

丘陵区滨海城市暴潮洪耦合水文特性研究

张琳琳

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘 要:日照市主城区滨海而建,地貌属鲁东丘陵区,地势西北高、东南低,河流呈树枝状分布,由北向南汇入傅疃河后入海。近年来,日照市主城区遭受洪涝灾害呈现出暴潮洪耦合作用下的城市内涝特征。利用当地 34 a 间的实测降雨资料,采用瞬时单位线法与水文模型法开展了对滨海丘陵城市暴潮洪耦合水文特性的研究,以指导当地河道防洪工程建设。

关键词:丘陵区;滨海城市;主城区;耦合;水文特征

中图分类号: TU998.4;TV87

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)08-0120-05

0 引言

日照市主城区滨海而建,建设用地范围为沈海高速以东、瓦日铁路以北、山海路及桃花岛一路以南、东至海滨的建成区域,总面积约 253.5 km²。主城区地貌属鲁东丘陵区,总体地势西北高、东南低,由内陆向海洋倾斜,境内山丘起伏,平川散布,河流呈树枝状分布,由北向南经张家河、崮河汇入傅疃河后入海。

郑美琴等^[1]研究显示,影响山东日照产生暴雨的台风时间大多集中在 7 月和 8 月,集中性台风引起的强降雨易导致洪涝灾害。海岸低洼处多为河流入海口及山前冲积小平原,易遭受由海潮倒灌和海潮顶托洪水造成的洪涝灾害。

城镇化的快速发展使得城市防洪排涝功能的短板凸显,城市暴雨洪涝灾害所致损失加剧^[2]。近年来,日照市经济社会发展和城市建设进程日新月异,城市外部环境和下垫面条件发生重大变化,主城区遭受洪涝灾害呈现出暴潮洪耦合作用下的城市内涝特征。

1 水系现状

主城区主要有沙墩河、香店河、张家河、崮河、后楼河、营子河、郭家湖子河、姜家河、乔家墩子河与傅疃河等河流,规划范围内河道总长度约 66.5 km,河网分布情况如图 1 所示。

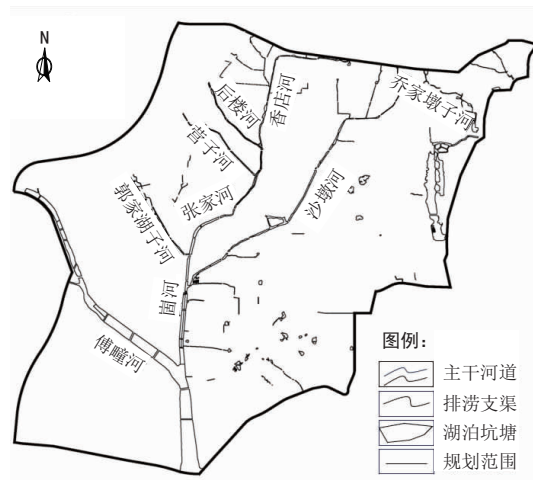


图 1 日照市主城区水系图

2 雨洪特征

日照市位于山东半岛东南部,主城区更是滨海而建,属暖温带半湿润大陆性季风气候,水汽来源主要是西太平洋低纬度暖湿气团的侵入和台风、台风倒槽及东风波输送的大量水汽^[3]。暴雨洪水多发生在盛夏秋初,季节性较强。

降水量年际之间变化较大,丰水的 1964 年降雨量达 1568.9 mm,枯水的 2006 年降水量则仅 396.5 mm,丰枯比为 3.96。年内降水大多集中在 6~9 月,其中 7~8 月降雨次数最多,雨量最大。据区域内 1981—2014 年的实测降雨资料计算,多年平均最大 24 h 雨量为 101.5 mm,实测年最大的 24 h 雨量为 219.2 mm,发生于 2008 年。

区内河流属山溪雨源性河流,河道流量随季节变化,汛期洪水集中,洪水过程呈现短历时(一般为 15~

收稿日期: 2023-08-31

作者简介:张琳琳(1979—),男,博士,高级工程师,从事水利工程咨询、设计工作。

20 h)特征,且陡涨陡落。造成本流域内暴雨的天气系统包括台风、锋面、气旋及切变等。

3 设计暴雨分析

3.1 暴雨频率分析

本文调查到日照气象局石臼所站 1981—2014 年连续 34 a 最大 1、3、24 h 的实测降雨资料,进行频率计算和适线分析,如图 2 和表 1 所示,再求得日照市主城区相应的暴雨统计参数。

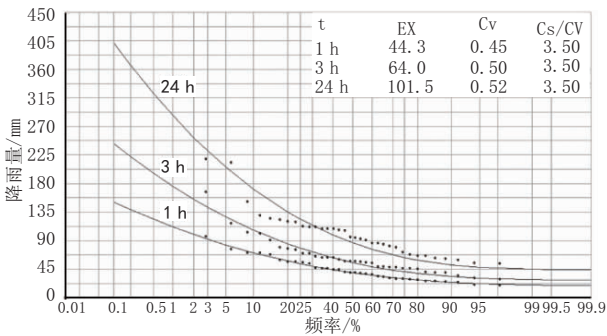


图 2 P-III 适线结果图

表 1 设计点雨量频率适线结果 单位:mm

时段	P=20%	P=10%	P=5%	P=3.3%	P=2%	P=1%
1 h	57.8	70.8	83.3	90.5	99.5	111.5
3 h	84.8	106.2	127.2	139.4	154.6	175.1
24 h	135.3	171.0	206.2	227.1	252.2	286.8

点面雨量换算关系采用《山东省大中型水库防洪安全复核洪水计算办法》(以下简称“洪水计算办法”)及《山东省中小河流综合治理指导意见》(以下简称“指导意见”)中的计算方法,根据设计流域的面积和降雨历时,查读暴雨点面关系表,得暴雨点面折算系数,乘以相应的点雨量即得设计面雨量,如表 2 所示。

表 2 设计面雨量结果 单位:mm

时段	P=20%	P=10%	P=5%	P=3.3%	P=2%	P=1%
24 h 点雨量	135.3	171.0	206.2	227.1	252.2	286.8
24 h 面雨量	124.5	157.3	189.7	208.9	232.0	263.8

3.2 设计暴雨过程

分别采用“洪水计算办法”和“指导意见”提供的设计雨型计算暴雨过程,再进行对比分析后发现,“指导意见”算得的暴雨过程峰值较突出,对防洪偏不利,从考虑防洪相关工程的安全角度出发,选择“指导意见”提供的设计雨型所算得的暴雨过程,如图 3 所示。

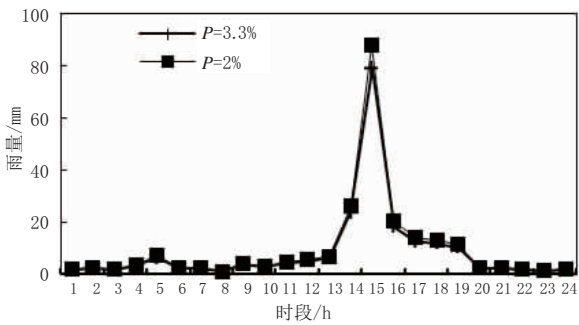


图 3 “指导意见”计算暴雨过程

设计暴雨分配面雨量峰值如下:30 a 一遇最大 1 h 为 78.77 mm/h,24 h 面雨量为 208.9 mm;50 a 一遇最大 1 h 为 87.47 mm/h,24 h 面雨量为 232.0 mm。

4 设计洪水分析

4.1 汇水分区划分

结合日照市主城区及上游段的地形地势和水系布局,并考虑区域雨水规划等相关规划,按照汇流范围布置,划分为多个汇水分区,分区示意图如图 4 所示,主要河流设计特征参数如表 3 所示。

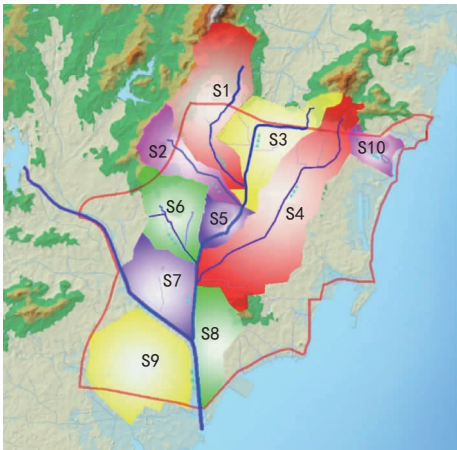


图 4 日照市主城区汇水分区划分示意图

表 3 主要河流设计特征参数

序号	河流	分区	汇水面积 /km ²	河道长度 /km	平均坡降 ‰
1	后楼河	S1	32.89	11.9	4.23
2	营子河	S2	13.81	7.8	3.20
3	香店河	S3	24.14	10.5	2.30
4	沙墩河	S4	50.35	15.18	2.12
5	张家河区间	S5	6.91	6.30	1.21
6	郭家胡子河	S6	18.27	5.50	5.45
7	崮河傅疃河	S7	18.16	4.81	1.21
8	崮河傅疃河	S8	14.99	7.82	1.21
9	川子河傅疃河	S9	33.34	7.96	0.39
10	乔家墩子河	S10	6.22	4.41	5.81

4.2 设计洪水过程

本文开展设计洪水计算时采用瞬时单位线法——把流域看作是 n 个等效线性水库的串联假设的水文汇流经验模型^[4]。计算参数 M_1 ,求得瞬时单位线,根据设计净雨和瞬时单位线,推求设计洪水过程线,如下式所示:

$$M_1 = \frac{0.196 F^{0.33} T_c^{0.17}}{J^{0.27} R^{0.2}}$$

式中: F 为流域面积, km^2 ; J 为河道平均干流比降, m/m ; R 为净雨深, mm ; T_c 为降雨历时, h 。

根据崮河流域的暴雨洪水特性和产流规律分析,崮河流域的洪水单峰在 24 h 左右,故本次崮河流域计算中将设计雨期确定为 24 h。各河道的设计洪水成果表如表 4 所示,30 a 一遇的设计洪水过程如图 5 所示,50 a 一遇的设计洪水过程如图 6 所示。

表 4 各河道设计洪水成果表

分区	河流	汇水面积 / km^2	30 a 一遇 / $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	50 a 一遇 / $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$
1	后楼河	32.89	413.1	459.2
2	营子河	13.81	172.6	188.5
3	香店河	24.14	299.2	332.2
4	沙墩河	50.35	543.4	603.4
5	张家河区间	6.91	86.37	95.9
6	郭家湖子河	18.27	234.9	260.8
7	乔家墩子河	6.22	105.5	118.5
8	姜家河	7.54	113.8	127.5

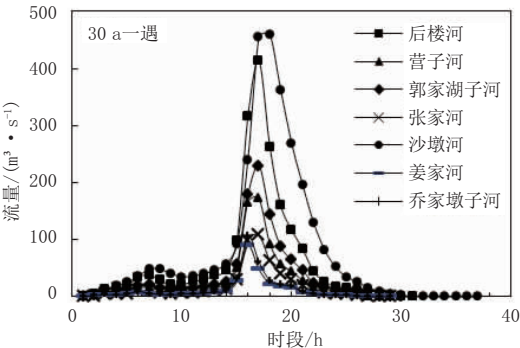


图 5 设计洪水过程 (30 a 一遇)

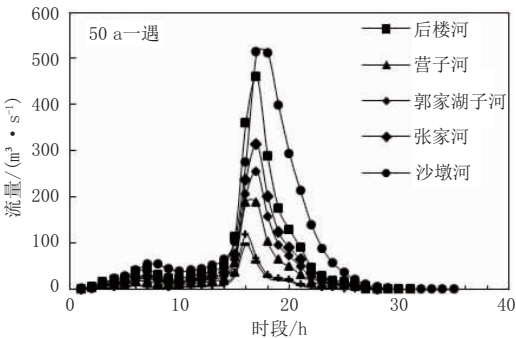


图 6 设计洪水过程 (50 a 一遇)

4.3 傅疃河设计洪水

根据《日照港疏港公路跨崮子河桥梁防洪影响评价》^[5]及傅疃河下游的桥梁水文计算成果,结合区间来水情况,考虑日照水库和马陵水库的泄洪影响,并适当考虑错峰影响,分析傅疃河及崮河下游段的设计洪峰流量,如表 5 所示。

表 5 设计洪水特征值成果表

单位: m^3/s

位置	控制面积 / km^2	$Q_{1\%}$	$Q_{2\%}$	$Q_{3.3\%}$
崮河干流下游	165.2	2 125	1 810	1 560
傅疃河入海口	1 060	7 540	6 350	5 550

由计算结果可知,傅疃河干流 100 a 一遇的洪峰流量为 $7\,540\text{ m}^3/\text{s}$ 。

5 设计潮位分析

5.1 风暴潮特性

傅疃河入海口近日照港石臼港区,该港区以东海域属规则半日潮流,北作业区和西作业区海域属不规则半日潮流,附近海域是以风浪为主的混合浪。波高 $H_{4\%} > 3.0\text{ m}$ 的大浪受气旋过程引起的较少,以台风过程引起的居多,且波向近乎全部偏东。涌浪出现主要在夏、秋季,且以东向涌浪为最多。日照港(石臼所)港区潮汐特征值如表 6 所示。

表 6 日照港潮汐特征 (85 高程)

单位: m

特征	潮位值	特征	潮位值
历史最高潮位	3.05	历史最低潮位	-3.18
平均高潮位	1.51	平均最低潮位	-1.50
平均潮差	3.02	最大潮差	4.90

5.2 设计潮位

本文开展潮位边界条件的计算步骤如下:

- (1)设计潮位计算;
- (2)选择典型潮型,推求逐时潮位过程线;
- (3)推求设计潮位过程线。

选用 1968—2005 年共计 38 a 的实测历年最高潮位,组成长系列资料进行分析。根据《海堤工程设计规范》(GB/T 51015—2014)^[6]的规定,采用极值 I 型(也称耿贝尔型)曲线适线,进行潮位频率分析计算,计算成果如表 7、表 8 所列。

由表 8 可知,日照市外海 50 a 一遇潮位为 3.16 m ,30 a 一遇潮位为 3.10 m 。

6 河网模型分析

6.1 计算模型

本文采用 MIKE11 一维水动力模型对日照市主

表 7 历年最高潮位及发生时间表

日期	潮位 /m	日期	潮位 /m	日期	潮位 /m
1968-07-11	2.28	1981-09-01	2.88	1994-06-26	2.64
1969-07-31	2.47	1982-07-23	2.54	1995-07-13	2.5
1970-09-17	2.65	1983-09-09	2.62	1996-08-01	2.66
1971-09-06	2.59	1984-07-31	2.63	1997-08-20	3.08
1972-07-27	2.52	1985-08-20	2.96	1998-07-25	2.62
1973-09-01	2.56	1986-06-23	2.42	1999-05-18	2.73
1974-08-19	2.78	1987-08-11	2.54	2000-08-31	3.02
1975-08-09	2.63	1988-07-30	2.63	2001-08-20	2.62
1976-07-01	2.69	1989-09-17	2.83	2002-09-08	2.84
1977-09-12	2.54	1990-08-21	2.78	2003-09-28	2.68
1978-09-18	2.66	1991-06-10	2.57	2004-08-29	2.74
1979-10-07	2.43	1992-08-31	2.97	2005-08-21	2.65
1980-08-28	2.49	1993-09-17	2.57		
多年平均 /m					2.66

表 8 长系列年最高潮位重现期成果表

实测年限 / 年	计算公式	重现期 /a			
		100	50	30	20
1968—2005	耿贝尔曲线	3.27	3.16	3.10	3.02

城区的河网水系进行模拟。

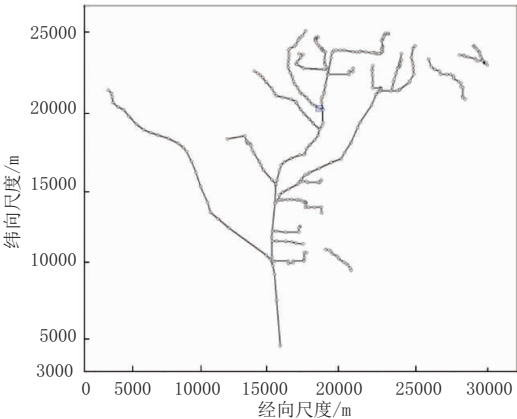


图 7 河网水系计算平面图

6.2 计算条件

(1)水位组合

根据日照市主城区的河道防洪标准及风暴潮特性,水文模型取洪潮组合为:30 a 一遇洪水遭遇 30 a 一遇潮水。

(2)各河道设计洪水水面线

a. 断面:根据现状河道的实测断面资料,每隔 100 m 取一个河道断面。

b. 糙率:河道断面基本上为重新开挖断面,或者在老河道断面疏浚拓宽,断面上没有大的阻水物体,断面上边坡考虑采用植草网垫铺设绿化,故河网模型计算的糙率取 0.025 ~ 0.035。

(3)边界条件

a. 内边界:内边界指进入河网的降雨径流。降雨经过下渗、蒸发及植物截流等因素作用后变为净产水量,城市地区可以忽略坡面汇流过程,产水经过城市雨水排水管网的调蓄作用后进入河网。计算时将河道入流过程处理为旁侧单宽均匀入流进入河网^[7]:

$$q = F \cdot H \cdot \frac{A}{L}$$

式中: q 为单位长度河道入河流量, $\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$; F 为河道汇水面积, km^2 ; H 为河道所在分区入河时段径流深, mm ; A 为单位换算系数,取 0.278; L 为河道长度, m 。

b. 下边界:主城区河道下游与傅疃河相连至出海口,出海口采用潮水位为 3.10 m (30 a 一遇)。

(4)时间步长:原则上满足克朗数(Courant Number)小于 10,最终满足计算稳定收敛,采用 10 s 作为计算的时间步长。

(5)本次水面线计算在实测河道地形资料的基础上,按规划河道宽度及底坡资料进行计算,干流至河口向上游的范围内,河道横断面原则上每 200 m 一个,每一座桥梁上下游各测一个断面。沿程及局部的水头损失分别按下式进行计算:

$$\Delta Z_1 = \alpha \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + \frac{Q^2}{K^2} \times \Delta L$$

$$\Delta Z_2 = \zeta \frac{V^2}{2g}$$

式中: ΔZ_1 为上下断面计算断面沿程水头损失, m ; ΔZ_2 为局部水头损失, m ; V_2 、 V_1 为上下游断面平均流速, m/s ; V 为计算断面的平均流速, m/s ; Q 为断面间流量, m^3/s ; K 为断面间平均流量模数; α 为动能修正系数; ΔL 为上下游断面的间距, m ; ζ 为局部水头损失系数,河道收缩时取 0.1,河道扩散时取 0.3。

6.3 计算结果

通过水文模型法分析,得到日照市主城区河网各节点流量值如图 8 所示,经复核水文模型法算得 30 a 一遇时固河干流下游、傅疃河入海口的节点流量与表 5 计算结果基本一致。

此外,由水文模型法获得的各河道模型计算结果,如香店河—张家河、沙墩河的模型计算结果分别如图 9、图 10 所示。

7 结 语

日照市主城区河网属于北方滨海丘陵城市山溪雨源性河流,汛期洪水集中,陡涨陡落并受下游潮水顶

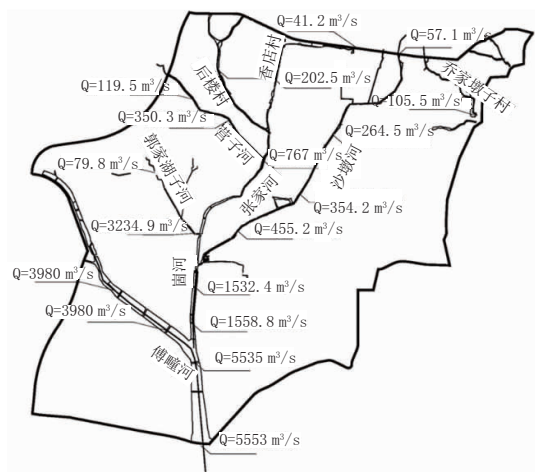


图8 日照市主城区现状各节点流量值

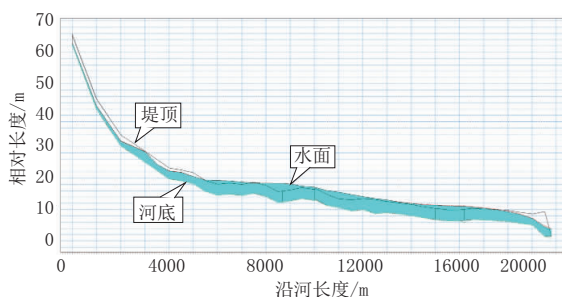


图9 香店河—张家河河道模型计算结果示意图

托影响。本文分别采用瞬时单位线法和水文模型法开展了水文分析,结果表明:

(1)洪水过程历时段呈单峰型,且各骨干河道同时达到洪峰流量;

(2)同时遭遇暴潮洪的共同作用下,日照市主城区内河道洪水陡涨陡落,且涨快落慢,容易造成城市

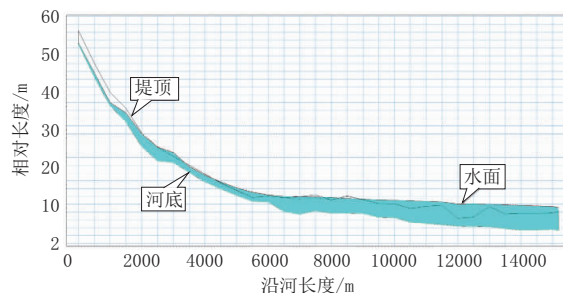


图10 沙墩河河道模型计算结果示意图

内涝;

(3)现状断面设计洪水计算结果显示,主城区香店河下游至张家河大部分河段、沙墩河、郭家湖子河大部分河段均不满足设计洪水过流要求,后楼河、营子河部分河段不满足设计洪水过流要求,因此需对主城区河道进行综合整治,考虑上游滞蓄并对河道进行清淤拓宽,增加过流能力。

参考文献:

- [1] 郑美琴,程月,张民凯,等.1961—2015年影响山东日照的台风暴雨气候特征[J].干旱气象,2017,35(4):598-603.
- [2] 城市防洪问题与对策调研组.我国城市防洪问题与对策[J].中国防汛抗旱,2014,24(3):46-48,65.
- [3] 彭涛,时伟,张凤旺.日照市土壤墒情自动监测站网建设实践[J].治淮,2017(11):68-69.
- [4] 包为民.水文预报(第4版)[M].北京:中国水利水电出版社,2009.
- [5] 宋加希,程亮,张峰,等.日照港疏港公路跨固子河桥梁防洪影响评价[J].水利科技与经济,2009,15(11):1009-1011.
- [6] GB/T 51015—2014,海堤工程设计规范[S].
- [7] 代斌.一维非恒定流在城市水系规划水利计算中的应用[J].大众科技,2012,14(153):68-70.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com