

水文年内不均匀系数的探讨

冯光扬

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所)

提 要 本文从物理概念、年内不均匀系数等值线图的绘制与应用、计算机程序应用三个方面提出采用年内分配不均匀变差系数 C_v 。研究降水、径流及泥沙年内不均匀程度,并用长江上游干支流250个水文站多年平均 \bar{C}_v 、 \bar{C}_1 、完全调节系数 \bar{C}_L 翔实资料进行全面对比论证,对完善年内不均匀系数有一定的理论和实用价值。

关键词 水资源 不均匀系数 长江

水资源和水文地理在研究河川径流年内不均匀系数时,习惯上采用时段为月(即 $n=12$)。由于一年内旬、月的天数为变量,所以河川径流年内不均匀系数 C_v, C_1, C_L 的定量分析应以旬、月径流为单位,不能以旬、月平均流量为单位。而采用径流、流量计算年内不均匀系数造成的误差随时间、空间而变化,误差约为 0.5—10.0%,但由日径流与日平均流量计算的年内不均匀系数是一致的。

一、年内分配不均匀变差系数 C_v

河川径流日历年内分配不均匀变差系数 C_v 为均方差(又称标准差) δ 与平均时段径流 V_0 的比值。

$$C_v = \delta / V_0 = [1/n \times \sum_{j=1}^n (V_j / V_0 - 1)^2]^{0.5} \quad (1)$$

$$V_0 = 1/n \times \sum_{j=1}^n V_j \quad (2)$$

$$\delta = (1/n \times \sum_{j=1}^n (V_j - V_0)^2)^{0.5} \quad (3)$$

式中 V_j 为各时段径流(亿立方米), $j=1, 2, \dots, n$

年内各时段径流 V_j 相等时,则 δ 与 C_v 均为 0,表明径流年内分配均匀;而年内各时段径流 V_j 愈集中,则年内分配愈不均匀,均方差 δ 与不均匀系数 C_v 随之增大。可见,河川径流年内不均匀系数 C_v 大于或等于 0,即 $C_v \geq 0$ 。

河川径流具有 N 年实测资料时,多年平均年内分配变差系数 \bar{C}_v 由式(4)计算。长江上游干支流上 250 个水文站,1958—1986 年多年平均 \bar{C}_v 值由式(4)分别计算,各站 \bar{C}_v 值在 0.51—1.94 之间变化, \bar{C}_v 最大值为涪江支流赵家河刘家乡站 1.94,而 \bar{C}_v 最小值是嘉陵江支流白水河鹤衣坝站 0.51。

本文改回日期:1990-12-03.

$$\bar{C}_L = 1/N \times \sum_{i=1}^N (C_{Li}) \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (4)$$

二、完全年调节系数 C_L

苏联专家 П. М. 德米特列也夫斯基于 50 年代提出用完全年调节系数 C_L 研究径流年内分配不均匀特性, 调节系数 $C_L^{(1)}$ 由式(5—8)计算。

$$C_L = W/V \quad (5)$$

$$V = \sum_{j=0}^b V_j \quad (6)$$

$$V_0 = V/n \quad (7)$$

$$W_j = \sum_{j=0}^b (V_j - V_0) \quad (8)$$

径流完全年调节系数 C_L 应按水利年度计算, 即从本年的余水期至次年的枯水期末。余水期起点 a 由来水量 V_j 大于用水量 V_0 确定, 而次年供水期末为 b , 由式(8)计算水利年径流差积曲线。附图中虚线为岷江镇江关站 1958 年 5 月—1959 年 4 月的月径流差积曲线 W_j , 差积曲线上最大纵座标 W_d 及供水期间的最小纵座标为 W_n , 而兴利库容 W 为 W_d 与 W_n 之差的绝对值, 因此径流完全年调节系数 C_L 为兴利库容 W 与水利年年径流 V 的比值。可见, 在水利年内全年无弃水也无缺水, 河川径流 V_j 被充分利用。

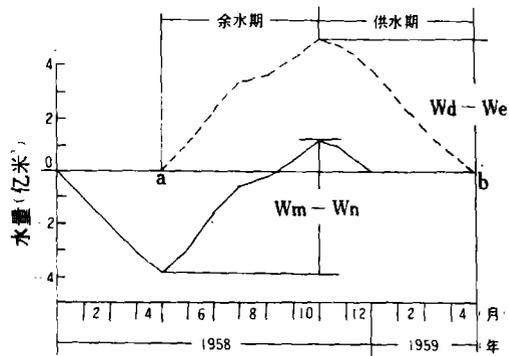
水利年内各时段径流 V_j 相等时, 表明径流年内分配均匀, 无需兴建水库进行调节, 则兴利库容 W 与完全年调节系数 C_L 均为 0; 相反, 水利年内各时段径流 V_j 分配不均匀, V_j 愈集中则水库的兴利库容 W 就愈大, C_L 亦随之增大。因此完全年调节系数 C_L 的区间是: $0 \leq C_L < 1$ 。

河流上某水文站具有 N 年实测径流资料时, 多年平均完全年调节系数 \bar{C}_L 由式(9)计算。长江上游 1958—1986 年各水文站多年平均年调节系数 \bar{C}_L 在 0.17—0.55 之间变化, \bar{C}_L 最大值为涪江刘家乡站 0.55, 而 \bar{C}_L 最小值为南广河罗渡站 0.17。

$$\bar{C}_L = 1/N \times \sum_{i=1}^N (C_{Li}) \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (9)$$

三、年内分配不均匀系数 C_1

日历年月平均流量 Q_i 大于年平均流量 Q_0 的系列为连续或不连续时, 年内分配不均



附图 岷江镇江关站径流差积曲线
Figure Curve of runoff difference at Jiangguan
Station of Minjiangzhen

匀系数 $C_1^{(2)}$ 分别由式(10)或式(11)计算。

$$C_1 = (\sum_{i=1}^n Q_i - n Q_0) / 12 Q_0 \quad (10)$$

$$C_1 = [\sum_{i=1}^n Q_i - n Q_0 - (m Q_0 - \sum_{i=1}^m Q_i)] / 12 Q_0 \quad (11)$$

式中 n 与 $\sum_{i=1}^n Q_i$ 分别为月平均流量 Q_i 大于年平均流量 Q_0 的月数及该 Q_i 之流量和, 而 m 与 $\sum_{i=1}^m Q_i$ 分别为 Q_i 小于 Q_0 的月数及该 Q_i 的流量和。

年内分配不均匀系数 $C_1^{(3)}$ 为:

$$C_1 = \sum_{i=1}^l Q_i' / \sum_{i=1}^{12} Q_i - l' / 12 \quad (12)$$

式中 l' 与 $\sum_{i=1}^l Q_i'$ 分别为月平均流量 Q_i' 大于年平均流量 Q_0 的月数及该 Q_i' 的流量和, 而 $\sum_{i=1}^{12} Q_i$ 为年内 1—12 月各月的月平均流量 Q_i 之和。

年内分配不均匀系数 $C_1^{(4)}$ 为:

$$C_1 = (P_k - P_1) / n \bar{X} \quad (13)$$

$$P_j = \sum_{i=1}^j (P_i - \bar{X}) \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (14)$$

式中 $P_k = \max\{P_j, j = 1, 2, \dots, n\}$; $P_1 = \begin{cases} \min\{P_j, j = 1, 2, \dots, n\}, & \text{当 } \min(P_j) < 0 \\ 0 & \text{当 } \min(P_j) \geq 0 \end{cases}$

年内分配不均匀系数 C_1 除由式(10—14)计算外, 还可由式(5—8)计算。实践表明, 由式(5—8)与式(10—14)分别计算的 C_1 均一致; 其中, 式(5—8)与式(13, 14)都由差积曲线推导而来, C_1 为差积曲线全矩 W (或 $P_k - P_1$) 与年总量 V (或 $n \bar{X}$) 的比值。由式(5—8)计算 C_1 时, a 为日历年中第 1 月份的第 1 时段, 而 b 为第 12 月份中最末时段。附图中实线为岷江镇江关站 1958 年月径流差积曲线, 该曲线上全矩 W 为最大纵座标 W_m 与最小纵座标 W_n 之差的绝对值 (或 $P_k - P_1$)。

另外, C_L 是水利年差积曲线部分矩 $W_k - W_n$ 与总量 V 之比值, 而 C_1 为日历年差积曲线全矩与总量 V 之比值, 水利年与日历年的总量 V 是两个不同的概念; 另一方面, 若计算连续系列 N 年的多年平均不均匀系数时, C_L 仅有 $N-1$ 个, 而 C_1 则为 N 个。可见, 完全年调节系数 C_L 与年内分配不均匀系数 C_1 是两个不同的物理概念。

河川径流年内分配均匀时, 附图中实线的全矩较小, 不均匀系数 C_1 随之较小; 反之, 各时段径流 V_i (或 P_i) 较集中时, 全矩 W 与 C_1 较大。可见, 年内分配不均匀系数 C_1 大于或等于 0 并且小于 1, 即 $0 \leq C_1 < 1$ 。

多年平均年内不均匀系数 \bar{C}_1 由式(15)计算。长江上游 1958—1986 年各水文站 \bar{C}_1 在 0.19—0.65 之间变化, \bar{C}_1 最大值为涪江刘家家乡站 0.65, 而 C_1 最小值为罗渡站 0.19。

$$\bar{C}_1 = 1/N \times \sum_{i=1}^N (C_1)_i \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (15)$$

四、长江上游 \bar{C}_s , \bar{C}_1 , \bar{C}_L

日历年年内不均匀系数可由 C_s, C_1 表示,水利年年内分配不均匀系数则由 C_L 表示。另一方面,从水资源、水文地理观点出发,多年平均值 $\bar{C}_s, \bar{C}_1, \bar{C}_L$ 均能较好反应河川径流年内分配不均匀程度。长江上游干支流共计 250 个水文站,采用 1958—1986 年同步系列径流资料,由 6.66 万个月平均流量换算为相应月径流;然后以式(4),(9),(15)为数学模型,采用微机计算 250 个水文站的多年平均值 \bar{C}_s, \bar{C}_1 及 \bar{C}_L (表 1);最后,分别绘制“长江上游 1958—1986 年 \bar{C}_s 图”、“长江上游 1958—1986 年 \bar{C}_1 图”与“长江上游 1958—1986 年 \bar{C}_L 图”(因篇幅所限,图略)共 3 张图。3 张等值线图表明,长江上游 $\bar{C}_s, \bar{C}_1, \bar{C}_L$ 三者的分布趋势及高低值区均属一致; \bar{C}_s, \bar{C}_1 与 \bar{C}_L 三者的最高值均为涪江支流赵家乡刘家站,这是由于影响 C_s, C_1, C_L 变化的内因是河川径流年内分配不均匀程度, $\bar{C}_s, \bar{C}_1, \bar{C}_L$ 3 张图反映了长江上游月径流不均匀系数的空间分布规律。

表 1 长江上游 1958—1986 年径流 $\bar{C}_s, \bar{C}_1, \bar{C}_L$ Table 1 Runoff $\bar{C}_s, \bar{C}_1, \bar{C}_L$ at the upper reaches of the Changjiang River in 1958—1986

河流	水文站	集水面积 (公里 ²)	\bar{C}_s	\bar{C}_1	\bar{C}_L
金沙江	直门达	137704	0.96	0.40	0.37
长江	宜昌	1005501	0.70	0.31	0.29
雅砻江	小得石	117275	0.79	0.34	0.30
岷江	高场	135378	0.76	0.33	0.30
大渡河	丹巴	52738	0.76	0.33	0.31
沱江	李家湾	23283	1.07	0.43	0.38
涪江	小河坝	29488	0.98	0.38	0.34
嘉陵江	北碚	156142	0.92	0.37	0.34
渠江	罗渡溪	38072	1.08	0.40	0.37
赵家乡	刘家站	409	1.94	0.65	0.55
南广河	罗渡	1214	0.53	0.19	0.17
白水江	鹤衣坝	6935	0.51	0.22	0.21

表 2 长江上游 1958—1986 年

径流 $\bar{C}_s, \bar{C}_1, \bar{C}_L$ 相关系数Table 2 The correlation coefficient of runoff $\bar{C}_s, \bar{C}_1, \bar{C}_L$ at the upper reaches of the Changjiang River in 1958—1986

水系	相关系数 R			最低相关系数 R_s	水文站
	\bar{C}_s 与 \bar{C}_1	\bar{C}_s 与 \bar{C}_L	\bar{C}_1 与 \bar{C}_L		
金沙江	0.992	0.921	0.944	0.45	27
雅砻江	0.974	0.803	0.851	0.62	14
岷江	0.894	0.753	0.944	0.56	18
大渡河	0.831	0.786	0.937	0.50	23
沱江	0.986	0.987	0.985	0.64	13
涪江	0.994	0.989	0.987	0.54	19
嘉陵江	0.992	0.975	0.988	0.42	34
渠江	0.988	0.876	0.918	0.50	23
乌江	0.900	0.897	0.914	0.40	39
区间	0.901	0.946	0.965	0.39	40
全流域	0.968	0.937	0.951	0.25	250

$\bar{C}_s, \bar{C}_1, \bar{C}_L$ 是研究河川径流年内分配不均系数的三个不同表达式与三个不同物理概念。但引起 $\bar{C}_s, \bar{C}_1, \bar{C}_L$ 变化的主导因素是河川径流年内分配不均匀程度,所以,长江上游 $\bar{C}_s, \bar{C}_1, \bar{C}_L$ 三者的空间分布规律相似。另一方面, $\bar{C}_s, \bar{C}_1, \bar{C}_L$ 三者之间相关十分密切。从表 2 可以看出,长江上游 11 条干支流 \bar{C}_s 与 \bar{C}_1, \bar{C}_s 与 \bar{C}_L, \bar{C}_1 与 \bar{C}_L 的相关系数 R 均大于信度水平 $\alpha=0.01$ 时最低相关系数 R_s ;其中 10 条水系(除长江上游干流区间) \bar{C}_s 与 \bar{C}_1 的相关系数 R 大于 \bar{C}_s 与 \bar{C}_L 的 $R, 7$ 条水系 \bar{C}_s 与 \bar{C}_1 的 R 大于 \bar{C}_1 与 \bar{C}_L 的 R 。由此可见, \bar{C}_s 与 \bar{C}_1 相关程度高于 \bar{C}_s 与 \bar{C}_L, \bar{C}_1 与 \bar{C}_L 的相关程度。

另外,长江上游除分析径流年内不均匀系数 C_s 外,还分析输沙量与含沙量年内不均匀系数 C_s 。输沙量 C_s 由式(1)计算, V_j 与 V_s 分别为月输沙量及平均月输沙量;含沙量 C_s 。

也由式(1)计算, V_i 与 V 分别为月含沙量及平均月含沙量。长江上游1958—1986年同步系列输沙量、含沙量、径流三者的多年平均年内分配不均匀变差系数 \bar{C}_i 。研究表明:干流站,表2中10条水系干流站都是输沙量 \bar{C}_i 最大、含沙量 \bar{C}_i 次之、径流 \bar{C}_i 最小;支流站,长江上游除干流站外的70%支流站中,输沙量 \bar{C}_i 最大、含沙量 \bar{C}_i 次之、径流 \bar{C}_i 最小。可见,长江上游多数干支流输沙量年内变化最大,含沙量年内变化次之,径流年内变化最小。

当然,也可用式(1)计算降水年内分配不均匀变差系数 C_i ,这时 V_i 与 V 分别为月降水量及平均月降水量。

五、结 语

在水资源、水文地理研究中, \bar{C}_i 与 \bar{C}_i 能较好反映日历年内分配不均匀程度;而 \bar{C}_L 除了能反映水利年内分配不均匀程度外,还能提供完全年调节库容 W ;那末, \bar{C}_i 、 \bar{C}_i 及 \bar{C}_L 中采用何者呢?三者比较, C_i 、 \bar{C}_i 作为年与多年平均年内分配不均匀系数较妥,其理由是:

(一)物 理 概 念

C_i 为均匀差 δ 与平均时段值 V_i 之比值, δ 反映年内各时段 V_i 偏离平均时段值 V_i 的程度;而 C_L 是径流(或降水)差积曲线全矩(差积曲线纵座标极大值与极小值之差的绝对值)与年总量 V 的比值;均方差 δ 较全矩 W 更能反映年内分配不均匀程度, C_i 物理概念较 C_L 明确。另外, C_L 是水利年差积曲线部分矩与年水量之比值, C_L 反映了水利年度内径流分配的不均匀程度。因此 C_i 作为反映年内分配不均匀程度指标的物理概念较 C_L 与 C_L 清楚。

其次, C_i 应用较广,可用 C_i 分析降水、径流、泥沙(输沙量与含沙量二个方面)年内分配不均匀程度的时空分布规律。

(二)年内不均匀系数等值线图的绘制与应用

水资源、水文地理研究中需绘制平均年内不均匀系数等值线图,以便分析年内不均匀系数的空间分布规律。分析表3可看出,长江上游 \bar{C}_i 变幅为0.51—1.94,位于0.60—1.09之间有189个水文站占75.6%;而 \bar{C}_i 在0.19—0.65之间变化,137个水文站 \bar{C}_i 位于0.30—0.37之间占53.6%; \bar{C}_L 变幅在0.17—0.55之间, \bar{C}_L 位于0.25—0.34之间共157个水文站占62.8%。所以,在绘制 \bar{C}_i 、 \bar{C}_i 、 \bar{C}_L 3张等值线图时,采用 \bar{C}_i 较 \bar{C}_i 与 \bar{C}_L 绘制等值线容易, \bar{C}_i 等值线较 \bar{C}_i 与 \bar{C}_L 等值线的空间分布规律明显、突出, \bar{C}_i 图幅清楚。同时,国民经济各部门在使用年内不均匀系数等值线图时,在插值与应用方面, \bar{C}_i 图较 \bar{C}_i 与 \bar{C}_L 方便。

表3 长江上游径流 \bar{C}_i 、 \bar{C}_i 、 \bar{C}_L 分布

Table 3 The distribution of \bar{C}_i , \bar{C}_i , \bar{C}_L at the upper reaches of Changjiang River

\bar{C}_i			\bar{C}_i			\bar{C}_L		
区 间	水文站	百分比(%)	区 间	水文站	百分比(%)	区 间	水文站	百分比(%)
0.5—0.59	9	3.6	0.19—0.29	40	16.0	0.17—0.24	17	6.8
0.6—1.09	189	75.6	0.30—0.37	134	53.6	0.25—0.34	157	62.8
1.1—1.94	52	20.8	0.38—0.65	76	30.4	0.35—0.55	76	30.4
合 计	250	100	合 计	250	100	合 计	250	100

(三)电子计算机程序应用

降水、径流及泥沙年内不均匀系数计算十分繁锁,确是重复性劳动。式(10—12)较式(1)与(13)简单,但计算精度要差些。手算时期在满足精度条件下采用简化公式计算是必要的;而在电子计算机普及时代,不应根据公式的简繁程度来选择公式,应根据公式正确性与提高计算精度为原则来选择公式,因此以式(1)与(4)作为数学模型编写微机程序,定量分析降水、径流、泥沙年内分配不均匀变差系数 C_v 与 \bar{C}_v 是较理想的选择。

综上,本文推荐 C_v, \bar{C}_v 为衡量降水、径流及泥沙年内分配不均匀程度的综合指标。

参 考 文 献

- (1) 冯光扬,1987,微型计算机在水文水利中的应用,四川科学技术出版社,第71—79页。
- (2) 汤奇成、李秀云,1982,径流年内分配不均匀系数的计算和讨论,自然资源,(3),第59—65页。
- (3) 杨远东,1983,年径流不均匀系数的分析与计算,自然资源,(3),第76—81页。
- (4) 周虎成、汤奇成,1989,水文时间序列不均匀系数的分析与计算,自然资源,(4),第39—44页。

A DISCUSSION ON COEFFICIENT OF NONUNIFORMITY IN HYDROLOGIC YEAR

Feng Guangyang

(*Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences
& Ministry of Water Conservancy*)

Abstract

The Variation coefficient of distribution in hydrologic year C_v is specific value of mean square deviation δ and hydrologic value in mean time interval V_0 . Mean square deviation represent that the hydrologic value of every time interval in year departs from level of the mean interval. The physical concept of C_v is clearer than coefficient of nonuniformity C_1 and C_L ; C_v the coefficient of nonuniformity in runoff years of 250 hydrologic stations at the upper reaches of the Changjiang River during 1958—1986 represents that making isogram with C_v is more easy than C_1 or C_L ; and the C_v quantitative calculation on microprogram is more accurate than them.

In addition, the variation coefficient of distribution in year C_v of the sediment discharge and concentration and runoff in corresponding year of every tributary at the upper reaches of the Changjiang River is analysed in this paper. The author suggests that C_v and \bar{C}_v of mean annual value should be the synthetic index to judge nonuniform level in year of precipitation, runoff, sediment (sediment discharge and concentration).

Key words water resources, coefficient of nonuniformity, the Changjiang River