

# 推理公式计算淤地坝设计洪峰时暴雨 递减指数 $n$ 的取值研究

盖永岗<sup>1</sup> 付 健<sup>2</sup> 李超群<sup>3</sup>

(1. 规划研究院; 2. 水生态与景观艺术设计院; 3. 前沿技术及战略研究院)

**[摘要]** 推理公式法是现行淤地坝设计洪水计算的主要方法,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。淤地坝地处特小流域,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出的相应频率的值,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  $n$  淤地坝 特小流域 设计洪峰流量

## 1 研究背景

水利水电、交通、管道、输电线路、工矿企业等行业涉及众多的小流域洪水计算问题,而这些小流域大多缺乏实测流量资料,一般需采用由设计暴雨推求设计洪水的途径进行计算,推理公式法被实践证明是一种行之有效的方法,现行《水利水电工程设计洪水计算规范(SL44-2006)》对此也作出了规定<sup>[1]</sup>。我国各省(区、市)编制了适用本省(区、市)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(区、市)的应用以及有关参数取值进行了不同细致程度的规定,为推理公式法在各地地区的应用提供了依据和极大的便利。

淤地坝地处于流域的支毛沟末端,集水面积非常小,基本都在 10 km<sup>2</sup> 以下,属特小流域,根据《水土保持沟骨干工程技术规范(SL289-2003)》,现行淤地坝设计洪水分析计算多采用水科院推理公式法<sup>[2]</sup>,该方法表达形式简单、相关参数易于获取,已在我国淤地坝等小流域设计洪水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水计算时,参数的取值比较关键,其中暴雨参数  $n$  值的变化非常复杂、又比较灵敏,对于集水面积特小的淤地坝设计洪峰计算时, $n$  的取值应如何合理把握,值得进行深入研究。

## 2 推理公式法及暴雨递减指数

### 2.1 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,得到了广泛的发展、改进和应用,在中国,陈家琦等人<sup>[3]</sup>提出了水科院推理公式(全流域产流,且  $\tau < \tau_c$  情况):

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

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

式(1)、式(2)中: $Q_m$  为设计洪峰流量, m<sup>3</sup>/s; $\tau$  为汇流时间, h; $F$  为流域面积, km<sup>2</sup>; $I$  为河道平均比降; $L$  为河道长度, km; $m$  为汇流参数; $n$  为暴雨参数; $\alpha$  为平均暴雨强度, mm/h; $\mu$  为损失参数, mm/h; $S_p$  为设计频率的雨量, 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<sup>[4]</sup>,其中,流域特征参数  $F$ 、 $L$ 、 $J$  为基本参数,需根据流域地形图进行量算;其他重要参数包括暴雨参数  $S_p$  与  $n$ ,产流参数、即损失参数  $\mu$ ,汇流参数  $m$ 。

产流参数  $\mu$  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<sup>[5]</sup>对水科院推理公式法中产流参数  $\mu$  值进行了分析;陈家琦<sup>[5]</sup>、钮泽衰<sup>[6]</sup>、冷荣梅<sup>[7]</sup>、吴婉玲<sup>[8]</sup>、索明生<sup>[9]</sup>等对水科院推理公式法在不同地区小流域洪水计算中

**作者简介:** 盖永岗(1982—),男,河北省石家庄人,高级工程师,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。

汇流参数  $m$  的取值进行了分析和综合。暴雨参数  $S_p$  一般可通过水文手册  $S_p$  等值线图查算获得,或计算 24 h 设计暴雨后再由暴雨公式转换计算获得;但是暴雨参数  $n$  值是一个变化非常复杂、又比较灵敏的参数,关于  $n$  的取值在水科院推理公式法应用中的研究则较少。

## 2.2 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:

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

其中,  $a_{ip}$  表示频率为  $p$  的  $t$  时段设计雨强,  $S_p$  为频率为  $p$  的设计雨力, mm/h;  $n$  为暴雨递减指数。

将式(3)的指数型暴雨公式两边取对数,即为

$$\lg a_{ip} = \lg S_p - n \lg t \quad (4)$$

因此,理论上  $\lg a_{ip}$  与  $\lg t$  为直线关系,暴雨递减指数  $n$  即为此直线的斜率,反映了暴雨公式对数化的坡度。

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,是用来反映短历时暴雨(一般称小于 24 h 的暴雨为短历时暴雨)在时程分布上的集中(或分散)程度<sup>[10]</sup>,  $n$  值愈大,暴雨愈集中。 $n$  值一般用于转换推求短历时时段设计暴雨,其具有如下特点:

(1)  $n$  值具有随历时而变化的特点。通过对我国实测暴雨资料的研究表明,大多数地区计算出的  $\lg a_{ip} \sim \lg t$  在  $t=1\text{h}$ 、 $t=6\text{h}$  处有转折点,即  $n$  一般有 3 个值:  $n_1$ 、 $n_2$ 、 $n_3$ , 一般而言,  $n_1 < n_2 < n_3$ , 即前者坡度陡,后者的坡度缓。进一步的,当暴雨在  $t=6\text{h}$  处的转折点不明显时,为便于实际工作需求,可根据暴雨特点将  $n_2$ 、 $n_3$  值综合为  $n_0$ , 同样的,具有  $n_1 < n_0$  的规律。

(2)  $n$  值具有随频率变化的特性。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增加而减小,即,  $n_{p\text{稀遇}} < n_{p\text{常遇}}$ 。

(3)  $n$  值在应用中应注意点面雨量的区别。不论点雨量还是面雨量,均具有由  $n$  值控制的随时程增长而递减的特性,且存在同时段的点雨量  $n$  值大于相应面雨量  $n$  值,小面积面雨量  $n$  值大于相应大面积面雨量  $n$  值,即,  $n_{\text{点}} > n_{\text{面}}$ 、 $n_{\text{小面}} > n_{\text{大面}}$ 。

(4)  $n$  值与暴雨雨力/雨势关系密切。暴雨雨力/雨势即为 1 h 雨量,对于缺乏短历时暴雨资料的地区,雨力/雨势一般通过 24 h 设计暴雨推求,即  $S_p = a_{24p} 24^n$ , 此时的  $n$  值应取  $n_0$ 。

## 3 淤地坝洪水汇流特征及推理公式暴雨参数 $n$ 的取值要求分析

### 3.1 淤地坝洪水汇流特征分析

由于淤地坝地处流域内支毛沟末端的特小流域,集水面积在  $10\text{ km}^2$  以下,且大多在  $3\text{ km}^2$  以下,塬高坡陡,植被相对较差,暴雨洪水时,具有源短流急、汇流时间短的特点。以特小流域面积按临界值  $10\text{ km}^2$  考虑,计及流域坡度较陡的因素,河道汇流速度按  $1.5\text{ m/s}$  考虑,当流域形状近似为  $60^\circ$  夹角的扇形形状时,河道长约  $4.36\text{ km}$ ,流域汇流历时  $\tau$  约  $0.81\text{ h}$ ;当流域形状近似为长(主流程为长,下同)宽比为  $2:1$  的矩形形状时,河道长约  $4.47\text{ km}$ ,流域汇流历时  $\tau$  约  $0.83\text{ h}$ ,当流域形状近似为长宽比为  $1:2$  的矩形形状时,河道长约  $2.24\text{ km}$ ,流域汇流历时  $\tau$  约  $0.41\text{ h}$ 。进一步的,若流域面积按较大值  $3\text{ km}^2$  考虑,前述三种形状的流域汇流历时  $\tau$  分别为  $0.44\text{ h}$ 、 $0.45\text{ h}$ 、 $0.23\text{ h}$ ;若流域面积按  $1\text{ km}^2$  考虑,前述三种形状的流域汇流历时  $\tau$  分别为  $0.26\text{ h}$ 、 $0.26\text{ h}$ 、 $0.13\text{ h}$ 。综上分析,不同情况下淤地坝控制流域的汇流历时分析结果见表 1。

表 1 不同流域面积及形状时淤地坝洪水汇流时间分析

流域面积 ( $\text{km}^2$ )	流域形状	河长 (km)	流速 (m/s)	汇流历时 (h)
10	60°角扇形	4.36	1.5	0.81
	流长与宽比(2:1)矩形	4.47	1.5	0.83
	流长与宽比(1:2)矩形	2.24	1.5	0.41
3	60°角扇形	2.39	1.5	0.44
	流长与宽比(2:1)矩形	2.45	1.5	0.45
	流长与宽比(1:2)矩形	1.22	1.5	0.23
1	60°角扇形	1.38	1.5	0.26
	流长与宽比(2:1)矩形	1.41	1.5	0.26
	流长与宽比(1:2)矩形	0.71	1.5	0.13

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在  $1 \text{ km}^2$  以内,中型淤地坝控制流域面积在  $1-3 \text{ km}^2$ ,大型淤地坝控制流域面积大于  $3 \text{ km}^2$ ,且一般小于  $8 \text{ km}^2$ 。因此,对于数量众多的中小型淤地坝,其控制流域的汇流时间基本在  $0.5 \text{ h}$  以内,对于小型淤地坝其控制流域的汇流时间则更短,仅不到  $0.3 \text{ h}$ 。

### 3.2 推理公式法计算淤地坝设计洪水时暴雨参数 n 的取值分析

笔者在生产实践工作中发现,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水计算时,对暴雨参数 n 取值的认识不明确,未能做到对 n 值的区分应用,本文针对淤地坝洪水汇流特点对推理公式暴雨参数 n 的取值问题进行深入分析研究,具体归纳为以下三个方面。

(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水时,暴雨参数 n 应选取与洪水造峰历时相对应的 n 值。根据前述分析,淤地坝因地处特小流域,其流域洪水汇流历时  $\tau$  一般都在  $1 \text{ h}$  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,因此暴雨参数 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水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,可根据设计流域附近雨量站的雨量资料系列整理出  $10 \text{ min}$ 、 $1 \text{ h}$  时段的年最大暴雨资料,或根据手册查算  $10 \text{ min}$ 、 $1 \text{ h}$  时段的设计暴雨值,进而分析出可以借用的  $n_1$  值。

(2)n 值应选取点雨量分析出的值。因淤地坝地处特小流域,其集水面积特小,可直接将点设计暴雨用以代表该特小流域的设计暴雨,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水

时,暴雨参数 n 也选取为点雨量资料分析出的值。

(3)n 值选取应与设计频率 P 相对应。由于暴雨递减指数 n 值与雨量大小关系密切,随着频率的稀遇程度,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水时,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出的值。

## 4 实例分析

### 4.1 流域及工程概况

选取黄河水保生态工程清涧河流域延安项目区高家圪台骨干坝为例进行分析示例。高家圪台骨干坝位于清涧河二级支流水系沟道,根据该地区  $1:10000$  地形图量算了坝址处控制流域的特征参数,流域面积  $4.4 \text{ km}^2$ ,流域沟道长  $2.8 \text{ km}$ ,沟道平均比降  $2.2\%$ 。

### 4.2 暴雨递减指数 n 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  $10 \text{ min}$ 、 $1 \text{ h}$ 、 $6 \text{ h}$ 、 $24 \text{ h}$  点雨量均值和  $C_v$  值, $C_s/C_v$  取  $3.5$ ,查取相应于频率  $P=0.01\%$ 、 $P=0.5\%$ 、 $P=1\%$ 、 $P=10\%$  的  $K_p$  值,并分别计算相应的设计暴雨量,见表 2。根据暴雨公式(4)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。但从计算结果比较看,相同频率时,不同时间段的 n 取值差异更加明显,如相应于  $P=0.01\%$  的  $n_1$  值与  $n_3$  值相差较大,为  $0.34$ ;而同一时段相应于不同频率的 n 值差异相对较小,如  $n_3$  相应于  $P=0.01\%$  和  $P=10\%$  的值相差较小,为  $0.06$ 。因此,n 的取值应更加注重其所处的不同时段的影响。

表 2 高家圪台淤地坝所在流域不同时段设计暴雨成果表

时段	均值 (mm)	$C_v$	$C_s/C_v$	$K_p$				相应不同频率(%)的设计雨量(mm)			
				0.01	0.5	1	10	0.01	0.5	1	10
10 min	12.5	0.43	3.5	4.05	2.68	2.42	1.57	50.6	33.5	30.3	19.6
1 h	30	0.53	3.5	5.17	3.23	2.87	1.69	155.2	96.9	86.1	50.7
6 h	48	0.58	3.5	6.16	3.51	3.09	1.75	295.7	168.5	148.3	84.0
24 h	58	0.65	3.5	6.73	3.92	3.44	1.83	390.3	227.4	199.5	106.1

表 3 高家圪台淤地坝所在流域不同频率的 n 值

n 值分段	相应频率 P(%) 的 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

### 4.3 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,查算其产流参数,即损失参数  $\mu$  取值为  $7.8 \text{ mm/h}$ ,汇流参数  $m$  值为  $1.024$ 。

(下转第 18 页)

费者对洗浴的要求不仅限于单纯的清洁功能,而是追求更惬意的享受。洗浴市场服务功能由过去单一的清洁向休闲、保健、娱乐、餐饮多功能转变。由于洗浴消费的规模性、大众化,所以增加收益能力亦是相当可观。

## 7 结语

通过偃师市产业转型升级研究,探讨了产业转型升级发展方向,针对移民村的后续发展,可提升以

资源为依托、以市场为导向、以移民所在村为主体的乡村新型服务业,具体而言要结合移民村资源要素禀赋,盘活移民村集体资源、资产、资金,推进农业与文化、旅游、教育、康养等产业深度融合,发展养老托幼、环境卫生、休闲观光等农村生活性服务业,打造移民收入新的增长点。“十四五”期末,通过产业转型升级发展,预测2025年偃师市农村移民人均可支配收入31008元,预期达到偃师市农村居民收入平均水平。

(上接第7页)

以相应于 $P=0.01\%$ 时, $n$ 值的选取对设计洪峰流量计算结果的影响进行分析比较。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,根据前述确定的高家圪台淤地坝流域特征参数、产汇流参数值及 $S_{P=0.01\%}=155.2$ ,计算得 $Q_{P=0.01\%}^1=206\text{ m}^3/\text{s}$ ;若在实际计算中,未能注意到淤地坝地处特小流域, $n$ 值需取用 $n_1$ 值这一特征,而选取为 $n_2$ 值或 $n_3$ 值时,则计算求得 $Q_{P=0.01\%}^2=232\text{ m}^3/\text{s}$ , $Q_{P=0.01\%}^3=240\text{ m}^3/\text{s}$ ,与 $n_1$ 值时的设计洪峰流量相差分别为13%和15%,对计算结果有一定程度的影响,均超过了10%。同样,虽 $n$ 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,对计算的设计洪峰流量也会有部分影响。

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,应选取相应频率量级的 $n_1$ 值进行计算,才能算出合理的设计洪峰流量值,尤其应当注意的是 $n$ 值分时段取值的差别较大,对洪峰流量计算结果的影响也最大。

## 5 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。针对淤地坝地处于流域的支毛沟末端、集水面积都在 $10\text{ km}^2$ 以下、属特小流域的特点,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都在1h以内,其洪峰由超短历时雨峰(一般在1h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参数 $n$ 有明晰的概念,并能够合理取值。

### 参考文献

- [1] SL44—2006, 中华人民共和国水利部. 水利水电工程设计洪水计算规范[S]. 北京:中国水利水电出版社, 2006:17-19.
- [2] SL289—2003, 中华人民共和国水利部. 水土保持沟骨干工程技术规范[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.
- [4] 赵银玲,吴铁林,王素荣. 基于产汇流理论的设计洪水推理公式方法改进[J]. 人民长江,2018,49(20):29-34.
- [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] 钮泽袁. 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,(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,(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]. 华北水利水电学院院,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,2013,12(2):39-41.
- [10] 杨远东,高秀玲. 短历时暴雨递减指数与等值线图的编制[J]. 水文,2001,(6):29-34.