

# 一种通过地形指数计算流域蓄水容量的方法

石 朋<sup>1</sup>, 芮孝芳<sup>2</sup>, 瞿思敏<sup>2</sup>, 陈 喜<sup>1</sup>

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098)

**摘要:** 在概念性分布式水文模型中, 单元格蓄水容量的确定成为一个难题。考虑到单元格蓄水容量同地形指数之间的相似性, 发现地形指数同蓄水容量间满足位移量为零的对数维布尔分布函数, 建立了地形指数同单元格蓄水容量之间的函数关系, 从而可通过单元格地形指数求取单元格的蓄水容量, 在一定程度上解决了分布式水文模型中产流参数的离散化问题。

**关 键 词:** 分布式水文模型; 地形指数; 单元格蓄水容量; 对数维布尔分布函数

**中图分类号:** P333      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-6791(2008)02-0264-04

自从 1969 年 Freeze 和 Harlan 提出了“一个具有物理基础、数值模拟的水文响应模型的蓝图”之后, 分布式水文模型始终是国际水文界研究和争论的热点问题之一。正如 Beven<sup>[1]</sup>所指出的, 这一蓝图最初是根据一些过程描述所建立的。这些关于土壤水流、土壤表面水流以及河道水流的过程描述在实验条件下被认为是适合的, 但分布式模型在应用这些过程描述的方程(譬如达西定律和非饱和带理查德方程)时, 要求其参数和变量在几十米甚至几公里的空间尺度上保持一致<sup>[2]</sup>。那么, 这些建立物理基础分布式水文模型所依据的基本方程在应用于野外实际水文通量时就存在了一些问题。因此, 物理基础的分布式水文模型似乎就有这样一个基本矛盾<sup>[3-5]</sup>: 如果认可描述方程的局限性, 就必须引入更多的复杂参数, 而这些参数不易通过直接测量得到, 且同样存在非均匀性的问题, 因此又需要大量的实际观测来估计参数的重要性及空间变化程度。这种矛盾的解决当然不在于更为详细的过程描述和收集更多的资料以确定参数和状态变量, 而在于根据收集的资料, 寻找更简单的分布式模型。

现有条件下, 一种变通的处理方法是将模型以网格作为计算单元, 不像传统的集总概念模型那样在流域尺度上计算, 而是在网格单元上借用一些成熟的概念性模型, 从而形成了概念性分布式水文模型。但是, 一个新的问题出现了。概念性分布式流域水文模型所包含的参数在空间上一般也是不均匀的, 依赖传统的模型参数率定方法来确定单个网格上的模型参数难以奏效。那么, 确定单元面积的产汇流问题就转化为在缺乏水文气象资料条件下如何推求模型参数的问题。经过长期努力, 水文学家和地貌学家发现, 流域的产汇流过程除了受控于降雨特性外, 与流域下垫面的地形、地貌、土壤、植被、地质等特性有明显的因果关系。Topmodel 中地形指数概念的提出<sup>[6]</sup>, 很好地将地形地貌同水文参数联系在一起。

## 1 利用地形指数推求网格蓄水容量

当将概念性的新安江模型应用于网格上时, 单元网格上蓄水容量的确定是一个难以解决的问题。新安江模型的流域蓄水容量曲线与 Topmodel 中的地形指数累计频率曲线虽然形式不同, 但实质是一致的, 都是对流域饱和和缺水量空间不均匀性的一种描述。注意到这样一种事实, 一个流域中, 地形指数大的地方往往对应于流域的沟谷等低洼处, 因常年接近河道缺水量小而容易产流; 而地形指数小的地方, 往往对应于流域的陡峻处, 因

收稿日期: 2007-03-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50309002)

作者简介: 石 朋(1976-), 男, 天津塘沽人, 助理研究员, 博士, 主要从事水文水资源研究。E-mail: ship@hhu.edu.cn

缺水量大而不易产流。因此，地形指数实际上可以被看作是流域水文效应的一种指示<sup>[7]</sup>。那么，地形指数同蓄水容量之间是不是存在某种确定的定量关系呢？

通过对长江三峡区间9个流域的资料分析发现，地形指数的分布曲线同流域蓄水容量曲线非常类似，都是一种抛物线线形(图1)。图1中，纵坐标为网格地形指数同流域最小地形指数的差值，横坐标为小于某一地形指数差值的网格数占流域总网格数的比例。由此，我们认为，应该可以通过某种方法求出地形指数同蓄水容量之间的对应关系。在此，我们将集总式模型中所率定出的蓄水容量曲线视为一种统计上的已知量，采用同比分析的方法进行分析。在两条曲线(蓄水容量曲线和地形指数分布曲线)上采样，选择相同比例时两条曲线上分别对应的地形指数值和蓄水容量值，点绘成线，如图2所示。

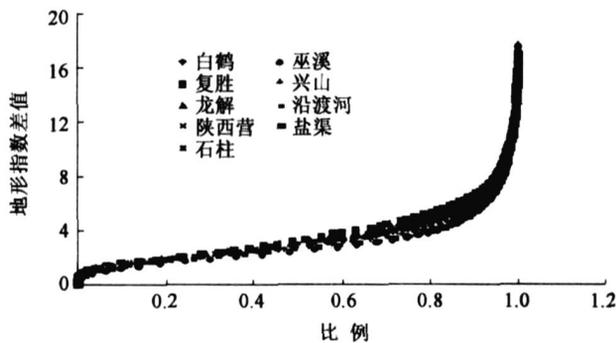


图1 不同流域地形指数累计分布曲线

Fig. 1 Cumulative frequency curve for different basins topographic index

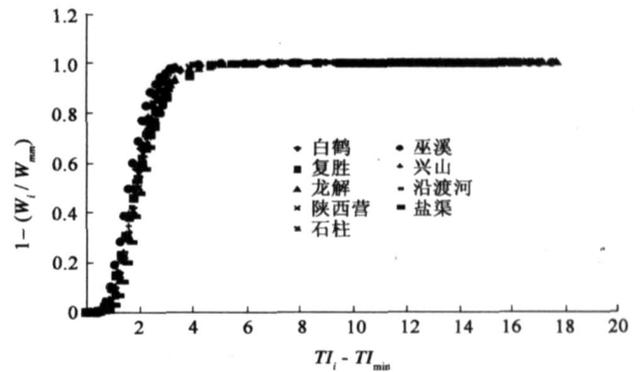


图2 地形指数~蓄水容量对应关系

Fig. 2 Relation between topographic index and storage capacity

通过分析可以发现，这些曲线恰好服从位移量为零的对数维布尔分布曲线<sup>[8]</sup>。曲线的方程可表示为

$$\frac{W_i}{W_{mm}} = \exp \left\{ - \left[ \frac{\ln(TI_i - TI_{min} + 1)}{\lambda} \right] \right\} \quad (1)$$

式中  $W_i$  为单个网格蓄水容量； $W_{mm}$  为流域最大蓄水容量； $TI_i$  为网格地形指数值； $TI_{min}$  为流域最小的地形指数值； $\lambda$  为一个反映网格大小的尺度参数； $\mu$  为形状参数。

## 2 研究区域概况

沿渡河，又名神龙溪，是长江北岸的一级支流，源出神龙架林区下谷乡石门洞，发源地高程 1 720 m，流经板桥、下谷、堆子、沿渡河、罗坪、叶子坝、龙船河，于巴东县官渡口乡西壤口入长江。河长 60.6 km，流域面积 1 047 km<sup>2</sup>，河道坡度 9.5‰，流域平均高程 1 126 m，河流弯曲系数 1.4，河网密度 0.2 km/km<sup>2</sup>，支流 26 条，较大的有三道河、平阳河。羽状水系，两岸支流对称。流域内，沟壑纵横，河流深切，相对高差 2 000 余 m，河流上游为神龙架原始森林，植被覆盖率达 70%，水量丰富，多年平均降水量达 1 300~1 700 mm。沿渡河流域面积 1 031.5 km<sup>2</sup>，其中巴东县境内 909 km<sup>2</sup>，主要支流有马家沟、石柱河、三道河、红沙河、罗溪河、平阳河、牛场河等，流域内地势险峻，山峦重叠，山岭、沟谷中树木苍莽，植被覆盖率达 80%，地形北高南低，流域最高处为神农架主峰大神农架，海拔 3 052.7 m，干流河谷狭窄，纵坡陡，为典型的山溪性河流。沿渡河站控制集水面积 601 km<sup>2</sup>，占全流域面积的 58%，下游河段河道平均坡降约 7‰。

## 3 公式的验证

为了验证公式(1)的合理性，本文选取长江三峡沿渡河流域(见图3)作为研究流域。将公式(1)应用于该流域，制作模型时，所采用的DEM网格分辨率分别取3s和30s。得到的该流域蓄水容量空间分布如图4所示。统计各网格的蓄水容量并点绘累积曲线得到流域蓄水容量分布曲线如图5所示。

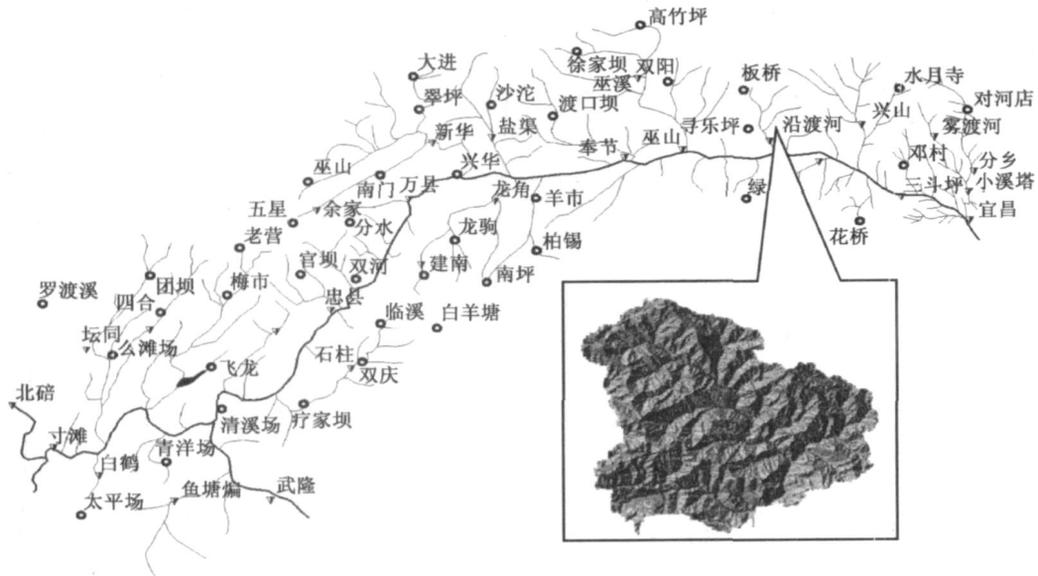


图 3 沿渡河流域位置示意图  
Fig.3 Location of Yanduhe Basin

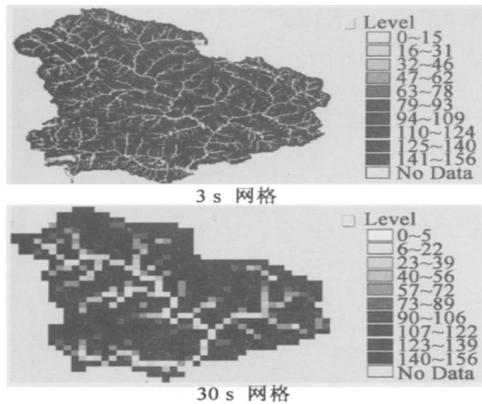


图 4 计算出的流域蓄水容量空间分布图  
Fig.4 Calculated distribution for basin storage capacity

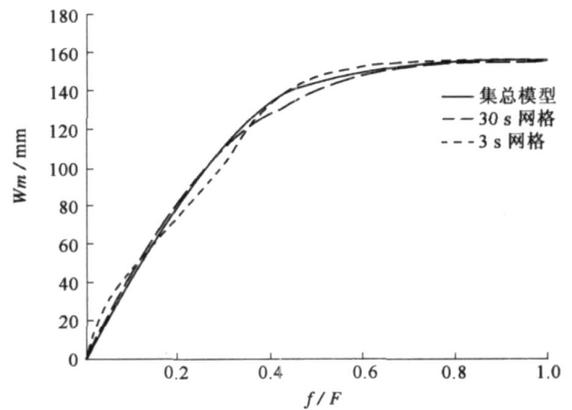


图 5 计算出的流域蓄水容量曲线  
Fig.5 Calculated cumulative curve for basin storage capacity

### 3 结论与展望

计算机技术的不断发展以及 GIS 技术的不断完善，为分布式水文模型的进一步发展及完善提供了可能。通过计算结果可以发现，利用本文提出的方法所得到的流域蓄水容量空间分布情况同我们的预想是完全吻合的。由此可见，本文所提出的公式是合理的，可应用于今后的进一步研究中。该公式所建立的地形指数同蓄水容量之间的定量关系，使得我们可以更加充分地利用当前 GIS 的基础数据，从而使模型的物理意义更强，也更可靠。

但是，这里也存在一个问题。在我们的传统认识中，往往将流域的蓄水容量视为土壤类型、植被类型等因素的函数，仅仅将地形指数作为计算单点蓄水容量的条件同我们的传统认识是有所偏差的。本文所进行的研究是不是也在一定程度上说明了土壤或植被的分布情况同地形之间也存在某种联系呢？如何进一步考虑土壤植被等情况对蓄水容量的影响是我们下一步的研究目标。

**参考文献：**

- [1] Beven KJ. How far can we go in distributed hydrological modeling? [J]. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2001, 5 (1): 1 - 12.
- [2] Blöschl G. Scaling in Hydrology[J]. *Hydrological Processes (HPToday)*, 2001, 15: 709 - 711.
- [3] Beven KJ. Changing ideas in hydrology: the case of physically based models[J]. *J Hydrol*, 1989, 105: 157 - 172.
- [4] Beven KJ. A discussion of distributed modeling[A]. Abbott MB, Refsgaard J-C. (Eds). *Distributed Hydrological Modelling*[C]. Kluwer, Academic Publishers, Devon TQ9 5XN, UK, 1996.
- [5] Beven KJ. Uniqueness of place and the representation of hydrological processes[J]. *Hydrological Earth System Sci*, 2000, 4: 203 - 213.
- [6] Beven KJ, Kirkby MJ. A physically based variable contributing area model of basin hydrology[J]. *Hydrological Science Bulletin*, 1979, 24 (1): 43 - 69.
- [7] 任立良, 刘新仁. 基于 DEM 的水文物理过程模拟[J]. *地理研究*, 2004, 19(4): 369 - 376.
- [8] 石朋. 网格型松散结构分布式水文模型及地貌瞬时单位线研究[D]. 南京: 河海大学, 2006.

**Calculating storage capacity with topographic index<sup>\*</sup>**SHI Peng<sup>1</sup>, RUI Xiao-fang<sup>2</sup>, QU Si-min<sup>2</sup>, CHEN Xi<sup>1</sup>

(1. *State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;*

2. *College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China*)

**Abstract :** The study of the distributed hydrological model is a hotspot in recent years. Because some problems in the fully distributed hydrological model cannot be settled now, an alternative conceptual distributed hydrological model is put forward. An important problem in the conceptual distributed hydrological model is how to determine the storage capacity on every grid. Considering the similarity between the maximum of grid soil moisture deficiency and the grid topographic index, a logarithmic Weibull function relation existing between them is discovered. And then a method for calculating the grid storage capacity with the grid topographic index is put forward. The method is applied to the grid distributed hydrological model with incompact structure. The results shown that, in the ungauged basin, we can get some hydrologic parameters from geographic parameters and find a new approach.

**Key words :** distributed hydrological model; topographic index; grid storage capacity; logarithmic Weibull function

\* The study is financially supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 50309002).