

文章编号: 1004- 4574(2011) 02- 0196- 07

# 地形因子对海南岛台风降水分布影响的估算

刘少军<sup>1,2</sup>, 张京红<sup>2</sup>, 何政伟<sup>1</sup>, 蔡大鑫<sup>2</sup>, 田光辉<sup>2</sup>

( 1. 成都理工大学, 四川, 成都 610059; 2. 海南省气象科学研究所,  
南海气象防灾减灾重点实验室, 海南 海口 570203)

**摘 要:** 台风登陆过程中, 地形对台风降水有明显的作用, 及时了解台风过程中降水的空间分布信息对灾害预测预警有着重要的意义。基于最小二乘的多元线性回归方法, 利用 1953- 2005 年间登陆海南岛的台风(不包括其他热带气旋)的降水资料, 建立了台风过程中年平均降水量与地形因子(地形高程、坡度、坡向)的关系模型, 估算了海南岛台风过程中降水量的分布, 分析了地形对其的影响, 为后期台风灾害过程中降水的地形影响分析提供参考。

**关键词:** 地形; 台风; 降水; 海南岛

中图分类号: P444

文献标志码: A

## Estimate of topography influences on precipitation distribution during typhoon process in Hainan Island

LIU Shao-jun<sup>1,2</sup>, ZHANG Jing-hong<sup>2</sup>, HE Zhengwei<sup>1</sup>, CAI Da-xin<sup>2</sup>, TIAN Guanghui<sup>2</sup>

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu, Chengdu 610059 China; 2. Research Institute of Hainan Meteorological Bureau, Key Laboratory of Meteorological Disaster Preventing and Reducing of South China Sea, Haikou 570203 China)

**Abstract** Topography can influence the precipitation distribution during typhoon process, so it is important to understand the spatial distribution of precipitation for typhoon forecasting and early warning. Based on partial least squares regression and precipitation data of typhoons landing on Hainan Island (not including the other tropical cyclone) from 1953 to 2005, relation model between annual mean precipitation and topographical factors (terrain elevation, slope, aspect) was built to estimate the precipitation distribution in Hainan Island, to analyze precipitation influence from topography, which may give a reference to analysis of topographic influence on precipitation in later stage of typhoon disaster process.

**Key words** topography; typhoon; precipitation; Hainan Island

海南素有“台风走廊”之称, 是受台风影响比较严重的区域之一。台风是一个移动的涡旋, 四周的风向不同, 所以地形的强迫抬升作用也因台风的方位不同而不同, 地形强迫抬升影响台风的降水强度和分布。

降水数据一般都来自于有限的气象站点观测, 进而插值生成连续分布的空间信息。用气象观测站的观测数据进行空间插值精度有限, 主要原因有: 降水量的空间分布受到多种地形因素的影响, 气象观测站点的位置分布及其密度受到地形条件的制约<sup>[1]</sup>。由于传统的气象要素插值方法: 如反距离加权插值法、克里金(Kriging)插值法、样条法和趋势面法, 当观测资料稀疏和地形复杂时, 插值准确性很难保证, 但用回归分析

收稿日期: 2009- 11- 16 修回日期: 2010- 09- 21

基金项目: 中国气象局推广项目(CMATG2009MS18), 海南省自然科学基金项目(40884, 409005)联合资助

作者简介: 刘少军(1980-), 男, 博士研究生, 副研究员, 主要从事遥感与地理信息系统应用研究. E-mail: odu@163.com

法来建立气象要素与空间变量如地理位置、地形等的关系方程, 能真实反映地形上各要素的空间分布<sup>[2]</sup>。由于降水的形成和分布是一个复杂的过程, 影响降水的因素很多, 如气象站点的经纬度、站点高程、坡向、坡度、离水体的距离等<sup>[3]</sup>。单纯考虑地理地形条件下影响的降水即地形性降水的分布, 其影响是相对常定的, 因此, 可以用多元回归分析方法建立降水与地理地形等影响因子间的关系<sup>[2]</sup>。国内外学者采用了不同的方法来研究降水与地形的关系, 如 Basist Goodale Naoum 等建立降水与地形的回归方程<sup>[4-6]</sup>, 舒守娟等<sup>[8]</sup>建立了中国区域的年、季降水量和地理、地形因子的关系模型, 陈贺等<sup>[7]</sup>建立了于石羊河流域建立降水量与各因素之间的关系, 张升堂等<sup>[9]</sup>基于拉格朗日插值法修正地形对分布式降水的影响, 周锁铨等<sup>[9]</sup>利用 GIS 技术和逐步插值方法建立了长江中下游地区平均季降水和年降水与 DEM、坡向、坡度等地形数据的回归方程。

本文选择 1953–2005 年间登陆海南岛的典型台风为例 (不包括其他的热带气旋), 建立海南岛地形要素与台风过程中降水量间的回归方程, 得到地形与台风过程中年平均降水的关系, 以确定地形与降水在统计意义上的关系, 进而计算栅格上的降水量, 为后期台风灾害过程中降水受地形影响分析提供更明确的依据, 比较准确地再现台风过程中实际降水分布<sup>[9]</sup>。

## 1 模型的建立

普通最小二乘方法和偏最小二乘方法是进行多元统计分析结构方程建模的两种常用方法, 其中普通最小二乘法假设待分析数据严格服从正态分布, 并且需要较大的样本量才能保证参数估计的精度; 而偏最小二乘法是一种新型的多元统计数据分析方法, 不受样本容量和正态分布约束条件的限制, 更适合多元评价建模分析<sup>[10]</sup>。由于在固定的研究区域, 因范围很小, 测站的经纬度与大气环流可不予考虑。对于中、小区域, 地理位置 ( $\lambda$ ,  $\varphi$ ) 的差异甚小, 可在式中当作常数<sup>[11]</sup>。在山区特别是坡地上, 由于空气扰动和阻滞作用, 降水与海拔高度、坡向、坡度有密切的关系, 因此, 考虑山区降水时, 坡度、坡向是不可忽略的因子<sup>[12]</sup>。根据海南的实际情况, 为建立一个精确可靠的地形因子与台风过程降水的统计分布模型, 采用偏最小二乘的多元线性回归统计方法, 建立地形因子与降水分布的关系:

$$P = a_0 + a_1 h + a_2 \alpha + a_3 \beta. \quad (1)$$

式中: 降水量  $P = P(h, \alpha, \beta)$ ;  $h$  为地形高程;  $\alpha, \beta$  分别为坡度和坡向,  $a_0$  为常数项,  $a_1 - a_3$  是各项的系数。

通过对 1953–2005 年间登陆海南岛的典型台风降水资料, 提取了 18 个观测站点 (图 1) 记录的台风过程引起降水的年平均值, 通过偏最小二乘方法, 并对建立的模型进行误差修正, 确立了台风过程中年平均降水与地形的关系式:

$$P = 84.33598 + 0.058869h - 1.52954\alpha - 0.01486\beta. \quad (2)$$

由偏最小二乘法的多元线性回归分析原理可知, 回归方程各变量的系数大小及其正负值即表示该变量对应变量降水的正负贡献及其贡献的大小, 可以看出, 坡度对降水的影响最大, 其次是高度和坡向。以年平均降水为例, 对原始数据和拟合方程的相关性进行 F 检验及对回归参数进行 t 检验。结果显示, 建立的线性回归模型通过  $\alpha = 0.01$  的 F 检验, 回归效果较显著。

## 2 地形因子对海南岛台风降水分布影响的估算

### 2.1 DEM、坡度和坡向数据

为推算台风过程引起降水的年平均值分布特征, 采用 1:25 万地理信息数据, 提取空间分辨率为  $1\text{ km} \times 1\text{ km}$  数字高程模型 (digital elevation model DEM), 该图是研究地形与降水之间关系的最基础的图层 (图 2), 在 DEM 图层的基础上, 利用 ARCGIS 的空间分析模块生成坡度和坡向图 (图 3–4)。



图 1 气象站空间分布  
Fig 1 Spatial distribution of meteorological stations

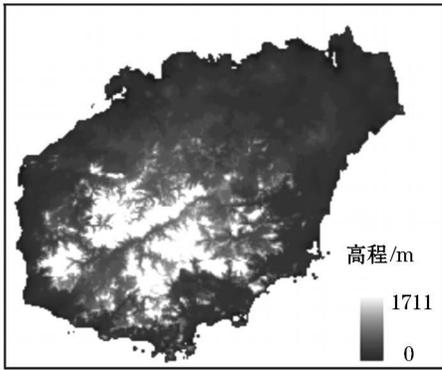


图 2 海南岛地形分布图  
Fig 2 Topographic distribution map of Hainan Island

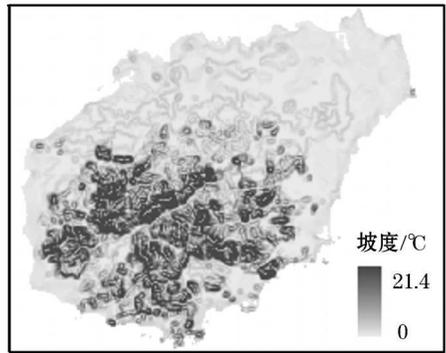


图 3 海南岛坡度分布图  
Fig 3 Slope distribution map of Hainan Island

### 2.2 降水的估算

在 ARCGIS 软件的栅格计算器中, 根据式 (2) 确定的地形与降水在统计意义上的关系, 计算不同栅格上的降水量, 插值计算的台风过程中年平均降水分布图 (图 5), 降水的空间分辨率为  $1\text{km} \times 1\text{km}$ 。通过对 1953–2005 年间登陆海南岛的台风产生的年平均降水分析, 台风过程中年降水量与地形因子呈明显的线性关系, 海南岛台风过程降水变化的空间特征表现与地形分布存在明显的一致型, 中部高, 南北两侧低, 降水量最大的区域分布在海南岛中部山区 (五指山、保亭、琼中、白沙), 最大可达 177mm, 最小分布在海南岛西部沿海区域 (东方、昌江), 最小值为 69mm, 其主要原因为登陆海南岛的台风以东南方向为主, 同时由于中部为山区, 地形起到了强迫抬升作用, 在迎风坡产生了大量的降水; 在海南岛的西部, 由于台风受地形摩擦力影响, 强度减弱, 产生的降水明显偏少。由估算降水和实际降水的误差分析, 平均相对误差分别为 1.247%, 可以满足实际应用。

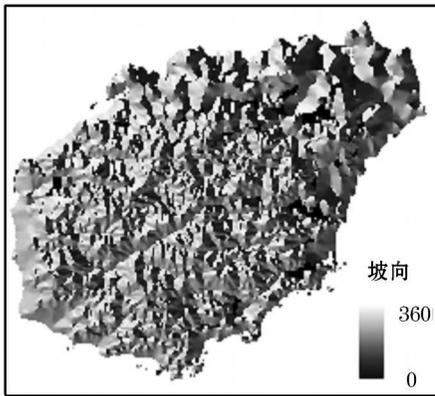


图 4 海南岛坡向分布图  
Fig 4 Slope aspect distribution map of Hainan Island

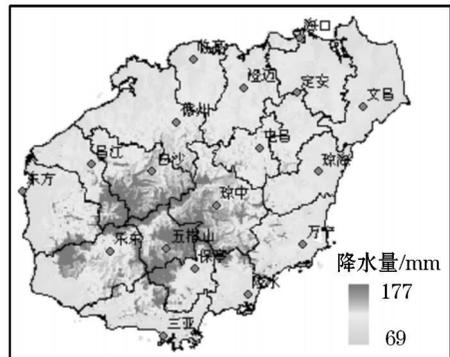


图 5 海南岛台风过程中年平均降水分布  
Fig 5 Distributions of annual mean precipitation during typhoon process in Hainan Island

### 3 结 论

选择 1953–2005 年间登陆海南岛的典型台风为例, 建立了台风过程中降水与地形的估算模型, 实现了海南岛台风过程中年平均降水的空间分布, 反映了台风过程中降水分布的基本特征, 具有一定的实用价值, 为后期台风灾害过程中降水受地形影响分析提供依据。

存在问题: 由于影响降水的因素很多, 很难建立一个通用的降水插值模型, 仍然存在许多问题需要解决。在实际资料收集, 仅考虑了 1953–2005 年间登陆海南岛的典型台风, 对其他热带气旋产生的降水未考虑, 在模型建立方面有待进一步完善, 以便能更准确反映降水分布特征。

## 参考文献:

- [ 1 ] 徐成东, 孔云峰, 全文伟. 线性加权回归模型的高原山地区域降水空间插值研究 [ J ]. 地球信息科学, 2008, 10(1): 14- 19.
- [ 2 ] 舒守娟, 王元, 熊安元. 中国区域地理、地形因子对降水分布影响的估算和分析 [ J ]. 地球物理学报, 2007, 50(6): 1703- 1712.
- [ 3 ] 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.
- [ 4 ] Basist A , Bell G D, Meentemeyer V . Statistical relationships between topography and precipitation patterns [ J ]. J Climate 1994 , 7 ( 9 ) : 1305- 1315
- [ 5 ] Goodale C L, Alber J D, Ollinger S V . Mapping monthly precipitation temperature and solar radiation for Ireland with polynomial regression and digital elevation model [ J ]. Climate Research 1998 10: 35 - 49
- [ 6 ] Naoum S, Tsanis I K . Topographic precipitation modeling with multiple linear regression [ J ]. Journal of Hydrologic Engineering 2004 9: 79- 102
- [ 7 ] 陈贺, 李原园, 杨志峰, 等. 地形因素对降水分布影响的研究 [ J ]. 水土保持研究, 2007, 14(1): 119- 122.
- [ 8 ] 张升堂, 康绍忠. 基于拉格朗日插值法修正地形影响的分布式降水模型研究 [ J ]. 水文, 2004, 24(6): 6- 9
- [ 9 ] 周锁铨, 孙琪, 肖桐松, 等. 长江中上游区基于 GIS 的不同时间尺度降水插值方法探讨 [ J ]. 高原气象, 2008, 27(5): 1021- 1031.
- [ 10 ] 陈永国. 偏最小二乘法在公共部门绩效多元评估中的应用 [ J ]. 系统工程理论与实践, 2009, 29(1): 89- 96.
- [ 11 ] 陆忠艳, 马力, 缪启龙, 等. 起伏地形下重庆降水精细的空间分布 [ J ]. 南京气象学院学报, 2006, 29(3): 408- 412
- [ 12 ] 周锁铨, 薛根元, 周丽峰, 等. 基于 GIS 降水空间分析的逐步插值方法 [ J ]. 气象学报, 2006, 64(1): 100- 111