

# 第三章 河流水文计算



- § 3.1 水文测验
- § 3.2 水文统计基本原理与方法
- § 3.3 设计年径流分析与计算



## 4.1 水文测验

一、水位观测

二、流量观测与计算

三、河流泥沙的测算



## 3.1 水文测验

- **水文学**——是研究自然界中水体的形成、分布、变化、运动、相互转化和与环境相互作用规律的一门科学。
- **水文测验学**——是研究水资源中各种水文要素的测量、计算与资料整编的原理和方法的一门科学，即研究水文资料信息的搜集、处理、存贮和检索的一门科学。

水文测验的根本任务是根据国民经济发展的需要，进行水文站网的规划，布设水文站；采用定位观测、巡回测验、水文调查等方法测定各种水文要素，包括水位、流量、水温、降水、蒸发、泥沙的观测以及泥沙颗粒分析，水质监测和分析；经分析整编，刊印成为系统的水文资料，如水文年鉴等。因此，水文测验工作也可称水文资料搜集系统。

## 水文测验资料的重要性：

根据水文测验资料，可以掌握各地各种水文要素的变化规律，为水资源的研究评价和开发利用、防汛抗旱、水资源保护提供情报，为水利工程的规划设计和管理运用提供资料，为国防建设以及其他国民经济建设服务。

水文站是进行水文测验的观测站，它是按国家水文测验规范的统一标准对指定地点的水文要素，如：水位、流量、泥沙、降水、蒸发、水温、冰凌、水化学、地下水等项目做系统观测并对资料进行整理。



- 一、水位观测

- 水位\_\_\_\_河流断面上某时刻的水位，系指该时刻的水面高程。

观测常用设备有水尺和自记水位计两大类。

采用水尺观测时，水面在水尺上的读数加水尺零点高程即为水面水位。

自记水位计可将水位变化的过程自动记录下来。

{ 绝对基准面\_\_\_\_河流入海处接近海平面平均高度的某一定点  
{ 统一基准面\_\_\_\_青岛验潮站黄海平均海水面

水位 = 水尺零点高程 + 水尺读数



## 1、水尺

观测时记录水尺读数，水位按下式计算：

$$\text{水位} = \text{水尺零点高程} + \text{水尺读数}$$

式中，水尺零点高程是指水尺板上刻度起点的高程，可以预先测量出来。

## 2、自记水位计

自记水位计能将水位变化的连续过程自动记录下来，不遗漏任何突然的变化和转折，有的还能将所观测的数据以数字或图像的形式远传室内，使水位观测工作趋于自动化和远传化。







[www.chinawater.com.cn](http://www.chinawater.com.cn)

## 二、流量观测与计算

**流速仪定点测速** 由于河流断面上的流速是不均匀的，需分块计算平均流速和流量，首先用从水面至河底的数条垂线将测流断面划分成数块部分面积  $f_1, f_2 \cdots f_n$ ，然后测出每块小面积上的平均流速  $V_1, V_2, V_n$ 。根据下式计算流量

$$Q = V_1 f_1 + V_2 f_2 + \cdots + V_n f_n$$

## 1. 过水断面面积测量

测量部分面积的垂线也称测深垂线，测量各垂线上的水深一般采用测深杆，水深很深时亦可采用超声波仪器测深。由此可得各垂线水深  $H_1, H_2, \dots, H_n$ 。部分面积计算采用梯形法：

$$f_i = \frac{1}{2}(H_{i-1} + H_i)b_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

式中， $b_i$  为第  $i$  块部分面积水面宽度，而  $H_0 = H_n = 0$ 。

## 2. 流速测量

仪器

{ 旋杯式流速仪  
{ 旋浆式流速仪



旋杯式流速仪



旋桨式流速仪



凯凯  
news.tonggu.jx.cn

各部分面积平均流速计算如下：

中间部分 
$$v_j = \frac{1}{2}(v'_{j-1} + v'_j)$$

两岸水边 
$$V_n = \alpha V'_{n-1} \quad V_1 = \alpha V'_1$$

式中， $\alpha$ 称岸边系数，斜坡岸边 $\alpha=0.67\sim0.75$ ；陡岸 $\alpha=0.8\sim0.9$ ；死水边 $\alpha=0.5\sim0.37$ 。

在洪水期水位较高无法采用流速仪测流，或洪水调查时，常采用浮标测速方法。

现在，一些测站应用超声波测速方式，观测断面流速和流量，当水文资料缺乏和不充分时，需进行洪水调查。

# 三、河流泥沙的测算

河流中的泥沙,按其运动形式可分三类:

1. 悬移质泥沙: 浮于水中并随之运动
2. 推移质泥沙: 受水流冲击沿河底移动或滚动
3. 河床质泥沙: 相对静止而停留在河床上。

三者没有严格的界线,随水流条件的变化而相互转化。一般情况,河流中泥沙以悬移质为主。



# 悬移质泥沙测验与计算

描述河流中悬移质泥沙的情况，常用的两个定量指标是含沙量和输沙率。

1. 含沙量：单位水体积内所含干沙的质量，用 $C_s$ 表示，单位为 $\text{kg}/\text{m}^3$ 。
2. 输沙率：单位时间流过河流某断面的干沙质量，以 $Q_s$ 表示，单位为 $\text{kg}/\text{s}$ 。

断面输沙率是通过断面上含沙量测验配合断面流量测量来推求的。

- (一) 含沙量的测验

$$S_s = \frac{W_s}{V}$$

式中:  $S_s$  --- 水样含沙量, g/L 或 kg/m<sup>3</sup>;

$W_s$  --- 水样中的干沙重量, g 或kg;

$V$  --- 水样体积, L或m<sup>3</sup>;

- (二) 悬移质输沙率

$$Q_s = S_1 q_1 + S_2 q_2 + \cdots + S_n q_n$$

$S_i$  \_\_\_ 部分断面平均含沙量;

$q_i$  \_\_\_ 部分断面流量

- 黄河含沙量在世界各大河中最高。根据陕县站资料，多年平均含沙量高达**37.7**公斤/立方米，是长江大通站的**65**倍、闽江竹歧站的**279**倍。黄河含沙量高的主要原因是：黄河中游流经黄土高原，黄土层深厚、质地均匀、本身含有钙，垂直裂缝发育；原来的森林草原植被遭到严重的破坏；黄河中游地区夏季多暴雨，黄土层在失去植被保护下，很容易遭受流水的冲刷，致使大量泥沙通过地表径流带到黄河里，所以河水含沙量很高。



## 3.2 水文统计基本原理与方法

- 一、概述
- 二、概率频率
- 三、水文频率的计算方法



# 一、概述

水文现象是自然现象的一种，在其发生和演变过程中，包含着必然性的一面，也包着偶然性的一面。

由于水文现象具有一定的随机性，用数理统计方法来分析研究这些现象称为水文统计学



## 二、概率与频率

### (二) 概率

概率：随机事件在客观上出现的可能性。

- 例：设试验结果总数为 $n$ ,某事件 $A$ 出现的可能结果数为 $m$ ,则 $A$ 事件的概率：

$$P(A) = \frac{m}{n}$$

### (三) 频率

设事件在  $n$  次试验中出现了  $m$  次, 则称为事件 $A$  的**频率** 在试验次数足够大的情况下, 事件的频率和概率是十分接近的。

$$W(A) = \frac{m}{n}$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} W(A) = P(A)$$

# • 三、水文频率的计算方法

## • 1. 经验频率曲线

- 将某一水文变量按递减顺序排列，排列的序号代表

{ (1) 代表排列大小的次序  
{ (2) 表示变量自大到小（大于或等于）的累积次数

- 将这些“大于或等于”的次数分别除以总次数，所得的百分数为“大于或等于”某一水文特征值所对应的频率。

- 经验频率曲线 { 横坐标\_\_\_\_频率  
{ 纵坐标\_\_\_\_水文特征值

## 2、经验频率曲线的绘制和应用

- 1、将按时间顺序排列的资料按递减序列排列成

$$x_1, x_2, \dots, x_n$$

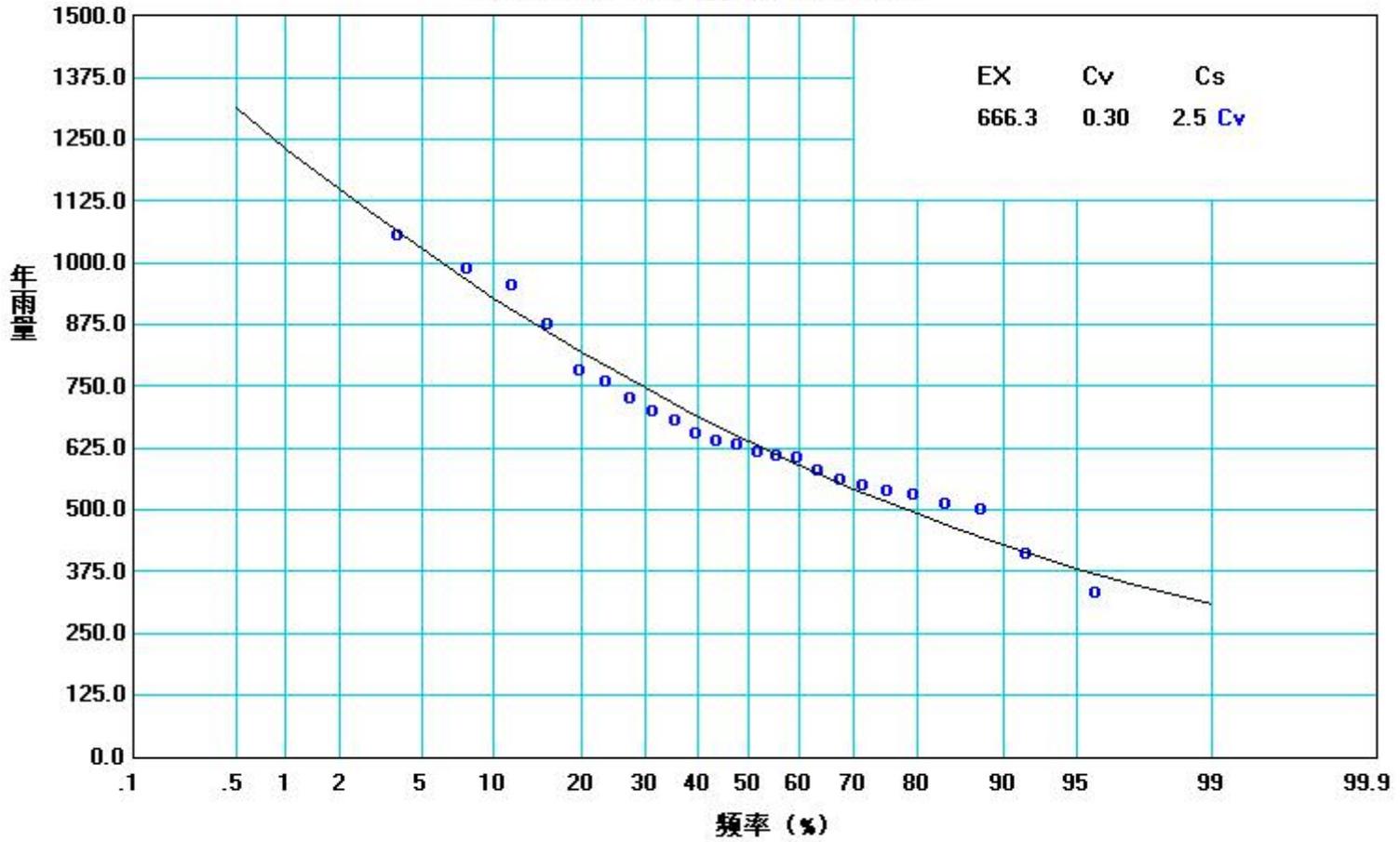
- 2、利用公式  $P = \frac{m}{n+1} \times 100\%$  分别计算各变量值的经验频率；

- 3、绘制光滑曲线  $\left\{ \begin{array}{l} \text{横坐标} \text{ \_\_\_\_ } \text{频率 } P(\%) \\ \text{纵坐标} \text{ \_\_\_\_ } \text{水文特征值 } x \end{array} \right.$

- 4、根据设计频率求得水文数据。

年份	年降水量 x (mm)	序号 m	按大小排列 $x_m$ (mm)	$P=m/(n+1)$ (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
56	538.3	1	1064.5	4
57	624.9	2	998.0	8
58	663.2	3	964.2	12
59	519.7	4	883.5	16
1960	557.2	5	789.3	20
61	998.0	6	769.2	24
62	641.5	7	732.9	28
63	341.1	8	709.0	32
64	964.2	9	687.3	36
65	687.3	10	663.2	40
66	546.7	11	641.5	44
67	509.9	12	624.9	48
68	769.2	13	615.5	52
69	615.5	14	606.7	56
1970	417.1	15	591.7	60
71	789.3	16	587.7	64
72	732.0	17	586.7	68
73	1064.5	18	567.4	72
74	606.7	19	557.2	76
75	586.7	20	546.7	80
76	567.4	21	538.3	84
77	587.7	22	509.9	88
78	709.0	23	417.1	92
79	883.5	24	341.1	96
总计	15993.5		15993.5	

# XX 站年雨量频率曲线



频率这个词比较抽象，为便于理解，有时采用重现期这个词。

**重现期**：在许多试验中，某一事件重复出现的时间间隔的平均数。

在工程水文中，重现期用字母  $T$  表示，一般以年为单位。

A: 当研究暴雨洪水问题时

$$T = \frac{1}{p}$$

例如，当暴雨或洪水的频率采用 $p=1\%$ 时， $T=100$ 年，称此暴雨为百年一遇的暴雨或洪水。

B: 当研究枯水流量、枯水位时，为保证灌溉、发电、给水用水需要，设计频率 $P > 50\%$ 。

$$T = \frac{1}{1-p}$$

例如，对于 $p=80\%$ 枯水流量， $T=5$ 年，称此为五年一遇的枯水流量。或称为保证率为80%的设计流量。

## 3.3 相关分析

### 一、相关分析的意义

- 1、水文现象的关联性（水文现象的两大基本特性）
- 2、水文资料的插补和延长

系列较短或系列不连续，需要对已知的实测资料系列进行插补和延长，为此需要进行变量间的相关性进行分析。



# 两变量之间的关系

三种情况

完全相关（函数关系）  
零相关（不相关）  
统计相关

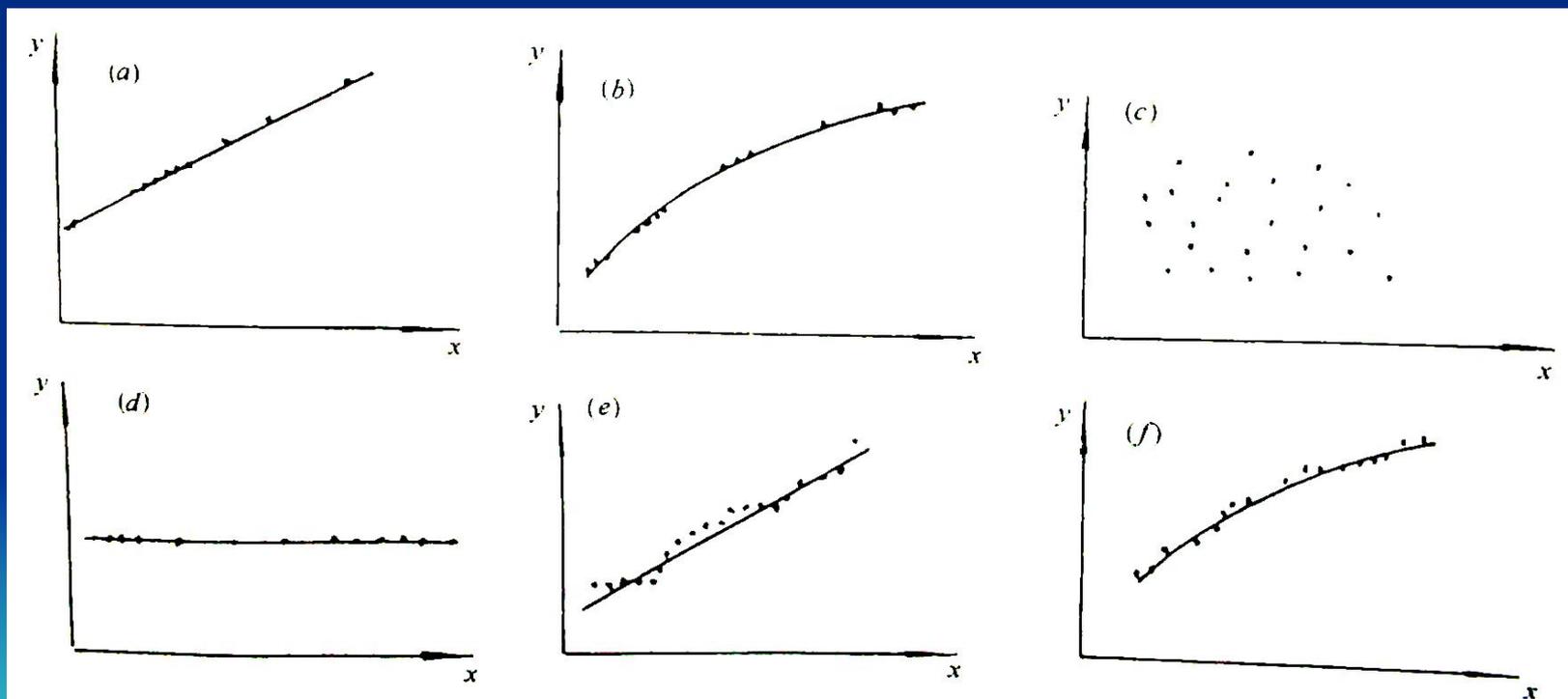


图 3.18 相关关系图

## 二. 直线相关

设有两个随机变量系列  $x, y$ ，它们分别为：

$$x_1, x_2, \dots, x_n$$

$$y_1, y_2, \dots, y_n$$

过点群中心可绘一条直线，  
设直线的回归方程为：

$$y = ax + b$$

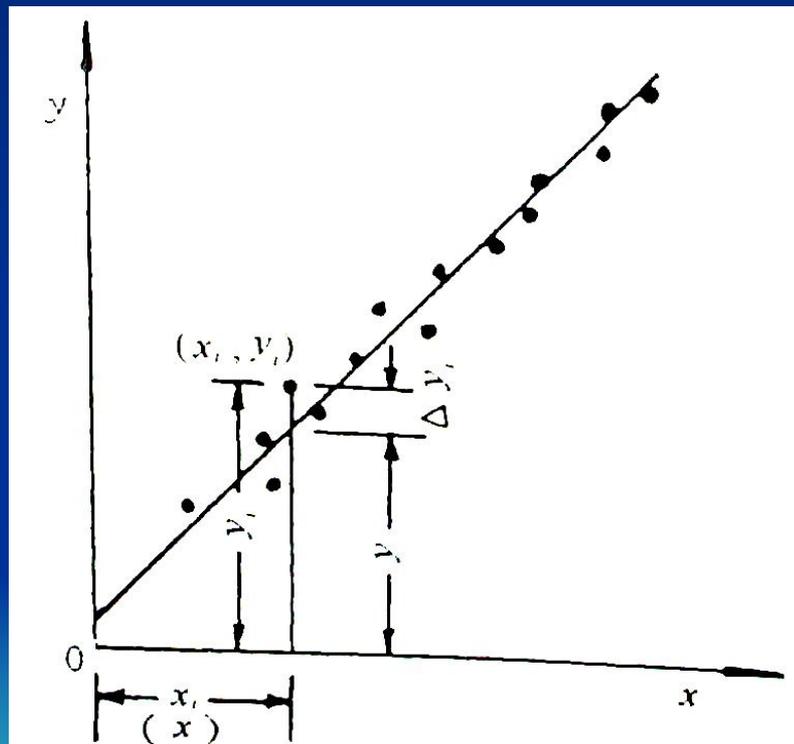


图 3.19 直线相关图

要使直线和相关点群配合得好，根据最小二乘原理，应该使相关点与直线之间的纵坐标离差的平方和最小：

$$\begin{aligned}\sum (y_i - y)^2 &= \varepsilon \\ \sum (y_i - ax_i - b)^2 &= \min\end{aligned}$$

得：

$$\begin{cases} a = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \\ b = \bar{y} - a\bar{x} \end{cases}$$

将 $a, b$ 代回方程 $y = ax + b$ 得到回归方程为：

$$y - \bar{y} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2} (x - \bar{x})$$

### 三. 相关系数

相关系数 $\gamma$ :从 $\gamma$ 的取值可以看出两个变量之间的密切程度.

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}}$$

$$\gamma = \begin{cases} \pm 1 & \text{直线相关} \\ 0 & \text{零相关} \\ 0 < |\gamma| < 1 & \text{统计相关} \end{cases}$$

# 相关分析时应注意的问题

- 1、分析的两个变量之间确实存在相关关系,即相关分析的必要条件。
- 2、同期观测资料不能太少,  $n$ 至少在10项以上,否则会影响成果的可靠性;
- 3、水文计算中,一般认为相关系数  $|\gamma| > 0.8$

# 【例题】

# 某站年降雨量与年径流量相关计算

年 份	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956
实测年降雨量 (mm)	514.1	610	602	564	575	580	750	610	550	612	845
实测年径流量 (m <sup>3</sup> /s)	62.8	—	67.8	—	70.3	—	87.3	—	—	—	121
插补年径流量 (m <sup>3</sup> /s)		74.0		65.9		68.7		73.9	63.5	74.2	
年 份	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967
年降雨量 (mm)	829.9	697	715	667	468	943	648	792	874	705	503
年径流量 (m <sup>3</sup> /s)	110.2	84.6	95.2	77.5	58.9	132	—	101	131	—	49.8
插补年径流量 (m <sup>3</sup> /s)							80.6			90.5	

- 根据已知数据得到

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{14} x_i = \frac{9780.5}{14} = 698.61 \text{mm}$$
$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{14} y_i = \frac{1250.8}{14} = 89.34 \text{m}^3 / \text{s}$$

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} = 0.969$$

$$a = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2} = 0.174$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x} = -32.26$$

$$y = ax + b = 0.174x - 32.26$$

# 本章小结:

- 1. 水文学、水文测验学的概念、如何进行水位的观测、流量的测算
- 2. 泥沙的分类及含沙量、输沙率的计算
- 3. 什么是概率、频率，二者的区别和联系
- 4. 样本的均值、标准差、离势系数、偏态系数的含义
- 5. 经验频率曲线、理论频率曲线的绘制，重现期的含义
- 6. 年径流分析计算的目的、内容，设计保证率、破坏率的概念关系



- 7. 年径流量的表示方法、正常年径流量、年径流量的模比系数
- 8. 年径流分析计算时，如何考虑径流系列的一致性和代表性
- 9. 有较短年径流系列时，如何选取参证变量、参证变量选取应注意的问题
- 10. 设计年径流的时程分配的计算方法有哪些？如何利用设计代表年法进行年径流的时程分配

