

龙川江径流年内分配及变化趋势研究*

陈贤光¹, 王 龙^{2**}, 张玉龙³

- (1. 云南省师宗县水务局, 云南 师宗 655700;
2. 云南农业大学 水资源与节水灌溉重点实验室, 云南 昆明 650201;
3. 楚雄欣源水利电力勘察设计有限责任公司, 云南 楚雄 675000)

摘要: 河川径流年内分配特征影响水资源开发利用和区域生态环境, 它的变化在一定程度上能反映人类活动和气候变化。本文根据龙川江干流主要水文测站 1954~2001 的月天然径流资料, 分析了年内分配不均匀系数、完全调节系数、集中度、集中期和变化幅度等特性及变化趋势。结果表明: 小黄瓜园站和楚雄站径流年内分配不均匀系数、完全调节系数都存在减小趋势, 2 个测站总体变化趋势相近; 对比楚雄站和小黄瓜园站不均匀系数和集中度的拟合曲线, 可以发现楚雄站年内分配不均匀系数、集中度降低趋势比黄瓜园站明显, 同时, 径流集中期无明显变化, 但楚雄站的径流集中期要略早于黄瓜园站。

关键词: 年内分配; 径流; 趋势; 龙川江

中图分类号: TV 121.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-390X (2011) 05-0712-05

Study on Change Trend of Annual Runoff Distribution in Longchuan River

CHEN Xian-guang¹, WANG Long², ZHANG Yu-long³

- (1. Shizong County Water Authority, Shizong 655700, China; 2. The Key Laboratory for Water Resource and Water-saving Irrigation, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 3. Chuxiong Xinyuan Water Conservancy & Electric Power Investigation and Design Co. Ltd., Chuxiong 675000, China)

Abstract: Water resources utilization and regional eco-environment are influenced by annual stream-runoff distribution, to some extent, the change of which reflects the human activity and the climate change. In this paper, the index of unevenness, complete adjustment coefficient, runoff-concentration degree, runoff-concentration period and variation were defined and calculated according to gauge records of monthly runoff of Longchuan main hydrologic stations during 1954~2001. The result showed that the unevenness index and complete adjustment coefficient of Xiao Huangguayuan station and Chuxiong station were in negative trend and the changing tendency was quite-similar; compared with the fitting curves, the decreasing tendency of the unevenness index, runoff-concentration degree of Chuxiong station appeared more obvious than that of Xiao Huangguanyuan station; there was no obvious change in runoff-concentration period, which of Chuxiong station came earlier than that of Xiao Huangguayuan station.

Key words: annual distribution; runoff; trend; Longchuan River

收稿日期: 2010-04-28 修回日期: 2010-12-27 网络出版时间:

* 基金项目: 云南省应用基础研究面上项目 (2007D210M)。

作者简介: 陈贤光 (1974-), 男, 云南师宗人, 工程师, 主要从事水利工程管理工作。

** 通讯作者 Corresponding author: 王龙 (1975-), 男, 四川射洪人, 副教授, 研究生, 主要从事水资源及节水领域研究。E-mail: yndwl@126.com。

网络出版地址:

河川径流的年内分配存在不均匀性,不同的河流及同一河流的不同年份,径流年内分配的不均匀程度不同,这一径流变化特征直接影响着水利工程的规模与水资源的合理配置^[1-3],同时河川径流的年内分布特征不仅影响人类社会系统的安全,同时也影响自然生态系统的健康^[4]。同其他径流特征如极限水位干旱历时、旱涝规律、枯水径流变化规律及其定量方法一样,河川径流的年内分配也是水文水资源学研究的重要内容。同时,径流年内分配长期变化趋势在一定程度上受到气候变化、人类活动等多种因素的影响,因此,研究年内分配的长期变化过程在一定程度上可以反映气候变化及人类活动对径流年内分配的影响,因此也是近年来关注的热点^[5-8]。

1 材料与方法

1.1 研究区域

龙川江流域位于 N24°45' ~ 26°15', E100°56' ~ 102°02' 之间,流域面积 9 240.7 km²,龙川江干流全长约 246 km,由西南向北流经南华、楚雄、禄丰、元谋等县,最后在元谋江边汇入金沙江。龙川江流域地处横断山脉与云贵高原的过渡地带,流域内大部份属中山山原地貌,中上游山高坡陡,河床切割深,地形起伏大,下游地势较缓,为盆地地形。大气降水是地表径流的主要补给水源,属于地表补给型。

小黄瓜园水文站站位于龙川江下游,位置为 E101°52', N25°50', 测站高程 1 060 m,集水面积 5 560 km²,为国家基本站。收集数据为 1954 ~ 2001 年的年、月径流量。楚雄水文站位于龙川江上游,站点位置为 E101°34', N25°03', 测站高程 1 774 m,集水面积 1 788 km² 收集数据为 1954 ~ 2001 年的年、月径流量资料。

1.2 分析方法

径流的变化通常包含“量”和“结构”的变化。前者通常是指径流总量、流量等数值上的变化。而后者则注重从径流过程线的“形状”上进行分析,它反映不同时段内径流的比例。本文径流年内分配特征的分析即属于后者。径流年内分配特征的标度有多种不同方法^[2-8],通常使用较多的有

各月(或季)占年径流的百分比数、汛期~非汛期占年径流的百分比数等。除了上述方法之外,为了进一步定量分析龙川江流域水循环的变化,本文采用年内不均匀系数、集中度(期)等不同指标,从不同角度分析径流年内分配特征的变化规律。

1.2.1 不均匀性分析

由于气候的季节性波动,气象要素如降水和气温都有明显的季节性变化,从而在相当大程度上决定了径流年内分配的不均匀性。综合反映河川径流年内分配不均匀性的特征值有许多不同的计算方法。本文用径流年内分配不均匀系数和径流年内分配完全调节系数,来衡量径流年内分配的不均匀性。

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{R}},$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} [R(i) - \bar{R}]^2},$$

$$\bar{R} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} R(i). \quad (1)$$

式中, $R(i)$ 为年内各月径流量, \bar{R} 为年内月平均径流量。由式(1)中可以看出, C_v 值越大即表明年内各月径流量分配越不均匀。

年内分配完全调节系数的定义如下式(2)。

$$C_r = \sum_{i=1}^{12} \varphi(i) [R(i) - \bar{R}] / \sum_{i=1}^{12} R(i),$$

$$\varphi(i) = \begin{cases} 0, & R(i) < \bar{R} \\ 1, & R(i) \geq \bar{R} \end{cases} \quad (2)$$

式(2)显示年内分配完全调节系数 C_r 与不均匀系数 C_v 一样,越大表示年内分配越不均匀。

1.2.2 集中程度分析

集中度与集中期是将一年各月的径流量作为向量来分析。1~12月的方位角 θ_i 为 $0^\circ \sim 360^\circ$, 即向量的方向;各月径流量的大小为向量的长度,并把每个月的径流量分解为 x 和 y 两个方向上的分量,则 x 和 y 方向上的向量合成分别为:

$$R_x = \sum_{i=1}^{12} R(i) \times \cos\theta_i,$$

$$R_y = \sum_{i=1}^{12} R(i) \times \sin\theta_i \quad (3)$$

$$\text{径流合成为 } R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad (4)$$

$$\text{集中度为 } C_d = R / \sum_{i=1}^{12} R(i) \quad (5)$$

$$\text{集中期为 } T = R / \arctan(R_y / R_x) \quad (6)$$

由式 (5) 可以看出, 合成向量的方位, 即集中期 D 指示了月径流量合成后的总效应, 也就是向量合成后重心所指示的角度, 即表示一年中最大月径流量出现的月份。而集中度则反映了集中期径流值占年总径流的比例。从这个角度看, 集中度与通常采用的汛期径流占全年径流比有明显的相关关系。

1.2.3 变化幅度分析

径流变化幅度的大小对于水利调节和水生生物的生长繁殖都有重要的影响。变化幅度过大, 水资源的开发利用难度相应增加, 水利调节的力度就必须相应地加强。另一方面, 河川径流形势适当的变化幅度是一些水生生物重要的生存条件, 过于平稳或者过于激烈的变化则可能导致水生生物生境的破坏, 威胁生态安全。

本文用两个指标来衡量河川径流的变化幅度,

一个是相对变化幅度, 即取河川径流最大月流量 R_{max} 和最小月流量 R_{min} 之比, 如式 (7), 以及二者与年平均流量之比, 如式 (8) 和式 (9); 另一个是绝对变化幅度, 即最大最小月河川径流之差, 定义如式 (10)。

$$C_m = R_{max} / R_{min} \tag{7}$$

$$C_{m \ max} = R_{max} / \bar{R} \tag{8}$$

$$C_{m \ min} = R_{min} / \bar{R} \tag{9}$$

$$\Delta R = R_{max} - R_{min} \tag{10}$$

2 结果与分析

2.1 龙川江流域径流年内分配不均匀性

对龙川江流域小黄瓜园站和楚雄站的月径流资料, 按照式 (1) 计算径流量年内分配不均性, 结果如表 1 所示, 点绘 2 站年径流年内分配变化及其拟合曲线, 见图 1。

表 1 龙川江流域径流年内分配不均性计算成果表

Tab. 1 Unevenness of annual runoff distribution in the Longchuan River

年代 year	小黄瓜园站 Xiao Huangguayuan station		楚雄站 Chuxiong station	
	年内分配不均匀系数 the unevenness coefficient	年内分配完全调节系数 adjustment factor	年内分配不均匀系数 the unevenness coefficient	年内分配完全调节系数 adjustment factor
	C_v	C_r	C_v	C_r
1950	1.482	0.528	1.520	0.511
1960	1.373	0.495	1.316	0.463
1970	1.331	0.507	1.219	0.459
1980	1.304	0.526	1.100	0.439
1990	1.268	0.502	1.200	0.461
均值 mean	1.337	0.510	1.253	0.464

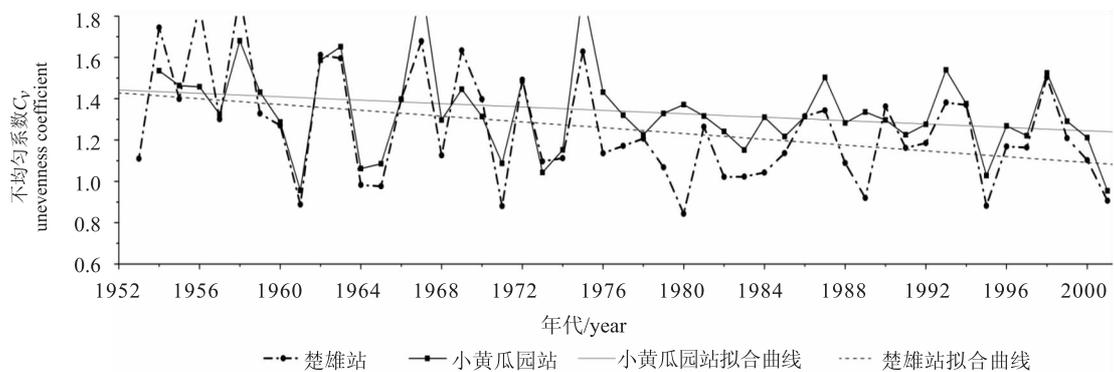


图 1 径流年内分配不均匀系数变化及趋势

Fig. 1 Variation of the unevenness coefficient (C_v) of annual runoff distribution

从表1, 图1可知: (1) 20世纪50年代, 小黄瓜园站和楚雄站径流年内分配比较集中, 该段年内分配不均匀系数较高, 从50年代至90年代, 不均匀系数呈减少趋势, 说明径流年内分配分布具有均匀化趋势。(2) 从 C_v 变化过程线可以发现2站径流年内分配不均匀系数变化总体变化过程具有相似性, 反映了流域内的相似性, 在局部年份具有差异。(3) 径流年内分配调节系数 C_r

与不均匀系数 C_v 二者变化规律相似。

2.2 龙川江流域径流年内分配集中度及集中期

根据公式(5), (6)分别计算小黄瓜园站和楚雄站的径流年内分配的集中期和集中度, 利用公式(6)计算得到合向量的角度, R_x, R_y 正负号最终确定合向量的角度及其分布象限, 从而根据角度与月份的对应关系, 确定集中期的月份。计算结果见表2。

表2 龙川江径流年内分配集中度与集中期

Tab. 2 The concentration rate and period of annual runoff distribution in Longchuan Rive

年代 year	小黄瓜园站 Xiao Huangguayuan station			楚雄站 Chuxiong station		
	C_d	合向量方向/ (°)	T	C_d	合向量方向/ (°)	T
	concentration rate	direction	month	concentration rate	direction	month
1950	0.699	224.56	8.40	0.68	230.16	8.68
1960	0.700	223.30	8.45	0.66	215.08	8.17
1970	0.712	216.93	8.23	0.62	205.09	7.83
1980	0.722	221.99	8.40	0.60	207.63	7.92
1990	0.704	215.73	8.19	0.65	213.52	8.12
均值 mean	0.708	219.97	8.33	0.64	213.29	8.11

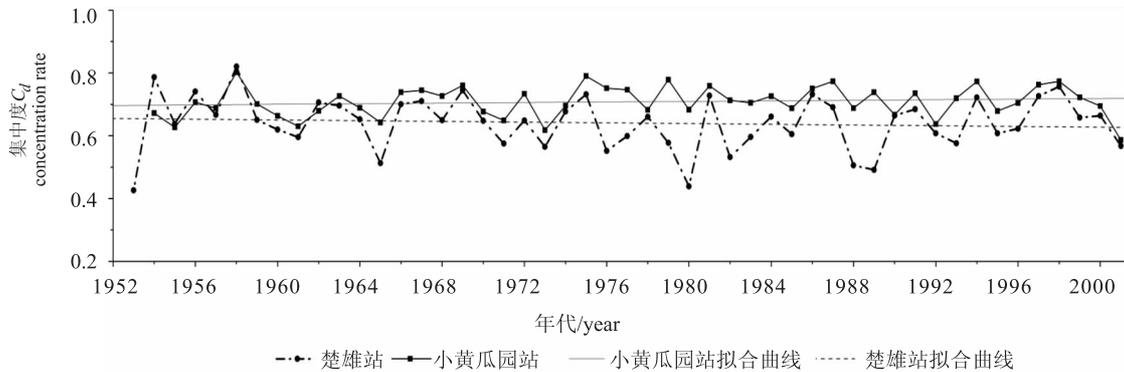


图2 径流年内集中度变化及趋势

Fig. 2 Variation of concentration rate of annual runoff distribution

从表2, 图2可知: (1) 小黄瓜园站径流分配多年平均集中度为0.708 高于楚雄站多年平均值0.64, 2个站的集中度从50年代至90年代具有下降趋势, 但趋势不显著; (2) 小黄瓜园站径流集中期变化幅度较小, 主要集中于8月中旬, 多年平均集中期也为8月中旬; 楚雄站径流集中期稍微提前于小黄瓜园站, 多年平均集中期为8月上旬。

2.3 龙川江流域径流年内分配变化幅度

年内分配变化幅度用相对变化幅度和绝对变化幅度进行衡量, 根据公式(7)~(10)进行计算分析, 结果见表3。

从径流年内变化幅度看, 小黄瓜园站相对变化幅度指标 $C_m, C_{m_{max}}$ 均高于楚雄站, 绝对变化幅度指标 ΔR 也高于楚雄站, 在一定程度上反映了河道调蓄对径流年内分配的影响。

表 3 龙川江流域径流年内变化幅度

Tab. 3 Variation range of annual runoff distribution

年代 year	小黄瓜园站 Xiao Huangguayuan station				楚雄站 Chuxiong station			
	C_m	$C_{m \min}$	$C_{m \max}$	ΔR	C_m	$C_{m \min}$	$C_{m \max}$	ΔR
1950	254.48	0.04	4.05	224.56	239.03	0.05	4.52	42.99
1960	91.61	0.08	3.99	223.30	85.51	0.09	4.03	42.94
1970	84.42	0.06	3.99	216.93	67.24	0.10	3.54	33.04
1980	83.80	0.06	3.75	221.99	94.24	0.08	3.30	24.83
1990	166.10	0.04	3.74	215.73	87.46	0.08	3.79	47.73
均值 mean	127.46	0.06	3.89	219.97	105.97	0.08	3.79	38.40

3 讨论

本文通过选取龙川江流域上游楚雄站和下游小黄瓜园站近 50 年的月实测资料, 以不均匀性指数、集中度及集中期、变化幅度三类指标, 具体分析了龙川江流域径流年内分配的变化规律。研究表明: (1) 龙川江流域径流年内分配均存在不均性, 以不均性系数考量, 小黄瓜园站和楚雄站径流年内分配不均匀系数存在减小趋势, 径流年内分配存在均匀化趋势。(2) 总体分析集中度变化拟合曲线, 小黄瓜园站和楚雄站集中度均存在下降趋势, 体现了和不均匀系数共同的变化特征。(3) 对比上游的楚雄站和下游小黄瓜园站不均匀系数和集中度的拟合曲线, 可以发现上游楚雄站均匀化趋势更为明显, 同时, 上游楚雄站的径流集中期要先于下游黄瓜园站。

应用有限的指标来衡量和评价龙川江径流年内分配的特征及其变化规律可能存在一定的局限性, 为更加科学准确地理解和把握径流的年内分配特征, 必须进一步研究更合适的指标或方法。同时, 定量分析人类活动及气候变化对径流年内分配的影响, 以及径流年内分配变化对社会经济和生态环境

的影响效应也是值得今后继续深入研究的内容。

[参考文献]

- [1] 施嘉扬. 水资源综合利用 [M]. 北京: 中国水利电力出版社, 1995.
- [2] 冯国章, 王双银. 河流枯水流量特征研究 [J]. 自然资源学报, 1995, 10 (2): 127-135.
- [3] 冯国章. 关中地区河流水文干旱特征分析 [J]. 西北农业大学学报, 1994, 22 (增刊): 75-84.
- [4] 郑红星, 刘昌明. 黄河源区径流年内分配变化规律分析 [J]. 地理科学进展, 2003, 22 (6): 585-590.
- [5] 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.
- [6] 王纪军, 裴铁璠, 顾万龙等. 降水年内分配不均匀性指标 [J]. 生态学杂志, 2007, 26 (9): 1364-1368.
- [7] 燕华云, 杨贵林, 汪青春. 长江源区径流年内分配时程变化规律分析 [J]. 冰川冻土, 2006, 28 (4): 526-529.
- [8] 杨远东. 河川径流年内分配的计算方法 [J]. 地理学报, 1984, 39 (2): 218-227.