

柘溪水库月入库流量预报方案的建立与对比分析

葛朝霞¹ ,王会容² ,曹丽青¹ ,王晓兰³

(1. 河海大学水资源环境学院 ,江苏 南京 210098 ; 2. 南京水利科学研究院 ,江苏 南京 210029 ;
3. 湖南省气象局 ,湖南 长沙 410000)

摘要 利用相关分析方法 ,对柘溪水库月入库流量与全球海温及 27 类气象因子的关系进行了分析
研究 .通过逐步回归 ,建立了 3 种类型的月入库流量预报模型 ,并进行了对比分析 .研究结果表明 :
影响柘溪水库月径流量的主要因子有青藏高原西部西风带系统、西太平洋副热带高压和西南季风 ;
前期海温对柘溪入库流量有重要影响 ,关键海区在北部印度洋和北赤道中西段 .建议不同月份的预
报可采用不同的预报模型 ,以期达到最好的效果 .
关键词 :月入库流量 ;海温 ;预报模型 ;柘溪水库
中图分类号 :P338 文献标识码 :A 文章编号 :1000-1980(2004)05-0508-04

地处湖南省资水流域的柘溪水库 ,是集发电、防洪、灌溉、养殖为一体的综合效益水利枢纽 .对水库进行
合理调度 ,最大限度地发挥其经济效益 ,做好入库流量的中长期预报非常重要 .本文在对柘溪水库月入库流
量影响因子进行较全面分析的基础上 ,建立了不同的预报模型 ,同时通过分析寻找出较高精度的预报模型并
应用于柘溪水库月入库流量的预报 .

1 资料处理与预报方法

a. 资料 .(a)1954 ~ 1999 年全球海温资料 ,网格距为 5°× 5° .(b)1951 ~ 1999 年的 27 类气象因子(表 1)和
逐月的平均流量资料 .

表 1 气象因子
Table 1 Meteorological factors

因子号	因子名	因子号	因子名
1	H500 hPa(20°N ,70°E ,80°E ,90°E)B 点高度和	15	西风风速 $V_{37.5^{\circ}N}$ (m/s)(105°E ,35°N ~ 40°N)
2	H500 hPa(50°N ~ 55°N ,70°E ~ 90°E + 40°N ~ 45°N ,65°E ~ 85°E)巴 尔喀什湖区 10 点合计	16	西风风速 $V_{42.5^{\circ}N}$ (m/s)(105°E ,42.5°N)
3	H500 hPa(60°N ,40°E ~ 50°E)D 点高度平均	17	太平洋高压 Q584 的纬度(100°E ~ 120°E)的平均位置
4	H500 hPa(120°E ,20°N ~ 40°N)高度差(沿 120°E 线 20°N ~ 40°N)	18	乌拉尔地区平均高度 $H_{\text{乌}}$ (60°E ~ 70°E ,50°N ~ 60°N)
5	H500 hPa(25°N ,65°N ,75°N ,85°E)B 点合计	19	鄂海平均高度 H (135°E ~ 150°E ,45°N ~ 60°N)
6	H500 hPa(40°N ~ 50°N ~ 120°E ~ 140°E)东亚槽区 500 hPa 8 点合 计	20	西风风速 $V_{27.5^{\circ}N}$ (m/s)(105°E ,25°N ~ 35°N)
7	H500 hPa(25°N ~ 35°N ,110°E ~ 130°E)长江中下游区 7 点合计	21	C10(102 站西风指数)(115°E ,25°N ~ 30°N)
8	H500 hPa(20°N ~ 30°N ,80°E ~ 100°E)印缅区 8 点合计	22	C83(836 站西风指数)(130°E ,30°N ~ 35°N)
9	H500 hPa(120°E ,40°N ~ 50°N)高度差(沿 120°E 线 40°N ~ 50°N)	23	长沙站月雨量
10	H500 hPa(50°N ~ 60°N ,100°E ~ 120°E)贝加尔湖区 8 点合计	24	长沙站月平均水位
11	H500 hPa(30°N ~ 40°N ,80°E ~ 90°E)C 点合计	25	长沙站月最低水位
12	H500 hPa(15°N ~ 25°N ,110°E ~ 130°E)南海区 7 点合计	26	长沙站月最高水位
13	Q588 (105°E ~ 180°E)副高强度指数	27	湖南省月平均雨量
14	M588 (105°E ~ 180°E)副高面积指数		

b. 资料处理. 为分析全球不同海区对柘溪水库入库流量的影响,考虑到洋流的特性,将大洋分为 11 海区,见文献[1].

c. 方法.(a)逐月计算入库流量与各大海区海温序列的超前相关系数^[2],通过信度 $\alpha = 0.01$ 的 t 检验,挑选出海温因子.(b)分别计算各月入库流量与 27 类气象因子的超前相关系数,通过信度 $\alpha = 0.01$ 的 t 检验,挑选出相关因子.(c)利用逐步回归的方法,分别建立柘溪水库 1~12 月的月入库流量预报方程.

2 相关分析

2.1 与 27 类气象因子的相关

相关计算结果表明:入库流量与 11 号因子相关最为密切,1 年中有 7 个月受之影响,分别是 1 月、2 月、5 月、6 月、8 月、9 月、11 月,其中,对后 3 个月的影响存在准 1 年周期,2 月份受到该因子的重复影响.相关性较好的还有 27 号、13 号、14 号和 20 号因子,影响月数为 5 月.11 号因子是 500 hPa(30°N~40°N,80°E~90°E 范围)内 6 个网格点位势高度值的合计,反映的是青藏高原西部高度场特征,该地区正位于柘溪水库上游,表明上游西风带系统活动对柘溪入库流量有影响.13 号和 14 号因子反映了西太平洋副热带高压的活动情况.研究^[3]表明,该系统是影响我国东部夏季降水的重要因子.20 号因子是 25°N~35°N,105°E 范围内西风风速,反映了西南季风的强弱,关于其活动与我国降水的关系,已有较多研究^[4],其强度及变化对华南地区降水影响很大.27 号因子更是影响柘溪入库流量最直接的因素.

2.2 与 11 海区的相关

入库流量的多少与降水量关系密切.影响降水的因子很多,其中海温的影响已引起人们的广泛关注^[5,6].笔者利用柘溪水库入库流量与 11 海区海温相关系数的计算研究了海温与柘溪水库入库流量的关系.结果表明,11 个海区的前期海温与柘溪水库各月入库流量都有较好($\alpha > 0.05$)的相关关系,对柘溪水库入库流量有着重要影响.最关键的海区有两个:一是 7 区(北印度洋洋流区),除 1 月、5 月、7 月以外其余各月的入库流量均与海温有关;二是 5 区(北赤道洋流的中西段),除 3 月、4 月、6 月、12 月以外,其余各月的入库流量都受该海区海温的影响.有些月份的入库流量与特定海区的关系非常密切,如 5 月入库流量与 9 海区(北大西洋洋流区)海温有超前 2~4 月的相关关系;10 月入库流量与 10 海区(大西洋中北部)海温有超前 1 月、2 月、10 月的相关关系.这些海区,都可以作为特定月份入库流量预报的关键区.

3 回归分析

3.1 建立回归模型

为了定量考察各类因子对预报对象的影响,在以上分析的基础上,利用逐步回归的方法,分别建立了 3 类入库流量预报模型.第一类仅有 11 海区的海温因子,称为模型 1.除 4 月、6 月、12 月通过 $\alpha = 0.01$ 的 F 检验外,其余月份均通过了 $\alpha = 0.05$ 的 F 检验.第二类只涉及 27 类气象因子,称为模型 2.除 2~4 月、8 月、9 月通过 $\alpha = 0.1$ 的 F 检验外,其余月份均通过了 $\alpha = 0.05$ 的 F 检验.第三类包括海温和气象因子,称为模型 3.除 2 月、3 月、7 月、9 月、10 月、11 月通过 $\alpha = 0.05$ 的 F 检验外,其余月份均通过了 $\alpha = 0.01$ 的 F 检验.入选因子见表 2,回归模型见表 3.

表 2 中,因子号编号原则如下:前 2 位代表因子序号(十位缺时,不用符号表示),大于 27 为海温因子,用黑体表示,如 28 为 1 区海温因子.后 2 位代表月份(十位缺时,用零表示,如大于或等于预报月份数,则表示上年的资料).

3.2 预报结果对比分析

利用 1955~1989 年的资料,对 3 类回归模型的预报进行了模拟,表 4 给出了误差小于 30% 的概率(误差

表 2 挑选因子
Table 2 Selective factors

预报对象 月份	预报因子							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	2711	3608	3006	1111	1904	107	708	205
2	1808	2311	1703	1109	1805	1903	1110	1007
3	3704	2711	2511	2209	1010	1811	1105	3001
4	2406	2202	3812	310	804	3209	2401	1606
5	2306	2903	1707	1310	1006	1912	2801	112
6	2207	3306	2809	3304	3201	904	2606	
7	603	2910	1410	602	2403	2604	1102	2508
8	3011	2209	612	3107	2707	709	2312	3802
9	3402	310	3203	701	1509	1505	3808	805
10	3408	608	1207	2904	208	1301	1204	3311
11	1004	2710	1111	2003	904	2204	1410	611
12	2711	1906	212	3606	3005	3605	403	

小于 30% 年数占总年数的百分数)统计结果.比较分析发现:平均而言,模型 3 的模拟效果最好,误差小于 30% 的概率平均可达 79.3% ;其次是模型 2 ,平均为 74% ;最差的是模型 1 ,平均为 60% .结果表明,单纯考虑海温因子或只考虑 27 类气象因子,比考虑上两部分因子共同作用的预报精度要差.因为模型 3 中选入的预报因子不仅比较全面,而且物理意义清楚,既有反映西风带系统活动影响的因子,又有反映中低纬西太平洋副热带高压活动的因子,还有反映中高纬度系统影响因子(如 10 号因子),加上了不同海区的海温因子的作用.模型 3 给出的 12 个预报方程中,除 2 和 11 月外都有海温因子的影响.可见,海温对月入库流量是有影响的,考虑海温因子的作用,预报精度提高了 5.3% .一般来说,考虑的因子越全面,预报效果越好.但就确定月而言,情况有所不同,如 1 月,模型 1 的预报效果最好;2 月,模型 2 的预报效果最佳.据此,在实际预报过程中应区别对待,即 1 月用模型 1 预报,2 月用模型 2 预报,其余月份用模型 3 预报,以确保预报效果达到最佳.

表 3 预报方程

Table 3 Forecast equation

月份	回 归 方 程
1	$Y_1 = -7458.13 + 1.53X_1 - 100.26X_2 + 179.15X_3 + 4.48X_4 + 8.90X_5 - 6.43X_6 + 4.61X_7 + 0.75X_8$
2	$Y_2 = -2224.02 + 31.47X_1 + 2.23X_2 + 64.23X_3 - 7.60X_4 - 9.65X_5 - 18.90X_6 + 10.64X_7 - 2.33X_8$
3	$Y_3 = 2120.63 + 797.72X_1 + 3.80X_2 - 209.30X_3 - 53.26X_4 - 2.69X_5 + 9.95X_6 - 5.85X_7 - 372.45X_8$
4	$Y_4 = 12495.42 - 237.76X_1 + 159.09X_2 - 391.13X_3 - 30.10X_4 + 17.78X_5 - 389.22X_6 + 119.10X_7 + 51.73X_8$
5	$Y_5 = -9662.57 + 4.60X_1 + 503.66X_2 - 91.61X_3 + 12.18X_4 - 3.96X_5 + 30.43X_6 + 599.01X_7 - 16.62X_8$
6	$Y_6 = 17965.68 - 142.16X_1 + 783.03X_2 - 1122.09X_3 - 639.90X_4 + 488.91X_5 - 31.09X_6 - 30.16X_7$
7	$Y_7 = 3232.76 - 7.50X_1 - 335.96X_2 - 30.83X_3 + 6.66X_4 - 220.05X_5 + 136.44X_6 + 6.18X_7 + 87.08X_8$
8	$Y_8 = 1307.71 + 536.72X_1 - 83.26X_2 + 5.00X_3 - 593.21X_4 + 2.01X_5 - 8.47X_6 - 2.60X_7 + 148.36X_8$
9	$Y_9 = -38367.41 + 394.67X_1 + 20.08X_2 + 650.40X_3 + 4.90X_4 - 26.65X_5 - 17.66X_6 + 128.59X_7 + 8.86X_8$
10	$Y_{10} = -12861.81 + 362.97X_1 - 4.51X_2 - 9.97X_3 - 66.53X_4 + 6.07X_5 - 7.03X_6 + 4.38X_7 + 202.06X_8$
11	$Y_{11} = 608.12 + 5.75X_1 + 3.53X_2 - 5.18X_3 - 12.08X_4 + 22.33X_5 + 42.17X_6 - 11.46X_7 - 1.19X_8$
12	$Y_{12} = -124.64 + 1.75X_1 - 14.71X_2 + 0.92X_3 - 181.41X_4 + 64.79X_5 + 70.32X_6 + 5.25X_7$

表 4 3 方案各月误差 < 30% 的概率统计

Table 4 Statistics for error < 30% in each month for three schemes

模型	概 率 / %											
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
1	80.00	60.00	57.14	60.00	60.00	40.00	57.14	65.71	34.29	62.86	62.87	62.86
2	71.43	80.00	77.14	88.57	74.29	94.29	60.00	60.00	54.29	68.57	77.14	82.86
3	77.14	74.29	88.57	91.43	91.43	97.14	65.71	65.71	54.29	80.00	80.00	85.71

4 结 语

柘溪水库月入库流量与青藏高原西部西风带系统、西太平洋副热带高压的活动及西南季风的强弱关系密切.前期海温对柘溪入库流量有重要影响,关键的海区是北印度洋洋流区和北赤道洋流的中西段.本文模型 3 的预报模型中包含的因子较为全面,除个别月份外,预报精度普遍高于其他模型.在生产单位实际预报过程中,建议利用模型 1 预报 1 月入库流量,模型 2 预报 2 月入库流量,其余各月则可利用包含有气象与海温因子的模型 3 ,以期达到最好的预报效果.

参考文献:

[1] 葛朝霞.黄河下游降水与海温的关系[J].河海大学学报(自然科学版),2001,29(4):19—22.
[2] 魏风英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,1999.20—36.
[3] 赵振国.中国夏季旱涝及环境场[M].北京:气象出版社,1999.45—52.

[4] 彭广 ,刘立成 ,刘敏 ,等 .洪涝 [M].北京 :气象出版社 ,2003.69—72.

[5] 叶笃正 ,黄荣辉 .长江、黄河流域旱涝规律和成因研究 [M].济南 :山东科学技术出版社 ,1996.222—258.

[6] 葛朝霞 ,王会容 .黄河上游月径流量与海温的关系 [J].河海大学学报(自然科学版) 2003 ,31(6) :665—668.

Establishment and comparative analysis of forecast scheme of monthly inflow in Zhexi Reservoir

GE Zhao-xia¹ , WNAG Hui-rong² , CAO Li-qing¹ , WANG Xiao-lan³

(1. College of Water Resources and Environment , Hohai Univ. , Nanjing 210098 , China ;

2. Nanjing Hydraulic Research Institute , Nanjing 210029 , China ;

3. Meteorological Bureau of Hunan Province , Changsha 410000 , China)

Abstract An analysis was made on the relationship between the monthly inflow in the Zhexi Reservoir , the global sea temperature and 27 kinds of meteorological factors by use of the correlation analysis method . Three kinds of forecast models for monthly reservoir inflow were established by regression analysis . The comparison of the models developed and their applications showed that the west-wind belt system of the west Qingzang Plateau , the west Pacific Ocean subtropical high-pressure , and the southwest monsoon were the main factors affecting the monthly inflow in the Zhexi Reservoir , that the sea temperature at early stage had significant influences on the reservoir inflow , and that the key sea areas were north Indian Ocean and the middle and west sections of the north of the equator . It was also suggested that different models should be adopted in different months , so that good effect of prediction could be achieved .

Key words monthly inflow ; sea temperature ; forecast models ; Zhexi Reservoir

+++++

张光斗院士给编辑部的一封信

《河海大学学报(自然科学版)》编辑部：

你们好！

贵刊 2004 年第 3 期发表的文章《小湾拱坝抗震钢筋粘结滑移试验研究》,做了大量的试验工作。小湾拱坝高近 300 m ,坝顶很长 ,地震烈度高 ,地震时横缝将全部张开 ,必须用钢筋加固 ,保持拱坝的作用。但如只在横缝加钢筋 ,锚固在两侧坝段混凝土内 ,是不当的。因为两侧坝段混凝土都在受拉应力区 ,钢筋锚固将拉裂混凝土坝段 ,所以必须把加固钢筋锚固在两岸岩基内 ,如英古里拱坝。由于小湾拱坝长、弧度小 ,所以加固钢筋设计可以计入箍应力和轴应力。另外 ,钢筋的动拉应力强度大于静拉应力强度 ,如混凝土的抗拉强度 150 MPa 而动拉应力 500 MPa 以上 ,所以钢筋的动拉应力强度比静拉应力强度要大 ,如静拉应力强度为 30 GPa ,则动拉应力强度可提高到 100 GPa ,这样 ,钢筋用量可减少 ,也好布置。在施工时先浇的混凝土坝段把自由段的钢筋头伸出 ,浇筑旁侧的混凝土坝段时 ,把钢筋与伸出的钢筋头用螺丝锚接或焊接 ,以利于施工。水平钢筋埋在混凝土内 ,地震时混凝土与钢筋共同拉伸 ,不会滑移 ,在横缝处留 2 m 的自由段 ,以防横缝边混凝土的崩裂。横缝的张开度等于两侧坝段自由段钢筋的伸长度。我们认为 ,这样加固才是安全有利的。

以上意见供参考。

此致

敬礼！

张光斗
2004 年 7 月 7 日