

# 云南蜻蛉河大型灌区水库联合优化调度

余航,王龙,文俊,杨蕊,王莹

(云南农业大学水利学院,云南昆明650201)

**摘要:**针对蜻蛉河大型灌区在干旱条件下的水资源供需矛盾突出的问题,选取径流资料、灌区用水资料和水库资料建立了灌区水库优化调度模型。结果表明:在保证率为75%的情况下引水总量为668.25万 $\text{m}^3$ ;其中胡家山水库引水最多,大康郎水库引水最少。

**关键词:**灌区;水库;优化调度;蜻蛉河;云南

中图分类号:TV697.12

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2014)06-0090-03

## United optimum operation of reservoir in large irrigation area along Qingling river of Yunnan

YU Hang, WANG Long, WEN Jun, YANG Rui, WANG Ying

(College of Water Conservancy, Yunnan Agricultural University, Yunnan 650201, China)

**Abstract:** Aimed at the outstanding contradiction issue between supply and demand of water resources in condition of drought in the large irrigation area of Qingling river, the article established the optimal operation model of irrigation reservoir by use of the data of runoff, irrigation area water and reservoir. The result showed that the total water diversion is 6.6825 million  $\text{m}^3$  under condition of guaranteed frequency of 75%, the water diversion from Hujiashan reservoir is the maximum, and that from Dakanglang is the minimum.

**Key words:** irrigation area; reservoir; optimal operation; Qingling river; Yunnan

近年来由于气候环境变化以及灌区水库严重淤积,兴利库容变小,加之水资源没有进行统一调度使得灌区农业在干旱条件下可利用的水资源减少,造成严重损失。因此在现有水源工程以及水资源总量的条件下,迫切需要建立一套调度系统来辅助调度人员进行各种决策,完成水库各种日常运行管理,实现灌区水资源的优化配置,解决灌区水资源短缺问题。许多学者对单一水库以及水库群优化调度开展了广泛的研究<sup>[1-3]</sup>,将模拟模型<sup>[4]</sup>、多目标规划模型<sup>[5]</sup>、大系统分解协调模型<sup>[6]</sup>、模糊数学模型<sup>[7]</sup>、人工神经网络模型<sup>[8]</sup>、遗传算法模型<sup>[9-10]</sup>等多种理论和方法引入到水资源优化配置中,丰富了水库群联合优化调度问题的研究手段和途径。选取径流资料、灌区用水资料和水库资料进行水库优化调度研究,得到蜻蛉河大型灌区水库优化调度结果,为灌区的抗旱减灾提供客观夯实的数据基础,为相关部门提供较为准确可靠的决策依据。

## 1 研究区概况

蜻蛉河灌区位于云南省楚雄州姚安、大姚两县境内,灌区多年平均降雨量834.7 mm,蒸发量2 096 mm,地表水资源量3.03亿 $\text{m}^3$ ,水资源可利用量为2.82亿 $\text{m}^3$ 。灌区现有中型水库4座,小(一)型水库18座,小(二)型水库85座,小坝塘1 423个;有354个固定抽水站,装机容量15 071 kW,机电井55眼;灌区干渠总长315 km。蜻蛉河灌区以洋派水库为主要供水水源,洋派水库主要通过3条引水沟从4座水库引水,水库关系如图1所示。

灌区范围内共有姚安、大姚两县的12个乡镇,总人口28.05万人,其中农业人口25.88万人。灌区现有总耕地面积2.45万 $\text{hm}^2$ ,设计灌溉面积2.08万 $\text{hm}^2$ 。灌区主要以水库为灌溉水源,洋派水库总库容4 000万 $\text{m}^3$ ,本区产水量756万 $\text{m}^3$ ,不足水量从红梅、胡家山、马游、大康郎水库跨流域引水补充。

收稿日期:2014-06-24; 修回日期:2014-09-18

基金项目:国家科技支撑计划项目(2012BAD40B02);水利部公益性行业专项(201001044)

作者简介:余航(1987-),男,重庆人,硕士,助教,主要从事区域水资源开发与利用方向研究。

通讯作者:王龙(1975-),男,四川射洪人,硕士,副教授,主要从事区域水资源开发与利用方向研究。

红梅水库总库容 1 592 万  $\text{m}^3$ , 控制灌溉面积 673.33  $\text{hm}^2$ ; 胡家山水库总库容 1 310 万  $\text{m}^3$ , 控制灌溉面积 406.67  $\text{hm}^2$ ; 马游水库总库容 325 万  $\text{m}^3$ , 控制灌溉面积 213.33  $\text{hm}^2$ ; 大康郎水库总库容 211 万  $\text{m}^3$ , 控制灌溉面积 266.67  $\text{hm}^2$ 。

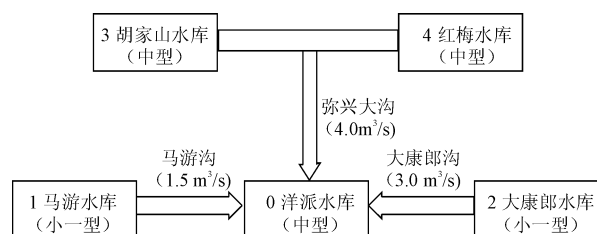


图1 洋派水库引水示意图

## 2 水库联合优化调度模型

蜻蛉河大型灌区一直是楚雄以及滇中乃至整个云南的重要粮食产区。保障灌区可利用水资源,合理分配灌区水资源量,做好灌区水资源管理是保证农业产量,促进灌区农业经济发展的重要因素。但由于气候变化、水库淤积、调度不合理等原因使得灌区农业在干旱条件下可利用水资源减少,造成严重损失。因此,在气候变化、水库淤积不能改变的前提下,为了增加粮食产量,提高农业收入,迫切需要建立一套以水量为目标的优化调度系统,辅助调度人员进行决策,完成水库各种日常运行管理,实现灌区水资源的优化配置,解决灌区水资源短缺问题。

### 2.1 目标函数

洋派水库本区产水量较少,需从红梅等4座水库引水,因此在洋派水库水量一定的情况下以引水量为目标建立水库联合优化调度系统。水库联合优化调度以1个月为时间间隔;以1年为时间周期进行调度;且从11月初进行调度。以年总引水量最大为总目标;以各水库月引水量之和最大为阶段目标,即:

$$\text{总目标: } \max F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{i,j}$$

$$\text{阶段目标: } \max f_j = \sum_{i=1}^m X_{i,j}$$

式中:  $X_{i,j}$  表示第  $i$  个水库第  $j$  阶段的引水量 ( $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ ), 单位万  $\text{m}^3$ ;  $m$  表示水库数量;  $n$  表示阶段。

### 2.2 约束条件

(1) 库容约束: 上游水库在有来水和用水的情况下必须满足自身库容约束, 即:

$$V_{i,\text{死}} \leq V_{i,j} \leq V_{i,\text{限}} \quad (1)$$

其中:

$$V_{i,j} = V_{i,0} + \sum_{k=1}^j R_{i,k-1} - \sum_{k=1}^j Y_{i,k-1} - \sum_{k=1}^j X_{i,k-1} - \sum_{k=1}^j E_{i,k-1} \quad (2)$$

式中:  $V_{i,j}$  表示第  $i$  个水库第  $j$  阶段的蓄水量, 万  $\text{m}^3$ ;  $V_{i,\text{死}}$  为第  $i$  个水库的死库容;  $V_{i,\text{限}}$  为第  $i$  个水库的限制库容, 万  $\text{m}^3$ ;  $V_{i,0}$  为时段初蓄水量, 万  $\text{m}^3$ ;  $R_{i,k-1}$  为第  $i$  个水库第  $k-1$  阶段的来水量, 万  $\text{m}^3$ ;  $Y_{i,k-1}$  为第  $i$  个水库第  $k-1$  阶段的用水量, 万  $\text{m}^3$ ;  $E_{i,k-1}$  为第  $i$  个水库第  $k-1$  阶段的蒸发渗漏损失量, 万  $\text{m}^3$ 。

(2) 引水量约束: 当月上游水库没有来水的情况下, 各个水库引水量必须满足自身当月需求时才能向洋派水库调水。

$$X_{i,j} \leq V_{i,j} - V_{i,\text{死}} - Y_{i,j} - E_{i,j} \quad (3)$$

将式(2) 带入式(3), 并整理得:

$$\sum_{k=1}^j X_{i,k} \leq V_{i,0} + \sum_{k=1}^j R_{i,k-1} - \sum_{k=1}^{j+1} Y_{i,k-1} - \sum_{k=1}^{j+1} E_{i,k-1} - V_{i,\text{死}}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

(3) 引水沟过流限制: 根据实际调查水库引水天数最多为 5 d, 则:

$$X_{1j} \leq 64.8, X_{2j} \leq 86.4, X_{3j} \leq 172.8, X_{4j} \leq 172.8, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

胡家山水库与红梅水库虽然共用一段引水沟, 但可以错开引水, 因此, 引水流量小于引水沟最大过流能力。

(4) 洋派水库库容约束: 引水入洋派水库不能出现弃水, 即:

$$V_{0,j} + R_{0,j} + \sum_{i=1}^m X_{i,j} - Y_{0,j} - E_{0,j} \leq 3660, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

式中:  $V_{0,j}$  为洋派水库  $j$  阶段的蓄水量。

(5) 非负约束: 各个水库引水量不能为负值, 即:

$$X_{i,j} \geq 0 \quad (7)$$

式(4)、(5)、(6)、(7) 构成了本次研究的水库优化调度模型的约束条件。

## 3 模型求解

### 3.1 基础数据

根据统计资料分析, 在保证率为 75% 下的红梅水库、胡家山水库来水量典型年为 2005 - 2006 年; 由于受到资料条件限制, 马游水库、大康郎水库没有

水库统计资料,因此,假设在保证率为 75% 下的来水全部用作牲畜饮水和河道生态用水,即两座水库在 2005 - 2006 年来水量为 0。不计水库的蒸发渗漏损失量。基础数据如表 1 所示。

| 表 1 水库基础数据 |    |          |      |       |       |       |        |       |        |        | 万 m <sup>3</sup> |
|------------|----|----------|------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|------------------|
| 典型年        | 月份 | 万亩综合用水过程 | 马游水库 |       | 大康郎水库 |       | 胡家山水库  |       | 红梅水库   |        | 洋派水库蓄水量          |
|            |    |          | 来水过程 | 用水过程  | 来水过程  | 用水过程  | 来水过程   | 用水过程  | 来水过程   | 用水过程   |                  |
| 2005       | 10 | 0        | 0    | 0     | 0     | 0     | 12.98  | 0     | 8.531  | 0      | 1868.2           |
|            | 11 | 30.02    | 0    | 9.61  | 0     | 12.01 | 0      | 18.01 | 0      | 30.32  | 1700             |
|            | 12 | 11.25    | 0    | 3.6   | 0     | 4.5   | 0      | 6.75  | 0      | 11.36  | 1650             |
|            | 1  | 30.13    | 0    | 9.64  | 0     | 12.05 | 4.02   | 18.08 | 0      | 30.43  | 1630             |
|            | 2  | 26.73    | 0    | 8.55  | 0     | 10.69 | 1.32   | 16.04 | 0      | 27     | 1610             |
|            | 3  | 27.64    | 0    | 8.84  | 0     | 11.06 | 1.68   | 16.58 | 0      | 27.92  | 1480             |
| 2006       | 4  | 18.47    | 0    | 5.91  | 0     | 7.39  | 43.09  | 11.08 | 0      | 18.65  | 1300             |
|            | 5  | 107.45   | 0    | 34.38 | 0     | 42.98 | 9.19   | 64.47 | 55.07  | 108.52 | 1500             |
|            | 6  | 37.34    | 0    | 11.95 | 0     | 14.94 | 0.4    | 22.4  | 0      | 37.71  | 1600             |
|            | 7  | 46.5     | 0    | 14.88 | 0     | 18.6  | 0      | 27.9  | 0      | 46.97  | 1670             |
|            | 8  | 11.55    | 0    | 3.7   | 0     | 4.62  | 30.38  | 6.93  | 15.05  | 11.67  | 1700             |
|            | 9  | 0        | 0    | 0     | 0     | 0     | 0      | 0     | 0      | 0      | 1800             |
|            | 10 | 0        | 0    | 0     | 0     | 0     | 53.41  | 0     | 0      | 0      | 1900             |
| 时段初蓄水量     |    |          | 200  |       | 150   |       | 675.56 |       | 685.78 |        | 1868.2           |
| 死库容        |    |          | 8    |       | 1.1   |       | 32     |       | 375    |        | 45               |

3.2 结果

利用上述基础数据,带入水库联合优化调度模型可得水库优化调度结果,如表 2 所示。

| 表 2 上游水库引水入洋派水库结果 |       |       |       |        |       | 万 m <sup>3</sup> |
|-------------------|-------|-------|-------|--------|-------|------------------|
| 阶段                | 月份    | 马游水库  | 大康郎水库 | 胡家山水库  | 红梅水库  | 阶段目标             |
| 0                 | 10    | 0     | 0     | 0      | 0     | 0                |
| 1                 | 11    | 0.89  | 0     | 134.15 | 14.41 | 149.46           |
| 2                 | 12    | 1.10  | 0.80  | 149.00 | 0.90  | 151.80           |
| 3                 | 1     | 1.14  | 0.84  | 5.21   | 0.89  | 8.08             |
| 4                 | 2     | 1.14  | 0.84  | 5.21   | 0.89  | 8.08             |
| 5                 | 3     | 1.14  | 0.84  | 5.21   | 0.89  | 8.08             |
| 6                 | 4     | 1.14  | 0.84  | 5.21   | 0.89  | 8.08             |
| 7                 | 5     | 61.22 | 1.90  | 5.21   | 0.90  | 69.23            |
| 8                 | 6     | 1.14  | 0.84  | 149.00 | 0.85  | 151.83           |
| 9                 | 7     | 1.28  | 0.73  | 7.15   | 0.90  | 10.06            |
| 10                | 8     | 2.43  | 0.85  | 11.36  | 0.90  | 15.53            |
| 11                | 9     | 3.58  | 0.80  | 24.31  | 7.75  | 36.44            |
| 12                | 次年 10 | 4.73  | 0.80  | 37.33  | 8.72  | 51.58            |
| 引水总量              |       | 80.93 | 10.08 | 538.35 | 38.88 | 668.25           |

根据表 2 可知,在保证率为 75% 的情况下,上游水库向洋派水库引水总量为 668.25 万 m<sup>3</sup>,其中 11、12、8 月引水最多,分别为 149.46 万、151.80 万、151.83 万 m<sup>3</sup>。4 座水库中胡家山水库向洋派水库

引水最多为 538.35 万 m<sup>3</sup>,大康郎水库引水最少为 10.08 万 m<sup>3</sup>,而红梅水库由于蓄水较少、死库容较多,且用水较大导致引水入洋派水库也较少。

4 结 语

本文根据灌区水库资料,以引水量最大为目标建立了灌区水库优化调度模型。得到在保证率为 75% 的情况下,上游水库向洋派水库引水总量为 668.25 万 m<sup>3</sup>,其中 11、12、8 月引水最多,分别为 149.46 万、151.80 万、151.83 万 m<sup>3</sup>。4 座水库中胡家山水库向洋派水库调水最多,大康郎水库调水最少。该模型以多水库为水源向洋派水库引水,可得到不同频率下的优化调度方案,为灌区合理充分利用水资源以及灌区的抗旱减灾提供客观夯实的数据基础,为方案决策提供科学合理的理论技术支持。

参考文献:

[1] Ahmed I. On the determination of multi - reservoir operation policy under uncertainty [ D ]. Tucson, Arizona: The University of Arizona, 2001.

[2] 周晓阳,张勇传,马寅午. 水库系统的辨识型优化调度方法[ J ]. 水力发电学报,2000,19(2):74 - 86.

破坏,各相应因素对管网爆管的相对重要性权重分别为:0.4778,0.1937,0.1875,0.0785,0.0625;

(2)研究中证实IAHP在市政供水管网爆管影响因素权重分析中引入IAHP是可行的,该方法能够避免主观打分所引起的不确定性,引入数学模式,定量确定各因素对管网爆管事故的实际影响程度,且为计算机实现过程提供理论基础;

(3)IAHP在构造判断矩阵的过程中引入最优传递矩阵,能同时对众多的爆管因素进行分析,使其自然满足一致性要求,并提高计算的速度,为解决多因素、复杂逻辑关系的供水管网问题提供新方向、新思路。

### 参考文献:

- [1] 马乐宁,刘文君,徐洪福.供水管道爆漏事故影响因素实例分析[J].给水排水,2006,32(9):86-89.
- [2] 方丹霞,陈明.基于GIS的供水管道爆管因素空间分析[J].城市勘测,2007(2):30-32.
- [3] 狄婉茵,李树平,梁小光,等.2010年国内媒体报道给水爆管事故分析[J].中国公共安全(学术版),2011(2):1-5.
- [4] 苏文龙.基于AHP的供水管网漏损影响因素分析[J].山西建筑,2010,36(30):204-205.
- [5] 张勤,李广浩,张智,等.给水管网渗漏影响因素关联度的灰色评价分析[J].给水排水,2006,32(2):27-30.

- [6] 李震,裴亮,田一梅.基于FAHP的供水管道爆管因素权重的确定[J].中国给水排水,2009,25(9):75-78.
- [7] 田云生.给水管道爆裂的原因和对策[J].科技资讯,2006(6):41-42.
- [8] Morais D C, Almeida A T. Group decision - making for leakage management strategy of water network [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2007, 52(2):441-459.
- [9] 张立秋,张朝升,李淑更.市政给水管道路爆管原因与对策研究[J].广州大学学报(自然科学版),2009,8(2):72-76.
- [10] 郎鹏凯.基于GIS系统的城市供水管网漏损评价方法研究[D].太原:太原理工大学,2010.
- [11] 陈玉立.广州市芳村区供水管网现状分析及漏失对策研究[D].广州:广东工业大学,2012.
- [12] 任力,侯泽照.供水企业信息系统建设探索[J].给水排水,2003,29(1):85-88.
- [13] 马力辉,崔建国.供水管网检漏技术与漏损控制模型研究[J].科技情报开发与经济,2003,13(4):129-130.
- [14] Saaty T L. There is no mathematical validity for using fuzzy number crunching in the analytic hierarchy process [J]. Journal of Systems Science and System Engineering, 2006, 15(4):457-464.
- [15] 张勤,华佩,张晋.改进AHP-灰色关联分析的给水厂排泥水处理工艺优选模型[J].土木建筑与环境工程,2010,32(3):133-137+144.

(上接第92页)

- [3] Huang W C, Yuan L C, Lee C M. Linking genetic algorithms with stochastic dynamic programming to the long-term operation of a multireservoir system [J]. Water Resources Research, 2002, 38(12):1304.
- [4] 李会安,黄强,沈晋,等.黄河干流上游梯级水量实时调度自优化模拟模型研究[J].水力发电学报,2000,19(3):55-61.
- [5] Tauxe G W, Mades D M, Inman R R. Multiobjective dynamic programming with application to a reservoir [J]. Water Resources Research, 1979, 15(6):1403-1408.
- [6] 刘俊萍,黄强,田峰巍,等.汉江上游梯级发电与航运的

- 优化调度研究[J].水力发电学报,2001,20(4):8-17.
- [7] Dubrovin T, Joima A, Turunen E. Fuzzy model for real-time reservoir operation [J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2002, 128(1):66-73.
- [8] 缪益平,纪昌明.运用改进神经网络算法建立水库调度函数[J].武汉大学学报(工学版),2003,36(1):42-44+58.
- [9] 畅建霞,黄强,王义民.基于改进遗传算法的水电站水库优化调度[J].水力发电学报,2001,20(3):85-90.
- [10] 王大刚,程春田,李敏.基于遗传算法的水电站优化调度研究[J].华北水利水电学院学报,2001,22(1):5-10.