

水资源供需过程平衡应用 Matlab/Simulink 建模仿真探讨

朱光华

(福建省水利水电勘测设计研究院, 福建 福州 350001)

摘要 针对目前国内外对水资源供需过程平衡通常是建立基于数据库系统的仿真模型, 提出利用成熟仿真软件 Matlab/Simulink 来建立水资源供需仿真模型的方法, 可大幅度提高建模速度和降低费用。介绍 Simulink 系统的特点: 系统中有丰富的内置函数和现成模块可供建模使用, 水通过管道、水渠及河流的传输关系可用 Simulink 信号线来表达, 水资源供需过程平衡采用的计算时间长度可通过设置仿真时间步长来解决, 但 Simulink 系统尚无水库调节模块, 这是制约 Simulink 应用于水资源领域建模仿真的关键。重点阐述了在 Simulink 中建立水库等流量调节子系统和变流量调节子系统的方法, 并举例说明应用 Simulink 建立水资源供需仿真模型的可行性与实用性。

关键词 水资源供需平衡; Matlab/Simulink 建模仿真

中图分类号 TV21

文献标识码 A

文章编号 1006-7647(2008)S1-0016-03

水资源供需平衡分析计算是做好水资源规划、开发利用和管理的重要基础工作, 经常采取供需总量平衡的方法, 由于精度较粗, 已越来越不适应今后工作的要求, 今后水资源供需平衡不仅要分析计算总量平衡情况, 更要分析计算长系列逐月(或旬)的供需平衡过程情况。针对水资源供需过程平衡, 目前国内外通常的做法是针对具体流域或区域, 建立基于数据库系统的水资源仿真模型^[1], 再进行水资源供需过程平衡分析计算。这是一种有效的办法, 但建立模型的过程费时费力, 费用也不菲, 移植性和扩充性较不便, 另外虽说是仿真模型, 但用户看不见模型内部的结构、逻辑关系等, 只能看到输出的结果, 这也不能不算是一个缺憾。如能在水资源供需平衡中引入成熟仿真软件平台, 则可大幅度提高建模速度, 降低建模费用。笔者经过初探, 认为利用 Matlab/Simulink 软件可以实现这一设想。

Matlab/Simulink 软件是目前国内外功能最强大的仿真软件之一, 由 Mathworks 公司出品。Matlab 是一种科学计算软件, 它将高性能的数值计算和可视化集成在一起, 并提供了大量的内置函数, 具有开放式结构, 很容易进行功能扩充。Matlab 功能强大, 可方便地进行科学与工程计算, 大幅度地减少了计算工作量。Simulink 是一个针对动力学系统建模、仿真和分析的软件包, 可以与 Matlab 实现无缝结合, 能

够调用 Matlab 强大的函数库。Simulink 具有非常高的开放性, 提倡将模型通过框图形式表示出来, Simulink 具有较高的开交互性, 允许随意修改模块参数, 使最后得到的结果可视化。Simulink 提供了大量的模块, 方便用户快速地建立动态的系统模型, 只要用鼠标进行简单的拖放和模块间的连接, 就能够建立非常复杂的仿真模型, 对模型中连接数量和规模没有限制^[2-3]。

Matlab/Simulink 广泛应用于科学计算、控制系统、信息处理等领域的分析、仿真和设计工作, 在航空航天动力学系统、制导系统、通讯系统、电力系统、建筑业等领域均有大量应用, 但目前笔者还没发现国内外有应用于水资源仿真的先例。

1 基于 Simulink 的水资源建模仿真关键问题

信号是 Simulink 仿真的基础, 水通过管道、水渠及河流的传输关系可用 Simulink 信号线来表达, 也可以在信号的传输过程中加入时间延迟函数以模拟水流的传输时间。

经分析, 水资源供需模型宜采用离散系统建模。长系列月(旬、日)流量看成离散信号, 并且在设置系统仿真参数时, 定义为离散仿真, 仿真步长固定为秒, 系统中的 1 s 等同于现实数据的 1 个月(旬、日), 仿真起止时间要与流量的个数对应。

在 Simulink 系统中有丰富的内置函数和现成的模块可供建模使用,但 Simulink 系统尚无专门针对水库调度的模块,这是制约 Simulink 应用于水资源领域建模仿真的关键问题,因此要采用 Simulink 建立水资源供需模型,关键是要建立专门的模拟水库调度子系统。模拟水库调度的方式有等流量调节方式和变流量调节方式,下面分别阐述在 Simulink 环境中如何建立这两种调节子系统。

1.1 水库等流量调节子系统

所谓等流量调节,系将枯水期各月放水流量调节为等流量,适用于年内用水变化不大的情况。等流量调节计算方式使用水量差积曲线,需要知道当前时刻以后某一时间内的流量,以便试算当前时间后某一时间段内的调节流量,由于在 Simulink 中系统是按时间步长顺序前进,当前时刻以后的信号(即数据)对系统来说是未知的,因此在 Simulink 中无法实现严格意义上的等流量调节计算,为此需要采取以下变通的办法。

水库作为供水水源时,要求保证设计供水流量,因此,可以把等流量调节中的等流量简化为设计保证流量,然后制定水库调度图和调度规则,再按调度图进行模拟调节,其原理为 水库划成保证供水区和其他,如当前时刻水库水位处于保证供水区,按保证流量供水 如低于保证供水区,来水先补充水库蓄水保证区,再按剩余可供水量供水(也可设置成按最小流量供水) 如高于保证供水区,按加大流量放水,超出兴利库容则弃水。这种调节方式不考虑水库的用水变化,只按水库来流量、调度规则和保证流量进行调节。

按调度图调节方式只需要有水库当前流量和蓄水状态,相当于 Simulink 中当前输入信号和系统当前状态,就可决策放水流量,这在 Simulink 中是可以做到的。水库等流量调节的子系统可按图 1 设计。

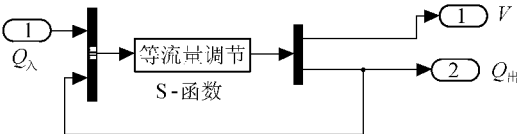


图 1 水库等流量调节子系统

图 1 中, $Q_{入}$ 表示入库流量, $Q_{出}$ 表示出库流量, V 表示水库蓄水量(该量随着 $Q_{入}$ 和 $Q_{出}$ 而变化)。模型有 3 个输入参数,分别是兴利库容、保证流量和调度区排序。兴利库容应转换至与计算时段一致,如模型采用月流量,则库容单位换算为 $(m^3/s)/月$ 。

由于受 Simulink 子系统输入参数的限制,水库各个月的调度线均无法从子系统外采用数组传输入子系统,因此只能在系统设计时固化在 S-函数中,

这也是 Simulink 在水资源仿真应用中的一个缺点。

等流量调节子系统有 4 个输入参数,分别是兴利库容、坝址最小下泄流量、蒸发渗漏损失流量和调度区排序。其中调度区排序用于定位固化在 S-函数中的具体水库的库容曲线、调度线等。

1.2 水库变流量调节子系统

变流量调节是指水库按变化的用水流量及水库蓄水情况放水。水库库容划分成保证供水区和其他区,如当前时刻水库水位处于保证供水区,则按需水流量供水 如低于保证供水区,则按水库可调流量和最小流量供水的大值供水,此时一般无法满足需水流量 如高于保证供水区,按加大流量放水,超出兴利库容则弃水。变流量调节子系统可按图 2 设计。

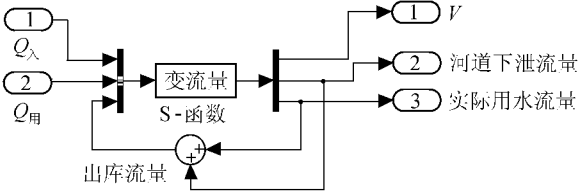


图 2 水库变流量调节子系统

变流量调节子系统也有 4 个输入参数,分别是兴利库容、坝址最小下泄流量、蒸发渗漏损失流量及调度区排序。

1.3 水库调节 S-函数

建立了水库调节子系统后,还需要根据水库调度规则创建水库调节 S-函数。S-函数是一个单输入、单输出的模块,如果有多个输入输出的信号,则需要用 Mux 模块和 Demux 模块将输入合并或将输出分开。水库等流量调节子系统的 S-函数框图见图 3。

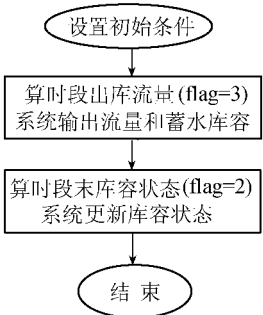


图 3 等流量调节子系统 S-函数框图

S-函数的调用顺序是通过 flag 标志来控制的。在仿真初始化阶段,通过设置 flag 标志为 0 调用 S-函数,并请求系统提供数量(包括离散状态和输入、输出个数)、初始状态和采样时间等信息。本调度 S-函数的采样时间为 1s。接下来系统自动设置 flag 标志为 3,S-函数计算模块的输出,这里必须输出流量和蓄水库容,但蓄水库容是状态参数,该输出

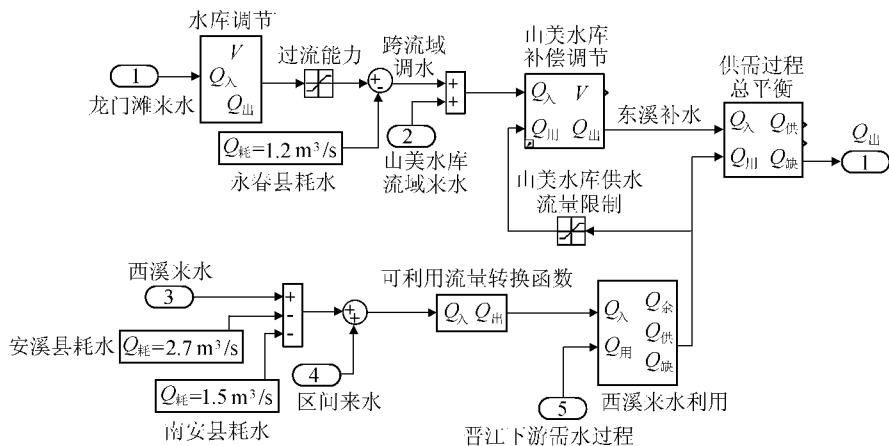


图4 水资源供需仿真模型实例

的蓄水库容并未使系统更新模型的状态。接下来系统自动设置 flag 标志为 2,重新计算蓄水库容并输出库容,这时库容状态才更新。本 S-函数无计算导数,系统将 flag 值设置为 9,计算结束。

变流量调节子系统的 S-函数框图与图 3 基本一致,不同的是计算出库流量的判别规则,这属于常规编程方法,不再赘述。

2 建模仿真应用实例

福建晋江流域水资源紧缺,流域面积 5 600 多 km²,干流有 1 座控制性水闸(金鸡水闸),负责下游左右两岸城市的供水,干流以上分成东、西溪 2 条支流,西溪流域面积占 2/3,但无控制性水库;东溪流域面积占 1/3,建有山美水库,是一座具有多年调节性能的大型水库,枯水期对下游城市的供水至关重要,上游还有 1 项跨流域引水工程。为研究该流域未来的水资源供需情况,建立了基于 Matlab/Simulink 的水资源供需仿真模型如图 4 所示。模型设计的基本思路是:流域来水统一由金鸡水闸负责分配给下游城市和灌区,由于西溪来水无调节,因此优先使用,山美水库采用蓄丰补枯的运行方式,西溪来水不能满足下游用水时负责补水。采用该模型,可以针对多种供需方案进行快速的长系列仿真计算。以该流域 2020 年需水水平为例,在保障流域下游生态流量 15.3 m³/s 的情况下,输入 1960 年 4 月至 2005 年 3 月长系列逐月流量和晋江下游的需水过程,模型可在几秒钟内计算出晋江下游缺水过程(见图 5),经整理后得出年缺水量频率曲线见图 6。模型计算结果经复核是正确合理的。

3 结 语

Matlab/Simulink 软件是功能强大的仿真软件之

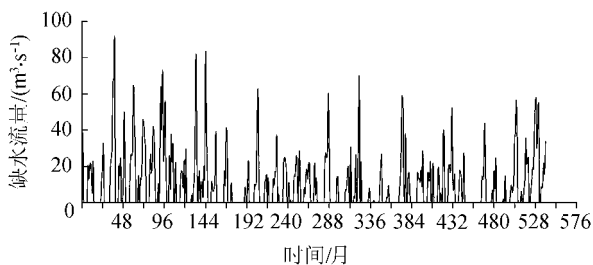


图5 晋江下游缺水过程线

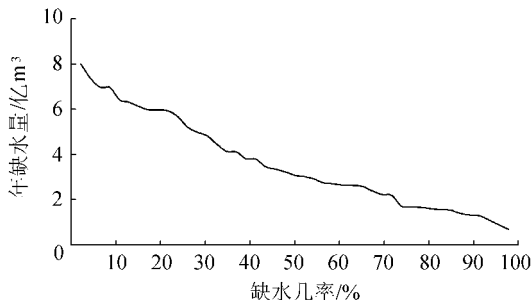


图6 年缺水量~缺水几率曲线

一,但目前应用于水资源仿真尚无先例。笔者通过初探认为把它应用于水资源供需平衡的建模仿真是可行的,其具有建模简单、计算快速、结构可见、扩充性强的优点,希望该探索有益于该软件在水资源领域得到更多的应用。

参考文献:

- [1] 厦门市计划委员会,水利部南京水文水资源研究所.厦门市水资源合理配置与对策研究[M].北京:中国水利水电出版社,2001.
- [2] 黄永安,马路,刘慧敏. MATLAB 7.0/Simulink 6.0 建模仿真开发与高级工程应用[M].北京:清华大学出版社,2005.
- [3] 李颖,朱伯立,张威. Simulink 动态系统建模与仿真基础[M].西安:西安电子科技大学出版社,2004.

(收稿日期 2008-01-16 编辑 高建群)