

# 湖南南部两水电站水情长期预报方法

郑金陵<sup>1</sup>, 曲延光<sup>2</sup>, 林镜榆<sup>3</sup>

(1. 河海大学计算机及信息工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 吉林省水文水资源局, 吉林 长春 130022;  
3. 河海大学水资源环境学院, 江苏 南京 210098)

**摘要:**介绍了建立水电站水情长期数值预报的思路和方法,应用该方法并根据气候特点对湖南南部的欧阳海水电站和双牌水电站作了水情的长期预报.从年平均流量、4~6月总流量及7~9月总流量这3个主要项目来看,欧阳海水电站的预报效果较好,双牌水电站的年平均流量和4~6月总流量预报效果也较好,而7~9月的预报效果差.另外,研究发现,这两个水电站的水情有着密切的关系,这一关系在预报中可以用来参照验证.

**关键词:**水文长期预报;水电站水情预报;欧阳海水电站;双牌水电站

**中图分类号:**TV124:P338+.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7647(2004)06-0031-03

## 1 水情概况

欧阳海水电站和双牌水电站地处湖南南部,前者位于舂陵水中游,西边连接双牌水电站所在的潇水流域,气候上均属亚热带湿润季风区.欧阳海水电站多年平均年雨量为1498 mm,全年降水主要集中在4~6月,多年平均降雨量为613 mm,占年雨量的41%,因此4~6月为该地区的雨季.7~9月的雨量虽然比4~6月小,然而从雨量的变化来看,却是很大的,其离差系数 $C_v = 3.04$ ,而年降雨量和4~6月雨量的 $C_v$ 分别为1.31和1.67.反映在这两个水电站的流量上,7~9月的 $C_v$ 也是最大的,大于4(见表1).所以对于水情预报来说,7~9月这一时期的预报就更值得关注.

## 2 预报方法

先用相关分析挑选预报因子,然后用逐步回归方法和因子优化方法确定预报因子和预报方程,再经10年的试报,最终确定预报因子和预报方程并作

出预报<sup>[1]</sup>.

预报因子有6大类,即高空等压面(500 hPa和100 hPa)高度(H5, H1),北半球太平洋海温(ST),国内100个站的气温(TT)和降水(RR)以及大气海洋物理因子(MF)<sup>[1]</sup>,其中H5又可分出东、西两部分HE和HW.

根据水电站水情预报的需要,预报对象为水电站的月、年径流量,资料长度为30 a.

### 2.1 相关分析

将上述预报因子与预报对象作前后相隔1年的相关分析,即可求两者的相关系数值<sup>[1,2]</sup>,此时系列长度 $N = 30$  a,临界相关系数值 $R_a = 0.55$ ,凡大于此临界相关系数的因子都挑选出来,这些是第一步所筛选出的预报因子.

### 2.2 逐步回归分析

用逐步回归方法<sup>[3]</sup>对预报因子作进一步筛选,同时对因子进行优化处理<sup>[2]</sup>,从大量的预报因子中挑出少量的预报因子,并建立预报方程.其形式为

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \quad (1)$$

表1 湖南南部两水电站水情概况

项 目	欧阳海水电站降雨量/mm			欧阳海水电站流量/( $m^3 \cdot s^{-1}$ )			双牌水电站流量/( $m^3 \cdot s^{-1}$ )		
	全年	4~6月	7~9月	全年	4~6月	7~9月	全年	4~6月	7~9月
平均值	1498	613	364	131	765	322	304	644	255
最大值	2133	987	791	220	1299	1217	470	1044	837
最小值	1070	347	125	63	301	62	147	229	65
全 距	1063	640	666	157	998	1115	323	815	772
$C_v$	1.31	1.67	3.04	2.04	2.25	4.99	1.78	2.01	4.38

式中:  $x_1, x_2, \dots, x_n$  为挑出的预报年前 1 年的各预报因子值;  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$  为预报系数, 即方程的权重系数。根据预报方程即可获得预报值。

### 3 预报的实现

采用上述预报方法, 使用 VB 语言编程对湖南南部欧阳海和双牌水电站进行水情长期预报, 程序共 3 个窗体。第一个为启动窗体, 如图 1 所示。

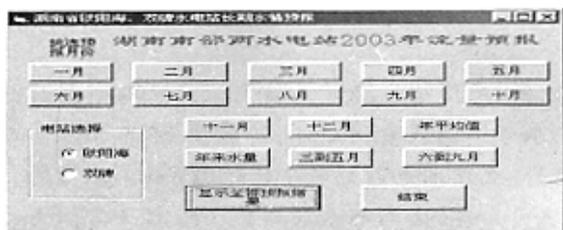


图 1 欧阳海和双牌水电站 2003 年流量长期预报

图 1 中列出了各预报项目, 单击某一项目, 即可进入第二窗体, 如图 2 所示。



图 2 欧阳海水电站 2003 年平均流量预报

图 2 所示为欧阳海水电站 2003 年平均流量预报的结果, 图中第二行中的“13 月”表示全年的意思。图中上部为各因子预报的结果, 同时显示了前 4 年各因子预报的误差及总误差, 下部是各年预报较准确的预报因子, 其中“各因子预报值”后的括号中是这些因子在 10 年中预报准确的年数(“预均”表示预报值平均)。据此可以尽量选择预报误差较小的因子作为预报因子, 而以其预报结果作为参考, 同时再考虑前 10 年预报的情况, 选出预报准确年数最多的因子, 由这些因子可在图上部得到最后预报结果, 作出预报年某一项目的预报。例如, 从图 2 上部可见, TT 和 RR 预报的结果最为接近, 又从该图中下部可见, 在 1993~2002 年这 10 年中, 用地面站温度(TT)或降水(RR)这两个因子来预报, 预报准确了 10 年, 因为在 10 年中每年都有 TT 或 RR 出现, 说明用 TT 或 RR 能预报准确, 所以可以用它们来预报。在图上部根据温度(TT)得到 2003 年平均流量的预报值为  $119.2 \text{ m}^3/\text{s}$ , 而实况为  $124.0 \text{ m}^3/\text{s}$ , 误差为  $5.2 \text{ m}^3/\text{s}$ , 相对误差为 4.2%, 预报结果合格。另外, 用海温(ST)预报报准了 9 年, 它的预报值为  $133.3 \text{ m}^3/\text{s}$ , 误差为

$9.3 \text{ m}^3/\text{s}$ , 相对误差为 7.5%, 也是合格的。

双击该窗体即回到原始窗体, 单击“显示全部预报结果”按钮, 即出现第三个窗体, 它是所选中的某一电站在这一年的全部预报项目的预报结果。图 3 为欧阳海水电站 2003 年全部预报项目的预报结果。

月份	预报结果	预报因子	准确率
1月	57	RR	7/10
2月	123	RR	10/10
3月	132	RR	7/10
4月	299	TT	9/10
5月	153	RR	8/10
6月	225	RR	9/10
7月	49	TT*	7/10
8月	95	RR*	8/10
9月	85	RR	7/10
10月	127	TT	9/10
11月	50	ST	9/10
12月	113	RR	9/10
年平均流量	217	TT	9/10
4~6月	864	TT	8/10
7~9月	207	RR	7/10

图 3 欧阳海水电站 2003 年预报结果

由图 3 可看出欧阳海水电站每个月的水情可以由不同的预报因子来决定, 但是总的水情如年平均流量、4~6 月流量和 7~9 月流量都是由月平均温度(TT)和月降水量(RR)决定的, 其预报方程分别为

$$y = 795.1038 + 4.443601x_1 - 5.573716x_2 \quad (2)$$

$$y' = -441.8979 + 4.492309x_1' - \quad (3)$$

$$y'' = 91.3656 + 0.5050178x_1'' + \quad (4)$$

$3.663156x_2'' + 36.64944x_3''$   
式中:  $y$  为年平均流量;  $y'$  为 4~6 月流量;  $y''$  为 7~9 月流量;  $x_1$  为 TT 第 88 站点;  $x_2$  为 TT 第 13 站点;  $x_1'$  为 TT 第 95 站点;  $x_2'$  为 TT 第 91 站点;  $x_1''$  为 RR 第 72 站点;  $x_2''$  为 RR 第 68 站点;  $x_3''$  为 RR 第 19 站点。这也说明, 影响欧阳海水电站总的水情的主要因子是温度和降水。

## 4 预报效果

### 4.1 相对误差

一般长期预报允许的相对误差不大于 30%, 以此为标准来检验预报方法的准确率。根据上面的预报方法, 分别对两个水电站作 2003 年全年的长期预报(表 2~4), 以检验预报的准确率。

表 2 2003 年平均流量预报检验

电 站	预报值/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	实测值/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	绝对误差/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	相对误差/ %
欧阳海	119	124	5	4.03
双 牌	338	271	67	24.72

表 3 2003 年 4~6 月流量预报检验

电 站	预报值/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	实测值/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	绝对误差/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	相对误差/ %
欧阳海	864	863	1	0.12
双 牌	2130	2082	48	2.31

表 4 2003 年 7~9 月流量预报检验

电 站	预报值/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	实测值/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	绝对误差/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	相对误差/ %
欧阳海	207	188	19	10.11
双 牌	483	318	165	51.89

由表 2~4 可见,这一预报方法所得的预报结果,对这两个水电站来说,年平均流量以及 4~6 月的汛期总量相对误差都小于 30%,而对于双牌水电站,7~9 月总流量的预报相对误差超过了 30%,预报不准确。根据湖南省的气候特点,这几个月的降水天气系统十分复杂,降水很不稳定<sup>[4,5]</sup>,流量变异较大,从表 1 可见这两个水电站的  $C_v$  都大于 4,因而预报难度较大<sup>[1]</sup>,而用此预报方法对于欧阳海水电站预报还是准确的。

#### 4.2 两电站流量之间的相关关系

欧阳海和双牌两水电站同处于湖南南部,为相邻流域,它们流量之间存在十分密切的关系,流量过程线十分相似。图 4 所示为两电站 4~6 月的流量过程线(因双牌水电站的数据比欧阳海水电站的数据大很多,为使两者对比清楚,作图时将双牌水电站的数据除以 3)。其他各月基本上也是如此,它们之间的相关系数值和流量过程线图略。

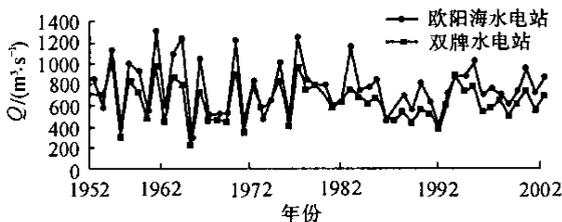


图 4 欧阳海和双牌水电站 4~6 月流量过程线  
这两个电站流量之间关系十分密切,除了 5 月和 12 月以外,其他各月两者的相关系数都在 0.9 以

上,因此在进行流量预报时可据此做参照验证,例如 4~6 月的相关关系式为

$$y = 175.2345 + 0.6001829x \quad (5)$$

式中:  $y$  为双牌水电站流量,以 3 个月的平均数计;  $x$  为欧阳海水电站总流量。由表 3 可知欧阳海水电站的流量预报值为  $864 \text{ m}^3/\text{s}$ ,即得  $y = 693 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $693 \text{ m}^3/\text{s} \times 3 = 2079 \text{ m}^3/\text{s}$  即为双牌站 4~6 月总流量的预报值。又由表 3 可知,其实测值为  $2082 \text{ m}^3/\text{s}$ ,绝对误差仅为  $3 \text{ m}^3/\text{s}$ ,预报误差很小,由此也验证了表 3 中的预报值  $2130 \text{ m}^3/\text{s}$  是可信的。

#### 5 结 语

本文根据湖南南部地区的气候特点和水电站对水情长期预报的需要,在逐步回归方法的基础上研究并建立了春陵水上的欧阳海水电站和潇水上的双牌水电站的长期水文预报模型,并用两电站之间的密切关系做预报的参照验证,预报效果较好,同时发现前期的温度和降水是影响这一地区水情的主要因子。

#### 参考文献:

- [1] 郑金陵,林镜榆.水库水情的长期预报方法研究[J].水科学进展,2004,15(5):665~669.
- [2] 《数学手册》编写组.数学手册[M].北京:人民出版社,1979.836~853.
- [3] 施能.气象统计预报中的多元分析方法[M].北京:气象出版社,1992.116~138.
- [4] 盛承禹,陆菊中,汤克靖,等.中国气候总论[M].北京:科学出版社,1986.248~262.
- [5] 程庚福,曾申江,张伯熙,等.湖南天气及其预报[M].北京:气象出版社,1987.190~237.

(收稿日期 2004-06-08 编辑 骆超)

#### · 简讯 ·

#### 糯扎渡、小湾水电站两项科技成果通过鉴定

“糯扎渡水电站 260m 级高心墙堆石坝研究”、“小湾电站施工期水情自动测报系统建设新技术的应用研究”两项科技成果已通过云南省科学技术厅主持的鉴定。鉴定认为:①“糯扎渡水电站 260m 级高心墙堆石坝研究”紧密结合糯扎渡工程的实际情况,针对筑坝材料、坝料分区、坝剖面优化、软弱岸带加固处理、心墙抗水力劈裂、坝体抗震、直斜心墙坝型比较等工程的重重大技术难题展开了研究,基本解决了相关技术难题,取得了许多创新性研究成果。心墙掺砾土料的研究成果,使 260m 级高心墙堆石坝的修建成为可能。坝坡坡度的优化及直心墙堆石坝抗水力劈裂安全性的论证,取得了显著的经济效益。该研究成果可应用于糯扎渡工程,并为同类工程提供借鉴。研究成果总体上达到国际先进水平。②“小湾电站施工期水情自动测报系统建设新技术的应用研究”项目,集成应用国内多项先进技术,水情自动测报系统建设采用国内先进的 GSM 通信组网方式,将 GSM 技术引入电站施工期水情测报系统,维护成本低、建设快,是云南省大型、巨型电站建设水情测报系统的首次成功尝试,结合实际,自行设计变频调速水文缆道收集流量数据,该缆道控制技术运行可靠、精度较高、效果好,变频调速技术是水文测验技术的发展方向;系统采用压力式水位遥测站收集水位数据,解决了压力水位计(液位变送器)在大流速、高含沙量、大变幅情况下使用的难题,能满足施工期水情预报、测报的需要。该测验方式设计科学合理,结构独特、美观、经济实用。该项目应用于小湾电站,系统运行稳定可靠,关键技术运用成功,满足了小湾电站防汛、渡汛的要求,为今后澜沧江梯级开发收集资料、掌握来水情况、梯级调度打下技术基础,并为其他大型水利水电工程建设提供了重要的实践经验,具有较高的推广应用价值。

(李超南供稿)