

关于构建邳苍分洪道水文数学模型的研究

田忠师

临沂市水文中心 山东临沂市

DOI: 10.12238/ems.v6i8.8813

[摘要] 邳苍分洪道用于分泄沂河干流洪水、减轻干流行洪压力的防洪工程,同时承泄邳苍北部山区诸河来水,使沂沭泗流域洪水漫流、水旱灾害频发的局面得到改善,缓解了武河沿岸50万亩土地的洪涝压力和武、运分洪顶托的影响。由于全球气候变暖,导致极端天气频发,大概率引发沂沭河流域发生特大洪水,邳苍分洪道的启用几率大幅增加。为科学应对邳苍分洪道的启用下河道行洪能力状况,降低暴雨洪水对邳苍分洪道内及下游产生的影响,笔者通过研究邳苍分洪道的特性,并查阅相关数据资料,建立行洪水文数学模型,以用于指导流域内暴雨洪水防灾减灾工作。

[关键词] 邳苍分洪道; 水文数学模型; 行洪

Research on Building a Hydrological Mathematical Model for the Picang Floodway

Tian Zhongshi

Linyi Hydrological Center, Linyi City, Shandong Province

[Abstract] The Picang diversion channel is a flood control project used to divert and release floods from the main stream of the Yi River, reduce the pressure of dry and flowing floods, and also to discharge water from various rivers in the northern mountainous areas of Picang. This has improved the situation of flood overflow and frequent water and drought disasters in the Yishusi River Basin, and alleviated the flood pressure on 500000 acres of land along the Wu River and the impact of the Wu and Yun diversion floods. Due to global climate change, extreme weather events are occurring frequently, which is likely to cause major floods in the Yishu River Basin, greatly increasing the probability of the Picang diversion channel being put into use. In order to scientifically cope with the flood discharge capacity of the lower channel under the opening of Picang spillway and reduce the impact of rainstorm flood on the inside and downstream of Picang spillway, the author established a hydrological mathematical model for flood discharge by studying the characteristics of Picang spillway and consulting relevant data, so as to refer to the rainstorm flood disaster prevention and mitigation work in the diversion area.

[Keywords] Picang diversion channel; Hydrological mathematical model; Flood

1 流域概况

邳苍分洪道是人工开挖的分洪河道,其源头是江风口分洪闸,途中流经罗庄区、郯城县、兰陵县、邳州市四地,于江苏省邳州市大谢湖进入中运河,全长共74.0km。主要用于分泄沂河洪水入中运河,经过后期流经段邳苍地区农田水利工程兴建,也具备农田排涝作用。河道内耕地占有面积约11.2万亩,其中山东与江苏所占比例为1:1.49。邳苍分洪道自

东北流向西南,支流较多,多数由右岸汇入,其中主要支流有陷泥河、南涑河自上游罗庄区汇入,起源于兰陵北部山区丘陵地区的燕子河、吴坦河、东沭河、汶河、西沭河在下游邳州市境内汇入,区间总流域面积达2357km²。

流域多年平均降水量为790mm,主要特征是年际变化较大、年内分布不均,其中最大年降水量为1174mm,最小年降水量为492mm。降水多集中在6~9月,平均降水量为560mm,

占比达 70.9%。该流域暴雨主要成因是黄淮气旋、台风及南北切边。长历时的降雨多由切变线和低涡现象接连出现造成。流域产汇流特征明显,多年平均径流深为 181mm,年径流系数为 0.23。主要流经段中上游邳苍地区河道比降较大,洪水过程陡涨陡落,变化较快。洪水汇集至中下游后,河道比降减小,行洪不畅,洪水过程缓慢。

2 水利工程建设现状

邳苍分洪道源头江风口闸设计防洪标准为 50 年一遇,设计防洪流量为 $4000\text{m}^3/\text{s}$,相应闸上水位为 58.39m、闸下水位 57.93m,设计防洪水位闸上为 58.98m,闸下为 51.00m,闸上正常蓄水位为 53.50m。建闸以来分别于 1955 年、1956 年、1957 年(5 次)、1960 年和 1974 年(2 次)分洪,共 10 次。1957 年 7 月 19 日最大分洪流量为 $3380\text{m}^3/\text{s}$,为历史最大值。

邳苍分洪道最新防洪标准为 50 年一遇,各段设计流量分别为:江风口闸至东沭河口段 $4000\text{m}^3/\text{s}$ 、东沭河以下段 $550\text{m}^3/\text{s}$ 。各段主要控制站其相应水位:江风口闸下为 57.93m,朱庄为 46.90m,苏鲁省界为 36.54m,东沭河口为 32.88m,西沭河口为 30.39m,依宿坝为 29.41m,中运河河口为 27.88m。

邳苍分洪道自江风口闸到南涑河口段长 13.60km,是利用原武河河道两岸筑堤而成,堤距为 800m,最窄处蝎子山为 480m,南涑河口至苏鲁省界段为平地筑堤,束水漫滩行洪,堤距逐渐展宽,苏鲁省界至东沭河口段堤距逐渐展宽,东沭河口以下段堤距为 2000m。邳苍分洪道河底高程为:江风口闸下为 49.40m,苏鲁省界为 29.30m,入中运河河口为 19.00m。

西偏泓自朱庄至中运河长度为 55.4km,其中山东段 20.2km,江苏段 35.2km,泓底宽 $20\sim 70\text{m}$,底高程为 $39.2\sim 19.0\text{m}$ 。东偏泓从 S232 公路起至入中运河止,全长 57.5km,其中山东段 21.3km,江苏段 36.2km,泓底宽 $4\sim 10\text{m}$,底高程 $43.4\sim 21.1\text{m}$ 。东、西偏泓内滩地筑有保麦围堤,围堰顶高程超 3 年一遇排涝水位为 0.5m。顶宽 2.0m;西偏泓 3 年一遇排涝流量朱庄~省界~东沭河~西沭河~中运河分别为 $220\text{m}^3/\text{s}$ 、 $310\text{m}^3/\text{s}$ 、 $460\text{m}^3/\text{s}$ 、 $680\text{m}^3/\text{s}$;东偏泓 3 年一遇排涝流量朱庄~省界~邳苍公路桥~依宿坝分别为 $12\text{m}^3/\text{s}$ 、 $21\text{m}^3/\text{s}$ 、 $24\text{m}^3/\text{s}$ 。

邳苍分洪道提防为 2 级堤防,其设计标准为堤顶宽 6.0m,堤顶安全超高 1.5m,迎水坡比为 1:3,背水坡比为 1:2.5(江苏段 1:3)。邳苍分洪道右堤建有 2 段防洪墙,分别位于蒋史汪村、蝎子山村,共长 1.2km,墙顶高程分别为 56.30~56.94m 和 53.22m,断面为直角梯形,顶宽 0.5m,坡比为 1:0.5;右堤设有粘土斜墙截渗墙,墙顶宽 1.0m,底宽 3.0m,截渗墙底以下设黏土齿墙至相对不透水层。

3 相关数据资料整理

邳苍分洪道为复式河床,内分西偏泓和东偏泓两条主河槽,东西两条主河槽间为漫滩,平时作为农业耕地。邳苍分洪道省界断面处于 2017 年开始设有王樊庄(西泓)、王樊庄(东泓)两处水文站,位于山东省临沂市兰陵县长城镇王樊

庄村,用于省界断面处水位、流量监测。两处水文站的水位能够测量的水位区间为 $31.44\text{m}\sim 41.12\text{m}$ 。邳苍分洪道位于该段有相应的断面数据、低中高水实测流量成果资料,通过分析洪、平、枯典型年(2019 年、2020 年、2021 年)水文要素监测数据,构建水文数学模型,以期获得邳苍分洪道位于该段的水位流量关系。

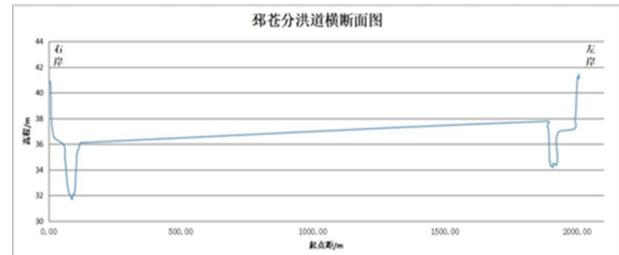


图 1 邳苍分洪道省界断面处横断面图 (m)

4 水文数学模型建立

水文数学模型是应用数学物理方程的定量方法来描述水文现象物理过程的模型。因此通过确定数学表达式、初值条件及边界条件,建立邳苍分洪道水文数学模型。邳苍分洪道的水文数学模型以当枯水水位值 $Z=32.27\text{m}$ 时, $Q=0\text{m}^3/\text{s}$ 为初始条件,以相应的区间水位值作为边界条件。

4.1 主槽行洪时的数学模型探究

通过分析王樊庄(西泓)水文站、王樊庄(东泓)水文站的洪、平、枯典型年(2019 年、2020 年、2021 年)水文监测数据,构建水位位于 $32.05\text{m}\sim 36.00\text{m}$ 区间范围内的水文数学模型,获得邳苍分洪道内位于该区间水位的水位流量关系。

根据水位位于该区间水位中,行洪在主河槽,测站控制条件良好和河床条件基本稳定,水位流量关系也都保持稳定,所以对历年数据,采用临时曲线法整编,拟合为二次多项式数学函数公式:

$$Q=8.70377*(Z-31.730)^2-1.07178*(Z-31.730)-0.5483 \quad (1)$$

4.2 漫滩情况下的数学模型探究

通过采用水力学原理,根据确定的糙率、湿周和河底坡降,应用曼宁公式 $v=\frac{1}{n}R^{2/3}i^{1/2}$,计算相应水位的平均流速,过水断面的各个参数值可以根据水文站上水位值在断面图中推求。从而建立水位位于 $36.00\text{m}\sim 40.00\text{m}$ 区间范围内的水文数学模型,获得邳苍分洪道位于该区间水位的水位流量关系。

利用 GPS 卫星定位系统测得西偏泓王樊庄(西泓)站基本水尺断面处河底高程为 31.87m,上游顺直河段 600m 处流速仪测流断面河底高程是 32.62m,根据 $I=\frac{\Delta h}{L}$,计算河底底坡 I 为 0.0012。

邳苍分洪道位于王樊庄(西泓)水文站、王樊庄(东泓)水文站处的糙率判断,因为此处为复式河床,河内分主河槽和滩地,所以应用水力学方法计算流量分为主河槽糙率与滩地糙率。主河槽根据河槽岸壁为细砂,河床组成为砂砾或卵石,河底坡度较均匀,床面平整;河段顺直段较长,过水断面较规整,水流较通畅,产生死水、斜流或回流等水文现象情况较少;两岸为沙土岩石,略有杂草、小树,分布形状较整齐。滩地平纵横形态为平面、纵面、横面尚顺直整齐,床质为土、沙质,植被情况为稀疏杂草、小杂树或种植高杆作物。根据天然河道糙率计算及取值方法,主河槽糙率 n_1 取 0.027,滩地糙率 n_2 取 0.050^[1]。

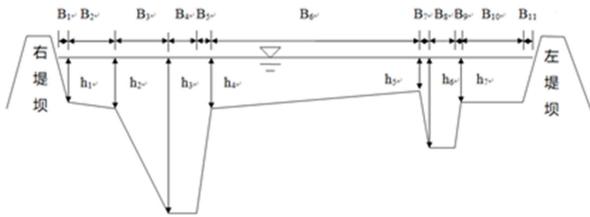


图 2 邳苍分洪道省界断面处横断面简图

出现漫滩时主河槽过水断面面积:

$$A_1 = \left[\begin{array}{c} (h_2 + h_3) * B_3 + h_3 * h_4 + \\ (h_3 + h_4) * B_5 + (h_5 + h_6) * B_7 + h_6 * B_8 + \\ (h_6 + h_7) * B_9 \end{array} \right]; \quad (2)$$

式中 A_1 ——出现漫滩时主河槽过水断面面积; h_i ——各部分断面水深; B_i ——各部分断面水面宽。

出现漫滩时漫滩部分过水断面面积:

$$A_2 = \left[\begin{array}{c} B_1 * h_1 + (h_1 + h_2) * B_2 + \\ (h_4 + h_5) * B_6 + \\ h_7 * B_{10} + h_7 * B_{11} \end{array} \right]; \quad (3)$$

式中 A_2 ——出现漫滩时漫滩部分过水断面面积; h_i ——各部分断面水深; B_i ——各部分断面水面宽。

出现漫滩时总过水断面面积:

$$A_{总} = \left[\begin{array}{c} B_1 * h_1 + (h_1 + h_2) * B_2 + (h_2 + h_3) * B_3 + h_3 * h_4 + \\ (h_3 + h_4) * B_5 + (h_4 + h_5) * B_6 + (h_5 + h_6) * B_7 + h_6 * B_8 + \\ (h_6 + h_7) * B_9 + h_7 * B_{10} + h_7 * B_{11} \end{array} \right]; \quad (4)$$

式中 $A_{总}$ ——出现漫滩时总过水断面面积; h_i ——各部分断面水深; B_i ——各部分断面水面宽。

出现漫滩情况时,湿周分为两个部分,

第一个部分为主河槽部分,主河槽部分湿周 R_1 为一确定值,取 85.4m;第二部分为漫滩部分,漫滩部分因为是宽浅河道,水面宽度近似为湿周,漫滩部分湿周 $R_2 = B_1 + B_2 + B_6 + B_{10} + B_{11}$;总湿周 $R = R_1 + R_2$ 。

4.3 溃口情况下的数学模型探究

当水位大于 40.00m 时,将出现溃坝情况,溃坝情况下的溃口形状可以简化为由三角形演化成抛物线,应用全站仪等设备可测得,溃口宽度 B ,水深 h 。从而利用溃口公式,即可建立水位大于 40.00m 区间范围内的人文数学模型,获得邳苍

分洪道位于这级水位的水位流量关系。

溃口形状简化为三角形时溃口流量:

$$Q' = \frac{64}{125} \sqrt{g} B h^{3/2}; \quad (5)$$

式中 Q' ——溃口流量; B ——溃口宽度; h ——水深; g ——重力加速度。

溃口形状简化为抛物线时溃口流量:

$$Q' = \frac{17}{64} \sqrt{g} B h^{3/2}; \quad (6)$$

式中 Q' ——溃口流量; B ——溃口宽度; h ——水深; g ——重力加速度。

4.4 邳苍分洪道水文数学模型成果

通过将主槽行洪时的数学模型探究成果、漫滩情况下的数学模型探究成果及溃口情况下的数学模型探究成果共同分析,把不同自变量区间的行洪流量数学表达合并,即:

$$Q = \begin{cases} 8.7038 * (Z - 31.730)^2 - 1.0718 * (Z - 31.730) - 0.5483 & 32.05 \leq Z < 36.00 \\ A_1 \frac{1}{n_1} R_1^{2/3} + A_2 \frac{1}{n_2} R_2^{2/3} & 36.00 \leq Z \leq 40.00 \\ A_1 \frac{1}{n_1} R_1^{2/3} + A_2 \frac{1}{n_2} R_2^{2/3} + Q' & Z > 40.00 \end{cases} \quad (7)$$

式中 Q ——流量; A_1 ——出现漫滩时主河槽过水断面面积; A_2 ——出现漫滩时漫滩部分过水断面面积; R_1 ——主河槽部分湿周; R_2 ——漫滩部分湿周; I ——河底底坡; Q' ——溃口流量; Z ——水位。

5 结语

沂河水系降水极端性强、暴雨过程多,尤其是处于每年的“七下八上”防汛关键期,经历前期多轮强降雨影响,导致土壤含水量饱和,产汇流叠加危害加大,各类水利工程高水位运行防汛压力较大,若后期出现流域阶段性强降水过程,造成局地洪涝灾害,大概率引发沂沭河流域发生大洪水,邳苍分洪道的启用几率大幅增加。

通过建立邳苍分洪道行洪水文数学模型,能够及时有效的推算行洪流量,用于指导洪水期启用分洪道中的工程措施,具有重要意义。

笔者通过将数学物理方程与水文现象相结合,建立水文数学模型,运用数学方法将行洪过程简化,力求能够快速有效的应对汛期水情,对行洪决策具有一定的参考价值。但是水文现象受很多因素影响,包括河床、植被、地质、地形,及上下游水情的影响,过程复杂,建立的水文数学模型还需要不断完善。

[参考文献]

[1]张秉文,天然河道糙率计算及取值方法,南水北调与水利科技

作者简介:田忠师,男,1993.01,学士学位,临沂市水文中心,助理工程师。