

DOI: 10.3969/j.issn.1004-6933.2013.02.002

# 珠江口潮水位年内变化特征识别

孔 兰<sup>1,2,3</sup>, 陈晓宏<sup>1,2</sup>

- (1. 中山大学水资源与环境研究中心, 广东 广州 510275;
2. 中山大学华南地区水循环和水安全广东普通高校重点实验室, 广东 广州 510275;
3. 中水珠江规划勘测设计有限公司, 广东 广州 510610)

**摘要:**利用珠江口代表水文站年的实测资料计算水位年内变化不均匀性、集中程度等指标, 分析水位年内变化规律。结果表明: ①马口站在 20 世纪 70 年代和 90 年代水位的年内变化大于 80 年代, 其他站 20 世纪 80 年代以来水位的年内变化趋于均匀; 珠江口水位年内变化不均匀系数和集中度由珠江口深处向近河口处呈减小的趋势; ②珠江口深处的马口站水位年内变化不均匀系数和集中度呈上升趋势, 其他站水位年内变化不均匀系数和集中度均呈下降趋势, 其中近海口门处的横门站和三灶站呈显著下降趋势; 集中期都随时间呈波动上升趋势, 说明时间上是后推(或增加)趋势。

**关键词:**水位; 年内变化; 特征识别; Spearman 秩相关系数法; 珠江口

中图分类号: P332.3 文献标志码: A 文章编号: 1004-6933(2013)02-0006-04

## Recognition of characteristics of inner-annual variation of water levels in Pearl River Estuary

KONG Lan<sup>1,2,3</sup>, CHEN Xiaohong<sup>1,2</sup>

- (1. Center of Water Resources and Environment Research, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China;
2. Key Laboratory of Water Cycle and Water Security in Southern China of Guangdong Higher Education Institutes, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China;
3. China Water Resources Pearl River Planning Surveying and Designing Co., Ltd., Guangzhou 510610, China)

**Abstract:** In this study, the observed data of the water levels of typical hydrological stations in the Pearl River Estuary were analyzed. Several indicators related to the attributes of unevenness and concentration degree were calculated. The characteristics of the inner-annual variation of the water levels were studied. The results show the following: (1) The inner-annual variation of the water levels at the Makou Station was more significant in the 1970s and 1990s than in the 1980s, and has been relatively even at other stations since the 1980s. The unevenness coefficient and concentration degree had a decreasing trend from the internal delta to the estuary. (2) The unevenness coefficient and concentration degree had an increasing trend at the Makou Station in the internal delta and a decreasing trend at other stations, and the decreasing trend was more significant at the Hengmen and Sanzao stations. The concentration degree of all stations had rising trends.

**Key words:** water level; inner-annual variation; characteristics recognition; Spearman rank correlation coefficient; Pearl River Estuary

珠江三角洲是广东省的政治、经济、文化中心, 也是我国经济最发达的地区之一。水位对珠江口排污、供水安全等有直接影响, 水位变化及其影响直接

制约着珠江三角洲地区的经济发展。针对珠江口的潮水位变化, 国内外不少专家学者均做过研究和探讨。任美镔<sup>[1]</sup>指出由于地面沉降等原因, 过去30年

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(50839005); 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2010CB428405); 水利部公益性行业科研专项(201001022); 中水珠江规划勘测设计有限公司科研项目(2012)

作者简介: 孔兰(1973—), 女, 工程师, 博士, 主要研究方向为水资源与环境变异。E-mail: konglan2006@126.com

通信作者: 陈晓宏, 教授。E-mail: eesexh@mail.sysu.edu.cn

的珠江三角洲相对海平面上升率远大于全球和全国海平面上升率(约 1.5 mm/a)。黎子浩<sup>[2]</sup>认为 20 世纪 50 年代末至 70 年代初,珠江三角洲联围筑闸初期使河道水位迅速雍高,抬高值一般为 0.20 ~ 0.30 m。王廷华<sup>[3]</sup>认为珠江三角洲网河区各水道水位都不同程度地存在逐年上升的趋势。杨清书等<sup>[4]</sup>利用 20 个验潮站的资料,得出珠江三角洲水位变化总体呈上升趋势的结论。陆永军等<sup>[5]</sup>对珠江三角洲网河区低水位变化趋势进行了研究。20 世纪 80 年代以来,珠江三角洲北江、西江和东江主要河道的水文特征与河床演变趋势先后发生了新的变化,河床的大幅下切引起同流量级的水位明显下降。目前,对珠江三角洲水位长系列变化趋势的研究较多,而对珠江三角洲水位年内变化规律的研究较少。珠江口水位受径流、潮流、河道地形等因素的耦合作用,变化机理复杂<sup>[6-11]</sup>。河道径流量与上游径流量、汉道分流比、水利枢纽建设、河口延伸有关;潮汐影响因素包括天文、气象和河口地形等;河道地形变化包括河床自然淤积、人工河床采砂、河道整治工程、桥梁码头建设、岸滩开发等。为了识别珠江口潮水位的年内变化规律,重点选取马口站、澜石站、横门站、灯笼山站和三灶站作为代表站,对比分析珠江口代表站水位年内变化不均匀系数和集中程度,并采用 Spearman 秩相关系数法对水位年内变化不均匀系数和集中程度系列进行趋势检验。掌握珠江口水位的年内变化规律,对珠江口地区的防灾减灾和水资源的合理开发利用具有重要的指导意义。

## 1 数据来源及研究方法

### 1.1 数据来源

珠江经虎门等 8 大口门注入南海。为了识别珠江口潮水位年内变化特征,本研究从水文年鉴、广东省水文局和佛山水务局 1973—2004 年的逐月水位数据中收集了珠江三角洲马口站、澜石站、横门站、灯笼山站和三灶站 5 个主要代表水文站(水位站)(各个站点具体分布信息如图 1)的实测水文数据。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 不均匀性

采用水位年内变化不均匀系数  $C_u$  来分析水位

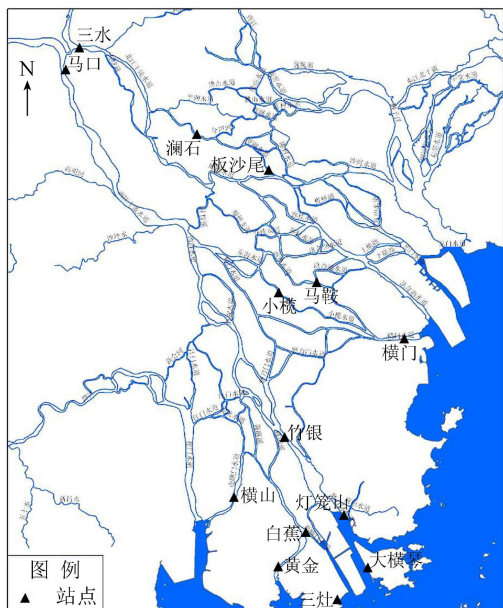


图 1 珠江口主要水文(水位)站分布

的年内变化,  $C_u$  值越大,年内各月水位差异越大,水位年内变化越不均匀,水位调控难度也越大。由于篇幅所限,具体计算方法见文献[12-13]。

#### 1.2.2 集中程度

目前利用集中程度研究河流径流年内分配变化规律的成果较多,笔者引用集中度  $C_n$  和集中期  $D$  表达水位在年内各时段的集中程度以及最大水位出现的时段。集中度反映水位年内集中程度,集中期反映全年水位集中的重心所出现的月份。集中度和集中期的具体计算步骤见文献[14-18]。

#### 1.2.3 Spearman 秩相关系数法

为了研究潮水位的年内变化指标的时序变化规律,本研究采用 Spearman 秩相关系数法。Spearman 秩相关系数是一种等级相关系数,由于应用中无须考虑有关变量的分布类型,事实上,它比大家熟知的 Pearson 相关系数适用范围更广<sup>[19]</sup>。如果秩相关系数  $Z_{sp} > 0$ ,表示序列有上升趋势;  $Z_{sp} < 0$ ,表明序列有下降趋势;  $Z_{sp} = 0$ ,表明序列没有变化趋势。显著性概率水平  $\alpha$  对应的临界值  $Z_{0.05/2} = 1.96$ 。

## 2 计算与分析

由表 1 可以看出,珠江口潮水位的年内变化在

表 1 不同年代水位年内变化指标值

时间段	马口站			澜石站			横门站			灯笼山站			三灶站		
	$C_u$	$C_n$	$D$	$C_u$	$C_n$	$D$	$C_u$	$C_n$	$D$	$C_u$	$C_n$	$D$	$C_u$	$C_n$	$D$
1973—1979 年	0.83	0.51	206	0.94	0.53	205	0.47	0.29	225	0.45	0.27	243	0.52	0.29	295
1980—1989 年	0.72	0.44	203	0.71	0.41	207	0.34	0.19	239	0.38	0.21	242	0.45	0.21	297
1990—1999 年	0.87	0.54	206	0.78	0.47	210	0.37	0.23	234	0.41	0.25	240	0.46	0.25	295
2000—2004 年	0.88	0.52	205	0.71	0.43	211	0.31	0.20	237	0.37	0.23	249	0.37	0.21	295
多年平均	0.81	0.50	205	0.78	0.46	208	0.37	0.23	234	0.40	0.24	242	0.45	0.24	295

不同年代存在明显的时空差异。位于珠江口深处的马口站在 20 世纪 70 年代和 20 世纪 90 年代水位的年内变化大于 80 年代,其他站在 20 世纪 70 年代水位的年内变化最大,20 世纪 80 年代以来水位的年内变化趋于均匀;马口站和澜石站水位年内变化不均匀系数和集中度最大,近口门处的横门站、灯笼山站和三灶站水位年内变化不均匀系数和集中度较小;马口站和澜石站水位集中期最小,主要在 7 月,横门站和灯笼山站较大,分别在 8 月和 9 月,三灶站最大,主要在 10 月,说明年内水位集中期由珠江口深处向河口处有后推(或增加)趋势。初步分析马口站和澜石站水位年内变化受径流变化的影响较大,而近口门处的横门站、灯笼山站和三灶站水位年内变化受潮汐和海平面变化的影响较大<sup>[20-22]</sup>。珠江口潮水位变化机理复杂,有待于进一步深入研究。

图 2 和图 3 能直观反映珠江口水位年内变化特征随时间的变化趋势:马口站年内变化不均匀系数和集中度呈上升趋势;澜石站、横门站、灯笼山站和三灶站水位年内变化不均匀系数和集中度的时序变化相似,均有下降趋势;各代表站的集中期都随时间呈波动上升趋势,马口站和澜石站集中期主要在 7—8 月份波动,横门站和灯笼山站集中期主要在 8—9 月份波动,而三灶站集中期主要在 10—11 月份波动。

表 2 显示:马口站年内变化不均匀系数和集中度系列的 Spearman 检验统计量为正,表明其水位年内变化不均匀程度存在较显著的上升趋势;澜石站、横门站、灯笼山站和三灶站水位年内变化不均匀系数和集中度系列的 Spearman 检验统计量都为负,表明其水位年内变化不均匀程度均有下降趋势,其中横门站和三灶站年内变化不均匀系数系列的 Spearman 检验统计量的绝对值均大于 1.96,通过了 0.05 显著性水平检验,说明近海口门处潮水位年内变化不均匀程度均有显著下降趋势;所选代表站的年内水位集中期都具有不显著的上升趋势,说明时间上是后推趋势。

表 2 Spearman 检验统计量

站名	$C_u$	$C_n$	$D$
马口站	1.83	1.57	0.43
澜石站	-1.55	-0.83	0.99
横门站	-2.40	-1.55	0.97
灯笼山站	-0.46	-0.86	0.60
三灶站	-2.09	-1.24	0.27

### 3 结论

a. 珠江口潮水位的年内变化在不同年代存在明显的时空差异。马口站在 20 世纪 70 年代和 90 年代水位的年内变化大于 80 年代,其他站 20 世纪

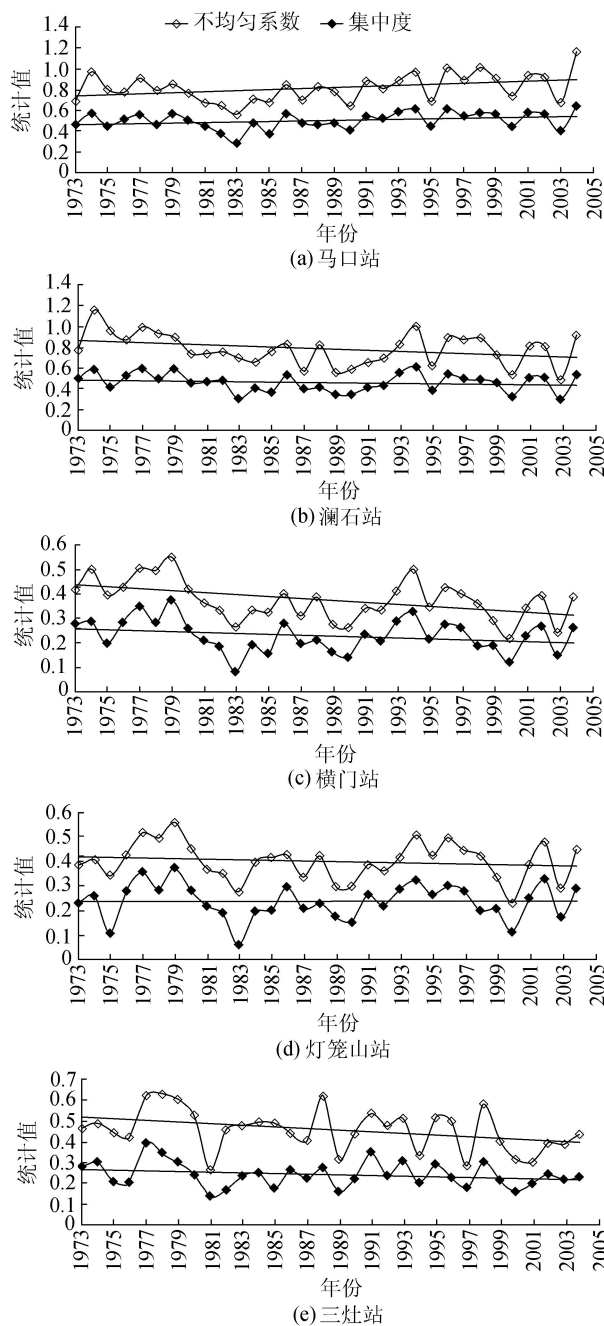
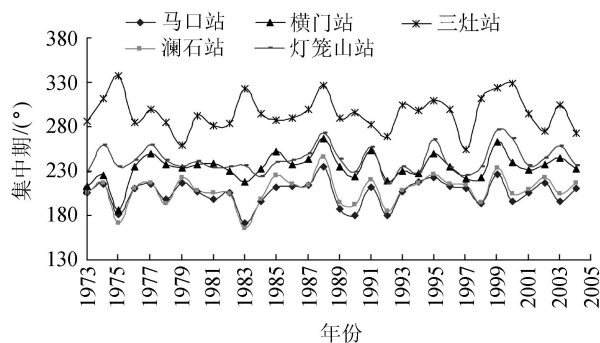


图 2 各站点水位年内变化指标及其趋势



注:1 个月等于 15°

图 3 各站点水位集中期变化趋势

80 年代以来水位的年内变化趋于均匀;珠江口水位年内变化不均匀系数和集中度由珠江口深处向近河

口处有减小趋势;年内水位集中期由珠江口深处向河口处有后推(或增加)趋势。

**b. 珠江口水位年内变化趋势特征明显。**珠江口深处的马口站年内变化不均匀系数和集中度呈上升趋势,其他站水位年内变化不均匀系数和集中度均有下降趋势,其中近海口门处横门站和三灶站的潮水位年内变化不均匀程度均有显著下降趋势;各代表站的集中期都随时间呈波动上升趋势,说明时间上是后推(或增加)趋势。

## 参考文献:

[1] 任美镠. 黄河长江珠江三角洲近30年海平面上升趋势及2030年上升量预测[J]. 地理学报, 1993, 48(5): 385-392. (REN Meie. Relativer sea level rise in Huanghe, Changjiang and Zhujiang (Yellow, Yangtze and Pearl River) delta over the last 30 years and predication for the next 40 years (2030) [J]. Acta Geographica Sinica, 1993, 48(5): 385-392. (in Chinese))

[2] 黎子浩. 珠江三角洲联围筑闸对水流及河床演变的影响[J]. 热带地理, 1985(2): 99-107. (LI Zihao. The effects of united embankments on the flow shift and channel changes in the Zhujiang delta [J]. Tropical Geography, 1985(2): 99-107. (in Chinese))

[3] 王廷华. 珠江三角洲水位变化趋势及其影响分析[J]. 人民珠江, 1998(6): 38-41. (WANG Tinghua. Analysis of the trend of water level change in Pearl River delta and its effects [J]. Pearl River, 1998(6): 38-41. (in Chinese))

[4] 杨清书, 罗章仁, 张修杰. 珠江三角洲近几十年水位变化趋势研究[J]. 热带海洋, 1998, 17(2): 9-14. (YANG Qingshu, LUO Zhongren, ZHANG Xiujie. Secular trend of water level change in Zhujiang River delta in recent decades [J]. Tropic Oceanology, 1998, 17(2): 9-14. (in Chinese))

[5] 陆永军, 贾良文, 莫思平, 等. 珠江三角洲河网低水位变化[M]. 北京: 中国水利出版社, 2008.

[6] 汤立群, 陈洁, 申锦瑜, 等. 风暴作用下河口动力过程数值模拟研究进展[J]. 水利水电科技进展, 2009, 29(5): 78-83. (TANG Liqun, CHEN Jie, SHENG Jinyu, et al. Advances in simulation of dynamic estuarial processes reacting to storm surges in estuaries [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2009, 29(5): 78-83. (in Chinese))

[7] 朱文谨, 李瑞杰, 干岳良, 等. 感潮河段底床阻力特性分析[J]. 水利水电科技进展, 2009, 29(6): 25-28. (ZHU Wenjin, LI Ruijie, GAN Yueliang, et al. Analysis on the riverbed resistance characteristic of tidal river [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2009, 29(6): 25-28. (in Chinese))

[8] 谭超, 杨清书, 刘秋海, 等. 1950年代和1990年代西北江网河区水动力特征变化[J]. 水利水电科技进展, 2009, 29(S1): 28-32. (TAN Chao, YANG Qingshu, LIU

Qiuhai, et al. Variation characteristics of hydrodynamic condition of West River and North River network in 1950s and 1990s [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2009, 29(S1): 28-32. (in Chinese))

[9] 杨涛, 陈喜, 杨红卫, 等. 基于线性矩法的珠江三角洲区域洪水频率分析[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2009, 37(6): 615-619. (YANG Tao, CHEN Xi, YANG Hongwei, et al. Regional flood frequency analysis in Pearl River delta region based on L-moments approach [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2009, 37(6): 615-619. (in Chinese))

[10] 陈晓宏, 张蕾, 时钟. 珠江三角洲河网区水位特征空间变异性研究[J]. 水利学报, 2004(10): 36-42. (CHEN Xiaohong, ZHANG Lei, SHI Zhong. Study on spatial variability of water levels in river net of Pearl River delta [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004(10): 36-42. (in Chinese))

[11] ZHANG Q, XU C Y, CHEN Y Q, et al. Spatial assessment of hydrologic alteration across the Pearl River delta, China, and possible underlying causes [J]. Hydrology Process, 2009(23): 1565-1574.

[12] 李艳, 陈晓宏, 张鹏飞. 北江流域径流序列年内分配特征及其趋势分析[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2007(5): 113-116. (LI Yan, CHEN Xiaohong, ZHANG Pengfei. Research on annual distribution and its trends of runoff in Beijiang River, Guangdong [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatsen, 2007(5): 113-116. (in Chinese))

[13] 王金星, 张建云, 李岩, 等. 近50年来中国六大流域径流年内分配变化趋势[J]. 水科学进展, 2008(5): 656-660. (WANG Jinxing, ZHANG Jianyun, LI Yan, et al. Variation trends of runoffs seasonal distribution of the six larger basins in China over the past 50 years [J]. Advances in Water Science, 2008(5): 656-660. (in Chinese))

[14] 汤奇成, 程天文, 李秀云. 中国河川月径流的集中度和集中期的初步研究[J]. 地理学报, 1982, 37(4): 383-393. (TANG Qicheng, CHENG Tianwen LI Xiuyun. Preliminary study on the degree and time of concentration of monthly runoff of Chinese streams [J]. Acta Geographica Sinica, 1982, 37(4): 383-393. (in Chinese))

[15] 杨远东. 河川径流年内分配的计算方法[J]. 地理学报, 1984(2): 218-227. (YANG Yuandong. Calculating method of annual distribution of stream flows [J]. Acta Geographica Sinica, 1984(2): 218-227. (in Chinese))

[16] 陆志华, 夏自强, 于岚岚, 等. 松花江干流中游段径流年内分配变化规律[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2012, 40(1): 63-69. (LU Zhihua, XIA Ziqiang, YU Lanlan, et al. Changes of annual runoff distribution in middle reaches of Songhua River [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2012, 40(1): 63-69. (in Chinese))

(6):738-742. (in Chinese))

[ 8 ] RYDIN E. Potentially mobile phosphorus in Lake Erken sediment[J]. Water Res,2000,34(7):2037-2042.

[ 9 ] KLEEBERG A, GRUENBERG B. Phosphorus mobility in sediments of acid mining lakes, Lusatia, Germany [ J ]. Ecological Engineering,2005,24(1/2):89-100.

[10] 高丽,周健民. 磷在富营养化湖泊沉积物:水界面的循环[J]. 土壤通报,2004,35(4):512-515. (GAO Li, ZHOU Jianmin. Phosphorus cycle between sediments and water in eutrophic lakes [ J ]. Chinese Journal of Soil Science,2004,35(4):512-515. (in Chinese))

[11] 隋少峰,罗启芳. 武汉东湖底泥释磷特点[J]. 环境科学,2001,22(1):102-104. (SUI Shaofeng, LUO Qifang. Release character of phosphorus from the sediments of East Lake, Wuhan [ J ]. Environmental Science, 2001, 22 (1):102-104. (in Chinese))

[12] RENÉ G, BERNHARD W. Ten years of artificial mixing and oxygenation; no effect on the internal phosphorus loading of two Eutrophic lakes [ J ]. Environ Sci Technol, 1998,32(23):3659-3665.

[13] 林建伟,朱志良,赵建夫. 曝气复氧对富营养化水体底泥氮磷释放的影响[J]. 生态环境,2005,14(6):812-

815. (LIN Jianwei, ZHU Zhiliang, ZHAO Jianfu. Effect of aeration on release of nitrogen and phosphorus from sediments in eutrophic waterbody [ J ]. Ecology and Environment,2005,14(6):812-815. (in Chinese))

[14] 王晓蓉,华兆哲,徐菱,等. 环境条件变化对太湖沉积物磷释放的影响 [ J ]. 环境化学. 1996, 15 (1): 15-19. (WANG Xiaorong, HUA Zhaozhe, XU Ling, et al. The effect of the environmental conditions on phosphorus release in lake sediments [ J ]. Environmental Chemistry, 1996,15(1):15-19. (in Chinese))

[15] 金相灿,王圣瑞,庞燕. 太湖沉积物磷形态及 pH 对磷释放的影响 [ J ]. 中国环境科学,2004(6):707-711. (JIN Xiangcan, WANG Shengrui, PANG Yan. The influence of phosphorus forms and pH on release of phosphorus from sediments in Taihu Lake [ J ]. China Environmental Science, 2004 (6): 707-711. (in Chinese))

[16] LIU B, LIU X G, YANG J, et al. Research and application of in-situ control technology for sediment rehabilitation in eutrophic water bodies [ J ]. Water Sci Technol, 2012, 65 (7):1190-1199.

(收稿日期:2012-07-15 编辑:徐娟)

(上接第9页)

[17] 刘贤赵,李嘉竹,宿庆,等. 基于集中度与集中期的径流年内分配研究[J]. 地理科学,2007(6):791-795. (LIU Xianzhao, LI Jiazhu, SU Qing, et al. Interannual runoff distribution based on degree and time of concentration for rivers [ J ]. Scientia Geographica Sinica, 2007 (6): 791-795. (in Chinese))

[18] 王兆礼,陈晓宏,杨涛. 东江流域径流序列年内分配特征研究 [ J ]. 人民黄河, 2011, 33 (2): 37-39. WANG Zhaoli, CHEN Xiaohong, YANG Tao. Study on characters of interannual runoff distribution in Dongjiang River area [ J ]. Yellow River, 2011, 33(2): 37-39. (in Chinese))

[19] 王钦德,冯锁江. 关于 Spearman 系数计算公式的论证及应用 [ J ]. 山西农业大学学报, 1993, 13 (1): 30-33. (WANG Qinde, FENG Suojiang. The demonstration and application about calculating formula of Spearman coefficient [ J ]. Journal of Shanxi Agricultural University, 1993, 13(1): 30-33. (in Chinese))

[20] 黄镇国. 广东海平面变化及其影响与对策 [ M ]. 广州: 广东科技出版社. 2000.

[21] 孔兰,陈晓宏,陈栋为,等. 珠江三角洲水位演变分析 [ J ]. 生态环境学报, 2010, 19 (11): 2642-2646. (KONG Lan, CHEN Xiaohong, CHEN Dongwei, et al. Analysis on evolution of water level in Pearl River delta, China [ J ]. Ecology and Environmental Sciences, 2010, 19(11): 2642-2646. (in Chinese))

[22] 孔兰,陈晓宏,张强,等. 海平面上升对珠江口水位影响的分析 [ J ]. 生态环境学报, 2010, 19 (2): 390-393.

(KONG Lan, CHEN Xiaohong, ZHANG Qiang, et al. Impacts of rising sea level on water level changes along the Pearl River Estuary, China [ J ]. Ecology and Environmental Sciences, 2010, 19 (2): 390-393. (in Chinese))

(收稿日期:2012-05-30 编辑:彭桃英)

## · 简讯 ·

### 水利部、国家能源局联合印发 《大中型水利枢纽和水电工程 移民统计管理暂行办法》

近日,水利部、国家能源局以水移[2013]84号文件联合印发了《大中型水利枢纽和水电工程移民统计管理暂行办法》(以下简称《统计办法》),自印发之日起施行。

《统计办法》是《大中型水利水电工程建设征地补偿和移民安置条例》(国务院令第471号)的配套法规之一。移民统计工作是移民管理的一项重要基础性工作,是掌握移民安置和后期扶持情况、了解库区和移民安置区经济社会发展情况的重要途径。该办法的颁布实施,将进一步加强全国大中型水利枢纽和水电工程的移民统计管理工作,规范移民统计机构、统计调查、统计工作质量控制与管理,既有利于建立健全移民统计工作机制,落实有关各方统计工作责任,又能提高统计工作效率,确保移民统计工作质量,对进一步提高水利水电工程移民管理水平具有重要的现实意义。

(本刊编辑部供稿)