

推理公式法在小流域设计洪水中的应用

李晶晶

(云南水利水电职业学院, 云南 昆明 650000)

摘要: 随着世界经济的快速发展, 地球环境被破坏, 极端气候灾害时有发生, 大江大河上电站、水库众多, 可以抵御这些灾害, 但我国有众多的小河流域地区, 夏季雨水集中, 容易爆发洪灾; 其他季节雨水偏少, 干旱现象也经常出现。因此建设水利水电工程调节天然来水, 汛期蓄水、枯水季供水是一个最佳的选择。而水利水电工程的决策阶段, 需要获得足够完整且连续的水文数据, 如洪峰流量、洪水水位、降雨量等。然而我国水文站密度比较小, 小流域地区一般没有足够完整的流量及雨量资料, 在水文计算中, 根据现行《水利水电工程水文计算规范》要求, 要求无资料地区设计洪水时一般采用水利科学院陈家琦等人推导的推理公式法, 结合从当地水文手册中查询得到的暴雨统计特征值, 进行推导计算。本文以广东省某工程流域为例, 结合广东省水文手册, 详细讲解了推理公式法推求设计洪峰的应用步骤, 计算成果精度符合要求, 为解决小流域设计洪水的现实问题提供了一个可行的思路和方法。

关键词: 小流域; 设计洪水; 推理公式法; 洪峰流量

我国水资源总量在世界排名第六, 但十四亿的人口规模, 使得人均占有量只占世界平均水平的四分之一, 再加上目前水环境污染问题日益严重, 水质质量不断下降, 还有难以杜绝的水资源浪费现象, 导致我国可利用的水资源量十分匮乏, 特别是一些小河流域地区, 由于缺少蓄水、蓄水设施, 缺乏科学的水资源管理, 导致洪水干旱灾害严重。为了进一步提高小流域地区的水资源利用效率, 减少洪旱灾害, 可以在小流域地区修建一些小型水利水电工程, 比如水库、提灌站、泵站等。因为小流域洪水大多数是由暴雨形成的, 而小流域面积较小, 调节能力较弱, 形成的洪水陡涨陡落, 破坏性很大, 造成的损失难以估量, 因而在规划建设水利水电工程阶段能通过计算得到准确度高设计洪水的洪峰流量就显得尤为重要了。

一般情况下, 有资料情况下推求设计洪水的方法有三种: 一是由足够数量的实测流量资料和调查得到的历史洪水资料, 包括特大洪水, 通过频率计算得到设计洪峰流量及时段洪量; 二是由暴雨资料通过频率计算得到设计暴雨, 再通过产流和汇流计算得到设计洪水过程; 三是由气象资料推求可能最大暴雨, 再由暴雨推算出设计洪水。由于中小型水利水电工程的所在地一般面积较小, 水文站数量较少或者根本没有设置水文站, 如果需要推求设计洪水, 缺少足够连续的雨量或流量资料, 属于无资料情况下推求设计洪水。我国小型水利水电工程数量繁多, 分布范围广泛, 大部分处于农村地区, 对农业灌溉作用巨大, 甚至影响到我国的粮食问题。因此针对小流域设计洪水计算方法的研究具有重要的意义和作用。

一、小流域设计洪水的特点

小流域一般指集水面积较小的区域, 但面积大小的界限暂无规定。我国流域面积在几百平方千米以下的小河流不计其数。一般情况下, 由于小流域涉及范围较小, 降雨覆盖面积较小, 而且下垫面条件比较单一, 因而降雨强度分布较为均匀; 小流域地区基本没有水文站, 绝大多数属于无资料地区, 不能应用常规方法求得设计洪水数据。

小流域要推求设计洪水, 相比于大中型流域, 一般有以下三

个不同之处。第一, 小流域数量众多, 且都处于河流的二、三级支流区域, 一般没有足够数量的水文站, 完全没有数据, 如我国某省 100 平方千米以下的小河水文站只有 20 个, 平均 1500 平方千米只有一个水文测站; 或者测站建站时间较短, 不能提供长期连续的雨量或流量数据, 这两种情况均无法采用现在常用的频率计算公式。第二, 兴建在小流域上的水利水电工程一般规模相对较小, 对洪水的调蓄能力较弱, 其规模尺寸主要受洪峰控制, 因而小流域设计洪水对洪峰流量的计算要求较为严格, 而对洪水总量及洪水过程线的要求相对较低。最后, 小流域设计洪水的推求一般用于基层灌溉渠系、交通线路等工程建设中, 经常需要在短时间内计算出大量过河、过沟和排洪工程所需的设计洪水资料, 为了满足这些小型水利水电工程快速提供设计成果的要求, 它的计算方法必须简便易行, 要容易理解, 便于基层工作人员掌握及应用。

二、小流域设计洪水的计算方法

目前适合于我国小流域无资料地区设计洪水的计算方法较多, 例如地区等值线插值法、推理公式法、经验公式法、综合单位线法、调查洪水法等。

地区等值线插值法是指对于缺乏资料的地区, 可以采用邻近地区的实测和调查资料, 根据地区特性进行综合, 绘制出洪峰流量模数、暴雨特征值、暴雨及径流统计参数(均值、变差系数、偏差系数)的等值线图, 供小流域地区推求设计洪水时使用。

推理公式法是由暴雨资料推求小流域设计洪水的一种简化方法。它概括了流域的产流、汇流过程, 利用等流时线原理, 通过推理计算得到设计洪峰流量。这个方法所需资料少, 步骤简单, 应用广泛。

经验公式法是根据本地区实测洪水资料和调查的历史洪水资料, 以洪峰流量作为纵坐标, 相关影响因素数值作为横坐标, 并绘制成图, 找出洪峰流量与影响因素之间的经验相关关系。目前常用的有洪峰流量~流域面积相关法, 其公式表述形式为 $Q_{mp}=C_p F^n$, 这种称为单因素经验公式。还有一种多因素经验公式, 是指以流域特征指标与设计暴雨两个主要影响因素作为参数建立经验公式。经验公式法不涉及洪水的形成机制, 只是数据资料的统计归纳, 因此区域性很强, 如果在相同地区, 结果精度很高, 应用也方便。但, 一旦外延使用时, 就要特别注意参数和系数的取值, 否则结果很难预料。总之, 使用经验公式时一定要明确适用范围。

综合单位线法是将流域的地理特征值与单位线要素结合起来, 推求设计洪水的方法。根据所综合的单位线的不同, 可分为综合经验单位线和综合瞬时单位线两种。综合经验单位线是以谢尔曼单位线为基础进行发展应用起来的, 以单位线的三要素(滞时、峰值、底宽)结合影响径流形成的主要流域特征值(流域面积、主河道长度、流域中心到出口断面的距离、干流河道比降), 推导出相应经验公式。此方法在我国的应用与发展始于 20 世纪 50 年代, 早期以淮河单位线作为代表。综合瞬时单位线以实测数据为基础, 推导出瞬时单位线参数与部分流域特征值之间的相关关系, 进行综合计算。我国编制的分省区《暴雨径流查算图表》就是通过应用综合瞬时单位线法得到的地理综合成果。

调查洪水法主要是通过洪水调查取得一次或几次大洪水的资

料, 直接采用频率适线法推求得到设计频率的洪峰流量。

上述介绍的四种方法中, 经验公式法的通用性较弱, 只能用于特定地区; 综合单位线法也需要一定数量的基础数据, 要能推导出单位线, 再结合区域的特征使用, 假如数据不足, 就无法使用; 洪水调查法需要数据真实可靠, 得到的结果精度才能保证; 推理公式法的使用条件较容易达到, 适用性也较强, 是我国目前最常用的方法之一。

三、推理公式法基本原理

推理公式也称作合理化公式, 最早是于 1851 年由摩尔凡尼 (T.J.Mulvaney) 提出, 已被实践成功检验长达一百多年。该公式是以流域汇流的等流时线概念为基础, 假定流域的产流强度在时间和空间上的分布都是均匀时, 那么流域上的平均产流强度与某一面积的乘积即为出口断面的流量, 当这个数值达到最大值时就表明洪峰流量出现了。公式的基本形式为:

$$Q = \psi(i - f)F$$

其中, Q 为流量; ψ 为径流系数, $\psi = (i - f) / i$; i 为降雨强度, f 为下渗强度; F 为流域面积。

推理公式法的基本原理与降雨形成径流的原理是一致的。降雨量扣除植物截留、填洼、下渗等损失后, 通过流域的调蓄作用, 汇流到河流, 最后到达流域出口断面处, 形成流域出口径流。它是以下三个基本假定作为基础得到的。第一, 假定流域的降雨过程减去损失过程即为净雨, 称之为产流过程, 并且假定汇流时间内流域产生的径流强度一直相同, 不随时间改变; 第二, 把汇流面积的不规则图形概括简化成矩形; 第三, 假设洪水与暴雨同频率, 其他参数没有频率的概念。

1958 年水科院陈家琦等人在上述推理公式的基础上, 根据设计暴雨计算、产流计算、汇流计算三者之间的内在物理关系, 结合单位的换算系数, 得出了适合我国使用的水利科学院的推理公式, 这个公式一经推出, 我国小流域设计洪水计算就开始大范围应用了, 效果显著。公式如下:

$$Q_m = 0.278iF$$

$$r = 0.278 \frac{L}{mJ^G Q_m^{\lambda}}$$

其中, Q_m ——洪峰流量, m^3/s ;

ψ ——洪峰径流系数;

F ——流域面积, km^2 ;

τ ——流域汇流历时, h ;

L ——流域汇流的长度, km ;

m ——汇流参数;

J ——流域平均坡度, 包括坡面和河网, 实际上以河道平均比降来代表, 以百分数计;

σ, λ ——经验指数, 与河道断面形状有关。一般情况下, 取 $\sigma=1/3, \lambda=1/4$ 。

推理公式法是利用设计暴雨间接推求设计洪峰流量, 因此一般情况下, 我们在应用推理公式时, 必须结合暴雨公式一起才能使用。小流域根据暴雨推求设计洪水, 必须假定设计暴雨与设计洪水同频率。在一定频率情况下时段平均暴雨强度 i 与历时 t 的关系式, 称为暴雨公式。即:

$$i = \frac{S}{t^n} \quad x = s * t^{1-n}$$

S ——单位历时的暴雨平均强度, 又称为雨力, 如果 t 以小时计, s 就是 $t=1$ 小时的暴雨强度;

n ——暴雨递减指数, 当 $t < 1$ 时, 取 $n=1$; 当 $t > 1$ 时, 取 $n=2$ 。取值一般是查阅当地《水文手册》。

四、应用举例

广东省粤西沿海某河流上游计划修建一座中型水库, 根据工程具体情况采用正常防洪标准为百年一遇。集水区域内大部分地形为高丘陵, 局部为低山和山丘。根据五万分之一航测图量算, 已知流域特征值集水面积 $F=21.7km^2$, 干流河长 $L=8.3km$, 干流坡降 $J=4\%$ 。工程所在区域未布置水文站, 属于无资料地区。本文采用由暴雨资料推求设计洪水的思路, 结合广东省水文手册查询的相关数据来推求设计洪峰流量以及汇流时间。

(一) 设计暴雨的推求

1. 设计点暴雨量计算

第一步, 查询手册中的三个历时 (1h、6h、24h) 年最大点暴雨统计特征值 \bar{H} 、 C_v 的等直线图, 获得流域面积最中心处的各历时暴雨参数值; 第二步, 查询皮尔逊 III 型曲线离均系数 Φ 值表, 假设 $C_s=3.5 C_v$, 获取对应的各历时暴雨的 Φ 值; 最后, 按公式 $H_p = \bar{H}(1 + \psi_p C_v)$ 计算得出 $P=1\%$ 时三个不同历时的设计点暴雨量, 结果见表 1。

表 1 不同历时设计点暴雨量计算表

历时 /h	均值 /mm	C_v	Φ_p	H_p/mm
1	73	0.41	3.29	171.47
6	159	0.55	3.57	471.20
24	246	0.65	3.75	845.63

2. 设计面暴雨量计算

由于小流域范围窄, 面积小, 可以忽略暴雨在地区上分布的不均匀性, 把流域中心点雨量作为流域面雨量, 而不考虑点面雨量的折算问题。

(二) 设计洪峰流量推求

1. 产流、汇流参数的推求

根据本工程所在区域以及集水面积, 查水文手册中的《广东省分区产流参数表》, 得产流参数平均后损率 $\bar{f}=5.5mm/h$; 该水库所在集水区域的地形大部分为高丘陵, 小部分为低山和山丘, 根据 $\theta = L/J^3$, 计算出 $\theta=24.27 < 100, J=4\% > 10\%$, 根据水文手册中的《汇流参数分类指标表》判断出汇流参数 m 可按照山区类选值, 因此查《推理公式法汇流参数 $m-\theta$ 关系图》可得 $m=1.14$ 。

2. 设计洪峰流量的推求

广东省通过将 $1h \leq t \leq 24h$ 内的最大各历时暴雨与相应历时 t 关系点绘在对数格纸上, 发现直线在 6h 处多了一个折点。根据上述求得的设计面雨量及流域集水面积, 初步估计汇流历时 τ 在 1~6h 时段范围内。

$$n_{p(1-6)} = 1 - \frac{\lg(H_{6p\bar{m}} / H_{1p\bar{m}})}{\lg 6} = \frac{\lg(471.20 / 171.47)}{\lg 6} = 0.436$$

$$S_p = H_{1p\bar{m}} = 171.47mm$$

根据上述数据, 计算可得:

$$tc = [(1-n) \frac{SP}{f}] \frac{1}{n} = \left[(1-0.436) \frac{171.47}{5.5} \right]^{0.436} = 717.37h$$

因 $tc > \tau$, 所以该水库工程设计洪水属于全面汇流类型。

(1) 试算法

①假设 $Q_m=500m^3/s$, 计算汇流历时:

$$\tau = 0.278 \frac{L}{mJ^{\frac{1}{3}} Q_m^{\frac{1}{4}}} = 1.25h$$

②将 $\tau=1.25h$ 带入公式计算洪峰径流系数:

$$\psi = 1 - \frac{\bar{f}}{S} \tau^{0.436} = 0.965$$

③将所有参数带入公式，计算 Q_m ：

$$Q_m = 0.278 \frac{\psi S}{\tau^n} F = 906.93 \text{ m}^3/\text{s}$$

④计算出的 Q_m 与假设的 Q_m 不符，应重新假设 Q_m ，重复上述步骤，直至两者一致。具体试算过程见表 2。

表 2 试算法推求设计洪峰流量计算表

假设 Q_m	$\tau = 0.278 \frac{L}{m J^{\frac{1}{3}} Q_m^{\frac{1}{4}}}$	$\psi = 1 - \frac{\bar{f}}{S} \tau^n$	$Q_m = 0.278 \frac{\psi S}{\tau^n} F$
500	1.25	0.965	906.93
906.93	1.08	0.967	968.47
968.47	1.06	0.967	975.50
975.50	1.06	0.967	976.28
976.28	1.06	0.967	976.37
976.37	1.06	0.967	976.38
976.38	1.06	0.967	976.38
L=	8.3	J=	0.04
m=	1.14	f=	5.5
S=	171.47	n=	0.426
F=	21.7		

由上表可知：设计洪峰流量 $Q_m=976.38 \text{ m}^3/\text{s}$ ，汇流历时 $\tau=1.06\text{h}$ 。

(2) 图解交点法

① Q_m-t 关系曲线

1) 假设 4 个时段 $t=0.5\text{h}$ 、 1.0h 、 1.5h 、 2.0h ，按公式 $H_{p\text{面}} = S_p t^{1-n}$ 计算 t 时段设计面雨量。

2) 用设计面雨量减去相应历时的损失量 $\bar{f}t$ ，得时段净雨量 $h_{p\text{面}} = H_{p\text{面}} - \bar{f}t$ ，并计算净雨强度 $h_{p\text{面}}/t$ 。

3) 计算与 t 对应的设计洪峰流量 $Q_m = 0.278 \frac{h_{p\text{面}}}{t} F$ ，具体见表 3。

表 3 Q_m-t 关系计算表

t/h	$H_{p\text{面}}$	\bar{f}	$\bar{f}t$	$h_{p\text{面}}$	$H_{p\text{面}}/t$	Q_m
0.5	115.99	5.50	2.75	113.24	226.47	1366.22
1	171.47	5.50	5.50	165.97	165.97	1001.23
1.5	215.53	5.50	8.25	207.28	138.19	833.62
2	253.49	5.50	11.00	242.49	121.25	731.44

② $Q_m-\tau$ 关系曲线

根据已选定参数 m 、 J 、 L ，假设 4 个洪峰流量 $Q_m=1200 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $800 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $600 \text{ m}^3/\text{s}$ ，应用公式计算对应的汇流历时 τ ，列于表 4 中。

表 4 $Q_m-\tau$ 关系计算表

$Q_m/(\text{m}^3/\text{s})$	1200	1000	800	600
τ/h	1.01	1.05	1.11	1.20

③根据表 3 及 4 分别作曲线 Q_m-t 、 $Q_m-\tau$ ，点绘在同一张图

上如图 1，交点读数 $Q_m=1000 \text{ m}^3/\text{s}$ ， $\tau=1.05\text{h}$ 即为所求。

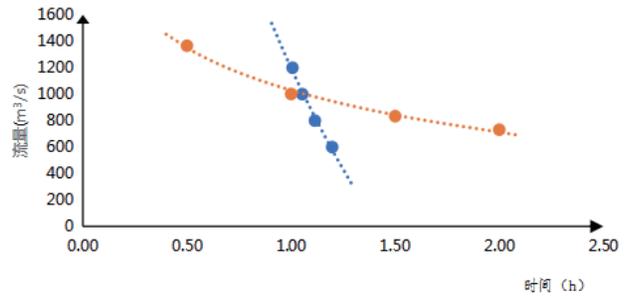


图 1 Q_m-t 、 $Q_m-\tau$ 曲线图 (单位: m^3/s)

(三) 结论

通过比较以上两种不同算法得出的结果，可以看出：设计洪峰流量 Q_m 的误差为 2.4%，汇流历时 τ 的误差为 1%。误差属于可控范围内，结果可以采用；试算法简单直接，图解交点法更直观。

五、结论

我国是个有着十四亿人口的大国，粮食问题一直处在重中之重的位置。每一年的用水总量中，农业用水一直占据很大比例。一方面用作灌溉的水资源是有限的，另一方面粮食生产量也要不断提高，如何同时解决这两个问题一直是个难点。为了解决水资源有限的问题，我们可以修建灌溉渠系，改变灌溉方式，避免原来的漫灌导致的大量水资源浪费的缺点，可以提高灌溉水利用系数；而提高粮食产量的解决途径就是在适宜种植的地方多种植几季，这个就需要解决水源的问题，修建水利水电工程是一个良好的解决方式。农业水利水电工程是我国重要的基础设施，但由于受地形、区域等影响因素，大多数农业水利水电工程属于小型工程，位于小河流上，一般处于无资料的小流域地区，其设计洪水的推求一直是个难点。

无资料的小流域地区推求设计洪水的问题一直存在，它无法用现在应用广泛的频率计算法，所以必须寻找一个可行的办法解决小流域推求设计洪水的难题，以免设计洪水的计算成果与实际差距过大，造成严重的后果。一方面，设计洪水结果太小，根据这个成果建成的水利水电工程规模过小，无法抵御实际出现的洪水，有溃坝的危险；另一方面，设计设计洪水结果太大，水利水电工程规模超过实际使用范围，造成投资的浪费。

本文以广东省粤西沿海某地区的新建中型水库为例，运用暴雨资料推求设计洪水的原理，并结合广东省水文手册，详细讲解了推理公式法推求小流域设计洪峰的步骤，推求的设计洪峰流量经分析后认为该成果基本上合理可用，为小流域无资料地区推求设计洪水提供了一个可行的思路。

参考文献：

[1] 徐德龙, 肖华. 小流域设计洪水推理公式计算方法探讨 [J]. 人民长江, 2020.
 [2] 华家鹏. 小流域设计洪水的计算方法 [J]. 河海大学学报, 1998.
 [3] 王克平, 许清香, 冯明权. 无资料地区小流域设计洪水计算方法研究 [J]. 电网与清洁能源, 2008.