

# 灌区多水源工程联合调度的计算机实现

李书琴<sup>1</sup>, 许永功<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学信息工程学院, 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 杨凌 712100)

**摘要:** 运用了计算机数据结构中图的基本理论, 提出了灌区多水源工程联合调度流域系统集成的思想和方法; 以全灌区用水量最大为系统目标, 以单库优化为基础, 建立了联合调度的数学模型; 采用数据库技术、图搜索技术和可视化编程技术, 探索了多水源工程联合调度的计算机实现方法; 以渭河流域西部重点水源工程为例, 对建立的联合调度模型进行求解, 取得了较满意的结果。

**关键词:** 多水源工程; 联合调度模型; 灌溉; 可视化编程; 动态规划

**中图分类号:** TP391.9; S273

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2003)04-0088-04

## 1 引言

西北地区灌区缺水现象已十分普遍, 不能满足灌区用水要求除了水库本身由于淤积有效库容减少外, 还有一个重要的原因是灌区有限的水资源缺乏统一调配, 多水源工程不能最大限度地发挥作用。实现多水源工程联合调度成为水资源领域研究的热点问题。文献[1]~[4]等在多水源工程联合调度模型建立上做过大量的研究, 但在联合调度自动化的实现方法上国内外未曾做过详细的报道。笔者认为提高联合调度的可靠性和运行过程的交互性, 关键在于如何将水力联系的各个水源工程集成在一个大的系统内进行整体计算, 解决好水源工程之间数据的传递。本文借鉴流域洪水计算模型系统的拓扑关系分析方法<sup>[5]</sup>, 以陕西渭河流域西部重点水源工程联合调度为例, 提出了多水源工程联合调度系统集成思想和办法; 以大系统理论为依据, 建立以流域可供水量最大为目标的多水源工程联合调度数学模型; 以单库优化为基础, 采用数据库、可视化编程技术和图深度优先搜索技术, 研究了多水源工程联合调度的自动化实现方法。

## 2 渭河流域西部重点水源工程概况

陕西省渭河流域西部重点水源工程位于关中西部, 西起宝鸡市以西 11 km 的渭河峡谷, 东至泾河右岸, 与泾惠渠灌区隔河相望, 南至秦岭北麓, 北抵渭河高原腹地, 包括宝鸡峡水库、王家崖水库、信义沟水库、大北沟水库和泔河水库及魏家堡渠首、段家峡水库、冯家山水库、羊毛湾水库、石头河水库和黑河水库, 现状灌溉面积约为 26 万  $\text{hm}^2$ , 其相对位置分布如图 1 所示<sup>[6]</sup>。众水源工程自先后建成以来, 对解决渭北高原严重的干旱问题, 保障和改善灌区人民生活都发挥了巨大的作用, 对周围地区生态环境也有较大的改善, 在全省经济建设中

发挥着举足轻重的作用。然而, 该区域是一个缺水十分严重的灌区, 年缺水达约 8 亿  $\text{m}^3$ <sup>[1]</sup>。

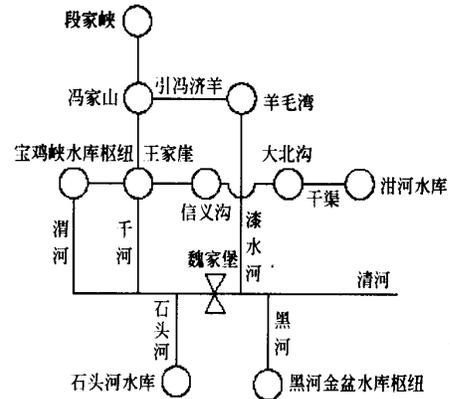


图 1 渭河流域西部重点水源工程分布示意图  
Fig. 1 Distribution of the key hydraulic source project in the west part of Weihe River

## 3 模型建立

### 3.1 流域概化模型建立

在进行多水源联合调度时, 为了便于计算机实现, 先进行流域概化, 将整个流域按照水利工程分布划分为若干个集水区, 再将这些集水区和水利工程概化为图的节点, 并按各水利工程之间的水力联系将研究区域概化为一张节点连线图, 即流域概化图。渭河流域西部重点水源工程区域节点类型主要有集水区、水库、无坝引水和流域出口四种类型, 其流域概化图如图 2 所示。图 1 中宝鸡峡渠首库连同王家崖、信义沟、大北沟和泔河渠库结合库简化为一个水库, 即图 2 中的  $W_1$  水库。

### 3.2 优化调配数学模型

本流域系统主要满足灌溉、工业用水和其他方面的用水, 因此以供水量最大为系统目标, 分别满足各水源工程各时段水量平衡约束、库容约束、泄水能力约束、供水能力约束、需水量约束和各决策变量的非负约束<sup>[2]</sup>。

分析图 2 可以看出, 节点之间的邻接关系是任意的, 而并非均具有层次关系, 因此渭河流域概化图是图而不是树。为了存储图中节点属性及其邻接关系, 将图

收稿日期: 2003-03-21

基金项目: 西北农林科技大学科研重点专项资助项目

作者简介: 李书琴(1965-), 女, 陕西澄城人, 硕士, 副教授, 从事计算机农业应用教学和科研。陕西杨凌 西北农林科技大学信息工程学院, 712100

分成最小的子图, 子图包括一个起始节点、一个终止节点以及这两个节点的联接特征, 在数据库中建立一张节点邻接表(如表 1 所示)反映这些特征。

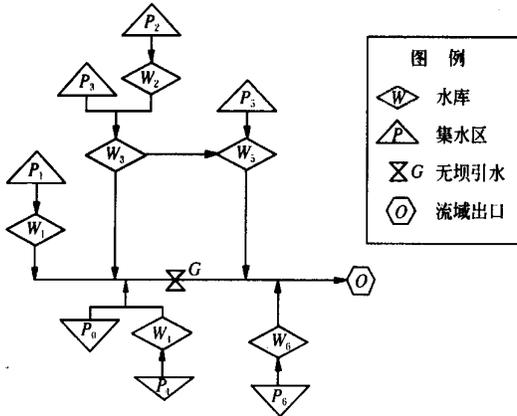


图 2 渭河流域西部重点水源工程流域概化图  
Fig 2 Concept of the key hydraulic source project in the west part of Weihe River

表 1 渭河流域西部重点水源工程联合调度流域概化模型顶点及其参数

Table 1 Concept model and parameters of the key hydraulic source project in the west part of Weihe River

节点邻接名称	起始结点名	终止结点名	起始结点类型	终止结点类型
P <sub>1</sub> -W <sub>1</sub>	宝鸡峡	宝鸡峡	集水区	水库
P <sub>2</sub> -W <sub>2</sub>	段家峡	段家峡	集水区	水库
P <sub>3</sub> -W <sub>3</sub>	段冯区间	冯家山	集水区	水库
.....	.....	.....	.....	.....
G-O	魏家堡	泾河	无坝引水	流域出口

## 4 计算机实现研究

### 4.1 数据库管理系统实现

利用 SQL Server2000<sup>[7]</sup>建立节点邻接数据表, 存储图中的节点及属性; 建立各水源工程的灌区用水量数据表, 如农田灌溉、工业与其他用水等; 建立各水源工程集水区实测水文资料数据表; 提供对各类数据表的维护、查询和统计功能。

### 4.2 优化调度功能模块实现

单一水库优化的基本任务是研究制定合理的调度方案, 充分、合理、高效地利用有限的水资源, 充分发挥水库的调蓄功能, 使天然来水和水库中的蓄水最大限度地满足灌溉、工业及其他供水的功能要求。因此, 水库优化调度选用动态多目标非线性数学模型, 该模型实现过程首先要研究好阶段数、状态变量、状态转移方程、约束条件、目标函数和目标决策等具体问题<sup>[5]</sup>。上述参数的确定方法如下所述:

1) 阶段: 以月为阶段, 将水库运行的全过程离散化。

2) 状态变量: 根据水库不同阶段的运行规律, 水库可利用水量为兴利库容, 非汛期为死水位和正常蓄水位之间的兴利库容, 汛期为死水位和汛限水位之间的兴利

库容, 将兴利库容等分为 n 段, 确定阶段状态变量的值。

3) 状态转移方程: 依据水量平衡确定状态转移方程:

$$Wchk(sd, j, k) = v(sd, j) - w l(sd) - v(sd + 1, k)$$

式中  $Wchk(sd, j, k)$ —— $sd$  时段初第  $j$  个状态相对于  $sd$  时段末第  $k$  个状态的水库出水量;  $v(sd, j)$ —— $sd$  时段初第  $j$  个状态水库库容;  $w l(sd)$ —— $sd$  时段来水量;  $v(sd, j)$ —— $sd$  时段末第  $k$  个状态水库库容。

4) 约束条件: 根据供水原则和次序, 分步满足约束条件。

5) 目标函数: 根据递推方程实现全过程供水量最大, 递推方程为:

$$Wymax(sd, j) = Wy(sd, j, k) + Wymax(sd + 1, k)$$

式中  $Wymax(sd, j)$ —— $sd$  时段初第  $j$  个状态累加的最大用水量;  $Wy(sd, j, k)$ —— $sd$  时段初第  $j$  个状态相对于  $sd$  时段末第  $k$  个状态的用水量;  $Wymax(sd, k)$ —— $sd$  时段末第  $k$  个状态累加的最大用水量。

当  $sd = 1, j = 1$  时,  $Wymax(sd, j)$  就是整个系统的供水量的最大值。

6) 目标决策计算: 依据供水量最大所经历的路线, 正向推算各阶段的决策, 包括灌溉用水量、工业和其他用水量和水库弃水。

无坝引水工程以日为时段进行供需水平衡分析计算, 约束条件为输水能力和沙限控制。

## 4.3 联合调度实现

### 4.3.1 搜索过程

采用 VB 6.0<sup>[9]</sup>编程, 按深度优先遍历法<sup>[10]</sup>技术实现搜索, 即对任选一个计算节点  $V$ , 从  $V$  出发在节点邻接表中任意选择一个未被访问  $V$  节点的邻接节点  $W$ , 从  $W$  继续深度优先搜索, 直到图中所有和  $V$  有路径相通的上游节点都已经被搜索完毕, 搜索流程图如图 3 所示。以冯家山水库为例的搜索目录树如图 4 所示。

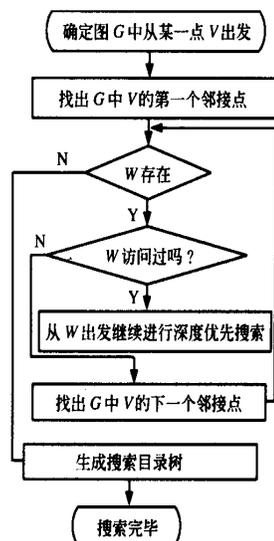


图 3 深度优先遍历算法流程图

Fig 3 Flow chart of graph deep optimization searching



图 4 搜索结果举例

Fig 4 Instance for the searched result using the model

逐个水源工程进行优化, 得到相应的弃水量、灌溉供水量、工业供水量和其他供水量; 当某个水源工程涉及给下游几个水源工程分水时引入协调变量, 利用协调变量进行整体优化, 经反复多次协调, 调用功能模块, 最终求出联合调度策略。

### 5 应用举例

对陕西省渭河流域西部重点水源工程建立模型, 进行流域概化, 编制模型求解程序进行求解, 多年平均联合调度结果如表 2 所示。集水区来水资料采用 1974~1994 水文年水文站实测资料(或还原资料); 灌区灌溉需水量依据灌区内雨量站的降雨资料分析结果, 分区按作物灌溉制度推求; 工业需水量、其他需水量按现状年确定; 水库特性参数也按现状年调查结果确定。

从表 2 可以看出: 段家峡水库、石头河水库多年平均不缺水, 其他水库均有不同程度的缺水, 与水库实际运行现状一致, 但缺水量均有不同程度的减少, 灌溉用水保证率得到了提高。如羊毛湾水库的缺水量减少了 20%, 使灌溉用水保证率提高到 50%。

### 4.3.2 计算过程

计算过程是按照搜索目录树生成过程相反的方向计算, 直到目录树的根节点为止。也就是说从有水力联系的最上游水库开始, 调用数据库和优化调度功能模块

表 2 陕西省渭河流域西部重点水源工程联合调度结果表

Table 2 Results of the key hydraulic source project in the west part of Weihe River

亿 m<sup>3</sup>

水源工程名称	来水量	总供水量	总需水量	灌溉供水量	灌溉需水量	工业供水量	工业需水量	其他供水量	其他需水量	缺水量	弃水量
羊毛湾	0 7910	0 5676	1 0197	0 5671	1 0185	0 0000	0 0000	0 0005	0 0012	0 4522	0 0761
魏家堡	12 9438	2 2916	3 4521	2 2916	3 4521	0 0000	0 0000	0 0000	0 0000	1 1604	10 6522
段家峡	1 2311	0 3189	0 3189	0 3189	0 3189	0 0000	0 0000	0 0000	0 0000	0 0000	0 8561
冯家山	3 9904	2 9081	4 9713	2 3565	4 2697	0 5514	0 7004	0 0002	0 0012	2 0632	0 2146
石头河	4 1416	2 0573	2 0573	0 9561	0 9561	1 1000	1 1000	0 0012	0 0012	0 0000	1 6152
宝鸡峡	2 2250	0 5696	5 4331	0 5696	5 4331	0 0000	0 0000	0 0000	0 0000	4 8635	1 6554

注: 黑河金盆水库枢纽因资料不足未做计算。

### 6 结 语

本文提出的模型及计算机实现技术具有如下特点:

- 1) 用顶点联接的方式来集成模型, 大大提高了系统的灵活性;
- 2) 以单库优化为基础的联合调度, 较好地符合灌区的管理现状;
- 3) 图搜索技术、数据库技术、可视化技术和结构化程序设计相结合, 使联合调度的自动化程度增强;
- 4) 不仅能实现整个流域优化调度, 而且还可实现任意一个水库的优化。

#### 【参 考 文 献】

[1] 黄 强, 等. 城市供水水源联合优化调度研究[J]. 水利学报, 1995, 5: 56~ 62  
 [2] 马 斌, 等. 多水源引水灌区资源调配模型及应用[J]. 水

利学报, 2001, 9: 59~ 63  
 [3] 董子敖. 水库群调度与规划的优化理论和应用[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1985  
 [4] 雷晓云, 等. 水库群多级保证率优化调度函数的研究及应用[J]. 灌溉排水, 1996, (2).  
 [5] 唐 勇, 等. 流域洪水计算模型系统的拓扑关系分析[J]. 水利学报, 2002, 5: 81~ 85.  
 [6] 任三成. 陕西灌区管理[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1993  
 [7] 袁鹏飞. SQL Sever 2000 数据库系统管理[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2001.  
 [8] 范鸣玉. 最优化技术基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 1982  
 [9] 李书琴. Visual Basic 程序设计教程[M]. 西安: 西北大学出版社, 2002  
 [10] 严蔚敏. 数据结构[M]. 北京: 清华大学出版社, 1993

## Integrated distribution model of multi-source water project and its computerization for irrigated areas

Li Shuqin<sup>1</sup>, Xu Yonggong<sup>2</sup>

(1. College of Information Engineering, Northw estern Science and Technology University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China; 2. College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Northw estern Science and Technology University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China)

**Abstract:** The ideas and methods to computerize the integrated catchment arrangement system for multi-source irrigation projects in irrigated regions were evolved by means of basic theories of graphics in computer database. Aimed to maximize the supply of water for a whole irrigated region and based on the optimized use of a single reservoir or water source, the mathematic models were established for the integrated catchment arrangement system; the techniques of database, searching techniques of visualization and the techniques of visualized programming were adopted to probe the methods on computer to realize the integrated catchment arrangements for multi-source irrigation projects. The catchment of Weihe River was taken as an example of water sources to search for the answers to the mathematic models set up for the integrated catchment arrangement system.

**Key words:** multi-source water project; integrated distribution model; irrigation; visualization programming; dynamic planning

### 关于《农业工程学报》自 2003 年第 4 期增加页码的说明

由于全国高等院校扩大招生,特别是高校加强了研究生的培养与教育,要求研究生发表论文的需求增加;加之,我国农业工程科研事业蓬勃发展产出了大批科研成果,广大科研工作者对发表论文的需求日益增加。本刊近年来稿量剧增,而现有版面已远远不能满足广大科技工作者发表论文的需求,致使大量优质稿件积压或被退稿,而不能及时刊出。鉴于这种情况,为适应我国农业工程科技和教育发展的要求,更好地

为科技工作者服务,本刊已向上级主管部门中国科学技术学会调研宣传部新闻出版处申请增加页码,并获批准。本刊自 2003 年第 4 期将每期页码增加到 300 页,特此说明。

本刊感谢广大农业工程科技工作者长期以来对本刊的支持与厚爱,我们将与你们携手并进,为办好我们共同的园地——《农业工程学报》而努力奋斗!

(本刊编辑部)