

中国科学院
水利电力部 水利水电科学研究院

科学研究论文集

第 28 集

(水资源、灌溉与排水)

水利电力出版社

内 容 提 要

本书为水利水电科学研究院水资源研究所、水利研究所近年来科学研究论文选集,主要内容有:随机概率和流域水文模型,指数 I^1 分布,水库群优化调度和引黄泥沙调配,金沙江等四江洪水特性,各地洪水成因分析和北方工矿城市供水以及公元2000年中国的灌溉排水发展目标与对策,天然文岩渠流域水资源评价,地下调蓄水量,排水暗管外包料与塑料薄膜防渗材料,排水计算,渗流分析,滴灌管道程序设计,高效氧化塘和利用渠塘改善水域环境以及城市废水的净化等。

本集可供从事水资源、灌溉与排水方面的专业人员和有关高等院校教学人员参考。

中国科学院 水利水电科学研究院
水利电力部

科学研究论文集

第 28 集

(水资源、灌溉与排水)

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号)

各地新华书店经营

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 12.75印张 283千字

1988年7月第一版 1988年7月北京第一次印刷

印数0001—1830册

ISBN 7-120-00329-1

TV·72 定 价 3.10元

目 录

几种随机概率模型对年洪水时序系列的适应性·····	王守鹤	孙济良	陈庚寅 (1)
指数 Γ 分布及其对洪水极值分布适应性的研究 ·····	孙济良	肖玉泉 (17)	
金沙江及西南国际河流洪水特性和统计参数的分析·····	孙济良	陈庚寅 (27)	
中国北方工矿城市的供水问题·····	叶永毅 (40)		
流域水文模型参数最优拟合方法·····	朱星明	陈志恺	张恭肃 (53)
参数迭代法在水电站水库群优化调度中的应用·····	王孟华	王守鹤	黄守信 (64)
中国各地区洪水的成因及季节性的初步研究·····	张敏 (71)		
公元2000年中国的灌溉排水发展目标与对策·····	姜溥礼等 (77)		
河南人民胜利渠灌区引黄水沙合理调配的研究·····	姜溥礼	侯彝祥 (87)	
天然文岩渠流域及邻区水资源开发利用和合理调配的研究·····	王重九	胡学华	王福林 (97)
地下调蓄水量的快速补给方法——单管试验研究 ·····	胡学华 (111)		
农田排水暗管外包料的透水防砂性能试验 ·····	石凤霞 (118)		
LLDPE薄膜作为水工防渗材料的试验研究·····	金永堂	余玲	武文凤 邓湘汉 (131)
用电算程序设计滴灌系统 ·····	王钢生 (140)		
用高效氧化塘处理污水的试验研究 ·····	沈鼎芳	王敦春	陈之莹 (148)
利用沟渠坑塘改善北京东南郊的水域环境 ·····	王敦春	沈鼎芳 (156)	
漫流过程对城市废水的净化研究 ·····	胡桂君	黄荣翰 (166)	
考虑非饱和带影响的排水计算及电模拟试验 ·····	赵 音	瞿兴业 (180)	
有限单元法在二维饱和-非饱和渗流分析中的应用·····	王 虹 (191)		

几种随机概率模型对年洪水 时序系列的适应性

王守鹤 孙济良 陈庚寅

【提要】 随机概率模型的优选,是工程水文计算中的一个很重要问题。本文以 $\sum |4X_i|$ 最小准则,对P-III、P-V、L-N、K-M四种线型,从拟合优度、数学物理特征、参数的相对“稳定性”、外延成果的合理性等方面分析认为:从目前资料条件和工程设计现状的实际情况出发,P-III型曲线仍可作为全国设计洪水计算的暂行线型。

为解决洪水估值的不确定性,减少抽样误差,应对频率曲线的上部,估算上置信限值,以保证工程的安全。

一、前 言

洪水的随机概率模型,即线型问题,国内外水文学者曾做过大量的研究。五十年代中期,水科院水文研究所研究认为:我国大部分地区的洪水,可采用皮尔逊III型(P-III型)分布曲线^[1]。现行《水利水电工程设计洪水计算规范》规定:“一般可采用皮尔逊III型,特殊情况,经分析论证也可采用其它线型”。

几年来,由于实测系列的增长,在历史洪水的调查、考证方面,有了新的发展,从考古、地质、地貌等方面探索了更久远的历史洪水,进一步揭示了各地区年最大洪水分布的特性。

本文采用离差绝对值和最小的拟合优度准则,结合各线型的数学物理特征,分析几种常用线型对我国现在工程洪水计算中的适应性。优选线型和参数的确定是用FORTRAN语言程序,在M-160H电子计算机上完成。

二、几种随机概率模型简介

鉴于洪水实测资料甚短(最长只百年左右),要从理论上探求何种线型适合于洪水分布,至今尚无法作出结论。目前研究线型最常见的方法是用某种线型与实测、调查洪水资料相拟合,哪种线型与资料配合得好,就采用哪种线型;并注意这种线型应符合洪水现象的一般规律,其外延成果又比较合理。

从国外对线型研究的动态看,以皮尔逊III型、对数皮尔逊III型(LP-III型)、皮尔逊V型(P-V型)、克里茨基-冈凯里型(K-M型)、对数正态型(L-N型)和耿贝尔型(E-I型)最为常见。1978年,霍夫顿(Houghton)提出了取名为威克伯的分布(Wak-

eby distribution) [1]; 但是, 这种分布需要分析确定的参变数有五个, 至今工程界对它研究得还很少。

现就前六种分布线型简介如下:

(一) P-III型分布曲线

1924年, 福斯特首先将这种线型应用于水文计算中[3]。其分布密度函数为:

$$f(x) = (\beta^\alpha / \Gamma(\alpha)) \cdot (x - a_0)^{\alpha-1} \cdot e^{-\beta(x-a_0)} \quad (a_0 \leq x < \infty) \quad (1)$$

由于样本系列短, 系列中的最小值一般应大于或等于总体中的最小值。因此, 偏态系数 C_s 的约束条件是:

$$2C_v \leq C_s \leq (2C_v \bar{x}) / (\bar{x} - x_{min}) \quad (2)$$

(二) LP-III型分布曲线

1968年, 美国水资源委员会流量频率工作组建议采用这种曲线[4]。1975年鲍比(B. Bobee)和我国李松仕对它的各种形态做过描述[5]、[6]。

LP-III型曲线的分布密度函数为:

$$f(x) = (|\alpha| / \Gamma(\lambda)) [\alpha(\ln x - m)]^{\lambda-1} \cdot e^{\alpha m} / x^{1+\alpha} \quad (3)$$

对数偏态系数 C_{SL} 的约束条件有两个:

当 $\alpha < 0$ 时,

$$2C_{VL} \leq C_{SL} \leq (2C_{VL} \bar{x}_L) / (\bar{x}_L - \ln x_{max}) \quad (4-1)$$

当 $\alpha > 3$ 时,

$$C_{SL} \leq (2C_{VL} \bar{x}_L) / (\bar{x}_L - \ln x_{min}) \quad (4-2)$$

(三) P-V型分布曲线

其分布密度函数为:

$$f(x) = (r^{p-1} / \Gamma(p-1)) \cdot (x - a_0)^{-p} \cdot e^{-r/(x-a_0)} \quad (5)$$

C_s 的约束条件为:

$$C_s \leq [4(\bar{x} - x_{min}) \bar{x} C_v] / [(\bar{x} - x_{min})^2 - (\bar{x} C_v)^2] \quad (6)$$

(四) K-M型分布曲线

这种分布, 由苏联克里茨基和闵凯里于1946年提出的。即以 $x = z^b$ 作为置换(其中: z 服从于两参数的 Γ 分布; x 为这类分布的函数; b 为常数, 可正可负), 曲线下限固定在零值上。其分布密度函数为:

$$f(x) = (\alpha^a / a^{a/b} \cdot b \Gamma(\alpha)) x^{a/b-1} \cdot e^{-\alpha(x/a)^{1/b}} \quad (7)$$

参数无约束条件。

(五) L-N型分布曲线

随机变数取对数后, 服从于正态分布者称对数正态分布。水文界最常用的是一端有限的以 $\ln(x+b)$ 来转换的正态分布曲线。其分布密度函数为,

$$f(x) = (1/(x-x_0)(\sqrt{2\pi})\sigma) \cdot e^{-\frac{[\ln(x-x_0) - \ln(\bar{x}-x_0)]^2}{2\sigma^2}} \quad (x_0 < x < \infty) \quad (8)$$

由 $x_{min} > x_0$ 可知, C_s 的约束条件为:

$$C_s \leq [3\bar{x}/(\bar{x} - x_{min})]C_v + [\bar{x}/(\bar{x} - x_{min}) \cdot C_v]^2 \quad (9)$$

(六) E-I分布曲线

1941年耿贝尔首先把极值分布律应用到水文分析中, 故水文界习惯把它称为耿贝尔曲线。其密度函数为:

$$f(x) = a \cdot \exp[-a(x - \mu) - e^{-a(x - \mu)}] \quad (10)$$

其中: μ 为众值

该分布 $C_s \approx 1.140$, 无约束条件。

三、分布线型的优选计算

(一) 资料的选择

一般而言, 洪水系列越短, 抽样误差越大, 系列代表性亦差。用任何一种分布去拟合短系列资料, 均不能求得合理的结果; 由短期资料优选的最佳线型很可能不是总体原型, 而是别的线型。我国幅员辽阔, 气候、地理条件复杂多变。若用统计推断方法去探求符合我国洪水特性的线型, 必须选择能反映各地区气候、地理特征和系列较长、代表性较好(要有调查洪水)的资料。

本文选用的74个(其中: 已审定的工程59个*, 测站15个)站点资料考虑了下列情况:

- (1) 这些资料经设计、审查部门核定, 质量比较可靠;
- (2) 这些资料绝大部分有调查洪水(只有水丰、新丰江工程和丹巴、直门达测站无调查洪水), 其重现期是经过细致的考证和分析后确定的;
- (3) 这些资料分布面较广; 实测系列一般均在25~30年以上;
- (4) 便于与已审定的设计成果进行对比分析。

(二) 经验频率计算公式的确定

合理地确定经验频率计算公式, 对于点绘经验频率曲线进行适线是十分重要的。

经验频率公式有很多, 国内外最常用的是期望公式, 它是从生产实际要求和工程安全角度考虑的。本文仍采用它作为经验频率绘点公式; 不连序系列是按洪水规范中的方法二, 即将实测系列与特大值共同组成一个不连序系列作为代表总体的样本来估算各项的经验频率。

(三) 线型的选择

根据洪水现象的一般规律, 其最小值不应该有负值。在理论上, 任何河流断面的洪水, 都有极限值存在, 因此宜用上端有限的曲线; 但是, 流域地区的水文、气候条件的不确定因素很多, 在目前的科技水平下, 尚难从物理上来估算它的上限值。在这种情况下, 不如暂用没有上限的曲线比较适宜。从实际资料分析, 我国绝大部份地区的洪水频率直方

* 引自《全国大中型水利水电工程水文成果汇编》(铅印本), 水电部水利水电规划设计院编印, 1982年。

图呈偏态铃形, 北方地区还有乙字形分布存在; 因此, 选择的线型应符合下端有限, 上端无限的偏态铃形和乙字形的分布曲线比较合适。

频率曲线包含的参数越多, 曲线的弹性越好, 易与实测点据相拟合。但是, 偏态系数 C_s 要用三阶矩计算, 已很不准确。在现有资料条件和技术水平的情况下, 还是采用三参数的线型比较适宜。

因此, E-I 和 LP-III 两种线型, 本文没有采用。理由是:

1. E-I 型分布曲线

由于该线型的偏态系数 C_s 为常数, 实属两参数线型, 适线弹性不足, 只有当 $C_s \approx 1.14$ 时, 才能与实际点据有较好的拟合。另一方面, 其下端取无限, 不符合洪水最小值不会小于零的现象。

2. LP-III 型分布曲线

1982年, 李松仕在分析的72个测站中, 发现有42站的LP-III型分布, α 值出现负值; 有些站点频率曲线的上端出现上限值。特别是当 $C_{SL} = 2C_{VL} / (1 - \ln K_{max})$ 时, 曲线的上限值等于系列中(调查或实测)洪水的最大值。我们亦发现, 安康、桓仁、亭下、朱庄、岗南、黄壁庄等工程也有这种不合理的现象出现, 见图1。

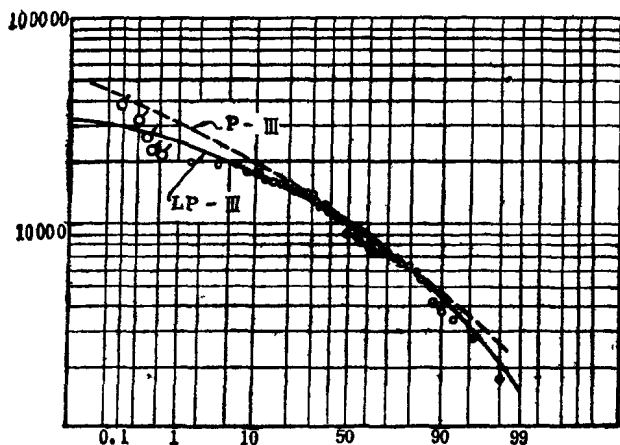


图1 安康站最大洪峰频率曲线

(四) 适线准则和参数的确定

目前最常用的参数估算方法有矩法、极大似然法和目估适线法。

矩法估算参数虽与线型无关, 估算的参数除期望值外, 一般均偏小。极大似然法常常出现无解或近似解。目估适线法因无统一的适线标准, 估值因人而异, 不便于分析研究。

现行的频率分布线型, 均属于经验性的曲线。用任何方法估算参数, 最后都必须以经验点据去拟合经验曲线, 使这些点据与所配的曲线具有最小的离差。因此, 必须采用某种拟优准则来作为度量实际样本同某一分布的拟合优度, 最后根据拟合优度的大小来决定采用哪一种分布曲线。

作为拟合曲线与经验点据间离差的量度, 可有各种不同的指标, 如: $\sum 4x_i^2$ 、 $\sum |4x_i|$ 、

$\sum |\Delta x_i|^{\frac{1}{2}}$ 、 $\sum p_i^2$ 、 $\sum |\Delta p_i|$ 、 $\sum |\Delta p_i \Delta x_i|$ ……等等。考虑到拟合优度为 x 值的函数,并要求抽样的每个点的权重相等,我们仅用 x 方向的 $\sum |\Delta x_i|$ 最小作为量度离差的准则。

对于参数的确定,均值 $\bar{x}$ 直接采用矩法估值;而 C_v 、 C_s 值采用 x 方向绝对值离差和最小准则,对各站点资料搜索各种待选线型的最优值。

四、线型拟合结果与分析

采用P-III、P-V、L-N、K-M四种线型,对各站点的年最大洪峰资料,在计算机上按 x 方向绝对值离差和最小准则适线,得出(1)各站点拟合求得的最优参数 C_v 、 C_s 值;(2)各站点依 x 方向拟合的绝对值离差和最小统计值两项基本成果。

(一)绝对值离差和指标分析

根据上述两项基本成果,统计归纳成表1。

表 1 各地区四种线型最佳拟合情况统计表

地 区	选用站数	最 佳 拟 合 出 现 次 数				
		线 型	P-III	P-V	L-N	K-M
东北地区	13	出现次数	7	4	1	1
		%	53.8	30.8	7.7	7.7
海滦河流域	6	出现次数	3	0	3	0
		%	50.0	0	50.0	0
黄河流域	9	出现次数	2	4	2	1
		%	22.2	44.4	22.2	11.2
长江流域	29	出现次数	13	8	6	2
		%	44.8	27.6	20.7	6.9
浙、闽沿海及珠江流域	11	出现次数	4	2	4	1
		%	36.4	18.2	36.4	9.0
西南国际水系	5	出现次数	3	1	1	0
		%	60.0	20.0	20.0	0
西北内陆河水系	1	出现次数	1	0	0	0
		%	100.0	0	0	0
合 计	74	出现次数	33	19	17	5
		%	44.6	25.6	23.0	6.8

从表1可以明显地看出:K-M型曲线在74个站点成分区统计中是拟合最差的一种线型。P-III型曲线除黄河流域外,在其它地区均属最佳。P-V、L-N两种曲线,在全国74个站点的出现次数十分接近,但P-V型曲线在东北、黄河、长江地区优于L-N型曲线,在海、滦河及浙闽沿海珠江地区劣于L-N型曲线。

当两种线型的 $\sum |\Delta x_i|$ 最小值相差不大时, 很难认为哪一种线型更优, 只能认为这两种线型同属于一个优劣等级。

为了综合总的优劣程度, 我们以四种线型中 $\sum |\Delta x_i|_{\min}$ 最小的一种线型为准, 统计其余三种线型与它的相对误差, 并分成七个等级进行加权计算, 等级标准的划分见表2。

表2 分 级 加 权 标 准 表

等 级	I	II	III	IV	V	VI	VII
相对误差(%)	≤ 5.0	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30	≥ 30
记 分	10	5	0	-5	-10	-15	-20

加权统计后的情况见表3和表4。

表3 加 权 统 计 表

等 级	P-III		P-V		L-N		K-M	
	站 点 数	得 分 数	站 点 数	得 分 数	站 点 数	得 分 数	站 点 数	得 分 数
I	59	590	44	440	47	470	10	100
II	5	25	10	50	11	55	9	45
III	2	0	5	0	2	0	2	0
IV	5	-25	2	-10	3	-15	9	-45
V	0	0	0	0	1	-10	4	-40
VI	1	-15	5	-75	2	-30	1	-15
VII	2	-40	8	-160	8	-160	30	-780
合 计		535		245		310		-735

表4 分 区 加 权 统 计 表

地 区	P-III	P-V	L-N	K-M
东北地区	100	-40	-10	-125
海滦河流域	45	-60	-10	-65
黄河流域	35	30	20	-55
长江流域	250	225	225	-240
浙闽沿海及珠江流域	75	90	95	-130
西南国际水系	20	5	10	-100
西北内陆河水系	10	-5	-20	-20
合 计	535	245	310	-735

P-III型曲线在七个地区中没有出现负分, 除浙闽沿海、珠江流域劣于L-N、P-V两种线型外, 其它六个地区均排列第一位。K-M型曲线在七个地区中均得负分。L-N型曲线在东北、海滦河流域、浙闽珠江地区和西南国际水系四个地区优于P-V型曲线, 长江流域与P-V型待分相同, 其它两个地区劣于P-V型曲线。

(二) 分区分析

为便于从地区上分析不同线型的适应性, 我们绘制了最佳拟优线型分布示意图(图2)和四种线型与最佳拟优线型 $\sum |4x_i|$ 最小值相对误差分布示意图(图3~图6)。

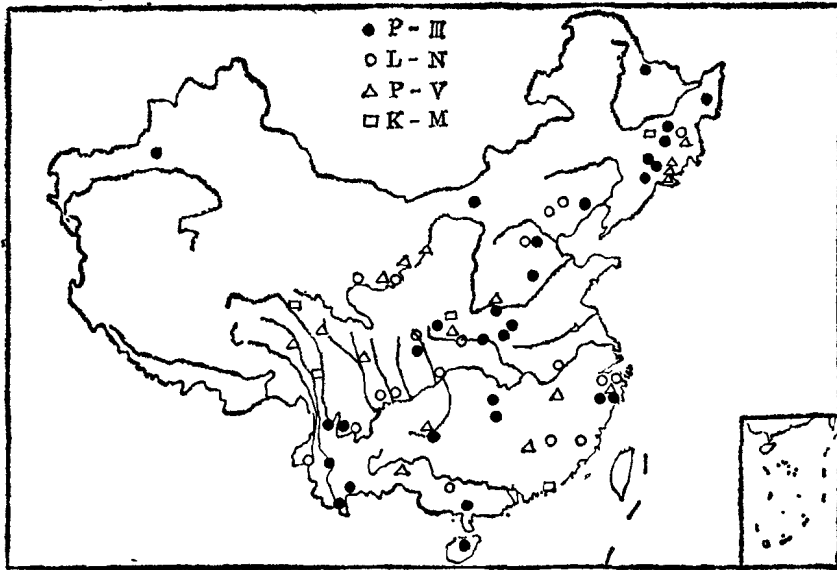


图2 最佳拟优线型分布示意图

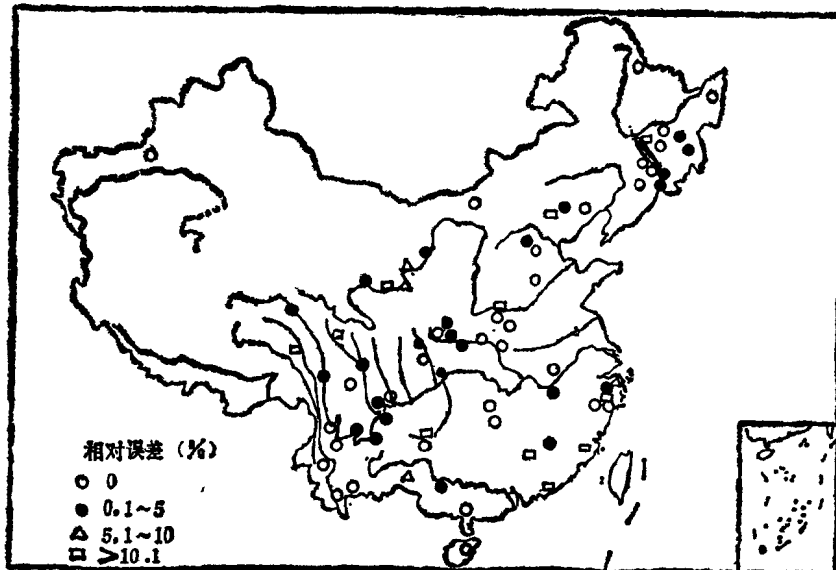
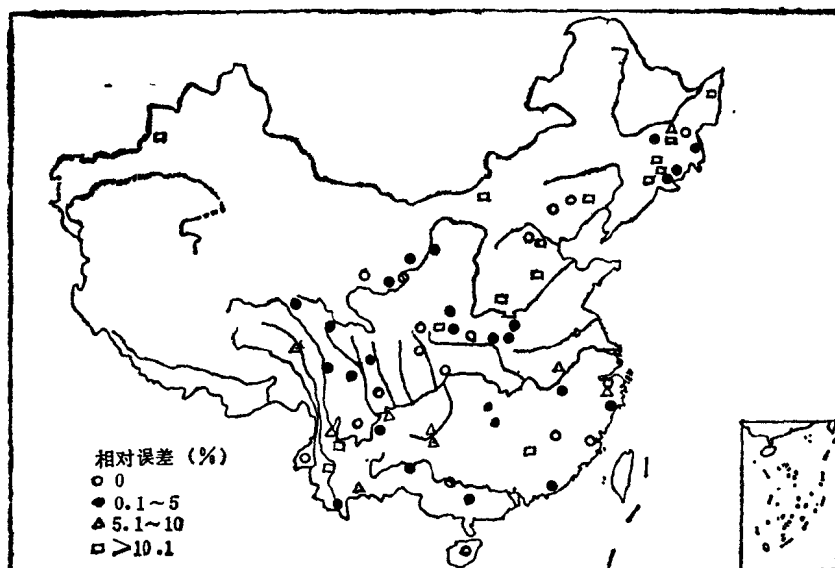
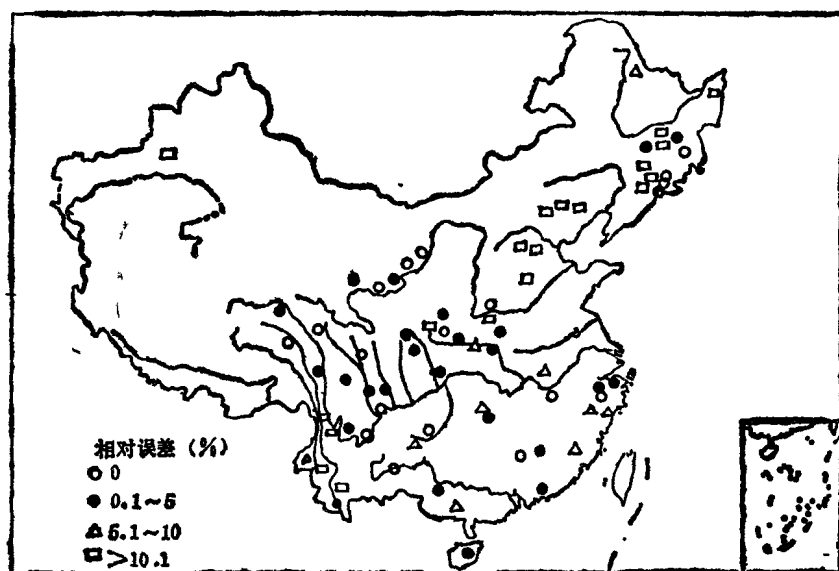


图3 P-III型曲线与最佳拟优线型 $\sum |4X_i|_{min}$ 相对误差示意图

鉴于K-M型曲线在74个站点中的拟合优度最差, 这里仅对P-III、P-V和L-N三种线型的适应性作如下分析:

东北地区: 从图2可以看出, 长白山区的白山、桓仁、回龙山和水丰的最佳拟优线型为P-V型曲线, 其它9个站点除丰满、二龙山外, 均以P-III型曲线为最优。若从三种不

图4 L-N型曲线与最佳拟优线型 $\sum |\Delta x_i|_{n,1}$ 相对误差示意图图5 P-V型曲线与最佳拟优线型 $\sum |\Delta x_i|_{n,1}$ 相对误差示意图

同线型与最佳拟优线型的 $\sum |\Delta x_i|_{n,1}$ 相对误差来看(图3~6),仍以P-III型曲线的适应性最好,只有二龙山的相对误差大于10%。长白山地区,包括源出于长白山区的第二松花江,除P-III型曲线外,P-V、L-N两种线型的适应性亦较好(图4、图5)。

海滦河流域:该地区的最佳拟优线型主要有两种,太行山和燕山山前区的岳城、黄壁庄、潘家口以P-III型曲线最优;太行山区的岗南、官厅和密云以L-N型曲线最优(图2)。从相对误差来看,P-III型曲线除官厅外,对海滦河流域是适宜的(图3)。P-V型曲线的相对误差均大于10%(图5),对该地区的适应性差。L-N型曲线对太行山区的

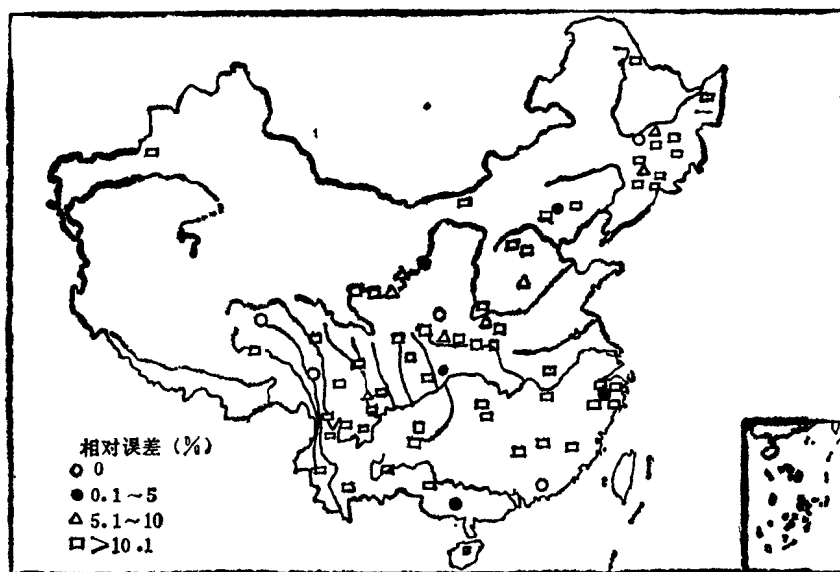


图 6 K-M型曲线与最佳拟优线型 $\sum |4X_i|_{min}$ 相对误差示意图

适应性好, 对山前区的适应性差(图4)。

黄河流域: 本地区选用的站点较少, 其中干流6个, 支流3个。因此, 要分析不同线型对该地区的适应性, 就比较困难。由图2知, 黄河干流自龙羊峡至三门峡, 以L-N、P-V两种线型拟合最优。而支流的拟优线型与干流不同, 阴山山脉和伏牛山区的昆都仑和故县以P-III型曲线最优; 秦岭北侧的石头河则以K-M型曲线最优。从图3~5分析, P-III型曲线对黄河支流的适应性比L-N、P-V两种线型的适应性强; 而干流以P-V和L-N两种线型为优, P-V又略优于L-N。

长江流域: 由于流域面积大, 地形复杂以及气候条件的不同, 从图2难以看出某种趋势。但从图3~图5来看, 金沙江干流、汉江水系、洞庭湖水系P-III型曲线明显地优于L-N和P-V两种线型。岷江、嘉陵江地区三种线型都比较好, 其中L-N型曲线略占优势。雅砻江地区L-N和P-V型曲线略比P-III型曲线优越。鄱阳湖水系P-V型比L-N、P-III型好。乌江地区P-III、P-V两种曲线比L-N型曲线好。

浙闽沿海和珠江流域: 从图3~图5分析, 这个地区以L-N型曲线最佳, P-III型曲线次之。其中, 南岭以南、云贵高原以东的西江地区和海南岛, P-III型曲线略优于L-N型曲线。云贵高原地区的红水河, P-V型曲线优于L-N型曲线。南岭及武夷山东南侧的新丰江、安砂则以L-N型曲线最优。钱塘江及浙江沿海水系, P-III、L-N两种曲线优于P-V型曲线。

西南国际水系: 横断山脉南部地区, P-III及L-N两种线型优于P-V型曲线, P-III型的适应性比L-N型更好。横断山脉北部地区的昌都则以P-V型曲线的适应性为好。

(三) 分布曲线的数学特性分析

洪水样本的容量较小, 用它的统计值来推断洪水总体的确定性分布是不可能的。因

此,目前用任何一种统计方法分析估算的洪水极值分布曲线,都是近似的和经验性的。这种“理论”曲线除应与实测系列的经验频率点据拟合较好外,还应对它的数学特性是否符合或接近洪水分布的物理特性进行分析。

K-M型曲线:该曲线是以 $C_{1.2}=2C_0$ 的P-III型曲线用幂函数 $X=az^b$ 转换而得^{[7], [8]}。密度曲线的起点固定在零点。当 $C_1/C_0 \geq 3$ 时,密度曲线一般呈铃形。在下列情况下,将呈乙字形:

$C_1/C_0=1.0$	$C_0 \geq 0.69$
$C_1/C_0=1.5$	$C_0 \geq 0.81$
$C_1/C_0=2.0$	$C_0 \geq 1.00$
$C_1/C_0=2.5$	$C_0 \geq 1.60$

所以,K-M型曲线在 C_1 较小时,不会出现乙字形,这与P-III型曲线必须 $C_1 > 2$ 时才会出现乙字形的情况不完全一样。

当样本的频率直方图呈递减的阶梯状时,要用K-M型曲线去拟合,可有两种方法:一种是用 C_1/C_0 的低倍比乙字形;另一种是用 $C_1/C_0 \geq 3$ 的高倍比铃形去拟合。

表5列出了74个站点中,频率直方图呈递减阶梯状的14个站点资料与四种线型拟合的成果。

从表5可以看出:K-M、P-III两种线型拟合的 C_0 值相差不大,而 C_1 相差很大。P-III型拟合的 C_1 均大于2,即都是用乙字形的方式去拟合资料。而K-M型前六站是用 C_1/C_0 低倍比的乙字形去拟合,后八站是用 $C_1/C_0 \geq 3$ 的高倍比铃形方式去拟合。万年一遇的设计估算值,前六站比P-III型小6~34%,后八站比P-III型大17~70%。因此,用 C_1/C_0 高倍比铃形的方式去拟合呈递减直方形资料的K-M型曲线,必然得出偏大的结果,显然是不适宜的。此外,K-M型的密度分布曲线的起点固定在零点,这与实际的洪水分布不相符合。

P-V型曲线:该线型的密度分布曲线为一端有限,一端无限的单峰铃形。当样本的频率直方图呈递减的阶梯状时,它不像K-M型曲线那样,还可用 C_1/C_0 低倍比的乙字形去拟合资料,而只能唯一地用尽量加大 C_1 值的铃形分布去拟合。其结果 C_1 远大于实际的 C_1 值。从表5可以看出:P-V型的 C_1 值远大于P-III型的 C_1 值,有10个站(占71.4%)的 C_1 值大于K-M型的 C_1 值,有8个站(占57.1%)的 C_1 值大于L-N型的 C_1 值。

另一方面,当 $C_1 > 2$ 时,P-V型曲线的敏感性减弱,特别是在 $P=1\% \sim 3\%$ 的部份明显小于L-N和P-III型曲线,见表6。例如:当 $C_1=0 \sim 2$ 时,P-V型 Φ_1 的增率为1.13,L-N型为1.19,P-III型为1.28。显然P-V型的增率最小,但相差不大。但是,当 $C_1=2 \sim 5$ 时,P-V型的 Φ_1 增率比其它两种线型小得很多。由于实测系列一般在35~100年左右,即实测最大值的频率在1%~3%之间。适线时为了减少P-V型曲线与实测最大值之间的离差,只有不断加大 C_1 值和 C_0 值。特别是对不连序系列中的调查点据的位置高挂时,若不对 C_1 加以控制,则会加大到难以置信的地步。由于 Φ_1 在 $P_{(x)}=0.1 \sim 0.01$ 间的增率远大于 $P=1\% \sim 3\%$ 时的增率,因此频率曲线头部上翘很甚。表5中P-V型曲线的 $X_{0.01}$ 值,说明了这一情况。

表 5

昆都仑等14个站点四种线型的拟合成果表

站 名	$\bar{X}$	C_p				C_s				$X_{\dots}$			
		P-III	P-V	L-N	K-M	P-III	P-V	L-N	K-M	P-III	P-V	L-N	K-M
昆都仑	613	1.56	1.66	1.66	1.20	3.15	3.55 (12.7)	4.18 (32.7)	1.20 (-61.9)	10800	14700 (36.1)	15900 (47.2)	
岳 城	2718	1.09	1.19	1.16	1.06	2.75	4.28 (55.6)	3.14 (14.2)	1.59 (-42.2)	31800	51500 (61.9)	42800 (34.6)	20900 (-34.3)
柴 河	438	1.55	1.47	1.54	1.20	3.56	3.85 (8.15)	4.16 (16.9)	2.40 (-32.6)	8240	9700 (17.1)	10500 (27.4)	5170 (-37.3)
新立城	266	1.35	1.26	1.35	1.15	2.50	3.55 (42.0)	4.22 (68.8)	2.30 (-8.0)	3600	4900 (36.1)	5680 (57.8)	2810 (-21.9)
石头口门	673	1.04	1.07	1.09	1.05	2.14	2.71 (26.6)	3.12 (45.8)	2.10 (-1.87)	6640	9220 (38.9)	9940 (49.7)	6250 (-5.87)
密 云	1490	1.02	1.07	1.10	1.00	2.22	2.74 (23.4)	3.11 (40.1)	2.00 (-9.91)	14700	20500 (39.5)	22100 (50.3)	13700 (-6.8)
潘家口	3154	1.30	1.45	1.36	1.21	3.29	4.41 (34.0)	4.18 (27.1)	3.63 (10.3)	48100	73000 (51.8)	67500 (40.3)	
汤 河	782	1.30	1.33	1.27	1.20	3.01	4.23 (40.5)	3.13 (3.99)	3.60 (19.6)	11300	16400 (45.1)	13400 (18.6)	13200 (16.8)
故 县	1371	1.14	1.15	1.09	1.20	2.73	4.18 (53.1)	2.25 (-17.6)	3.60 (31.9)	16700	24900 (49.1)	16700 (0)	23100 (38.3)
大伙房	2220	1.07	1.18	1.13	1.13	24.2	4.24 (75.2)	2.26 (-6.61)	3.39 (40.1)	23900	41600 (74.1)	28100 (17.6)	34300 (43.5)
二龙山	906	1.22	1.07	1.01	1.20	3.12	4.13 (32.4)	3.05 (-2.24)	4.80 (53.8)	12600	15300 (21.4)	12300 (-2.38)	18800 (49.2)
岗 南	1376	1.06	1.10	1.13	1.19	3.00	4.23 (41.0)	4.15 (38.3)	4.76 (58.7)	16500	24100 (46.1)	24600 (49.1)	28100 (70.3)
官 厅	1228	0.90	0.87	0.87	0.95	2.56	2.85 (11.3)	3.08 (20.3)	3.80 (48.4)	11600	14300 (23.3)	14600 (25.9)	17900 (54.3)
黄壁庄	2371	1.17	1.14	1.10	1.34	3.59	4.37 (21.7)	4.21 (17.3)	6.70 (86.6)	34400	43500 (26.5)	41700 (21.2)	

注 ()内的数值是以P-III型为基础的相对差值(%)。

另一方面, 由于P-V型曲线起点与零点的距离 $a_0 = \bar{X}(1 - C_p\sqrt{p-3})$, 当 $C_p > 0$ 时 $p > 4\%$, 若要满足 $a_0 > 0$ 的条件, C_p 必须小于1。表5所列成果, 绝大部份的 C_p 值大于1, 若要满足此条件, 还必须减小 C_p 值, 加大 C_s 值。

鉴于P-V型曲线的特性不能完善地描述洪水特性, 在一些地区的站点拟合方面虽占有优势, 但其 C_p 值受稀遇点据的影响大, 其数值从理论到实际应用都有不少问题, 不利于地区综合。

L-N型曲线: 该曲线是以 $Y = \ln(X + X_0)$ 转换得到的一种下端有限, 上端无限的正态

表 6 P-V、L-N、P-III 型 曲 线 ϕ 表

C_s	P-V				L-N				P-III			
	ϕ_1	$\Delta\phi_1$	ϕ_2	$\Delta\phi_2$	ϕ_1	$\Delta\phi_1$	ϕ_2	$\Delta\phi_2$	ϕ_1	$\Delta\phi_1$	ϕ_2	$\Delta\phi_2$
0	2.33	1.13	1.88	0.46	2.33	1.19	1.88	0.51	2.33	1.28	1.88	0.63
2	3.46		2.34		3.52		2.39		3.61		2.51	
		0.27		-0.06		0.44		-0.05		0.96		0.09
5	3.76		2.28		3.96		2.34		4.57		2.60	

分布曲线。其密度分布与P-V型曲线一样,总是呈铃形。因此,对实际资料的频率直方图呈递减阶梯状时,必然要以较大的 C_s 去拟合。它与P-V曲线不同之处是比较容易满足参数的约束条件。但是,由它推估的 $X_{0.01}$ 值与P-V型曲线一样,在北方地区容易得出偏大的结果。

P-III型曲线:该曲线的密度分布有以下几种情况^[4]:当 $C_s \geq 2$ 时,曲线呈乙字形分布;当 $0 \leq C_s \leq \sqrt{2}$ 时,呈双拐点铃形分布;当 $2 > C_s > \sqrt{2}$ 时,呈单拐点铃形分布。这三种分布形式与我国实际的洪水频率直方图的形状是相符的。P-III型曲线的主要问题是:当 $C_s < 2C_0$ 时, α_0 将出现负值,当 C_s/C_0 的倍比大于2时,频率曲线的尾部,将随倍比的增大渐趋向于与P轴平行,与资料的情况不符。由于 C_s 不能加大,造成频率曲线头部与实际点据的离差变大,外延成果比其它三种线型小。现行设计洪水计算规范规定的目估适线法,是用人为的调整参数,让曲线与上、中部的点据拟合得好一些,使外延偏小的结果得以改善,这是以中下部和尾部点据偏离曲线为代价。用这种方法适线的结果,必然使曲线尾部高于实际点据。

(四) 参数“稳定性”分析

由实测资料组成的连序系列,或与调查洪水一起组成的不连序系列,都是对总体不同抽样中的一个“特殊样本”。由不同抽样组成的不同样本,其参数的估值是不同的。工程设计希望采用的线型,适线时受特大值的影响不要过大,也不应由于个别点据的变动使统计参数和外延设计值出现很大变化,即希望参数和设计值具有相对的“稳定性”。

我们以不连序系列作为比较基础,统计分析P-III、P-V、L-N三种线型连序和不连序两种系列 C_0 、 C_s 、 $X_{0.01}$ 的变化情况,并归纳成表7。

从表7的平均差值可以看出:L-N型曲线的参数“稳定性”最好,P-III型次之,P-V型第三。P-V型的平均 $\Delta X_{0.01}$ 为16.6%,与L-N、P-III两种线型的差值虽不大,但其平均 ΔC_s 为46.7%和差值变幅(-93.3~1300%)远大于L-N和P-III型曲线。

$\Delta \bar{X}$ 的平均值,黄河流域及其以南地区小于5%,以北地区在5%~10%。 ΔC_s 的平均值,北方地区以L-N型曲线最好,P-V型次之;长江以南P-V型较其它两种线型好。 ΔC_s 的平均值,从北到南以P-III型较好。 $\Delta X_{0.01}$ 的平均值,北方L-N型曲线比P-III、P-V型好,南方P-III型比L-N、P-V两种线型好。

在地区上,东北地区的 ΔC_s 、 $\Delta X_{0.01}$ 以L-N最小,但三种线型相差不大,而差值变幅则

表 7 连序系列与不连序系列参数相对误差(%)表

地 区	项 目	差值平均(绝对值)			差 值 变 幅		
		P-III	P-V	L-N	P-III	P-V	L-N
东北地区	$\Delta\bar{X}$	8.2			-3.68~15.3		
	ΔC_0	15.4	8.9	8.2	-36.3~13.3	-35.4~9.86	-35.1~7.81
	ΔC_1	23.1	27.5	24.3	-92.4~18.9	-93.3~72.2	-97.4~35.0
	$\Delta X_{0.01}$	26.6	22.8	20.0	-58.2~8.61	-64.2~37.0	-61.1~9.02
海、滦河流域	$\Delta\bar{X}$	5.5			-2.2~10.4		
	ΔC_0	7.8	4.8	3.0	-3.08~26.5	-5.04~16.7	-5.45~10.0
	ΔC_1	3.9	17.4	7.7	-6.76~9.47	-35.7~40.4	-24.6~0
	$\Delta X_{0.01}$	9.2	15.0	10.0	-13.3~23.8	-27.6~17.5	-20.7~2.64
西北内陆 河 水 系	$\Delta\bar{X}$	6.7					
	ΔC_0	12.2	17.2	2.17			
	ΔC_1	7.6	116.2	9.8			
	$\Delta X_{0.01}$	20.8	57.6	0.45			
黄河流域	$\Delta\bar{X}$	3.8			-10.3~0.68		
	ΔC_0	7.9	6.1	5.2	-18.6~17.3	-11.3~9.04	-7.55~16.3
	ΔC_1	15.7	18.8	18.0	-29.1~22.2	-32.8~18.9	-29.5~39.1
	$\Delta X_{0.01}$	12.7	13.8	9.6	-26.9~18.5	-33.7~5.44	-19.6~4.19
长江流域	$\Delta\bar{X}$	3.6			-16.7~-0.72		
	ΔC_0	4.1	5.0	4.2	-20.6~3.33	-29.7~5.0	-20.0~9.68
	ΔC_1	36.1	83.7	34.2	-104.0~175.0	-85.1~1300.0	-96.7~121.4
	$\Delta X_{0.01}$	11.4	15.1	12.3	-40.0~11.0	-64.7~24.1	-44.7~11.4
西南国际 水 系	$\Delta\bar{X}$	4.7			-6.77~9.34		
	ΔC_0	6.4	5.8	12.3	-18.5~0	-14.3~3.70	-23.3~9.80
	ΔC_1	19.0	18.4	19.0	-25.2~42.9	-34.4~28.1	-47.1~18.4
	$\Delta X_{0.01}$	9.9	15.0	14.9	-23.9~8.93	-23.9~24.5	-41.4~6.83
浙闽沿海及 珠江流域	$\Delta\bar{X}$	4.2			-9.78~0.88		
	ΔC_0	18.4	6.5	6.8	-25.8~129.4	-22.6~2.63	-28.1~4.88
	ΔC_1	13.8	19.5	16.9	-35.8~27.7	-54.6~56.4	-43.1~21.1
	$\Delta X_{0.01}$	16.2	13.4	13.2	-24.0~63.8	-36.5~11.5	-29.5~6.77
合 计	$\Delta\bar{X}$	4.8			-16.7~9.34		
	ΔC_0	9.2	6.2	5.8	36.7~129.4	-35.4~16.7	-35.1~16.3
	ΔC_1	23.7	46.7	24.2	-104.0~175.0	-93.3~1300.0	-97.4~121.4
	$\Delta X_{0.01}$	14.7	16.6	13.2	-58.2~63.8	-64.7~37.0	-61.1~11.4

P-III、L-N比P-V要小。海滦河流域的平均差值和变幅,明显地以P-III和L-N两种曲线好。黄河流域L-N、P-V两种线型比P-III好。长江流域P-V的平均 ΔC_0 、 ΔC_1 、 $\Delta X_{0.01}$ 和变幅大于其它两种线型,而以P-III型最好, L-N型次之。西南国际水系的参数以P-III、P-V两种线型比较好,其中 $\Delta X_{0.01}$ 则以P-III型曲线最小。浙闽沿海及珠江流域, L-N、P-V两种线型的平均 ΔC_0 、 $\Delta X_{0.01}$ 十分接近,优于P-III型曲线;但P-V型的平均 ΔC_1 较大,差值变幅亦大于其它两种线型。

由于洪水统计参数具有地区分布规律,工程水文界对 $\bar{X}$ 、 C_0 、 C_1 (或 C_1/C_0)值常进行

地区性的综合比较,以减少小样本的抽样误差。L-N、P-V两种线型的适线表明,当样本中出现特大值时,为使曲线逼近特大值,唯一的办法只有尽可能地加大 C_s ,致使 C_s 、 $X_{0.01}$ 的波动性很大,难以在地区上进行综合分析。

从以上参数的相对“稳定性”分析看,P-V型曲线不如L-N和P-III两种曲线。

(五) 外延成果的对比

工程设计中采用频率曲线的主要目的,在于外延推求稀遇洪水,如百年一遇、千年或万年一遇洪水作为设计的标准。

由于不同线型数学特性的差异,采用不同线型外延推估的稀遇洪水必然不同。在 $\bar{X}$ 、 C_s 、 C_v 相同的情况下,P-III、P-V、L-N三种线型的 K_p 值见表8。

表 8 P-III、P-V、L-N线型的 $K_{p,0.01}$ 表

C_s	C_v	$K_{p,0.01}$			差 值* (%)	
		P-III	P-V	L-N	P-V	L-N
0.5	0.2	1.95	2.05	1.99	4.59	1.53
	0.5	3.41	3.63	3.47	6.45	1.76
	1.0	5.82	6.25	5.94	7.39	2.06
	1.5	8.23	8.88	8.41	7.90	2.16
	2.0	10.64	11.50	10.88	8.08	2.26
1.0	0.2	2.19	2.36	2.28	7.76	4.11
	0.5	3.98	4.39	4.20	10.3	5.53
	1.0	6.98	7.78	7.40	11.78	6.32
	1.5	9.94	11.17	10.6	12.37	6.84
	2.0	12.91	14.56	13.81	12.78	6.97
2.0	0.2	2.64	3.01	2.90	14.0	9.87
	0.5	5.11	6.02	5.76	17.81	12.72
	1.0	9.21	11.04	10.52	19.87	14.22
	1.5	13.21	16.06	15.28	20.57	14.71
	2.0	17.42	21.08	20.05	21.01	15.10
3.0	0.2	3.07	3.52	3.47	14.66	13.03
	0.5	6.18	7.30	7.16	18.12	15.86
	1.0	11.35	13.60	13.33	19.82	17.44
	1.5	16.53	19.9	19.49	20.39	17.91
	2.0	21.7	26.2	25.65	20.74	18.20
4.0	0.2	3.47	3.93	3.93	13.26	13.26
	0.5	7.18	8.32	8.32	15.88	15.88
	1.0	13.36	15.64	15.64	17.07	17.07
	1.5	19.54	22.96	22.96	17.50	17.50
	2.0	25.72	30.28	30.28	17.73	17.73

• 差值: 为P-V、L-N与P-III的相差百分数。

表8表明: $K_{p,0.01}$ 值随 C_s 、 C_v 值的增大而加大。三种线型的 $K_{p,0.01}$ 值以P-III型最小,P-V型最大。当 $C_s=0.5$, $C_v=0.2\sim 2$ 时,L-N、P-III两种线型的 $K_{p,0.01}$ 值相差不大。当 C_s 增大到2时,P-V、L-N的 $K_{p,0.01}$ 值增长速度加快。到 $C_s=3$ 时,P-V、L-N的 $K_{p,0.01}$ 值逐渐逼近,与P-III的差值开始缩小。当 $C_s=4$ 时,P-V、L-N的 $K_{p,0.01}$ 值达到相等。