

鄱阳湖水体淹没模型研究*

黄淑娥¹⁾ 钟茂生²⁾

¹⁾(江西省气象科学研究所,南昌 330046)

²⁾(江西师范大学计算机学院,南昌 330046)

摘 要

根据丰水季鄱阳湖流域降水对鄱阳湖水位的影响研究,建立鄱阳湖水位变化降水预测模型,并利用近10年卫星遥感对鄱阳湖水域面积的监测及相应时相鄱阳湖水位资料的分析,研究出丰水季鄱阳湖水体淹没模型,解决了洪水季,云天状况下,气象卫星难以监测下垫面洪涝灾害的难题。通过对鄱阳湖水体淹没模型进行模拟验证,结果表明,鄱阳湖实施退田还湖以后,湖体水面模拟结果与遥感测算值相对误差为0.9%~3.6%,模拟效果好。

关键词: 遥感 流域降水 水位预测模型 水体淹没模型 鄱阳湖

引 言

鄱阳湖是我国第一大淡水湖泊,也是我国洪涝灾害严重发生区。湖区轻度以上洪涝发生频率达80%以上,中度以上达60%~70%,重度以上为33%~56%。近十年来鄱阳湖区洪涝发生更为频繁,特大洪涝灾害发生频率也明显加大。如,1995、1998、1999年分别出现了20世纪罕见的特大洪涝灾害。对洪涝灾害监测的研究已从传统的雨量观测站网、水文观测站网的研究发展到结合传统的观测站网的洪灾遥感监测研究。卫星遥感监测洪涝已从采用气象卫星资料(NOAA/AVHRR、FY-1)的应用,向雷达卫星、环境与资源卫星资料(RADAR SAT/SAR、EOS/MODIS、LANDSAT/TM)等的方向发展。流域水文模型的研究也开始产生了根本性的变化,主要表现在计算机技术、地理空间技术和遥感技术等方面的应用。美国利用TM资料,获取在纽约北部Black河流的洪水资料,并结合现场观测资料,建立估算河流洪水量的模型。水体淹没模型主要有动态模型和静态模型,动态模型通过求解水文水力学模型来获取水面高程,静态模型通过对地面高程数据进行空间分析,生成数字高程模型(DEM)来获取淹没水深,采用DEM提取流域特征数字的方法已趋向成熟^[1],WMS(Water Modeling System)提供了能够模拟水文全过程的工具^[2]。本文根据鄱阳湖水系流域降水对鄱阳湖水位的影响,建立鄱阳湖水位降水预测模型,并根据遥感对鄱阳湖水面变化的监测结果,对鄱阳湖水体淹没模型进行了研究,旨在探讨根据中尺度范围降水的预报,来预测汛期云天状况下,大型湖泊水体淹没高度和淹没范围。

* 本文得到国家科技部2000年公益研究项目“鄱阳湖区洪涝灾害遥感监测系统的研究”的资助。

2003-03-24收到,2003-07-14收到修改稿。

1 资料来源与处理方法

鄱阳湖位于江西省北部,长江中下游南岸,湖体南北长 173 km,东西平均宽度 16.9 km,最宽处约 74 km;入长江水道最窄处的屏峰卡口,宽约 2.8 km;湖岸线总长 1200 km。本研究区域范围为江西境内鄱阳湖水系流域,面积 162223 km²,约占长江流域面积的 9%,占江西省面积的 97%以上。鄱阳湖水系由江西赣江、抚河、信江、修河、饶河(以下称为“五河”)流域及鄱阳湖区间诸小河所组成(见图 1)。在鄱阳湖水系中,赣江流域面积为 80948 km²,抚河流域 15811 km²,信江流域 15535 km²,修河流域 13045 km²,饶河流域 11387 km²。根据降水对鄱阳湖水位贡献的时效性影响,将赣江流域分为赣江上游和赣江中游。

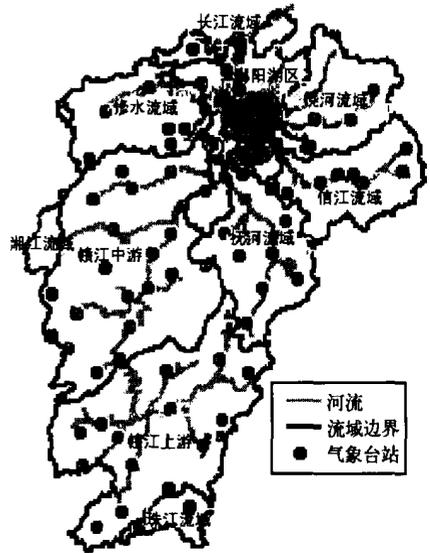


图 1 鄱阳湖流域分布图

所引用的资料主要有三部分:(1)鄱阳湖流域各气象台站 2002 年 4 月 1 日~6 月 30 日逐日降水资料;(2)2002 年 4 月 1 日~6 月 30 日鄱阳湖各水文站逐日水位资料;(3)近 10 年鄱阳湖区 NOAA/AVHRR、LANDSAT/TM、RADARSAT/SAR 等卫星遥感资料和相对应时相的鄱阳湖湖口水位资料。

对赣江上游、赣江中游、抚河流域、修河流域、饶河流域、鄱阳湖区各区域内气象台站汛期逐日降水资料进行区域平均,获取流域逐日降水量平均值。为了解不同季节鄱阳湖各水文站水位区域变化情况,本文对鄱阳湖的湖口、康山、都昌、棠荫、星子 5 个水文站的水位资料进行了比较分析。不同季节鄱阳湖各水文站水位存在一定的区域差异,基本表现为:(1)鄱阳湖水位越高,各测站水位的区域差异越小;(2)水位越低,区域差异越大;(3)夏、秋季水位区域差异不明显,冬、春季存在一定的区域差异。

图 2 为鄱阳湖 5 个水文站水位季节变化图。由图 2 可以看出,11 月至翌年 3 月,鄱阳湖湖体各测站水位差异非常大。此期正值鄱阳湖枯水季,鄱阳湖内湖面积明显缩小,湖区许多洲滩露出,鄱阳湖湖体其它测站水位与湖口之差可达几米,此时期湖口水位难以代表鄱阳湖湖体水位;4~7 月上旬,为江西省主汛期,鄱阳湖因接纳江西“五河”的来水,处于涨水季节,湖体水位相对较高,而此时长江水位相对较低,此期间鄱阳湖水位存在较小的区域差异;7 月中旬至 9 月,鄱阳湖水位区域差异几乎非常小。此期间,正值长江主汛期,长江与鄱阳湖水位均维持在较高的水平,湖区特大洪涝灾害也多发生在该时期的 7~8 月份。由此可知,在鄱阳湖特大洪涝发生期,湖区各水文站水位区域变化不甚明显。因而,本研究中采用鄱阳湖湖口水位代表鄱阳湖水位,对有关问题进行研究。

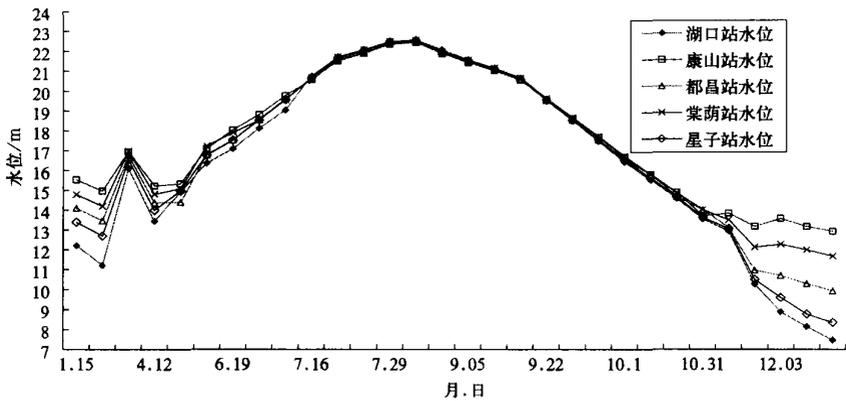


图2 鄱阳湖5个水文站水位随季节变化的曲线

2 鄱阳湖水位变化降水预测模型

鄱阳湖主要承纳江西“五河”的来水,其水位变化受“五河”流域降水的影响巨大。在“五河”流域区间内,由于各河流的路径和到鄱阳湖的距离不同,不同时间的降水对鄱阳湖水位的影 响不同,根据这一特点,选取各河流域不同时间的逐日降水,分析其对鄱阳湖水 位的影响。具体选取的因子有:赣江上游前10天的逐日降水;赣江中游、抚河流域、信江 流域、修河流域、饶河流域前5天的逐日降水;鄱阳湖区当天至前4日的逐日降水以及鄱 阳湖湖口站前1天的水位等共计41个因子进行逐步回归。

本研究中采用MatLab 6.0工具中的stepwise(X, Y)进行后向逐步回归,该工具能够 用图形可视化的形式进行因子筛选。研究中将41个因子全部纳入模型中,回归时,总是 将在当前模型中参数(parameter)绝对值为最小的因子移出模型,也即剔除最不显著的变 量。当遇到误差的均方根(RMSE)增加,同时F值开始下降时,则逐步回归结束。另外, 回归时考虑到每个流域对鄱阳湖水位的贡献,在方法上综合考虑每个流域内“贡献”的参 数绝对值最小的那些因素,并将它们移出模型,从而建立了江西省鄱阳湖水系降水对鄱阳 湖水位变化的影响模型:

$$H_{hk}(i) = 1.002 \times H_{hk}(i-1) + 0.1218 \times R_{pyh}(i-2) + 0.006293 \times R_{gjsy}(i-7) + \\ 0.004631 \times R_{gzy}(i-1) + 0.00383 \times R_{fh}(i-5) + 0.004865 \times R_{xh}(i-5) + \\ 0.005318 \times R_{rh}(i-3) + 0.003083 \times R_{xj}(i-4) - 0.2144$$

其中 $RMSE = 0.1663$, $F = 2384$, $R^2 = 0.9962$; $H_{hk}(i)$ 为第 i 天鄱阳湖湖口预测水位; $H_{hk}(i-1)$ 为第 $i-1$ 天鄱阳湖湖口水位; $R_{pyh}(i-2)$ 为鄱阳湖区第 $i-2$ 天平均降水量; $R_{gjsy}(i-7)$ 为赣江上游第 $i-7$ 天平均降水量; $R_{gzy}(i-1)$ 为赣江中游第 $i-1$ 天平均降水量; $R_{fh}(i-5)$ 为抚河第 $i-5$ 天平均降水量; $R_{xh}(i-5)$ 为修河第 $i-5$ 天平均降水量; $R_{rh}(i-3)$ 为饶河第 $i-3$ 天平均降水量; $R_{xj}(i-4)$ 为信江第 $i-4$ 天平均降水量。

图3为鄱阳湖水位降水预测模拟图(4月1日开始模拟)。由图3可知,在丰水期(鄱 阳湖水位 ≥ 15 m),鄱阳湖模拟预测水位与实测水位趋势一致,模拟效果好。在枯水期

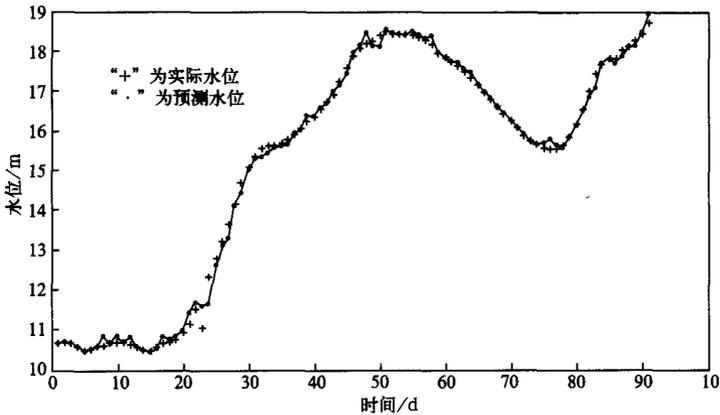


图3 鄱阳湖湖口水位随鄱阳湖水系日降水变化模拟图(自2002年4月1日开始)

(鄱阳湖水位 < 13 m), 鄱阳湖预测水位与实测水位略有差异, 模拟效果略差于丰水期。

3 鄱阳湖水体淹没预测模型及其验证

3.1 鄱阳湖水体淹没预测模型

根据近10年卫星遥感对鄱阳湖水域面积季节变化的动态监测资料, 结合相应时相的水文资料分析, 对鄱阳湖水体淹没模型进行了研究。采用统计方法建立了鄱阳湖水体淹没模型, 并绘制了水位随湖体水面变化的关系曲线。根据鄱阳湖水位降水预测模型和鄱阳湖水体淹没模型, 可对鄱阳湖洪涝期水域面积进行预测, 以弥补云天状况下可见光谱遥感难以监测到鄱阳湖水体淹没的不足。根据鄱阳湖实施退田还湖工程前后, 鄱阳湖水文特征发生变化这一特点, 本文分别对鄱阳湖退田还湖前后水体淹没模型进行了研究分析。

(1) 实施退田还湖前(1998年以前), 鄱阳湖水体淹没模型:

$$S = 18.56 H^3 - 624.55 H^2 + 7020.10 H - 24370.0 \quad H < 15 \text{ m}, \quad R = 0.984$$

$$S = 1257.78 e^{0.0639 H} \quad H \geq 15 \text{ m}, \quad R = 0.922$$

(2) 实施退田还湖后(1999年后), 鄱阳湖水体淹没模型:

$$S = 5335.9 \ln(H) - 11268 \quad R = 0.974$$

式中 H 为湖口站水位, S 为鄱阳湖水域面积(包括主体及附近水域)。

图4为鄱阳湖实施退田还湖前后遥感测算的水面随对应水位变化的关系曲线。由图4a可知, 鄱阳湖水面随湖口水位呈台阶式的变化, $H = 15 \text{ m}$ 和 $H = 21.68 \text{ m}$ 成为曲线上台阶的两个关键水位。鄱阳湖是一个季节性变化非常明显的湖泊, 当湖口水位在 15 m 以下时, 鄱阳湖水面随水位的变化较为缓慢, 当水位接近 15 m 附近时, 鄱阳湖水面变化极大, 此水位为鄱阳湖枯水季与丰水季的转折水位。图4a还可看出, 在丰水季, 当湖口水位上升至 15 m 以上时, 随着水位的升高, 鄱阳湖水面的增加又趋于缓慢, 但当鄱阳湖水位增加至 21.68 m 附近时, 水位的微小变化将引起鄱阳湖水面的巨大变化, 此时水面随水位的变化曲线几乎为水平。因而, 鄱阳湖湖口水位 21.68 m 为鄱阳湖洪水期关键水位, 高于该水位, 湖体淹没面积明显增加, 该水位已作为江西省对鄱阳湖实施退田还湖的

水位。由图 4b 可知,在鄱阳湖实施平垸行洪、退田还湖以后,丰水期水面(S)与水位(H)的关系呈对数变化。在前期,鄱阳湖水面随水位的变化明显增加,但进入鄱阳湖高水位期,尤其进入警戒水位(19 m)后,鄱阳湖水域面积随水位高度的变化较小,曲线趋于缓和,这主要是由于鄱阳湖实施退田还湖和加固重点圩堤的作用。

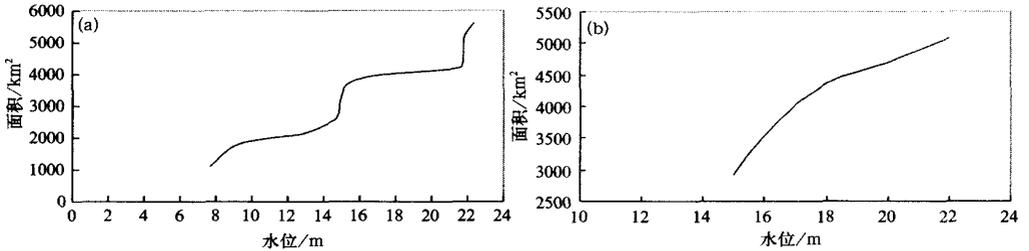


图 4 鄱阳湖水面随水位变化曲线

(a) 退田还湖前, (b) 退田还湖后

3.2 水体淹没模型验证

本研究主要是针对洪水期鄱阳湖水体淹没情况进行研究,因而本文只对丰水季模型进行验证。为比较分析鄱阳湖实施退田还湖前后所研究的水体淹没模型的模拟预测效果,分别采用 1998 和 2002 年的遥感资料(资料未参与模型的建立,代表实施退田还湖前后两种情形),对水体淹没模型进行验证分析,结果见表 1。由表 1 可知,模拟计算的水域面积基本上都小于遥感测算值。由表还可知,在退田还湖前的 1998 年 6 月 19 日和 8 月 5 日两时相的模拟与实测值相差较大,其相对误差达 5% 以上,可能是由于这两时相的遥感资料均存在少量的云,遥感测算水域面积存在一定的误差。对于退田还湖以后,模拟值与遥感测算值相对差为 0.9%~3.6%,相对误差均较小,模拟效果好。因而在高水位期,尤其在鄱阳湖洪涝发生季,根据鄱阳湖湖口水位资料,利用已建立的鄱阳湖水体淹没模型,可以很方便地预测出鄱阳湖水域面积的大小。

表 1 鄱阳湖水域面积遥感测算与模拟结果比较

时间 (年.月.日)	湖口水位 (m)	遥感测算面积 (km ²)	模拟计算面积 (km ²)	绝对差 (km ²)	相对差 (%)	备注
1998.06.19	17.08	3965	3747	218	5.5	退田还湖前(部分云)
1998.08.05	22.38	5624	5262	362	6.4	退田还湖前(部分云)
1998.08.23	21.78	5186	5086	100	1.9	退田还湖前
2002.05.26	18.33	4408	4251	157	3.6	退田还湖后
2002.06.08	16.40	3754	3658	96	2.6	退田还湖后
2002.07.12	19.13	4609	4480	129	2.8	退田还湖后
2002.07.31	17.99	4112	4152	40	1.0	退田还湖后
2002.08.24	19.68	4673	4631	42	0.9	退田还湖后

4 结 论

(1) 鄱阳湖是一个过水性、季节性变化非常明显的湖泊。然而,在高水位期的 7 月中

旬至9月(此期间长江水位处于最高期),尤其特大洪涝发生期,鄱阳湖湖体不同测站的水位差不明显,湖口水位完全可以代表鄱阳湖水位;在江西省汛期的4月至7月上旬,鄱阳湖处于明显的涨水期,此期鄱阳湖湖体不同测站的水位差异也较小,湖口水位基本可以代表鄱阳湖水位。枯水季鄱阳湖湖体水位差异明显。

(2) 在江西汛期,鄱阳湖水位变化与鄱阳湖水系各流域的降水变化关系非常密切,根据鄱阳湖水系各流域降水对鄱阳湖水位的影响分析,建立了鄱阳湖水位变化预测模型,根据该模型,利用气象部门对流域降水的预报,可预测未来鄱阳湖水位的变化。

(3) 根据多平台卫星遥感资料对鄱阳湖水面的监测分析,研究出丰水季,鄱阳湖退田还湖前后水体淹没模型。并对模拟结果与遥感测算结果进行了比较分析,在鄱阳湖实施退田还湖后,模拟结果与实测值相对误差为0.9%~3.6%,模拟效果好。

(4) 本研究解决了鄱阳湖区洪涝季,在云天状况下,气象卫星难以监测到鄱阳湖水域面积变化的不足,根据流域降水预报和鄱阳湖水位降水预测模型及水体淹没模型,可预测出鄱阳湖水位的变化和洪泛区洪水淹没范围。

参 考 文 献

- 1 Tribe A. Automated recognition of valley lines and drainage networks from grid digital elevation models: a review and a new method. *Journal of Hydrology*, 1992, 139(1/4):263~293.
- 2 Nelson E J. WMS v6.1 Tutorials, Environmental Modeling Research Laboratory, Brigham Young University, Provo, Utah, 2001. 236.

STUDY OF WATER FLOODING MODEL OF POYANG LAKE BASED ON BASIN PRECIPITATION

Huang Shue¹⁾ Zhong Maosheng²⁾

¹⁾ (Meteorological Research Institute of Jiangxi Province , Nanchang 330046)

²⁾ (Computer College of Jiangxi Normal University , Nanchang 330046)

Abstract

Based on the study of the precipitation of water systems impacting on water level of Poyang Lake in some water seasons, a forecast model of water level changing with precipitation is developed. Using the analysis results of water area of remote sensing monitoring and water level of Poyang Lake in the same time in lately ten years, the water flooding model of Poyang Lake in much water season is studied. And solved a trouble that meteorological satellites can not monitor the water area in water flooding time in cloudy weather. Through checking up the modeling results, it is proved that the modeling effects are good after quitting cultivation and resuming lake in Poyang Lake area, the relative difference between modeling value and remote sensing monitoring data are from 0.9 to 3.6 percent.

Key words: Remote sensing Basin precipitation Forecast model of water level Water flooding model Poyang Lake