

决策支持系统在长江三峡水库调度中的应用

何文社¹, 陈 骥², 戴会超³

(1. 兰州交通大学土木工程学院, 兰州 730070; 2. 香港大学土木工程系, 香港;
3. 三峡工程开发总公司科技管理部, 湖北 宜昌 443002)

摘要: 对决策信息系统流程、构成及三峡工程有关特性作了简要的介绍。在三峡水文泥沙分析系统管理数据库的基础上, 通过对流域水系概化构建了三峡水库决策信息系统。对数学预报模型的方法进行了简单的介绍, 并建立了三峡水库多目标管理优化调度目标函数。随后对三峡水库 2005 年入库流量过程进行了提前 48 小时预报, 并与实际入库流量进行了比较, 取得了理想的结果。运用决策系统对水库进行多目标管理是一个高度复杂的, 涉及相当复杂广泛的任务。在目前的基础上, 持续加强系统资料的完整, 将能不断完善和充分发挥三峡水库实时决策系统的功能; 同时, 本系统将不仅有利于优化三峡工程的多重效益, 也将有助于系统地积累水库实际运行的水沙资料从而提高相关领域的科研和认知服务。

关键词: 水电工程; DSS; 优化调度; 水文预报; 三峡水库

中图分类号: TV697.1+1

文献标识码: A

The application of decision support system to the Three Gorges Reservoir operation

HE Wenshe¹, CHEN Ji², DAI Huichao³

(1. Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070; 2. The University of Hong Kong, Hong Kong;
3. China Three Gorges Project Development Corporation, Yichang 443002)

Abstract: The basic features of decision support system(DSS) for the Three Gorges Reservoir operation is briefly introduced. Based on the hydrology and sediment information system used in the Three Gorges Project and the river network upward the project, the DSS is developed. Then, several simple stream flow computation models used in the DSS are discussed and the 48 hour inflow forecast for the Three Gorges Reservoir is made and compared with the real hydrograph of the reservoir. It is expected that the application of the DSS to the Three Gorges Project will not only optimize the various functions of the project, but also improve our understanding in hydrology and sedimentation.

Key words: hydropower engineering; decision support system; operation optimization; stream inflow forecast; Three Gorges Reservoir

0 前言

在国外, 从上世纪七十年代开始, 多目标河流和流域管理的需要使得管理者不得不寻求新的管理政策及方法。随着信息技术的发展, 决策支持系统(DSS-Decision Support System)开始被用来解决流域水资源的管理问题^[1,2]。DSS 体系结构以数据库技术为中心, 以相关的模型库为核心, 一般采用以地理信息系统为支撑的客户机服务器(C/S)模式。DSS 主要功能是利用计算机存储相关工程历史及实时观测资料, 使用户可以及时、准确、完整地了解相应工程的运行现状。决策者可以通过决策支持系统的特定界面来利用系统数据库得到所需模型参数值, 而后采用模型库中相关模型计算所选决策项目结果, 并将所选方案运行结果显示于使用者界面, 以便进行相

收稿日期: 2006-08-25

基金项目: “973 计划”(2003CB415023-3)和兰州交通大学青蓝工程(2003-19A)联合资助

作者简介: 何文社(1966-), 男, 教授, 博士. E-mail: hws@163.com.

关管理或调度方式的制定,即为辅助决策提供相关依据。由于DSS具有上述功能,所以从它诞生起就受到水利调度专家和学者的重视。我国在20世纪80年代,先后开发了许多用于水情数据处理与洪水预报、水资源规划和管理、水环境管理和控制、防洪调度、水电站水库运行调度以及水利工程管理等方面的决策支持系统^[3-7]。

然而,水库调度决策是一个极其复杂的过程,其复杂性主要包括:天然入库流量的随机性;水库利用功能的多重性、动态性;决策过程中优化调度模型与参数选择的不确定性;调度决策的实时性;数学模型、求解技术的局限性等。而不确定性是水库调度问题固有的特征,这些特征因素使得水库调度决策问题呈现出明显的半结构化或非结构化特征,甚至难以用数学模型来描述,而必须结合实践经验对各种调度方案进行不断的修正。另外,实施调度决策要求很高的时效性,调度系统不仅能为决策者提供信息支持,而且要求及时、明确、合理、及易懂。目前水库调度主要是针对水库综合利用调度,调度方式主要是采用优化调度。水库优化调度,虽然在国外已有30多年的研究历史,在国内也有20多年的研究历史,取得了不少研究成果,但在实际应用中还存在很多问题^[3]。

本文结合三峡水库实际情况,在原三峡水文泥沙信息分析与管理系统开发的基础上,将DSS引入三峡水库优化调度中,以提高水库的综合效益。

1 工程背景

长江上游干流河长4500多km,流域面积约100万km²,宜宾以上通称金沙江,宜宾至宜昌河段称川江。长江上游水系发达,支流众多,流域面积超过80000km²以上的一级支流有雅砻江、岷江、嘉陵江、乌江4条流域,支流集水面积以嘉陵江为最大,年径流量以岷江最大,几大支流除乌江外,均由左岸汇入长江。其中,长江上游川江河段水系见图1。

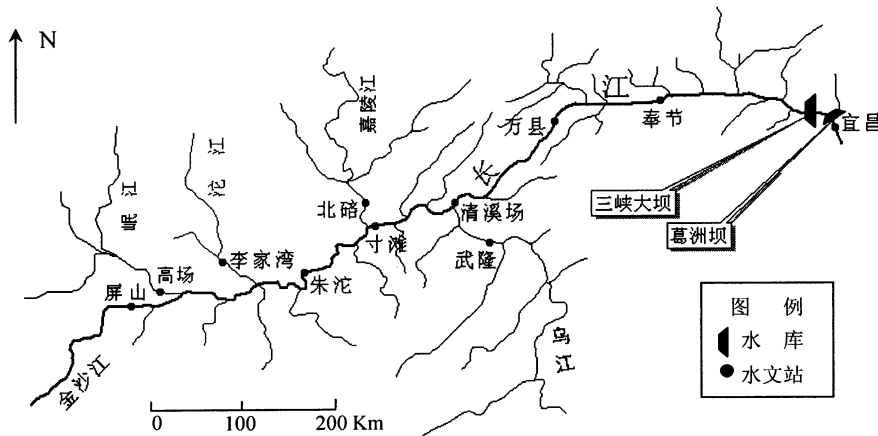


图1 长江上游川江河段水系简图

Fig. 1 The upstream of Yangtze River of Sichuan section

三峡工程位于湖北省宜昌县三斗坪,距下游宜昌市约45km,见图1。坝址以上流域面积100万km²,多年平均径流量4510亿m³,多年平均输沙量5.3亿t。坝顶高程185m,正常蓄水位175m。总库容393亿m³;防洪限制水位145m时,相应库容171.5亿m³。防洪库容221.5亿m³,可以使下游荆江河段防洪标准提高到百年一遇,在遇到千年一遇以上特大洪水时,配合以中游分蓄洪工程等,可以避免发生毁灭性洪灾。电站装机容量1820万kW,保证出力499万kW,多年平均发电量846.8亿kW·h。通航建筑物为双线五级船闸及单线一级垂直升船机。船闸年单向通过能力5000万t,万吨船队可直达重庆。升船机一次可通过一条3000级的客货轮。工程采用“一级开发,一次建成,分期蓄水,连续移民”的方案。1993年开始施工准备,1997年截流,2003年第一台机组发电,预计2008年全部建成。

三峡工程是治理和开发长江的关键性骨干工程,工程以其巨大的防洪、发电及航运等综合效益闻名于世。水库蓄水运用后,如何确保三峡工程防洪、发电、航运等效益目标的实现,对三峡工程的调度管理提出了很高的要求。为此相关部门联合开发建立了一套三峡水文泥沙信息分析管理系统^[8],以便于指导三峡工程的管理与调度。

2 三峡入库流量预报与水库调度 DSS

2.1 入库流量预报

三峡工程在勘测、设计和建设过程中进行了大量的科学研究、模型试验和原型观测,积累了大量的水文泥沙

历史资料, 目前已建立了三峡水文泥沙资料数据库, 见图 2。同时不断有实时实测资料入库。实测资料入库是由信息采集系统完成, 系统由遥测站、中继站、中心站数据接收与处理系统, 以及遥测通信网构成。系统实现自动采集寸滩- 宜昌区间、三峡坝址上下游、三峡- 葛洲坝两坝间的水雨情信息以及三峡、葛洲坝两坝坝址气象信息。为三峡水库优化调度 DSS(见图 2) 提供可靠的决策支持依据。

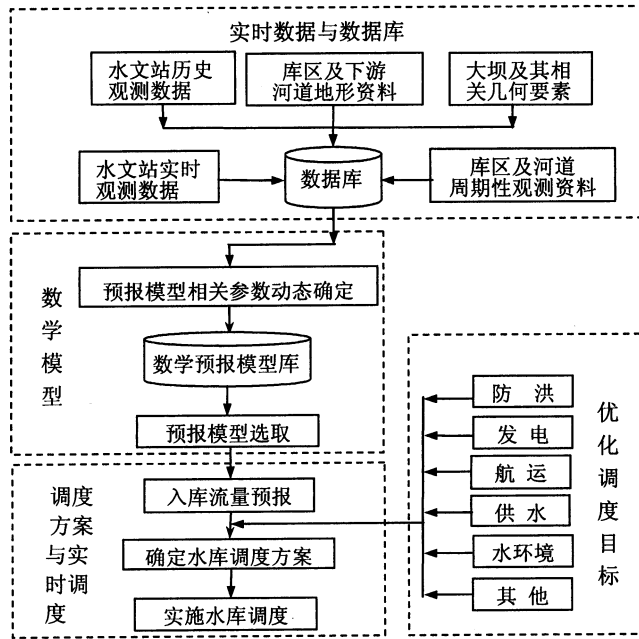


图 2 三峡水库调度 DSS 流程图

Fig. 2 Flowchart of DSS for Three Gorges Reservoir operation

制定水库调度方案须先做水库入库流量等的预报。目前水文预报方法很多, 可以粗略地分为过程驱动模型和数据驱动模型方法两大类。近年来由于水文数据的获取能力及计算能力得到飞速发展, 因此, 数据驱动模型在水文预报中得到广泛的关注和应用。河道流量预报方案一般包括相应流量法, 合成流量法和马斯京根河道流量演算法, 回归分析法, 随机过程的时间序列分析法, 人工神经网络分析法等。相应流量法是指用已知上站的流量预报一定时间(传播时间)后下站的流量。在有两条以上支流入汇的河段, 常用合成流量法作预报。合成流量法是把各上站的相应流量, 按它到下站的传播时间错开相加, 表示合成后的流量能同时到达下站。流量演算法就是利用河段中的蓄泄关系与水量平衡原理把上断面流量过程演算成下断面流量过程, 水文学中马斯京根(Muskingum)法是河道洪水演算中广泛应用的方法。

在建立预报方案时, 对长江上游水系及水文测站等进行了概化, 见图 3, 表 1。长江干流寸滩水文站、乌江武隆水文站是长江三峡围堰发电期的入库控制站, 其流量预报信息是三峡工程围堰发电期调度的依据。

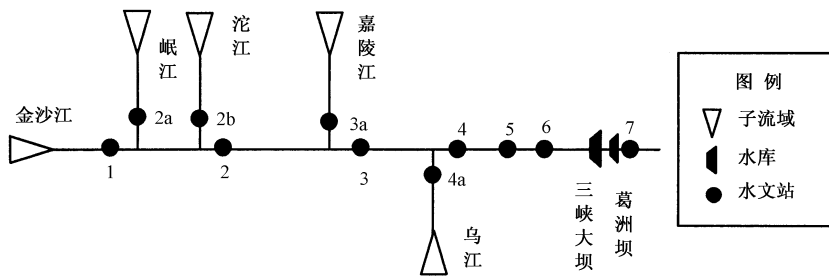


图 3 川江河段水系概化图

Fig. 3 Schematic diagram of Yangtze River of Sichuan section

现将部分运用于三峡水库实时决策系统中的水库入库流量预报方法简介如下:

方法 1 —— 马斯京根法: 通过联解马斯京根(Muskingum)槽蓄曲线方程式和水量平衡方程式得到预报入库流量 Q_t 的马斯京根流量演算公式:

$$Q_t = C_1 \sum Q_{t-t_1} + C_2 Q_{t-t_1} \quad (1)$$

其中: C_1 、 C_2 为河道演算系数, $C_1 + C_2 = 1.0$; t_1 为预报时间, 即上游断面流量到达下游断面的时间。

式中, Q_{t-t_1} 为根据预报时间要求所选的上游站, 若采用寸滩与武隆站, 则为

$$Q_{t-t_1} = Q_{\text{寸滩}-t_1} + Q_{\text{武隆}-t_1} \quad (2)$$

方法 2——合成流量法: 用下列公式预测入库流量:

$$Q_{t_i} = Q_{4,t_4-t} \quad (3)$$

$$Q_4 = Q_{3,t_{3-4}} + Q_{4a,t_{4a-4}} \quad (4)$$

$$Q_3 = Q_{2,t_{2-4}} + Q_{3a,t_{3a-4}} \quad (5)$$

$$Q_2 = Q_{1,t_{1-2}} + Q_{2a,t_{2a-2}} + Q_{2b,t_{2b-2}} \quad (6)$$

表 1 长江上游主要水文测站特征要素

Table 1 The characters of the hydrology stations on the upstream of Yangtze River

序号	测站	所属河流	测站坐标		距宜昌距离 l (km)	流域面积 F (万 km^2)	年均径流量 W (亿 m^3)
			经度	纬度			
1	屏山	金沙江	104° 01'	28° 38'	1105	48.5	1429
2a	高场	岷江	104° 25'	17° 48'	27(距河口)	13.5	866
2b	李家湾	沱江	104° 58'	29° 08'	100(距河口)	2.3	124
2	朱沱	干流	105° 51'	29° 01'	808	69.5	2700
3a	北碚	嘉陵江	106° 25'	29° 51'	60(距河口)	15.6	665
3	寸滩	干流	106° 36'	29° 37'	658	86.7	3485
4a	武隆	乌江	107° 43'	29° 17'	71(距河口)	8.3	497
4	清溪场	干流	107° 24'	29° 45'	529	96.6	4050
5	万县	干流	108° 25'	30° 45'	337	97.5	4085
6	奉节	干流	109° 31'	31° 02'	210	98.8	4150
7	宜昌	干流	111° 17'	30° 42'	0	100.6	4382

式中, $Q_{A,t_{A-B}}$ 表示 A 站流量经过一定历间后从 A 站(上游站—已知站)传播到 B 站(下游站——预报站)。系统中流量传播时间(上、下游站之间传播时间)是根据多年的资料所取得的经验值, 将其放在数据库表中, 每次使用时从数据库中取出。

还有如神经网络等方法对三峡入库流量进行了预报研究^[9]。

2.2 三峡水库调度 DSS 与出库流量

图 4 展示了水库水量平衡关系概化示意图, 水库水量平衡关系式如下:

$$S_{i+1} = S_i + Q_{I_i} - Q_{TR_i} - Q_{E_i} \quad (7)$$

其中, S_i 表示到 i 时段末水库所存储的水量; Q_{I_i} 表示 $i+1$ 时段入库水量; Q_{TR_i} 表示 $i+1$ 时段出库总水量; Q_{E_i} 表示 $i+1$ 时段水库蒸发损失水量。

三峡水库调度 DSS 用来协调河段防洪、水库发电、航运及供水(城市工业及生活用水, 农业灌溉用水, 河流生态健康用水等)等, 见图 2。调度的目的是综合兼顾各项利益, 并尽可能取得最大的经济效益, 以此来确定水库出库流量及施放水流的时间与时段。

三峡水库出库流量 Q_{TR} 由下列条件决定:

$$Q_{TRmin,i} \leq Q_{TR_i} \leq Q_{TRmax,i} \quad (6)$$

$$Q_{TRmax,i} = Q_{FC} \quad (7)$$

$$Q_{FC} = Q_{\text{powerout,max}} + Q_{\text{floodflow},i} \quad (8)$$

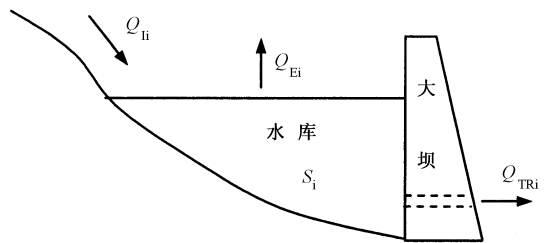


图 4 水库水量平衡示意图

Fig. 4 Schematic diagram of water balance of reservoir

其中, Q_{FC} 表示下游河道防洪临界流量; $Q_{powerout, max}$ 表示发电时最大出水量; $Q_{floodflow, i}$ 表示第 i 时段通过大坝表孔、中孔及底孔下泄的流量。

$$Q_{TRmin, i} = \max[Q_{powerout, min}, Q_{navigation, min}, Q_{watersupply, min}] \quad (9)$$

其中, $Q_{powerout, min}$ 表示满足基本负荷发电要求的最小出水量; $Q_{navigation, min}$ 表示满足下游河道航运要求的最小流量; $Q_{watersupply, min}$ 表示满足下游工业、农业生产、河流生态及生活用水的最小流量。这些因素都处在动态变化中, 要随时进行调整。如河道航运要求的最小流量随河道断面冲淤变化后最小航运水深的要求而变。

根据各方利益计算总的下泄流量。若发生总的下泄流量可能小于 $Q_{TRmin, i}$, 则应根据预测的入库流量制定调度方案提前在某时段开始蓄水; 若可能发生总的下泄流量大于 $Q_{TRmax, i}$, 则应制定调度提前泄洪方案。

3 在三峡水库调度中的应用

通过联合运用合成流量法与马斯京根法, 对入库流量采用寸滩与武隆站实测流量过程资料进行了模拟预测。其中支流入汇干流采用合成流量法, 从上游干流向下游传播用马斯京根法。模拟时考虑了水流传播时间, 即从上游站传播到下游站需要的时段 Δt , 作者经过对洪水传播时间分析得出, 洪水从寸滩水文站传播至库区需要 48 小时, 故提前 48 小时预测了 2005 年三峡入库日均流量过程, 结果绘于图 5。其中, 预报误差在 $\pm 20\%$ 以内的为 93.7, 在 $+25\%$ 以内的为 97.5%, 在 $\pm 30\%$ 以内的为 98.9%。三峡水库调度目前规划分为三个阶段, 即三峡工程围堰运行期(于 135m 为基准)、三峡初期运行期(156m) 和正常运行期(175m)。2005 年三峡水库处于围堰运行发电期, 汛期水库调度水位基本维持在 135.5m, 根据入库流量水库调度坝前控制水位图亦绘于图 5。

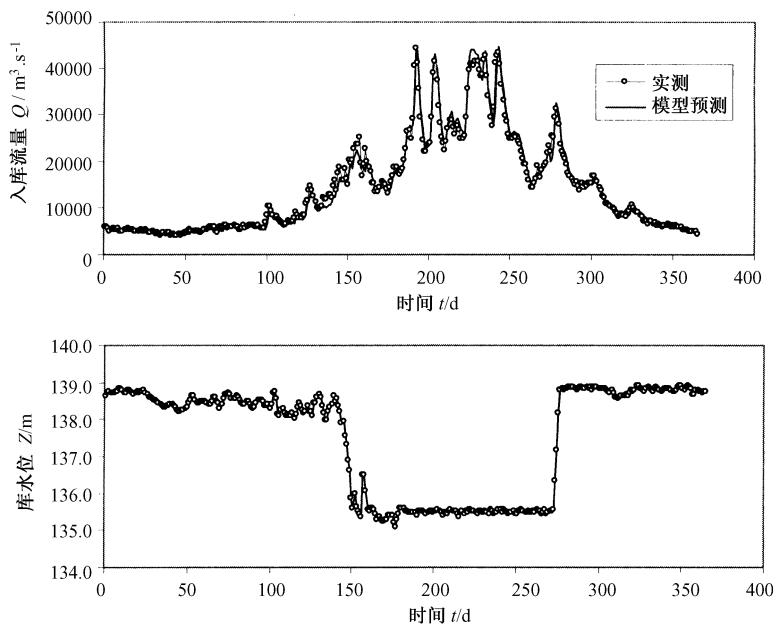


图 5 2005 年三峡入库流量过程及水库水位调度曲线

Fig. 5 The Three Gorges Reservoir hydrography and water level in 2005

4 结论

三峡水库 DSS 由数据库、数学预报模型库、优化调度目标及调度方案与实时调度等四大模块组成。可用来进行不同阶段、不同季节三峡水库防洪、发电、航运及供水等多目标最优实时调度。在制定调度方案时, 相关作业可以通过网络进行实时查询分析及评估。本系统的方法及计算程序已实际运用于三峡围堰发电期的水库水资源管理及决策调度工作中, 并初步产生了效益, 取得了理想效果, 实践证明本方法对水库多目标管理具有适用性和可靠性。

但水库多目标管理是一个高度非结构性的管理工作, 涉及的方面相当复杂广泛, 因此, 在目前的基础上, 持续加强系统资料的完整, 提高预报模型的精度以及强化其分析功能, 以加强优化调度、进行综合调节计算的灵活性和针对性。从而, 将能不断完善和充分发挥三峡水库 DSS 实时决策系统的功能; 同时, 本系统在三峡工程上的实

时和及时运用将不仅有利于优化发挥工程的多重效益,也将有助于系统地积累水库实际运行的水沙资料为相关的科研和教学领域服务。本方法对其它大型综合利用水库调度也具有参考意义。

参考文献:

- [1] Fredericks, J. W. , Labadie, J. W. , and Altenhofen, J. M. Decision support system for conjunctive stream aquifer management[J]. J. Water Resour. Plan. Manage. , 1998, 124(2) : 67~ 78.
- [2] Simonovic, S. P. Decision support systems for sustainable management of water resources: 1. General principles[J]. Water Int. , 1996, 21(4): 223~ 232.
- [3] 倪建军, 徐立中, 李臣明等. 水库调度决策研究综述[J]. 水利水电科技进展, 2004, 24(6) : 63~ 66.
- [4] Ito, K. , Xu, Z. X. , Jinno, K. , Kojiri, T. , and Kawamura, A. Decision support system for surface water planning in river basins[J]. J. Water Resour. Plan. Manage. , 2001, 127(4) : 272~ 276.
- [5] Rajasekaram, V. , Simonovic, S. P. , and Nandalal, K. D. W. Computer support for implementation of a systemic approach to water conflict resolution[J]. Water Int. , 2003, 28(4) : 454~ 466.
- [6] 王才君, 郭生练, 刘攀等. 三峡水库汛期调度不确定性分析[J]. 水电自动化与大坝检测, 2004, 28(2) : 71~ 74.
- [7] Yeh, W. W-G. Reservoir management and operations models: A state-of the art review [J]. J. Water Resources research, 1985, 21(12) : 1797~ 1818.
- [8] 何文社, 戴会超, 曹叔尤等. 三峡水库水文泥沙信息分析管理系统设计[J]. 水力发电学报, 2005, 24(6) : 95 ~ 99.
- [9] 何文社. 三峡水文泥沙分析及其信息系统设计[D]. 成都: 四川大学与中国长沙三峡工程开发总公司联合培养博士后研究报告, 2004.

(上接第5页)

参考文献:

- [1] 王燕生. 工程水文学(第二版)[M]. 北京: 水利电力出版社, 1991.
- [2] 胡四一, 高波, 王忠静. 海河流域洪水资源安全利用——水库汛限水位的确定与运用[J]. 中国水利, 2002, (10) : 105~ 108.
- [3] GB17621- 1998. 大中型水电站水库调度规范[S].
- [4] SL104- 95. 水利工程水利计算规范[S].