

新安江模型与垂向混合产流模型的比较

瞿思敏¹,包为民¹,张 明²,嵇海祥¹,胡其美¹

(1.河海大学水资源环境学院,江苏 南京 210098;2.东阳市南江水库管理局,浙江 东阳 322117)

摘要 从实时洪水预报模型通用性角度出发,对新安江模型与垂向混合产流模型进行比较研究.选用青峰岭水库流域、危水水库流域资料分别采用这两个模型进行模拟计算.计算结果表明,在湿润地区,新安江模型和垂向混合产流模型都能取得好的成果.在半干旱地区,新安江模型应用效果不太理想,垂向混合产流模型能取得比较令人满意的结果.

关键词 新安江模型 垂向混合产流模型 水库流域

中图分类号 P33 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2003)04-0374-04

流域水文模型在 20 世纪六七十年代发展很快,应用很广,取得了好效果.20 世纪 70 年代世界气象组织做过模型对比,标准是精度,结论是在湿润地区各种水文模型的精度都不错.但是,从我国的气候水文特征看,许多流域位于半干旱地区,真正属于干旱地区可采用超渗产流计算模型的流域只有西北的一些内陆河流域、黄河流域的一小部分地区,属湿润地区可采用蓄满产流计算模型的只有长江及其以南的一些地区.即使在典型的干旱和湿润地区,也常会有两种产流机制并存的流域.因此,研制适用于半干旱地区、半干旱半湿润地区的混合产流模型势在必行.

萨克拉门托(Sacramento)流域水文模型是美国天气局水文办公室萨克拉门托预报中心 Ferral 和 McGuire 于 20 世纪 70 年代初期,在第Ⅳ号斯坦福模型基础上改进和发展的.该模型能应用于大、中流域,又能适应湿润地区和干旱地区,但因为其参数较多,难于调试,在中国应用并不是很广泛.

李致家等^[1]曾在新安江模型的结构中引入超渗产流模型,对新安江模型进行改进,使得该模型的产流理论更加完善,可以用于湿润地区、半干旱半湿润地区及干旱地区.改进后的模型应用在半干旱半湿润地区的沂沭泗流域,效果较好.

包为民等^[2]针对一个流域蓄满产流和超渗产流并存的情况,提出了垂向混合产流模型,利用陡河水库流域资料进行了参数的率定和模型检验.结果表明,混合模型参数较少,易于率定,计算精度较高.

本文旨在推广垂向混合产流模型的应用,并将其与新安江模型进行比较,试图探求一种比较通用的模型.

1 垂向混合产流模型

混合产流至今还没有形成一套独立的产流理论,其研究通常是以蓄满产流和超渗产流两种典型理论为基础的.因此,加强混合产流的研究,并提出一套实用的混合产流计算方法,具有十分重要的意义.

面积比例法是混合产流计算的一种简单方法.该方法把流域面积划分为超渗产流面积和蓄满产流面积两部分,分别在超渗产流面积上用超渗产流公式计算产流,而在另一部分面积上用蓄满产流公式计算产流,然后相加即为流域产流.这种方法简单,概念直观,但实际应用效果不好.原因是超渗和蓄满的面积比例是随气候条件的改变而变化的,这种变化的比值确定很麻烦,用常数比例去模拟会影响其精度.

垂向混合产流计算,地面径流取决于雨强和前期土湿,则为超渗产流模式.地面以下的径流,包含壤中流和地下径流,取决于前期土湿和实际下渗水量,在下渗水量补足土壤缺水量的地方产流,否则不产流,则为蓄满产流模式.在垂向混合计算中,流域蓄满、超渗的面积比例是随前期土壤含水量和实际下渗量而随时改变

的,其比例改变式为

$$\alpha = 1 - \left(1 - \frac{F_A + a}{W_{mm}}\right)^B$$

(1)

式中: α ——蓄满产流的面积比例系数; F_A ——实际下渗量; W_{mm} ——流域最大蓄水量; B ——流域蓄水容量分布曲线指数; a ——相应于初始土壤平均含水量为 W 时的纵坐标值。

垂向混合结构法与面积比例法相比,既减少了结构和参数,又达到了产流面积比例随气候变化的目的,机制上也与实际更接近。

垂向混合产流模型结构分地面径流和地面以下径流产流计算两部分。地面径流 R_S 为超渗产流计算。笔者在这里采用具有流域分布特征的格林-安普特下渗曲线^[3]进行计算,计算公式为

$$F_M = F_C \left(1 + K_F \frac{W_M - W}{W_M}\right)$$

(2)

$$\begin{cases} F_A = F_M & P_E \geq F_M(B_F + 1) \\ F_A = F_M - F_M \left[1 - \frac{P_E}{F_M(B_F + 1)}\right]^{B_F + 1} & P_E < F_M(B_F + 1) \end{cases}$$

(3)

(4)

$$R_S = P_E - F_A$$

(5)

式中: F_M ——流域平均下渗能力; F_C ——稳定下渗率; W_M ——流域平均蓄水容量; W ——流域实际土壤含水量; K_F ——土壤含水量对下渗率影响的灵敏度系数; B_F ——反映下渗能力空间分布特征的参数; P_E ——扣除雨间蒸发的降雨量。

地面以下的径流 R_R 为习惯上所说的壤中流与地下径流之和,采用蓄满产流结构计算,其计算式为

$$a = W_M(B + 1) \left[1 - \left(1 - \frac{W}{W_M}\right)^{\frac{1}{B+1}}\right]$$

(6)

$$\begin{cases} R_R = F_A + W - W_M & F_A + a \geq W_M(B + 1) \\ R_R = F_A + W - W_M + W_M \left[1 - \frac{F_A + a}{W_M(B + 1)}\right]^{B+1} & F_A + a < W_M(B + 1) \end{cases}$$

(7)

(8)

根据上述,则产流总量为 $R = R_S + R_R$ 。

蒸发量与土壤含水量的补充机制,与新安江模型中描述的相同^[4]。这样,就构成了完整的垂向混合产流模型。

汇流部分的计算与新安江模型的计算相同。坡地阶段,采用线性水库汇流(参数分别为 C_S, C_I, C_G)。河网阶段,采用分段马斯京根法进行演算。这样就构成了完整的流域水文模型。

2 模型检验

为了检验垂向混合产流模型的适用性,并将其与新安江模型进行比较,分别采用青峰岭水库和危水水库流域的实测资料进行模拟计算。

青峰岭水库位于洮河干流中上游,流域面积 770 km²。该水库流域属暖温带季风区大陆性气候,多年平均降水量 699 mm,属半干旱地区。危水流域地跨鄂湘 2 省 5 县,区域宽广,水系发育,属亚热带过渡性季风气候区,水库控制面积为 1 142 km²(本文选乌溪沟以上流域进行计算,控制流域面积为 884.2 km²),多年平均降水量 1 271.3 mm,属湿润地区。

两个水库的次洪参数率定值见表 1,模拟结果统计分别见表 2、表 3。青峰岭水库 960725 号洪水模拟过程线见图 2(自 7 月 25 日 1 00 至 7 月 26 日 18 00)。

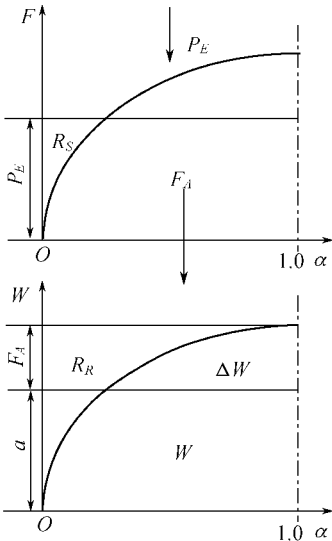


图 1 混合产流垂向组合示意图
Fig.1 Sketch of vertically-mixed runoff model

表 1 次洪参数率定值

Table 1 Calibrated parameters of flood events

参数	青峰岭水库		危水水库(乌溪沟以上流域)		参数	青峰岭水库		危水水库(乌溪沟以上流域)	
	新安江模 型	垂向混合产流模型	新安江模 型	垂向混合产流模型		新安江模 型	垂向混合产流模型	新安江模 型	垂向混合产流模型
k	1.00	1.00	0.95	0.95	K_I	0.35	1.00	0.35	1.00
W_M	220	220	220	220	K_G	0.35	0.35	0.35	0.50
W_{UM}	20	20	20	20	C_S	0.1	0.1	0.6	0.7
W_{LM}	80	80	80	80	C_I	0.850	0.843	0.900	0.880
B	0.25	0.25	0.25	0.25	C_G	0.990	0.978	0.993	0.988
C	0.16	0.16	0.16	0.16	K_E	1.0	1.0	1.5	1.2
S_M	10	15	15	20	X_E	0.440	0.209	0.380	0.380
E_X	1.0	1.5	1.0	1.5					

表 2 青峰岭水库流域新安江模型、垂向混合产流模型模拟结果对照

Table 2 Comparison of simulated results for Qingfengling Reservoir basin by Xin 'anjiang model and vertically-mixed runoff model

洪号	新安江模型			垂向混合产流模型		
	径流量	洪峰流量	确定性	径流量	洪峰流量	确定性
	相对误差	相对误差	系数	相对误差	相对误差	系数
	/%	/%		/%	/%	
970819	+ 6.3	- 5.8	0.865	+ 19.5	- 16.2	0.814
960725	+ 44.5	- 64.3	0.541	+ 1.6	- 8.4	0.712
950816	+ 4.0	- 2.2	0.800	+ 14.2	- 10.9	0.732
940823	- 26.8	- 69.1	0.331	+ 13.4	- 17.4	0.864
900816	- 19.1	- 15.5	0.815	+ 2.6	- 5.8	0.806
740813	+ 22.6	+ 53.9	0.791	- 8.3	+ 5.9	0.963
710701	- 57.3	- 84.2	0.082	- 7.5	- 35.6	0.669
700916	- 11.6	- 9.7	0.711	+ 1.0	- 14.0	0.722
700724	+ 16.0	+ 2.1	0.628	+ 14.5	- 8.3	0.679
630719	- 5.5	+ 15.7	0.828	+ 19.0	+ 0.1	0.916

注：(a)“-”者表示计算值偏小，“+”者表示计算值偏大。(b)新安江模型和垂向混合产流模型模拟结果的合格场次/洪水样本次数分别为 6/10 和 9/10,确定性系数的平均值分别为 0.639 和 0.788. 是否合格按《水文预报》中的误差评定规范判定. 洪峰流量相对误差与径流量相对误差均不超过 20%,即为合格,两者中只要有一个超过 20%,则为不合格.

表 3 危水水库(乌溪沟以上流域)新安江模型、垂向混合产流模型模拟结果对照

Table 3 Comparison of simulated results for Weishui Reservoir(upper Wuxigou basin) by Xin 'anjiang model and vertically-mixed runoff model

洪号	新安江模型			垂向混合产流模型		
	径流量	洪峰流量	确定性	径流量	洪峰流量	确定性
	相对误差	相对误差	系数	相对误差	相对误差	系数
	/%	/%		/%	/%	
850504	- 5.3	- 12.2	0.902	+ 5.9	- 8.0	0.727
840613	- 2.0	- 23.0	0.930	- 5.3	- 20.8	0.948
830915	+ 6.2	- 0.5	0.958	- 1.6	- 1.0	0.944
830703	+ 7.5	- 4.9	0.940	+ 5.7	- 0.7	0.931
810824	+ 2.2	+ 30.7	0.839	+ 10.6	- 47.5	0.666
800730	- 3.1	- 6.3	0.966	+ 3.7	- 4.6	0.935
800716	+ 17.3	- 11.5	0.954	- 1.7	- 6.9	0.945
800616	+ 6.4	+ 4.0	0.930	+ 8.6	+ 5.2	0.913
800530	- 3.4	+ 5.2	0.935	+ 9.3	+ 13.5	0.906
790622	- 9.1	- 10.4	0.963	- 1.0	- 7.4	0.941
790603	- 0.1	- 0.7	0.916	- 1.8	+ 19.4	0.824
770502	- 6.0	- 3.3	0.816	- 2.4	- 7.1	0.818
760621	+ 19.8	- 16.1	0.943	- 3.8	- 3.0	0.949
750808	- 8.8	- 13.4	0.785	+ 22.8	- 13.3	0.708
750608	- 3.1	- 14.3	0.943	- 8.3	- 17.1	0.947
740512	+ 1.9	- 5.0	0.944	- 3.6	- 8.6	0.944

注：(a)“-”者表示计算值偏小，“+”者表示计算值偏大。(b)新安江模型和垂向混合产流模型模拟结果的合格场次/洪水样本次数分别为 14/16 和 13/16,确定性系数的平均值分别为 0.917 和 0.878. 是否合格的判定标准同表 2.

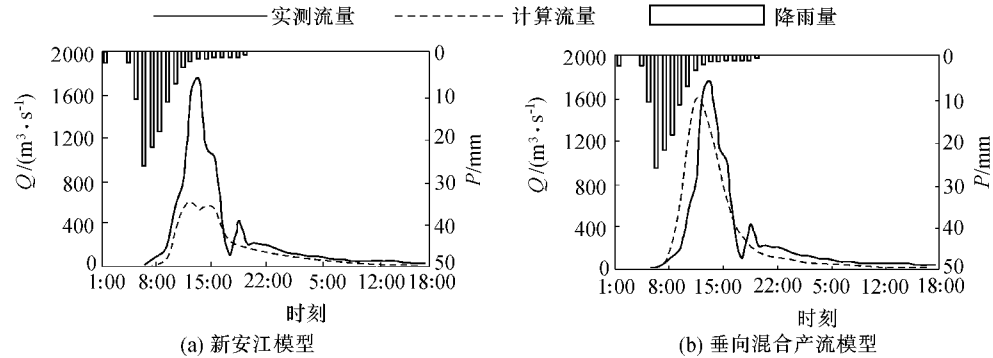


图 2 青峰岭水库 960725 号洪水模拟过程线

Fig.2 Simulation hydrograph for flood No.960725 in Qingfengling Reservoir basin

3 讨 论

从表 1 中可以看到,参数率定过程中,考虑到 W_M 对产流的影响不很大,所以笔者在计算过程中以 W 不出现负值为目标,给 W_M 赋了一个较大的值,并未对其作优选.两模型虽然汇流结构相同,但划分水源结构不同,计算出的各部分产流量不同,所以汇流参数并不相同.

从表 2、表 3 中可以清楚地看到,在半干旱地区,新安江模型应用效果不是很理想,而垂向混合产流模型能取得比较令人满意的结果.而在湿润地区,两个模型都能取得比较好的结果.

从青峰岭水库的 960725 号洪水来看(参见表 2 和图 2),实测径流量 49.6 mm,实测洪峰流量 1758 m³/s. 用新安江模型算出的产流量仅为 27.5 mm,洪峰流量计算值仅为 628 m³/s,相对误差分别为 -44.5% 和 -64.3%. 但用混合产流模型计算出来的效果要好得多,计算径流量为 50.4 mm,相对误差为 1.6%;洪峰流量计算值为 1610 m³/s,相对误差仅为 -8.4%. 这充分说明了新安江模型结构的缺陷在于它没有考虑超渗径流成分,而北方大部分地区缺水量很大,一场洪水很难使其蓄满,超渗径流存在是必然的.960725 号洪水有可能前期很干旱,缺水量很大,按新安江模型理论,此时不可能有径流产生,但实际有可能存在超渗径流.这种情况如果还是按蓄满机制来计算,无疑会使计算的径流量偏小.众所周知,地面径流的汇流特性是汇流时间短、峰高,用新安江模型计算,削弱了地面径流的影响,所以导致计算洪峰明显偏小.940823 号和 710701 号洪水也存在同样的情况.而从危水水库洪水模拟结果来看,采用两个模型结果都比较令人满意.

一个概念性流域水文模型,从其研制到最后的推广应用,需要经过多个不同气候、不同自然地理条件流域的检验.垂向混合产流模型是一个比较新的模型,对其参数区域规律、模型结构的合理性等方面还存在许多问题,有待于人们去研究.

参考文献：

[1] 李致家,孔祥光,张初旺. 对新安江模型的改进[J]. 水文,1998(4):19—23.
[2] 包为民,王从良. 垂向混合产流模型及应用[J]. 水文,1997(3):18—21.
[3] 包为民. 格林-安普特下渗曲线的改进和应用[J]. 人民黄河,1993(9):1—3.
[4] 赵人俊. 流域水文模拟[M]. 北京:水利电力出版社,1984.32—82.

Comparison of Xin'anjiang model with vertically-mixed runoff model

QU Si-min¹, BAO Wei-min¹, ZHANG Ming², JI Hai-xiang¹, HU Qi-mei¹

- (1. College of Water Resources and Environment, Hohai Univ., Nanjing 210098, China;
2. Bureau of Nanjiang Reservoir of Dongyang City, Dongyang 322117, China)

Abstract A comparison of the Xin'anjiang hydrologic model with the vertically-mixed runoff model is made from the viewpoint of universality of a real-time flood forecasting model. With the two models, simulation and calculation are performed for the Qingfengling Reservoir basin and the Weishui Reservoir basin by use of the observed data. The results show that both of the two models can yield good results for humid areas, but for semi-arid areas, the result from the Xin'anjiang model is not satisfactory, while good results can still be obtained from the vertically-mixed runoff model.

Key words Xin'anjiang model; vertically-mixed runoff model; reservoir basin