

黄河干流水量调配分解协调组合模型的构造研究

王 煜^{1,2}, 黄 强¹, 王义民¹, 杨立彬²

(1. 西安理工大学, 陕西 西安 710048; 2. 水利部黄河水利委员会勘测规划设计研究院, 河南 郑州 450003)

摘要: 针对黄河干流水量调度工程的特点和管理现状, 提出了黄河干流工程非汛期水量调度和河段配水模型构造的原则、目标和大系统分解协调方法, 构建了包含上游子系统水库调度模型、三小子系统水库调度模型、河段配水模型和多方案优选模型在内的组合模型。组合模型的特点是开发效率高、灵活性和适用性强、数据流程清楚。提出了组合模型的求解方法。初步应用验证了组合模型的正确性和实用性。

关 键 词: 水量调度; 组合模型; 黄河

中图分类号: P732

文献标识码: A

文章编号: 1001-6791(2004)03-0387-04

1 模型构造的原则、目标和大系统分解协调方法

针对黄河干流水量调度的工程特点和管理现状, 提出了干流工程水量调度的原则、目标和大系统分解协调方法, 建立了包含干流水量调度、河段配水和多方案优选在内的组合模型, 给出了模型的求解方法。

1.1 黄河干流工程水量调度的基本原则

鉴于黄河干流水量调度的复杂性, 为了合理利用黄河水资源, 尽可能满足各方面的要求, 应科学制定黄河干流工程水量调度的基本原则, 作为调度的基础。非汛期水量调度应遵循以下基本原则: 实行全河统一调度、上下游兼顾; 实行分级调度和断面控制, 以省际配水为主, 省内配水原则上由各省自行负责, 流域机构水调部门只提出指导性意见; 以 1987 年国务院分水方案为基础, 并根据黄河来水和灌区降水情况适当修正; 优先满足生活、工业用水, 保证低限生态环境用水, 优先分配农业用水中的关键水, 尽量保证农业生产的稳定性; 实现地区公平性; 促进节约用水; 丰蓄枯补, 充分发挥龙羊峡水库的多年调节作用。

1.2 黄河干流工程水量调度和河段配水的目标

黄河水量调度涉及防洪、防凌、生态环境、供水、发电等多个方面, 涉及 4 个调节水库、6 个径流式电站, 各工程主要任务不同, 功能各异。将黄河干流划分为 12 段, 19 个节点, 如图 1 所示。

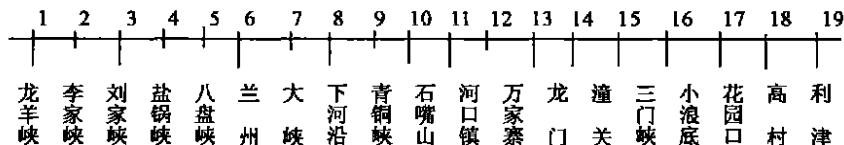


图 1 黄河干流节点划分示意图

Fig. 1 Schematic nodes map of the Yellow River stem

此次提出的黄河干流水量调度目标包括四个方面的内容, 即防洪防凌目标、生态环境目标、供水目标及发

收稿日期: 2002-06-10; 修订日期: 2002-10-10

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973) 资助项目 (G1999043608)

作者简介: 王 煜 (1968 -), 男, 河南郑州人, 水利部黄委会勘测规划设计研究院高级工程师, 博士研究生, 主要从事水资源规划、调度和系统分析方面的工作。E-mail: wangyu@yrccl-design.com.cn

电目标,四个目标具有明显的等级次序。首先必须保证防洪和防凌安全,这是黄河水量调度的最基本目标。其次提供必要的生态环境用水,通过干流水量调度维持河道不断流。第三追求缺水量最小并且分布合理,在干旱年份,供水量不能满足需水要求时,通过合理调度,优化径流的时空分布过程,使缺水量最小并且分布合理。第四在实现上述目标的前提下,优化上游梯级以及三门峡水库和小浪底水库的运行方式,达到上游梯级和三门峡、小浪底水库发电指标最优。

1.3 黄河干流工程水量调度的大系统分解协调方法

由上述分析,黄河干流水量调度实质上是一个复杂大系统的多目标优化问题,在系统求解时,将防洪、防凌目标转化为约束条件,从而干流水量调度具有生态环境目标、供水目标和发电等3目标,即保证生态环境用水、缺水量最小且分布合理、发电指标最优。根据水量调度系统的特点,本次采用大系统分解协调方法进行干流水量调度大系统多目标问题的求解。

(1) 系统分解 将干流水量调度系统分解为上下两个子系统,以包括上游水电梯级在内的上游水调系统为上游子系统(河源至河口镇);以包括三门峡水库和小浪底水库在内的三门峡以下地区为三小子系统(潼关至河口镇),河口镇至潼关采用考虑用水的流量演进,以潼关流量为耦合。两个子系统相对独立,只有水量补偿,不发生电力联系。万家寨水库作为单独一部分,由于其调节能力较小,在长期调度中只作为一个流量节点计算其发电量,而不考虑其调节性能,在中短期调度中可考虑水库的调节性能。

(2) 系统协调 根据干流水量调度大系统以及上游子系统和三小子系统的特点,此次采用关联预估方法求解,即可行协调法。上游子系统和三小子系统的调度目标有所不同,上游子系统的调度目标是上游梯级最小出力最大,三小子系统的调度目标是在满足下游生态用水保证河道不断流的条件下,首先追求缺水量最小,其次是发电量最大。在求解上游子系统后,获得河口镇流量过程,演进至潼关,获得三小子系统的水量输入,进行三小子系统的求解,最后形成一个完整的干流水量调度方案。之后,利用潼关流量进行多次校正,以此来改变两个子系统的水量分配,反复求解,直至求得整个系统目标最优为止。

系统协调时,需要评价每次获得的干流水量调度方案并确定潼关流量。追求系统缺水平均化的协调过程为:

进行上游子系统调度,首轮调度运算时,其缺水量 $s_1^0 = 0$, 获得潼关流量 Q_T^0 ; 以 Q_T^0 为输入条件进行三小子系统调度,其缺水量为 s_2^0 , 若 $s_2^0 = 0$, 则表示系统整体不缺水,调度方案完成;

在 $s_2^0 \neq 0$ 时,对上游子系统增加约束条件,潼关流量 $Q_T \geq Q_T^0 + \Delta(s_2^0)/2$, $\Delta(s_2^0)$ 与调度时段数、时段长以及单位有关,再次进行上游子系统的调度计算,其缺水量 s_1^1 , 获得 Q_T^1 ; 以 Q_T^1 为输入条件进行三小子系统调度,其缺水量为 s_2^1 , 根据 s_1^1 和 s_2^1 的关系,再次构造潼关流量 Q_T 的约束条件,反复迭代,至 s_1^i 和 s_2^i 的差值满足要求时完成一个调度方案。在追求缺水非平均化分布时,可以采用多指标评判方法,考虑系统总缺水量、缺水分布和发电量等指标,构造适宜的 $\Delta(s_2^i)$ 进行两个子系统的协调。干流水量调度系统分解协调示意图见图2。

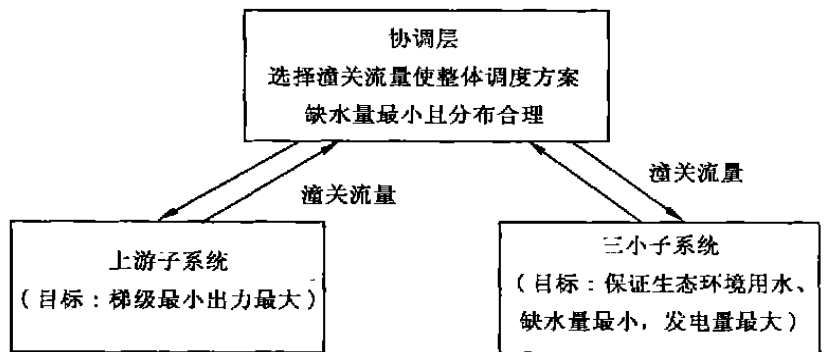


图2 黄河干流水量调度系统分解协调示意图

Fig.2 Schematic map of system decomposition and co-ordination of water dispatching of the Yellow River

在获得调度方案后,还可以建立相近的多个方案,形成备选方案集,之后采用多目标优选技术或者专家参加的可视化经验评判方法,最终确定理想方案。

2 基于分解协调的组合模型构造

2.1 组合模型的总体框架

采用大系统分解技术和组合模型开发技术,分别开发上游子系统和三小子系统,再进行组合集成,即在上游子系统和三小子系统分别建模的基础上,将两个具有不同形式、不同目标的调度模型和方案优选决策模型组合在一起形成组合模型,通过模型间耦合变量对系统整体进行协调,寻找系统满意解。之后对多个满意方案进行多方案择优,获得理想的水量调度方案。组合模型如图3所示。

采用上述组合模型构造框架的优点在于:各个模型可以独立开发,开发效率高,各个模型的灵活性和适用性强。数据流程清楚,上游子系统的输出之一是河口镇流量过程,经过河口镇到潼关的流量演进,得到潼关流量过程,以此作为三小子系统的输入,再进行三小子系统的优化,获得全干流的水量调度方案,经过评价后,确定潼关的目标流量过程,再反馈至上游子系统,进行下一轮的计算,直至满足评价条件为止。

2.2 主要功能模型^[1]

(1) 上游子系统水库调度模型 根据上游系统工程特点和水量调度需要,上游系统水库模型采用自迭代模拟优化方法,该模型以计算期内梯级最小出力最大为目标,通过在模拟模型中增加在线辨识反馈结构,使模型既有较强的仿真性,又有自优化功能。

(2) 三小子系统水库调度模型 根据三小系统工程实际,考虑到三小水库承担的主要任务及目标间的明显等级次序,为增加水库调度的灵活性和满足对比分析的需要,分别建立了等级优化调度模型和模拟调度模型,模拟模型建立在经验性的调度规则之上,优化模型和模拟模型可以相互对比验证。

(3) 河段配水模型 河段配水就是在工程调度的基础上,将干流水资源按一定原则科学合理地分配到各个用户,是一个资源配置问题。水量分配方法主要包括优化方法、同比例折减方法、权重分配方法、用户协商分配方法等。

(4) 多方案优选模型 建立水量调度方案评价指标体系,采用非劣解生成技术,对调度方案的防凌、供水、发电、风险方面的7项指标进行综合评价,获得理想方案。

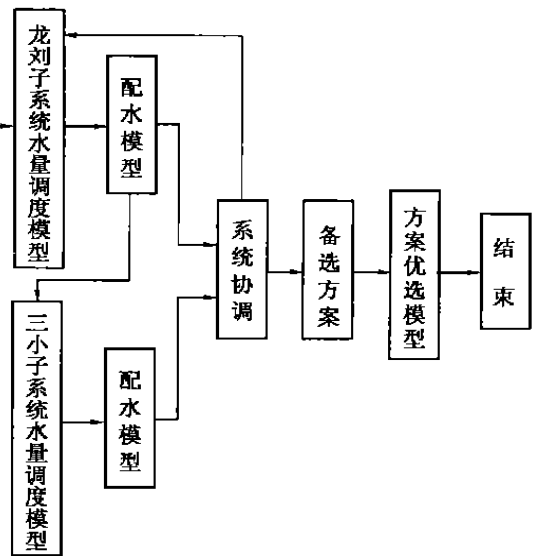


图3 组合模型求解示意图

Fig.3 Schematic map of solving of combined models

3 组合模型求解

组合模型是一个模型体系,各子模型分别求解,通过模型间耦合变量进行整体协调。由图3所示,具体方法为:

(1) 首先在不考虑潼关流量约束的情况下,求解上游子系统,得到潼关断面流量 Q_T ;

(2) 将潼关断面流量 Q_T 作为三小子系统的输入,求解三小水库调度模型及河段配水模型,得出全干流水调度方案;

(3) 由协调层检验结果的合理性和可行性,评价缺水量及其分布,若调度方案满意,则作为备选方案存入方案库中,供下步多方案寻优;若调度方案不是满意方案,则对上游子系统增加一个潼关流量 Q_T 的约束条件,并重复步骤(2)、(3),直至获得满意方案为止;

(4) 对获得的多个备选方案, 应用方案优选模型或者用户参与的可视化经验评价方法, 进行多方案比选, 提出理想方案。

4 组合模型的应用领域

组合模型的应用领域有两个, 一是制定黄河长期和中期水量调度方案, 二是进行方案试验。

首先, 通过长短嵌套、滚动决策的方法, 应用组合模型可以制定黄河干流长期调度和中期水量调度方案。长短嵌套就是采取长、中期调度相结合, 以长期调度结果作为中期调度的控制条件, 滚动修正就是逐时段更新水量预报、系统状态, 并根据上时段水量结算情况, 重新计算余留期调度方案, 即对先前提出的方案进行修正, 实施面临时段方案, 以此滚动至调度期结束。

其次, 应用组合模型可以进行方案试验, 如龙羊峡水库不同补水方案的比较、凌期不同流量限制、河口镇不同补水流量等条件下的黄河干流非汛期水量调度方案等, 进行方案的对比和优选。

参考文献:

- [1] 王 煜, 杨立彬, 侯传河, 等. 利用面向对象技术开发研究水量调度决策支持系统[J]. 水科学进展, 2000, 11(4): 441 - 446.

Study on combined decomposition-coordination model for water dispatching of main steam of the Yellow River^{*}

WANG Yu^{1,2}, HUANG Qiang¹, WANG Yi-min¹, YANG Li-bin²

(1. Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;

2. Reconnaissance, Planning, Design & Research Institute, YRCC, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: Based on the characters of water dispatching project in the main steam of Yellow River, this paper presents the principle and purpose of the sustainable water dispatching, and establishes a combined decomposition-coordination models for water dispatching of the main steam of Yellow River, which consists of the operation model of cascade reservoirs in the up reaches, the combined operation model of Sanmenxia reservoir and Xiaolangdi Reservoir in the middle reaches, the spatial allocation model, and the optimization model of scenario evaluation. The model presented is advantageous in efficiency and flexibility of development, easy for application and clear data flow. The solving strategy of the combined models is also presented. The preliminary applications show that the model is successful and efficient.

Key words: water dispatch; combined decomposition-coordination models; Yellow River

* The project is supported by the National Basic Research Program of China (No. G1999043601).