

【水文泥沙】

推理公式计算淤地坝设计洪峰时暴雨递减指数取值研究

盖永岗^{1,2}, 付 健^{1,2}, 李超群^{1,2}

(1.黄河勘测规划设计研究院有限公司,河南 郑州 450003;

2.水利部黄河流域水治理与水资源安全重点实验室(筹),河南 郑州 450003)

摘 要:推理公式法是现行淤地坝设计洪峰计算的主要方法,推理公式法中的暴雨递减指数 n 的取值具有随历时、频率、点面雨量不同而变化的特点, n 的取值对淤地坝设计洪峰的计算结果具有较大影响。淤地坝地处小流域,洪水汇流时间短,一般小于1 h,其洪峰由超短历时雨峰形成,在运用推理公式法计算淤地坝设计洪峰流量时,应选取由10 min、1 h时段的点雨量资料分析得出的相应频率的暴雨递减指数值,才能计算出合理的洪峰流量值。

关键词:推理公式法;暴雨递减指数;设计洪峰流量;淤地坝;小流域

中图分类号:TV12;P333.2 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1000-1379.2021.10.013

引用格式:盖永岗,付健,李超群.推理公式计算淤地坝设计洪峰时暴雨递减指数取值研究[J].人民黄河,2021,43(10):67-69,80.

Study on Storm Decline Index in Rational Formula Used in Design Flood Peak of Warping Dam

GE Yonggang^{1,2}, FU Jian^{1,2}, LI Chaoqun^{1,2}

(1.Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd., Zhengzhou 450003, China;

2.Key Laboratory of Water Management and Water Security for Yellow River Basin, Ministry of Water Resources(Preparatory), Zhengzhou 450003, China)

Abstract: Rational formula is the main method used in design flood calculation of warping dam. The storm decline index (n for short) in rational formula is changed with the time interval, frequency, and the point or area rainfall. The value of n influences the calculation result of design flood peak of warping dam. The warping dam is usually located in small watersheds with short flood confluence time which is less than one hour. As the flood peak is formed from the storm peak at very short time, the value of n should be n_1 with corresponding frequency, which is analyzed from the point storm of ten minutes and one hour in order to calculate the reasonable peak discharge value.

Key words: rational formula; storm decline index; design flood peak; warping dam; small watershed

水利水电、交通、管道、输电线路、工矿等行业涉及众多的小流域洪水计算,而小流域大多缺乏实测流量资料,需采用由设计暴雨推求设计洪峰的途径进行计算,推理公式法被实践证明是一种行之有效的办法,现行《水利水电工程设计洪水计算规范》对此做出了规定^[1]。我国各省(区)编制了适用于本省(区)的水文手册及暴雨径流查算图表等,其中对推理公式法在本省(区)的应用以及有关参数取值做出了相关规定,为推理公式法在各省(区)的应用提供了依据。

淤地坝一般位于小流域内,集水面积都在10 km²以下。根据《水土保持沟谷骨干工程技术规范》^[2],淤地坝设计洪峰计算可采用水科院推理公式法,该方法表达形式简单、相关参数易于获取,已在我国小流域设计洪峰计算中得到广泛应用。在运用水科院推理公式法进行淤地坝设计洪峰计算时,参数的取值十分关键,其中暴雨递减指数的变化非常复杂且比较灵敏,取值应如何把握值得进行深入研究。

1 推理公式法及暴雨递减指数

1.1 推理公式法

洪峰流量推理公式因计算简便、具有足够的实用精度而得到了广泛的应用和不断改进,陈家琦等^[3]提出了水科院推理公式(全流域产流):

$$Q_m = 0.278(\alpha - \mu)F = 0.278(S_p/\tau^n - \mu)F \quad (1)$$

$$\tau = 0.278 \frac{L}{mI^{1/3}Q_m^{1/4}} \quad (\tau < \tau_c) \quad (2)$$

式中: Q_m 为设计洪峰流量,m³/s; τ 为汇流历时,h; τ_c 为产流历时,h; F 为流域面积,km²; I 为河道平均比降; L 为河道长度,km; m 为汇流参数; n 为暴雨递减指

收稿日期:2020-12-13

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFC0404602);中国工程院咨询研究项目(2019-XZ-65)

作者简介:盖永岗(1982—),男,河北石家庄人,高级工程师,主要从事水利规划、水文分析计算和水情自动测报系统设计等工作

E-mail:395870347@qq.com

数; α 为平均暴雨强度,mm/h; μ 为损失参数,mm/h; S_p 为频率为 p 的设计雨力,mm/h。

水科院推理公式属于半推理、半经验的集总型概念性模型^[4],其中:流域特征参数 F 、 L 、 I 为基本参数,需根据流域地形图进行量算;暴雨参数 S_p 与 n 、产流参数(即损失参数) μ 和汇流参数 m 均为重要参数。

产流参数 μ 和汇流参数 m 在不同省(区)的水文手册中一般都分区给出了查算图表,陈家琦等^[5-9]对水科院推理公式法在不同地区小流域洪峰计算中产流参数 μ 、汇流参数 m 的取值进行了分析。暴雨参数 S_p 一般通过水文手册 S_p 等值线图查算获得,或计算24h设计暴雨后再由暴雨公式转换计算获得。关于暴雨递减指数 n 取值的研究较少。

1.2 暴雨递减指数及其变化特点

水利行业一般采用的指数型暴雨公式如下:

$$\alpha_p = \frac{S_p}{t^n} \quad (3)$$

式中: α_p 为频率为 p 历时为 t 的设计雨强,mm/h。

对式(3)等号两边取对数可得 $\lg \alpha_p = \lg S_p - n \lg t$,理论上 $\lg \alpha_p$ 与 $\lg t$ 为线性关系,暴雨递减指数 n 即为此关系直线的斜率。

上述暴雨公式或其对数化公式中,暴雨递减指数 n 又称为暴雨衰减指数,其反映短历时暴雨(一般称降雨历时小于24h的暴雨为短历时暴雨)雨量在时程分布上的集中(或分散)程度^[10], n 值越大雨量越集中。 n 值具有如下变化特点。

(1) n 值具有随历时变化的特点。对我国实测暴雨资料的研究表明,大多数地区计算出的 $\lg \alpha_p$ 与 $\lg t$ 关系图在 $t=1$ h、 $t=6$ h处有转折点,即 n 一般有3个值 n_1 、 n_2 、 n_3 ,一般而言, $n_1 < n_2 < n_3$ 。当暴雨在 $t=6$ h处的转折点不明显时,为满足实际工作需要,可根据暴雨特点将 n_2 、 n_3 值综合为 n_0 ,同样具有 $n_1 < n_0$ 的规律。

(2) n 值具有随频率变化的特点。由于暴雨递减指数与雨量的量级关系密切,通常具有雨量增大 n 值减小的特点,因此 n 值会随频率稀遇程度的提高而减小,即 $n_{p\text{稀遇}} < n_{p\text{常遇}}$ 。

(3)点、面雨量的 n 值有差别。不论点雨量还是面雨量,均具有 n 值随时程增长而递减的特性,且同时段的点雨量 n 值大于相应面雨量 n 值,小面积面雨量 n 值大于大面积面雨量 n 值,即 $n_{\text{点}} > n_{\text{面}}$ 、 $n_{\text{小面}} > n_{\text{大面}}$ 。

(4) n 值与暴雨雨力关系密切。暴雨雨力即1h雨量,对于缺乏短历时暴雨资料的地区,雨力一般通过24h设计暴雨强度 α_{24p} 推求,即 $S_p = \alpha_{24p} 24^n$,此时的 n 值应取 n_0 。

2 淤地坝设计洪峰计算时 n 取值分析

2.1 淤地坝洪水汇流特征分析

按照不同规模淤地坝控制流域面积考虑,小型淤地坝控制流域面积一般在1km²以内,中型淤地坝控制流域面积一般为1~3km²,大型淤地坝控制流域面积一般为3~10km²。针对不同规模淤地坝控制流域面积,并考虑不同流域形状,分析计算其汇流历时,见表1。由表1可知,淤地坝控制流域的汇流历时都在1h以内,中型淤地坝控制流域的汇流历时都在0.5h以内,小型淤地坝控制流域的汇流历时则更短(不到0.3h)。

表1 各类小流域洪水汇流历时

流域面积/km ²	流域形状	河长/km	流速/(m·s ⁻¹)	汇流历时/h
10	60°角扇形	4.36	1.5	0.81
	长宽比为2:1	4.47	1.5	0.83
	长宽比为1:2	2.24	1.5	0.41
3	60°角扇形	2.39	1.5	0.44
	长宽比为2:1	2.45	1.5	0.45
	长宽比为1:2	1.22	1.5	0.23
1	60°角扇形	1.38	1.5	0.26
	长宽比为2:1	1.41	1.5	0.26
	长宽比为1:2	0.71	1.5	0.13

注:长宽比为主沟道长与宽度之比

综上所述,淤地坝控制的小流域暴雨洪水汇流速度快,具有源短流急、汇流时间短的特点。

2.2 暴雨递减指数 n 取值分析

笔者在工作实践中发现,诸多水文科技工作者在运用推理公式法进行淤地坝设计洪峰计算时,对暴雨递减指数 n 取值的认识不明确,未能做到分段合理取值。本文针对淤地坝洪水汇流特点对推理公式中暴雨递减指数 n 的取值进行深入分析研究,具体归纳为以下3个方面。

(1) n 值应选取 n_1 值。在运用推理公式法计算淤地坝设计洪峰时,暴雨递减指数 n 应选取与造峰历时相对应的 n 值。根据前述分析,淤地坝因地处小流域,其流域洪水汇流历时 τ 一般在1h以内,汇流历时短的则仅有十几分钟,考虑淤地坝控制流域的汇流历时较短,因此暴雨递减指数 n 应选取为 n_1 值,这是运用推理公式法进行淤地坝设计洪峰计算时最需注意的一点。若地区水文手册中未对 n_1 的取值进行归纳总结,可根据流域附近雨量站的雨量资料系列整理出10min、1h时段的年最大暴雨资料,或根据水文手册查算10min、1h时段的设计暴雨量,进而分析出可以借用的 n_1 值。

(2) n 值应与设计频率 p 相对应。由于暴雨递减

指数 n 与雨量大小关系密切,随着频率的稀遇程度提高,设计暴雨量级增大, n 值会减小,因此对于有资料条件的地区,在应用推理公式法推求淤地坝设计洪峰时, n 值应选用由相应频率或量级的短历时年最大暴雨资料分析得出的 n_1 值。

(3) n 值应选取由点雨量分析得出的值。淤地坝集水面积小,可直接用点设计暴雨代表小流域的设计暴雨,无需进行点面关系转换,因此在运用推理公式法计算淤地坝设计洪峰时, n 值选用由点雨量资料分析得出的 n_1 值。

3 实例分析

3.1 流域及工程概况

选取黄河水土保持生态工程清涧河流域延安项目区高家圪台骨干坝进行分析。高家圪台骨干坝位于清涧河二级支流,根据该地区 1:10 000 地形图量算了坝址处控制流域的特征参数,流域面积为 4.4 km²,主沟道长 2.8 km,沟道平均比降为 2.2%。

3.2 暴雨递减指数 n 取值分析

根据《陕西省中小流域设计暴雨洪水图集》,查算得高家圪台淤地坝处的 10 min、1 h、6 h、24 h 点雨量均值和变差系数 C_V 值,偏态系数 C_S 取 $3.5C_V$,查取相应于频率 $p=0.01\%$ 、 $p=0.5\%$ 、 $p=1\%$ 、 $p=10\%$ 的模比系数 K_p 值,并分别计算相应的设计雨量,见表 2。根据式(3)的对数化公式分段计算 n_1 、 n_2 、 n_3 值,见表 3,由表 3 可以看出 n 值的分段变化符合 $n_1 < n_2 < n_3$ 、 $n_{p\text{稀遇}} < n_{p\text{常遇}}$ 的规律,成果合理。但从计算结果来看,频率相同时,不同历时的 n 值差异明显,如相应于 $p=0.01\%$ 的 n_1 值与 n_3 值相差 0.34;而同一历时相应于不同频率的 n 值差异相对较小,如相应于 $p=0.01\%$ 和 $p=10\%$ 的 n_3 值相差仅 0.06。因此, n 的取值应更加注重设计暴雨历时的影响。

表 2 高家圪台淤地坝控制流域不同时段设计暴雨成果

历时	均值/ mm	C_V	K_p				设计雨量/mm			
			0.01%	0.5%	1%	10%	0.01%	0.5%	1%	10%
10 min	12.5	0.43	4.05	2.68	2.42	1.57	50.6	33.5	30.3	19.6
1 h	30	0.53	5.17	3.23	2.87	1.69	155.2	96.9	86.1	50.7
6 h	48	0.58	6.16	3.51	3.09	1.75	295.7	168.5	148.3	84.0
24 h	58	0.65	6.73	3.92	3.44	1.83	390.3	227.4	199.5	106.1

3.3 n 值对设计洪峰流量影响分析

根据《陕西省中小流域设计暴雨洪水图集》,由高家圪台淤地坝在陕西省所处的位置分区,查算其损失参数 μ 值为 7.8 mm/h,汇流参数 m 值为 1.024, $S_{p=0.01\%} = 155.2$ mm/h。

表 3 高家圪台淤地坝控制流域不同频率的 n 值

n 值分段	n 值			
	0.01%	0.5%	1%	10%
n_1	0.37	0.41	0.42	0.47
n_2	0.64	0.69	0.70	0.72
n_3	0.71	0.73	0.74	0.77

对相应于 $p=0.01\%$ 时 n 值的选取对设计洪峰流量计算结果的影响进行分析。根据前述分析,在利用推理公式法计算高家圪台淤地坝设计洪峰流量时, n 值应选取 n_1 值,据此计算得 $Q_{p=0.01\%}^1 = 206$ m³/s。若在实际计算中,未能注意到淤地坝地处小流域, n 值需取用 n_1 值这一特征,而选取 n_2 值或 n_3 值时,计算求得 $Q_{p=0.01\%}^2 = 232$ m³/s、 $Q_{p=0.01\%}^3 = 240$ m³/s,比取 n_1 值的设计洪峰流量分别大 13%和 17%。

同样,虽然 n 值选取 n_1 值,但未选取相应于 $p=0.01\%$ 的 n_1 值,而选取相应于其他频率的 n_1 值时,对设计洪峰流量也会有影响,若选取相应 $p=1\%$ 或 $p=10\%$ 时的 n_1 值,则计算的 $Q_{p=1\%}^1 = 211$ m³/s、 $Q_{p=10\%}^1 = 215$ m³/s,与 n 取 n_1 、频率取 $p=0.01\%$ 时的设计洪峰流量相比分别大 2%和 4%。

综合上述分析,应明晰暴雨递减指数 n 的概念和取值特点,在运用推理公式法计算淤地坝设计洪峰流量时,应注意其洪水汇流时间短的特点,在 n 值的选取上,应选取相应于设计频率、设计暴雨历时的 n_1 值进行计算,才能得出合理的设计洪峰流量值,尤其应当注意的是 n 值分段取值的差别较大,对洪峰流量计算结果的影响也较大。

4 结 语

本文对推理公式法中的参数类型进行了梳理,对暴雨递减指数 n 的变化特点进行了归纳总结。针对淤地坝地处小流域、集水面积大都在 10 km² 以下的特点,分析了淤地坝洪水汇流特点和汇流时间范围,可以认为淤地坝洪水汇流的时间一般在 1 h 以内,其洪峰由超短历时暴雨(一般在 1 h 以内)所形成。在此基础上,指出了运用推理公式法进行淤地坝设计洪峰流量计算时,暴雨递减指数 n 应选取由点雨量资料得出的相应频率量级的 n_1 值,才能计算得出合理的设计洪峰流量值。最后结合实例进行了剖析,以期在日后运用推理公式法进行淤地坝设计洪峰流量计算时能够对暴雨递减指数 n 有明晰的概念,并能够合理取值。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国水利部.水利水电工程设计洪峰计算规范:SL 44—2006[S].北京:中国水利水电出版社,2006:17-19.

(下转第 80 页)

- [7] 武桂芝,张宝森,李春江,等.阵列地质雷达在黄河堤防隐患探测中的应用[J].人民黄河,2020,42(8):113-116.
- [8] 刘辉,冀鸿兰,牟献友,等.基于无人机载雷达技术的黄河冰厚监测试验[J].南水北调与水利科技(中英文),2020,18(3):217-224.
- [9] 张磊,牟献友,冀鸿兰,等.基于多波段遥感数据的库区水深反演研究[J].水利学报,2018,49(5):639-647.
- [10] LAL W, SHEN H T. A Mathematical Model for River Ice Processes[J].Journal of Hydraulic Engineering, 1991,117(7):851-867.
- [11] SHEN H T, SU J, LIU L. SPH Simulation of River Ice Dynamics[J].Journal of Computational Physics, 2000,165(2):752-770.
- [12] SHEN H T, WANG D S, LAL W. Numerical Simulation of River Ice Processes[J].Journal of Cold Regions Engineering, 1995,9(3):107-118.
- [13] WANG D S, SHEN H T, CRISSMAN R D. Simulation and Analysis of Upper Niagara River Ice Jam Conditions[J].Journal of Cold Regions Engineering, 1995,9(3):119-134.
- [14] BELTAOS S. Numerical Computation of River Ice Jams[J].Canadian Journal of Civil Engineering, 1993,20(1):88-99.
- [15] FLATO G M, GERARD R. Calculation of Ice Jam Thickness Profiles[C]//Proceedings of 4th Workshop on Hydraulics of River Ice. Montreal, Quebec, Canada, 1986(C3):1-25.
- [16] CARSON R, BELTAOS S, GROENEVELD J, et al. Comparative Testing of Numerical Models of River Ice Jams[J].Canadian Journal of Civil Engineering, 2011,38(6):669-678.
- [17] LINDENSCHMIDT K, XU J Y. Rivice-A Non-Proprietary, Open-Source, One-Dimensional River-Ice Model[J].Water, 2017,9(5):314.
- [18] BLACKBURN J, SHE Y. A Comprehensive Public-Domain River Ice Process Model and Its Application to a Complex Natural River[J].Cold Regions Science and Technology, 2019,163:44-58.
- [19] BRUNNER G W. HEC-RAS(River Analysis System)[C]//North American Water and Environment Congress & Destructive Water. Washington D C: ASCE, 2002:3782-3787.
- [20] SHEN H T. Mathematical Modeling of River Ice Processes[J].Cold Regions Science and Technology, 2010,62(1):3-13.
- [21] 郭新蕾,王涛,付辉.河渠冰水力学研究进展和动向[J].力学学报,2021,53(3):655-671.
- [22] BELTAOS S. Progress in the Study and Management of River Ice Jams[J].Cold Regions Science and Technology, 2008,51(1):2-19.
- [23] GUO X, WANG T, FU H, et al. Ice-Jam Forecasting During River Breakup Based on Neural Network Theory[J].Journal of Cold Regions Engineering, 2018,32(3):1-8.
- [24] WANG T, YANG K, GUO Y. Application of Artificial Neural Networks to Forecasting Ice Conditions of the Yellow River in the Inner Mongolia Reach[J].Journal of Hydrologic Engineering, 2008,13(9):811-816.
- [25] MORSE B, HESSAMI M, BOUREL C. Mapping Environmental Conditions in the St. Lawrence River onto Ice Parameters Using Artificial Neural Networks to Predict Ice Jams[J].Canadian Journal of Civil Engineering, 2003,30(4):758-765.
- [26] 张宝森,张兴红.冰凌监测新技术研究进展[J].中国防汛抗旱,2017,27(6):14-19,33.
- [27] 翟必垚,刘璐,张宝森,等.基于离散元方法与水动力学耦合的河冰动力学模型[J].水利学报,2020,51(5):617-630.
- [28] 刘璐,尹振宇,季顺迎.船舶与海洋平台结构冰载荷的高性能扩展多面体离散元方法[J].力学学报,2019,51(6):1720-1739.
- [29] LIU L, JI S. Bond and Fracture Model in Dilated Polyhedral DEM and Its Application to Simulate Breakage of Brittle Materials[J].Granular Matter, 2019,21(3):1-16.
- [30] SOTOMAYOR O E, TIPPUR H V. Role of Cell Regularity and Relative Density on Elasto-Plastic Compression Response of Random Honeycombs Generated Using Voronoi Diagrams[J].International Journal of Solids and Structures, 2014,51(21-22):3776-3786.
- [31] BABIC M. Discrete Element Simulations of River Ice Transport[C]//Proceedings of IAHR the 10th International Symposium on Ice. Espoo, Finland: IAHR, 1990:564-574.

【责任编辑 许立新】

(上接第69页)

- [2] 中华人民共和国水利部.水土保持沟骨干工程技术规范:SL 289—2003[S].北京:中国水利水电出版社,2003:7-8.
- [3] 陈家琦,张恭肃.小流域暴雨洪水计算问题[M].北京:水利电力出版社,1983:102-111.
- [4] 岳延兵,胡玉春.用设计暴雨推求设计洪水在防洪评价中的应用[J].人民黄河,2017,39(3):33-36,60.
- [5] 陈家琦,张恭肃.推理公式汇流参数 m 值查用表的补充[J].水文,2005,25(4):37-38.
- [6] 钮泽宸.浙江省特小流域($F < 50 \text{ km}^2$)洪水汇流参数变化规律的分析[J].浙江水利科技,1988,16(4):1-8.
- [7] 冷荣梅.推理公式汇流参数 m 值地区综合探讨[J].四川水利,2000,21(5):44-46.
- [8] 吴婉玲,谢华伟,沈宇翔.特小流域设计洪水汇流参数分析[J].华北水利水电学院学报,2010,31(5):58-61.
- [9] 索明生,张靖梅.推理公式中汇流参数对洪水计算的影响分析[J].杨凌职业技术学院学报,2013,12(2):39-41.
- [10] 王国安,贺顺德,李荣容,等.论推理公式的基本原理和适用条件[J].人民黄河,2010,32(12):1-4,248.

【责任编辑 张 帅】