

城镇小流域设计洪峰流量计算方法研究

黄国如^{a,b}, 李立成^a, 黄纪萍^a

(华南理工大学 a. 土木与交通学院; b. 亚热带建筑科学国家重点实验室, 广东 广州 510640)

摘要: 城镇小流域地处城市化发展快速地区,设计洪峰流量是确定城镇防洪安全的重要依据。阐述了广泛应用于城镇小流域设计洪水计算的合成单位线、推理公式、城市水文学和室外排水公式等方法的基本原理,分别利用这4种方法计算深圳市民治河流域设计洪峰流量。结果表明:尽管不同方法所得结果有一定差异,但合成单位线法与其他方法所得结果的相对误差均在允许范围内,采用合成单位线法所得结果作为设计成果能够满足城市防洪安全。

关键词: 城镇小流域; 设计洪峰流量; 合成单位线法; 推理公式法; 城市水文学法; 室外排水公式法

中图分类号: P333.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)04-0035-04

Calculation method of design flood peak discharge for urban small watershed

HUANG Guoru^{a,b}, LI Licheng^a, HUANG Jiping^a

(a. School of Civil Engineering and Transportation; b. State Key Laboratory of Subtropical Building Science, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The urban small watershed is located at rapid development urbanization area. The peak discharge of design flood is an important basis for determining the urban flood control safety. The basic principle of synthetic unit hydrograph, reasoning formula, city hydrology and drainage formula method used widely in design flood calculation of urban small watershed is respectively stated, and the peak discharges of design flood in Minzhi river basin of Shenzhen are respectively calculated by using the above four methods. The results show that although the results obtained by different methods have certain difference, but the relative error of the results between synthetic unit hydrograph method and other methods is within the allowable range. The result obtained by the synthetic unit hydrograph method as the design result can meet the safety of urban flood control.

Key words: urban small watershed; discharge peak of design flood; synthetic unit hydrograph; reasoning formula; city hydrology method; method of outdoor drainage formula

随着城市化进程大大加快,导致流域下垫面不透水率增加,使下渗量、截留量、蒸发量、基流和地下水位减少或降低,以及河流渠化、防洪堤坝等水利工程的作用使河道结构、河网形态发生改变,导致进入河道的洪水与天然情况下的洪水有较大差异。设计洪峰流量是确定城镇汇水面积防洪构筑物断面尺寸的主要依据,目前水利部门主要采用合成单位线法和推理公式法,市政部门主要采用室外排水设计流量计算公式,上述几种方法在推导原理、适用条件等方面均有很大差异,因此计算结果也会存在很大差别^[1-3]。在实际城市设计洪水计算中,应分别采用多种计算方法和途径计算设计洪峰流量,对不同方法所得结果进行相互比较,结合工程实际情况

优选最能符合城市汇水区域的计算方法结果^[4]。鉴于此,本文采用普遍应用于水利和市政行业的多种设计洪水分析方法,对比分析各种计算方法所得到的设计洪峰流量,为深圳市民治河流域防洪综合整治工程提供重要依据。

1 民治河流域基本概况

民治河发源于深圳市大脑壳山,河流上游有民乐、雅宝、民治三座水库以及支流牛咀水上的牛咀水库,民治河起点接民治水库溢洪道,流向基本从南向北,有支流牛咀水、樟坑水汇入,终点河口位于下游松村北侧,与坂田河合流后汇入观澜河。民治河河道全长 9.34 km,河道天然平均坡降 6.69%,河口总集雨

收稿日期:2014-03-03; 修回日期:2014-04-08

基金项目:水利部公益性行业科研专项经费项目(201301093);华南理工大学亚热带建筑科学国家重点实验室自主研究课题项目(2014ZC09);深圳市水务局科技项目(2013012)

作者简介:黄国如(1969-),男,江苏南京人,博士,教授,博士生导师,主要从事水文水资源研究。

面积 19.23 km²。流域水系见图 1。

民治河洪水主要由暴雨形成,流域地貌主要以丘陵为主,流域内河长短、坡度相对较大,汇流时间短,洪峰流量模数大,洪水过程尖瘦,主要表现为暴涨暴落特性。流域内无实测洪水资料,故采用设计暴雨间接推求设计洪水的方法计算流域内各断面的设计洪水,采用《广东省暴雨径流查算图表》中的广东省综合单位线法和推理公式法、城市水文学方法和室外排水公式法等进行洪水分析计算。

民治河各控制断面的地理参数均在 1:10000 地形图上量算,结果见表 1。



图 1 民治河流域水系图

表 1 民治河流域控制断面地理参数 km², km, m, ‰

断面位置	集雨面积 F	主河长 L	高差 H	比降 J
牛咀水汇入口上游	8.09	5.96	165	15.00
樟坑水汇入口下游	14.75	6.97	168	9.69
民治河河口	19.23	9.34	173	6.69

2 民治河流域设计洪水分析

2.1 广东省综合单位线法

广东省综合单位线是根据广东的地理环境条件,运用广东省实测的雨洪资料综合分析,通过对纳希瞬时单位线方法的深入分析而得出的具有本地特色的单位线^[5]。该方法计算流域产汇流,产流分析采用初损后损法,汇流分析主要是应用线性系统识别的最小二乘法解算经验单位线,综合给出分区分类的无因次单位线 $U_i - X_i$ 表达的经验线型;并从设计条件出发,建立分区的集水区域汇流特征参数 $\theta = L/J^{1/3}$ 与稳定的单位线滞时 m_1 的关系^[6-7]。

采用广东省综合单位线法进行产汇流计算,主要通过《广东省暴雨径流查算图表使用手册》确定

研究区域的雨型径流分区,而后选定研究区域对应的 $U_i - X_i$ 无因次单位线和单位线滞时 m_1 。其中,深圳市位于《广东省暴雨径流查算图表》分区 VII,其设计雨型采用珠江三角洲 VII1 雨型; $\alpha_i - t - F$ 关系采用暴雨低区关系曲线^[8];综合单位线滞时 $m_1 - \theta$ 关系选择大陆低区关系线即 B 线;并选用 II 号无因次单位线 $U_i - X_i$ 。

根据广东省综合单位线法计算得到民治河各断面设计洪峰流量,计算结果见表 2。

表 2 广东省综合单位线法计算结果 m³/s, ‰

断面位置	设计频率			
	1	2	5	20
牛咀水汇入口上游	175.2	155.2	126.4	93.2
樟坑水汇入口下游	289.8	256.2	212.5	156.3
民治河河口	312.4	274.5	225.2	176.9

2.2 推理公式法

推理公式法认为流域出口断面的流量是由流域上的平均产流强度与一定面积相乘积的结果,当乘积达到最大值时,即出现洪峰流量^[9],即:

$$Q_p = 0.278(S_p/\tau^{n_p} - f)F \quad (1)$$

$$\tau = 0.278L/(mJ^{1/3}Q_p^{1/4}) \quad (2)$$

式中: Q_p 为相应频率 P 设计洪峰流量, m³/s; S_p 为相应频率 P 的设计暴雨雨力, mm; τ 为汇流时间, h; n_p 为相应频率 P 的暴雨递减系数; f 为平均后损率, mm/h; m 为汇流参数。

根据《广东省暴雨径流查算图表》,本文 $m - \theta$ 关系曲线选用大陆、低丘型关系曲线来确定汇流参数 m 。

根据推理公式法计算得到民治河各断面设计洪峰流量,计算结果见表 3。

2.3 城市水文学法

城市水文学法由推理公式法演变而来,主要针对城市下垫面实际情况对汇流时间进行修正,公式如下:

$$Q_p = 0.278(H_r/\tau)F \quad (3)$$

式中: H_r 为汇流时间 τ 内的面雨量, mm。定义为:

$$H_r = \alpha S_p \tau^{1-n_p} \quad (4)$$

式中: α 为降雨径流系数。其中汇流时间 τ 为:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = (0.87L_p^3/H)^{0.385} + L/(3600V) \quad (5)$$

式中: τ_1 为坡面汇流时间, h; τ_2 为河槽汇流时间, h; L_p 为沿坡面汇流长度, km; H 为河源至断面位置处的高差, m; L 为河槽长度, m; V 为雨水在河槽内流动速度, m/s。

利用式(5)计算得到汇流时间,结果见表 4。

表3 推理公式法计算结果 $m^3/s, \%$

断面位置	设计频率			
	1	2	5	20
牛咀水汇入口上游	163.3	140.9	109.0	89.2
樟坑水汇入口下游	271.0	233.2	184.9	142.4
民治河河口	293.7	250.6	195.9	165.4

表4 民治河流域各断面汇流时间 h

断面位置	坡面汇流	河槽汇流	汇流时间
	时间 τ_1	时间 τ_2	τ
牛咀水汇入口上游	0.57	0.45	1.02
樟坑水汇入口下游	0.50	0.68	1.18
民治河河口	0.32	1.34	1.66

由式(4) 计算面雨量 H_r , 其中降雨径流系数 α 与下垫面情况有关, 对不同地表类型, 采用不同径流系数, 而流域综合径流系数则根据各种类型的土地占用面积比例进行加权叠加^[10]。

民治河流域中部及北部为密度较高的住宅、道路及工业区, 而南部及东南部有较大面积的山体绿地, 主要分布在民治水库上游及牛咀水库上游。将下垫面地表类型概化为透水区和不透水区两大类, 透水区主要为公共绿地、生产防护绿地、农保用地及水源保护区等, 不透水区主要为居民住宅、道路及工业用地等。根据民治河流域集雨范围和民治片区绿地规划设计资料统计出该片区范围内的绿地面积, 计算该流域片区的透水区和不透水区面积比例, 参考各种地表类型的径流系数, 采用加权叠加方法计算各断面流域的综合径流系数 α , 结果见表5。

表5 民治河各断面流域径流系数 km^2

断面位置	流域	绿地	绿地	综合径流
	面积	面积	比例	系数 α
牛咀水汇入口上游	8.09	2.98	0.368	0.572
樟坑水汇入口下游	14.75	6.26	0.424	0.533
民治河河口	19.23	6.53	0.340	0.589

根据城市水文学法式(3) 计算得到民治河各断面设计洪峰流量, 计算结果见表6。

表6 城市水文学法计算结果 $m^3/s, \%$

断面位置	设计频率			
	1	2	5	20
牛咀水汇入口上游	161.7	145.7	124.0	89.6
樟坑水汇入口下游	254.5	227.3	190.7	139.1
民治河河口	307.4	269.0	218.6	162.5

2.4 室外排水公式法

室外排水公式法是城建部门进行雨水管流量设

计的常用方法。雨水管道的设计依据极限强度理论, 即认为降雨强度随降雨历时增长而减小, 同时认为汇水面积增长与降雨历时成正比, 而且汇水面积随降雨历时增长较降雨强度随降雨历时增长而减小的速度更快^[11]。其包括两部分内容:

(1) 当汇水面积上最远点的雨水流达集水点时, 全面积产生汇流, 雨水管道的设计流量最大。

(2) 当降雨历时等于汇水面积上最远点的雨水流达集流点的集流时间时, 雨水管道需要排出的雨水量最大。

《室外排水设计规范》(GB50014 - 2006) 推荐城市雨水管渠设计流量计算公式为:

$$Q_p = q\alpha F \quad (6)$$

式中: q 为设计暴雨强度, $m^3/(s \cdot hm^2)$, 计算如下:

$$q = \frac{167A_1(1 + ClgT)}{(\tau + b)^n} \quad (7)$$

式中: A_1, C, b, n 为暴雨公式参数; T 为暴雨重现期, a; τ 为汇流历时, min, 定义为:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = \tau_1 + L_g/(60V) \quad (8)$$

式中: τ_1 为地表汇流时间, min, 该值视距离长短、地形坡度及地面覆盖情况而定, 一般为 5 ~ 15 min; τ_2 为管道汇流时间, min; L_g 为管道长度, m; V 为雨水在管道内流动速度, m/s。

深圳市暴雨强度公式如下:

$$q = \frac{167 \times 9.194(1 + 0.46lgT)}{(\tau + 6.84)^{0.555}} \quad (9)$$

根据式(9) 计算各断面不同设计频率下的暴雨强度如表7。

表7 不同设计频率的设计暴雨强度 $m^3/s, \%$

断面位置	设计频率			
	1	2	5	20
牛咀水汇入口上游	310.6	288.1	253.7	204.1
樟坑水汇入口下游	293.3	272.1	240.0	193.6
民治河河口	250.0	232.0	205.5	166.7

由表7 可见, 随着流域面积增大, 流域雨水汇集时间加大, 流域暴雨强度呈减少趋势, 与极限强度理论相符合。

采用城市水文学方法中的暴雨径流系数(表5), 由式(6) 计算民治河沿程各断面的设计洪峰流量, 结果如表8。

2.5 各种方法计算结果的对比分析

将上述4 种方法的计算结果列表进行对比分析, 结果见表9。

表8 室外排水公式法计算结果 $m^3/s, \%$

断面位置	设计频率			
	1	2	5	20
牛咀水汇入口上游	143.7	133.4	117.4	94.5
樟坑水汇入口下游	230.5	213.9	188.7	152.2
民治河河口	283.0	262.6	232.6	188.7

表9 4种方法不同设计频率下的设计洪峰流量 $m^3/s, \%$

断面位置	计算方法	设计频率			
		1	2	5	20
牛咀水 汇入口 上游	综合单位线法	175.2	155.2	126.4	93.2
	推理公式法	163.3	140.9	109.0	89.2
	城市水文学法	161.7	145.7	124.0	89.6
	室外排水公式法	143.7	133.4	117.4	94.5
樟坑水 汇入口 下游	综合单位线法	289.8	256.2	212.5	156.3
	推理公式法	271.0	233.2	184.9	142.4
	城市水文学法	254.5	227.3	190.7	139.1
	室外排水公式法	230.5	213.9	188.7	152.2
民治河 河口	综合单位线法	312.4	274.5	225.2	176.9
	推理公式法	293.7	250.6	195.9	165.4
	城市水文学法	307.4	269.0	218.6	162.5
	室外排水公式法	283.0	262.6	232.6	188.7

由表9可知,在大多数情况下,综合单位线法结果较其他方法稍大,城市水文学法作为推理公式的修正式,计算结果普遍比推理公式法要大,尤其在 $P=5\%$ 设计频率下增幅明显。各种计算方法中,在高重现期情况下,室外排水公式法计算结果最小;而在5年一遇的重现期下,室外排水公式法计算结果较大,这主要是由于市政排水设计频率与水利防洪设计频率之间的差别所致,通常市政排水低重现期的计算结果会比水利计算结果偏大。各方法计算结果存在一定差别的原因如下:

(1)运用广东省综合单位线法和推理公式法计算设计洪峰流量时,虽然两种方法使用的基本资料及对基本资料的处理办法一致,但由于途径不同,有关汇流的参数中,综合单位线的单位滞时 m_1 和推理公式的汇流参数 m 的选择有一定的弹性,而两者对设计洪峰流量的影响十分敏感,因而在选择参数时要认真分析计算区域的下垫面情况,选择合理的 m_1 和 m ,使两种方法计算的设计洪峰流量在运行误差范围内。

(2)水利部门暴雨强度公式一般采用年最大值法选样,而室外排水暴雨强度一般采用年若干值法选样;降雨历时方面水利部门编制的暴雨历时一般较城建部门室外排水公式大,室外排水公式一般采用5、10、15、……、120 min等9个时段的短历时暴雨。两

种方法推导出的暴雨强度公式不可互用,室外排水公式一般适用于较低重现期的雨水管道设计。

由表9可知,虽然不同方法计算结果存在差异,但综合单位线法与其他方法计算结果的相对误差均在20%的允许误差范围以内,可见计算结果较为合理。在4种计算方法中,综合单位线法所得结果最大,考虑到城市防洪工程偏安全考虑,采用综合单位线法计算结果作为最终设计洪峰流量。

3 结 语

本研究采用普遍应用于水利和市政行业的多种设计洪水分析方法,对比分析各种计算方法所得到的设计洪峰流量,为民治河综合整治工程提供重要依据。采用综合单位线法、推理公式法、城市水文学法及室外排水公式法分别计算民治河流域沿程各断面的设计洪峰流量,并对结果进行对比分析,通过不同方法计算结果的复核,分析民治河流域设计标准的合理性。研究表明,虽然不同方法计算结果存在差异,但综合单位线法与其他方法计算结果相对误差均在允许误差范围以内,计算结果合理,采用综合单位线方法得到的计算结果符合该流域防洪要求。

参考文献:

- [1] 李满刚. 城市洪水计算方法探讨[J]. 水利与建筑工程学报, 2011, 9(6): 141-144.
- [2] 李满刚. 城市小汇水区域设计洪水计算方法应用研究[J]. 水利规划与设计, 2012(2): 11-14.
- [3] 黄日增. 城市小流域洪峰流量计算方法的研究[J]. 给水排水, 2009, 35(11): 39-42.
- [4] 王 博, 崔明霞. 城镇小汇水面积设计洪水计算方法比较[J]. 中国农村水利水电, 2009(10): 84-86, 93.
- [5] 王国安, 贺顺德, 李超群, 等. 论广东省综合单位线的基本原理和适用条件[J]. 人民黄河, 2011, 33(3): 15-18.
- [6] 黄俊材. 小城市设计洪水分析计算方法的探讨[J]. 广东水利水电. 2004(1): 42-43.
- [7] 彭才喜, 洪 林, 卢良森. 基于综合单位线法的河道设计洪水参数推算[J]. 武汉大学学报(工学版), 2012, 45(5): 590-593.
- [8] 广东省水文总站. 广东省暴雨径流查算图表使用手册[R]. 广东省水文总站, 1991.
- [9] 纪谷裕. 福建沿海小流域设计洪水的计算方法[J]. 水利科技, 2009(2): 15-16+23.
- [10] 刘培荣, 于德万. 小面积洪水计算汇流参数 m 值的推求[J]. 吉林水利, 2012(2): 22-23+27.
- [11] 林爱松. 小流域设计洪水计算方法的探讨[J]. 水利科技与经济, 2012, 18(5): 72-75.