

大理苍山十八溪流域地表水过程模拟研究

谭晓^{1,2,3} 阮开陆⁴

1 自然资源部高原山地地质灾害预报预警与生态保护修复重点实验室

2 云南省高原山地地质灾害预报预警与生态保护修复重点实验室

3 云南省地质环境监测院 4 云南地质工程第二勘察院有限公司大理分院

DOI:10.12238/gmsm.v7i6.1863

[摘要] 通过苍山十八溪流域地表水过程模拟的研究,提高对该地域水量季节性变化的认识,加强洱海的管护具有重要意义。运用地质统计学中变异函数的相关理论和方法,分析了十八溪流域降水量的时空分布规律,并结合SWAT模型计算出流域的植被拦截量和土壤入渗量,对流域地表水进行了系统性的模拟。从研究结果来看:降水量在时间上的相关关系距离最大为4个月,空间上的相关关系距离最大为1.7°;苍山十八溪流域的多年平均降水总量为3.49亿m³,植被年拦截量为0.7亿m³,年下渗量约为0.533亿m³,计算得到年径流量为2.257亿m³,与模拟所得年径流量2.331亿m³,误差约为3%,且实测值+用水量之间的整体一致程度很高,可说明模拟方法符合实际情况,可信度较高。

[关键词] 苍山十八溪; 地表水; 分布模拟; 地质统计

中图分类号: P5 文献标识码: A

Simulation study of surface water process in 18 Creek Basin, Cangshan Mountain, Dali

Yan Tan^{1,2,3} Kailu Ruan⁴

1 Key Laboratory of Geological Disaster Prediction, Warning and Early Warning and Ecological Protection and Restoration, Ministry of Natural Resources

2 Key Laboratory of Forecasting and Early Warning and Ecological Protection and Restoration

3 Yunnan Geological Environment Monitoring Institute

4 Yunnan Second Geological Engineering Survey Institute Co., Ltd

[Abstract] Through the study of surface water process simulation of 18 Creek basin in Cangshan, it is of great significance to improve the understanding of the seasonal change of water quantity in this area and strengthen the management and protection of Erhai Lake. Using the theory and method of variation function in geostatistics, the spatial and temporal distribution law of precipitation in 18 Creek basin was analyzed, and the vegetation interception and soil infiltration in the basin were calculated with SWAT model, and systematically simulated the surface water in the basin. From the results, the maximum distance of precipitation in time is 4 months, and the maximum distance in space is 1.7; the annual average precipitation is 349 million m³, the annual vegetation interception is 70 million m³, the annual infiltration is about 053.3 million m³, the calculated annual runoff is 225.7 million m³, 233.1 million m³, the error is about 3%, and the overall agreement between measured value and water consumption is very high, indicating that the simulation method conforms to the actual situation and has high credibility.

[Key words] Cangshan 18 Creek; surface water; distribution simulation; geological statistics

前言

大理苍山十八溪位于苍山东坡,发源于苍山山脊,自西向东流经大理盆地汇入洱海,是洱海的主要清洁水源之一,由南向北依次为:阳南溪、葶苈溪、莫残溪、清碧溪、黑龙溪、白鹤溪、中和溪、梅溪、桃溪、隐仙溪、双鸳溪、白石溪、灵泉溪、锦溪、茫涌溪、阳溪、万花溪、霞移溪。十八溪流域总面积为352.62

平方公里,分别穿过喜洲、湾桥、银桥、大理及下关五个市辖镇,为乡镇发展提供高品质饮用水源。近年来,随着大理旅游业的高速发展和城镇化进程的加快,介于苍山植被多以针叶林为主,其水源涵养能力不强,致使苍山十八溪水量大幅下降,导致洱海自净能力明显下降,影响当地生态经济的可持续发展,急需研究分析大理苍山十八溪流域地表水过程模拟,为提高洱海的水质以

及加强水资源管护提供参考。

目前用于地表水循环研究的模型有很多种,包括标注氢氧同位素,石辉首次提出该方法在水分循环中的应用^[1],张应华等研究黑河流域水量信息进行研究^[2,3]、闫少锋对汉北流域水循环进行研究^[4]、夏怡洁等对新疆自来水的时空分布进行研究^[5];用于研究水资源循环方法的还有SWAT(Soil and Water Assessment Tool)模型等等,而以上的方法仅适用于循环的某一阶段,并未体现整个过程^[6]。事实上地表水循环包括“降水—植物拦截—入渗地下水—蒸发—地表径流”循环往复的过程,本文在以往研究的基础上进行一些探索改进,结合时空地质统计学中变异函数相关理论和方法,分析大理苍山十八溪流域降水量的时空分布规律,以及运用SWAT模型计算流域植被拦截量和土壤入渗量等,对十八溪流域地表水进行系统性模拟,结合调研所得的实测值以及用水量来验证,从而判断该模拟结果的可信度。

1 降水时空分布模拟方法

大理苍山十八溪流域是一个没有外界径流出入的闭合流域,即大气降水量为地表水资源的唯一来源。降水的时空分布模拟方法有很多,尤其是空间插值法最为常用,其中地统计学以其既能表征数据变化的连续性,又能表现数据的随机性,被广泛应用于降水时空分布模拟研究。而变异函数是地质统计学中的一个核心工具,一般用变异曲线来表示,由图1是一个变异函数图的示意图,图中 C_0 称为块金效应,它表示 h 很小时两点之间函数值的变化; a 称为变程,当 $h \leq a$ 时,任意两点间的值有相关性,这个相关性随 h 的变大而减小,当 $h > a$ 时就不再具有相关性, a 的大小反映了研究对象中某一区域化变量的变化程度,也就 a 是反映了影响范围,可以用在范围 a 以内的值对待估区域的值进行估计。 C 称为拱高, $C_0 + C$ 称为基台值,它反映区域化变量在研究范围内变异的强度^[8]。

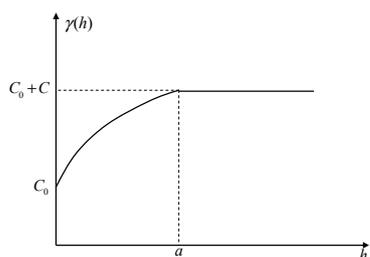


图1 变异函数示意图

2 降水时空分布模拟

2.1 数据分析。搜集了苍山十八溪附近的30个气象站点上的降水资料共计20536条。经分析后发现月降水量数据整体呈正态分布,可以满足克里格估计计算的需要。

2.2 变异函数计算。利用Matlab编写了计算时空变异函数的程序,结合降水量计算了时间和空间的试验边界变异函数,并根据试验变异函数的形状选用球状变异理论变异函数进行了拟合,得到了时间和空间理论边界变异函数的相关参数。并根据试验

时空变异函数,应用乘积和模型构建了理论时空变异函数^[7]。

从变异函数的分析可以看出:时间边界变异函数的变程 a 、块金 C_0 、拱高 C 分别为0.3、36894.2、322563.5,空间边界变异函数的变程 a 、块金 C_0 、拱高 C 分别为1.6、0、315673。其中时间变异函数的拱高与空间变异函数的拱高基本相等,说明计算的时间和空间边界变异函数具有较好的一致性。

从实验时空变异函数及乘积和理论变异函数来看,时空变异函数较好的体现了变异函数的特征,较好的反映了月降水量随时空距离增加而表现出依存规律的变化,即降水量在时间上的相关关系距离最大为4个月,空间上的相关关系距离最大为 1.7° ,降水量在时间上的相关关系比在空间上的相关关系要大,表现出更好的连续性和渐变性。

2.3 克里格估计。在进行时空克里格估计之前,选取不同的参数对进行了估计精度的交叉验证,经分析发现参与估计的站点在时间和空间上的最少、最多点数分别为2、3和2、4个的情况下,得到的交叉系数最高,为0.79。

从苍山十八溪流域年降水量的时间变化来看,多年平均降水量为1052mm,多年平均降水总量为3.49亿 m^3 。总体来看,苍山十八溪地区的降水量相对在南段比较集中,表现出从西北向东南逐渐增加的趋势,但部分年份也表现出从西北向东南逐渐增加的趋势。

3 十八溪流域水资源汇聚

3.1 植被拦截。实际植被拦截量为潜在植被拦截量和大气降水量中的较小值。扣除实际植被拦截量后可获得到达地面的净降水量,用于计算地表产流^[9]。根据苍山十八溪地区的LandSatTM的影像资料,得到NDVI(归一化植物指数)分布图,如图2,分别计算了旱季、雨季以及全年的植物拦截量。

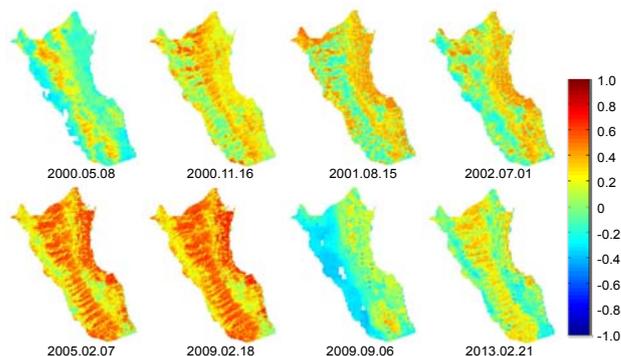


图2 不同时期苍山十八溪地区NDVI分布图

由于苍山上分布以长苞冷杉林、丽江云杉林为主的针叶林带,其植物蒸发量小,不参与水循环的计算。总体来看苍山十八溪流域的植被年拦截量为0.7亿 m^3 。植物拦截主要发生在降雨量和植被较为丰富的雨季,为0.6亿 m^3 ;旱季由于降水少,植物拦截只有0.1亿 m^3 。

3.2 土壤入渗。入渗率的计算可以采用美国农业部Holtan提出的一种半经验型模型,该入渗模型的优点是便于考虑前期

含水量对入渗的影响^[10]。根据流域的土壤分布,该区域主要分布的土壤类型为水稻土、棕壤、黄棕壤、暗棕壤、红壤、石灰(岩)土等6种类型。根据搜集的资料和实地调研数据,最终可以计算得到苍山十八溪流域的年下渗量约为0.533亿m³,旱季下渗量约为0.051亿m³,雨季下渗量约为0.483亿m³。

4 十八溪流域水资源径流

4.1 流域地表径流量。经分析得到,苍山十八溪流域的全年径流量约为2.33亿m³。在时间分布方面,径流量年度变化大,最小年径流量为1.337亿m³,最大的年径流量为3.58亿m³;在空间分布方面,径流变化基本与土地利用类型的空间分布一致。

4.2 各溪地表径流量。为了进一步了解各条溪的径流量,利用从遥感影像得到的DEM图,依据苍山十九峰山脊的空间展布特征划分十八条溪流的流域范围,其中万花溪流域面积最大,梅溪流域面积最小。

5 结果验证

为了分析苍山十八溪流域及其各子流域的模拟计算结果的准确性,从理论方法和实际观测两个方面进行了验证。理论上,径流量是苍山十八溪水资源利用研究的重要基础数据,为了提高计算精度,根据SWAT模型的水平衡方程,在假设土壤最终含水量和前期含水量相等,不考虑回流量和实测流量的前提下,以一年为时间周期,可以近似得到:径流量=降水量-植物拦截量-土壤入渗量。

根据苍山十八溪流域的模拟计算结果,年降水量为3.49亿m³,年植物拦截量为0.7亿m³,年土壤入渗量为0.533亿m³,可以计算得到年径流量为2.257亿m³,接近于模拟计算得到的径流量2.331亿m³,误差约为3%。说明径流量的模拟计算理论方法和结果是可信的。

实际观测上,搜集和测量了部分溪流2011年、2013年度各个月份的实测断面流速数据,主要为2011年的茫涌溪、锦溪以及2013年的万花溪、阳溪、茫涌溪、灵泉溪、白石溪、白鹤溪、清碧溪,具体如表1。

表1 计算值与实测值对比表

名称	计算值	实测值	用水量	实测值+用水量
2011年茫涌溪	1450	740	460	1200
2011年锦溪	710	300	110	410
2013年万花溪	2570	1160	1030	2190
2013年阳溪	2280	1540	260	1800
2013年茫涌溪	1620	1560	390	1950
2013年白石溪	750	190	250	440
2013年中和溪	570	360	200	560
2013年白鹤溪	630	280	460	740
2013年清碧溪	550	340	200	540

从上表可得,除了2013年茫涌溪计算值与实测值基本一致外,多数溪流径流量的计算值比实测值大,是其2倍左右,误差较大。究其根本,是由于实测的径流量实际上是不包含取用水量,

因此需加上各溪用水量之后再与模拟计算值比较,具体如图3。

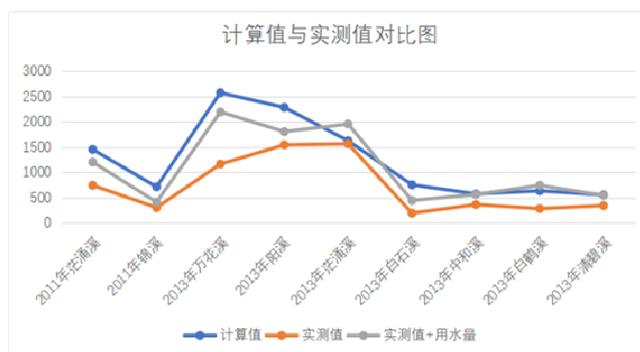


图3 计算值与实测值对比图

由图可看出,从整体上看实测值与实测值+用水量之和的整体一致程度很高,只是数值之间存在差距,说明模拟计算方法和计算值比较符合十八溪流域的实际情况,模拟结果的可信度很高。

综上,根据以上两个方面的验证,可以认为关于径流量的模拟计算理论方法和结果均是可信和可靠的。因此我们可以运用该方法针对苍山十八溪雨季旱季进行水量模拟,从而预判入湖水量,不仅提高洱海管理者对水量季节性变化的认识,更对加强洱海的管护具有重要意义。

【基金项目】

国家自然科学基金资助项目(42062020,14562017)。

【参考文献】

- [1]石辉,刘世荣,赵晓广.稳定性氢氧同位素在水分循环中的应用[J].水土保持学报,2003,17(2):163-166.
- [2]张应华,任彦抑.环境同位素在水循环研究中的应用[J].水科学进展,2006,17(5):338-339.
- [3]张应华,任彦抑.黑河流域中上游地区降水氢氧同位素与温度关系研究[J].干旱区地理,2007,(1)30:16-21.
- [4]闫少锋,刘移胜,刘昱.基于水环境同位素的汉北流域水循环研究[J].中国农村水利水电,2022,(10):87-90.
- [5]夏怡洁,王圣杰,张明军.新疆自来水中氢氧稳定同位素时空变化[J].干旱区研究,2022,(3):810-819.
- [6]朱求安,张万昌,赵登忠.基于PRISM和泰森多边形的地形要素日降水量空间插值研究[J].地理科学,2005,(2):233-238.
- [7]何红艳,郭志华,肖文发.降水空间插值技术的研究进展[J].生态学杂志,2005,24(10):1187-1191.
- [8]李泰儒,彭晓春,郑国栋,等.反距离加权法流场矢量插值研究[J].华北水利水电学院学报,2009(2):12-14.
- [9]杜迎燕,夏达忠,张行南,等.基于GIS的水文模型对象解析[J].东北水利水电,2006,(9):19-21.
- [10]陈利群,刘昌明.黄河源区气候和土地覆被变化对径流的影响[J].中国环境科学,2007,(4):559-565.

作者简介:

谭晓(1987--),女,汉族,重庆万州人,工程师,研究方向:水循环模拟、湿地功能效益评价以及地质灾害隐患早期识别。