

水库月径流中长期预报系统的开发研究

⑧
32-34.38

李杰友

熊学农

P338.2

(河海大学水文水资源及环境学院 南京 210098)

摘要 结合月径流中长期预报模型对水文气象资料的要求,建成了水文气象资料数据库和一套可供实用的月径流中长期自动预报系统。该系统在实际应用时,用户将水库建站以来的月平均入库流量和新的水文气象资料追加到数据库中,该系统程序即可自动进行计算并给出预报决策值。

关键词 水库 月径流 中长期预报 回归分析 周期模型

1 系统水文气象资料库

长期天气过程具有非绝热性和全球性的特点。决定某一地区月径流丰枯因素与大范围的环流特征及其维持的能源密切相关,所以在系统中不仅考虑了区域的月径流,而且考虑了北太平洋海表温度场,全球 500 hPa, 100 hPa 等压面高度场,全国主要气候站地面月平均气温和月平均降水,大气海洋物理量(包括环流指数、太阳黑子相对数、关键地区海温指标和南方涛动指数等物理量)气象资料,涉及的基本数据目前已有 80 余万个。理论和实践表明,它们能够在一定程度上反映长期天气过程演变的基本特征。有关资料见表 1,其数据库结构见图 1。数据库的结构设

计按各文件号分年、月存贮,用户不仅可根据本流域具体情况在数据库中挑选所需预报因子、追加新资料,而且可以用扩充接口创建其它所需的水文气象资料。

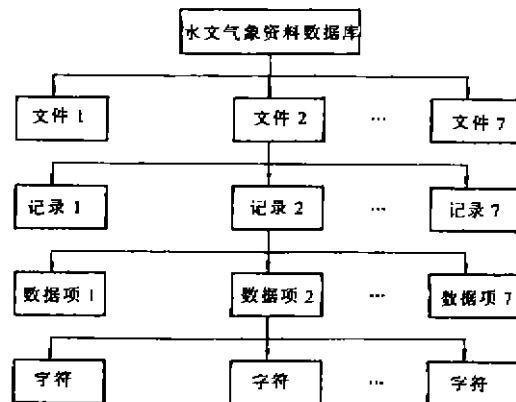


图 1 水文气象资料数据库框图

表 1 水文气象资料

文件号	资料名称	起迄时间
1	北太平洋海表温度场	1949-01-1998-03
2	全球 500 hPa 等压面高度场	1951-01-1998-03
3	全球 100 hPa 等压面高度场	1951-01-1998-03
4	全国 100 站地面气温	1951-01-1998-03
5	全国 100 站降水	1951-01-1998-03
6	大气海洋物理量	1951-01-1998-03
7	特定水库月平均流量	待定

2 系统预报模型

系统内装有气象部门常用的统计模型和水文部门常用的具有完整理论基础的时间序列分析模型。模型选择一是着眼于实用、有效,二是充分利用已有资料所能提供的预报信息。根据预报信息来源不同,采用不同的预报模型。各模型计算流程见图 2。

第一作者简介:李杰友,男,硕士,副教授,从事流域水文模拟和水文预报研究,曾发表《新丰江枫树坝水库实时洪水预报模型》等论文。

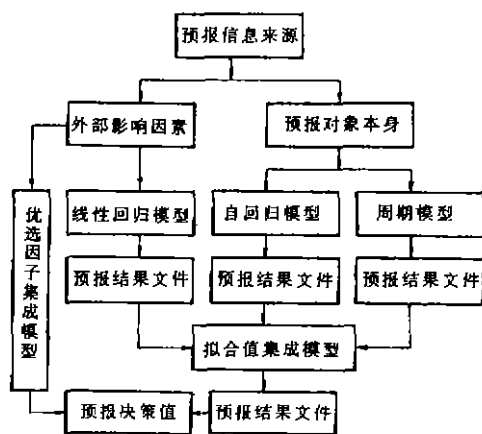


图2 模型计算流程框图

2.1 线性回归模型

预报信息来自于外部影响因素。其数学表达式为

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \cdots + b_m x_m \quad (1)$$

式中 y 为预报值; b_i 为回归系数; x_i 为前期预报因子。

根据用户挑选的预报因子建立预报模型。为了定量表示各物理因子与月径流的相关程度,首先对每个物理因子取相同的函数形式(1)与月径流相关,计算出每个物理因子与月径流的相关系数,将单相关系数 R 大于临界相关系数 R_0 的物理因子挑选出来。对初选因子用逐步回归进一步筛选,最后建立预报方程。

2.2 自回归模型及周期模型

特定流域的水文序列,其时空的代表性都比气象资料好。为了充分利用水文序列预报信息,系统中采用自回归模型和周期模型。

2.2.1 自回归模型

自回归模型的数学表达式为

$$Q(t) = b_0 + b_1 Q_{(t-1)} + b_2 Q_{(t-2)} + \cdots + b_p Q_{(t-p)} \quad (2)$$

式中 $Q(t)$ 为预报值; $b_i (i = 0, 1, \cdots, p)$ 为回归系数; $Q_{(t-i)} (i = 1, 2, \cdots, p)$ 为前期预报因子。

自回归模型参数确定采用逐步回归和平稳时间系列的 AR(P) 模型。

逐步回归模型是将不同后延期的月平均

流量作为影响因子,应用逐步回归筛选,通过 F 检验确定入选因子个数。其优点是年内前期月份的因子和后延期的因子自相关系数达到给定的误差标准即可入选。

AR(P) 模型基于平稳要求,序列取样点以年为间隔,忽略年内前期月份流量对预报月份流量的影响。根据自相关函数滞后的假定, P 阶以内不论其实际的自相关系数是否达到给定的误差标准均可入选。其优点是可以反映 P 时段内全体入选因子对预报值的集体影响。模型的阶数 P 用 AIC 准则确定。

2.2.2 周期模型

周期模型认为月径流量在多年演变过程中存在着周期性。基于上述假定,通过方差分析和谱分析确定系列中隐含的各种优势子周期,将各子周期序列叠加外延作为预报值。其数学表达式为

$$Q(t) = \sum P_i(m_i) + \bar{Q} \quad (3)$$

$$m_i = t - t_0 - L_i \text{int}((t - t_0)/L_i) \quad (4)$$

式中 $P_i(m_i)$ 为各子周期 i 相应于 t 年的位相; L_i 为子周期 i 的长度; $\bar{Q}$ 为系列均值; $Q(t)$ 为预报值; int 为取整算符。

在式(4)中,若 $m_i = 0$,则假定 $m_i = L_i$ 。此外,系统中还应用逐步回归技术筛选水文系列的均生函数。实际计算表明,选取优势周期的方法具有良好的预报效果。

2.3 预报集成模型

用反映外部因素的回归模型计算出的预报值和用反映预报对象本身历史演变规律的自回归模型及周期模型计算出的预报值,其结果不完全相同,而生产部门为了便于应用,通常希望提供唯一的或在指定范围内的预报值。为此,系统采用两种集成模型。按相对误差的上、下限分别为 $c_0, 0.2c_0$ (c_0 为预报对象系列的变差系数)的统一标准对各个模型预报值进行精度评定,优选预报决策值。

2.3.1 拟合值集成模型

拟合值集成模型的数学表达式为

$$Q = b_0 + b_1 Q_1 + b_2 Q_2 + \cdots + b_m Q_m \quad (5)$$

式中 $Q_i (i=1,2,\dots,m)$ 为前述各种预报模型的拟合值; $b_i (i=0,1,\dots,m)$ 为权重系数, 通过对拟和系列进行回归和逐步回归求得。

2.3.2 优选因子集成模型

回归模型是从单一气象要素场中挑选因子并进行逐步回归计算, 最后用优选出的少量因子建立预报模型。优选因子集成模型是将各个要素场优选出来的因子结合在一起再进行逐步回归计算, 建立预报模型。

3 系统软件

系统内应用软件在中文 Windows 下开发, Microsoft Visual Basic (即学即用 Basic) 是其核心语言。系统软件设计采用菜单式模块化结构, 易于扩充移置; 功能较齐全, 自动化程度较高。有关系统软件的设计及功能见图 3。

4 系统应用实例

本文系统建成后, 于 1995 年在广东省新丰江、枫树坝和南水水电厂投入应用。新丰江和枫树坝水电厂地处东江流域上游, 流域面积分别为 $5\,734\text{ km}^2$ 和 $5\,150\text{ km}^2$; 南水水电厂地处北江流域上游, 流域面积为 608 km^2 。三个水电厂集水流域均地处东、西风带交替

影响的过渡区, 受到热带、亚热带各类天气系统影响。其突出的气候特征: 一是冬无严寒, 夏无酷暑, 气候暖热, 雨量充沛; 二是丘陵起伏, 地形复杂, 气温垂直差异大, 气候类型多; 三是有两个多雨的时期, 4~6 月为前汛期, 属极锋雨带降水, 致洪暴雨主要是由冷锋、静止锋及切变线、低涡等西风带系统引起。7~10 月为后汛期, 主要受台风等低纬热带天气系统影响, 致洪暴雨由热带气旋、台风、东风波等东风带系统引起。根据流域的水文气象特征, 初选预报因子通过对表 1 所列资料相关普查求出。预报的结果见表 2, 表中带 * 者表示不合格。

表 2 1995 年新丰江水电厂月径流预报成果表

月份	预报 流量 $/\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	实测 流量 $/\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	绝对 误差 $/\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	相对 误差 (%)	c_p (%)	$0.2c_p$ (%)
1	47	53	-6	11.3	77	15.4
2	131	116	15	12.9	113	22.6
3	269	207	62	29.9	113	22.6
4	264	229	35	15.3	65	13.0*
5	184	123	61	49.6*	56	11.2*
6	562	438	124	28.3	55	11.0*
7	291	314	-23	7.3	44	8.8
8	353	494	-141	28.5	46	9.2*
9	152	143	9	6.3	61	12.2
10	87	146	-59	40.4*	53	10.6*
11	56	56	0	0.0	44	8.8
12	41	40	1	2.5	41	8.2
年平均	220	197	3	1.5	30	11.8

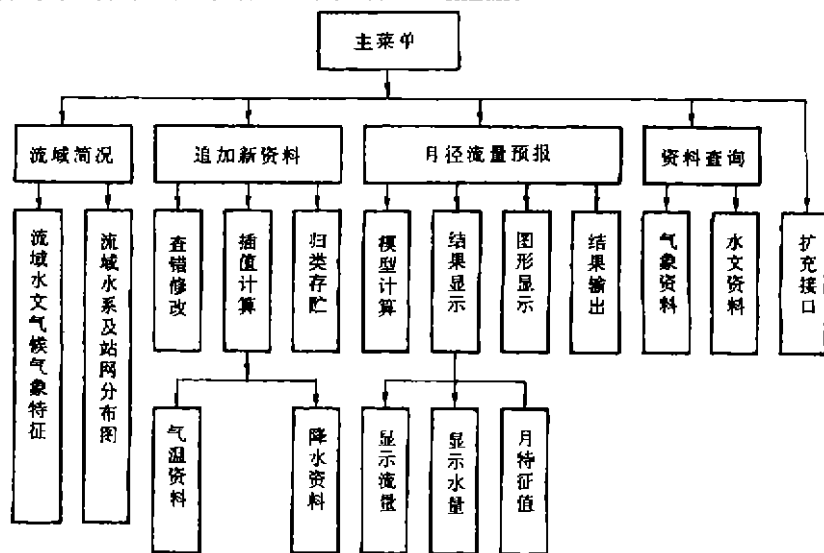


图 3 系统软件功能框图

(下转第 38 页)

表2 梯级水电站多目标网络分析结果

亿 m³

月份	1 库						1—2 库		2 库					2—3 库		3 库					3—4 库		4 库					
	入流	供水	灌溉	发电	弃水	月末蓄量	区间入流		供水	灌溉	发电	弃水	月末蓄量	区间入流		供水	灌溉	发电	弃水	月末蓄量	区间入流		供水	灌溉	发电	弃水	月末蓄量	
5	19	5	0	27	0	38	35		8	0	67	0	88	9		1	0	69	0	14		90		2	0	157	0	8
6	25	5	0	27	0	31	79		8	0	34	0	152	10		1	0	44	0	13		135		2	0	157	15	13
7	71	5	6	27	0	64	114		8	7	34	0	244	24		1	1	44	0	25		259		2	1	157	143	13
8	52	5	7	27	0	77	54		8	8	62	0	247	10		1	1	70	0	25		66		2	1	133	0	13
9	42	5	6	27	0	81	53		8	7	75	0	237	7		1	1	80	0	25		36		2	1	108	0	18
10	29	5	6	27	0	72	53		8	7	76	0	226	6		1	1	80	0	25		37		2	1	114	0	18
11	18	5	0	12	0	73	32		8	7	76	0	186	5		1	0	80	0	25		50		2	0	122	0	24
12	13	5	0	27	0	54	19		8	7	39	0	185	3		1	0	45	0	21		19		2	0	78	0	8
1	11	5	0	22	0	38	16		8	0	48	0	167	2		1	0	62	0	8		16		2	0	76	0	8
2	12	5	0	11	0	34	16		8	0	61	0	125	2		1	0	62	0	8		16		2	0	76	0	8
3	10	5	0	11	0	28	13		8	0	63	0	78	2		1	0	64	0	8		14		2	0	76	0	8
4	11	5	0	11	0	23	20		8	0	50	0	51	2		1	0	51	0	8		27		2	0	76	0	8

电量、发电水量和水头三者之间的非线性问题;用更多的资料加以检验等等。

参考文献

- 1 王丽萍,冯尚友.长期发电水库的优化调度方法——网络模矢法.水电能源科学,1986,4(2):115~126
- 2 梅亚东,冯尚友.水电站水库系统死库容优选的非线性网络模型.水电能源科学,1989,7(2):168

~ 175

- 3 鲁子林等.梯级水电站死水位选择网络模型.华东水利学院学报,1985,13(1):116~124
- 4 Rosenthal R. E. Nonlinear network flow algorithm for maximization of benefits in hydroelectric power system. Operation Research, 1981, 29(4): 763~786
- 5 林铨云,董加礼.多目标优化的方法和理论.长春:吉林教育出版社,1992

(收稿日期:1996-09-18 编辑:许宇鹏)

(上接第34页)

以新丰江水电厂为例,1995年预报结果表明,新丰江电厂预报相对误差均全部超过气候预报精度。若按相对误差小于0.2 c_0 作为合格标准,新丰江水电厂的合格率为58%;若按相对误差小于30%作为合格标准,合格率为83%;两者平均为70%。由此可见,本文系统预报模型具有较好的预报精度。

5 结 语

月径流预报首先从分析特定流域上空的动力、热力因子分布着手,分析它们与月径流的定性关系,从中挑选出关系最好的物理因子作为预报因子,最后通过回归分析和集成模型计算给出预报决策值。

由于系统中拥有80余万个水文气象数据,它们大体上反映了不同尺度和不同性质的前期影响因素,因此系统预报模型具有较好的预报精度,能满足生产单位的要求。气象资料主要来源于中央气象局公开发行的《气候监测公报》和《气象》刊物,所需资料费用低,使用方便。用户在实际应用中,需随时将有关的新资料“入库”。系统中的月径流预报模型尚有待于在更多的水库检验并进一步完善。

参考文献

- 1 戴世谨.华南气候.北京:气象出版社,1990
- 2 魏凤英,曹鸿兴等.长期预测的数学模型及其应用.北京:气象出版社,1995

(收稿日期:1997-10-28 编辑:许宇鹏)