

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20190380

变雨强瞬时单位线法在水库洪水预报中的应用研究

张学功, 谢敏辉, 罗贤章, 丁红波

(宁波市白溪水库管理站, 浙江 宁海 315606)

摘要:为将纳希瞬时单位线法充分应用在有实测雨洪资料的地区,在分析纳希瞬时单位线法参数 n 和 K 作用的基础上,设计了变雨强瞬时单位线模型,归纳总结应用实测资料计算模型参数的方法。据 29 场次洪水模拟计算和 4 场次预报作业分析,在编制白溪水库洪水预报方案中应用该模型,可提高计算成果精度,满足水库洪水预报作业实践需要。

关键词:变雨强瞬时单位线;入库洪水预报;应用研究

中图分类号:TV124

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2020)06-0040-06

常用的单位线法有很多种,通常用的是谢尔曼在 1932 年提出的单位线法。在此基础上,1945 年克拉克首次提出了瞬时单位线的概念。1957~1960 年,纳希(J. E. Nash)发展了克拉克瞬时单位线的概念,设计了纳希梯级水库模型^[1]。

1980 年国内开始进行纳希瞬时单位线应用研究,为无资料地区中小型水利水电工程的规划设计(工程水文)分析提供了新途径。浙江省也引入该理论方法,在研究全省 34 个水文站的 523 场实测暴雨洪水资料后,于 1982 年研制出浙江省瞬时单位线法并由全国雨洪办组织专家审查验收^[2],该方法属地区综合成果。范世香^[3]等在分析传统计算方法后,提出在应用瞬时单位线法时可直接用基本单位线进行地面净雨的汇流计算。张文华^[4]等以谢尔曼经验单位线为基础,推导了受暴雨重心位置和降雨强度影响的 S 曲线法,给出 S 曲线方程,建立了 S 曲线参数与暴雨重心位置和降雨强度的关系。傅联森^[5]等对纳希瞬时单位线法的参数和 nonlinear 外延控制两个问题进行了深入研究。李琼^[6]等采用多元回归分析的方法,建立了瞬时单位线参数 n , K 与场次平均降雨强度和降雨相对中心(表现了降雨的空间分布特征)的多元回归方程,用以描述降雨的时空分布与汇流特征的关系。前述文献中的研究已为纳希瞬时单位线法的工程应用进行了深入探索。考虑到

雨峰和洪峰间存在的密切相关关系及洪水过程线上的起涨段和退水段与峰值段在形状上的差异性,为了在有实测雨洪资料的流域更便捷地应用纳希瞬时单位线法,本文在分析瞬时单位线法中参数 n 和 K 作用的基础上,设计了变雨强瞬时单位线模型,归纳研究出模型参数计算方法,并分析了在白溪水库洪水预报中的应用效果。

1 瞬时单位线法

瞬时单位线是指流域上分布均匀、历时趋于无穷小、强度趋于无穷大、总量为一个单位的地面净雨在流域出口断面形成的地面径流过程^[7]。经过系列数学公式推导后,瞬时单位线方程可表示为:

$$u(0,t) = \frac{1}{K\Gamma(n)} \left(\frac{t}{K}\right)^{n-1} e^{-\frac{t}{K}} \quad (1)$$

式中: $u(0,t)$ 为单位线的纵坐标; t 为时间; Γ 为伽马函数; n 和 K 为瞬时单位线的两个模型参数。

式(1)只含有两个模型参数 n 和 K ,其函数关系式与净雨历时无关。 n 反映流域的调蓄能力, K 为线性水库的蓄泄系数,具有时间因次。应用瞬时单位线法进行坡面汇流计算时,需提前分析归纳出参数 n 和 K 的值。这两个参数值通常需经过对大量基础资料的分析归纳后优选确定。

收稿日期:2019-10-28

作者简介:张学功(1976-),男,宁夏青铜峡人,高级工程师,主要从事水库水电站水文测(预)报和调度管理工作。E-mail: ownerzhang@126.com

n 和 K 都是反映单位线形状特征的参数,对单位线的体态形状均有影响。从影响的敏感性分析: n 主要影响单位线的偏态程度, n 越大,单位线越对称,反之单位线越偏态;参数 K 主要影响单位线的体型(胖瘦), K 越小,单位线越尖瘦,反之单位线越矮胖。

2 变雨强瞬时单位线法

2.1 基本思路

同一流域上,从不同场次的暴雨洪水过程分析得到单位线,彼此间往往存在偏态、峰型(胖瘦)等方面的差异性,究其原因,主要是不同场次暴雨的雨强不同。因此,在洪水预报方案编制中,只采用一条瞬时单位线是不够的,不能综合反映流域内实际暴雨洪水的汇流情况。根据文献[2]和[5]的研究,对于某一个流域,令 n 不变(采用某个合适的固定值),对该流域的径流过程计算成果的影响不大。也就是说,对于某一个流域,经综合分析后,可以选定一个固定的 n 值作为该流域的通用参数值。参数 n 参考文献[5]中的成果酌情取值或试算确定。

基于以上分析,本文研究的变雨强瞬时单位线,即固定 n 值,用历史暴雨洪水资料筛选综合出流域内蓄泄系数 K 与净雨强 i 的关系,进而得到一组瞬时单位线。

经资料分析发现,当净雨强 i 趋于很小或很大时,蓄泄系数 K 逐渐趋于稳定,不会无限小或无限大。因此,本文将蓄泄系数 K 按净雨强 i 的变化进行分段表述为:

$$K=K(i,m) \quad (2)$$

式中: i 为净雨强 (mm/h); m 为某一净雨强变化区间 (i_m, i_{m+1}) 对应的 K 值或函数编号。

2.2 参数 K 的归纳综合

实际应用中,参数 $K=K(i,m)$ 的具体形式需根据历史暴雨洪水资料经大量试算筛选后得到。一条洪水过程线大体可分为峰值段、腰(中间)值段、平缓值段。峰值段为洪峰前后的这一段,该段流量值大、前后时段的流量变化幅度也大;平缓值段包括洪水过程线上起涨段的初始阶段和退水阶段,表现为流量值小、前后时段的流量变化幅度也小,即该段流量变化较为平缓;腰(中间)值段介于峰值段和平缓值段中间,该段流量值和前后时段的流量变化幅度也是介于峰值段和平缓值段中间的。根据瞬时单位线理论的叠加假设,大体可以认为:对应峰值段的单位线形状应是偏尖瘦的, K 值较小;对应平缓值段的单位线形状应是偏扁平型的, K 值

较大;腰(中间)值段对应的单位线形状介于前两者之间, K 值大小处于中间水平。

根据上述分析和式(2),参数 K 的归纳可以按以下方法进行:

(1)整理分析流域内历史暴雨洪水资料,选用适当的降雨产流计算模型得到每一场暴雨洪水的净雨过程。本文采用蓄满产流模型进行产流计算,计 PE 为降水量 P 和蒸发量 E 之差。逐时段应用式(3)~(5)即得到降雨的净雨过程。净雨量的详细计算方法可参阅文献[7]等水文学相关资料。

$$A=W_{mm} \left[1 - \left(1 - \frac{W_0}{WM} \right)^{\frac{1}{B+1}} \right] \quad (3)$$

产流时,当 $PE+A < W_{mm}$ 有:

$$R=PE-WM+W_0+WM \left[1 - \frac{PE+A}{W_{mm}} \right]^{B+1} \quad (4)$$

当 $PE+A \geq W_{mm}$ 有:

$$R=PE-(WM-W_0) \quad (5)$$

式中: W_{mm} 为流域内最大的点蓄水量; WM 为流域平均蓄水容量; W_0 为流域初始平均蓄水量; B 为流域蓄水容量曲线的指数; R 为净雨量(产流量)。

(2)给定第 j 场暴雨洪水的净雨过程的初始净雨强上、下限值 $i_{j,u}$ 、 $i_{j,l}$ (j 为次暴雨洪水的序号),将该次净雨过程分为峰值段、腰(中间)值段、平缓值段三个部分(段),每一部分(段)给定一个初始 K 值(对应一条瞬时单位线),然后进行全过程的汇流计算,将计算成果与实测成果进行对比分析。例如,以净雨强 $i \geq 6.0\text{mm/h}$ 、 $i < 2.0\text{mm/h}$ 和 $2.0\text{mm/h} \leq i < 6.0\text{mm/h}$ 将净雨过程分为三部分(段),给定初始 K 值分别为 1.5、5.5 和 2.5,这里的 6.0mm/h 和 2.0mm/h 分别是净雨过程分部(段)的上、下限值 $i_{j,u}$ 、 $i_{j,l}$ 。

(3)反复进行第 2 步的操作,直到计算成果与实测成果对比达满意为止(可设计计算程序将计算径流深和实测径流深的对比作为主要考量指标进行自动寻优计算分析,同时以考虑第(2)步中所划分的三个部分的计算成果线与实测成果线的对比/模拟情况辅以人工干预)。此时,第 j 场净雨过程的净雨峰 $i_{j,max}$ 与峰值段 $K_{j,f}$ 、腰值(中间)段净雨平均值 $i_{j,y}$ 与其对应 $K_{j,y}$ 、平缓值段净雨平均值 $i_{j,p}$ 与其对应 $K_{j,p}$ 形成第 j 场净雨过程的三个 K 值点 ($i_{j,max}, K_{j,f}$)、($i_{j,y}, K_{j,y}$)、($i_{j,p}, K_{j,p}$),相应的有第 j 场暴雨洪水过程的净雨强 i 的取

值范围(由上、下限值 $i_{j,u}$ 、 $i_{j,d}$ 分划)。

(4)逐场次进行第 2-3 步的分析。统计逐场次分析成果,就可得到划分净雨过程的净雨强 i 的上、下限值点组和三个 K 值点组:峰值点组、腰值点组、平缓值点组。

(5)对净雨强 i 的上、下限值点组和各 K 值点组分别进行归纳综合,就可得到相应的计算值或计算方法,即蓄泄系数 K 的综合成果。通常,可考虑将净雨强 i 的上、下限值用其相应的组平均值代替。

虽然上述计算中是将洪水过程线分段概化处理(参考净雨强上、下限指标分段),但流域实测资料里往往包括了大、中、小不同强度的暴雨洪水过程,利用这样的实测资料按洪水过程线分段思路计算、归纳得到的参数 K 的成果实际上也是一个随雨强 i 连续变化的过程。因此,将洪水过程线进行这样的概化处理并分段分析其相应的瞬时单位线是可行和实用的。

2.3 临界净雨强 $i_{\text{临}}$

随着净雨强 i 的增大,蓄泄系数 K 呈减小趋势,当净雨强 i 增大到一定程度时, K 值的变化很小。这是符合实际的坡地汇流情况的。当净雨强大到一定程度后,坡地的积水深增加,流速变化趋于稳定,河槽随着沿程填洼等的完成和水深的加大,其调蓄性能也相应渐趋稳定,此时的单位线变化不大,相应的净雨强称为临界净雨强 $i_{\text{临}}$ 。在应用蓄泄系数 K 的综合成果时,需要确定一个临界净雨强 $i_{\text{临}}$,以控制成果的非线性外延。当净雨强 i 大于 $i_{\text{临}}$ 时,需将蓄泄系数 K 和净雨强 i 的关系进一步考虑为线性的,也可根据实际情况简单处理为一个固定值。

3 应用分析

白溪水库坝址位于浙江省宁海县境内的白溪中游大官山峡谷地段,上游属山区环境,植被覆盖情况好。水库坝址控制流域面积 254km^2 (包括上游黄龙水库汇

流面积 29.2km^2),流域年平均降水量 1829.6mm ,年平均入库流量 $8.08\text{m}^3/\text{s}$ 。白溪水库是以供水、防洪为主,兼顾发电、灌溉等综合效益的大(II)型山区水库。水库流域内有一个由 8 个雨量站和 1 个坝前水位站组成的雨水情自动监测网,网内通讯有 GPRS 和超短波两种方式。

白溪水库 2001 年建库以来累积的规模以上洪水计有 33 场次,这些实测暴雨洪水数据时间上涵盖了梅、台汛不同时段(成因),规模上涵盖了从 35mm 到 504.5mm 的小、中、大三个等级,代表性较好。据实测资料统计,白溪水库流域洪峰和雨峰间隔时间在 1~6h。本文将变雨强瞬时单位线法应用于降雨径流计算的汇流阶段,用前 29 场洪水率定模型,建立洪水预报方案,用后 4 场洪水进行预报作业应用效果评定。

3.1 建立变雨强瞬时单位线

(1)根据资料情况,按照本文 2.2 中的方法,对 29 场次暴雨洪水过程进行分析计算,综合后得到白溪水库流域划分净雨过程的净雨强 i 上、下限值 $i_{\text{上}}$ 、 $i_{\text{下}}$ 分别为 $10.0\text{mm}/\text{h}$ 和 $4.0\text{mm}/\text{h}$,瞬时单位线的参数 n 值为 1.0。

(2)用场次净雨过程的净雨峰 $i_{j,\text{max}}$ 和峰值段的 $K_{j,f}$ 值组成的点($i_{j,\text{max}}$, $K_{j,f}$)点绘 $K_f \sim i_{\text{max}}$ 关系图(见图 1(a))。当净雨峰 i_{max} 在 $30.0\text{mm}/\text{h}$ 以上时,曲线渐趋“平直”,呈现一定的线性特征。由于实测资料不多,净雨峰 i_{max} 在 $30.0\text{mm}/\text{h}$ 及以上时的点数有限,为考虑曲线一定的非线性外延,同时又不会因非线性外延太多而引起失真,本文取临界净雨强 $i_{\text{临}}=40.0\text{mm}/\text{h}$ 。据上述分析,依图 1(a)建立净雨峰 i_{max} 和峰值段的 K_f 的相关关系如下式:

当 $10.0\text{mm}/\text{h} \leq i_{\text{max}} \leq 40.0\text{mm}/\text{h}$ 时:

$$K_f = 19.91 \times i_{\text{max}}^{-0.72} \quad (6)$$

应用时,可用时段净雨强 i 代替式(6)中的 i_{max} ,得

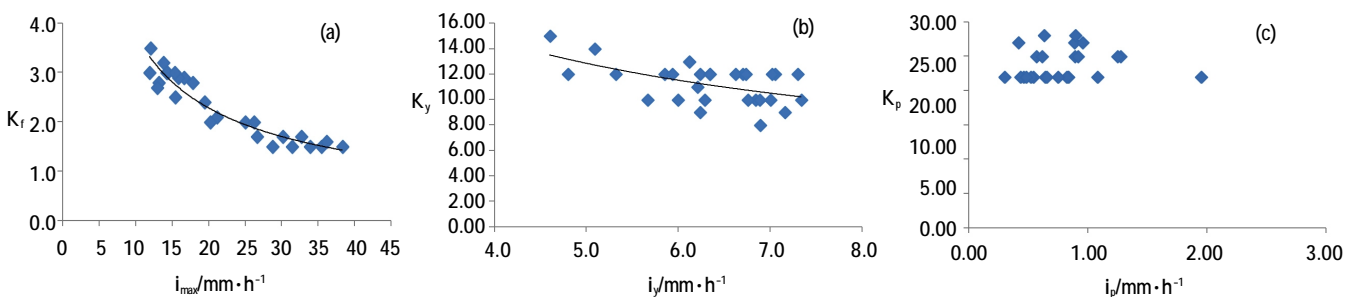


图 1 $K_f \sim i_{\text{max}}$ 、 $K_y \sim i_j$ 、 $K_p \sim i_p$ 关系
Fig.1 The relationship between K_f and i_{max} , K_y and i_j , K_p and i_p

到时段 K 值 (即瞬时单位线); 当时段净雨强 $i > 40.0\text{mm/h}$ 时, K 取 40.0mm/h 的对应值。

(3)用场次净雨过程的腰值(中间)段净雨平均值 $i_{j,y}$ 与其对应 $K_{j,y}$ 值组成的点 $(i_{j,y}, K_{j,y})$ 点绘腰值(中间)段 K_y-i_y 关系图(见图 1(b));用平缓值段净雨平均值 $i_{j,p}$ 与其对应 $K_{j,p}$ 值组成的点 $(i_{j,p}, K_{j,p})$ 点绘平缓值段 K_p-i_p 关系图(见图 1(c))。

图 1(b)中的实测点位关系不明显,但大体上可看出点位变化趋势较为平缓,呈一定的线性关系,本文采用线性方程拟合图 1(b)中腰值(中间)段 K_y-i_y 的点位关系:

$$K_y = -1.155 \times i_y + 18.62 \quad (7)$$

图 1(c)中点位趋势平直,可取平均值,即:

$$K_p = 23.8 \quad (8)$$

式(6)~(8)即组成白溪水库变雨强瞬时单位线。

3.2 应用效果分析

本文从洪量和洪峰的相对误差、峰现时间误差和确定性系数三个指标来对变雨强瞬时单位线法进行应用效果评定^④。峰现时间误差以实测洪峰发生时间和预报洪峰发生时间的差来统计,时段单位取 1h。方案效果评定见表 1。

由表 1 知,29 场暴雨洪水模拟计算中:径流深计

表1 应用变雨强瞬时单位线法的洪水预报方案效果评定

Table1 The effects evaluation of flood forecasting plan applied variable rainfall intensity instantaneous unit hydrograph

序号	洪号	Ro	Rc	DR/%	合格否	Qmo	Qmc	DR/%	合格否	峰现时间误差/h	确定性系数
1	010625	216.7	212.5	-1.92	合格	893.34	1159.11	29.75	不合格	0	0.689
2	010830	52.9	51.6	-2.43	合格	508.88	576.69	13.32	合格	-1	0.883
3	010929	86.4	90.3	4.45	合格	213.05	207.75	-2.49	合格	1	0.855
4	020801	84.6	80.8	-4.40	合格	490.42	452.36	-7.76	合格	0	0.972
5	020907	98.8	95.6	-3.26	合格	567.46	474.63	-16.36	合格	1	0.931
6	030820	39.8	40.1	0.67	合格	166.12	186.98	12.56	合格	0	0.853
7	040812	158.9	158.8	-0.04	合格	985.79	1056.37	7.16	合格	-1	0.974
8	050720	188.8	189.4	0.32	合格	575.56	772.42	34.20	不合格	1	0.912
9	050806	286.6	283.3	-1.16	合格	866.49	795.04	-8.25	合格	-1	0.963
10	050911	291.0	302.1	3.81	合格	2135.89	2102.55	-1.56	合格	0	0.977
11	060714	142.1	132.2	-6.95	合格	663.19	460.63	-30.54	不合格	2	0.893
12	070819	142.0	144.1	1.46	合格	350.00	521.21	48.92	不合格	0	0.819
13	070919	231.0	225.5	-2.37	合格	1333.03	1152.82	-13.5	合格	-1	0.929
14	071007	226.1	230.7	2.03	合格	1124.37	906.79	-19.35	合格	0	0.965
15	080729	154.0	165.6	7.53	合格	795.45	685.93	-13.77	合格	1	0.953
16	090809	260.5	262.4	0.74	合格	1260.00	1282.36	1.77	合格	-1	0.950
17	111118	72.5	72.0	-0.67	合格	455.00	398.59	-12.40	合格	0	0.945
18	120808	330.5	321.7	-2.67	合格	1180.57	1050.64	-11.01	合格	-1	0.967
19	130822	149.3	156.6	4.87	合格	1024.36	983.47	-3.99	合格	0	0.972
20	131007	351.3	353.8	0.71	合格	1465.23	1398.46	-4.56	合格	0	0.956
21	140922	111.3	102.7	-7.80	合格	292.17	313.14	7.18	合格	3	0.843
22	150711	178.6	161.2	-9.76	合格	605.61	456.84	-24.56	不合格	0	0.935
23	150810	270.2	271.6	0.50	合格	1474.73	1404.73	-4.75	合格	0	0.960
24	150930	141.2	144.5	2.36	合格	518.32	601.03	15.96	合格	0	0.961
25	160629	78.2	70.3	-10.16	合格	469.83	494.35	5.22	合格	0	0.930
26	160915	199.6	206.8	3.62	合格	994.39	1057.47	6.34	合格	-1	0.972
27	170613	119.5	119.3	-0.18	合格	337.50	343.66	1.83	合格	2	0.934
28	180917	60.2	57.2	-4.90	合格	386.67	369.75	-4.38	合格	0	0.915
29	190430	34.3	25.3	-26.36	不合格	90.00	80.08	-11.02	合格	1	0.708

注:Ro 为实测径流深;Rc 为计算径流深;Qmo 为实测洪峰;Qmc 为计算洪峰,Dr、DQ 分别为径流深和洪峰流量的相对误差;峰现时间误差为正值的,表示预报的峰现时间较实测时间早,峰现时间误差为负值的,表示预报的峰现时间较实测时间迟。

算只有 1 场不合格,合格率为 96.6%;洪峰流量计算的相对误差在±20%以内的有 24 场次,合格率为 82.8%,有 5 场次不合格;峰现时间误差多数在±1h 内,表明峰现时间预报误差可接受;确定性系数的均值为 0.914。据水库实测雨洪资料和本模型计算成果统计知,本模型应用的预见期在 1~6h,其中洪峰附近的预见期在 3h 以内。

应用前面建立的白溪水库洪水预报方案,对 2019 年的 4 次暴雨洪水进行预报作业(洪峰预报作业时间选强降雨结束时间,此时实测洪峰还未出现;径流深预报时间选降雨过程结束时间,此时退水过程还未结束),预报效果详见表 2。由表 2 知,在 4 场暴雨洪水预报作业中:径流深计算的相对误差都在±20%以内,但其中有 1 场次的绝对误差超过了 20mm;洪峰流量计算的相对误差有 3 场次在±20%以内,有 1 场次略微超限;峰现时间误差在±3h 内。在统计这 4 场预报作业成果情况中,均没有考虑面临时段的降水预报成果的作用。

从表 2 可知,“190810”洪水的径流深预报绝对误差超过了 20mm。“190810”暴雨洪水为 8 月上旬后期由台风“利奇马”影响形成,此时流域正值酷暑伏旱季,日间蒸发量极大;上游的跨流域调水工程黄龙水库过程可拦蓄约 350×10⁴m³(折合净雨量约 14mm);据白溪水库流域的降水观测记录,暴雨发生前流域出现连续 3d 无有效降雨(实测 3d 合计雨量仅 0.8mm)情况;本次降雨过程持续 3d,累积雨量达 504.5mm。据历史经验和降水产流相关分析,本次过程降雨量为 504.5mm,全部损失量应在 30mm 左右,但水库管理单位采用水

量平衡方法反推入库流量后所统计得到的水库上游径流深有 500.7mm,折算过程损失量仅为 3.8mm,这是不符合实际情况的。究其原因,主要是因为用水力学方法计算得到的溢洪道等设施的出流量明显偏大,进而造成反推的入库流量偏大。

从表 3 可知,变雨强瞬时单位线法的计算成果整体上优于浙江省瞬时单位线法的成果。图 2 为白溪水库“190810”暴雨洪水实测过程线和分别用变雨强瞬时单位线、浙江省瞬时单位线计算的过程线成果的比较。

4 结论

本文在分析纳希瞬时单位线法的参数 n 和 K 的作用和变化特征的基础上,构建了变雨强瞬时单位线模型;依据洪水过程线表现出来的平缓—上升—峰

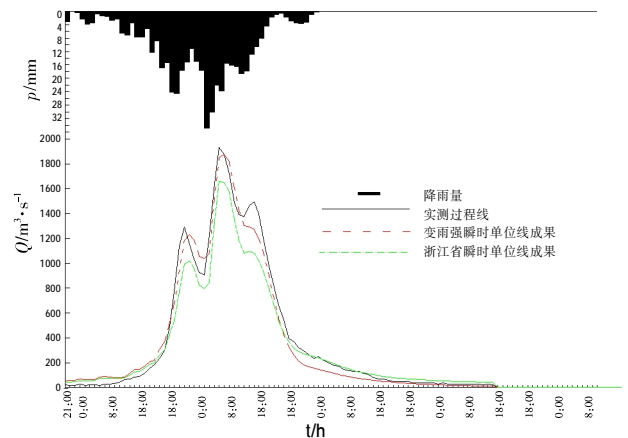


图 2 不同汇流方法计算成果比较
Fig.2 The calculation comparison between different conflux methods

表2 洪水预报作业评定
Table2 The evaluation of flood forecasting operation

序号	洪号	R ₀	R _c	DR/%	合格否	Q _{mo}	Q _{mc}	DR/%	合格否	峰现时间误差/h	确定性系数
1	190703	106.2	98.6	-7.09	合格	203.23	165.97	-18.33	不合格	2	0.860
2	190810	500.7	472.7	-5.58	不合格	1930.09	1849.21	-4.19	合格	0	0.981
3	190902	44.4	37.8	-14.92	合格	216.94	243.49	12.24	合格	0	0.865
4	191001	40.7	45.2	10.93	合格	171.39	133.88	-21.88	合格	3	0.775

表3 不同方法的效果对比
Table3 The effects comparison between different methods

序号	方法	R ₀	R _c	DR/%	Q _{mo}	Q _{mc}	DR/%	峰现时间误差/h	确定性系数
1	变雨强瞬时单位线	500.7	472.7	-5.59	1930.09	1849.21	-4.19	0	0.981
2	浙江省瞬时单位线	500.7	443.5	-11.42	1930.09	1660.40	-13.97	0	0.962

值—下降—平缓的形状变化规律,将洪水过程线概化为峰值段、腰(中间)值段、平缓值段三个变化阶段,应用降水产汇流模型,逐场次分析实测暴雨洪水的净雨过程和洪水过程线上三个变化阶段对应的瞬时单位线;将各场次暴雨洪水所采用的单位线分阶段进行归纳总结,得到了应用实测雨洪资料计算变雨强瞬时单位线模型参数的方法。

在降雨径流计算的汇流阶段应用变雨强瞬时单位线法,对白溪水库 29 场次实测暴雨洪水进行模拟计算分析归纳,建立白溪水库洪水预报方案。根据模拟计算成果统计分析,方案精度达到了“甲”等^④标准。从峰现时间的计算成果误差分析,在白溪水库流域初始确定的 $n=1.0$ 是合适的。

本模型的结构简洁明了,但参数 K 的计算方法比文献[2]中的浙江省地区综合瞬时单位线成果略复杂。考虑到现在计算机数据分析工具已经非常便捷强大,因此本模型参数计算方法的复杂性对有丰富实测雨洪资料的地区应用本模型的影响是可控的。同时,今后还需继续深入研究,努力优化参数率定计算的方法,以提高模型适用性。

参考文献:

- [1] 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.(WANG Guoan, HE Shunde, LI Chaoqun, et al. Study on the basic principles and applied conditions of Guangdong Province integrated unit hydrograph [J]. Yellow River, 2011, 33(3): 15-18. (in Chinese))
- [2] 钮泽宸,张佩琳,傅联森.浙江省瞬时单位线法[J].浙江水利科技. 1990, 1: 1-12. (NIU Zechen, ZHANG Peilin, FU Liansen. Zhejiang Province instantaneous unit hydrograph [J]. Zhejiang Hydraulics, 1990, 1: 1-12. (in Chinese))
- [3] 范世香,刁艳芳,高雁.瞬时单位线法进行流域汇流计算的改进[J].人民珠江,2014,35 (1):32-34.(FAN Shixiang, DIAO Yanfang, GAO Yan. Improvement of instantaneous unit hydrograph for watershed concentration calculation [J]. Pearl River, 2014, 35 (1): 32-34. (in Chinese))
- [4] 张文华,夏军,张翔,等.考虑降雨时空变化的单位线研究[J].水文, 2007, 27(5): 1-6. (ZHANG Wenhua, XIA Jun, ZHANG Xiang, et al. Study on unit hydrograph considering spatial-temporal variation of rainfall [J]. Journal of China Hydrology, 2007, 27(5): 1-6. (in Chinese))
- [5] 傅联森,陈润,周焕.瞬时单位线法在浙江省应用的几个问题研究[J].水文, 2012, 32 (3): 43-46. (FU Liansen, CHEN Run, ZHOU Huan. Several questions about instantaneous unit hydrograph's application in Zhejiang Province [J]. Journal of China Hydrology, 2012, 32(3): 43-46. (in Chinese))
- [6] 李琼,陈红兵,彭薇,等.基于降雨强度及降雨中心的瞬时单位线参数综合优化 [J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2019, 41 (4): 6-9. (LI Qiong, CHEN Hongbing, PENG Wei, et al. Comprehensive optimization of instantaneous unit hydrograph parameters based on rainfall intensity and rainfall center [J]. Journal of China Three Gorges University (Natural Science), 2019, 41(4): 6-9. (in Chinese))
- [7] 詹道江,叶守泽.工程水文学[M].北京:中国水利水电出版社,2000. (ZHAN Daojiang, YE Shouze. Engineering Hydrology [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2000. (in Chinese))
- [8] GB/T22482-2008,水文情报预报规范[S]. (GB/T22482-2008, Standard for Hydrological Information and Hydrological Forecasting [S]. (in Chinese))

Application of Variable Rainfall Intensity Instantaneous Unit Hydrograph Method on Reservoir Flood Forecast

ZHANG Xuegong, XIE Minhui, LUO Xianzhang, DING Hongbo

(Baixi Reservoir Administration Station of Ningbo City, Ninghai 315606, China)

Abstract: In order to make full use of Nash instantaneous unit hydrograph method in areas with observed rainfall and flood data, this paper designed the variable rainfall intensity instantaneous unit hydrograph model and its parameter calculation method based on analyzing the effects of parameter n and K in Nash instantaneous unit hydrograph method. According to 29 flood simulation and 4 flood forecasting operation analysis, the application of the model in the flood forecasting plan of Baixi Reservoir can improve the accuracy of the calculation results and meet the practical needs of the reservoir flood forecasting operation.

Key words: variable rainfall intensity instantaneous unit hydrograph; reservoir flood forecast; application research