

# 基于不同模型的沂河水资源优化配置分析

王 镇

(临沂市兰山区施庄水库管理中心, 山东 临沂 276000)

**【摘要】**以沂河流域为例, 针对当地实际情况和不同配置需求, 构建水量调度模型(DSM)、规划指标调度模型(PIM)和应急调度模型(ESM)等3个水资源优化调度模型, 展开基于不同模型的水资源优化配置分析。通过对各模型的优化配置方案及其社会经济耦合度分析, 认为水量调度模型(DSM)具有比较显著的综合优势, 推荐在沂河流域水资源优化配置中选用。

**【关键词】**沂河; 水资源; 优化配置; 调度模型

**【中图分类号】**TV213.4

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1009-6159(2025)-07-0070-04

## Analysis of Optimal Allocation of Water Resources in Yihe River Based on Different Models

WANG Zhen

(Shizhuang Reservoir Management Center of Lanshan District, Linyi Municipality, Linyi, Shandong 276000, China)

**Abstract:** Taking the Yihe River Basin as an example, based on the local actual situation and different allocation demands, this article presents three optimal water resource scheduling models, namely the Water Quantity Scheduling Model (DSM), the Planning Indicator Scheduling Model (PIM), and the Emergency Scheduling Model (ESM), and conducts an analysis of the optimal allocation of water resources based on different models. Through the analysis of the optimal allocation schemes of each model and their socio-economic coupling degrees, it is considered that the Water Quantity Scheduling Model (DSM) has relatively significant comprehensive advantages, and it is recommended to be selected for the optimal allocation of water resources in the Yihe River Basin.

**Key words:** Yihe River; Water resources; Optimal allocation; Scheduling Model

随着人类社会的迅速发展, 对淡水资源的需求量呈现出不断上升的趋势, 而工业化导致的水资源污染又进一步加剧了水资源供需矛盾。我国人均水资源量不足世界平均水平的1/3, 同时水资源的时空分布明显不均, 与我国的社会经济发展战略匹配度不高。面对日趋紧张的水资源供需矛盾, 一方面需要加大水库等水利工程建设, 有效改变流域内水资源的时间分布, 提升水资源整体利用率<sup>[1]</sup>; 另一方面还应加大流域水资源的优化配置。显然, 合理的水资源调度规则是充分发挥有限水资源的巨大作用和价值的重要条件, 不仅可以保证水资源的合理使用, 同时还可以减少弃水, 实现流域水资源利用效益的最大化<sup>[2]</sup>。由此

可见, 展开流域水资源优化调度和配置研究具有重要的理论和实践意义。

## 1 研究区概况

沂河, 又称沂水, 发源于山东省沂源县, 向南流经山东省8个县, 最后经江苏徐州注入骆马湖, 沂河干流全长386 km, 流域面积1.16万km<sup>2</sup>。其中, 山东省境内干流长287 km, 流域面积1.08万km<sup>2</sup>。沂河的年径流量为35.1亿m<sup>3</sup>, 水资源相对比较丰富, 主要支流多分布在右岸, 主要有东汶河、蒙河、白马河等。目前, 沂河水系上共建有

收稿日期: 2025-01-19

作者简介: 王镇(1979—), 男, 工程师

5座大型水库及22座中型水库。但是,沂河的径流量年际变化较大,最大值和最小值分别为65.9亿 $m^3$ 和8.5亿 $m^3$ ,流域降水主要集中于汛期的6-9月,其中7月、8月的径流量占全年径流量的60%以上。由于径流量年内和年际变化较大,流域内修建的水库对水资源的优化配置起到了关键性的作用,即该研究的重点。

## 2 模型与方法

### 2.1 流域概化

流域概化是进行水资源优化配置研究的重要基础,科学、合理的流域概化对提升水资源优化配置计算效率和质量具有重要意义<sup>[9]</sup>。在研究中结合沂河流域的实际情况,采用点、线、面相结合的系统概化方法建立沂河流域水库、河道、用水单元、行政区等不同元素之间的拓扑关系。鉴于沂河流域内的大型水库只有5座,且这5座大型水库的流域水资源配置方面发挥着不可替代的重要作用。因此,研究首先对这5座大型水库进行概化,到流域内的5个汇水区。在用水单元方面,沂河主要流经山东省的淄博市、临沂市和江苏省的徐州市,因此概化为淄博用水单元、临沂用水单元和徐州用水单元等3个用水单元,其拓扑概化关系图如图1所示。

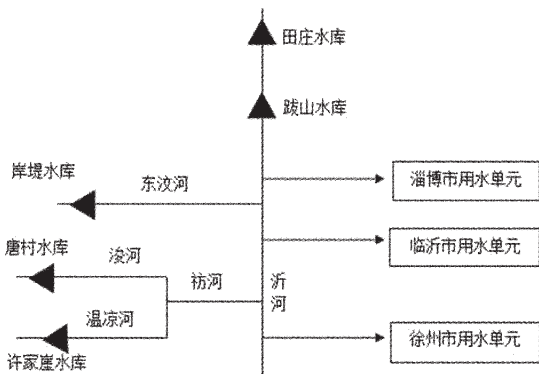


图1 研究区拓扑关系示意图

### 2.2 基础数据来源

#### 2.2.1 径流预报

准确的径流预报数据是水资源优化调度的必要前提和基础。此次研究中利用BP人工神经网络进行研究区中长期径流预报<sup>[10]</sup>。在模型构建和预报过程中,首选研究区内的6个主要水文站点1984—2023年共40年的实测径流资料进行可行性验证。其中,利用1984—2018年的资料进行模

型参数率定,利用2018—2023年的资料进行检验。最后,利用模型预报2025年的沂河流域月径流量,再利用入库站累加的模式计算获取全面来水量,具体计算结果见表1。通过计算可知,沂河流域2025年的最大来水量为16.79亿 $m^3$ 。沂河流域7-9月的来水量较大,原因是流域降水主要集中于上述3个月份,这当然也给流域水资源优化配置带来一定难度。

表1 沂河流域来水量计算结果  $m^3/s$

月份	各水库入库径流量				
	田庄水库	唐村水库	许家崖水库	跋山水库	岸堤水库
1	0.66	5.79	0.95	1.63	1.89
2	0.63	5.52	0.90	1.55	1.80
3	0.34	2.98	0.48	0.84	0.97
4	0.43	3.72	0.61	1.05	1.21
5	0.06	0.50	0.08	0.14	0.17
6	0.54	4.73	0.78	1.33	1.54
7	4.64	40.52	6.66	11.40	13.22
8	14.28	124.56	20.46	35.02	40.65
9	6.75	58.96	9.68	16.58	19.24
10	1.77	15.48	2.54	4.35	5.05
11	1.24	10.87	1.78	3.06	3.54
12	0.97	8.49	1.40	2.39	2.77

#### 2.2.2 需水量预测

获取合理的需水情况也是进行流域水资源优化配置的重要条件。为了获取科学合理的沂河流域水资源需求情况,需要对流域内的生活、工业、农业、生态等各方面的需水量进行合理预测,结果见表2。由于徐州市工业和生活用水不从沂河流域取水,因此这两项的预测结果为0。另一方面,由于临沂市工业起步较早,第二产业发展比较迅速,因此该市的工业用水量占全部工业用水总量的比重较大,达到84.7%。

表2 沂河流域2025年需水量预测结果  $万 m^3$

用水单元名称	农业用水	生活用水	工业用水	生态用水	合计
淄博市用水单元	3 545.73	1 233.88	118.44	60.87	4 958.92
临沂市用水单元	46 212.46	19 132.75	653.58	55.52	66 054.31
徐州市用水单元	27 318.84	0.00	0.00	45.53	27 364.37
合计	77 077.03	20 366.63	772.02	161.92	98 377.60

### 2.3 水资源优化配置模型

#### 2.3.1 构建思路

结合沂河流域的实际情况,构建以下3种调度模型:一是考虑沂河流域的水资源调度和社会经济发展的协调性以及各用水单元用水效率,将用水效率最高为调度目标,构建水量调度模型(DSM),以最大化发挥有限水资源的价值。二是考虑沂河流域是重要的水资源调出区,作为与DSM模型的对比,充分考虑外调水量需求,构建水资源规划指标调度模型(PIM)。三是考虑缺水区域(流域内和流域外)的应急调度需求,以缺水量最小为目标,构建应急调度模型(ESM)。

考虑沂河流域水资源调度管理的实际情况,确定以月为单位的调度时段,用 $t$ 表示( $t=1,2,\dots,12$ );研究中以淄博市、临沂市和徐州市等3个用水单元的月调度水量为决策变量,用 $x_{tj}$ 表示。

### 2.3.2 DSM模型

1)目标函数:

$$\min y = \sum_{j=1}^3 Q_{tj} - \sum_{t=1}^{12} x_{tj} \quad (1)$$

式中: $y$ 为调度时段内的总缺水量,万 $\text{m}^3$ ;  $Q_{tj}$ 为调度时段内各用水单元需水量,万 $\text{m}^3$ 。

$$x_{tj} = M_{tj} - Q_{stj} \quad (2)$$

式中: $M_{tj}$ 为调度时段内各单元的可用水资源总量,万 $\text{m}^3$ ;  $Q_{stj}$ 为调度时段内各单元的外调水量,万 $\text{m}^3$ 。

2)约束条件。该模型的约束条件主要包括外调水量约束、需水量约束和水库水位约束,即:

$$Q_{stj} \leq Q_{0ij} \quad (3)$$

$$x_{tj} \leq Q_{tj} \quad (4)$$

$$\min Z_{ui} \leq Z_{ui} \leq \max Z_{ui} \quad (5)$$

式中: $Q_{0ij}$ 为沂河流域跨流域调水工程设计调配水量,万 $\text{m}^3$ ;  $Z_{ui}$ 为不同水库、不同调度时段的坝前水位,m;  $\min Z_{ui}$ 、 $\max Z_{ui}$ 分别为水库水位满足正常运行需求的最低和最高水位。

### 2.3.3 PIM模型

1)目标函数:

$$\min y = \sum_{j=1}^3 Q_{tj} - \sum_{t=1}^{12} x_{tj} \quad (6)$$

2)约束条件。该模型的约束条件主要包括外调水量约束、需水量约束和水库水位约束,即:

$$Q_{stj} \leq Q_{ktj} \quad (7)$$

式中: $Q_{ktj}$ 为外调水规划调配水量,万 $\text{m}^3$ 。

其余约束条件与DSM模型相同。

### 2.3.4 ESM模型

1)目标函数:

$$\min y = P_j \sum_{j=1}^3 Q_{tj} - \sum_{t=1}^{12} x_{tj} \quad (8)$$

式中: $P_j$ 为各用水单元的供水优先系数,其具体数值由《沂河流域水资源配置报告》中的相关要求确定。

2)约束条件。该模型的约束条件主要包括外调水量约束、需水量约束和水库水位约束,约束条件与PIM模型相同。

### 2.4 求解方法

研究中以沂河流域的来水量和需求数据为依据,利用Lingo软件及单纯形法对上文构建的3种调度模型进行编程求解,得出沂河流域2025年不同调度模型的优化调度方案。根据获取的优化调度方案计算出各用水单元不同月份的用水保证率,以便对3种不同计算模型进行对比分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 各模型调度结果

根据构建的模型和模拟方法模拟获取的沂河流域2025年优化调度方案,计算出各用水单元用水保证率,结果见表3。从表3中可知,相对淄博市和临沂市用水单元,徐州市用水单元的用水保证率相对较高,原因可能是徐州市用水单元中仅有生活和生态用水需要从沂河水系取水,而沂河流域的水资源不会用于徐州市的农业和工业用水。沂河流域3个用水单元缺水主要发生在春季的2-4月,原因是春季降雨量较小,而经过冬季用水之后各水库的储备水量相对不足。从不同模型的计算结果来看,DSM模型的用水保证率最低,其次是PIM模型,ESM模型的用水保证率最高。其中,ESM模型为应急供水模型,在该模型下,沂河流域3个用水单元的供水优先系数相对较大,即在有限水资源调配过程中,应该先满足沂河流域各城市用水需求,在此基础上尽量满足域外调水需求。因此,该模型虽然可以显著提升3个用水单元的用水保证率,但是引沂济淮、引沂入沭跨流域调水工程的输水量产生较显著影响,会导致受水区水资源供给和调配困难。

### 3.2 社会经济耦合度分析

水资源是社会经济发展的重要基础性资源,

表3 各用水单元用水保证率计算结果 %

月份	用水保证率								
	淄博市用水单元			临沂市用水单元			徐州市用水单元		
	DSM	PIM	ESM	DSM	PIM	ESM	DSM	PIM	ESM
1	96	100	91	98	100	98	96	100	100
2	85	88	91	83	87	96	94	95	100
3	82	88	99	87	87	98	87	87	96
4	85	87	100	85	87	100	94	98	96
5	85	90	100	85	87	100	96	99	100
6	99	100	100	96	100	100	97	100	100
7	100	100	100	100	100	100	100	100	100
8	100	100	100	100	100	100	100	100	100
9	100	100	100	100	100	100	100	100	100
10	100	100	100	100	100	100	100	100	100
11	100	100	100	100	100	100	100	100	100
12	100	100	100	100	100	100	100	100	100
均值	94.33	96.08	98.42	94.50	95.67	99.33	97.00	98.25	99.33

两者之间具有十分复杂的关系,较高的用水保证率未必能获得最优社会经济效果。因此,针对上述优化模型和方案进行社会经济耦合协调度分析就显得尤为必要。

研究中利用水资源分配方案和雷社平等学者提出的社会经济发展耦合协调度检验各方案与经济适应程度,以便对不同模型做出更科学的评价<sup>[9]</sup>。在检验过程中利用淄博市、临沂市和徐州市政府公布的2023年的工业、农业以及第三产业的生产总值、单位GDP耗水量等数据,按照近5年当地相关数据的变化数据均值推求2025年的相关数据并用于耦合度分析计算,结果显示DSM模型方案的耦合协调度最高为0.8053,其次是ESM模型方案,为0.7855,PIM模型方案的耦合协调度最低,为0.7721。显然,DSM模型方案更有利于发挥其对区域经济发展的支撑和促进作用。虽然DSM模型方案和ESM模型方案相比,供水保证率相对偏低,但是两者的差距并不显著,而DSM模型方案可以通过优化调度向域外受水区提供更多水资源,这对于当地经济发展和生态建设亦有良好的助推作用。综合上述,ESM模型为最佳,推荐在沂河流域水资源优化配置过程中选用。

### 3.3 建议

根据上文分析,ESM模型沂河流域水资源优化配置方面的应用效果最佳。但是,从表3来看,基于该模型的调度结果仍不能使供水保证率全

部达到100%,在冬春季缺水季节的1-4月,3个用水单元仍存在不同程度的缺水问题。针对这一问题提出如下建议:一是进一步加大水资源调度研究,在现有水资源禀赋和工程条件的基础上,通过更合理的调度提升水资源的利用效率,减少弃水量;二是加大水资源保护力度,特别是加强污水处理厂的建设和运行水平,提高中水利用率,加强农业基础设施建设,大力发展节水农业,最大限度减少工农业生产队天然水资源的依赖度;三是进一步加大流域内的水利工程建设,通过新建水库和原有水库的清淤,提升水库等水利工程需水量,有效拦截夏季强降雨产生的雨洪资源,特别是提升水库群对水资源的多年调节能力,提升冬春季缺水期的供水量。

### 参考文献

- [1] 徐铭蔚,康德奎,王万祯.石羊河流域水资源多目标优化配置研究[J].甘肃水利水电技术,2023,59(5):14-18.
- [2] 杨文博.大凌河流域水资源优化配置及模拟分析[J].黑龙江水利科技,2022,50(6):77-81.
- [3] 李家乐,林鹏飞,李彦彬,等.基于水资源配置的空间均衡度评价方法[J].南水北调与水利科技(中英文),2024,22(2):215-227.
- [4] 游进军,贾玲,杨朝晖,等.协调公平与效率的“四水四定”研究I:方法与模型[J].水利学报,2024,55(2):158-166.
- [5] 雷社平,解建仓,黄明聪,等.区域产业用水系统的协调度分析[J].水利学报,2004,(5):14-19.

(责任编辑 崔春梅)