

DOI:10.19948/j.12-1471/P.2024.01.02

孙志芹,张泽,姜兴钰,王福,王宏. 2024. 海面上升导致泄洪延时—子牙新河案例分析[J]. 华北地质, 47(1):21-25.

SUN Zhiqin, ZHANG Ze, JIANG Xingyu, WANG Fu, WANG Hong. 2024. Delay of flooding water discharge by sea level rise: a case study on Ziyaxinhe River[J]. North China Geology, 47(1):21-25.

海面上升导致泄洪延时—子牙新河案例分析

孙志芹¹, 张泽¹, 姜兴钰^{2,3,4*}, 王福^{2,3,4}, 王宏^{2,3,4}

(1. 河北省南运河河务中心, 沧州市 061001; 2. 中国地质调查局天津地质调查中心(华北地质科技创新中心), 天津 300170; 3. 中国地质调查局海岸带地质环境重点实验室, 天津 300170; 4. 天津市海岸带地质过程与环境安全重点实验室, 天津 300170)

摘要:【研究目的】尽管人们普遍认为全球变化背景下的海面上升是海岸带环境变化的重要驱动因素, 但对一个具体地区而言, 仍缺少定量化的影响评估, 以至于气候变化基础研究与海岸带实际经济社会活动之间存在日渐明显的脱节。本文是试图弥合这种脱节的一次探索。【研究方法】2023年夏秋京津冀地区大暴雨, 达到了1963年之后60年一遇的量级, 造成生命财产和区域经济的重大损失。本文根据子牙新河洪水闸口泄洪的具体案例, 探寻海面上升潮位升高泄洪延时之间可能存在的因果关系。【研究结果】研究发现在21世纪海面上升背景下, 渤海湾西岸存在潮位升高1 cm、泄洪时间减少0.02小时的潮位上升与泄洪延时之间的定量时空关系。【结论】提出潮位高于洪水水位时不能泄洪的“临界点”概念, 并根据联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)关于海面上升的最新预案, 尝试做出了今后三个时间节点(2030、2040和2050年)的泄洪延时预测。

关键词:陆地大洪水; 泄洪; 海面上升; 临界点; 预案

创新点:提出了高潮位高于洪水位的“临界点”概念, 初步论证了在海面上升背景下今后高于“临界点”的时间不断延长, 将导致每一潮周期内泄洪时间缩短, 并进行了今后三个时间点泄洪延时的估算。

中图分类号: P71; P731.2; TV87

文献标识码: A

文章编号: 2097-0188(2024)01-0021-05

Delay of flooding water discharge by sea level rise: a case study on Ziyaxinhe River

SUN Zhiqin¹, ZHANG Ze¹, JIANG Xingyu^{2,3,4}, WANG Fu^{2,3,4}, WANG Hong^{2,3,4}

(1. River Center of The South Canal, Cangzhou, Hebei 061001, China;

2. Tianjin Center (North China Geo-Innovation Center), China Geological Survey, Tianjin 300170, China;

3. Key Laboratory of Coastal Geo-environment, China Geological Survey, Tianjin 300170, China;

4. Tianjin Key Laboratory of Surface Process and Environment Safety, Tianjin 300170, China)

Abstract: This paper is the result of flooding water discharge by sea level rise.

收稿日期: 2023-08-31

基金项目: 中国地质调查局项目“黄渤海海岸带重点生态保护修复区综合地质调查(DD20211301)”、“京津冀协同发展区暨雄安新区资源环境承载力监测评价(DD20221727)”；国家重点基金课题“环渤海滨海地球关键带地质结构和岩相古地理研究(42293261)”

作者简介: 孙志芹(1978-), 女, 本科, 高级工程师, 专业方向为水利水电工程, E-mail: 824860053@qq.com。

通讯作者: 姜兴钰(1981-), 男, 硕士, 高级工程师, 专业方向为海岸带第四纪地质学, E-mail: jiangxingyu2008@163.com。

[Objective] Although being well known that sea level rise under the global climate change is a major driving force of coastal environmental changes, it has long been an obvious gap between the fundamental researches concerned and the existing coastal socio-economical activities, especially the quantitative impact-estimation for a given coastal area. This paper is an approach to remedy such a rift. **[Methods]** Catastrophic rainfall in the July-August last year, triggered off an one-in-60-years flood in Beijing-Hebei-Tianjin region. With a process of the flooding-water-discharge in a sluice, we approach a cause-and-effect relationship between elevating tidal level and delays of flood water discharge. **[Results]** Under the forecast sea level rise in the 21st century, a spacious-temporal relationship between tidal level rise, following the sea level rise, and curtailed discharge time of flooding water as 1 cm versus 0.02 hour. **[Conclusions]** Thus, a concept of ‘tipping point’ of the tidal level being higher than the contemporaneous flood water is addressed and delaying discharge time scenarios for the three time nodes 2030, 2040 and 2050 are estimated, respectively.

Key words: Land catastrophic flood, water discharge, sea level rise, tipping point, scenarios.

Highlights: Addressing a concept of ‘tipping point’ by which the tidal level is higher than the flooding water. Following the sea level rise in the coming future, the duration above the ‘tipping point’ will be prolonged while the water discharge time will be curtailed with a quantitative spacious-temporal estimation.

About the first author: Sun Zhiqin, female, born in 1978, senior engineer, engaged in water conservancy engineering management for many years, Email: 824860053@qq.com.

About the corresponding author: Jiang Xingyu, male, born in 1981, senior engineer, engaged in the study of coastal zone Quaternary geology, Email: jiangxingyu2008@163.com.

Fund support: Supported by the projects of China Geological Survey(No.DD20211301 and No.DD2021727), National Natural Science Key Foundation(NO. 42293261)

2023年7—8月,渤海湾津冀沿海接纳了自1963年之后“60年一遇”的下泄洪水。本文以子牙新河泄洪为案例,探讨在本世纪海面上升背景下,今后若再次发生同一级别的洪水时,泄洪过程可能出现的延时现象以及尽早考虑应对预案的建议。

1 此次泄洪的基本背景情况

2023年7月下旬,津冀沿海所在的渤海湾西岸湾顶处所有入海河流,开始接纳来自海河水系的下泄洪水(图1)。从7月29日至8月28日,子牙新河闸承接南系大清河上游来水,累计下泄6.76亿 m^3 。在此期间,仅7月31日的第二个潮周期内,因闸外潮位高于闸内洪水位而落闸1.5小时。其余时间,则完全处于提闸泄洪状态,最大程度地满足了行洪入海、减少损失的要求。

子牙新河口岸段7月31日下午16:30—18:00天文潮位仍处于较高位置(黄海高程 $\sim 0.8\text{m}$)(中国人民解放军海军海道测量局,2023;国家海洋信息中心,2023)。7月31日渤海湾近海的气象记录显示为东南风五级左右。该强度的向岸风,足以对闸外的近海海面产生驱动增高作用,本文进而推测增水30 cm(?)。因此,图2的7月31日16:30—18:00的落闸,就不但



图1 渤海湾西岸入海河道、包括子牙新河闸在内的主要泄洪闸位置简图

Fig.1 Sketch map illustrates river-channels emptied into the west Bohai Bay and distribution of the major sluices including the Ziyaxinhe River Sluice

有高潮水的顶托,还应考虑风增水的附加影响。7月31日18:00以后至8月底的长时间里,上游来水量大,使闸上洪水位一直保持足够高度,足以高出哪怕是高潮时再叠加一般风增水附加影响的闸外潮位。因此,才出现7月31日18:00之后再未落闸的情况。

但是,随着21世纪全球气候变化、海面上升乃至极

端气象事件发生频率增加、强度加大,将会对今后的泄洪造成怎样的新影响呢?本文仍以子牙新河为案例,选择2030、2040和2050年三个时间节点,试讨论今后因海面上升的潮水顶托作用,而使每个潮周期的泄洪时间变短,进而总体上延长泄洪时间的可能性。

图2显示在2023年7月31日下午向岸风增强下的高潮位高于洪水位,因而于16:30开始落闸1.5小时。自当日18:00之后,闸内洪水位一直高于闸外(即便有风增水叠加的)潮位。

对比另外一份潮汐表歧口站的位置与预测数据(国家海洋信息中心, 2023),可知图2所选用的歧河口站在歧口站以东数公里处,而歧口站高潮位高程可比歧河口站高10~30 cm。这提醒我们,在确定任一给定闸口的闸下潮位高度时,除了气象因素,还需考虑微地形差异的影响。子牙新河闸外河道北侧因围海造陆区块已延长了18 km、闸外河道南侧养殖池也已前出~4~5 km(作者研究团队的实测数据)。这些,有助于河道纳潮并导致潮位增高的“河口增水效应”:荷兰的经验值是河道每加长1 km,潮位增高1 cm(Plassche O V D, 1986;王宏等, 2010)。因此,假如开放海湾有30 cm的风增水,到了子牙新河闸下,就可能增高至~40 cm(按18 km与4 km的均值估算),从而增强对泄洪的阻滞作用。这种可能性,同样适用于渤海湾西岸的其他泄洪闸(图1)。这些细节,将留待今后深入研究时进一步考虑。

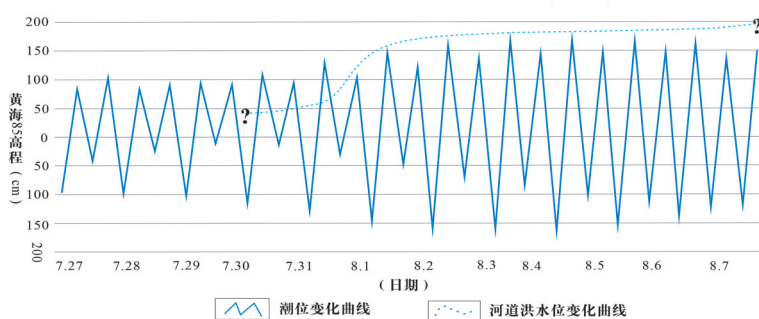


图2 歧河口站潮位曲线(据参考文献[1]转绘)与子牙新河观测洪水位(蓝点线)对比图

Fig.2 Preliminary comparison between reconstructed tidal fluctuation curve, based on literature [1] and flooding water level, observed at Ziyaxinhe River Sluice, during the period of '2023.07-08 Flood'

注:显示在2023年7月31日下午向岸风增强下的高潮位高于洪水位,因而于16:30开始落闸1.5小时。自当日18:00之后,闸内洪水位一直高于闸外(即便有风增水叠加的)潮位。

2 今后三个时间节点的基本参数

鉴于相关数据仍在整理中,本文就存在高潮位高于洪水位(此时不能泄洪且海水倒灌,不得不落闸)的前提条件下,讨论海面上升的影响。

2.1 绝对海平面变化

这里所说的“绝对海平面”变化,是通俗的表述。除了因冰盖消融导致的海面上升,还包括因水温上升水体热膨胀等物理原因造成的海面上升(Church, et al., 2013, Horton, et al., 2014)。按联合国政府间气候变化专门委员会的第六份评估报告(Fox-kemper, et al., 2021)及今年最新的综合报告(Hoesung, et al., 2023),2050年时全球海平面将比现在高~12~30 cm。再按中国海平面公报的海面上升数值4 mm/a(1993—2022年平均),预测至2050年时,还要再上升~11 cm。这两组数据意味着,子牙新河闸所在的渤海湾湾顶岸段现在-1.61 m的平均低低潮位(MLLW)、-1.16 m的平均低潮位(MLW)(Li, et al., 2021),在2050年时将因海面上升而高出~11~30 cm,分别达到黄海高程~-1.5~1.3m或~-1.05~0.85 m。

进一步,据上述中、高预案数据(易长荣, 2017),可以近似地预测子牙新河岸段绝对海平面在2030、3040和2050年三个时间节点将分别比2023年时高~4 cm、~10 cm和~17.5 cm。相应地,届时的平均低潮位亦将分别作同样的升高。

2.2 地面下沉

近年来,因新构造、沉积物自压实及人为抽取地下水(及油气)等因素,渤海湾西岸地区下沉呈逐渐减小趋势,但谨慎起见,本文仍采用1 cm/a的平均下沉量(Hoesung, et al., 2023)。按此数值估计,与2023年相比,子牙新河闸2030、2040和2050年地面下沉量将分别是~7 cm、~17 cm和~27 cm。

2.3 相对海面变化

综合上面的海面绝对上升与地面下沉,可预测子牙新河闸2030、2040和2050年的相对海平面上升量分别是~0.11 m、~0.27 m和~0.45 m。

2.4 泄洪延时

根据渤海湾西岸的平均高高潮与低

低潮潮差 3.0 m (Li J F, 2021), 可知存在潮位每升降 1 cm 需时 0.02 小时的近似线性关系。因此, 当(海面上升 1 cm 而使)潮位相应升高 1 cm 时, 意味着将减少泄洪时间 0.02 小时(图 3)。这个时空关系将对泄洪产生影响。

如上所述, 该图反映的是在一个潮周期内, 有部分时间的潮位在闸内洪水位之上。在这段时间内, 非但洪水因更高的潮水顶托而不能下泄, 甚至还有海水倒灌的危险。这里, 就提出一个“临界点”(tipping point)概念(Lenton, 2019)。潮位高于洪水位, 达到这个“临界点”时, 即无法泄洪。当洪水位不变时(例如仍然是“2023.07—08 洪水”), 随着今后海面上升, 达到该“临界点”的频率会越来越高, 泄洪时间越来越短。

-2030 年时, 当相对海面上升 0.11 m 时, 每个潮周期将减少泄洪时间 0.44 h ($= 0.02 \times 0.11 \times 2$);

-2040 年时, 当相对海面上升 0.27 m 时, 每个潮周期将减少泄洪时间 1.08 h;

-2050 年时, 当相对海面上升 0.45 m 时, 每个潮周期将减少泄洪时间 1.80 h。

按子牙新河闸 2023.07.27—08.20 的 25 天行洪期共计 ~50 个潮周期计, 设每个潮周期 ~12 小时内可有 10 小时泄洪的乐观估计(这里还兼顾海河流域其他各泄洪闸的一般情况), 则任意单一闸口:

-2030 年时一个潮周期泄洪时间将减为 9.56 h;

-2040 年时一个潮周期泄洪时间将减为 8.92 h;

-2050 年时一个潮周期泄洪时间将减为 8.20 h。

由此, 一个闸口:

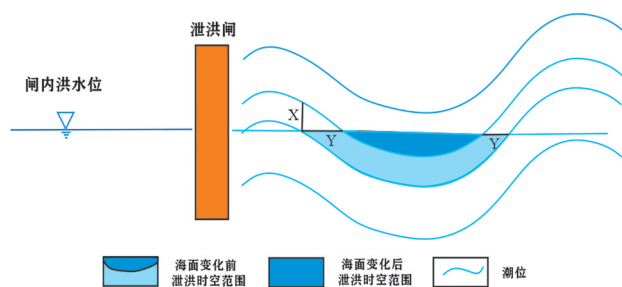


图3 不考虑气象因素时潮位上升与泄洪的时空关系示意图

Fig.3 Sketch map shows a curtailed spatiotemporal dimension of river water discharge following the sea level rise, without consideration about additional meteorological factors

注: 当潮位升高 X 时, 低于临界点的泄洪时间减少 ~2Y

-2030 年时, 总计减少泄洪时间 22 h;

-2040 年时, 总计减少泄洪时间 53 h;

-2050 年时, 总计减少泄洪时间 90 h。

这意味着, 一个闸口:

-2030 年时, 泄洪时间需增加 2.3 个潮周期, 约 1 天;

-2040 年时, 泄洪时间需增加 5.3 个潮周期, 约 3 天;

-2050 年时, 泄洪时间需增加 11 个潮周期, 约 5.5 天。

需要指出的是, 上面在计算相对海面上升及其与泄洪的时空关系时, 未涉及以下三个方面: (1) 憩流期可能对一个潮周期内的泄洪时间产生的影响。一般而言, 影响泄洪时长的, 是海面上升(潮位上升)的幅度。至多数十分钟的憩流期, 暂忽略不计。(2) 潮位升降并非完全是线性的, 本文简化为线性关系。(3) 渤海湾沿岸均衡补偿量 $< 1 \text{ mm/a}$ (王宏, 2022), 在这篇短文中未加考虑。

3 讨论

上面讨论了不附加气象变化的正常情况下, 一旦达到“临界点”即出现的泄洪延时问题。实际上, 气象因素特别是极端气象因素导致的增水, 叠加在高潮位之上, 是泄洪的最大威胁。此次泄洪期间, 天津市的各个闸口均遇到这个严峻的问题。子牙新河闸所属的沧州渤海新区黄骅市防御海洋灾害指挥部预报, 8 月 5—6 日将出现 30~60 cm 的风暴增水。5 日、6 日, 是阴历六月十九和二十日, 并非朔望月天文大潮时; 再查歧口、歧河口两站潮汐预报情况, 也印证并非天文大潮。因此, 本文将黄骅市防御海洋灾害指挥部预报的 30~60 cm 增水, 视作叠加在平均高潮位上的气象增水。并建议将它们划分为一般天文大潮时增水 30 cm 和 60 cm 两个等级, 分别作为今后低预案和中预案的落闸临界值。另外, 在统计了自 1895 年以来渤海湾西岸(塘沽、歧口、南排河和黄骅港)的 12 次均归化到黄海 85 高程的极端风暴潮高水位数据的基础上(王宏等, 2010), 本文选用相对保守的、比渤海湾西岸平均高潮位(Li, et al, 2021)高出 2.05 m 的百年一遇的风暴潮水位值 3.262 m (吴少华, 2002), 作为极端气象条件时的增水高度并视作今后高预案的“临界点”。

展望今后, “海面上升—泄洪延时”现象, 将会被加倍放大。现在百年一遇的极端高水位事件在本世

纪的发生频率将提高 20~30 倍(Hoesung, et al, 2023),变为五年一遇、甚至三年一遇。2019年“利奇马”台风在黄骅港附近高水头值 3.2 m,增水达到 1.89 m(据文明征博士实测,2019),这就是极端事件发生频率增加的警示。今后,将不同级别的风增水气象事件纳入“临界点”概念,是势在必行的。具体到子牙新河,此次行洪期间仅有 7 月 31 日的一次落闸,今后则需作数天(或更短?)即落闸一次的准备。尽管渤海湾西岸各闸口泄洪的具体情况尚未公开,但上面所讨论的导致泄洪延时的因素与计算思路,可供有关部门参考。

4 结论

本文讨论了在无附加气象因素时海面上升与泄洪延时的关系,当以渤海湾湾顶的平均高高潮与平均低低潮潮差 3 m(Li, et al, 2021)为依据时,存在(无附加气象因素时的)潮位变化 1 cm 需 0.02 小时的时空关系。

当 2030、2040 和 2050 年子牙新河闸相对海平面上升分别达到 11 cm、17 cm 和 45 cm 时,届时泄洪期将分别延长 1 天、3 天和 5.5 天。当进一步考虑不同等级的附加气象因素时,2030、2040 和 2050 年的泄洪延时将会极大增加。

本文进而提出将气象增水 0.3 m、0.6 m 和 3.26 m(若与平均高潮位(Li, et al, 2021)相比,例如 3.26 m 要比平均高潮位高 ~2 m),作为三类泄洪“临界点”数值。根据 21 世纪全球海面上升、地面下沉及附加气象因素等背景条件,提出考虑分级预案的建议。

本文仅涉及“闸外”因海面上升(及相伴的地面下沉、气象因素)对泄洪的阻滞延时效应,海面上升对闸口(及缺少贝壳堤、米草-牡蛎共生体保护的泥质光滩、海堤与泥质天然海岸线)的侵蚀破坏等尚未涉及;因海面上岸线蚀退而可能对泄洪闸口造成破坏,更是从未想到过的全新问题。至于“闸内”,沿海低地行洪河道整治与河堤、蓄滞洪区划定与围堤、人员疏散等对海面上升-泄洪延时的响应,是整个系统的另一组成部分,更为复杂、敏感。总之,这是一个陆域大洪水背景下的海面上升与河道行洪-闸口泄洪的复杂博弈过程,是此次大洪水提醒我们的长期存在、今后还可能增强的“隐性”灾害。作为有大

河入海的海岸带能否可持续发展的关键环节(之一),需要从战略上做出通盘考虑。

致谢:在论文撰写过程中,与南京大学地理与海洋科学学院高抒教授、天津地质调查中心田立柱博士讨论憩流期;自然资源部海洋信息中心王慧研究员提供该中心的歧口站潮汐数据;天津地质调查中心杨朋博士、文明征博士和袁海帆工程师提供相关调查信息,与施佩歆高工讨论潮位升降-时间关系,文明征博士提供“利奇马台风”风暴潮水位实测数据。在此一并致谢。同时,该论文是“地质海洋与生态”创新联合体的成果。

中文参考文献:

- 国家海洋信息中心. 2023. 潮汐表[M]. 北京:海洋出版社, 166.
王宏, 商志文, 王福, 等. 2010. 渤海湾西岸风暴潮: 叠加地质因素的新探讨. 地质通报[J]. 29(05):641-649.
王宏. 2022. 渤海湾障壁岛潟湖型成陆过程及对今后海岸带可持续发展的启示: 纪念天津地质调查中心第四纪地质调查与研究转入海岸带方向 40 周年. 华北地质[J]. 45(1):1-17.
吴少华, 王喜年, 宋珊, 等. 2002. 天津沿海风暴潮概述及统计分析. 海洋预报[J]. 19(1):29-35.
易长荣. 2017. 天津市控制地面沉降工作最新进展. 海河水利[J]. (3):42-43.
中国人民解放军海军海道测量局. 2023. 潮位表[M]. 天津:中国航海图书出版社, 98.

References

- Church J A, Clark P U, Cazenave J M, et al. (eds.). 2013. Sea Level Change, in: Climate Change 2013[M]. Cambridge University Press, 1137-1216.
Fox-kemper B, Hewitt H T, Xiao C, et al. (eds.). 2021. Ocean, cryosphere and sea level change, In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change (Masson-delmotte V, Zhai P, Pirani A, et al. eds.)[M]. Cambridge University Press, 1-257.
Hoesung L, Katherine C, Dasgupta D, et al. 2023. IPCC AR6 Synthesis Report[R]. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>, 1-85.
Horton B P, Rahmstorf S, Engelhart S E, et al. 2014. Expert assessment of sea-level rise by AD 2100 and AD 2300. Quaternary Science Reviews[J]. 84, 1-6.
Lenton T M, Rockström J, Gaffney O, et al. 2019. Climate tipping point too risky to bet against. Nature[J]. (575):592-595.
Li J F, Shang Z W, Wang F, et al. 2021. Holocene sea level trend on the west coast of Bohai Bay, China: reanalysis and standardization[J]. Acta Oceanol Sin, 40(7):198-248.
Plassche O V D. 1986. Sea-Level Research: a manual for the collection and evaluation of data[M]. 1-26.