

降水长期变化对胶东地区 水资源的影响¹⁾

张苏平 胡桂芳 朱平盛

(山东省气象科学研究所, 济南 250031)

提 要

利用 1960—1994 年胶东地区降水和水资源资料, 用变点分析方法将 35 年分成 A、B 两个气候段。分析发现从 A 段到 B 段降水、水资源明显减少。水资源总量的变化规律和降水变化规律一致, 但前者的变化率明显大于后者。地下水变化有一定持续性, 气象干旱年的结束, 并不意味着水文枯水年的结束。对 2000 年水资源供需分析表明, 水的利用率要提高 30% 以上方能基本满足经济发展的需要。该研究对胶东地区水资源的合理开发利用、经济发展规划的制定提供了科学依据, 有重要的实际意义。

关键词: 降水长期变化 水资源 分析预测

引 言

近十几年来, 由于气候异常导致大面积持续性干旱, 淡水资源短缺加剧, 气候变化对水资源的影响已引起人们愈来愈多的关注。如 Kenneth. D. Frederick (1993)^[1] 分析了美国 MINK (Missouri, Iowa, Nebraska, Kansas) 地区 1931—1940 年和 1951—1980 年两个气候段的水资源变化, F. H. S. Chiew 等 (1994)^[2] 模拟了澳大利亚气候变化, 特别是 CO₂ 浓度改变对径流和土壤湿度的影响, Keith Smith 等 (1993)^[3] 用两个 18 年 (1950—1967, 1968—1985) 的资料对 Illinois 气候和水资源进行了对比分析。我国近几年有关研究有所增加, 如刘爱霞、梁平德 (1994)^[4] 分析了降水与京津唐水资源的关系。但多数研究局限于干旱、半干旱地区^[5]。

山东省是我国水资源比较缺乏的地区, 水资源人均占有量不足全国的 1/6。胶东地

区是山东省经济最发达地区, 总面积占全省的 43.7% 左右。随着经济的发展、人口的增长、加之 70 年代后期的持续干旱, 该地区水资源日趋不足, 不仅严重制约了工农业生产的发展, 甚至影响到人民的生活用水。该区内无冰川雪被, 水资源的补给主要靠自然降水。本文利用该地区降水、水资源调查计算资料, 着重分析近 30 多年降水量长期变化对水资源的影响。并结合该区经济发展规划, 对 2000 年的水资源供需情况进行预测分析。

1 计算区域及资料

胶东地区位于山东省东部, 西起东平湖东岸, 东至成山头, 南至苏鲁边界绣针河口, 北至黄河入海口。西北以黄河为界, 西南以泰沂山脉分水岭为界。该地区大流域可分属黄河流域和山东沿海诸河。考虑到水资源问题的特殊性, 将全区分为 6 个小区²⁾, 每个小区内河流水系和水文气象特点比较完整、一致 (图 1)。

1) 本文由省自然科学基金项目“山东气候变化对水资源影响及对策研究”资助。

2) 山东省胶东地区水资源分析及对策研究, 待发表。

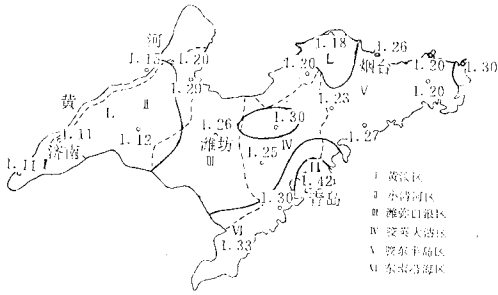


图1 胶东地区水资源分区及各站A段与B段年降水量比值

文中选用1960—1994年胶东地区19个站的月降水,以及相应的各分区水资源调查计算值。文献[6]指出,各分区水资源总量一般与对应分区内降水的相关性最好。本文即用各分区内的降水资料与相应水资源资料进行分析,在个别情况下略有调整。

2 气候阶段的划分

气候阶段的划分是一个比较复杂的问题,Keith Smith在文献[3]中曾有过讨论。由图2可大致看出,胶东地区1960—1964年为多雨期,1965—1970年为少雨期,1971—1976年转为多雨期,1977年以后基本为少雨期。为了更科学客观地划分气候变化阶段,本文用文献[7]中提出的气候变点推断方法。设气候资料序列 $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 为独立正态随机变量序列,其均值分别为 $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$,方

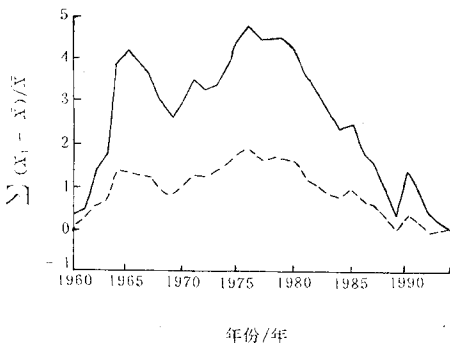


图2 胶东地区年雨量(虚线)、水资源总量(实线)差积曲线

差为 σ 。当 $\mu_i \neq \mu_{i+1}$ ($1 \leq i < n$)时,称下标 i 为序列 X_n 的一个变点。并用似然比型检验统计量

$$W = \text{Max}_{1 \leq r < n} [\sqrt{n-2} |T_r| / S_r]$$

进行检验,其中

$$T_r = \sqrt{n/[r(n-r)]} \sum_{i=1}^r (X_i - \bar{X})$$

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

$$S_r = \left[\sum_{i=1}^r (X_i - \bar{X}_r)^2 + \sum_{i=r+1}^n (X_i - \bar{X}'_r)^2 \right]^{1/2}$$

$$\bar{X}_r = (1/r) \sum_{i=1}^r X_i, \bar{X}'_r = [1/(n-r)] \sum_{i=r+1}^n X_i$$

r 是序列 $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 是一个变点。对1960—1994年逐年降水量序列的计算结果表明,在 $\alpha=0.1$ 的水平上,变点有两个,为1963年和1964年,这样,就将全序列分成3段,即1960—1963,1964,1965—1994。这种分法虽然在数学上成立,但失去气候统计意义。考虑1964年为降水极多年,年降水量1206.9mm,远远大于1963年的781.9mm、1965年的633.4mm和多年平均值677.4mm,因此,可将1964年看做一个奇点,去掉后再对原序列进行变点分析。结果在 $\alpha=0.1$ 的水平上,变点只有一个,为1976年,即将原序列分为两段,1960—1976,1977—1994,前者的降水多年平均值为755.6mm,后者为615.4mm,两者相差140.2mm。将第一段定为A段,第二段定为B段,可以认为,由A到B气候由较湿润变得较干燥。下面着重分析A、B两气候段中降水变化对水资源的影响。

3 降水分析

降水是影响水资源最直接的因素。胶东地处东亚季风区,降水的突出特点是年内集中于夏季且年际变化大,全区平均降水最多的年份可达1000mm以上,少的年份只有400mm左右。空间分布总的形势是从东南向西北减少,如黄汶区35年平均降水为604.2mm,东南沿海区为810.4mm(表1)。

由表1可以看出,从A段到B段各区降水都有不同程度的减少,各种保证率下的降水也有所减少。降水较多的区,减少量也较多。如正常年(保证率50%)从A段到B段,黄汶区减少了13.9mm,胶东半岛区减少了225.9mm,4年一遇的干旱(保证率75%)小清河区减少了90.3mm,东南沿海区减少了223.6mm。全区平均从A段到B段各种保证率下的降水量减少150mm左右,其中正常年(保证率50%)减少186.4mm,多雨年(保证率20%)减少120.6mm。图1给出了各气象站年雨量A段与B段的比值。各站的比值均大于1。由图中很明显地看出,降水较多的东南部B段降水减少最多,而降水较少的西北部,B段降水减少量较小。

表1 不同气候段年降水量对比

分区	年代	降水量 mm	不同保证率下降水量			
			20%	50%	75%	95%
I	1960-1994	604.2	681.6	605.1	536.6	345.2
	1960-1976	642.7	762.6	611.9	555.3	473.4
	1977-1994	567.9	680.5	598.0	438.0	378.3
II	1960-1994	609.9	742.3	606.3	504.4	364.1
	1960-1976	658.5	797.2	644.0	579.6	365.8
	1977-1994	564.1	684.6	530.3	489.3	387.9
L	1960-1994	630.9	707.0	601.1	497.8	325.2
	1960-1976	705.9	887.1	649.3	554.7	514.2
	1977-1994	560.0	703.1	515.7	421.8	325.2
N	1960-1994	667.8	805.7	633.9	533.6	370.9
	1960-1976	763.5	925.3	724.9	615.5	568.4
	1977-1994	577.4	719.8	540.7	467.9	370.9
A	1960-1994	709.8	828.3	703.0	554.1	491.1
	1960-1976	786.5	851.3	802.8	709.2	617.9
	1977-1994	637.3	730.2	576.9	516.0	491.1
B	1960-1994	810.4	1008.3	757.1	587.9	520.9
	1960-1976	924.5	1122.7	875.6	768.3	587.9
	1977-1994	762.7	828.3	652.5	544.7	520.9
全区	1960-1994	677.4	814.3	649.3	570.3	447.2
	1960-1976	751.1	833.3	763.6	645.1	602.4
	1977-1994	607.9	712.7	577.2	502.9	447.2

从图1 A段、B段月平均雨量图上(图略)可以看出,降水偏少主要出现于夏季,其中N、V、M区最明显。其它季节没有较大差

别,但I、II、III区的5、6月份降水B段略有增加。因此,胶东地区70年代后期开始的干旱主要表现就是汛期降水明显减少,有的年份甚至汛期无汛。

4 水资源总量分析

此处水资源总量指矿化度小于 $2\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 的地表水资源和浅层地下水。地表水即天然河川径流量,其主要补给来源是大气降水,浅层地下水是与大气降水和地表水体有直接联系的地下水。为了排除水利工程的兴建和地下水的开采对水资源的影响,对实测资料进行了还原计算,从而突出了降水与天然水资源的关系。

胶东地区水资源总量的年际变化很大,全区水资源总量最少年份只有 $43.01\times 10^8\text{m}^3$,最多年份达 $402.98\times 10^8\text{m}^3$,后者是前者的9倍多。这种差距远大于降水量的变化(降水量多雨年是少雨年的2倍多)。由表2可以看出,水资源的空间分布是西北少、东南多,与降水的空间分布基本一致。但水资源受下垫面的影响,其地域分布的不均匀性与降水量也有些差异。比如IV区的降水量比II、III区多,但水资源总量模数却小于II、III区,I区的年平均降水比VI区少206.2mm,相当于I区的34.13%,而I区的年平均水资源模数比VI区少 $12.9355\times 10^4\cdot\text{km}^2$,相当于I区的107.7%。

由A段到B段各区的水资源总量一般均减少(表2),而且水资源较多的区域减少量也较大。如从A段到B段黄汶区的水资源模数仅减少了 $3.2\times 10^4\text{m}^2\cdot\text{km}^{-2}$,而东南沿海区模数则减少了 $14\times 10^4\text{m}^2\cdot\text{km}^{-2}$,相当于每年减少 $7.5\times 10^8\text{m}^3$ 水。整个胶东地区从A段到B段年平均水资源总量减少了 $71.9\times 10^8\text{m}^3$,合每平方公里减少 $10.7\times 10^4\text{m}^3$ 。

表2 不同气候段水资源总量对比

分区	面积 km ²	年代	水资源总量 /10 ⁸ m ³	模数 /10 ⁴ m ² ·km ⁻²	不同保证率下水资源总量/10 ⁸ m ³			
					20%	50%	75%	95%
I	4462	1960—1994	5.3546	12.0004	7.00	5.00	2.63	1.89
		1960—1976	6.1000	13.6710	8.92	4.58	2.96	1.96
		1977—1994	4.6506	10.4227	6.70	5.00	2.00	2.00
II	14223	1960—1994	26.1463	18.3831	31.00	23.87	18.00	7.00
		1960—1976	30.4765	21.4276	39.37	25.43	21.76	17.52
		1977—1994	22.0567	15.5078	25.50	21.00	12.00	7.00
III	12696	1960—1994	23.2731	18.3310	31.28	19.00	10.85	7.00
		1960—1976	30.7747	24.2397	41.55	29.13	17.85	10.85
		1977—1994	16.1883	12.7507	21.10	15.00	8.00	7.00
IV	10203.4	1960—1994	15.9863	15.6676	25.61	10.00	5.68	3.00
		1960—1976	23.2488	22.7853	37.11	21.47	8.96	5.68
		1977—1994	9.1272	8.9453	13.38	5.90	4.00	3.25
V	19990.6	1960—1994	47.2280	23.6251	69.91	38.90	24.00	17.10
		1960—1976	60.4018	30.2151	74.63	62.20	38.90	29.19
		1977—1994	34.7861	17.4012	52.36	24.00	23.00	17.85
VI	5370	1960—1994	13.3906	24.9359	24.70	10.50	6.00	4.00
		1960—1976	17.2488	32.1207	26.45	14.50	9.76	4.69
		1977—1994	9.7467	18.1503	10.93	7.00	4.33	4.00
全区	66945	1960—1994	131.2854	19.6109	175.42	100.53	80.48	47.97
		1960—1976	168.2388	25.1309	204.58	171.42	100.53	79.96
		1977—1994	96.3850	14.3976	127.25	86.06	60.58	49.00

表3为从A段到B段降水与水资源总量变化率,即 $(A-B)/A$ 。可以看出,各保证率下水资源总量变化率多数在30%—60%,最大出现在IV区,即胶莱大沽区。而各保证率下降水量变率一般在10%—30%之间,但最大变率出现的分区并不固定。从平均值看,水

资源变率次大区是III区,而降水变率次大区是VI区。说明水资源总量变率的大小与降水并非一一对应。这可能与III、IV两区蒸发变化有关。由表3还可以看出,水资源总量的变率一般大于降水的变率。全区平均放大系数(水资源总量变率/年降水变率)为2.24。

表3 由A段到B段降水、水资源总量变率%

分区	平均	不同降水保证率				分区	平均	不同水资源保证率			
		20%	50%	75%	95%			20%	50%	75%	95%
I	11.64	10.77	2.27	22.92	20.09	I	23.76	24.89	-9.17	32.43	-2.0
II	14.34	14.12	17.66	15.58	-6.04	II	27.63	35.23	17.42	44.85	60.05
III	20.67	20.74	20.58	23.96	36.76	III	47.40	49.22	48.51	55.18	35.48
IV	24.37	22.21	25.41	23.98	34.75	IV	60.74	63.95	72.52	55.36	42.78
V	18.97	14.23	28.14	27.24	20.52	V	42.41	29.84	61.41	40.87	38.85
VI	23.99	26.22	25.48	29.10	11.40	VI	43.49	58.68	51.72	55.64	14.71
全区	19.07	14.47	24.41	22.04	25.76	全区	42.71	37.80	49.80	39.74	38.72

5 地表水资源分析

胶东地区河川径流以降水补给为主。由于水利工程的修建,对河川径流的时空变化规律影响很大。本文中的地表水资源量指的是天然河川径流量,即经还原计算到未经人

工调节和耗用的天然情况下的河川径流量。

胶东地区全年河川径流量有80%—90%集中在汛期4个月,枯水期径流量很小,甚至干枯断流。由于资料关系,本文用1956—1979年和1956—1988年两个序列进

行对比分析,可基本反映出70年代后期气候变化对径流的影响。由表4可知胶东地区地表径流总的分布趋势是东南多,西北少。但最少的区域是Ⅲ区,而不是降水量最少的Ⅰ区。70年代后期开始的干旱少雨使各分区的径流减少。而且径流较丰富区域减少量较大。比如东部的胶东半岛区年平均径流深减少

38.5mm,合年平均径流量减少 $7.7\times10^8\text{m}^3$;西部的黄汶区年平均径流深减少11.8mm,合流量 $1.6\times10^8\text{m}^3$ 。全胶东地区平均年雨量减少33.8mm,径流深减少28.2mm,径流量减少 $21\times10^8\text{m}^3$ 。径流深和降水的减少率(变率)分别为14.02%、4.74%,放大系数为2.96。

表4 不同气候段年径流的变化¹⁾²⁾

分区	年代	年雨量 /mm	径流深 /mm	径流量 / $10^8\cdot\text{m}^3$	不同保证率下年径流量/ 10^8m^3			
					20%	50%	75%	95%
Ⅰ	1956—1979	639.0	170.7	23.1	34.2	19.9	11.6	4.62
	1956—1988	622.9	158.9	21.5	32.0	18.4	10.8	4.2
Ⅱ	1956—1979	651.5	106.9	15.2	23.1	12.6	7.14	2.43
	1956—1988	626.8	93.5	13.3	20.3	10.9	5.91	1.90
Ⅲ	1956—1979	686.5	184.3	23.4	34.6	20.1	11.7	4.68
	1956—1988	631.0	151.2	19.2	30.3	16.2	8.82	2.83
Ⅳ	1956—1979	740.3	174.5	17.8	27.8	13.7	6.94	1.78
	1956—1988	683.6	139.2	14.2	22.9	9.58	3.86	0.627
Ⅴ	1956—1979	769.7	270.6	54.1	75.7	48.7	32.5	16.8
	1956—1988	723.6	232.1	46.4	66.7	41.1	25.8	11.9
Ⅵ	1956—1979	935.7	299.8	16.1	22.7	14.5	9.5	2.09
	1956—1988	888.7	262.6	14.1	20.6	12.2	7.34	3.04
全区	1956—1979	712.4	201.1	149.7				
	1956—1988	678.6	172.9	128.7				

1) 山东经济战略研究,山东省经济研究中心,1992增刊。

2) 山东省水资源评价,山东省水利厅,1986。

6 地下水分析

由于受大气降水、下垫面条件和人类活动的影响,胶东地区地下水资源的空间分布差异很大。补给条件较好的是小清河区,地下水资源模数为 $15\times10^4\text{m}^3\cdot\text{km}^{-2}$ 左右,而其他区一般不足 $10\times10^4\text{m}^3\cdot\text{km}^{-2}$,最少的胶莱大沽区仅为 $6.92\times10^4\text{m}^3\cdot\text{km}^{-2}$ 。在气候干旱的情况下,地表水可利用量下降,致使大量开采地下水,因此地下水的变化远远大于降水量的变化。比如烟台80年代以来的最小降雨量为375.2mm,最大降雨量为925.3mm,两者之差为572.7mm,相应的最低水位为6.32m,最高为12.33m,两者之差为6.01m,相当于降水量之差的10倍左右。值得注意的是,由于降水持续偏少,有些地方地下水超采严重,已形成漏斗,随着干旱少雨的持续和用水量的增加,漏斗的面积不断扩

大。图3为淄博—潍坊大漏斗区的降水、漏斗区中心最大埋深和漏斗区面积时间变化曲线图。可以看出降水围绕平均值(图中没有标出)上下波动,其中1981、1989年降水最少,

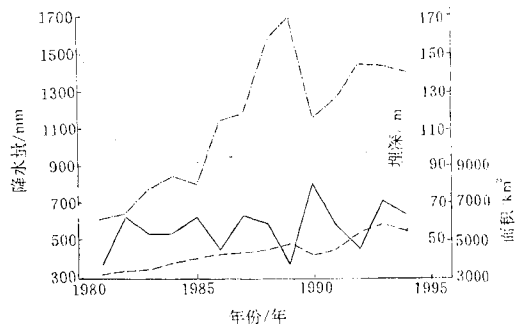


图3 淄博—潍坊大漏斗区降水(实线)、漏斗中心最大埋深(虚线)、和漏斗区面积(点划线)变化曲线

只有 370mm 左右。而漏斗区最大埋深一直呈上升趋势,并没有随降水量变化而波动,只是 1990 年降水较多,埋深略有回升。漏斗面积的变化一直呈增加趋势,而且增加很快,1989 年漏斗面积已达 16868km²,1990 年降水虽然较多,为 801.3mm,比 1981 年的 368.2mm 多 433.1mm,但 1990 年的漏斗面积仍然达 11545km²,比 1981 年的 6102.5km² 多 5442.5km²。可见地下水有一定的持续性,一旦形成漏斗,很难恢复。

地下水的月变化与降水亦非同步。由图 4 可以看出,降水的峰值出现后水位的峰值才出现。相关计算表明,地下水位滞后 3 个月的相关系数最大为 0.3,显著水平超过 0.01 (图 5)。以上分析表明,地下水位的变化虽然与降水有关,但并非同步。从气象上讲多雨意味着干旱结束,但从水文上讲并非如此。

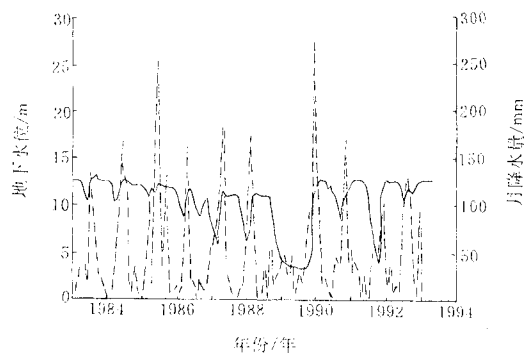


图 4 1983 年 1 月—1993 年 12 月烟台地下水位(实线)及降水量(虚线)变化曲线

7 2000 年水资源供需分析

由于胶东地区水资源的补给主要来自大气降水,因此,对水资源的预测很大程度上是对降水的预测。本研究利用均生函数对胶东地区 2000 年以前的降水进行了建模预测,其历史拟合率(用 1960—1991 年资料)为 94%,平均相对误差为 8%,其 1992—1994 年试报结果较好。

当预报值分别大于(等于)20%、50%、75%、95%保证率临界值时,定为多雨、正常、

少雨、特少年(表 5)。可以看出,未来几年降水趋势不容乐观,特别是 1998、1999 两年全区少雨,2000 年转为正常偏多。

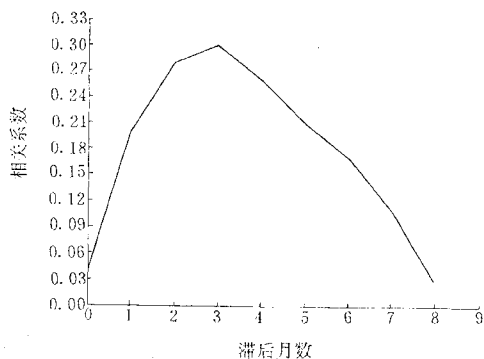


图 5 月地下水位与月降水量相关曲线

表 5 胶东地区 1996—2000 年降水预测

分区	1996	1997	1998	1999	2000
I	少雨	正常	少雨	正常	正常
II	正常	少雨	少雨	少雨	多雨
III	正常	少雨	少雨	特少	多雨
IV	少雨	少雨	少雨	少雨	正常
V	正常	少雨	少雨	少雨	多雨
VI	正常	正常	少雨	少雨	正常
全区	正常	正常	少雨	少雨	正常

由图 2 可以看出年降水量与水资源总量变化趋势是完全一致的,而且两者相关性很好,远远超过 0.001 的水平^[7],因此,可以用降水的水平年推出水资源总量的水平年。如前所述,胶东地区 2000 年降水为正常偏多,推出全区水资源总量在 $175.42 \times 10^8 \text{m}^3$ — $100.53 \times 10^8 \text{m}^3$ 之间(保证率为 20%—50%,参见表 2)。

根据 1984—1987 年胶东地区总水量的调查(表 6),虽然总用水量上升,但单位产值用水量是下降的。其中城市工业用水下降 28.7%,农业用水下降 34.9%。“九五”期间胶东地区的经济将迅速发展。根据各地初步制定的规划,胶东地区仅济南、青岛、淄博、东营、烟台、潍坊 6 市、地 2000 年城市工业总产值将达 4743.11 亿元,农业总产值将达 586.9 亿元。如果按 1987 年单位产值需水量计算,2000 年城市工业需水总量为 $112.74 \times 10^8 \text{m}^3$,农业需水总量为 102.43×10^8

m^3 ,这显然远远超出了水资源总量。因此,必需进一步提高水资源的利用率。表6中列出在1987年用水标准基础上,利用率分别提高10%、30%、50%的2000年总用水量。可以看出水资源利用率必需比1987年提高30%—50%,才能基本达到供需平衡,才能保证“九五”目标的实现。

表6 胶东地区年用水量及产值、2000年预测值¹⁾

年份	项目	城市工业	农业
1984	总用水量/ 10^8m^3	8.97	54.36
	总产值/亿元	269.04	202.71
	单位产值取水量 $\text{m}^3/\text{万元}$	333.4	2681.7
1987	总用水量/ 10^8m^3	9.56	59.23
	总产值/亿元	410.75	339.37
	单位产值取水量 $\text{m}^3/\text{万元}$	237.7	1745.3
2000	总产值/亿元	4743.1	586.9
	总用水量*/ 10^8m^3	101.47	92.19
	总用水量**/ 10^8m^3	78.92	71.70
	总用水量***/ 10^8m^3	56.37	51.22

*, **, *** 分别为在1987年用水标准上利用率提高10%、30%、50%

1) 山东省胶东地区水资源评价与利用现状调查研究, 75-57-01-02 专题研究组, 1990。

参考文献

- 1 Kenneth D. Frederick, 1993. Climate Change Impacts on Water Resources and Possible Responses in the MINK Region. *Climatic Change* 24:83—115.
- 2 F. H. S. Chiew, et al. 1994. Simulation of the Impacts of Climate Change on Runoff and Soil Moisture in Australian Catchments. *Journal of Hydrology*, 167 (1995): 121—147.
- 3 Keith Smith and Michael B. Richman, 1993. Recent Hydroclimatic Fluctuation and their Effects on Water Resources in Illinois. *Climatic Change* 24:249—269.
- 4 刘爱霞、梁平德. 京津唐水资源分析及预测. *气象*, 1994, 20(9):14—16.
- 5 中国干旱、半干旱地区气候、环境与区域开发研究. 气象出版社, 1990.
- 6 朱平盛等. 山东省胶东地区水资源分析及对策研究. 待发表.
- 7 杨喜寿、杨洪昌. 气候变点的推断. *大气科学*, 1996, 1.

Impacts of Precipitation Changes on Water Resources in Jiaodong Region, Shandong Province

Zhang Suping Hu Guifang Zhu Pingsheng

(Shandong Meteorological Institute, Jinan 250031)

Abstract

35-year precipitation and water resources data (1960—1994) in Jiaodong region are used. The precipitation data are divided into two periods by means of change-point analysis. Marked shifts between the two periods are revealed for both rainfall and water resources. The variation trends of precipitation and total amount of water resources are identical, but the former's variational rate is smaller than the latter's. The ground water has a sustaining feature, which means the end of drought in meteorology does not show the end of dry period in hydrology. The supply and demand analysis for the year of 2000 indicates that the utilization efficiency of water resources must be raised at least 30% in order to meet the needs of the economic development basically. The study is of practical importance and provides scientific basis for the rational exploitation and utilization of water resources and for the design of economic development plan in Jiaodong.

Key Words: long range variation of precipitation water resources analysis and prediction