

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 25 集

(水资源、灌溉与排水、水利史)

水利电力出版社

内 容 提 要

本集为水利水电科学研究院水资源研究所、水利研究所、水利史研究室近年来的科学研究论文选集。主要包括：中国水资源量的多年变化，山丘区地表水和地下水的相互转化，火电厂用水水费计算方法。明沟排水渗流和非稳定流排水计算，鼠洞排水技术，辐射井成井工艺，喷灌技术，作物耗水量的模拟计算，多沙渠道量水设备。唐代末至元代中期太湖流域水利及江浙一带围田的发展，清代永定河的治理与京津地区的防洪，清代黄河铜瓦厢决口，近代都江堰的渠首工程等20篇论文。

本集可供从事水资源、灌溉与排水、水利史（志）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
水利电力部水利水电科学研究院

科学研究论文集

第 25 集

（水资源、灌溉与排水、水利史）

*

水利电力出版社出版

（北京三里河路6号）

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 14.75印张 331千字

1986年12月第一版 1986年12月北京第一次印刷

印数0001—2110册 定价3.50元

书号 15143 6131

目 录

中国水资源量的多年变化和系列代表性分析

.....贺伟程 马滇珍 叶振蕴 谢丁明 (1)	
萨克模型在山区地表水、地下水相互转化关系分析中的应用何应平 陈志恺 (16)	
火电厂用水水费定价原则和计算方法杨 柄 (29)	
水田入渗和承压补给条件下的明沟排水渗流计算瞿兴业 (42)	
地下水蒸发与埋深关系指数 $n=4$ 的非稳定渗流排水计算张友义 苏敏珍 (57)	
在粉细砂层中打辐射井的试验研究..... 伍军 智一标 邢东志 郭宇飞 (65)	
南方五省鼠洞排水技术的考察与展望	
..... 张友义 朱正文 张茂松 王永林 朱兰春 (76)	
压力罐调节管道供水系统运行动态分析赵竞成 (88)	
反作用式微型 W_1 喷头的试制及其水力性能刘玉华 赵竞成 (103)	
利用计算机模拟计算作物耗水量与灌溉制度的方法张金辉 黄荣翰 (110)	
外支架锥形折射式喷头水力学性能参数研究郭 锋 (121)	
齐底三角堰与三角形无喉量水槽的试验研究林华山 (128)	
北宋江南圩田及浙西围田姚汉源 (135)	
吴越钱氏的水利朱更翎 (146)	
元代水利家任仁发及其治水实践周魁一 (158)	
1890年北京大水郑连第 (171)	
近代的都江堰渠首枢纽工程谭徐明 姚汉源 (183)	
清代前期永定河的治理方略贾振文 姚汉源 (197)	
明清时期天津的城市防洪堤防蒋 超 姚汉源 (208)	
清代黄河铜瓦厢决口颜元亮 姚汉源 (218)	

中国水资源量的多年变化 和系列代表性分析*

贺伟程 马滇珍 叶振蕴 谢丁明

【提要】 本文根据全国100多个长系列雨量站和流量站资料,对水资源量的丰枯变化规律、统计参数的稳定性以及不同长度系列统计参数的对比等内容,进行了比较全面的分析研究。并从均值、 C_v 值和不同频率预估值等方面估价了1956~1979年系列的代表性,对全国地表水资源量计算成果的可靠性作出了初步评价。

一、资料选用情况

水资源量的多年变化可以用年降水量和年径流量的时序系列来表示,而系列代表性的好坏直接影响到水资源量评价的精度。因此,选择有长期观测资料的雨量站和流量站,分析年降水和年径流的多年变化规律及其统计参数的稳定性,评定短系列的代表性,对于水资源的评价和规划具有重要的参考价值。

在全国范围内共收集长系列年降水资料76站,长系列年径流资料40站,资料用到1979年为止。从选用测站系列长度分级表(表1)可以看出,绝大多数站的系列长度为41~90年,共98站,占总站数的85%;小于41年的共11站,占总数的9%;大于90年的只有7站,占总站数6%。系列最长的雨量站为北京站(139年),其次为上海徐家汇站(107年)。系列最长的流量站为汉口站(113年),其次为宜昌站(100年)。在测站稀少或没有长系列站的地区,也选用了少数系列为30年左右的测站。

在选用的测站中,系列连续的有77站,占总站数的66.5%;系列基本连续的(中间连续间断1~3年)为19站,占总站数16.5%;系列不连续的(连续间断3年以上)为20站,占总数17%。系列连续且大于50年的有53站,占选用总站数的46%(表2)。

长系列雨量站在地区分布上极不均匀,东部较多,西部稀少。若按流域片划分,珠江、长江、海滦河、黑龙江的站数较多,其次为黄河、淮河、辽河和浙、闽、台诸河、西北内陆河和西南诸河没有一个50年以上的雨量站。长系列流量站绝大多数为主要江河的控制站,流域面积大于20万 km^2 的有10站,5~20万 km^2 的有12站,1~5万 km^2 的有17站。

* 河北省保定水文分站季志恒参加部分计算工作。

表 1 选用测站系列长度分级表

系列长度(年)	雨 量 站		流 量 站		合 计	
	站 数	占雨量站%	站 数	占流量站%	站 数	占总站数%
27~30	2	2.6	2	5.0	4	3.4
31~40	2	2.6	5	12.5	7	6.0
41~50	15	19.7	5	12.5	20	17.2
51~60	12	15.8	7	17.5	19	16.4
61~70	20	26.3	11	27.5	31	26.7
71~80	11	14.5	4	10.0	15	12.9
81~90	9	11.8	4	10.0	13	11.2
91~100	3	3.9	1	2.5	4	3.4
>100	2	2.6	1	2.5	3	2.6
总 计	76	100	40	100	116	100

表 2 选用测站分类表

测 站 分 类	雨 量 站		流 量 站		合 计	
	站 数	占雨量站%	站 数	占流量站%	站 数	占总站数%
系 列 连 续	46	60.5	31	77.5	77	66.4
其中 $n > 40$ 年	42	55.3	25	62.5	67	57.8
$n > 50$ 年	31	40.8	22	55.0	53	45.7
系列基本连续	13	17.1	6	15.0	19	16.4
其中 $n > 40$ 年	13	17.1	5	12.5	18	15.5
$n > 50$ 年	11	14.5	3	7.5	14	12.1
系列不连续	17	22.4	3	7.5	20	17.2
其中 $n > 40$ 年	17	22.4	3	7.5	20	17.2
$n > 50$ 年	15	19.7	3	7.5	18	15.5
总 计	76	100	40	100	116	100
其中 $n > 40$ 年	72	94.7	33	82.5	105	90.5
$n > 50$ 年	57	75.0	28	70.0	85	73.3

二、水资源量的多年变化

(一) 丰枯变化规律

根据连续或基本连续的长系列降水和径流资料, 绘制模比系数差积曲线, 分析其丰枯变化规律。共绘制年降水差积曲线37站, 年径流差积曲线16站, 从这些曲线大致可将多年变化过程归纳为三种类型:

1. 有比较明显的60~80年长周期。属于这一类的最多, 约占分析站数的58%, 其特点是上升段和下降段很长, 一般各为25~35年, 最长的可达40~50年。对于这类测站, 一般需要有40~50年的资料, 才能得到比较可靠的均值和变差系数(C_v)。

2. 有比较明显的30~40年短周期。属于这类的测站甚少, 约占分析站数的10%, 其特点是上升段和下降段较短, 一般各为15~20年。对于这类测站, 如有20~30年资料就可得

到比较可靠的均值和 C_v 。

3. 没有明显的周期规律。这种类型的主要特点是：上升段和下降段很短，而且不是有规律的交叉出现，中间夹杂着一些波动段，且波动段的年数在整个系列中占优势。属于这类的测站约占分析站数的32%。这类测站分析计算需要的资料年数，介于上述两种类型之间，一般为30~40年。

上述三种多年变化过程，没有明显的地区分布规律。除西部地区因缺少长系列站，尚未发现长周期类型外，其他地区三种类型均有出现。全国的长周期不是同步的，南北大约相差半个周期，即北方处于上升段时，南方则处于下降段；而北方处于下降段时，南方则处于上升段。这种南北周期不同步的现象，是造成我国南涝北旱或北涝南旱的根本原因。

年降水、年径流的多年变化虽然存在周期性规律，但随机性仍然是显著的，具体表现在上升段、下降段、周期长度、周期变幅的差别很大。由此可见，水文现象是一种带有周期性的随机时序系列，把它当作单纯的独立随机事件处理，严格地讲是不正确的，所以在选择样本时，应该考虑水文周期变化和连丰、连枯情况。

表3和表4列出部分雨量站和流量站的周期分析成果。三种类型的差积曲线如图1所示。

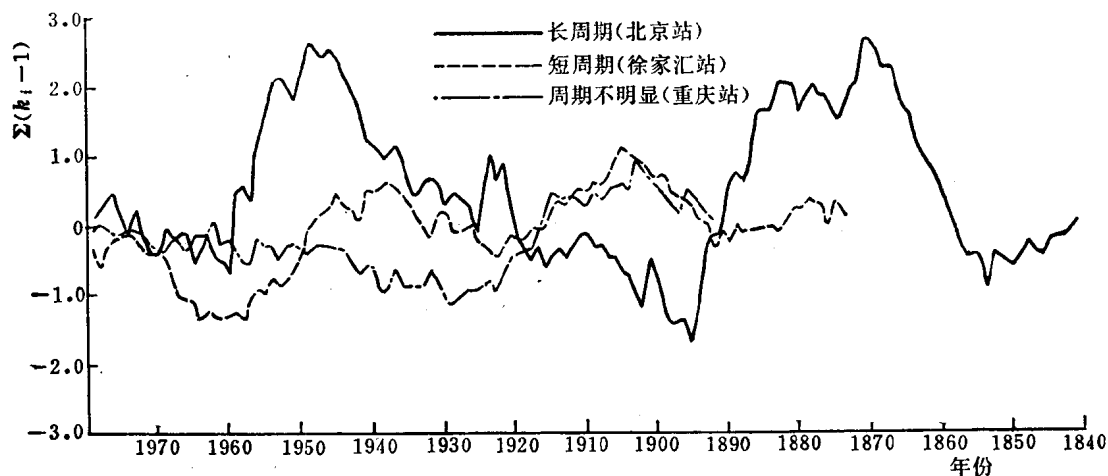


图1 三种类型的年降水模比系数差积曲线

(二) 连丰期和连枯期

多年调节计算所选用的年径流系列，一般应该包括最长的连丰期和连枯期，这样求得的设计库容才较为可靠。以城市和工业用水为主要目标的水资源评价，供水保证率要求很高，连枯期的平均年水量比多年平均值更具有实际意义。

连丰、连枯分析所采用的标准是：

$$\begin{aligned} \text{丰水年} \quad x_i &> (\bar{x} + 0.33\sigma) \\ \text{相应频率} p &< 37.5\% \\ \text{枯水年} \quad x_i &< (\bar{x} - 0.33\sigma) \\ \text{相应频率} p &> 62.5\% \end{aligned}$$

式中 $\bar{x}$ ——多年平均年径流量或年降水量；

x_i ——逐年的年径流量或年降水量;

σ ——均方差。

按照上述标准判别出系列中的丰水年和枯水年,然后挑选出持续时间最长且均值最大的连丰期和持续时间最长且均值最小的连枯期,并计算连丰期均值与多年平均值的比值 $\bar{k}_{\text{丰}}$ 和连枯期均值与多年平均值的比值 $\bar{k}_{\text{枯}}$ 。

表 3 年 降 水 周 期 分 析 成 果

省、自治区	站 名	上 升 段		下 降 段		波 动 段		周 期 长 (年)	最 大 相对变幅
		起迄年份	年数	起迄年份	年数	起迄年份	年数		
黑 龙 江	黑 河	1957~1945	12	1945~1934	11	1979~1957	22	周期不明显	2.3
		1934~1928	6	1928~1911	17	1911~1892	19		
辽 宁	沈 阳	1961~1928	33	1979~1961 1928~1908	18 20			71	2.9
河 北	秦 皇 岛	1957~1937	20	1965~1957 1921~1913	8 8	1979~1965 1937~1921	14 16	周期不明显	2.2
北 京	北 京	1960~1949	11	1979~1960	19			65~78	4.3
		1895~1871	24	1949~1895 1871~1854	54 17				
山 东	临 清	1978~1950	28	1950~1919	31			59	4.2
山 西	太 原	1979~1944	34	1944~1920	24			58	3.3
安 徽	蚌 埠	1976~1946	30	1946~1918	28			58	3.8
山 东	青 岛	1977~1947	30	1947~1916	31			60	5.0
江 苏	镇 江	1976~1954	22	1954~1917	37			60~65	2.8
		1917~1893	24						
上 海	徐 家 汇	1961~1938	23	1975~1961	14			35~40	2.4
		1923~1905	18	1938~1923 1905~1892	15 13				
江 西	九 江	1956~1939	17	1969~1956	13			30~40	2.4
		1920~1901	19	1939~1920	19				
云 南	昆 明	1946~1910	36	1966~1946	20			56	3.3
四 川	重 庆	1929~1915	14	1946~1929	17	1979~1946 1915~1896	33 19	周期不明显	2.0
广 西	南 宁	1952~1917	35	1978~1952	26			61	2.9
广 东	韶 关	1956~1931	25	1972~1956 1931~1921	16 10			35~40	2.2
广 东	广 州	1928~1918	10	1940~1928	12	1979~1940	39	周期不明显	1.7
福 建	福 州	1926~1903	23	1972~1926	46			69	3.7
浙 江	温 州	1936~1911	25	1911~1892	19	1979~1936	43	周期不明显	2.6
甘 肃	酒 泉	1956~1947	9	1964~1956	8	1979~1964	15	周期不明显	2.2
						1947~1935	12		

表 4 年 径 流 周 期 分 析 成 果

河 名	站 名	上 升 段		下 降 段		波 动 段		周 期 长 (年)	最 大 相对变幅
		起迄年份	年 数	起迄年份	年 数	起迄年份	年 数		
嫩 江	富拉尔基	1974~1928	46	1928~1898	30			76	13.6
松 花 江	哈 尔 滨	1974~1929	45	1929~1898	31			76	9.4
滦 河	滦 县	1960~1954	6	1977~1960	17	1954~1929	25	周期不明显	3.2
潮 白 河	苏 庄	1960~1949	11	1977~1960	17			27~34	5.2
		1926~1922	4	1949~1926	23				
永 定 河	官 厅	1970~1949	21	1949~1919	30			>50	5.0
滦 沱 河	黄 壁 庄	1968~1944	24	1944~1918	26			>50	9.5
黄 河	三 门 峡	1977~1933	44	1933~1919	14			58	3.4
淮 河	中 渡	1976~1937	39	1937~1917	20			59	5.3
长 江	寸 滩					1979~1893	86	周期不明显	1.2
长 江	宜 昌					1979~1878	101	周期不明显	1.2
郁 江	贵 县	1952~1904	48	1978~1952	26			74	6.1
西 江	梧 州	1953~1911	42	1979~1953	26			68	3.9
伊 犁 河	雅 马 渡	1961~1952	9	1979~1972	7	1972~1961	11	周期不明显	1.2
				1952~1943	9	1943~1924	19		

表 5、表 6 列出部分雨量站和流量站的连丰、连枯分析成果。从表中可以看出，北方河流的连丰、连枯期一般比南方河流要长，年径流偏离多年平均值的程度也大。连丰期大于 5 年的有嫩江、松花江、潮白河、永定河、滦沱河、长江、西江，最长的为永定河（10 年）；连枯期大于 5 年的有嫩江、松花江、永定河、滦沱河、黄河、长江、额尔齐斯河，最长的为黄河（11 年）。 $\bar{k}_{\neq}$ 值大于 1.5 的有嫩江、滦河、潮白河、滦沱河、淮河，最大的为淮河，达到 1.93； $\bar{k}_{\neq}$ 值小于 0.5 的有嫩江、潮白河、淮河，最小的为潮白河，只有 0.34。

关于年降水的连丰、连枯情况，全国没有显著的地带性差别。在所分析的雨量站中，大约有四分之三的连丰、连枯年数为 3~5 年， $\bar{k}_{\neq}$ 为 1.2~1.4， $\bar{k}_{\neq}$ 为 0.7~0.8。

将降水和径流的连丰、连枯年数、 $\bar{k}_{\neq}$ 、 $\bar{k}_{\neq}$ 进行比较，在多雨、湿润地带没有明显的差别，而在半湿润半干旱地带则有较大的差别：年降水的 $\bar{k}_{\neq}$ 小于年径流的 $\bar{k}_{\neq}$ ， $\bar{k}_{\neq}$ 值相反。在有冰川融水补给的内陆河又是另一种情况，降水的连丰、连枯年数一般比径流的长一些， $\bar{k}_{\neq}$ 值比径流的大一些， $\bar{k}_{\neq}$ 值比径流的小一些，这是因为冰川对河流有补偿调节的作用。

（三）最大值和最小值

了解长系列站最大值和最小值的发生年份和相应频率，对相似地区短系列站的频率适线有一定的参考价值。最大值和最小值之比 k_m 和变差系数 C_v 之间存在较好的对应关系（表 7），因此， k_m 可以作为反映降水、径流年际变化的直观指标。

表 5 年降水连丰、连枯分析成果(年降水单位: mm)

省、市、自治区	站 名	连 丰 期				连 枯 期			
		起迄年份	年数	平均年降水	$\bar{k}_{\text{丰}}$	起迄年份	年数	平均年降水	$\bar{k}_{\text{枯}}$
黑 龙 江	黑 河	1931~1933	3	654.0	1.26	1911~1914	4	410.5	0.79
辽 宁	大 连	1961~1964	4	870.3	1.37	1936~1941	6	478.5	0.76
河 北	秦 皇 岛	1953~1956	4	897.4	1.27	1919~1920	2	390.9	0.55
北 京	北 京	1892~1894	3	980.4	1.53	1857~1870	14	492.0	0.77
山 东	临 清	1961~1964	4	806.5	1.54	1938~1941	4	369.5	0.71
山 西	太 原	1976~1979	4	501.6	1.17	1920~1924	5	343.0	0.80
甘 肃	兰 州	1949~1951	3	404.7	1.22	1938~1941	4	243.2	0.73
山 东	青 岛	1959~1962	4	954.7	1.40	1916~1920	5	461.4	0.67
江 苏	镇 江	1905~1911	7	1271.8	1.24	1886~1888	3	724.5	0.71
上 海	徐 家 汇	1945~1952	8	1335.8	1.17	1932~1937	6	973.3	0.85
江 西	九 江	1907~1911	5	1955.1	1.38	1925~1929	5	1056.3	0.74
四 川	重 庆	1915~1917	3	1376.7	1.29	1929~1931	3	894.0	0.84
贵 州	贵 阳	1931~1935	5	1373.1	1.15	1958~1960	5	1037.6	0.87
云 南	昆 明	1915~1918	4	1404.9	1.29	1955~1960	6	868.3	0.80
广 东	三 水	1918~1920	3	2114.0	1.24	1933~1935	3	1106.7	0.65
广 东	汕 头	1943~1948	6	1901.5	1.23	1881~1884	4	922.7	0.60
福 建	福 州	1935~1940	6	1542.4	1.09	1966~1968	3	1059.6	0.75
浙 江	温 州	1958~1962	5	1978.5	1.15	1892~1895	4	1311.6	0.76
甘 肃	酒 泉	1947~1948	2	134.9	1.59	1959~1963	5	59.4	0.70
新 疆	乌 鲁 木 齐	1952~1956	5	282.8	1.17	1967~1970	4	186.3	0.77

表 6 年径流连丰、连枯分析成果(年径流单位: 10^8m^3)

河 名	站 名	连 丰 期				连 枯 期			
		起迄年份	年数	平均年径流	$\bar{k}_{\text{丰}}$	起迄年份	年数	平均年径流	$\bar{k}_{\text{枯}}$
嫩 江	富 拉 尔 基	1955~1963	9	234.7	1.61	1916~1921	6	62.7	0.43
松 花 江	哈 尔 滨	1960~1966	7	529.6	1.38	1900~1907	8	232.9	0.61
滦 河	滦 县	1937~1939	3	77.7	1.64	1970~1972	3	24.7	0.52
永定河	官厅水库	1953~1962	10	24.0	1.36	1926~1932	7	11.2	0.63
滦 河	黄壁庄水库	1953~1959	7	39.4	1.79	1925~1932	8	12.5	0.57
黄 河	三 门 峡	1966~1968	3	657.3	1.30	1922~1932	11	353.9	0.70
淮 河	蚌 埠	1954~1956	3	537.3	1.93	1932~1936	5	113.6	0.41
长 江	宜 昌	1947~1952	6	5074.3	1.12	1939~1944	6	4012.8	0.88
西 江	梧 州	1946~1952	7	2725.7	1.20	1955~1958	4	1777.5	0.78
闽 江	竹 岐	1952~1954	3	727.0	1.30	1963~1967	5	420.0	0.75
伊犁河	雅 马 渡	1958~1960	3	475.3	1.29	1974~1975	2	290.5	0.79
黑 河	鸛 落 峡	1957~1959	3	57.0	1.15	1960~1962	3	44.8	0.91
额尔齐斯河	布 尔 津	1969~1971	3	163.7	1.45	1974~1979	6	80.3	0.71

根据76个雨量站资料统计,年降水最大、最小比值 k_m 平均约3.5,单站最大为16.5,单站最小为1.7,有自西北至东南逐渐减少的趋势。西北内陆河为全国 k_m 的最高区,次高区是海滦河流域和黄河中游地区,最低区出现在云贵高原。表8列出部分雨量站的统计成果。

年径流的 k_m 值除了受气候因素的影响外,还与下垫面条件和流域面积大小有密切的关

表 7 K_m 与 C_o 的 对 应 关 系

流 量 站				雨 量 站		
站 名	C_o	K_m		站 名	C_o	K_m
苏 庄	0.71	19.3		敦 煌	0.57	16.5
中 渡	0.63	14.7		喀 什	0.45	8.2
富 拉 尔 基	0.53	14.0		保 定	0.41	6.5
黄 壁 庄	0.56	8.3		临 清	0.34	5.4
滦 县	0.50	8.0		青 岛	0.31	5.2
哈 尔 滨	0.40	6.9		天 津	0.30	3.8
黄 家 港	0.36	5.6		九 江	0.23	3.3
三 门 峡	0.23	3.5		徐 家 汇	0.17	2.3
梧 州	0.20	3.2		南 雄	0.19	2.1
宜 昌	0.11	1.8		独 山	0.11	1.7

表 8 年 降 水 最 大、最 小 值 统 计

省、市、自治区	站 名	系列年数	多 年 平 均 年 降 水 量 (mm)	最大年降水量		最小年降水量		K_m
				(mm)	年 份	(mm)	年 份	
黑 龙 江	黑 河	84	519.1	794.0	1897	231.0	1921	3.0
黑 龙 江	哈 尔 滨	77	545.5	1014.9	1932	340.5	1901	3.0
辽 宁	沈 阳	72	702.0	1064.5	1923	341.1	1913	3.1
辽 宁	大 连	75	633.7	1124.9	1914	318.7	1957	3.5
河 北	保 定	66	514.2	1316.8	1954	202.4	1975	6.5
北 京	北 京	139	640.5	1406.0	1959	256.2	1921	5.5
内 蒙	呼 和 浩 特	49	416.1	929.2	1959	155.1	1965	6.0
山 西	太 原	64	427.0	738.7	1969	137.3	1936	5.4
山 东	青 岛	77	683.8	1272.7	1911	246.7	1926	5.2
安 徽	蚌 埠	58	833.4	1565.0	1956	376.0	1922	4.2
贵 州	贵 阳	59	1197.1	1664.7	1954	765.7	1966	2.2
云 南	蒙 自	74	883.9	1236.0	1932	641.2	1956	1.9
四 川	重 庆	84	1070.2	1519.5	1916	644.3	1939	2.4
湖 北	宜 昌	88	1135.5	1827.6	1935	642.2	1900	2.8
江 西	九 江	95	1421.2	2170.0	1961	651.0	1938	3.3
上 海	徐 家 汇	107	1142.0	1659.3	1941	709.2	1892	2.3
广 西	南 宁	69	1368.7	2170.0	1920	952.9	1909	2.3
广 东	三 水	80	1706.4	2760.0	1907	994.0	1933	2.8
广 东	汕 头	100	1546.7	2509.8	1918	524.2	1933	4.8
浙 江	温 州	89	1714.6	2919.8	1911	1103.0	1979	2.6
福 建	福 州	81	1411.9	3013.2	1924	754.0	1967	4.0
甘 肃	敦 煌	46	41.0	105.5	1979	6.4	1956	16.5

系, 它的地区分布规律与降水有所差别。全国最大的年径流 k_m 值发生在半干旱、半湿润地区, 如潮白河苏庄站为19.3, 淮河中渡站为14.7, 嫩江富拉尔基为14.0。内陆河因受冰川融水的补给, 年径流 k_m 值最小, 如伊犁河雅马渡站为1.8, 黑河莺落峡站为2.0。对于大江大河, 年径流 k_m 值与流域面积有明显的关系, 一般随流域面积的增大而减小。例如, 西江梧州站集水面积约33万 km^2 , k_m 值为3.2; 长江宜昌站集水面积约100万 km^2 , k_m 值为1.8。在

表 9 年 径 流 最 大、最 小 值 统 计

河 名	站 名	集水面积 (km ²)	系列年数	多年平均 径流量 (10 ⁸ m ³)	最大年径流量		最小年径流量		K _m
					(10 ⁸ m ³)	年 份	(10 ⁸ m ³)	年 份	
松花江	哈尔滨	390526	82	384.6	847	1932	123	1920	6.9
嫩江	富拉尔基	123190	82	146.0	397	1932	28.4	1907	14.0
乌苏里江	兴凯湖	22400	66	19.9	44.2	1960	7.41	1978	6.0
鸭绿江	水丰水库	45860	62	250.3	395	1922	135	1976	2.9
滦河	滦县	44100	51	47.4	128	1959	16.1	1936	8.0
潮白河	苏庄	17595	62	18.3	64.7	1939	3.35	1941	19.3
永定河	官厅水库	43402	61	17.7	32.2	1939	7.16	1930	4.5
漳沱河	黄壁庄水库	23272	56	22.0	65.6	1954	7.90	1931	8.3
黄河	三门峡	688421	61	506.5	840	1964	242	1923	3.5
汾河	河津	38728	61	20.3	44.1	1964	8.46	1936	5.2
淮河	中渡	158160	53	340.1	941	1921	64.2	1929	14.7
长江	宜昌	1005501	100	4550.7	6037	1954	3345	1942	1.8
长江	寸滩	841291	87	3566.8	4626	1949	2543	1942	1.8
西江	梧州	329705	80	2271.3	3280	1911	1020	1963	3.2
郁江	贵县	87712	80	589.8	911	1904	223	1963	4.1
闽江	竹岐	54500	42	559.1	842	1937	276	1971	3.1
伊犁河	雅马渡	49186	56	369.8	495	1959	280	1974	1.8
黑河	莺落峡	10009	36	49.5	70.4	1952	35.1	1973	2.0
额尔齐斯河	布尔津	24246	53	112.8	198	1969	52.1	1974	3.8

同一流域内,下游站的 k_m 值一般比上游站的 k_m 值小。表9列出部分流量站的统计成果。

三、系列代表性分析

(一) 统计参数稳定性分析

以长系列末端1979年为起点,向前依次计算2, 3, 4…… n 年的模比系数累计平均值($\bar{k}$)、变差系数(C_v)、偏差系数(C_s),绘制其历时过程线。均值、 C_v 、 C_s 等三个参数皆以最长系列的计算值为标准,给出一定的误差范围,从过程线上确定参数相对稳定所需的年数。三个参数采用的稳定标准为:(1)均值的相对误差在 $\pm 2\%$ 以内,就认为已达到稳定,即 $\Delta \bar{k} = \pm 0.02$ 。(2) C_v 和 C_s 的稳定标准按照 C_v 值的大小分为两级。当 $C_v < 0.5$ 时, $\Delta C_v = \pm 0.01$, $\Delta C_s = \pm 0.05$;当 $C_v \geq 0.5$ 时, $\Delta C_v = \pm 0.02$, $\Delta C_s = \pm 0.1$ 。

按照上述方法和标准,共分析长系列雨量站33站,流量站16站(表10),初步得出以下几点认识:

1. 雨量站均值、 C_v 达到稳定的年数与多年变化类型有明显的关系。长周期型达到稳定的时间最长,平均为45~50年,且多数站的 C_v 值比均值先稳定。短周期型达到稳定的时间最短,平均为25~30年, C_v 值和均值达到稳定的年数基本一致。周期不明显型达到稳定的年数介于长周期型和短周期型之间,平均为35~40年,且多数站的均值比 C_v 值先稳定。

2. 流量站均值、 C_v 稳定所需年数除了与降水的多年变化有关外,还与流域面积大小、流域调蓄能力等因素有关。在一般情况下,由于年径流的 C_v 比年降水大,故均值、 C_v 稳定所需年数要长一些,这在半干旱、半湿润地区更为明显。对于跨多种气候区的特大流域以

表 10

统计参数稳定性分析成果

多年变化类型	站 别	站 名	系列年数	差 积 曲 线 最大变幅	参 数 稳 定 所 需 年 数		
					均 值	C_r	C_s
长 周 期	雨量站	海 拉 尔	70	2.2	55	37	67
		哈 尔 滨	77	3.2	37	47	64
		沈 阳	72	2.9	57	57	70
		大 连	75	3.4	48	29	69
		保 定	66	4.9	60	48	63
		忻 县	61	2.0	43	48	50
		北 京	139	4.3	44	40	59
		临 清	61	4.2	56	43	60
		太 原	64	3.3	50	46	54
		陕 县	61	3.1	52	50	58
		青 岛	77	5.0	58	35	61
		烟台	82	3.6	61	50	71
		蚌埠	58	3.8	52	52	52
		镇江	94	2.8	55	32	79
		成都	56	4.4	43	43	47
		昆明	79	3.3	42	41	76
		蒙 自	74	2.2	53	35	67
		南 宁	69	2.9	38	33	51
		福州	81	3.7	56	62	76
		19站平均		3.4	50	44	63
	流量站	富拉尔基	82	13.6	77	68	76
		哈 尔 滨	82	9.4	76	74	78
		官 厅	61	5.0	52	50	50
		黄 壁 庄	56	9.5	54	52	46
		三 门 峡	61	3.4	54	52	57
		中 渡	53	5.3	45	49	49
		贵 县	80	6.1	67	54	59
		梧 州	80	3.9	48	17	73
		石 角	64	2.9	34	39	58
		9 站平均		6.6	56	51	61
周期不明显	雨量站	黑 河	84	2.3	55	31	75
		秦 皇 岛	72	2.2	26	50	70
		唐 山	57	1.6	39	47	39
		黄 台 桥	64	2.2	40	46	55
		重 庆	84	2.0	50	31	81
		广 州	72	1.7	15	19	62
		海 口	67	2.4	52	57	57
		温 州	89	2.6	21	29	65
		酒 泉	45	2.2	28	39	41
		9 站平均		2.1	36	39	61

续表

多年变化类型	站 别	站 名	系列年数	差 积 曲 线 最大变幅	参 数 稳 定 所 需 年 数		
					均 值	C_e	C_s
周期不明显	流量站	滦 县	51	3.2	34	25	42
		寸 津	87	1.2	26	17	82
		宜 昌	100	1.2	26	18	86
		雅 马 渡	56	1.2	21	31	44
		布 尔 津	53	2.2	34	44	39
		5 站 平 均		1.8	28	27	59
短 周 期	雨量站	丹 东	72	3.1	20	16	67
		徐 家 汇	107	2.4	30	18	65
		九 江	95	2.4	26	32	64
		翻 关	62	2.2	29	27	60
		敦 煌	46	6.2	36	36	36
		5 站 平 均		3.3	27	26	58
	流量站	兴 凯 湖	66	4.1	45	52	56
		苏 庄	62	5.2	55	55	55
		2 站 平 均		4.7	50	54	56

及有冰川融水补给的河流, 年径流的周期变化不明显, C_e 值很小(反映在差积曲线的变幅很小), 则均值和 C_e 达到稳定的时间只需20~30年。

3. C_s 的时程变化很大, 是最不容易稳定的参数, 且稳定所需年数与多年变化类型无关。无论是雨量站或流量站, 除少数站外, 一般需要60年以上的系列才能基本稳定。

(二) 不同长度系列统计参数的对比

选择系列长度在50~60年以上的雨量站和流量站, 从1979年起逆时序计算不同长度($n=24, 30, 40, 50$ 年)的均值和 C_e 值, 与最长系列的计算参数相比较, 评定不同长度系列的代表性。

从54个雨量站的分析结果(表11)表明: 当 $n=24$ 年时, 均值相对误差 $\leq \pm 5\%$ 的站数为39, 占总站数的72%; C_e 值相对误差 $\leq \pm 10\%$ 的站数为27, 占总站数的50%。当 $n=30$ 年时, 均值没有明显的改善, 但 C_e 值有较大的改善。当 $n=40$ 年时, 均值和 C_e 值均有显著的改善, 均值相对误差 $\leq \pm 5\%$ 的站数占总站数的89%, C_e 值相对误差 $\leq \pm 10\%$ 的站数占总站数的80%。当 $n=50$ 年时, 系列具有良好的代表性, 全部分析站的均值相对误差皆 $\leq \pm 5\%$, 有94%的测站的 C_e 值相对误差在 $\pm 10\%$ 以内。短系列的偏丰、偏枯情况有一定的地带性分布规律。黑龙江、辽河、海滦河、淮河等四个流域片以及黄河流域中下游地区, 大多数雨量站的短系列($n=24, 30, 40$)均值偏大; 长江、珠江、以及浙、闽、台等流域片, 大多数雨量站的短系列($n=24, 30$)均值偏小。西南诸河、西北内陆河以及黄河上游地区, 由于长系列站甚少, 仅根据几个站的分析结果来看, 24年短系列有一定的代

表性, 均值略微偏小一些。短系列 C_v 值的正负误差, 没有明显的地带性规律, 南方和北方均有偏大或偏小的情况出现。在所分析的雨量站中, 北方短系列 C_v 值偏小的站数略多于偏大的站数, 而南方偏小的站数约为偏大的站数的 2 倍。

表 11 雨量站不同长度系列参数误差统计

参 数	相对误差分级	$n = 24$		$n = 30$		$n = 40$		$n = 50$	
		站 数	%	站 数	%	站 数	%	站 数	%
均 值	$< \pm 2\%$	7	13.0	13	24.1	23	42.6	22	44.0
	$\pm 2 \sim 5\%$	32	59.3	25	46.3	25	46.3	28	56.0
	$\pm 6 \sim 10\%$	12	22.2	12	22.2	6	11.1	0	0
	$> \pm 10\%$	3	5.5	4	7.4	0	0	0	0
	合 计	54	100	54	100	54	100	50	100
C_v	$\leq \pm 5\%$	18	33.3	21	38.9	26	48.1	32	64.0
	$\pm 6 \sim 10\%$	9	16.7	17	31.5	17	31.5	15	30.0
	$\pm 11 \sim 20\%$	19	35.2	11	20.4	10	18.5	2	4.0
	$> \pm 20\%$	8	14.8	5	9.2	1	1.9	1	2.0
	合 计	54	100	54	100	54	100	50	100

表 12 径流站不同长度系列参数的对比

河 名	站 名	系列 年数	长系列参数		$n = 24$		$n = 30$		$n = 40$		$n = 50$		$n = 60$		$n = 70$	
			$\bar{W}$ (亿 m^3)	C_v	$K_{\bar{w}}$	K_{C_v}	$K_{\bar{w}}$	K_{C_v}	$K_{\bar{w}}$	K_{C_v}	$K_{\bar{w}}$	K_{C_v}	$K_{\bar{w}}$	K_{C_v}	$K_{\bar{w}}$	K_{C_v}
嫩 江	富拉尔基	82	146.0	0.53	1.14	0.75	1.16	0.79	1.17	0.75	1.19	0.77	1.12	0.91	1.07	0.94
松 花 江	哈尔滨	82	384.6	0.40	1.18	0.78	1.17	0.78	1.14	0.75	1.16	0.78	1.02	0.93	1.05	0.95
潮 白 河	苏 庄	62	18.3	0.71	1.04	0.73	1.05	0.73	0.96	0.83	0.98	0.96				
永 定 河	官厅水库	61	17.7	0.32	1.06	0.75	1.15	0.78	1.08	0.81	1.03	0.97				
滹 沱 河	黄壁庄水库	56	22.0	0.56	1.19	0.86	1.23	0.89	1.17	0.88	1.06	0.95				
黄 河	三门峡	61	506.5	0.24	1.08	0.88	1.07	0.79	1.07	0.79	1.05	0.83				
淮 河	中 渡	53	340.1	0.63	1.07	0.84	1.11	0.83	1.07	0.90	1.02	0.98				
长 江	寸 滩	87	3566.8	0.12	0.97	1.00	0.99	1.00	0.99	1.08	0.99	1.00	1.00	1.00		
长 江	宜 昌	100	4550.7	0.11	0.97	1.00	0.99	1.09	0.99	1.09	0.99	1.09	0.99	1.09	1.00	1.00
长 江	汉 口	113	7392.1	0.13	0.93	0.85	0.96	1.00	0.97	1.08	0.97	1.15	0.98	1.08	0.99	1.00
郁 江	贵 县	80	589.8	0.26	0.79	0.96	0.82	0.96	0.87	0.96	0.91	0.92	1.97	1.00	0.99	1.00
西 江	梧 州	80	2271.3	0.20	0.90	0.95	0.93	0.95	0.96	0.95	0.98	0.90	1.00	1.00	1.01	1.00
伊 犁 河	雅 马 渡	56	369.8	0.15	1.00	1.20	1.01	1.13	1.00	1.07	1.00	1.00				
额 尔 齐 斯 河	布 尔 津	53	112.8	0.30	0.97	1.27	0.97	1.17	1.00	1.07	1.00	1.00				

从流量站的对比分析结果来看(表12), 也大体存在北方河流短系列偏丰, 南方河流短系列偏枯的规律, 但偏丰或偏枯的程度要比降水量大一些。短系列偏丰程度最大的为嫩江、松花江、滹沱河, 24年系列均值偏大约20%; 短系列偏枯程度最大的为郁江, 24年系列均值偏小约20%。长江干流站和一些由冰川融水补给的内陆河, 径流年际变化很小, 各种短系列均值都接近长系列均值, 但有些短系列的 C_v 值代表性较差。

(三) 不同频率预估值的对比

以测站全部资料作为长系列,以1956~1979年资料作为短系列,进行了频率适线成果的对比分析。为了便于比较和减少适线的主观任意性,长、短系列采用相同的适线原则:

(1) 均值和 C_v 值采用矩法计算值,调整 C_s/C_v 值,使适线最佳;(2) 适线时主要考虑绝大多数点据拟合最好,容许两端个别点据拟合不好。

从76个雨量站长、短系列适线成果对比来看(表13),不同频率预估值的误差比均值误差有所增大。当 $P=75\%$ 时,相对误差 $\leq \pm 5\%$ 的站数占总站数的49%,而均值相对误差

表 13

雨量站长、短系列适线成果相对误差统计

水资源分区名称	分析站数	计算项目	各级误差的站数					误差 $\leq \pm 5\%$ 的站数占总站数的%
			$> -10\%$	$-6 \sim -10\%$	$\leq \pm 5\%$	$+6 \sim +10\%$	$> +10\%$	
黑龙江流域片	9	均值		1	8			88.9
		$P=75\%$		1	3	4	1	33.3
		$P=95\%$		2	1	2	4	11.1
辽河流域片	3	均值			2	1		66.7
		$P=75\%$			2		1	66.7
		$P=95\%$			2	1		66.7
海滦河流域片	9	均值			6	2	1	66.7
		$P=75\%$		1	5	2	1	55.6
		$P=95\%$	1	2	2	2	2	22.2
黄河流域片	5	均值			3	2		60.0
		$P=75\%$			3	1	1	60.0
		$P=95\%$		1	3		1	60.0
淮河流域片	5	均值				3	2	0
		$P=75\%$			2		3	40.0
		$P=95\%$			2	1	2	40.0
长江流域片	19	均值		3	16			84.2
		$P=75\%$		3	14	2		73.7
		$P=95\%$		3	10	5	1	59.6
珠江流域片	16	均值		2	14			87.5
		$P=75\%$		4	11	1		68.8
		$P=95\%$		1	12	2	1	75.0
浙闽台诸河片	3	均值		1	2			66.7
		$P=75\%$		1	2			66.7
		$P=95\%$		3				0
西南诸河片	3	均值			3			100
		$P=75\%$			3			100
		$P=95\%$			3			100
西北内陆河片	4	均值		1	3			75.0
		$P=75\%$		2	2			50.0
		$P=95\%$	1		2		1	50.0
总计	76	均值		8	57	8	3	75.0
		$P=75\%$		12	47	10	7	61.8
		$P=95\%$	2	12	37	13	12	48.7

差 $\leq \pm 5\%$ 的站数却占总站数的75%。流量站长、短系列的适线成果差别更大,根据22站统计:当 $P=75\%$ 时,相对误差 $\leq \pm 10\%$ 的站数只占总站数的55%,北方多数站偏大20~30%;当 $P=95\%$,相对误差 $\leq \pm 10\%$ 的站数只占总站数的41%,北方多数站偏大20~50%。表14列出部分控制站的适线成果。

表 14 流量站长、短系列适线成果对比

河 名	站 名	系列年数	适 线 参 数		C_s/C_v	不同频率年径流量(10^8m^3)			
			$\bar{W}(10^8\text{m}^3)$	C_v		20%	50%	75%	95%
松 花 江	哈 尔 滨	24	452.1	0.31	2.0	565	439	353	249
		82	384.6	0.40	1.5	504	369	273	158
		比值	1.18	0.78		1.12	1.19	1.29	1.58
嫩 江	富 拉 尔 基	24	165.8	0.40	1.0	221	161	119	64.7
		82	146.0	0.53	2.0	203	133	90.5	46.7
		比值	1.14	0.75		1.09	1.21	1.31	1.39
滦 河	滦 县	24	47.8	0.53	2.0	66.4	43.5	29.6	15.3
		51	47.4	0.50	2.0	65.4	43.6	30.3	16.1
		比值	1.01	1.06		1.02	1.00	0.98	0.95
永 定 河	官 厅	24	19.7	0.24	3.0	23.4	19.1	16.4	13.0
		61	17.7	0.32	2.5	22.1	17.0	13.5	9.9
		比值	1.11	0.75		1.06	1.12	1.21	1.31
漳 花 河	黄 壁 庄	24	26.1	0.48	3.0	35.0	23.2	17.0	11.7
		56	22.0	0.56	3.0	30.1	18.7	13.0	8.8
		比值	1.19	0.86		1.16	1.24	1.31	1.33
黄 河	三 门 峡	24	548.5	0.21	4.0	636	532	466	395
		61	506.5	0.24	1.5	605	500	422	319
		比值	1.08	0.88		1.05	1.06	1.10	1.24
淮 河	中 渡	24	365.0	0.53	2.0	509	330	223	115
		53	340.1	0.63	2.0	495	297	184	84
		比值	1.07	0.84		1.03	1.11	1.21	1.37
长 江	寸 滩	24	3448.7	0.12	4.0	3794	3414	3173	2828
		87	3566.8	0.12	2.5	3916	3546	3272	2501
		比值	0.97	1.00		0.97	0.96	0.97	0.97
长 江	汉 口	24	6882.0	0.11	4.0	7501	6813	6331	5712
		113	7392.1	0.13	1.0	8205	7392	6801	5914
		比值	0.93	0.85		0.91	0.92	0.93	0.97
西 江	梧 州	24	2055.4	0.19	1.5	2405	2076	1808	1357
		80	2271.3	0.20	0	2653	2271	1967	1526
		比值	0.90	0.95		0.91	0.91	0.92	0.89
闽 江	竹 岐	24	523.0	0.26	2.0	633	513	429	324
		42	559.1	0.23	1.0	665	554	470	358
		比值	0.94	1.13		0.95	0.93	0.91	0.91
伊 勒 河	霍 马 渡	24	371.1	0.18	2.5	427	367	323	271
		56	369.8	0.15	3.0	415	366	331	286
		比值	1.00	1.20		1.03	1.00	0.93	0.95

(四)对1956~1979年系列代表性的估价

从1979年开始在中国进行的水资源评价工作,地表水资源量都是根据24年(1956~1979)同步系列计算的,因此有必要对这段系列的代表性进行估价,以评定计算成果的可靠程度。

从主要江河流域控制站的统计分析结果来看,1956~1979年系列的代表性在全国各流域是不同的。北方多数河流的这段系列主要处于水文周期的上升段,均值偏大10~20%, C_v 值偏小15~25%, $P=75\%$ 年径流量偏大20~30%, $P=95\%$ 年径流量偏大30~50%。南方多数河流的1956~1979年系列主要处于水文周期的下降段,均值偏小5~10%, C_v 值偏小5~15%。但因南方河流年径流 C_v 值较小,偏小的绝对值一般为0.01~0.03,对频率适线成果影响不大,故 $P=75\%$ 、95%的年径流量的偏小程度基本上与均值一致。西部地区受冰川融水补给的河流,年径流的多年变化不大,1956~1979年系列的计算成果与长系列成果较为接近。

由于各地区丰、枯年份不是同步出现的,有互相补偿拉平的作用,所以计算区面积愈大,则年径流量的多年变化愈小,计算成果不因资料年限长短而有较大的变化。就全国地表水资源总量而言,用24年同步系列计算的成果与根据长系列站估算的成果相比较,多年平均和 $P=75\%$ 的年径流量约偏小5%, $P=95\%$ 的年径流量约偏小3%。如果将全国划分为三大片估算,则北丰南枯,西部地区相差不大,见表15。由此可见,根据24年同步系列计算我国南方、西部地区以及全国的水资源量,其成果是可靠的。但北方1956~1979年系列的代表性较差,会给计算成果带来较大的误差,需要进行适当的修正。

表 15

24年同步系列计算成果与长系列估算成果的比值

分 片	均 值	$P=75\%$	$P=95\%$
淮 河 以 北	1.10	1.18	1.32
长 江 以 南	0.93	0.93	0.94
西 部 地 区	1.00	0.96	0.93
全 国	0.95	0.95	0.97