含水层以中细砂、细砂为主,埋深大于 350 m,一般厚度为 10~30 m,单位涌水量 2~3 m³/(h m);沿海平原含水层由细砂、粉砂组成,厚度 20 m 左右,中部和沿海地下水的矿化度分别为 0.5~1.5, 1.5~2 g/L。

第 II 含水组是承压含水层,厚度大于 90 m,岩性以含砾中粗砂、中砂和细砂组成,底界埋深为 170~350 m,形成年代约为 0.8~2.2 万年前^[26]。地下水类型从山前到渤海为 HCO₃-Na-Ca, Cl-HCO₃-Na 和 Cl-Na 型,矿化度 0.3~0.5 g/L。单位涌水量 50 m³/(h m)。该组在山前地带底界埋深小于 100 m,以砾卵石为主,中部和沿海平原含水层埋深大于 170 m,岩性以中细砂、细砂为主。

第 III 含水组是浅部承压水。厚度 60 m 左右,底界深度一般为 120~170 m,形成年代约为 4600~8000 年前^[26],即仰韶温暖期。含水层由砂砾石、中砂和细砂组成,与第一含水层组相似,从中部平原到滨海平原,地下水为咸水,矿化度 > 2 g/L。

第 IV 含水组为潜水含水层,厚度大约 60 m,形成年代约为 1.55~40.73 年,平均 15.8 年^[26]。从山前到滨海,含水层沉积物粒度由山前砂砾石变为滨海平原的细砂;山前为淡水区,自中部平原向沿海广泛分布咸水。

(3) 晚全新世,气候温凉偏干,降水量变化大,湿润期和干旱期相间变化,海河流域平均年降水量约 500 mm。河流流量小,含砂量大,水动力不足,河道为游荡型。干旱期河道萎缩,湿润期河水流量猛增,河道盛纳不住,在山前平原即漫滩泛滥,河水中的泥沙随即落淤沉积,形成一个个扇形的山前平原,并最终由南而北连成一片,许炯心^[27]关于华北平原沉积速率的研究印证了这一结论,其做出的平均沉积速率随时间的变化图显示:距今 5000 年以来,华北平原的沉积速率较 5000 年以前增加了 2~8 倍,这说明河水流量小、动力不足有助于山前平原形成。由于降水量少且不稳定,地下水的补给呈间断性,补给量小,以潜水参与水循环蓄泄为主,深层承压水接受补给

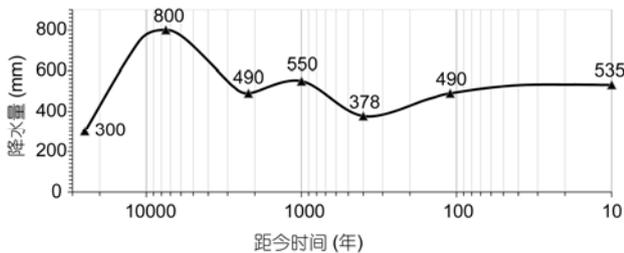


图 3 海河流域万年以来降水变化趋势

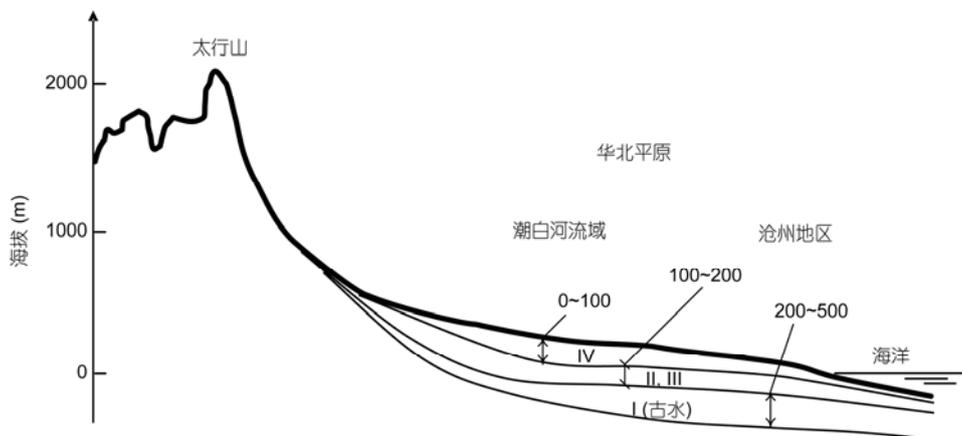


图4 华北平原地下水层分布图

很少, 仅发生在山前含水层出露区.

4 水系变迁对水循环的影响

严格来说水系变迁和水循环是相互影响的. 一方面, 水系是水循环的主要陆面通道, 水系格局决定了地表水循环的路径; 另一方面, 水循环伴生的泥沙冲刷和淤积过程又促进了水系的变迁, 改变了流域的地貌环境. 海河流域的形成和演进过程就是这种相互作用的真实写照.

海河水系是在全新世中、晚期的沉积作用下, 逐渐独立于黄河水系的. 其形成过程包括两个阶段:

(1) 中全新世. 随着滨海平原的淤积延伸, 发源于太行山、燕山的漳河、滹沱河、大清河、永定河、潮白河等河流在强劲的水动力学作用下逐渐合流、归槽, 汇于天津. 当时古黄河水系也曾沿着这条归流的河槽在天津附近入海, 沧州的地下水同位素和化学分析显示这些地区的承压水中有大量中全新世的黄河水补给就是一个有力证据^[25].

(2) 晚全新世. 气候变凉、变干, 河流动力不足, 在山前改道淤积, 形成山前平原, 山前平原的淤积抬升将黄河水道逐步挤压, 迫使其南迁(图5, 北宋时期的黄河走势来自文献^[28]), 海河水系独立. 实际上, 自建炎二年(公元1128年)以后, 黄河再没有侵入现今海河流域的领地.

这一变迁造成两方面的水循环效应: 一是海河流域与黄河流域的直接水力联系减弱, 华北平原地下水的补给来源减少. 宋代以前, 黄河干流直接通过华北平原, 沿河的渗漏补给形成了古黄河地下水系统^[29], 现代黄河水只能通过“地上河”的高位势能向

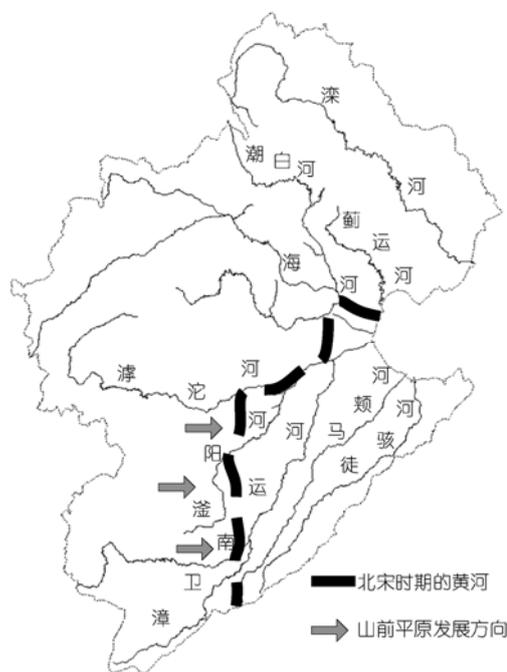


图5 古黄河南迁示意图

北渗流进入海河流域地下水系统, 这一部分量已经很小, 约为 $4 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ^[30]; 二是黄河河水退出海河流域, 使得海河流域可用水量大幅减少, 流域干旱化趋势明显, 自北宋以来, 海河流域的宁晋泊逐渐萎缩消失, 白洋淀面积也大幅萎缩. 地表水源的减少同时造成的地下潜水补给不足, 蒸发损失严重, 地表水盐平衡失调, 土壤盐碱化加重^[31].

5 结论和讨论

依据古气候、古地理、历史记载、植物孢粉和同

位素等资料的研究发现:在万年尺度上,能量转换是海河流域水循环通量演变的内在动力,从总体趋势看,气温主导降水变化且正相关;仰韶温暖、湿润期的充分补给形成了第四纪承压地下水,海河流域现在超采的地下水基本是一万年以来的存货;水循环主导了海河流域水系及海陆格局的演变,中全新世频发的大洪水和宽阔稳定的河道将黄土高原和太行山的泥沙强有力地推进到渤海,形成了天津、黄骅、沧州等滨海平原;距今 3000 年以来,温凉偏寒期的小洪水在太行山前地带泛滥、改道形成了邯郸、邢台、石家庄、保定等山前平原。近 1000 年来,海河流域气候以寒冷干燥为主,明清间极寒特殊事件频发,降雨贫乏,湿地萎缩,地下水补给不足,水位下降,到 1660 年气温降到历史最低值,之后开始回升,现在气温大体位于平均值附近,比宋元时期要低很多,仍属于相对少雨期。上述研究结论系统揭示了万年以来海河流域气温、降水及水系的演变成因与规律,对科学认识该地区目前的水循环和水资源现状具有重要意义。

上述研究结论的时间分辨率约为 500 年,一些短

期的气温、降水波动没能反映出来,因此在局部气候变化不稳定的时段,本文的结果还存在一些偏差,需要在千年、百年尺度的水循环研究中进一步细化。关于“气温主导降水变化且正相关”,有的研究者可能持不同看法,因为海河流域 50 年来(1956~2005 年),平均气温升高了 1.5℃,而降水平均减少了 10%以上^[23],呈现暖干的趋势。这只是一种短期的反常现象,万年以来的总体趋势还是湿润伴随着温暖,之所出现这种现象是因为研究尺度不同。另外关于地下水的分层和年龄问题,在不同地区的空间变异性较大。在东部滨海低平原区,同位素的测龄试验发现,深层地下水中还存在一些 3 万年以上的古水,并非全是“一万年以来的存货”,这些主要是在玉木冰期前赋存于地下的古水。晚更新世由于低平原地区水势梯度小,水平向运动速度慢,没有来得及更新出去,后来海平面上升,海水势侵入顶托,原有的古水随即被封存于地下。这些古水一般埋藏较深,所占比例较小,因此说“海河流域现在超采的地下水基本是一万年以来的存货”还是比较客观的。

参考文献

- 1 陈梦熊. 中国地下水资源区域特征与初步评价. 自然资源学报, 1986, 1: 18-27
- 2 谢正辉, 梁妙玲, 袁星, 等. 黄淮海平原浅层地下水埋深对气候变化响应. 水文, 2009, 29: 30-35
- 3 刘家宏, 秦大庸, 王浩, 等. 海河流域二元水循环模式及其演化规律. 科学通报, 2010, 55: 512-521
- 4 吴增祥. 北京地区近代气象观测记载. 气象科技, 1999, 1: 60-64
- 5 James Z, Mark P, Lisa S, et al. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. Science, 2001, 292: 686-693
- 6 Pavel T, Jin G Y, Mayke W. Mid-Holocene environmental and human dynamics in northeastern China reconstructed from pollen and archaeological data. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 2006, 241: 284-300
- 7 吴忱. 华北地貌环境及其形成演化. 北京: 科学出版社, 2008
- 8 吴忱. 华北平原古河道研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1991
- 9 郑景云, 邵雪梅, 郝志新, 等. 过去 2000 年中国气候变化研究. 地理研究, 2010, 29: 1561-1570
- 10 Davis M. Palynology after Y2K—Understanding the source area of pollen in sediments. Annu Rev Earth Planet Sci, 2000, 28: 1-28
- 11 Heusser L. Pollen in marine cores: Evidence of past climate. Oceans, 1986/1987, 29: 64-70
- 12 Tauber H. Investigations of the mode of pollen transfer in forest areas. Rev Palaeobot Palyno, 1967, 3: 277-286
- 13 Kershaw A P, Hyland B P M. Pollen transport and periodicity in a marginal rainforest situation. Rev Palaeobot Palyno, 1975, 19: 129-138
- 14 竺可桢. 中国近 5000 年来气候变迁的初步研究. 考古学报, 1972, 1: 168-189
- 15 Xu Q H, Wu C, Zhu X Q, et al. Palaeochannels on the North China Plain: Stage division and palaeoenvironments. Geomorphology, 1996, 18: 15-25
- 16 童国榜, 张俊牌, 严富华, 等. 华北平原东部地区晚更新世以来的孢粉序列与气候分期. 地震地质, 1991, 13: 259-268
- 17 王艳. 渤海湾曹妃甸晚更新世末期以来古植被与古气候演变序列. 海洋地质与第四系地质, 2000, 20: 87-92
- 18 郭盛乔, 王玉海, 杨丽娟, 等. 宁晋泊地区冰消期以来的气候变化. 第四纪研究, 2000, 20: 490
- 19 靳桂云, 刘东生. 华北北部中全新世降温气候事件与古文化变迁. 科学通报, 2001, 46: 1725-1729
- 20 张伟兵. 水旱灾害网络共享数据库. 中国水利, 2009, 5: 66
- 21 张翠莲, 段宏振. 太行山东麓地区文明化进程研究. 见: 中国古代文明与国家起源学术研讨会论文集, 北京: 科学出版社, 2011
- 22 施雅风, 孙昭宸. 中国全新世大暖期气候与环境. 北京: 海洋出版社, 1992

- 23 任宪韶, 户作亮. 海河流域水资源评价. 北京: 中国水利水电出版社, 2007
- 24 张光辉, 陈宗宇, 费宇红. 华北平原地下水形成与区域水文循环演化的关系. 水科学进展, 2000, 11: 415-420
- 25 徐彦泽, 田小伟, 郑跃军, 等. 沧州小山地区地下水的补给研究. 水文地质工程地质, 2009, 3: 51-54
- 26 卫文. 华北平原第四系含水层地下水年龄与补给温度. 硕士学位论文. 北京: 中国地质科学院, 2007
- 27 许炯心. 基于大样本 ^{14}C 测年资料的华北平原沉积速率研究. 第四纪研究, 2007, 27: 437-443
- 28 许清海, 阳小兰, 郑振华, 等. 黄河下游河道变迁与河道治理. 地理与地理信息科学, 2004, 20: 77-80
- 29 张光辉, 杨丽芝, 聂振龙, 等. 华北平原地下水的功能特征与功能评价. 资源科学, 2009, 31: 368-374
- 30 雷万达, 罗玉峰, 缴锡云. 黄河下游侧渗研究进展. 人民黄河, 2009, 39: 61-64
- 31 郝春洋, 贾仰文, 龚家国, 等. 海河流域近 50 年气候变化特征及规律分析. 中国水利水电科学研究院学报, 2010, 8: 39-43

· 动态 ·

流域水循环模拟与调控国家重点实验室简介

流域水循环模拟与调控国家重点实验室(SKL-WAC)于2011年10月13日获得科技部批准建设,这是科技部在大专院校和中国科学院布局之外建设的首批国家重点实验室,也是水利系统科研院所的首个国家重点实验室.实验室设有5个研究方向,分别是:(1)“自然-社会”二元水循环基础理论;(2)流域水循环及伴生过程;(3)复杂水资源系统配置与调度;(4)流域水沙调控与江河治理;(5)水循环调控工程安全与减灾.

实验室发展建设目标是形成具有中国特色的流域水循环多过程系统模拟与综合调控的理论方法与技术体系,将实验室建成领域内具有重要国际影响力的水科学与工程技术创新基地、新时期国家重大治水实践的科技支撑基地、国家水利水电行业的高层次创新人才培养基地和国家水利科学及工程技术领域的国际化交流与合作基地.

实验室现有固定人员65人,其中院士4人,80%以上获得博士学位,国家自然科学基金委员会创新研究群体1个,获得国家杰出青年科学基金资助1人,享受国务院政府特殊津贴10人,入选“新世纪百千万人才工程”国家级人选6人,获得国家“有突出贡献中青年专家”称号2人,获“全国杰出专业技术人才”称号1人,获“中国青年科技奖”5人.

自2011年筹建运行以来,实验室突出4个方面特点:

一是突出的显式原始创新,在二元水循环基础理论及其伴生过程模拟与调控技术方法、节水型社会建设理论方法及其实证、超大流域水沙过程模拟与调控技术、超高坝建设运行安全保障技术、大型跨流域调水工程系统集成技

术等方面开展原创性工作.

二是服务于国家重大治水实践,服务于节水型社会建设、国家最严格水资源管理制度、国家水生态文明建设等国家重大治水新实践,服务于黄河、长江、淮河、鄱阳湖、洞庭湖等大江大河治理,服务于百米级大坝工程、小浪底工程、南水北调工程等大型水工程建设与安全运行.

三是建设完善的基础试验平台,突出依托行业研究院建设国家重点实验室的特色和优势,在原有实验平台体系中室内分析测试、物理和数值模拟试验基础上,构建了青海湖、鄱阳湖、查干湖、牧区草地、南水北调中线工程、三峡工程等符合流域水循环基础研究的野外原型实验基地网络体系,丰富和完善实验室基础科研实验平台体系.

四是积极开展面向公众的科技普及,实施科普公众开放月、开放日活动,向社会公众、大中学生广泛宣传水利科学知识,在《中国水利报》、《科学世界》等媒体解读国家水公共政策和水利工程建设背景,积极参加全国和各地节水辅导员培训活动、水情教育与技能培训活动等,并且编撰了面向大学生、中学生和小学生等不同层级的节水知识读本.

经过全体人员的努力,实验室获得批准的国家级基础科研项目62项,获得国家科技进步二等奖1项,省部级科技进步奖33项,发表论文241篇,其中SCI和EI检索论文131篇,获得国家发明专利17项,研究成果为国家重大工程规划与建设、重大政策制定、国家技术标准和规划拟定等采用近30项,继实验室贾金生教授当选为国家大坝委员会主席之后,高占义教授当选为国际灌排委员会主席.