

# 昆明松华坝水源地降水特征及小波分析

刘新有<sup>1,2</sup>, 黄英<sup>3</sup>, 袁树堂<sup>1</sup>

(1.云南省水文水资源局,云南 昆明 650106; 2.云南大学亚洲国际河流中心,云南 昆明 650091;  
3.云南省水利水电科学研究院,云南 昆明 650228)

**摘要:**对松花坝站 1953~2011 年降水特征分析表明,昆明市松华坝水源地降水量呈减少趋势,且降水高度集中在主汛期,后汛期降水偏少,不利于水库防洪调度与水库蓄水。小波分析结果表明,松华坝水源地年降水量、汛期、主汛期和后汛期降水量均存在 2a 短周期,但长周期各异。年降水量、汛期及主汛期降水量在较大时间尺度上分为 1977 年之前的偏丰期、1977~1993 年的偏枯期、1994~2008 年的偏丰期、2009~2011 年的偏枯期,而后汛期降水量在较大时间尺度上分为 1957 年之前的偏枯期、1957~1968 年的偏丰期、1969~1982 年的偏枯期、1983~1997 年的偏丰期、1997~2011 年的偏枯期。由小波分析和趋势来看,2009 年之后的降水偏枯期还将延续 11a 左右的时间。

**关键词:**降水量;特征;小波分析;松华坝水源地

**中图分类号:**P333

**文献标识码:**A

**文章编号:**1000-0852(2013)02-0059-05

气候变化改变了水文循环过程,影响着水资源系统的结构与功能,将对人类的水资源开发利用带来新的挑战<sup>[1]</sup>。因此,基于气候变化影响的水资源评价对水资源规划和管理具有重要意义<sup>[2]</sup>,许多国际重大研究计划都把水文过程对全球变化的响应研究列为重要研究领域<sup>[3]</sup>。随着全球及区域气候模型的不断改进,水文过程时空变化的归因和预测研究取得了长足的进步<sup>[4]</sup>,但全球气候变化对复杂区域水文水资源的影响仍然是一个亟待解决的科学问题。

云南 2009 年以来的连续三年严重干旱引起了广泛关注。气象学家普遍认为,云南三年严重干旱与全球气候变化的大背景关联性非常明显,且该区域干旱将成为一种常态。受岩溶山区地形的制约,云南大部分城市分布于地形相对封闭的山间盆地,很少有大江大河流经,绝大部分以水库为主要水源。因此,水库水源地降水变化对城市可利用水资源量起着决定性作用,关系到城市水安全乃至城市经济社会发展的命脉。云南地形复杂且处于西南季风和东南季风的交汇区域,气候复杂多变,难以实现对降水的准确模拟。但由于降水作为具有一定规律的自然事件,通过统计学方法对降

水进行预测分析将是一种有效途径。松华坝水库是昆明市最重要的属地供水水源,关于松华坝的研究已有不少,但多侧重于生态环境保护方面<sup>[5-10]</sup>,对降水特征的研究甚少。本文利用松华坝雨量站 1953~2011 年长序列降水观测数据进行降水特征分析及小波分析,对松华坝水库来水预测及调度运行具有重要意义。

## 1 研究区概况

松华坝水源地是昆明市最重要的属地饮用水源地,位于昆明市北郊,102°45'~102°59'E,25°10'~25°28'N 之间,南北长 36km,东西宽 24km,总面积 593km<sup>2</sup>。水源区内地势由东北向西南倾斜,海拔高程在 1 920~2 600m 之间,主要有牧羊河和冷水河两条支流,在小河村东南汇合后称盘龙江,最终注入松华坝水库,下游经盘龙江注入滇池,是滇池最主要的供水源头。松华坝水库始建于 1958 年,1988~1995 年进行加固扩建,加固扩建使总库容从 7 000×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup> 提高到 2.19×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>,年均向昆明城区供水 1.4×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>。

昆明市是全国 14 个严重缺水城市之一,人均水资源量仅 300m<sup>3</sup>,只有全国人均占有量的 11%。在

收稿日期:2012-05-04

基金项目:水利部公益性行业项目“高原盆地城市水源地脆弱性诊断研究”(201001058)

作者简介:刘新有(1981-),男,湖南邵阳人,工程师,博士生,主要从事水文水资源与生态安全研究。E-mail:xyliu1981@163.com

2006 年实现云龙水库向昆明市引水之前,松华坝水库担负着全市 3/4 以上的供水任务。政府历来高度重视松花坝水源保护,但自 2000 年起,水量和水质均呈下降趋势。

2 松华坝水源地降水特征

2.1 降水量及其变化趋势

松华坝站 1953~2011 年降水统计特征见表 1,分析结果表明,59 年平均降水量为 951.3mm,其中 1997 年降水最多,降水量达 1 398.5mm,降水量贡献主要来自当年 7 月,降水量达 576.1mm。最早年发生在 2011 年,年降水量仅 560.9mm。年降水最大与最小值相差达 2.5 倍之多,变幅达 837.6mm。此外,年降水标准差达到年平均降水量的 20%,表明年降水量波动较大。

从时段来看,降水的丰枯趋势大致可分为:20 世纪 60 年代、70 年代和 90 年代偏多,50 年代、80 年代和 21 世纪以来偏少;2000~2011 年年平均降水量仅 891.4mm,较平均值偏少 7.5%,特别是 2009~2011 年年平均降水量仅 687.7mm,较平均值偏少 28.6%,三年连旱达百年一遇。为消除周期变化,对数据进行线性趋势处理,见图 1。其变化趋势表明,59 年来松华坝站降水量呈波动下降趋势,这与整个云南降水变化的大趋势一致<sup>[1]</sup>。

表1 松华坝站年降水统计特征  
Table1 The statistical characteristics of the annual precipitation at the Songhuaba station

| 时段        | 平均值/mm | 最大值/mm  | 最小值/mm | 标准差/mm |
|-----------|--------|---------|--------|--------|
| 1953~1959 | 951.3  | 1 236.5 | 749.1  | 179.3  |
| 1960~1969 | 999.2  | 1 305.3 | 725.2  | 179.1  |
| 1970~1979 | 986.5  | 1 368.9 | 644.0  | 205.3  |
| 1980~1989 | 936.4  | 1 199.6 | 660.4  | 178.2  |
| 1990~1999 | 1026.4 | 1 398.5 | 605.3  | 210.0  |
| 2000~2011 | 891.4  | 1 134.4 | 560.9  | 160.6  |
| 1953~2011 | 963.4  | 1 398.5 | 560.9  | 191.5  |

表2 松华坝站降水年内分配特征

Table2 The distribution characteristics of the annual precipitation at the Songhuaba station

| 时段平均      | 汛期(5~10月) |      | 主汛期(6~8月) |      | 后汛期(9~10月) |      |
|-----------|-----------|------|-----------|------|------------|------|
|           | 降水量/mm    | 比例/% | 降水量/mm    | 比例/% | 降水量/mm     | 比例/% |
| 1953~1959 | 853.9     | 89.8 | 581.2     | 61.1 | 177.6      | 18.7 |
| 1960~1969 | 913.0     | 91.4 | 624.2     | 62.5 | 228.5      | 22.9 |
| 1970~1979 | 852.6     | 86.4 | 585.1     | 59.3 | 161.3      | 16.3 |
| 1980~1989 | 821.3     | 87.7 | 539.2     | 57.6 | 202.7      | 21.6 |
| 1990~1999 | 908.0     | 88.5 | 591.7     | 57.6 | 230.4      | 22.5 |
| 2000~2011 | 786.3     | 88.2 | 538.7     | 60.4 | 144.2      | 16.2 |
| 1953~2011 | 853.6     | 88.6 | 575.2     | 59.7 | 189.9      | 19.7 |

2.2 降水年内分配

松华坝站 1953~2011 年降水年内分配特征见表 2,通过分析可知,受季风气候影响,该区 59 年来汛期(5~10 月)平均降水达 853.6mm,占全年降水量的 88.6%,而且常以暴雨形式发生。其中,主汛期(6~8 月)降水量达 575.2mm,占全年降水量的 59.7%;后汛期(9~10 月)降水量为 189.9mm,占全年降水量的 19.7%。汛期、主汛期和后汛期降水量总体趋势与年降水量一致,均呈减少趋势(见图 1)。从各时段降水年内分配来看,1960~1969 年汛期降水量最大,达 913.0mm,占全年降水量的比例也最高,达 91.4%;20 世纪 80 年代之后,汛期降水占全年降水量的比例稳定在 88%左右;21 世纪以来,后汛期平均降水量仅 144.2mm,占全年降水量的比例也只有 16.2%,说明后汛期降水量近年较常年明显偏少。

由此可知,该区域降水高度集中在汛期,特别是主汛期,不利于水库防洪调度;而后汛期降水量偏少,对水库蓄水不利。按照松华坝水库调度运行制度,为保证防洪安全,主汛期一般保持在防洪限制水位运行,后汛期逐步蓄水至正常蓄水位,而由于后汛期降水偏少,往往不能满足水库蓄水要求。因此,应根据该

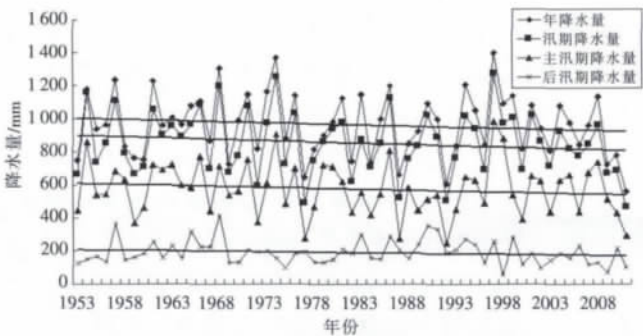


图1 松华坝站不同时段降水量变化趋势  
Fig.1 The change trend of the precipitation at at Songhuaba station in various durations

区域降水年内分配特征,适当提前水库蓄水时间,以解决主汛期弃水过多而后汛期蓄水不足的矛盾,提高水资源利用率。

### 3 松华坝水源地降水小波分析

在气候诊断中,广泛使用的傅里叶变换可以显示出气候序列不同尺度的相对贡献,而小波变换不仅可以给出气候序列变化的尺度,还可以显现出变化的时间位置,后者为气候预测提供了一种新的途径。本文采用在水文气象分析中常用的 Mexican Hat 函数对松华坝站降水时间序列按照全年和汛期不同时段进行详细分析,探讨松华坝水源地降水量的变化特征及变化趋势。

#### 3.1 年降水量小波分析

年降水量小波分析结果见图2,结果表明,年降水量存在2a短周期和26~30a长周期两个较明显的变化周期,且2a短周期更为明显。年降水量变化在较大时间尺度上可分为4个阶段:1977年之前的偏丰期、1977~1993年的偏枯期、1994~2008年的偏丰期、2009~2011年的偏枯期。由小波分析和总体变化趋势来看,2009年之后的偏枯期还将延续11a左右的时间,但2a内降水量相对于2009~2011年将有所增加。因此,虽然未来一段时期旱情较2009~2011年3年连旱有所缓解,但仍然面临较为严峻的旱灾考验。

#### 3.2 不同时段降水量小波分析

不同时段降水量小波分析结果(图3~5)表明,汛期(5~10月)、主汛期(6~8月)和后汛期(9~10月)降水量均与年降水量一样存在2a的短周期,但长周期的时间尺度存在一定的差异。汛期降水量长周期与年降水量一样为26~30a,主汛期降水量长周期为22~28a,后

汛期降水量长周期为28~32a。此外,各时段降水量短周期和长周期的相对明显程度也不同,汛期和主汛期降水量短周期比长周期更明显,而后汛期降水量长周期比短周期更明显。

由于汛期特别是主汛期降水是年降水的主要组成部分,因此,汛期和主汛期降水量在较大时间尺度上与年降水量存在一样的4个阶段,未来的变化趋势也与年降水量一致。后汛期降水量变化在较大时间尺度上可分为4个阶段:1957年前的偏枯期、1957~1968年的偏丰期、1969~1982年的偏枯期、1983~1997年的偏丰期、1997~2011年的偏枯期,与年降水量的丰枯变化存在一定的差异。由小波分析和总体变化趋势来看,今后15a左右时间内,后汛期降水量的将处于偏丰期,但在全年降水量中所占比例仍然较小,对缓解水库蓄水不足及冬春旱情的作用有限。

### 4 结论

松花坝站降水特征分析表明:松花坝水源地多年平均降水量为951.3mm,最大年降水量达1398.5mm,最小仅560.9mm,降水年际波动较大;汛期(5~10月)平均降水占全年降水量的88.6%,主汛期(6~8月)降水量占全年降水量的59.7%,后汛期(9~10月)降水量占全年降水量的19.7%。年降水量及汛期、主汛期和后汛期降水量均呈减少趋势,未来一定时期内干旱形势依然严峻。降水高度集中在汛期,特别是主汛期,不利于水库防洪调度;而后汛期降水量偏少,对水库蓄水不利。

小波分析结果表明:年降水量及汛期、主汛期和后汛期降水量均存在2a短周期,汛期降水量长周期与年降水量一致均为26~30a,主汛期和后汛期降水量

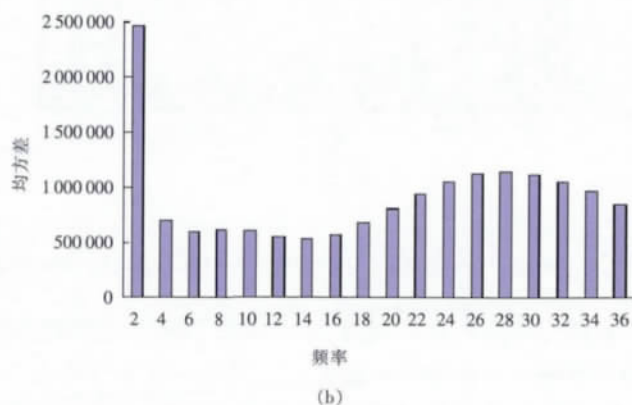
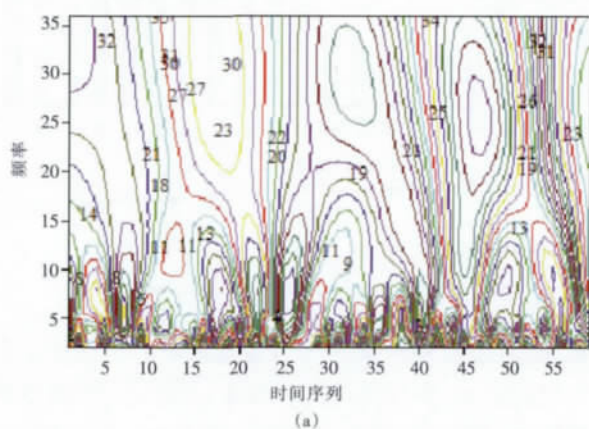


图2 松华坝站年降水量小波分析(a)与频率均方差(b)

Fig.2 The annual precipitation wavelet analysis (a) and frequency variance (b) about the Songhuaba station



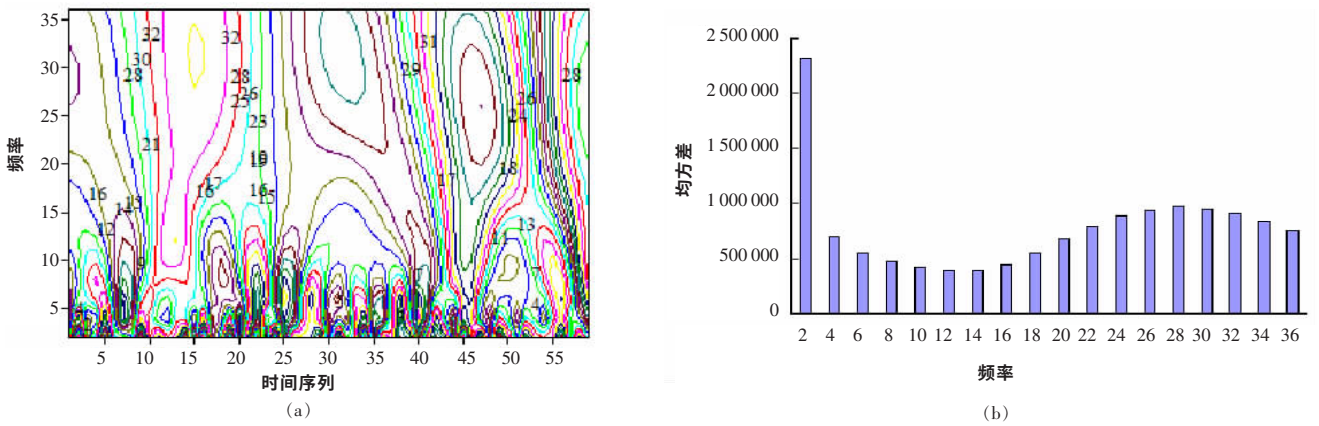


图 3 松华坝站汛期(5~10月)降水量小波分析(a)与频率均方差(b)

Fig.3 The flood season(May~Oct.) precipitation wavelet analysis (a) and frequency variance (b) about the Songhuaba station

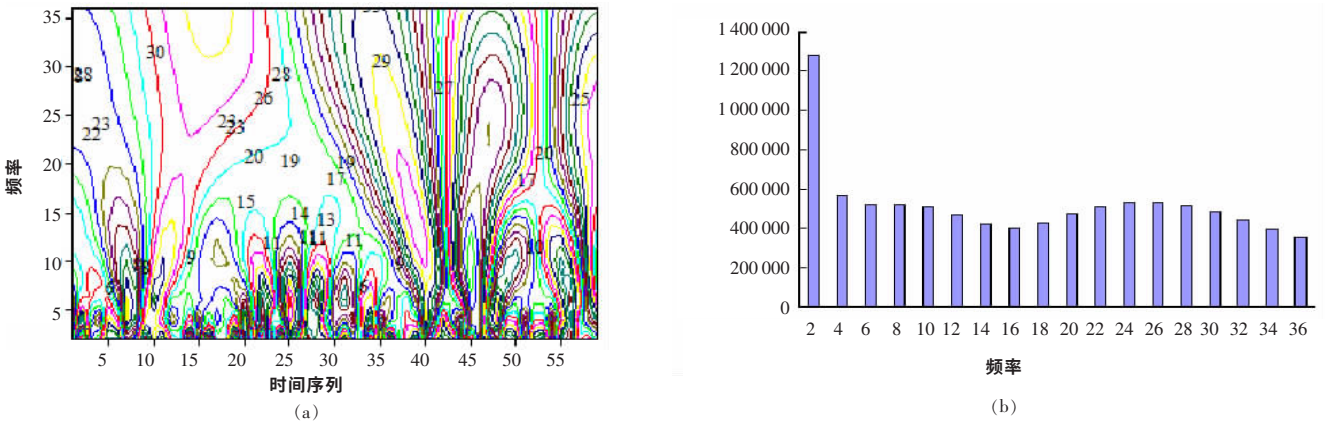


图 4 松华坝站主汛期(6~8月)降水量小波分析(a)与频率均方差(b)

Fig.4 The main flood season(Jun~Aug.) precipitation wavelet analysis (a) and frequency variance (b) about the Songhuaba station

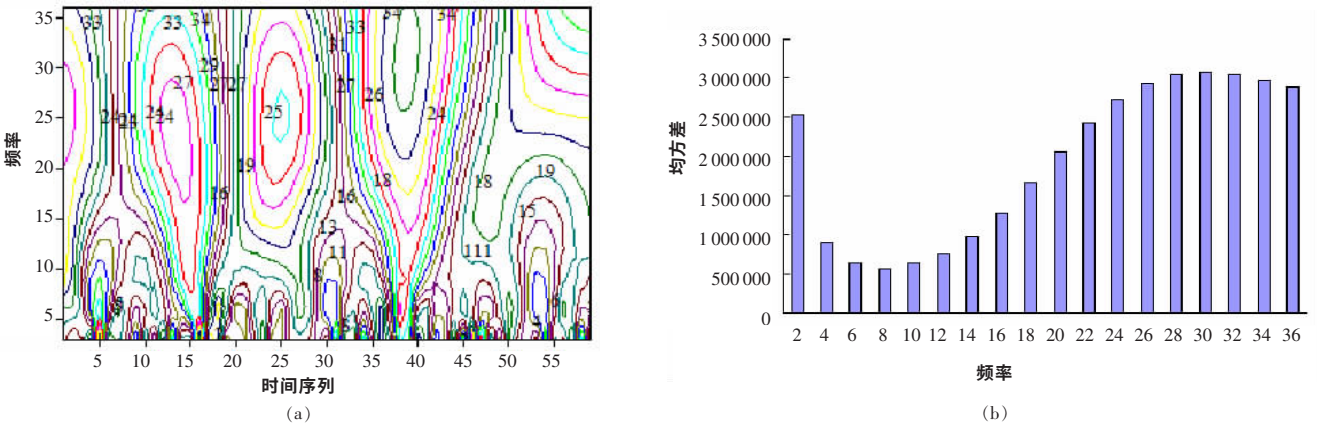


图 5 松华坝站后汛期(9~10月)降水量小波分析(a)与频率均方差(b)

Fig.5 The post flood season(Sep~Oct.) precipitation wavelet analysis (a) and frequency variance (b) about the Songhuaba station

长周期与年降水量分别为 22~28a 和 28~32a。年降水量及汛期、主汛期降水量在较大时间尺度上可分为 4 个阶段的交替变化:1977 年之前的偏丰期、1977~1993 年的偏枯期、1994~2008 年的偏丰期、2009~2011 年的

偏枯期;后汛期降水量变化与年降水量的丰枯变化存在一定的差异,在较大时间尺度上可分为 4 个阶段的交替变化:1957 年前的偏枯期、1957~1968 年的偏丰期、1969~1982 年的偏枯期、1983~1997 年的偏丰期、

1997~2011 年的偏枯期。由小波分析和总体变化趋势来看,2009 年之后的降水偏枯期还将延续 11a 左右的时间,干旱仍将持续;后汛期降水量在今后 15a 左右时间内将处于偏丰期,但在全年降水量中所占比例仍然较小,对缓解水库蓄水不足及冬春旱情的作用有限。

参考文献:

- [1] 刘昌明,刘小莽,郑红星.气候变化对水文水资源影响问题的探讨[J]. 科学对社会的影响,2008 (2):21-27.(LIU Changmin, LIU Xinmang, ZHENG Hongxing. The discussion about impact of climate change on hydrology and water resources [J]. Impact of Science on Society, 2008(2):21-27.(in Chinese))
- [2] 刘艳丽,张建云,王国庆,等.气候自然变异在气候变化对水资源影响评价中的贡献分析——I: 基准期的模型与方法 [J]. 水科学进展, 2012,23 (2):147-155.(LIU Yanli, ZHANG Jianyun, WANG Guoqing, et al. The contribution analysis of climate Natural variation in the climate change impacts on water resources evaluation I: models and methods of the base period [J]. Advances in Water Science, 2012,23(2):147-155.(in Chinese))
- [3] 张建云,王国庆.气候变化对水文水资源影响研究[M].北京:科学出版社,2007.(ZHANG Jianyun, WANG Guoqing. Study on the Impact of Climate Change on Hydrology and Water Resources [M]. Beijing: Science Press,2007.(in Chinese))
- [4] IPCC. The fourth assessment report [EB/OL].http://ipcc-ddc.cnl.uea.ac.uk,2007.
- [5] 李宗逊. 水源保护区保护的概念框架——以昆明市松华坝水源保护区为例[J].生态经济,2007(6):137-139. (LI Zongxun. The environment protecting concept frame in Songhuaba water source protected area in Kunming[J]. Ecological Economy, 2007(6):137-139.(in Chinese))
- [6] 董铭,史正涛,李滨勇,等.松华坝水源保护区土地利用/土地覆被变化研究[J].云南师范大学学报(自然科学版),2011,31(2):72-78.(DONG Ming, SHI Zhengtao, LI Binyong, et al. A study on land use and land cover change (LUCC) in Songhuaba water source conservation region [J]. Journal of Yunnan Normal University (natural sciences edition), 2011,31(2):72-78.(in Chinese))
- [7] 赵璟,秦海龙,方小林.昆明市松华坝水源保护区生态补偿机制与政策建议[J].西南林学院学报,2008, 28(4):137-141.(ZHAO Jing, QIN Hailong, FANG Xiaolin. Ecological compensation mechanism and policy proposals for Songhuaba watershed conservation area, Kunming[J]. Journal of Southwest Forestry College, 2008, 28 (4):137-141.(in Chinese))
- [8] 陈加莉,尹浩.松华坝水库源区旱地生态修复研究[J].安徽农业科学, 2009,37 (24):11696-11698.(CHEN Jiali, YIN Hao. Study on dry land ecological restoration of Songhuaba reservoir source area[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009,37 (24):11696-11698. (in Chinese))
- [9] 何承刚,冯彦,李运刚.松华坝流域非点源污染关键源区识别[J].安徽农业科学,2009,37 (28): 13768-13771.(HE Chenggang, FENG Yan, LI Yungang. Identification of critical nonpoint pollution source in Songhuaba watershed [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009,37(28): 13768-13771.(in Chinese))
- [10] 牛芳兵,朱克西.昆明市松华坝水源区人口容量分析[J].云南农业大学学报,2010,4 (2):1-4.(NIU Fangbing, ZHU Kexi. The analysis on population capacity of Songhuaba water district in Kunming[J]. Journal of Yunnan Agricultural University,2010,4 (2):1-4.(in Chinese))
- [11] 刘瑜,赵尔旭,黄玮,等.云南近 46 年降水与气温变化趋势的特征分析[J].灾害学,2010,25(1):39-44,63. (LIU Yu, ZHAO Erxu, HUANG Wei, et al. Characteristic analysis of precipitation and temperature trend in Yunnan province in recent 46 year [J]. Journal of Catastrophology, 2010,25(1):39-44,63.(in Chinese))

## Wavelet Analysis of Precipitation Characteristics in Songhuaba Water Source Area of Kunming

LIU Xinyou<sup>1,2</sup>, HUANG Ying<sup>3</sup>, YUAN Shutang<sup>1</sup>

(1.Hydrology & Water Resources Bureau of Yunnan Province, Kunming 650106, China;

2.Asian International Rivers Center, Yunnan University, Kunming 650091, China;

3.Yunan Institute of Water Resource and Hydropower Research, Kunming 650228, China)

**Abstract:** The analysis of precipitation characteristics at the Songhuaba Station from 1953 to 2011 indicates that the precipitation in the Songhuaba water source area of Kunming has a decrease trend, the precipitation highly concentrated in main flood period, and precipitation is less than normal in post-freshet period, which is unfavorable for flood control and reservoir storage. The results of wavelet analysis show that the annual precipitation, the precipitation of flood period, main flood period and post-freshet period have short period of 2 years. The annual precipitation, the precipitation of flood period and main flood period in large time scale can be divided into the high-water period before 1977, low-water period from 1977 to 1993, high-water period from 1994 to 2008, low-water period from 2009 to 2011. The precipitation of post-freshet period in the larger time scale can be divided into the low-water period before 1957, high-water period from 1957 to 1968, low-water period from 1969 to 1982, high-water period from 1983 to 1997, and low-water period from 1997 to 2011. The wavelet analysis shows that the low-water period after 2009 will last about 11 years.

**Key words:** precipitation; characteristics; wavelet analysis; Songhuaba water source area