

浙江省实时土壤缺水量空间分布自动分析与实现

伍远康, 邱超, 王红英, 俞锡根

(浙江省水文局, 浙江 杭州 310009)

摘要:按流域代表性和面上均匀分布要求,在浙江省区域代表站中筛选39个代表流域,利用在浙江有较好适应性的新安江三水源模型率定产流参数,借助水文遥测系统上传的实时雨量、蒸发量信息以及数据库、水文模拟、ArcGIS空间分析等技术,由代表流域土壤缺水量的实时模拟,实现浙江省土壤缺水量空间分布的逐日自动分析。

关键词:土壤缺水量;空间分布;自动分析;浙江省

中图分类号:S423

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2015)03-0059-05

实时土壤缺水量状况对无资料流域的洪水预报、流域未来降雨可承载能力分析、水利工程可拦蓄雨量估算以及旱情研判等都具有重要意义。本文借助遥测通讯、数据库、水文模拟、ArcGIS空间分析等技术,在对浙江省筛选出的39个代表流域的产流参数率定基础上,利用水文遥测系统上传的实时雨量、蒸发量信息,实现了浙江省实时土壤缺水量空间分布的自动分析,已提供浙江省水文和防汛抗旱工作者使用。

1 代表流域选择

浙江省地处中国东南沿海,位于亚热带季风气候区,冬夏季风交替显著,年温适中,光照充足,降水丰沛,空气湿润。浙江省陆域面积 $10.36 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中,山地面积占70.4%,平原盆地占23.2%,河流湖泊6.4%。地势由西南向东部倾斜,大致分为浙北平原、浙西中山丘陵、浙东盆地低山、浙中丘陵盆地、浙南中山、沿海丘陵平原六个地形区。浙江省土壤类型繁多,尤以红壤、黄壤、紫色土、粗骨土和水稻土为主,约占浙江省总面积的五分之四。浙江植被以常绿阔叶林为主,针叶林为辅,在山顶部多为次生灌草丛,山顶平缓、低洼地可见草甸,结合生态环境条件和优势植物群落组合分布特点,共分为3个植被区,3个植被片。综合考虑实测水文资料成果质量,对浙江省流域地形、土壤、植被的代表性,面上分布基本均匀的要求以及水文情报预报规

范对水文模型参数率定所需资料系列长度不低于10a的规定,在浙江省内选择符合上述要求的39个水文站,集水面积在 $64.1 \sim 1857 \text{ km}^2$ 之间,作为土壤含水量分析的代表流域,分布如图1所示。

2 产流参数率定

2.1 面雨量、蒸发量资料选用

浙江省雨量站网密度大,代表流域的面平均雨量采用流域内各水文自动测报站实时上传雨量的算术平均值。流域内有蒸发观测的用本流域蒸发量资料,无蒸发观测的采用邻近蒸发站资料。39个代表流域产流参数率定采用降雨、径流、蒸发资料共计6863站年。

2.2 产流模型选择

根据多年水文预报工作实践,新安江模型、姜湾径流模型在浙江省具有很好的适应性。目前,浙江省主要江河、水库的洪水预报都选用该两类模型,其中,姜湾径流模型在产流计算上与新安江模型基本相同,综合考虑模型结构、参数个数以及模拟精度,以新安江三水源模型作为土壤含水量分析选用模型^[1]。

2.3 产流参数率定

新安江模型大多数参数具有明确的物理意义和定义,并且参数都具有相对应的合理取值范围,它们在一定程度上反映了流域的基本水文特征和降雨径

收稿日期:2014-05-08

基金项目:浙江省公益性科研项目(2012C23041);浙江省水利厅重大科技项目(RA1201)

作者简介:伍远康(1957-),男,四川自贡人,教授级高级工程师,学士,主要从事水文、水资源及水环境研究。E-mail:wuyk130@263.net

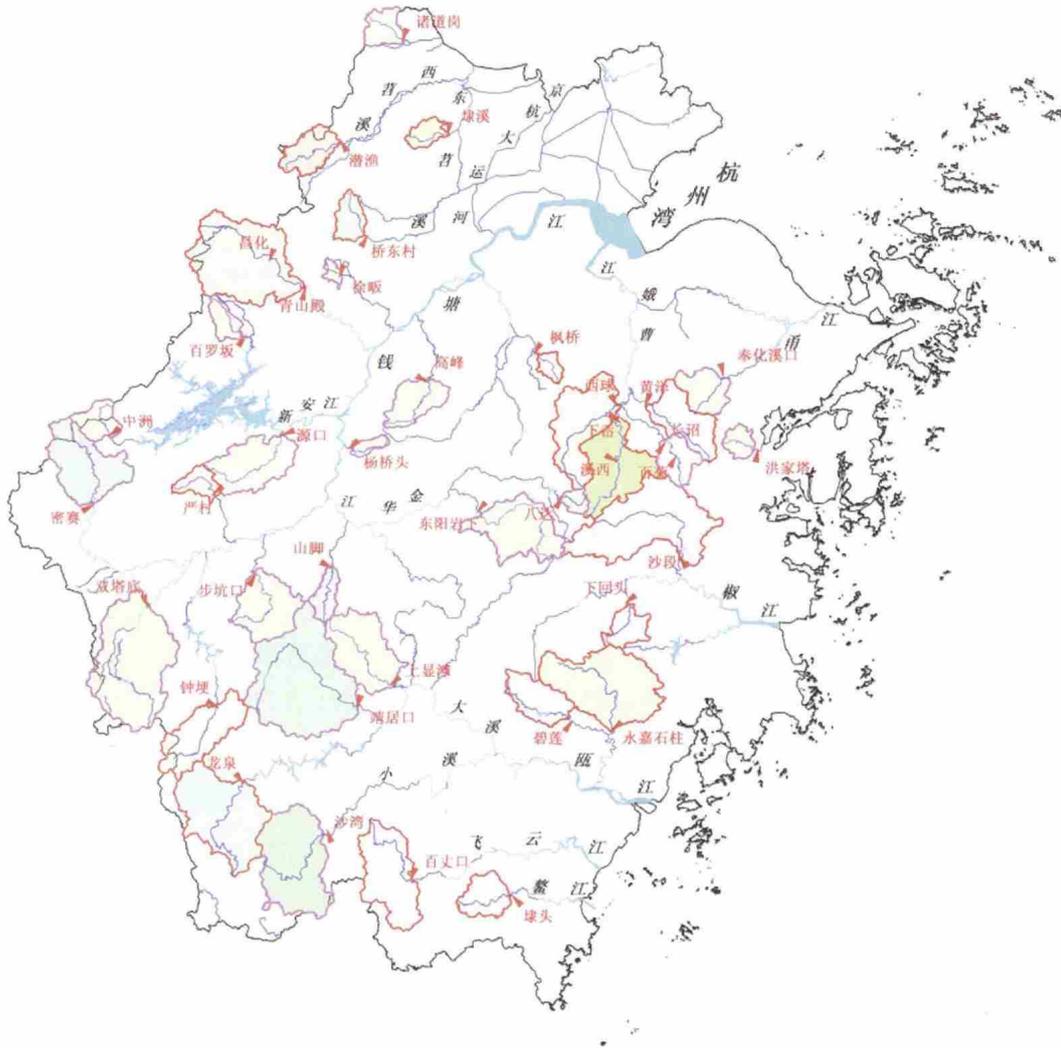


图1 代表流域分布示意图

Fig.1 The distribution of the representative stations

流形成的物理过程^[2]。本文采用产流参数的概念分析方法,即以计算径流与实测径流误差最小为目标函数,先根据地区规律,设置各参数的合理取值范围,利用产流参数自动寻优技术,在众多的符合上述要求的参数组中寻找计算径流深误差最小的最佳参数组。参数率定采用场次洪水模型,率定期为汛期4月15日~10月15日,率定采用洪水要素摘录资料,年份为1965~2011年,计算时段为1h。浙江省39个流域产流参数率定成果如表1。由表可见各流域平均误差在5.5%~17.8%之间,具有较好的模拟精度。

3 土壤含水量空间分析实现方法

土壤含水量是相对于田间持水量的缺水^[3],是根据浙江省遥测系统实时上传的雨量、蒸发量数据,按上述参数和新安江三水源模型自动计算39个代表流

域每日8时的土壤含水量,与对应流域平均张力水容量之差得到土壤缺水,将其置于流域形心处,利用ArcGIS空间分析技术绘制土壤缺水等值线图,分析流程包括数据库计算和空间分析两部分,流程如图2所示。

3.1 数据库计算

流域土壤缺水计算按新安江三水源模型在SQL Server数据库中通过SQL语言编程实现。各个流域的土壤含水量初始状态值全部设置为蓄满,且时间对应各流域较大降雨出现时间,以保证模型初始状态的准确性。模型输入信息为流域基础资料、模型初始状态、模型参数、流域面雨量等,如表2所示。其中,流域基础资料、模型初始状态、模型参数、流域雨量站点资料在系统运行前全部以库表的形式保存在数据库中,供系统调用。

表1 产流参数率定成果汇总表

Table 1 The results of the runoff parameter calibration

站名	产流参数									
	流域面积 / km ²	蒸散发 能力折算 系数	流域张 力水容量 曲线指数	流域平均 张力水容量 / mm	上层张力 水容量 / mm	下层张力 水容量 / mm	深层蒸散 发系数	不透水 面积比例 / %	下渗能力 / mm·h ⁻¹	平均 ΔR / %
密赛	797	1.5	0.35	120	20	60	0.167	0.001	3	11.0
双塔底	1 561	0.8	0.35	90	30	40	0.167	0.001	1.4	11.1
钟埂	710	1.2	0.35	80	20	40	0.167	0.001	2	10.8
严村	180	1.2	0.35	90	30	40	0.167	0.001	4.6	7.0
步坑口	647	1.2	0.35	120	20	60	0.167	0.001	2	10.3
山脚	189	1.1	0.35	90	20	50	0.167	0.001	3.5	5.9
奉化溪口	340	0.7	0.35	80	20	40	0.167	0.001	3	10.7
下回头	253	1.4	0.35	80	20	40	0.167	0.001	2.1	7.1
沙段	1 186	1.2	0.35	140	40	60	0.167	0.001	4.9	12.2
百丈口	866	1.3	0.35	130	20	50	0.167	0.001	3.4	10.6
溪西	300	1.2	0.35	120	20	60	0.167	0.001	1.8	6.6
下岙	841	1.2	0.35	120	20	80	0.167	0.001	1.9	8.7
龙泉	1 440	2.3	0.35	80	20	40	0.167	0.001	2.6	9.1
靖居口	1 857	1.6	0.35	90	20	50	0.167	0.001	2.8	8.0
上显滩	806	1.4	0.35	80	20	40	0.167	0.001	1.1	7.8
沙湾	1 156	1.2	0.35	80	20	40	0.167	0.001	3.1	5.5
西球	748	1.5	0.35	90	20	50	0.167	0.001	2.7	14.4
枫桥	109	1.2	0.35	90	20	50	0.167	0.001	3.6	17.8
黄泽	542	1.7	0.35	90	20	50	0.167	0.001	3.9	15.8
长诏	276	0.9	0.35	90	20	50	0.167	0.001	3.1	12.2
八达	102	1.2	0.35	90	20	50	0.167	0.001	2	11.5
东阳岩下	760	1.1	0.35	90	20	50	0.167	0.001	2.4	13.3
百菊	107	1	0.35	90	20	50	0.167	0.001	2	15.2
埭头	346	2.4	0.35	140	20	80	0.167	0.001	2.6	6.3
洪家塔	151	1.1	0.35	100	20	60	0.167	0.001	3	8.5
桥东村	233	1.7	0.35	100	30	50	0.167	0.001	2.7	10.2
埭溪	162	1.1	0.34	120	20	60	0.167	0.001	2.3	13.5
潜渔	339	1.4	0.35	90	20	50	0.167	0.001	1.5	10.2
诸道岗	235	1.1	0.35	120	20	80	0.167	0.001	2	7.0
百罗畈	180	1.3	0.35	90	30	40	0.167	0.001	2.5	5.9
中洲	253	1.3	0.35	100	20	40	0.167	0.001	2.9	8.1
源口	687	1.2	0.35	100	20	60	0.167	0.001	2.4	10.3
昌化	905	1	0.35	140	40	80	0.167	0.001	2.5	5.8
青山殿	1 429	1.3	0.35	80	20	40	0.167	0.001	2.8	7.5
徐畈	64.1	1.1	0.35	140	20	80	0.167	0.001	2	9.8
永嘉石柱	1 273	1.4	0.35	120	20	40	0.167	0.001	3.2	14.5
碧莲	433	1.1	0.35	90	20	50	0.167	0.001	2.8	10.3
高峰	383	1	0.35	90	20	50	0.167	0.001	2.4	8.2
杨桥头	89.6	1.4	0.35	90	20	50	0.167	0.001	2	13.3

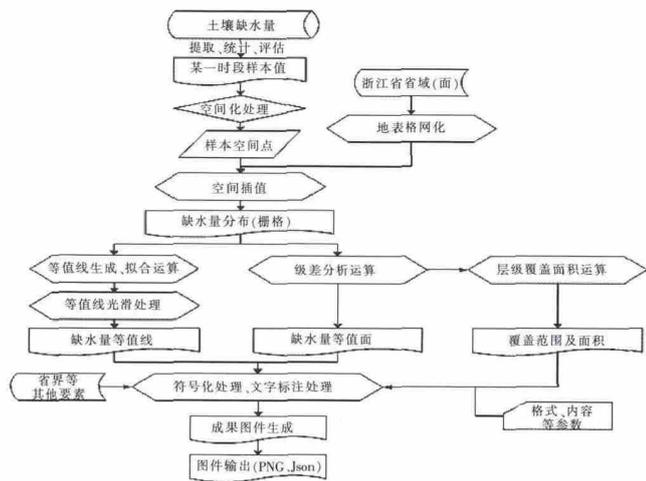


图2 土壤缺水等值线(面)分析流程

Fig.2 The basic flow of soil moisture deficiency contour (level) analysis

数据库计算主要通过 SQL Server 存储过程和用户自定义函数两种方式实现。

3.1.1 存储过程

存储过程是一组为了完成特定动作的 SQL 语句集合,经编译后存储在数据库中,用户通过指定存储过程的名称和参数来执行,且可以重复调用。当存储过程执行一次后,可以将语句置于缓存中,下次执行的时直接调用缓存中的语句,以提高存储过程的性能。本文 39 个代表流域土壤缺水计算系通过定时调用存储过程实现。在存储过程的内部 SQL 编程中,通过读取流域基础资料、模型初始状态、实时雨量和蒸发量等库表信息,并进行相关数据的整合计算,为自定义函数参数赋值,最后通过函数调用方法获取模型最新状态即土壤当前的含水量信息。

3.1.2 自定义函数

自定义函数是 SQL Server 提供的另一强大功能,借助它可以实现较复杂的运算操作和数据输出,并且

可以被其它 SQL 查询灵活调用。在实际应用中,自定义函数往往作为存储过程中的一个特殊查询对象而存在。流域土壤缺水计算的核心算法就是流域产流计算模型,并且需要被反复调用,因此,流域产流计算采用自定义函数来实现。在本文中,土壤缺水存储过程通过调用产流计算模型的自定义函数实现 39 个流域土壤缺水量的循环演算。

3.2 空间分析

3.2.1 流域代表性

将有限代表流域的土壤缺水值内插到浙江省任意地点,并具备可接受的精度,必须满足所选流域在面上具有代表性,代表流域土壤缺水计算准确,土壤缺水在空间上呈连续渐变。本文所选 39 个代表流域在面上分布基本均匀,浙江全省国土面积 $10.36 \times 10^4 \text{ km}^2$,平均每个流域代表 2660 km^2 ;站点分布在除浙北平原、沿海丘陵平原外的 4 个主要地形区、全部 5 个植被片以及主要土壤类型区,在面上总体具有代表性;代表流域的产流模型参数经过率定,且浙江地处南方湿润地区,降水量大,年内土壤蓄满次数多,计算不产生累计误差;土壤缺水值受降雨、陆面蒸散发、土壤、植被等复杂因素影响,这些因素在空间上都是连续渐变的,土壤缺水值也应呈连续变化。因此,代表流域以外区域的土壤缺水值完全可以通过已知流域的值内插分析获得。

3.2.2 空间插值方法

系统逐日计算出 39 个代表流域的缺水量值,并与基础信息表连接,获取相应的三维信息值。由于代表流域分布相对均匀和土壤缺水空间变化比较平缓,本文选用径向基函数 (RBF) 神经网络插值方法。该插值法能保证插值曲面经过所有样本点,属于精确插值,并具有较强的输入和输出映射功能,生成的等值线具有光滑性好,实现简便、快捷等优点^[4]。其基本

表2 模型输入信息表

Table 2 The model input information

流域基础资料	模型初始状态	模型中间状态	模型参数	流域雨量站点
流域 ID	流域 ID	流域 ID	流域 ID	流域 ID
流域名称	较大降水出现时间	模型状态对应时间	模型名称	流域名称
流域面积	上层含水量	上层含水量	参数序号	雨量站点序号
流域蒸发站号	中层含水量	中层含水量	参数变量	雨量站号
流域中心经度	下层含水量	下层含水量	参数值	雨量站名
流域中心纬度		缺水量		权重
		前一天面雨量		

原理是用径向基函数作为隐单元的“基”构成隐含层空间,通过隐含层将低维空间的输入通过非线性函数映射到一个高维空间,再在这个高维空间进行曲线的拟合,寻找一个能够最好地拟合流域土壤含水量样点、且表面曲率最小的曲面,并通过该曲面推求出区域范围内其它任意点的土壤含水量值^[5]。

3.2.3 等值线(面)生成

在插值区域浙江省的相关空间数据的支持下,利用 ArcGIS 提供强大的数据分析处理功能,将全省划分为 0.005×0.005 度的格网,基于 39 个代表流域形心的土壤含水量三位空间数值,采用径向基函数神经网络插值得到全省 0.005×0.005 网格交点的土壤含水量栅格表面,从中分析出 20mm、40mm、60mm、80mm、100mm 等值线,并对线条作平滑处理。以 0~20mm、20~40mm、40~60mm、60~80mm、>80mm 为分级,统计不同级别土壤含水量覆盖面积。同时对不同级差进行配色,对其内部色彩作渐变过渡处理。将土壤含水量面状图、土壤含水量等值线图以及浙江省界等相关要素叠置在一起,进行修饰、符号处理、文本标注等图面美化工作,形成浙江省实时土壤含水量空间分布图(见图 3)。

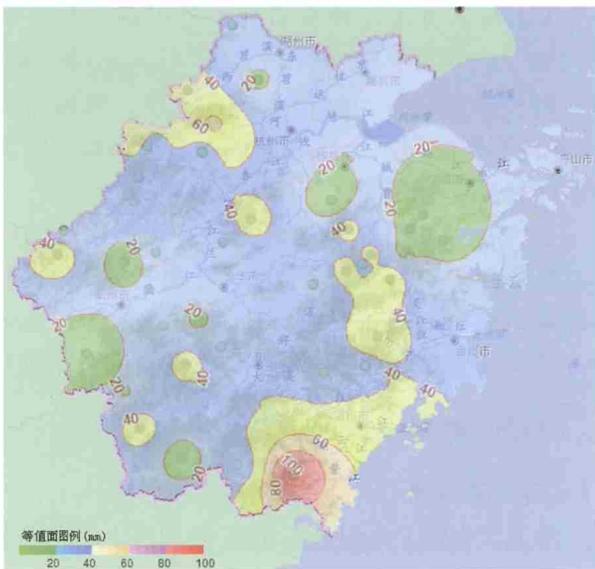


图 3 浙江省 2014 年 2 月 19 日 8 时土壤含水量等值面图

Fig.3 The soil moisture deficiency distribution of Zhejiang province at 8:00 on February 19, 2014

4 实时土壤含水量分布的应用和展望

土壤蓄满产流前的含水量,对于防汛、抗旱、减灾具有重要意义。防汛部门可以根据实时土壤含水量分

布,分析流域对未来降雨的承载能力;国土部门可以根据土壤蓄水是否饱和,研判滑坡、泥石流等地质灾害的发生;水库管理部门可以根据水库坝址以上流域的土壤含水量状况,分析水库可拦蓄雨量;水文作业预报人员根据土壤含水量分布,可以合理确定预报流域的前期影响雨量,开展洪水作业预报;干旱少雨时,含水量还可以转换为缺水率,评估旱情等^[6]。在浙江省的防汛工作中,已经把土壤含水量状况作为汛情研判、会商的重要信息指标之一。土壤含水量也是即将开展的中小河流预警预报必不可少的基础水文信息,随着土壤墒情信息采集系统的建设和完善,未来可与实时土壤含水量分析互为补充,互相校验,以进一步提高土壤含水量分析成果的确定性。目前,浙江省实时土壤含水量分布图已上浙江水情网供查询。

5 结语

实时土壤含水量状况对无资料流域的产流预报、水利工程可拦蓄雨量估算、流域未来降雨可承载能力分析以及旱情研判等都具有重要意义。本文借助遥测通讯、数据库、水文模拟、ArcGIS 空间分析等技术,以有限的代表流域土壤含水量模拟计算为基础,自动分析全省任意地点土壤含水量。所选 39 个代表流域在面上分布基本均匀,涵盖了浙江省的 4 个主要地形区、全部 5 个植被片以及主要土壤类型区,在面上总体具有代表性;代表流域土壤含水量分析在年内多次蓄满的南方湿润地区,不会产生累计误差,计算成果可靠;土壤含水量的空间变化平缓、连续,符合插值要求,采用径向基函数(RBF)神经网络空间插值精确;分析得到的全省实时土壤含水量空间分布能够满足生产需要。各地可结合土壤墒情监测信息对分析的土壤含水量状况进行互验互校,以进一步提高土壤含水量分析成果的确定性。

参考文献:

- [1] 刘金涛,宋惠卿,张行南,等. 新安江模型理论研究的进展与探讨[J]. 水文,2014,34 (1):1-6. (LIU Jintao, SONG Huiqing, ZHANG Xingnan, et al. A Discussion on advances in theories of Xinanjiang model[J]. Journal of China Hydrology, 2014,34(1):1-6. (in Chinese))
- [2] 王厥谋. 赵人俊. 水文预报文集序言 [A]. 赵人俊水文预报文集[C]. 北京: 水利电力出版社, 1994:266. (WANG Juemou. Preface for proceedings of ZHAO Renjun hydrological forecasting [A]. Proceedings of ZHAO Renjun Hydrological Forecasting [C]. Beijing: China WaterPower Press, 1994:266. (in Chinese)) (下转第 77 页)

Analysis of Flood Peak Level Characteristics of Heilongjiang River Basin

DONG Shuhua¹, JIANG Xue², XING Zhenxiang², ZHANG Yuguo¹

(1. Hydrology Bureau of Heilongjiang Province, Harbin 150001, China;

2. School of Water Conservancy & Civil Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: The Heilongjiang River Basin is across China, Russia and Mongolia. The flood disasters frequently happen in the coastal area, which has restricted the local economy development to a certain extent. Therefore, it is necessary to analyze the flood crest characteristics, which will provide a reliable basis for water resources management. This paper implemented correlation analysis between the two adjacent water stations with SPSS. The result shows that the correlation coefficients are larger, there are highly significant correlation and a very obvious statistical significance. The regression analysis shows that there is a linear relationship between the two adjacent peak water levels of the stations, and exclude a constant term. The impact of the precipitation on the flood crest was analyzed. The result shows that the effect of maximum peak rainfall is the most significant, followed by the flood season rainfall, without significant correlation for annual precipitation.

Key words: flood peak level; variation characteristics; SPSS; correlation analysis; rainfall for maximum flood peak

=====

(上接第 63 页)

- [3] Kirkby M. Hillslope runoff processes and models [J]. *Journal of Hydrology*, 1988,100(1-3):315-339
- [4] 张成,屈卫东. 基于 RBF 神经网络的临近空间气温预测模型[J]. *控制工程*, 2008,15(s):106-112. (ZHANG Cheng, QU Weidong. Near space temperature prediction model based RBF neural network [J]. *Control Engineering of China*, 2008,15(s):106-112. (in Chinese))
- [5] 朱明星,张德龙. RBF 网络基函数中心选取算法的研究[J]. *安徽大学学报(自然科学版)*, 2000,24(1):72-78. (ZHU Mingxing, ZHANG De-long. Study on the algorithms of selecting the radial basis function center[J]. *Journal of Anhui University (Natural Science)*, 2000,24(1):72-78. (in Chinese))
- [6] 董前进,谢平. 水文干旱研究进展[J]. *水文*, 2014,34(4):1-5. (DONG Qianjin, XIE Ping. Advances in hydrological drought research [J]. *Journal of China Hydrology*, 2014,34(4):1-5. (in Chinese))

Automatic Analysis and Implementation of Spatial Distribution of Real-time Soil Moisture Deficiency in Zhejiang Province

WU Yuankang, QIU Chao, WANG Hongying, YU Xigen

(Hydrology Bureau of Zhejiang Province, Hangzhou 310009, China)

Abstract: According to the requirements of representation and uniform distribution on the surface of river basin, 39 representative watersheds were selected among the stations in the whole province. The runoff yield parameter calibration of the Xinanjiang model which has a good adaptability in Zhejiang Province was used. Based on the real-time rainfall and evaporation information uploaded by hydrological telemetry system, database, hydrological simulation and ArcGIS spatial analysis technology, daily automatic analysis of spatial distribution of soil moisture deficiency in the whole province was realized by the real-time simulation of soil moisture deficiency in representative river basins.

Key words: soil moisture deficiency; spatial distribution; automatic analysis; Zhejiang Province