

GR3 模型和新安江模型在我国的对比研究

徐 莎,杨小柳

(北京大学城市与环境学院,北京 100871)

摘要:GR3 模型结构简单,只有 3 个可自动优选的参数,已在欧洲、非洲、南美等地取得理想的应用效果。为验证其在我国的适用性,特选择分布于长江、黄河、淮河、松花江水系的 7 个代表流域,与国内普遍应用的三水源新安江模型进行对比。结果表明,GR3 模型可媲美新安江模型,在我国具有相同的适用性。

关键词:概念性水文模型;GR3 模型;新安江模型;降雨-径流模拟

中图分类号:P338 文献标识码:A 文章编号:1000-0852(2015)01-0007-07

水文模型是模拟流域水文过程和认识水文规律的工具,对水文分析与计算、洪水预报、水库实时调度、水资源优化配置等实际工作具有重要的意义^[1-2]。概念性水文模型是水文模型的类型之一,在过去的 30 年中得到长足的发展^[3-4]。概念性水文模型有一定的物理基础,概念清楚,结构简单,能够比较客观地描述水文循环的机理和过程,满足实际中的大多数需求^[5-9]。

自 20 世纪 80 年代,Michel 等^[10]着手研究集总式概念性水文模型,以结构简单和参数最少化为前提,逐步发展和完善了 GR3 模型。通过对欧洲、非洲、南美洲 429 个流域的研究,证明了 GR3 模型在上述地区的适用性^[11]。

自 20 世纪 70 年代,赵人俊^[12]等开始研究新安江水文模型。迄今,这一集总式概念性水文模型已经广泛地应用于我国的湿润^[6-7,13-16]和半湿润地区^[17-20];在防洪^[21]、抗旱^[22]、水工设计^[12]等领域发挥了重要的作用。

本文借力新安江模型,通过对比研究,探讨 GR3 模型在我国的适用性,研究区选在湿润和半湿润地区,即位于长江、淮河、黄河和松花江水系的 7 个代表性流域。

1 GR3 模型和新安江模型

1.1 GR3 模型

GR3 模型分产流计算、汇流计算两个部分。经过产流计算将降雨量分解为蒸散发量和有效降雨量;后者经过坡面单位线计算,一部分成为直接径流,另一部分成为壤中流并通过汇流水箱的计算,两者叠加后形成出流过程^[10]。图 1 为 GR3 模型结构图。

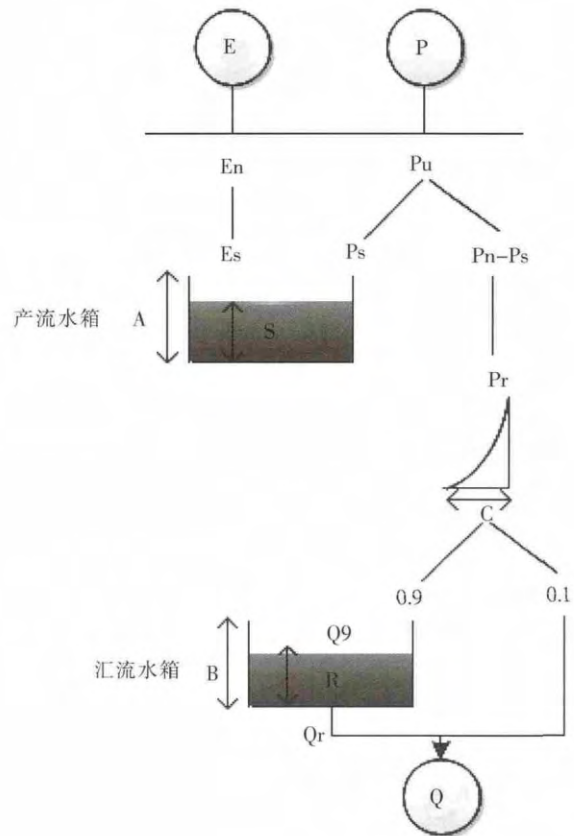


图 1 GR3 模型结构图
Fig.1 The structure of GR3 model

GR3 模型有 3 个待优选参数,包括 1 个产流参数,2 个汇流参数,表 1 为 GR3 模型参数表及初始取值范围,模型自带参数优选程序。

收稿日期:2014-02-25

基金项目:国家自然科学基金(41171405)

作者简介:徐莎(1991-),女,湖北黄冈人,硕士研究生,主要从事水文模型研究。E-mail:xushaalice@126.com

通讯作者:杨小柳(1958-),男,北京人,教授,主要从事流域综合管理研究。E-mail:xlyang@urban.pku.edu.cn

表1 GR3模型参数表及初始取值范围
Table1 The parameters and their sampled ranges of GR3 model

| 用途 | 参数 | 参数意义 | 初始取值范围 |
|------|------|---------|----------|
| 产流计算 | A/mm | 产流水箱深度 | 100~1200 |
| 汇流计算 | B/mm | 汇流水箱深度 | 20~300 |
| | C | 单位线时间长度 | 1.1~2.9 |

1.2 新安江模型

本文采用三水源新安江模型。模型由四个部分构成:蒸散发计算、产流量计算、分水源计算和汇流计算。蒸散发计算采用三层蒸发模式,将土壤分为三层,当上层水量大于蒸发潜力时按照流域蒸散发能力蒸发时,

下层不蒸发;当上层含水量蒸发量不够蒸发时,上层全部蒸发,剩余蒸散发能力从下层蒸发。产流量计算采用蓄满产流理论,采用了蓄水容量曲线。分水源计算采用自由水蓄水库,产流量进入自由水蓄水库后将总径流划分为地表径流、壤中流和地下径流。汇流计算包含坡面汇流和河网汇流两个部分。在坡面汇流中,经过水源划分得到的地表径流采用单位线法,直接进入河网进行河网汇流计算;壤中流采用线性调蓄水库,经过壤中流蓄水库的消退进入河网,地下径流进入地下蓄水库,经过地下蓄水库的消退进入河网^[7,12]。图2为三水源新安江模型结构图。



图2 三水源新安江模型结构图^[12]
Fig.2 The structure of the Xin'anjiang model

新安江模型共14个参数。其中,4个用于蒸散发计算,3个用于产流计算,4个用于水源划分,3

个用于汇流计算,详见表2。参数值通过人工试错法获得。

表2 新安江模型参数表和参数值范围
Table2 The parameters and their sampled ranges of the Xin'anjiang model

| 用途 | 参数 | 参数意义 | 参数值范围 |
|-------|--------|--------------------|---------|
| 蒸散发计算 | WUM/mm | 上层张力水容量 | 5~25 |
| | WLM/mm | 下层张力水容量 | 50~150 |
| | WDM/mm | 深层张力水容量 | 10~30 |
| | KE | 蒸散发折算系数 | 0.3~1.0 |
| 产流计算 | C | 深层蒸散发系数 | 0~0.3 |
| | B | 张力水蓄水容量曲线方次 | 0.2~0.4 |
| 水源划分 | IMP | 不透水面积占全流域面积比例 | 0~0.05 |
| | SM/mm | 表层土壤自由水蓄水容量 | 20~80 |
| | EX | 表层土壤自由水蓄水容量的方次 | 1~1.5 |
| | KSS | 表层土自由水蓄水量对壤中流的出流系数 | 0~0.3 |
| 汇流计算 | KG | 表层土自由水蓄水量对地下水的出流系数 | 0~0.3 |
| | UH | 地表径流单位过程线 | 1~5 |
| | KKI | 壤中流消退系数 | 0.3~1.0 |
| | KKG | 地下径流消退系数 | 0.5~1.0 |

2 结果比较

2.1 研究区和资料

参考新安江模型的适用性, 研究区选择了长江、淮河、黄河、松花江水系的 7 个代表流域。代表

流域的选择考虑了如下要素: ①资料系列较长; ②控制站位置固定; ③流域内较少可干扰降雨—径流关系的水利设施或人类活动; ④可代表某特定尺度; ⑤可代表某特定气候条件。代表流域基本特征详见表 3。

表3 代表流域基本特征表
Table3 The basic characteristics of the representative watersheds

| 水系 | 流域 | 控制站 | 集水面积/km ² | 年平均降雨量 ^{[13,24-28)]/mm} | 水文属性 | 下垫面条件 |
|-----|-----|-----|----------------------|----------------------------------|------|-------------------------|
| 长江 | 昌江 | 渡峰坑 | 5013 | 1800 | 湿润 | 山区, 植被良好 |
| 淮河 | 淮河 | 息县 | 10190 | 1060 | 湿润 | 土地以旱地、林地和水田为主 |
| | 淮河 | 大坡岭 | 1460 | 1050 | 湿润 | 山区丘陵, 植被良好 |
| 黄河 | 伊河 | 东湾 | 2623 | 790 | 半湿润 | 上游植被良好, 中下游植被稀少, 水土流失严重 |
| | 洛河 | 卢氏 | 4623 | 720 | 半湿润 | 山区, 植被状况良好 |
| 松花江 | 金沙河 | 民立 | 1037 | 741 | 半湿润 | 上游山区, 植被良好, 下游丘陵 |
| | 三统河 | 孤山子 | 981 | 741 | 半湿润 | 植被状况良好 |

GR3 模型和新安江模型需要降雨、蒸发和径流数据。降雨、蒸发数据均采用流域内雨量站和水文站观测资料的算术平均值, 径流数据是流域控制点的观测资

料。将资料系列的前若干年用于率定模型, 称率定期; 后若干年用于验证模型, 称验证期。详情见表 4。7 个代表流域的最终模型参数取值见表 5 和表 6。

表4 代表流域水文资料情况
Table4 The hydrological data of the representative watersheds

| 控制站 | 率定时段长 | 资料总长度 | 率定期长度 | 验证期长度 |
|-----|-------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 渡峰坑 | 日 | 9 年(2004~2012) | 5 年(2005~2009) | 3 年(2010~2012) |
| 息县 | 日 | 22 年(1976~1997) | 11 年(1977~1987) | 10 年(1988~1997) |
| 大坡岭 | 日 | 9 年(2002~2010) | 5 年(2003~2007) | 3 年(2008~2010) |
| 东湾 | 2 小时 | 11 年(2002~2012) | 7 年(2003~2009) | 3 年(2010~2012) |
| 卢氏 | 2 小时 | 9 年(2003~2011) | 5 年(2004~2008) | 3 年(2009~2011) |
| 民立 | 6 小时 | 8 年(2006~2013) | 4 年(2007~2010) | 3 年(2011~2013) |
| 孤山子 | 6 小时 | 8 年(2006~2013) | 4 年(2007~2010) | 3 年(2011~2013) |

表5 代表流域GR3模型参数优化结果
Table5 The parameters of the GR3 model for the representative watersheds

| 参数 | 渡峰坑 | 息县 | 大坡岭 | 东湾 | 卢氏 | 民立 | 孤山子 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| A | 112 | 209 | 112 | 116 | 157 | 124 | 89 |
| B | 129 | 81 | 120 | 518 | 411 | 237 | 843 |
| C | 1.8 | 2.8 | 2.0 | 5.4 | 2.4 | 1.1 | 2.6 |

表6 代表流域新安江模型参数最终取值
Table6 The parameters of the Xin' anjiang model for the representative watersheds

| 参数 | 渡峰坑 | 息县 | 大坡岭 | 东湾 | 卢氏 | 民立 | 孤山子 |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| WUM | 20 | 20 | 20 | 10 | 10 | 15 | 15 |
| WLM | 100 | 125 | 55 | 53 | 70 | 80 | 80 |
| WDM | 30 | 30 | 30 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| KE | 1.0 | 1.0 | 0.7 | 0.4 | 0.6 | 0.9 | 0.7 |
| C | 0.02 | 0.13 | 0.13 | 0.09 | 0.07 | 0.2 | 0.18 |
| B | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.2 |
| IMP | 0.04 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 |
| SM | 45 | 28 | 35 | 48 | 33 | 44 | 47 |
| EX | 1.5 | 1.5 | 1.1 | 1.5 | 1.3 | 1.0 | 1.1 |
| KSS | 0.18 | 0.13 | 0.24 | 0.15 | 0.12 | 0.12 | 0.1 |
| KG | 0.14 | 0.08 | 0.1 | 0.27 | 0.23 | 0.13 | 0.07 |
| UH | 1.5 | 2.4 | 1.6 | 4.3 | 2.8 | 0.9 | 3.0 |
| KKI | 0.66 | 0.35 | 0.55 | 0.76 | 0.84 | 0.66 | 0.88 |
| KKG | 0.99 | 0.86 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.94 | 0.91 |

2.2 误差函数

为了比较两个模型在同一个流域水文过程中的表

现,选择常用的3个误差函数^[29-31],从不同角度描述模型模拟结果的精度,见表7。

表7 误差函数
Table7 The error functions

| 名称 | 公式 | 说明 |
|-------------|---|----------------------------------|
| 纳什效率系数(NSE) | $NSE=1-\frac{\sum_{i=1}^N (y_i^{obs} - y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^N (y_i^{obs} - \bar{y}_i^{obs})^2}$ | NSE 值越接近 1,表示模拟径流过程和实测径流过程的拟合精度高 |
| 水量相对误差(RE) | $RE=\frac{\sum_{i=1}^N (y_i^{obs} - y_i^{sim})}{\sum_{i=1}^N y_i^{obs}} \times 100\%$ | RE 绝对值越低,表示水量平衡精度高 |
| 相关系数(RC) | $RC=\frac{\sum_{i=1}^N y_i^{obs} \cdot y_i^{sim} - \frac{\sum_{i=1}^N y_i^{obs} \cdot \sum_{i=1}^N y_i^{sim}}{N}}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^N y_i^{obs2} - \frac{\left(\sum_{i=1}^N y_i^{obs}\right)^2}{N}\right)\left(\sum_{i=1}^N y_i^{sim2} - \frac{\left(\sum_{i=1}^N y_i^{sim}\right)^2}{N}\right)}}$ | RC 值越接近 1,表示实测和模拟值的相关性程度高 |

式中: y_i^{obs} 为实测径流量; \bar{y}_i^{obs} 为实测径流量平均值; y_i^{sim} 为模拟径流量; N 为时间序列长度。

2.3 计算结果和比较分析

图3 给出两个模型的径流模拟结果,由于篇幅所限,仅给出昌江流域和淮河流域息县站一年检验期的模拟结果。表8 列出两个模型在率定期和验证期的误差。

从图3 可以看出,在同一流域,新安江模型的模拟值普遍小于 GR3 模型的模拟值。在枯水季节,新安江

模型的模拟更接近实测值;而在丰水期,GR3 模型的表现更好。这种差异可能与两者结构的不同有关,GR3 模型偏重总产流量的控制,而新安江模型在总产流量的基础上,又细分出不同的水源:即地表径流、壤中流和地下径流。从产流机制上讲,新安江模型的结构更符合枯季径流的特点,故有更佳的低流量模拟^[7]。

表8 显示,在同一流域,无论是从综合拟合水平

表8 GR3模型和新安江模型率定期和验证期结果
Table8 The simulation results in calibration and the validation periods of GR3 model and Xin' anjiang model

| 水系 | 控制站 | 模型 | 率定期 | | | 检验期 | | |
|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| | | | NSE | RE/% | RC | NSE | RE/% | RC |
| 长江 | 渡峰坑 | GR3 | 0.90 | -8 | 0.93 | 0.95 | -2 | 0.95 |
| | | 新安江 | 0.93 | 8 | 0.93 | 0.95 | 15 | 0.95 |
| | 息县 | GR3 | 0.92 | -2 | 0.92 | 0.92 | 11 | 0.92 |
| | | 新安江 | 0.90 | -2 | 0.90 | 0.89 | 9 | 0.90 |
| 淮河 | 大坡岭 | GR3 | 0.85 | -17 | 0.85 | 0.78 | -2 | 0.78 |
| | | 新安江 | 0.83 | -10 | 0.83 | 0.76 | 6 | 0.76 |
| | 东湾 | GR3 | 0.80 | -12 | 0.81 | 0.81 | 20 | 0.85 |
| | | 新安江 | 0.76 | -17 | 0.77 | 0.76 | 23 | 0.80 |
| 黄河 | 卢氏 | GR3 | 0.82 | 1 | 0.82 | 0.72 | 15 | 0.76 |
| | | 新安江 | 0.83 | -6 | 0.83 | 0.73 | 14 | 0.79 |
| | 民立 | GR3 | 0.88 | 16 | 0.88 | 0.72 | -18 | 0.74 |
| | | 新安江 | 0.89 | 12 | 0.89 | 0.71 | -20 | 0.73 |
| 松花江 | 孤山子 | GR3 | 0.78 | -6 | 0.83 | 0.84 | -14 | 0.85 |
| | | 新安江 | 0.82 | -15 | 0.84 | 0.81 | -18 | 0.82 |

(NSE)、长系列水量平衡(RE)、还是模拟与实测相关性(RC)看,两个模型在率定期和检验期的模拟结果均较相近。新安江模型模拟较好的流域,GR3 相应的也有较好的表现,甚至表现更优,比如淮河水系的息县站和大坡岭站,以及黄河水系的东湾站。这表明 GR3 模型基本达到了新安江模型的模拟精度。

综合图 3 和表 8 可以看出,两个模型的径流过程线均与实测流量过程线不但基本吻合,而且在 7 个代表流域,两者在率定期和验证期的纳什效率系数都大于 70%,水量相对误差都小于 20%,实测系列和模拟系列的相关系数均大于 0.75。根据《水文情报预报规

范》^[31],两个模型的模拟结果均达到较高的精度,说明 GR3 模型和新安江模型能够较好反映长江、淮河、黄河、松花江水系的降雨径流过程的大小和趋势。

综合表 8 和图 3 还可发现,两个模型在不同气候区的模拟效果不同,但表现一致。在湿润的长江、淮河水系,两个模型在率定期和验证期模拟的精度相对更高,纳什效率系数均大于 80%,达到乙等标准^[31];在最湿润的昌江流域,两个模型均达到了甲等标准^[31]。而在半湿润的黄河(指黄河流域南部地区)和松花江水系,模型模拟效果相对较差。此处,两个模型再次表现了“共同进退”。

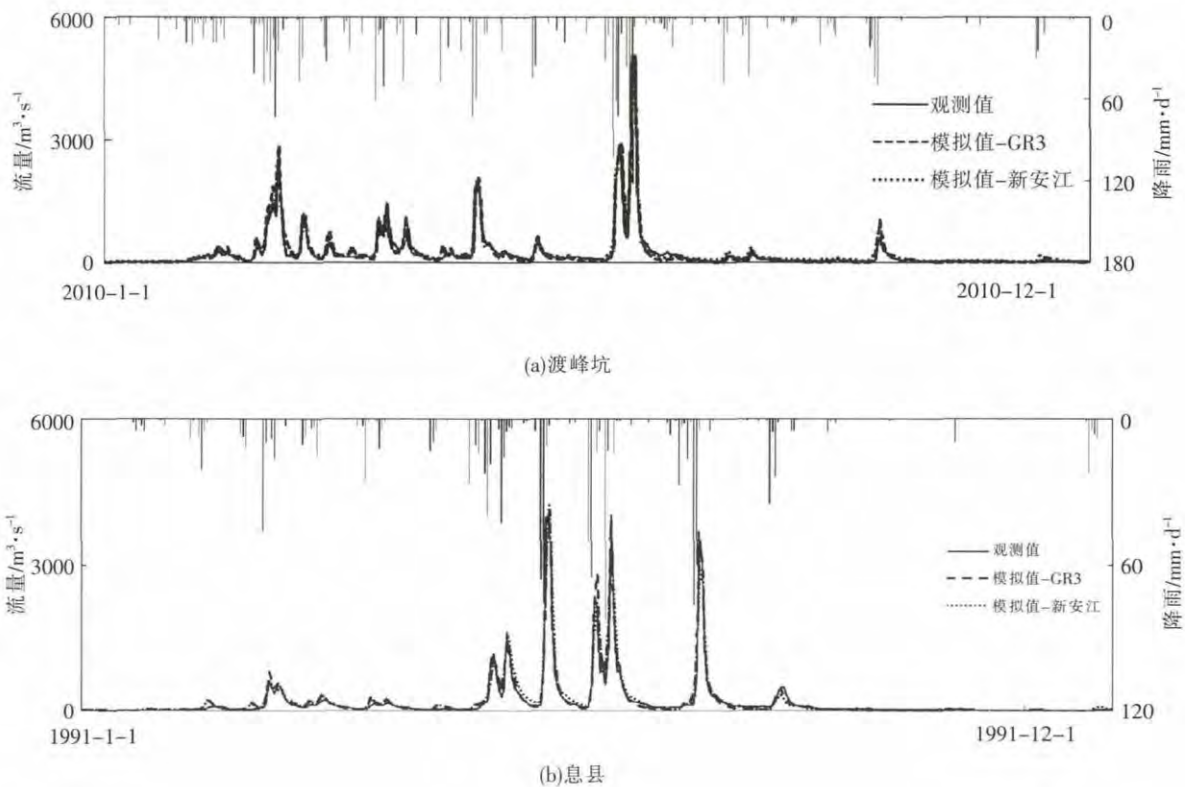


图 3 模型径流模拟结果图
Fig.3 The simulated runoffs in Dufengkeng(a), Xixian(b).

3 结论

为探讨 GR3 模型在我国的适用性,本文将其与新安江模型进行对比,研究区选在长江、淮河、黄河及松花江水系的 7 个代表流域,误差函数为常用的纳什效率系数,水量相对误差和相关系数,得结论如下:

(1)GR3 模型在综合表现(NSE)、水量平衡(RE)和相关性(RC)三个方面,均与新安江模型的模拟精度相近,表明 GR3 模型与三水源新安江模型的处于相同

精度水平。

(2)综合在 7 个代表流域的结果,GR3 模型和新安江模型均能取得令人满意的模拟结果,但在湿润地区的表现更优。此外,两者的表现高度一致,即在新安江模型模拟较好的流域,GR3 模型也有较好的表现。

(3)从新安江模型看 GR3 模型,后者应在我国具有同样的适用性。从 GR3 模型看新安江模型,后者也应在欧洲、非洲和南美洲具有广阔的应用前景。

(4)GR3 模型有 3 个可以自动优选的参数。这既

方便模型的使用,又降低了使用的门槛,还可在一定程度上避免模型参数的“因人而异”现象。这可视为该模型的不同之处。

致谢:本研究得到国家防汛抗旱总指挥部梁家志,水利部水文局李岩、孙春鹏、成建国、王金星、胡健伟,黄河水利委员会水文局李世明,吉林省水文水资源局李志毅、佟利武等的大力帮助和支持,谨致谢忱!

参考文献:

- [1] 徐宗学. 水文模型 [M]. 北京: 科学出版社, 2009. (XU Zongxue. Hydrological Models [M]. Beijing: Science Press, 2009. (in Chinese))
- [2] 徐宗学. 水文模型: 回顾与展望[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2010,46(3):278-289. (XU Zongxue. Hydrological models: past, present and future [J]. Journal of Beijing Normal University (Nature Science), 2010,46(3):278-289. (in Chinese))
- [3] 王蕊, 夏军, 张文华. 一种新的概念性水文模型及其应用研究[J]. 水文, 2009,29(2):1-6. (WANG Rui, XIA Jun, ZHANG Wenhua. A new conceptual hydrological model and its application [J]. Journal of China Hydrology, 2009,29(2):1-6. (in Chinese))
- [4] 刘新仁, 余晓珍. 运用概念性流域水文模型分析气候对土壤水的影响 [J]. 水文, 1993,6:1-6. (LIU Xinren, YU Xiaozhen. Analysis of the influence of climate on soil water by using a conceptual hydrological model [J]. Journal of China Hydrology, 1993,6:1-6. (in Chinese))
- [5] 何思为, 南卓铜, 王书功, 等. 四个概念性水文模型在黑河流域上游的应用与比较分析[J]. 水文, 2012,32(3):13-18. (HE Siwei, NAN Zhuotong, WANG Shugong, et al. Application and comparative analysis of four conceptual hydrological models for upper reach of Heihe river basin [J]. Journal of China Hydrology, 2012,32(3):13-18. (in Chinese))
- [6] 王振亚. 新安江模型和 NAM 模型在资水流域的比较应用[D]. 南京: 河海大学, 2007. (WANG Zhenya. Comparison and Analysis in the Application of the Xinanjiang Model and the NAM Hydrological Model [D]. Nanjing: Hohai University, 2007. (in Chinese))
- [7] 张兰影, 庞博, 徐宗学, 等. VIC 模型与新安江模型径流模拟对比研究 [J]. 北京师范大学学报, 2013,49(2/3):139-144. (ZHANG Lanying, PANG Bo, XU Zongxue, et al. Comparative study on the performance of VIC model and Xin'anjiang model in simulating runoff [J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2013,49(2/3):139-144. (in Chinese))
- [8] 陈仁升, 康尔泗, 杨建平, 等. 水文模型研究综述 [J]. 中国沙漠, 2003,23 (3):221-229. (CHEN Rensheng, KANG Ersi, YANG Jianping, et al. Research review of hydrological modeling [J]. Journal of Desert Research, 2003,23(3):221-229. (in Chinese))
- [9] 陈仁升, 康尔泗, 杨建平, 等. Topmodel 模型在黑河干流出山径流模拟中的应用 [J]. 中国沙漠, 2003,23(4):428-434. (CHEN Rensheng, KANG Ersi, YANG Jianping, et al. Application of Topmodel to simulate runoff from Heihe mainstream mountainous basin [J]. Journal of Desert Research, 2003,23(4):428-434. (in Chinese))
- [10] Michel C. Que peut-on faire en hydrologie avec modèle conceptuel à un seul parameter [J]. La Houille Blanche, 1983,1: 39-44.
- [11] Perrin C, Michel C, Andréassian V. Does a large number of parameters enhance model performance? Comparative assessment of common catchment model structures on 429 catchments [J]. Journal of Hydrology, 2001,242(3):275-301.
- [12] 赵人俊. 流域水文模拟: 新安江模型与陕北模型[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984. (ZHAO Renjun. Hydrological Simulation on Stream-Xin'anjiang Model and Shanbei Model [M]. Beijing: China WaterPower Press, 1984. (in Chinese))
- [13] 邓鹏, 李致家. 3 种水文模型在淮河流域洪水模拟中的比较[J]. 河海大学学报, 2013,41(5):377-382. (DENG Peng, LI Zhijiang. Comparison of three hydrological models in flood simulation for Xixian basin of Huaihe river [J]. Journal of Hohai University (Nature Sciences), 2013,41(5):377-382. (in Chinese))
- [14] 叶金印, 姚成, 李京兵, 等. 综合误差系数在新安江模型参数全局优化中的应用[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2013,41(1):1-5. (YE Jinyin, YAO Cheng, LI Jingbing, et al. Application of comprehensive error coefficient to global parameter optimization in Xin'anjiang model [J]. Journal of Hohai University (Nature Sciences), 2013,41(1):1-5. (in Chinese))
- [15] 许钦, 任立良, 杨邦, 等. BTOPMC 模型与新安江模型在史河上游的应用比较研究[J]. 水文, 2008,28(2):23-25. (XU Qin, REN Liliang, YANG Bang, et al. Comparison between BTOPMC model and Xin'anjiang model in application for upstream of the Shihe river [J]. Journal of China Hydrology, 2008,28(2):23-25. (in Chinese))
- [16] 邓鹏, 李致家, 谢帆. TOPMODEL 在珠江流域布柳河流域的应用及其与新安江模型的比较[J]. 湖泊科学, 2009,21(3):441-444. (DENG Peng, LI Zhijia, XIE Fan. Application of TOPMODEL in Buliu river catchment, Pearl river basin and comparison with Xin'anjiang model [J]. Journal of Lake Sciences, 2009,21(3):441-444. (in Chinese))
- [17] 胡彩虹, 郭生练, 彭定志, 等. 半干旱半湿润地区流域水文模型分析比较研究[J]. 武汉大学学报(工学版), 2003,24(3):38-42. (HU Caihong, GUO Shenglian, PENG Dingzhi, et al. Comparative study on hydrological models in semi-dry and semi-humid region [J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2003,24(3):38-42. (in Chinese))
- [18] 辛鹏磊, 李致家, 汤嘉辉. 东湾流域 BTOPMC 模型和新安江模型的应用比较[J]. 人民黄河, 2011,33(12):32-34. (XIN Penglei, LI Zhijia, TANG Jiahui. Application and comparative study of BTOPMC and Xin'anjiang models to the Dongwan basin [J]. Yellow River, 2011,33(12):32-34. (in Chinese))
- [19] 陈红刚, 李致家, 李锐, 等. 新安江模型、TOPMODEL 和萨克拉门托模型的应用比较[J]. 水力发电, 2009,35(3):14-25. (CHEN Honggang, LI Zhijia, LI Rui, et al. Application and comparison of

- TOPMODEL, Sacramento and Xin'anjiang model [J]. *Water Power*, 2009,35(3):14-25. (in Chinese)
- [20] 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. (LI Zhijia, KONG Xiangguang, ZHANG Chuwang. Improving Xin'anjiang model [J]. *Journal of China Hydrology*, 1998,(4):19-23. (in Chinese))
- [21] 陈洋波,朱德华. 小流域洪水预报新安江模型参数优选方法及应用研究[J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 2005,44(3):93-96. (CHEN Yangbo, ZHU Dehua. Optimal parameter calibration method and its application of Xin'anjiang model for small basin flood forecasting [J]. *ACTA Scientiarum Naturalium Universities Sunyatseni*, 2005,44(3):93-96. (in Chinese))
- [22] 胡宇丰,安波,陆玉忠,等. 新安江模型在嫩江流域洪水预报中应用[J]. *东北水利水电*, 2011,8:41-45. (HU Yufeng, AN Bo, LU Yuzhong, et al. Application of Xin'anjiang model in flood forecast of Nenjiang river basin[J]. *Water Resources & Hydropower of Northeast*, 2011,8:41-45. (in Chinese))
- [23] 张宇平,李国文,蒋志兵. 1998年昌江流域暴雨洪水分析[J]. *江西水利科技*, 2001,27(4):237-241. (ZHANG Yuping, LI Guowen, JIANG Zhibin. The current situation and pollution feather analysis of water quality of Changjiang river [J]. *Jiangxi Hydraulic Science & Technology*, 2001,27(4):237-241. (in Chinese))
- [24] 宋晓猛,孔凡哲. 新安江模型和人工神经网络的耦合应用[J]. *水土保持通报*, 2010,30(6):135-138. (SONG Xiaomeng, KONG Fanzhe. Application of Xinanjiang model coupling with artificial neural networks [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2010,30(6):135-138. (in Chinese))
- [25] 梁忠民,施晔,李彬权,等. 基于统计理论的产流模型[J]. *水科学进展*, 2009,20(6):790-793. (LIANG Zhongmin, SHI Ye, LI Binquan, et al. Runoff-yield model based on statistical theory [J]. *Advances in Water Science*, 2009,20(6):790-793. (in Chinese))
- [26] 郑红星,刘昌明,王中根,等. 黄河典型流域分布式水文过程模拟[J]. *地理研究*, 2004,23(4):447-454. (ZHENG Hongxing, LIU Changming, WANG Zhonggen, et al. Simulation of hydrological processes in Lushi Basin basing distributed hydrological model[J]. *Geographical Research*, 2004,23(4):447-454. (in Chinese))
- [27] 李青山,金鑫,吕守贵,等. 辉发河水系水文特性分析[J]. *黑龙江水利科技*, 2010,38(6):152-153. (LI Qingshan, JIN Xin, LV Shougui, et al. Hydrological characterization of Huifa river [J]. *Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy*, 2010,38(6):152-153. (in Chinese))
- [28] 熊立华,郭生练,胡彩虹. TOPMODEL在流域径流模拟中的应用研究[J]. *水文*, 2002,22(5):5-8. (XIONG Lihua, GUO Shenglian, HU Caihong. Application and studies of Topmodel in runoff simulation on different watersheds [J]. *Journal of China Hydrology*, 2002,22(5):5-8. (in Chinese))
- [29] 黄沛,张秋文. 几种典型流域水文模型类比分析[J]. *水资源与水工程学报*, 2006,17(5):27-30. (HUANG Pei, ZHANG Qiuwen. Several typical watershed hydrological models and their comparisons [J]. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 2006,17(5):27-30. (in Chinese))
- [30] 尚晓三,王栋. 两种不同类型的水文模型在贵州典型岩溶地区的应用[J]. *南京大学学报(自然科学版)*, 2009,45(3):409-415. (SHANG Xiaosan, WANG Dong. Application of two different hydrological models in the typical karst area, Guizhou, Southern China [J]. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences)*, 2009,45(3):409-415. (in Chinese))
- [31] GB/T22482-2008, 水文情报预报规范 [S]. (GB/T 22482-2008, Standard for Hydrological Information and Hydrological Forecasting [S]. (in Chinese))

Comparison between GR3 Model and Xin'anjiang Model in Application for Watersheds in China

XU Sha, YANG Xiaoliu

(College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: The GR3 model has a simple structure with only three parameters which can be automatically optimized. The model was developed in Europe, Africa, and South America. In order to verify its applicability in China, the GR3 model was compared with the Xin'anjiang model in the seven representative watersheds situated in the river basins of Yangtze, Huaihe, Yellow and Songhuajiang where the Xin'anjiang Model is recognized applicable. The comparison concludes that the GR3 model is comparable to the Xin'anjiang model in terms of the model efficiency, water balance and correlation, and has the same applicability in China.

Key words: conceptual hydrological model; GR3 model; Xin'anjiang Model; rainfall-runoff simulation