

文章编号:1673-8411 (2015) 01-0038-06

# 基于 GIS 的广西电网流域面雨量计算方法与监测预警

钟利华<sup>1</sup>, 钟仕全<sup>2</sup>, 曾鹏<sup>1</sup>, 袁丽军<sup>1</sup> 李勇<sup>1</sup>

(1.广西气象服务中心, 南宁 530022; 2.广西气象减灾研究所, 南宁 530022)

**摘要:**以广西电网直调水电厂所处的西江流域为研究对象,基于 GIS 技术,在对西江流域面雨量监测区域基础信息处理基础上,采用比较分析方法,开展分流域面雨量计算方法研究,结果表明:(1)以 1:5 万数字高程模型为数据基础,针对西江流域河网、自动气象站、水电站等分布特点,结合水系、等高线特征,沿水系分水岭对西江流域干流进行精细化分区,为分流域面雨量计算提供基础参数;(2)对分流域面雨量采用算术平均法与泰森多边形法计算,结果为两种方法计算结果偏差较小,取算术平均法为流域分区面雨量计算方法;(3)逐小时处理、计算面雨量实时数据,实现西江流域面雨量的实时监测与预警服务。

**关键词:**GIS 技术; 基础信息处理; 面雨量; 计算方法; 监测预警

中图分类号:P49

文献标识码:A

## The Calculation Method, Real-time Monitoring and Warning of areal precipitation for Xijiang River Basin by GIS

Zhong lihua<sup>1</sup>, Zhong shiquan<sup>2</sup>, Zeng peng<sup>1</sup>, Yuan lijun<sup>1</sup>, Li yong<sup>1</sup>

(1.Guangxi Meteorological Service Center; Nanning Guangxi China 530022; 2.Guangxi Meteorological Disaster Reduction Institute; Nanning Guangxi China 530022;)

**Abstract:** Taking Xijiang river basin where the Guangxi hydraulic power plant locates as the research object, based on basic processing the information of the areal precipitation monitoring in Xijiang river basin and GIS technique, calculation method of basin area rainfall was carried out by using comparative analysis method, the results show that: (1) Based on the data of 1:50000 digital elevation model, according to the characteristics of distribution of Xijiang river basin, automatic weather station and hydropower station, the refine area partition of Xijiang river trunk stream is made along the river watershed to provide basis parameters of basin areal rainfall calculation; (2) The obtaining Basin areal rainfall by using the arithmetic mean method and the Thiessen polygon method show the smaller deviation; (3) calculation of areal rainfall by hours realize real-time monitoring and early warning of Xijiang river basin areal precipitation.

**Key words:** GIS technique; basic information processing; areal precipitation; calculation method; real-time monitoring and warning

## 引言

广西电网直调水电厂分布在珠江流域上游的西江干流上,广西电网电力调度、水电厂发电生产和区域防汛抗洪决策的一个重要依据是流域水位和流量

的变化,水位和流量的预报又依赖于流域内面雨量的估计,流域面雨量能客观地反映该流域降雨情况,为水文学上一个重要的参数,如何准确、实时地估计流域内面雨量,首先需要在流域监测区域内,提取精确的、符合流域水系特征的流域边界,以此作为基本

收稿日期:2014-10-15

基金项目:广西科学研究与技术开发计划项目(桂科攻 1355010-4)

作者简介:钟利华(1962-),女,高级工程师,主要从事天气预报研究与服务。Email: zhonglh58@163.com

参数对流域进行小流域划分,在此基础上,开展分流域面雨精细化的计算,通过对实时数据的处理和计算,最后形成监测产品;许多国内学者在相关领域做出了大量研究,秦福来<sup>[1]</sup>等依据数字高程模型(DEM)提取流域特征信息的基本原理,应用密云水库北部流域的 DEM 进行了流域的刻划及 SWAT 模型运行单元水文响应单元的生成;杨梅<sup>[2]</sup>等以岷江流域都江堰区域为试验研究对象,论述常用的基于数字高程模型(DEM)提取流域河网水系的方法和原理,采用 1:25 万 DEM 作为基本的地形数据,应用 ArcGIS 地理信息系统软件进行河网水系提取;任立良<sup>[3]</sup>利用数字高程数据自动提取流域水系,构建数字高程流域水系模型,包括数字高程模型中凹陷区域的识别和处理、平坦部位水流流向设定、子流域集水单元勾划、河网生成、河网与子流域编码及河网结构拓扑关系的建立;曾红伟<sup>[4]</sup>等以洮河流域为研究对象,利用 Arc Hydro Tools,分析了 3 种 DEM 在不同地貌类型中数字河网提取;方慈安<sup>[5]</sup>等运用泰森多边形法、逐步订正格点法、气象站资料的算术平均法、气象站和水文站资料的算术平均法计算了 1998 年 5-9 月、1999 年 5-9 月与 2000 年 5-8 月湖南 5 个小流域的实况面雨量,从整体上看,几种方法计算结果无显著差异;秦承平等<sup>[6]</sup>对清江流域和长江上游干支流域面雨量计算方法进行探讨,结果表明对三峡区间气象测站分布较均匀,雨量资料较齐全的情况,算术平均法简单易行;陈光舟等<sup>[7]</sup>利用 2007 年 7 月淮河流域常规站、自动雨量站和自动气象站逐日降雨量资料,选取泰森多边形法和算术平均法计算淮河流域 15 个子单元的面雨量实况,结果表明小流域内站点分布均匀,且降水空间分布均匀的情况下,泰森多边形法和算术平均法计算的面雨量相差不大。

由于针对广西电网直调水电厂所处的西江流域,利用广西区、云南和贵州省基础地理信息数据,根据流域地形地貌特征、流域面积、气象站点、水电站与实时降水等多元信息资料,开展精细化的流域分区面雨量计算方法的研究较少,本文将以西江电网直调水电厂所处的西江流域为研究对象,对西江流域分区面雨量的计算方法和实时监测预警服务流程进行了研究和探讨。

## 1 资料与处理

### 1.1 研究区域

研究区域为西江流域,含广西区和贵州、云南省

部分地区,自江源至出海口依次为南盘江、红水河、黔江、浔江、西江,主要支流有北盘江、柳江、郁江、桂江、贺江等。

### 1.2 地理信息资料

广西区 1:5 万和 1:25 万基础地理信息数据资料,包括行政区域边界、水系、道路、高程(DEM)、等高线、市、县、乡镇以及注记等信息资料,广西岩溶地区地下河部分信息资料。

贵州、云南省西江流域范围 1:25 万基础地理信息数据,包括行政区域边界、水系、道路、高程(DEM)、等高线、市、县、乡镇等信息资料。

将收集的基础地理信息数据,采用 GIS 平台统一进行投影变换,构建统一的投影坐标系,形成可进行空间叠加分析的基础数据集;本次投影的统一坐标系为兰勃特投影,比例尺为 1:50 万。

### 1.3 自动气象站资料

广西区、云南和贵州省西江流域范围的自动气象站点信息资料,主要包括:站点位置、经纬度、观测要素等,其中广西自动气象站点有 1334 个,云南有 1024 个,贵州有 285 个。

采用 GIS 技术,根据自动气象站点的经纬度进行投影变换,形成与基础地理信息数据相同投影方式的坐标系统,采用特定点符号标识,以便于与基础地理信息数据进行空间叠加分析。

### 1.4 水电站资料

研究范围含 40 个水电站,站点信息包括水电站经纬度、水电站规模等;根据水电站的经纬度信息,采用 GIS 技术进行投影,形成与基础地理信息的投影方式统一的坐标系,编辑水电站分布图(图略)与站点的空间属性。

## 2 西江流域面雨量监测区域基础信息处理

### 2.1 西江流域分区与信息提取

#### 2.1.1 大流域分区

采用 1:25 万基础地理信息数据,利用 GIS 技术,根据水电站点空间分布,以及水系、等高线,沿水系分水岭划分大流域分区;将西江流域划分为红水河流域、柳江流域、郁江流域、桂江流域、西江干流流域、沿海和桂东南流域等六大干流域(图 1)。

#### 2.1.2 小流域划分

在大流域分区的基础上,根据各大流域的水电站分布情况,采用 1:5 万基础地理信息进行分区,在 GIS 平台上,根据高程及等高线分水岭脊线,提取水



图 1 西江流域 6 大干流域分区示意图

电站监测流域汇水区域，然后进行汇水流域边线整合、拓扑构面、编辑各汇水区域属性(图 2)，将分区属性标注在相应的图斑上，最后形成水电站汇水流域监测小流域分区图，根据广西电力部门业务需求，划分了 66 个汇水流域监测区间(小流域)(图略)。

### 2.2 多维信息空间叠加分析

利用 GIS 平台的空间分析技术，将编辑好的流域分区、水电站点、气象观测站点等进行空间相关性叠加拓扑分析，构建用于降水监测的空间信息数据

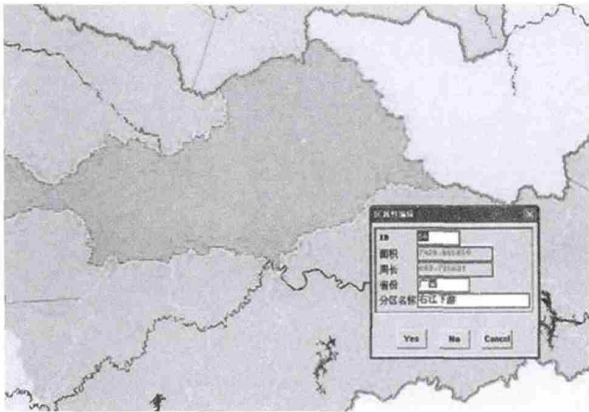


图 2 水电站汇水监测流域分区属性示意图

库，进行水电站汇水流域内的自动气象站点统计，利用气象站点观测数据，计算水电站点汇水流域的面雨量。

#### 2.2.1 属性编辑与挂接

##### (1) 气象站点属性字段编辑

在投影好的统一坐标系的气象站点文件中，根据需要编辑属性字段，属性字段主要包括：

气象站点：ID 号、区站号、站名、观测要素、省(区)等五个字段。

以 ID 号为连接代码，将收集的气象站点边界对应的属性字段信息表，采用 GIS 的属性挂接功能模块，将属性表的信息与投影好的图形代号挂接，形成具有空间属性的气象站点图形文件。

##### (2) 流域分区属性字段编辑

根据水电站所在的流域分区，编辑分区属性，分区属性字段包括：ID 号、分区名称、省(区)、面积等字段；以 ID 号为关联代码，采用 GIS 的属性挂接功能模块进行分区属性挂接，形成具有统一坐标系、空间属性的水电站流域分区图形文件(图 3，见彩页)。

#### 2.2.2 多维信息叠加处理

采用 GIS 的空间叠加分析模块，将气象站点点文件与水电站汇水流域面文件进行空间叠加分析，合并两个文件的空间属性，通过属性的导出，统计每一个水电站汇水流域内的气象站点数量(表略)以及面积(表略)；通过计算每一个气象站点的降雨量，得到水电站汇水流域的降雨总量，根据气象站点实时降雨量动态观测数据，实现水电站汇水流域面雨量的实时监测。

## 3 西江流域分区面雨量计算方法

面雨量计算方法较多，主要有：算术平均法、泰森多边形法、等雨量线法、网格插值法和逐步订正格点法等方法，本文选取算术平均法和泰森多边形法进行比较分析，从中选择一种适合的计算方法。

计算广西电网 6 大流域 66 个流域区间(小流域)2014 年 4-6 月面雨量，分 4 个量级进行对比分析，即：小到中雨(RX)，面雨量<15mm；大雨(RD)，30.0mm>面雨量≥15mm；暴雨(RB)，60.0mm>面雨量≥30mm；大暴雨及以上(RDB)，面雨量≥60mm。计算结果见表 1，从表 1 可见，各流域各等级两种计算方法的平均误差分别≤0.6mm、≤2.3mm、≤3.7mm 和≤6.5mm，最小误差均≤1.2mm，大部流域区间各等级最大误差<10mm。

进一步分析表 1 中部分流域区间最大误差≥10mm 的情况(表 2)，从表 2 可见，在小到中雨量级中，只有桂江流域 54 个个例中有一个出现最大误差≥10mm 的情况，即：2014 年 5 月 16 日，桂江流域旺村区间算术平均法计算面雨量为 10.2mm(小到中雨)，泰森多边形法计算面雨量为 22.6mm(大雨)，反查当日旺村周边流域区间，除金牛坪区间和京南区间出现 11.0mm 和 10.5mm 的面雨量外，其它区间均小于 5mm，表明旺村区间当日以小到中雨为主，算

术平均法更贴近实际; 在暴雨量级中, 66 个区间总计有 9 个流域区间出现最大误差在 10–17mm, 而两种计算方法结果接近或在同一个量级 (暴雨量级); 在大暴雨量级中, 66 个区间总计有 6 个流域区间出现最大误差在 11–20mm, 而两种计算方法结果均在同一个量级 (大暴雨量级)。

综上所述表明: 采用算术平均法和泰森多边形

法计算流域面雨量时, 总体情况两种计算方法误差都不大, 当出现暴雨以上降雨时, 两种计算方法最大误差大部情况 < 10mm, 个别流域区间出现最大误差 ≥ 10mm, 两种计算方法均为接近或在同一量级范围, 说明由于流域区间自动站网点布局相对较密集, 算术平均法和泰森多边形法计算流域面雨量差异不大, 但由于算术平均法计算简便, 运算过程较泰森多

表 1 流域区间面雨量算术平均法和泰森多边形法计算误差分析表

流域	红水河流域 (16 个流域区间)				柳江流域 (15 个流域区间)				桂江流域 (8 个流域区间)			
	RX	RD	RB	RDB	RX	RD	RB	RDB	RX	RD	RB	RDB
量级												
个例总数 (个)	768	85	61	11	813	124	65	24	463	71	45	15
平均误差 (mm)	0.3	1.6	2.7	2.2	0.3	1.3	2.5	3.4	0.6	2.0	3.7	6.5
最大误差 (mm)	4.3	6.2	11.9	7.6	3.0	9.0	12.0	12.5	12.4	8.6	17.3	20.4
最小误差 (mm)	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.7
流域	郁江流域 (16 个流域区间)				西江干流流域 (7 个流域区间)				沿海和桂东南流域 (4 个流域区间)			
量级	RX	RD	RB	RDB	RX	RD	RB	RDB	RX	RD	RB	RDB
个例总数 (个)	806	93	36	6	428	74	30	7	242	31	20	3
平均误差 (mm)	0.3	1.5	1.9	4.3	0.3	1.2	1.4	1.8	0.4	2.3	2.4	0.9
最大误差 (mm)	4.6	4.8	8.5	8.1	2.3	3.9	11.1	3.8	3.9	7.9	7.3	1.5
最小误差 (mm)	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2

边形法速度快, 因此, 考虑到流域面雨量业务需实时资料及时性的特点, 取算术平均法为电网流域分区面雨量计算方法。

## 4 面雨量实时监测与预警服务

### 4.1 实时数据收集、计算与入库

#### (1) 降雨量实时数据收集

采用 SQL 查询语句, 从气象局实时资料共享数据库中提取广西区和云南、贵州省自动气象站逐小时降雨量实况数据, 归纳整理到同一个数据集合, 形成原始数据表。

采用 C# 语言和 SQL 技术, 编制实况数据处理程序, 广西区逐小时降雨量实况数据在整点后 10 分钟处理一次, 收集得到整点前一小时实时数据后存入数据库; 云南、贵州省逐小时降雨量实况数据在整点后 10 分钟和 50 分钟各处理一次, 以保证数据的及时性和完整性, 收集得到整点前一小时实时数据后存入数据库。

#### (2) 面雨量实时数据计算与入库

采用 C# 语言, 编制入库面雨量信息处理程序, 对入库的逐小时降雨量数据, 进行分流域信息、自动站信息与实况降雨量数据表的处理, 通过 C# 中的 LINQ 技术、SQL 技术, 采用算术平均法, 计算分流域面雨量, 形成分流域面雨量实况数据记录, 自动写入数据库。

其中广西区入库的逐小时降雨量整点后 10 分钟计算一次面雨量, 云南和贵州省入库的逐小时降雨量分别在整点后 10 分钟和 50 分钟各计算一次面雨量。

#### (3) 面雨量图形显示

采用 Flash ActionScript 技术实现分流域面雨量实况图在网页上显示和分流域自动填色的功能, 根据面雨量的不同量级, 选取不同颜色的色斑图表示, 使得图片显得形象、直观、生动 (图略)。

### 4.2 面雨量实时监测与预警服务

通过与广西电力部门设置的数据传输专线, 将

表 2 流域区间面雨量算术平均法和泰森多边形法最大误差  $\geq 10\text{mm}$  个例分析表

量级	流域	区间	个例总数 (个)	最大误差 (mm)	出现日期(日)	算术平均法 (mm)	泰森多边形 法(mm)
RX	桂江流域	旺村区间	54	12.4	2014/5/16	10.2	22.6
	桂江流域	旺村区间	4	17.3	2014/4/24	50.4	33.1
	桂江流域	旺村区间	4	13.3	2014/6/21	37.2	50.5
	桂江流域	桂江上游	8	10.7	2014/5/11	58.4	47.7
	桂江流域	桂江上游	8	10.4	2014/6/19	41.5	51.9
RB	柳江流域	红花库区	4	10.5	2014/5/18	52.8	42.3
	柳江流域	红花库区	4	11.6	2014/6/17	37.7	26.1
	红水河流域	岩滩上库区	5	11.9	2014/4/9	54.4	42.5
	红水河流域	平班库区南	3	10.6	2014/6/27	57.3	46.7
	西江流域	清水河流域	2	11.1	2014/6/10	38.3	27.2
	桂江流域	桂江上游	3	17.2	2014/5/10	60.1	77.3
	桂江流域	桂江上游	3	14.4	2014/6/18	88.5	74.1
	桂江流域	金牛坪区间	4	20.3	2014/5/10	85.0	105.3
RDB	桂江流域	金牛坪区间	4	13.4	2014/6/5	207.2	220.6
	柳江流域	洛清江流域	4	12.0	2014/6/5	115.9	127.9
	柳江流域	红花库区	4	12.6	2014/4/26	81.8	69.2

入库的面雨量实时监测数据传送到电力服务器,以网页形式显示与浏览。

根据广西电力部门生产需求,西江流域分区面雨量实时监测产品,每小时处理、计算生成 3 小时、6 小时、12 小时和 24 小时累计面雨量实时监测产品各 1 份,当 3 小时累计面雨量  $\geq 20\text{mm}$  (暴雨量级)时,通过手机短信预警平台,为定制用户发布预警信息。

2014 年 5 月 9 日晚至 11 日,受高空槽和偏南气流共同影响,广西北部、东部的部分市县出现了暴雨到大暴雨的强降水天气,过程具有局地短时降水强度大的特点,桂林、河池等地的一些乡镇一小时降水量达 80mm 以上,其中天峨县芭暮乡高达 117mm,为历史少见。

统计 5 月 10 日 03 时至 11 日 14 时,西江流域总计有 130 个分流域 3 小时累计面雨量  $\geq 20\text{mm}$ ,过程短时强降雨最大范围出现在 5 月 11 日 03 时至 06 时,有 11 个分流域 3 小时累计面雨量  $\geq 20\text{mm}$  (图 4,见彩页),最强降雨出现在 10 日 24 时至 11 日 03 时的柳江流域,3 小时累计面雨量有 3 个小流域  $\geq 50\text{mm}$  (特大暴雨量级),1 个小流域超过 100 mm (图 5,见彩页)。本次短时强降雨过程及时通过手机短信预警平台发布了预警信息,为电力生产部门制定防灾减灾对策、采取合理的抗灾救灾措施提供了快捷、客观的科学依据。

## 5 小结

在对广西电网西江流域面雨量监测区域基础信息进行处理和流域分区基础上,采用比较分析方法,开展分流域面雨量计算方法研究,对西江流域实时监测预警服务流程进行了探讨,得到:

(1) 以 1:5 万数字高程模型为数据基础,针对西江流域河网、自动气象站、水电站等分布特点,结合水系、等高线特征,沿水系分水岭对西江流域干流进行精细化分区,为分流域面雨量计算提供基础参数。

(2) 对分流域面雨量采用算术平均法与泰森多边形法计算,两种方法计算结果偏差较小,由于算术平均法计算简便、运算速度快,取算术平均法为流域分区面雨量计算方法。

(3) 编制逐小时降雨量实况数据处理和面雨量计算程序、设计数据库和编制数据自动入库程序,实现对西江流域面雨量的实时监测;2014 年 5 月 9 日至 11 日西江流域出现一次短时强降雨过程,通过实时资料的处理、计算,形成流域短时强面雨量产品并及时发布预警服务信息。

### 参考文献

[1] 秦福来, 王晓燕, 王丽华, 等. 基于 DEM 的流域特征提取及应用 [J]. 河北师范大学学报 (自然科学版), 2006, 30 (1): 109-112.

[2] 杨梅, 张船红, 苏军. 基于

(下转第 52 页)

低温现象;2、 $\theta$  曲线在不同层上出现向左折拐,特别是  $\theta_{sed}$  和  $\theta^*$  与 T 轴成准直角或向左倾成钝角;3、 $\theta_{sed}$  和  $\theta^*$  在图像中表现为趋于靠近的特征,一般而言  $\theta^* - \theta_{sed} \leq 8 \sim 10^\circ\text{C}$ ,对于持续性暴雨  $\theta^* - \theta_{sed} \leq 3 \sim 5^\circ\text{C}$ ,并且  $\theta^*$  和  $\theta_{sed}$  呈现较深厚的准平行;4、垂直风上有顺滚流。

(3) 三明的五种暴雨型在满足出现暴雨天气时 V-30 结构图基本特征的基础上,还表现出在不同季节、不同影响系统下,V-30 结构图中非均匀结构、水汽条件的垂直分布和风的垂直变化存在各自的特点。

#### 参考文献

- [1] 张少林, 王俊, 周雪松, 等. 山东“7.18”致灾暴雨成因分析 [J]. 气象科技, 2009, 37 (5): 527-532.
- [2] 林确略, 寿绍文. 广西锋面、暖区及高压后部暴雨格力对比研究 [J]. 气象研究与应用, 2012, 33 (2): 11-18
- [3] 杨晓霞, 李春虎, 李锋, 等. 山东半岛致灾大暴雨成因个例分析 [J]. 气象科技, 2008, 36 (2): 190-196.
- [4] 许霖, 腰蓉, 陈斗. 湖南两次流域性致洪暴雨异同点分析 [J]. 气象研究与应用, 2014, 35 (2): 27-31
- [5] 杨新, 柯文华, 张小荣, 等. 两次副高边缘特大暴雨对比分析 [J]. 气象研究与应用, 2014, 35 (4): 1-4
- [6] 姜俊玲, 张雪冬, 魏鸣, 等. V-30 图在一次特大暴雨预报中的应用 [J]. 气象科技, 2012, 40 (4): 647-650.
- [7] 官晓东, 刘玉, 王正廷, 等. 福建 2011 年“5.2~3”大暴雨过程的诊断分析 [J]. 广东气象, 2012, 34 (3): 22-25.
- [8] 陈见, 钱俊, 黄明策. 广西暴雨过程的 V-30 结构特征检验及预报应用 [J]. 气象科学, 2006, 26 (3): 334-340.
- [9] 欧阳首承. 天气演化与结构预测 [M]. 北京: 气象出版社, 1998.
- [10] 欧阳首承, 谢娜, 郝丽萍. 突发性灾害天气的结构预测与应急对策 [J]. 中国工程科学, 2005, 7 (9): 9-13
- [11] 汤强, 曾振文, 杜远林. 溃变理论在汕头暴雨天气预测中的应用 [J]. 广东气象, 2005, 27 (4): 1-3, 36
- [12] 欧阳首承, 陈刚毅, 林益. 信息数字化与预测 [M]. 北京: 气象出版社, 2009.
- [13] 叶春, 陈勇明, 倪琛玲. “2007.06.14”暴雨的 V-30 图分析 [J]. 浙江气象, 2008, 29 (4): 18-22.
- [12] 孙崇智, 郑凤琴, 林开平. 南宁致洪暴雨面雨量特征分析 [J]. 广西气象, 2003, 24 (2): 7-9.
- [13] 黄永磷, 王志怡, 农民强. GIS 在广西山洪灾害预警中的应用 [J]. 广西气象, 2007, 28 (3): 30-32.
- [14] 梁维亮, 黄明策, 屈梅芳. 基于 GIS 的广西中小河流域山洪气象风险监测预警系统 [J]. 气象研究与应用, 2012, 33 (4): 43-46.
- [15] 李艳萍. 基于 GIS 技术的人工影响天气业务系统的设计 [J]. 广西气象, 2005, 26 (4): 35-37.
- [16] 李江南. GIS 在气象数据处理中的应用 [J]. 广东气象, 2002, 24 (3): 14-15.
- [17] 陈冬梅, 潘新民. GIS 在气象预警服务产品开发中的应用 [J]. 广东气象, 2012, 34 (4): 42-44.
- [18] 何迪, 蒋国华. 基于 WebGIS 的森林火场信息发布系统 [J]. 广东气象, 2010, 32 (5): 50-52.
- [19] 龙志宇, 曹志国, 曾德松, 等. 精细化面雨量处理在小流域山洪灾害评估中的应用 [J]. 广东气象, 2011, 33 (6): 40-42.
- [20] 张东, 曾沁, 黄忠, 等. 北江、珠三角河网降水量级与面雨量的统计关系 [J]. 广东气象, 2005, 27 (1): 9-10.
- [21] 张录青, 叶永恒, 刘艳群, 等. 基于 GIS 技术的韶关市地质灾害预报预警系统 [J]. 广东气象, 2009, 31 (4): 4-7.

(上接第 42 页)

GIS 和 DEM 岷江流域都江堰区域河网水系的提取方法研究 [J]. 水利水电技术, 2009, 40 (3): 74-77.

[3] 任立良. 流域数字水文模型研究 [J]. 河海大学学报, 2000, 28 (4): 1-6.

[4] 曾红伟, 李丽娟, 柳玉梅, 等. Arc Hydro Tools 及多源 DEM 提取河网与精度分析—以洮儿河流域为例 [J]. 地球信息科学学报, 2011, 13 (1): 22-31.

[5] 方慈安, 潘志祥, 叶成志, 等. 几种流域面雨量计算方法的比较 [J]. 气象, 2003, 29 (7): 23-26, 42.

[6] 秦承平, 居志刚. 清江和长江上游干支流域面雨量计算方法及其应用 [J]. 湖北气象, 1999 (4): 16-18.

[7] 陈光舟, 张晓红. 淮河流域面雨量计算方法的比较分析 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37 (24): 11637-11640.

[8] 钟仕全, 莫建飞, 莫伟华, 等. 广西遥感本底信息提取方法技术与成果应用 [J]. 气象研究与应用, 2010, 31 (3): 44-49.

[9] 黄永磷, 钟仕全, 莫建飞, GIS 支持下的自动站雨量插值方法比较 [J]. 气象研究与应用, 2011, 32 (1): 60-62.

[10] 钟利华, 钟仕全, 李勇, 等. 广西电网流域面雨量监测、预报、报警系统 [J]. 气象研究与应用, 2013, 34 (3): 26-32.

[11] 吴兴国, 苏荣在. 郁江南宁 17 场洪水之合成面雨量特征分析 [J]. 广西气象, 2002, 23 (2): 3-5.

# 陈伟斌等：一次飊线大风天气过程成因分析

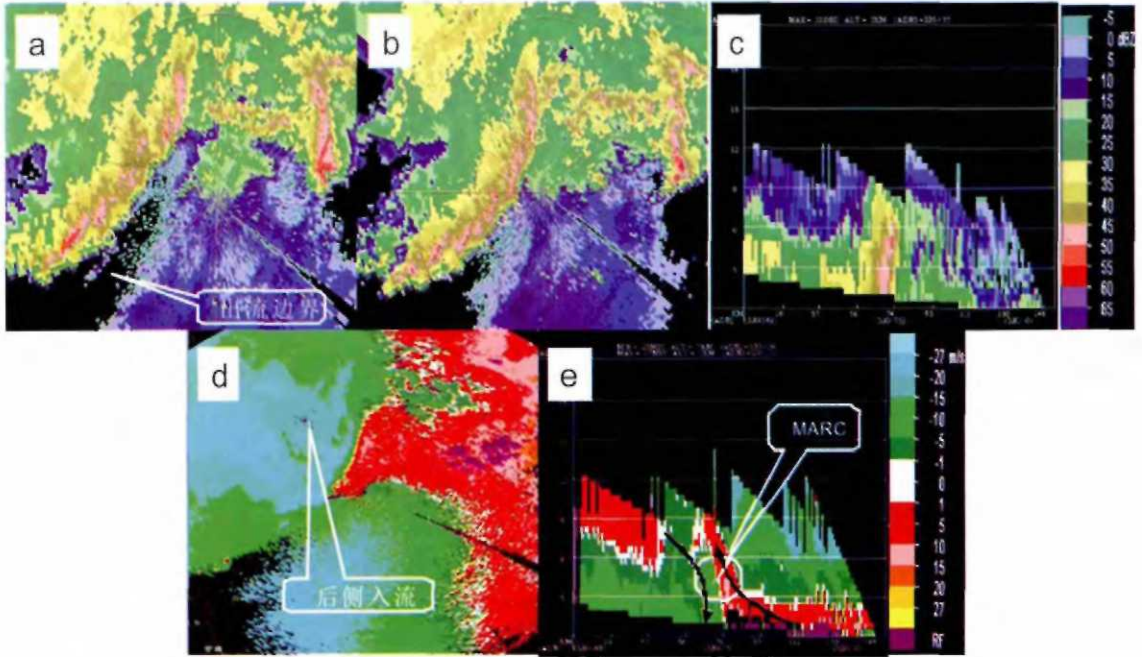


图5 31日01时53分(a)和02时17分(b、c、d、e)雷达回波特征图  
 a、b:1.5仰角基本反射率，黄色圆圈为雷达识别的中气旋；c:基本反射率剖面；d:1.5仰角径向速度；e:径向速度剖面

# 钟利华等：基于GIS的广西电网流域面雨量计算方法与监测预警



图3 汇水流域与气象站点空间叠加分析图

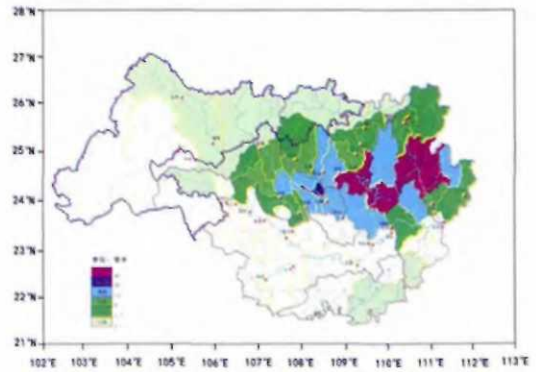


图4 西江流域5月11日03时至06时3小时累计面雨量实况图

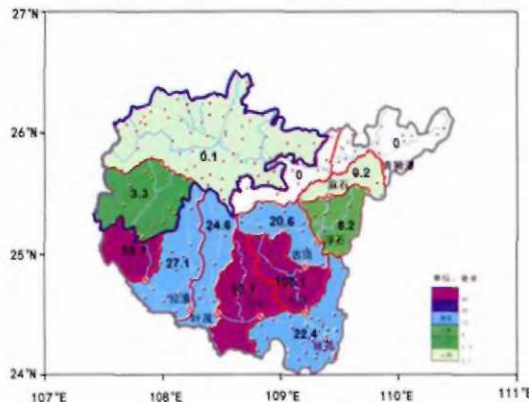


图5 柳江流域5月10日24时至11日03时3小时累计面雨量实况图