

# Processing and Assessing Homogenized Interpolation and Prolongation of Hydrologic Series

Keguo Li<sup>1</sup>, Zhongyuan Li<sup>2</sup>, Chengliang Tan<sup>1</sup>, Shixiang Gu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Yunnan Water Conservancy and Hydroelectric Survey, Design and Research Institute, Kunming Yunnan

<sup>2</sup>Power China Kunming Engineering Corporation Limited, Kunming Yunnan

Email: 250276558@qq.com

Received: Jun. 25<sup>th</sup>, 2018; accepted: Jul. 7<sup>th</sup>, 2018; published: Jul. 18<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

In the actual work of hydrological analysis, the long series are homogenized and the value of coefficient of variability is decreased after hydrologic short series of design station are interpolated and prolonged into long series via linear correlation analysis, which cannot reflect the hydrologic characteristics in its entirety. This is a deficiency of engineering hydrology analysis in practice. On the basis of linear correlation, the character of normal distribution which reflects relevant data's deviation from correlation line is used, the closer the denser and the further scatter. The deviation is included in the linear correlation equation, and the deviation reflects congruent relationship diverging between two hydrologic station's drainage area with different rainfalls and underlying surface conditions when utilizing correlation analysis, which fixes the defect of interpolation and prolongation of linear correlation analysis that has long existed and makes interpolated and prolonged series be closer to reflection of the actual hydrologic characteristics.

## Keywords

Linear Correlation, Interpolation and Prolongation, Homogenized Series, Nonlinear Correlation, Coefficient of Variation

---

# 水文系列插补延长均化处理验证及应用

李科国<sup>1</sup>, 李中元<sup>2</sup>, 谭程亮<sup>1</sup>, 顾世祥<sup>1</sup>

<sup>1</sup>云南省水利水电勘测设计研究院, 云南 昆明

<sup>2</sup>中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司, 云南 昆明

Email: 250276558@qq.com

作者简介: 李科国, 男, 1962年10月出生, 汉族, 云南昆明人, 高级工程师, 三十多年来一直从事工程水文分析、水情自动测报系统设计、水资源论证、洪水影响评价以及工程规划等工作。研究方向: 水利水电——水文水资源。

文章引用: 李科国, 李中元, 谭程亮, 顾世祥. 水文系列插补延长均化处理验证及应用[J]. 水资源研究, 2018, 7(4): 379-387.

DOI: 10.12677/jwrr.2018.74042

收稿日期：2018年6月25日；录用日期：2018年7月7日；发布日期：2018年7月18日

## 摘要

通过线性相关分析把设计站水文短系列插补延长为长系列后，长系列被均化、离散系数 $C_v$ 值变小、不能完整反映实际水文特征，这是工程水文分析存在的不足。本文考虑在线性相关的基础上，以正态分布特性反映相关数据点群偏离(偏值)线性相关线近者密、远者疏的通常特点，在线性相关方程中考虑偏值项，偏值反映出相关分析的两个站流域内降水场次大小不一、时空分布不均以及下垫面条件差异等因素造成的对应关系的偏离。解决了线性相关插补延长分析多年来存在的缺陷，使插补延长系列较好地反映实际水文特征。

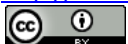
## 关键词

线性相关，插补延长，系列均化，非线性相关，离散系数

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 水文短系列插补延长与问题提出

我院在编制《勐波罗河流域水资源综合规划》中，云南境内的怒江最大支流勐波罗河主流上设有上(上游站)、中(下游站)、下(某站)3个水文站，上游站仅实测有连续15年(1980~1994年)短系列径流量( $Y_1$ )，下游站实测有连续53年(1961~2013年)长系列径流量。为了插补延长上游站年径流量短系列为长系列，首先根据水量平衡法对受人类活动影响较大的下游站实测流量还原为天然径流量( $X$ )系列，然后建立上游站与下游站的同期1980~1994年径流量相关分析[1][2](见图1)，相关数据点群( $\circ$ )呈狭窄带状分布，二者相关密切(相关系数0.88)。通过狭窄带状数据点群( $\circ$ )的不同量级重心或最小二乘法可确定相关线性关系，其相关方程(1)式为简单相关：

$$y_2 = aX + b = 0.0606X + 93.535 \quad (1)$$

式中： $y_2$ 为上游站插补延长的年径流量， $X$ 代表下游站年径流量， $a$ 、 $b$ 表示系数。

按简单相关方程插补延长上游站38年(1961~1979、1995~2013年)径流量( $y_2$ )， $y_2$ 与下游站对应年径流量的关系数据点( $\blacktriangle$ )完全落在简单线性相关关系线上，这是不符合两站年径流量实际情况的(提出问题)，这是目前国内工程水文分析通常采用的方法，也是技术方面一直存在的不足。

## 2. 插补延长对系列统计参数[3]的影响

简单插补延长的38年上游站年径流量属于同量级中值，38个上游站与下游站年径流量关系数据点( $\blacktriangle$ )完全落在简单线性相关关系线上，简单插补延长年径流量( $y_2$ )和实测年径流量( $Y_1$ )组成53年径流量( $y$ )简单长系列，其均值 $\bar{y}$ (4025)基本代表总体特征，离散系数 $Cv'_\perp$ 值为0.28，小于下游站年径流量( $X$ )长系列离散系数 $Cv_\perp$ 值0.29(公式略)。上游站、下游站为上、下游关系，后者流域面积是前者的近20倍，根据径流上、下游特性，前者年径流量 $Cv'_\perp$ 值应大于后者 $Cv_\perp$ 才合理。

综合分析，上游站简单相关方程插补延长的38年径流量( $y_2$ )，与实测年径流量( $Y_1$ )组成的年径流量( $y$ )简单长系列被均化，其离散系数 $Cv'_\perp$ 值变小。

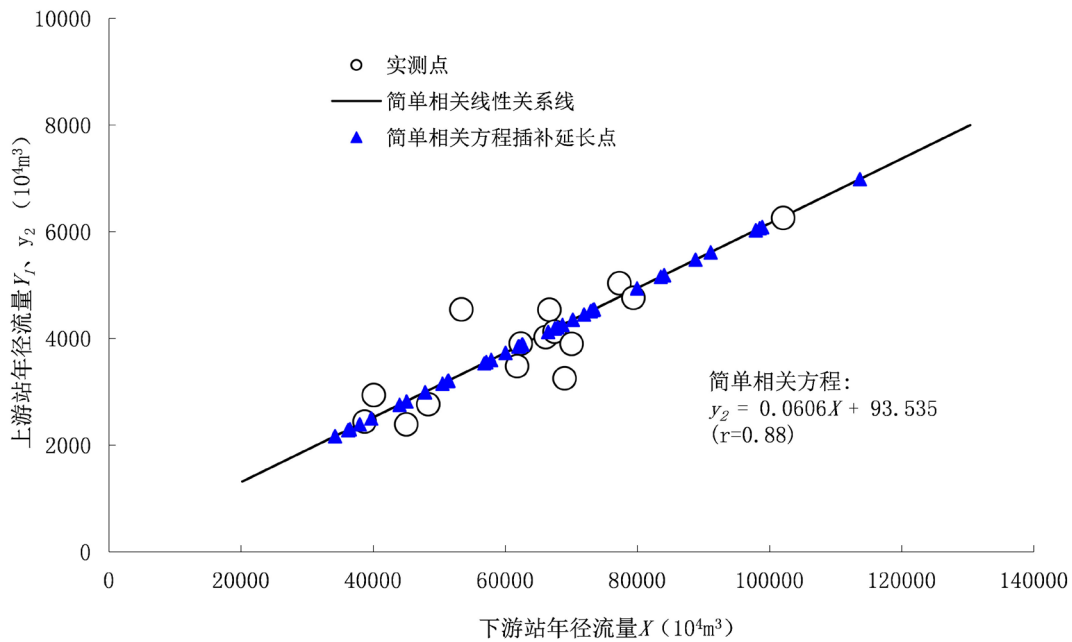


Figure 1. Simple correlation analysis of annual runoff for up and down stream stations  
图 1. 上游站与下游站年径流量简单相关分析图

$$y_2 \cup Y_1 = y \quad (2)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (3)$$

$$k_i = \frac{y_i}{\bar{y}} \quad (4)$$

$$Cv'_{\pm} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n-1}} \quad (5)$$

式中： $n$  为年径流量系列长度( $n = 53$ )， $\bar{y}$  代表上游站多年平均径流量， $y_i$  表示上游站对应第  $i$  年径流量， $k_i$  为模数， $Cv'_{\pm}$  表示上游站年径流量系列离散系数， $i = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

### 3. 均化系列的离散化处理

上游站插补延长简单相关方程(1)式反映了上游站与下游站对应年的年径流量线性相关关系，从相关数据点群( $\circ$ )的分布形状看，完整表达上游站与下游站对应年的年径流量相关关系应该是下(6)式[4]：

$$Y_2 = y_2 + \Delta y_2 = aX + b + \Delta y_2 \quad (6)$$

式中： $Y_2$  为上游站完整插补延长的年径流量， $\Delta y_2$  表示完整插补延长的年径流量偏值。

上游站完整插补延长年径流量( $Y_2$ )系列与实测年径流量( $Y_1$ )系列组合成完整年径流量( $Y$ )系列，即  $Y_2 \cup Y_1 = Y$ 。

(6)式中  $\Delta y_2$  项属于两站年径流量相关点的偏值，偏值是由于两站流域内降水场次大小不一、时空分布不均以及下垫面条件差异等因素造成，水文分析中一般忽略偏值  $\Delta y_2$  项，这对插补延长与实测组成的长系列均值是没有影响的，但对离散系数  $Cv$  值有影响，且不宜忽略。

分析偏值  $\Delta y_2$  项的影响因素，其具有随机性，由于  $Y$  系列的随机性为皮尔逊 III 型分布曲线，偏值  $\Delta y_2$  项的随机性基本服从正态分布，反映了关系数据点群偏离线性关系线近则密、远则疏的特点。

根据上游站、下游站对应年的实测年径流量相关数据点，以及分析确定的简单相关方程(1)式，可计算出每

一个相关点的偏值  $\Delta y_{1j}$  ( $j=1,2,3,\dots,15$ ), 见图 2, 通过 15 个  $\Delta y_{1j}$  值可统计出样本的算术平均值  $\overline{\Delta y_1}$  (-29)、标准差  $S$  (484),  $\overline{\Delta y_1}$  近似代替总体的数学期望  $\alpha$ ,  $S$  近似代替总体的均方差  $\sigma$ 。根据正态分布函数(11)式[5], 通过随机取得  $\Delta y_2$  [即函数  $F(x)$  值] [6], 见表 1。

$$\Delta y_1 = Y_1 - (aX + b) \tag{7}$$

$$\alpha \approx \overline{\Delta y_1} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \Delta y_{1j} \tag{8}$$

$$\sigma \approx S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (\Delta y_{1j} - \overline{\Delta y_1})^2}{m-1}}, (j=1,2,3,\dots,m; m=15) \tag{9}$$

$$\Delta y_2 = F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-\alpha)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (0 < x < 1) \tag{10}$$

$$Y_2 = aX + b + \Delta y_2 = 0.0606X + 93.535 + \Delta y_2 \tag{11}$$

式中: 符号意义同前。在上述简单相关方程的基础上, 考虑其造成长系列离散系数变小, 增加偏值  $\Delta y_2$  相后, 完整相关方程为(11)式, 此式反映了上游站与下游站年径流量相关的非线性关系, 完整插补延长的 38 年上游站年径流量与下游站同期径流量数据点(◆)分布在实测相关数据点群(○)的分布范围内, 分布特性与实测点数据群(○)基本一致, 完整插补延长数据点群(◆)偏离简单线性相关关系线呈近则密、远则疏的水文特点。

上游站完整插补延长年径流量( $Y_2$ )与实测年径流量( $Y_1$ )组成年径流量完整长系列( $Y$ )的离散系数  $Cv_Y$  值为 0.32 (公式略), 比简单长系列( $y$ )的离散系数  $Cv'_y$  值(0.28)大, 比下游站年径流量系列离散系数  $Cv'_x$  值 0.29 大 0.03, 解决了简单相关插补延长带来的均化不利影响, 符合上游站、下游站的上下游水文特性[7], 具有区域上的合理

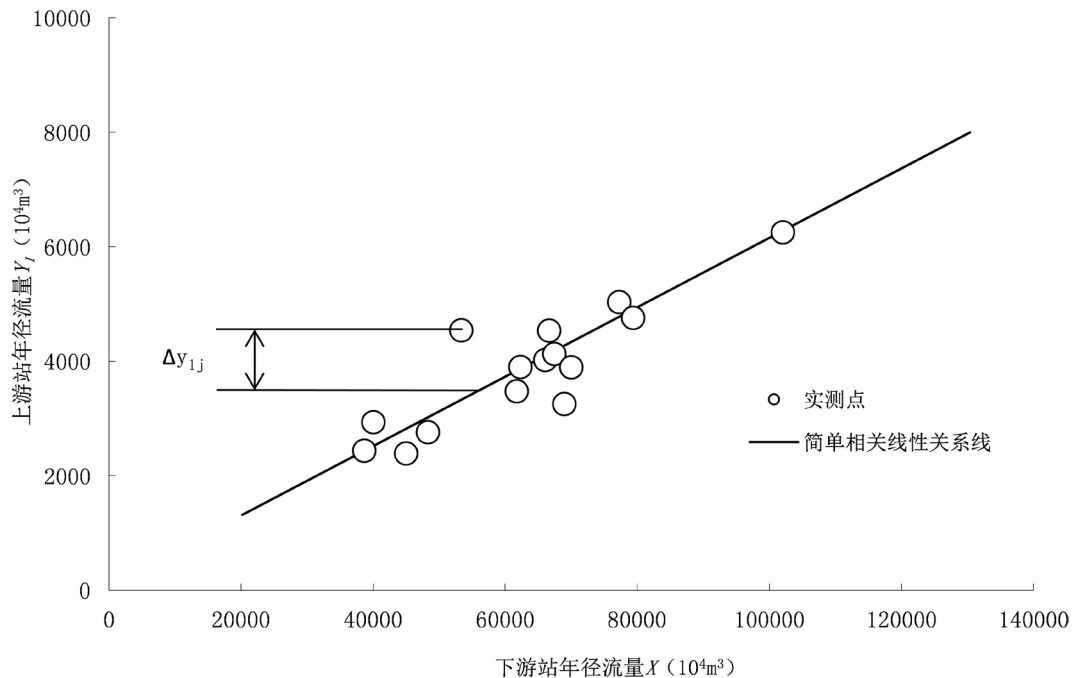


Figure 2. Diagram of deviation of simple correlation date of annual runoff for up and down stream stations  
图 2. 上游站与下游站年径流量简单相关点偏值示意

**Table 1.** Interpolation and prolongation results of annual runoff for up and down stream stations  
**表 1.** 上游站与下游站年径流量简单和完整插补延长成果表

序	年份	年径流量/ $10^4\text{m}^3$				
		下游站		上游站		
		实测	实测	简单插补延长	正态随机数	完整插补延长
	$X$	$Y_i$	$y_2$	$\Delta y_2$	$Y_2=y_2+\Delta y_2$	
1	1961	59,989		3731	482.1	4213
2	1962	71,872		4451	-362.0	4089
3	1963	73,361		4542	-309.6	4232
4	1964	47,821		2993	-783.4	2210
5	1965	73,209		4532	-355.9	4176
6	1966	98,476		6064	201.1	6266
7	1967	57,813		3599	432.3	4031
8	1968	66,454		4123	-719.7	3403
9	1969	51,243		3201	-458.5	2742
10	1970	70,179		4349	899.2	5248
11	1971	84,007		5187	-196.0	4991
12	1972	50,460		3153	98.2	3251
13	1973	97,880		6028	680.7	6709
14	1974	83,483		5155	120.7	5276
15	1975	57,092		3555	-535.1	3020
16	1976	91,056		5614	-204.0	5410
17	1977	56,762		3535	-658.0	2877
18	1978	73,428		4546	836.4	5382
19	1979	67,487		4185	-33.8	4152
20	1980	66,636	4539			
21	1981	48,283	2766			
22	1982	44,966	2394			
23	1983	62,292	3905			
24	1984	77,257	5039			
25	1985	102,022	6260			
26	1986	66,068	4024			
27	1987	61,729	3482			
28	1988	38,656	2443			
29	1989	53,331	4547			
30	1990	68,961	3257			
31	1991	67,413	4130			

Continued

32	1992	70,011	3897			
33	1993	79,338	4766			
34	1994	40,043	2941			
35	1995	67,865		4208	-631.0	3577
36	1996	62,584		3888	187.1	4075
37	1997	68,631		4255	-402.9	3852
38	1998	51,382		3209	191.5	3401
39	1999	72,903		4514	299.9	4814
40	2000	98,868		6088	-118.9	5969
41	2001	113,638		6984	135.7	7119
42	2002	79,903		4938	330.5	5269
43	2003	36,148		2285	-248.8	2036
44	2004	88,762		5475	1045.7	6521
45	2005	34,181		2166	-204.7	1961
46	2006	39,663		2498	316.4	2815
47	2007	62,487		3882	305.2	4187
48	2008	62,047		3856	-240.0	3616
49	2009	36,438		2303	-214.1	2089
50	2010	61,939		3849	-333.5	3516
51	2011	43,940		2758	203.0	2961
52	2012	44,998		2822	137.0	2959
53	2013	37,923		2393	190.6	2583

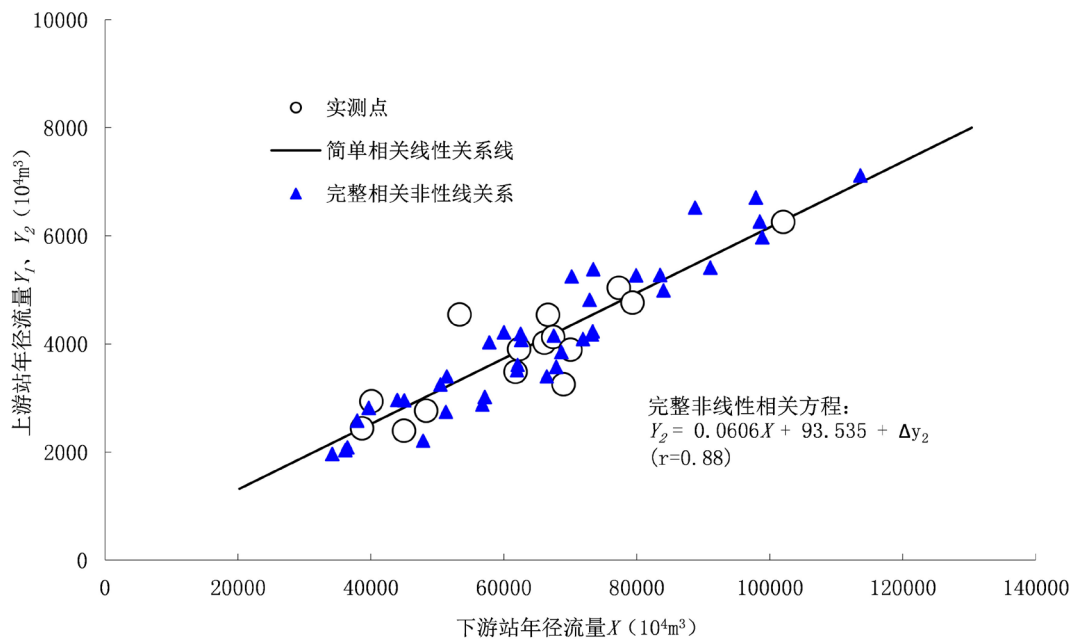


Figure 3. Diagram of entire correlation of annual runoff for up and down stream stations  
 图 3. 上游站与下游站年径流量完整相关分析图

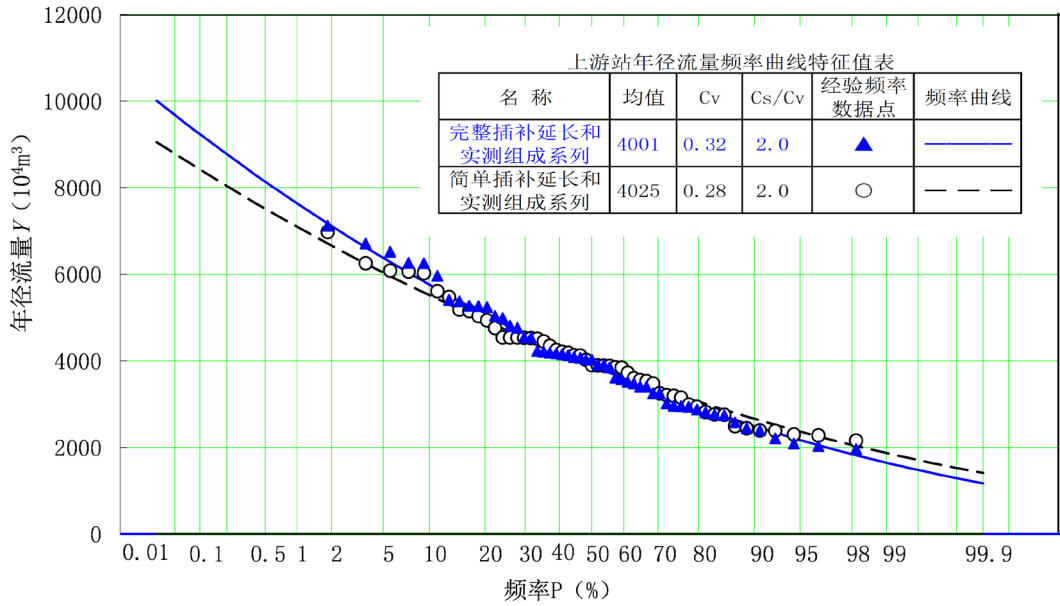


Figure 4. Diagram of exponential data of annual runoff for upstream station

图 4. 上游站年径流量经验频率数据点频率分布图

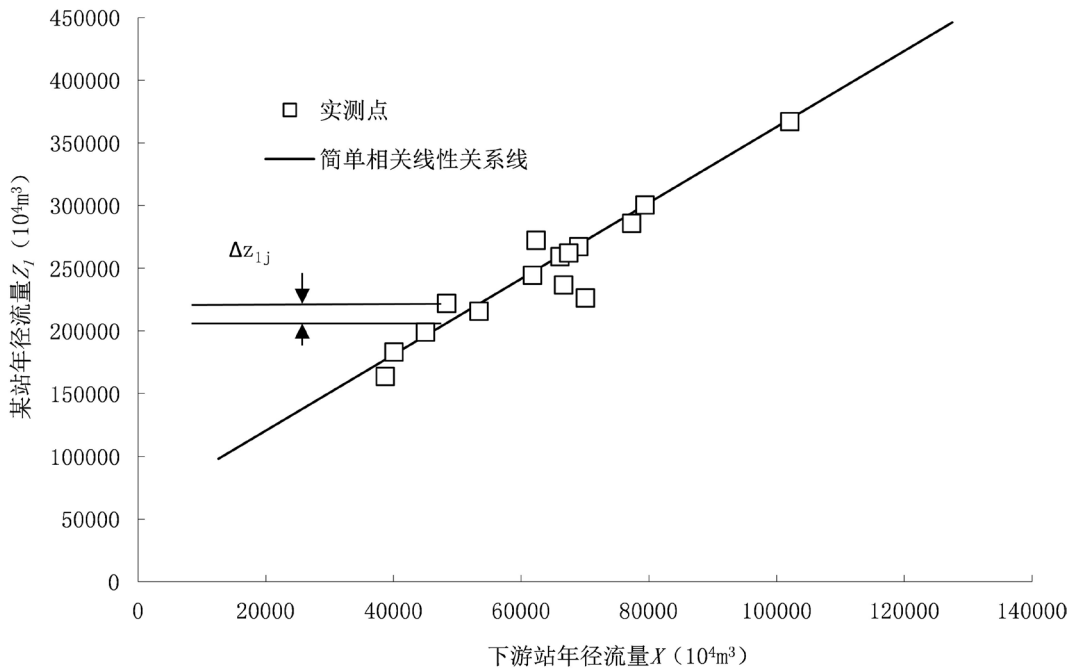


Figure 5. Simple correlation analysis of annual runoff for a station with downstream station

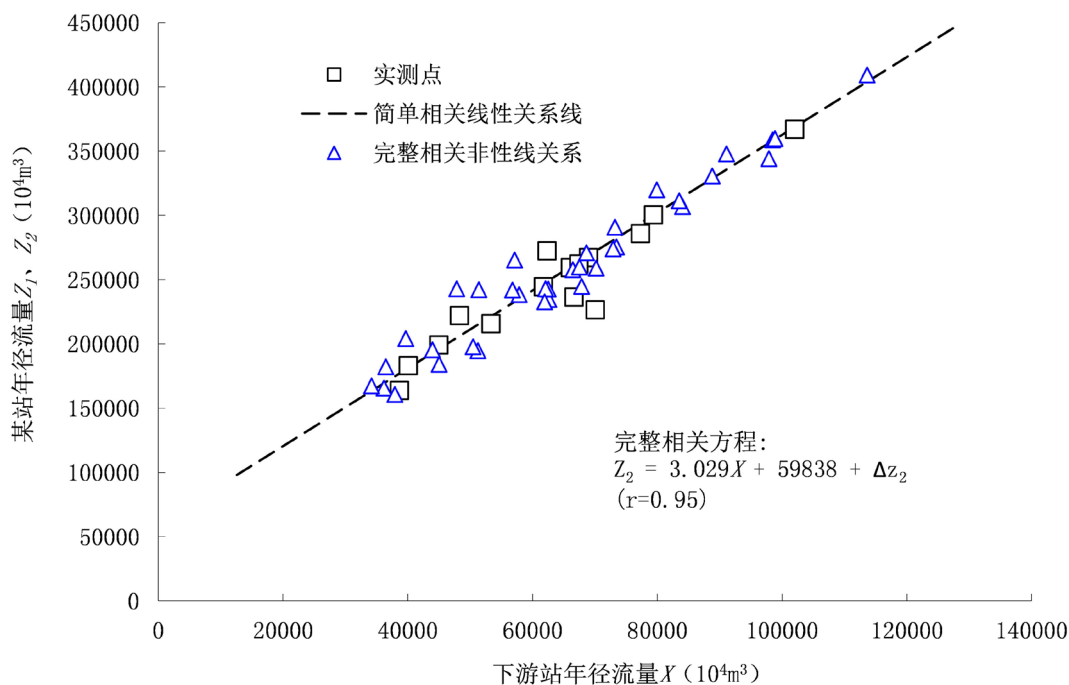
图 5. 某站与下游站年径流量简单相关分析图

性，属目前工程水文分析的创新点。

上游站年径流量的完整长系列(Y)、简单长系列(y)的均值仅相差 0.04%，完整相关分析计入偏值项不影响均值稳定。上游站年径流量完整系列验频率数据点(▲)分布明显比简单系列验频率数据点(○)离散，见图 4。

#### 4. 均化系列离散处理方法的验证[8]

下游站的下游有与之同步的某站实测流量，且经过还原的天然实测径流量(Z)长系列。假定某站类似上游站



**Figure 6.** Diagram of entire correlation of annual runoff for a station with downstream station  
**图 6.** 某站与下游站年径流量完整相关分析图

缺相应年份径流量，按上述方法进行简单和完整的相关分析插补延长某站径流系列，图 5 为偏值分析图，验证分析结论是：某站完整插补延长长系列均值与实际长系列均值仅相差 0.2%，二者长系列的离散系数  $C_v$  值(0.23，公式略)相同，插补延长数据点( $\Delta$ )与相关数据点( $\square$ )分布均偏离简单线性相关关系线呈近则密、远则疏的水文特点，见图 6。

通过对某站验证分析，说明完整相关分析插补延长方法对用简单插补延长被均化物理特征值系列具有可推广应用价值。

### 5. 均化系列离散处理的应用意义

- 1) 本文对均化系列的离散化处理，解决了线性相关插补延长多年来存在的缺陷，使插补延长系列较好的反映实际水文特征；
- 2) 偏值属于正态分布的分布函数数值，每选取一组，分析得的插补延长系列与上一组是有差异的，只要考虑完整长系列与简单长系列的均值差异在允许范围内(一般小于 3%)，以及  $C_v$  值符合地区水文特性即可；
- 3) 只要两系列具有物理成因的相关关系，简单线性相关关系插补延长系列被均化影响，均可考虑本法消除其影响，目前未见国内有相似的处理方法。

### 基金项目

国家水体污染控制与治理科技重大专项“滇池流域水资源联合调度改善湖体水质关键技术与工程示范”(2013ZX07102-006-01)；云南省技术创新人才计划(2011C1092)。

### 参考文献

[1] 同济大学数学研究教研室. 工程数学线性代数[M]. 北京: 高等教育出版社, 1982: 50-57.  
 Department of Mathematics of Tongji University. Engineering mathematics linear algebra. Beijing: Higher Education Press, 1982: 50-57. (in Chinese)



- 
- [2] 袁慰平, 张令敏, 黄新芹, 等. 计算方法与实习[M]. 北京: 东南大学出版社, 1988: 113-120.  
YUAN Weiping, ZHANG Lingmin, HUANG Xinqin, et al. An elementary numerical analysis. Beijing: Southeast University Press, 1988: 113-120. (in Chinese)
- [3] 黄振平. 水文统计学[M]. 南京: 河海大学出版社, 2003: 179-189.  
HUANG Zhenping. Hydrologic statistics. Nanjing: Hehai University Press, 2003: 179-120. (in Chinese)
- [4] 南京大学数学系. 最优化方法[M]. 北京: 科学出版社, 1978: 79-91.  
Department of Mathematics of Nanjing University. Optimization approach. Beijing: Science Press, 1980: 295-308. (in Chinese)
- [5] 华东水利学院, 主编. 水文学的概率统计基础[M]. 北京: 水利出版社, 1980: 295-308.  
East China Technical University of Water Resources. Probability and statistics foundation of hydrology. Beijing: China Water Press, 1980: 295-308. (in Chinese)
- [6] 詹海学, 叶守泽. 工程水文学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000: 171-189.  
ZHAN Haixue, YE Shouze. Engineering hydrology. Beijing: China Water & Power Press, 2000: 171-189. (in Chinese)
- [7] 缪韧. 水文学原理[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007: 99-102.  
MIU Ren. Theory of hydrology. Beijing: China Water & Power Press, 2007: 99-102. (in Chinese)
- [8] 梁忠民, 钟平安, 华家鹏. 水文水利计算[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006: 154-172.  
LIANG Zhongmin, ZHONG Ping'an, HUA Jiapeng. Hydrological and hydraulic calculation. Beijing: China Water & Power Press, 2006: 154-172. (in Chinese)