

城市小流域山区截洪沟水力计算方法探讨

战 军

(青岛时代建筑设计有限公司,山东 青岛 266555)

摘 要:我国流域众多,由于缺乏暴雨观测资料或短期资料难以延展等原因,经常采用推理公式进行洪水计算。但由于被应用的流域自然条件各异,有关参数的确定也存在一定的任意性,因此有必要对常用的经验公式进行合理性和可靠性分析比较。以青岛市某一山区道路截洪沟为例,分别采用地区经验公式、公路科学研究所经验公式以及地区小型水库洪水核算办法这 3 种最常用的典型推理公式(或方法)进行雨水水力计算,并根据计算结果提出了公式选取的建议条件,分析了设计参数对水力计算结果的影响,以及其他防护和治理措施。

关键词:小流域山区;截洪沟;暴雨公式;防洪标准;安全超高;综合径流系数

中图分类号: TU992.22

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)11-0183-04

0 引 言

随着城市化进程的发展,城市建设面积不断向周边区域扩大,导致郊区城市化。而郊区多山区、丘陵地形,为有效防护下游城市保护区,避免洪涝灾害发生,通常需在山丘坡脚区域设置截洪沟。

截洪沟的作用是拦截山坡上的径流,将之约束收集排入下游集中排洪渠内,以防止山坡径流漫流,影响下游防护区域的安全。山洪防治主要解决排洪渠道的规模问题,在确定渠道的设计断面时,需根据山洪的大小作出准确判断,所以计算山洪的洪峰流量是首要任务。

我国幅员辽阔,地形千差万别,根据地形汇流可以划分成若干小流域。但是,大部分流域内缺乏降雨实测资料,有些区域虽有局部观测资料,但因流域很大,局部资料难以延展,因此经常采用推理公式进行计算。推理公式具有一定的理论基础,方法简便,故得到广泛利用。

但由于被应用的流域自然条件各异,有关参数的确定也存在一定的任意性,因此有必要对这些经验公式进行合理性和可靠性分析。本文以青岛市某一山区道路截洪沟为例,分别采用地区经验公式、公路科学研究所经验公式和《山东省小型水库洪水核算办法》这几种常用的典型推理公式(或方法)进行雨水水力计算,在对计算结果进行综合比较分析后,

收稿日期: 2023-12-05

作者简介: 战军(1979—),男,硕士,高级工程师,从事道路和给排水方面的设计工作。

提出了公式选取的建议条件。

1 地区经验公式

黄岛区地区经验公式是根据当地多年来降雨统计资料,按照《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)中的方法经推理、归纳拟合得出。其中暴雨强度用下式计算:

$$q = \frac{902.934 \times (1 + 0.919 \lg P)}{(t + 4.16)^{0.534}} \quad (1)$$

式中: P 为设计重现期, a; q 为设计暴雨强度, $(L \cdot s^{-1})/hm^2$; t 为降雨历时, min。

雨水量计算公式为:

$$Q_s = q \varphi F \quad (2)$$

式中: Q_s 为雨水设计流量, L/s ; φ 为综合径流系数; F 为汇水面积, hm^2 。

黄岛区地区经验公式适用于汇水区域小于 $2 km^2$ 的暴雨计算。

2 公路科学研究所经验公式

公路科学研究所经验公式为:

$$Q_p = K F^n \quad (3)$$

式中: Q_p 为雨水设计洪峰流量, m^3/s ; n 为面积参数,当 $F < 1 km^2$ 时, $n=1$, 当 $1 km^2 < F < 10 km^2$ 时, 按表 1 取值; K 为径流模数, 按表 2 取值。

表 1 面积参数 n 值

华北	东北	东南沿海	西南	华中	黄土高原
0.75	0.85	0.75	0.85	0.75	0.80

表2 径流模数K值表

重现期/a	地区					
	华北	东北	东南沿海	西南	华中	黄土高原
2	8.1	8.0	11.0	9.0	10.0	5.5
5	13.0	11.5	15.0	12.0	14.0	6.0
10	16.5	13.5	18.0	14.0	17.0	7.5
15	18.0	14.6	19.5	14.5	18.0	7.7
25	19.5	15.8	22.0	16.0	19.6	8.5
50	23.4	18.96	26.4	19.2	23.52	10.2

公路科学研究所经验公式适用于汇水区域小于10 km²的暴雨计算。

3 《山东省小型水库洪水核算办法》

该办法适用于山东省一般山区、丘陵区,面积在30 km²以下的小型工程。对于上游有较大控制工程影响的河道,应另外考虑。

至于山区和丘陵区的划分,主要应根据流域的比降、土壤地质条件以及植被情况确定。本办法规定流域主排水沟的比降大于10‰,岩石较多、土层较薄、植被一般的均应查算山区图表,其他应查算丘陵区图表。对比降在10‰以下,但土层较薄、流域内岩石裸露、植被较差者也应查算山区图表。

3.1 流域特征参数的计算

主排水沟比降*J*采用加权平均法计算。

根据测绘地形图,重新核算各排洪沟流域特征参数。经量算,干流比降*J*(m/m)按下式计算:

$$J = \frac{(Z_0+Z_1)L_1+(Z_1+Z_2)L_2+\dots+(Z_{n-1}+Z_n)L_n-2Z_0L}{L^2} \quad (4)$$

式中:*Z*₀、*Z*₁、…、*Z*_{*n*}为主排水沟自出口断面(即计算点处的断面)向上游沿流程各特征点的沟底高程,m;*L*₀、*L*₁、…、*L*_{*n*}为各沟底特征点之间的距离,km;*L*为主排水沟长度,km。

流域特征综合参数*k*按下式计算:

$$k = \frac{L}{J^{1/3} \cdot F^{2/5}} \quad (5)$$

式中:*F*为计算汇流面积,km²。

3.2 相应频率下24 h暴雨量的推求

工程地点区域属泰沂山南山区,查“山东省小型水库所在县降水量统计参数表”可得,工程地点流域中心多年平均最大24 h降雨量 $\bar{H}_{24}=105$ mm,变差系数*C*_v=0.58,偏差系数*C*_s=3.5*C*_v,查皮尔逊Ⅲ型频率曲线表,可得相应频率下的模比系数*K*_p值。则设计频率下设计标准24 h暴雨量按下式计算:

$$H_{24} = \bar{H}_{24} \cdot K_p \quad (6)$$

3.3 单位面积最大洪峰流量模数的推求

根据流域特征综合参数*k*、设计标准24 h降雨量*H*₂₄,查泰沂山南山区*q*_m-*H*₂₄-*k*关系曲线,可得所求频率下单位面积最大洪峰流量模数*q*_m。

3.4 最大洪峰流量的推求

最大洪峰流量*Q*_m为单位面积最大洪峰流量模数*q*_m乘以流域汇水面积*F*得出:

$$Q_m = q_m \cdot F \quad (7)$$

流域面积*F*若小于1 km²,则计算的洪峰流量应加大10%。若截洪沟上游存在小型水库,需再进行调洪演算。

4 计算地区情况介绍

拟建项目位于山东省青岛市某区西北区域,山地、丘陵遍布,每年出现暴雨时间在7~8月,9月下旬终止。流域内多年平均降水量750.7 mm,多年平均径流深275 mm;年最多降雨量1 391.7 mm,年最少降雨量294.7 mm。降雨多集中在夏季和秋季,春季和冬季降雨较少,冬季最少。

工程地点属泰沂山南山区,拟建项目为1条沿山市政次干路,道路上游为山地地形,下游为居住区和商业配套区,在道路迎山侧需建设1条山体截洪沟。上游山区流域内冲沟多但不深,多数深度为2~5 m,冲沟的比降大于15%~25%;岩石露头风化严重,占流域面积的20%~30%;其余区域土层较薄,植被较茂盛。沿路截洪沟设计比降与道路设计纵坡相同,均采用0.36%~2.3%,沿道路纵坡敷设,分段汇入下游排水通道中。下游沿线存在若干已建成排洪通道或现状排水冲沟。

5 设计参数

5.1 防洪标准

根据《防洪标准》(GB 50201—2014)^[1],防护区内常住人口小于20万时,防护等级为IV级,主要防洪建筑物级别为4级。项目区内地形较陡,汇水时间短,下游防护区内均为居住区和商业配套区,受灾后影响严重,故根据表3确定本区域防洪标准取上限,为50 a一遇。

5.2 排涝标准

内涝防治设计重现期根据《城乡排水工程项目规范》(GB 55027—2022)^[2]表4中城镇规模、周边防护区的重要性等级以及黄岛区排水专项规划,确定该

表 3 城市防洪区的防护等级和防洪标准^[1]

防护等级	重要性	常住人口 / 万人	防护标准(重现期 / a)
I	特别重要	≥300	≥200
II	重要	<300, ≥100	200~100
III	比较重要	<100, ≥40	100~50
IV	一般	<40	50~20

区域设计排涝重现期为 50 a 一遇。

表 4 城市内涝防治设计重现期^[2]

城镇类型	重现期 / a	地面最大允许积水深度
超大城市	100	
特大城市	50~100	居民住宅和工商业建筑物的底层不进水; 道路中 1 条车道的积水深度不超过 15 cm
大城市	30~50	
中等城市和小城市	20~30	

5.3 地区经验公式综合径流系数

本次径流系数采用《水土保持设计规范》(GB 51018—2014)^[3]中的取值范围,并参考刘靖等发表的论文^[4]中坡度与径流系数关系,再参考王永磊等^[5]有关大雨强降雨历时对径流参数影响的研究结论,结合本项目的山体特点,考虑到 50 a 一遇降雨标准下径流系数的提高,本次综合径流系数 φ 取值 0.70。

6 计算结果对比

采用上述 3 种计算公式或方法进行雨水水力计算,结果如表 5 所示。

表 5 雨水水力计算表

截洪沟	汇水面积 / hm ²	重现期 / a	$Q/(L \cdot s^{-1})$		
			地区经验公式	公路科学研究所经验公式	小型水库洪水核算办法
截洪沟 1	11.71	50	4 278	3 091	3 860
截洪沟 2	31.74	50	11 335	8 379	10 230
截洪沟 3	50.47	50	18 211	13 324	17 070
截洪沟 4	10.60	50	4 061	2 798	3 958
截洪沟 5	5.66	50	2 449	1 554	2 367
截洪沟 6	12.10	50	4 400	3 194	3 900
截洪沟 7	70.77	50	22 950	18 683	21 990
截洪沟 8	30.78	50	11 873	8 126	11 330

由表 5 可见,地区经验公式计算结果与《山东省小型水库洪水核算办法》计算结果接近,公路科学研究所经验公式计算结果偏小。前两者基本比后者高 20%~30%。

《山东省小型水库洪水核算办法》主要针对小型

水库以及相关重要水工构筑物的安全核算,计算方法中采取的安全系数等级相对较高,因此用之进行山体截洪沟的水力计算时,计算结果相对来说较为安全。地区经验公式主要采用地区多年来量测的降雨数据经统计、归纳总结而成,因此计算结果相对来说较为准确,用来计算一般性的排水工程时较为可靠。公路科学研究所经验公式主要针对全国范围内各地区的降雨计算,公式中设计参数的选取具有笼统性、普遍性,参数选取不够细化、无针对性,对于无准确降雨观测数据的地区可采用公路科学研究所经验公式。

7 分析和建议

7.1 计算公式的选取

在进行山体截洪沟设计时,可以根据下游防护区的重要性选用合适的防洪标准、计算公式或方法。当下游防护区重要性等级为重要、特别重要时,建议采取较高的设计防洪标准,可以采用当地经验公式进行计算并以地区小型水库洪水核算办法进行校核;无降雨归纳公式的山区,可以采用公路科学研究所经验公式或地区小型水库洪水核算办法进行计算,若是重要工程,则建议在计算结果上乘以 20%~30%的安全系数。

7.2 设计参数对水力计算结果的影响

(1)综合径流系数。地区经验公式计算结果的准确性直接取决于综合径流系数的取值。而综合径流系数应根据汇水区域地表特性、地面坡度、植被覆盖率、降雨历时、降雨强度进行综合考虑选取。笼统来说,综合径流系数与地面坡度、降雨历时、降雨强度呈正相关的关系,而与植被覆盖率、草木拦蓄高度、下垫面的入渗率呈负相关关系。做防洪计算时,应现场踏勘调查汇水区域特性,综合考虑以上各种因素后进行综合取值。起伏的山区综合径流系数一般取 0.50~0.80,若采用较高的防洪标准且山体坡度较大、土壤覆盖较薄、植被覆盖率较少、降雨历时较大时,综合径流系数应取高值,反之取低值。

(2)干流比降。采用地区小型水库洪水核算办法进行计算时,计算结果的准确性受干流比降参数的取值影响较大。干流比降的计算结果准确与否取决于特征点的选取,特征点应选取山体冲沟沿程的高程突变点、坡度变化折点等,应将陡崖、陡坎等突变前后的高程点均纳入计算点,然后采用加权平均法进行计算。

7.3 构造及其他措施

在做截洪沟设计时可以采用的其他措施有:

(1)安全超高。城市防洪构筑物安全超高的规定,主要是考虑洪水计算可能存在的误差、泥沙淤积造成水位的暂时抬高等各种不利因素的影响而采取的一种弥补措施;同时,安全超高的规定也为防洪抢险提供了有利条件。《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)^[6]中界定雨水明渠最小超高不得小于0.2 m,当下游防护区的等级为重要、特别重要,建筑物的级别比较高时,可以采用较大的安全超高;当下游防护区的重要性等级为一般,建筑物等级也为一般时,可以按照《室外排水设计标准》(GB 50014—2021),安全超高采用下限值。

(2)构造形式。为防止沟渠冲刷,应根据下游防护区的重要性、构筑物等级、排水渠纵坡、沿线地质、当地建筑材料等选择结构形式。常用的有植草截洪沟、砌石截洪沟、钢筋混凝土截洪沟3种类型。其中植草截洪沟是指具有截洪功能的植草沟,为海绵城市建设的一种措施。在完成收集、转输功能的同时满足雨水的下渗和净化功能的要求。植草截洪沟具有景观效果好、造价低、土地利用效率高等优点,但粗糙系数大、抗冲刷能力较弱。当上游山坡较缓、下游防护区等级较低时可采用此种形式。砌石截洪沟是采用粒径不小于0.3 m的块石,加上一定强度的水泥砂浆砌筑而成。砌石截洪沟宜采用矩形或梯形,护坡坡脚埋深不宜小于0.5 m,在寒冷地区埋深应考虑土壤冻结深度的要求,否则应敷设适当厚度的非黏性土垫层。砌石下应设碎石垫层或反滤层,以防止土粒流失破坏护砌。砌石截洪沟底部应设置排水孔。砌石截洪沟比植草沟抗冲刷能力强、粗糙系数低,但在寒冷地区易受冻害,往往导致护砌破坏。当下游防护区重要性一般,且对周边景观无太高要求时可采用此种形式。钢筋混凝土截洪沟比砌石截洪沟抗冲刷能力强,整体稳定性好,施工方便,而且景观性方面要

比砌石截洪沟好。当上游山坡较陡、来水急、下游防护区重要或非常重要时,可采用此种形式。

(3)采取综合治理措施。山区、半山区在荒山秃岭、山坡植被稀少地区,暴雨以后径流迅速大量集中,会造成山坡冲刷、水土流失,导致山洪爆发。应采用海绵措施辅以绿化种植,达到标本兼治目的。坡面的植被、地形、地质以及海绵滞留入渗等因素均对山洪的产生速度和大小影响极大,因此山丘地区的水土保持对山洪的防治具有十分关键的作用。当山丘坡度较大时(大于40°),可以种树植草。在山坡上植草固坡,可采用品字形穴播法,穴距为0.2 m×0.2 m;然后利用草类的蔓生和葡生根等易于繁殖的特性,逐渐连成一片,形成密厚的草层;坡度在20°~40°之间时,可以设置滞留带、滞留塘和水平截水沟等;山丘坡角坡度常在20°以下时,多为坡耕地^[7]。

8 结 语

(1)应根据下游防护区的重要性等级及汇水面积的大小,选择相应的防洪标准和计算公式。

(2)需根据上游汇水区域的地表特性选择合理的综合径流系数和计算特征点。

(3)根据下游防护区的安全等级,可以通过设计安全超高的盈存量、截洪沟的构造形式以及采取综合治理措施等多种举措来保证防护区的安全。

参考文献:

- [1] GB 50201—2014, 防洪标准[S].
- [2] GB 55027—2022, 城乡排水工程项目规范[S].
- [3] GB 51018—2014, 水土保持工程设计规范[S].
- [4] 刘靖, 黄宜, 王海洋, 等. 山地城市地表径流及其与用地类型的关系[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2015, 37(3): 8-11.
- [5] 王永磊, 卜德龙, 李振. 人工模拟降雨径流影响因素及其规律研究[J]. 山东建筑大学学报, 2012, 27(1): 11-15.
- [6] GB 50014—2021, 室外排水设计标准[S].
- [7] 马庆骥, 方振远. 给水排水设计手册——城镇防洪[M]. 2版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.

《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