

略论水资源系统的混合模型

郭元裕 沈佩君 关洪林

(武汉水利电力大学水利系 武汉 430072)

提要 大系统优化的关键在于模型的降维。混合模型可看作为一种降维方法,它通过把整个系统分解为联系比较松散的几个子系统,达到降维目的。从理论上对这类模型的建模原则、优化技术及其分类和特点进行了归纳和总结,说明了在多目标复杂水资源系统和排灌系统中这种混合模型的应用是十分有效的。

关键词 水资源系统 混合模型 降维

1 前 言

混合模型又称组合模型、模型系统或序列模型,是求解复杂水资源系统的一种有效方法。例如,1970年,David C. Major 和 Roberto L. Lenton^[1]在研究阿根廷的科罗拉多河流域规划时就采用了筛选模型、模拟模型和排序模型等三种模型组合在一起的混合模型,对一个复杂的流域进行了优化规划,较早提出了混合模型的概念。1974年,Becker 和 Yeh^[2]用线性规划和动态规划组合的模型(LP-DP)研究了库群最优控制问题,以寻求库群的最优运行策略。在这一方法中,动态规划(DP)用以处理时段间的优化,而对每一个时段内或每一年内,则用线性规划(LP)择优,他们成功地作出了有10个变量的优化调度规则。1982年,M. Karamouz 和 M. M. Nouch^[3]在研究水库的年运行和月运行规则时,使用了一个动态规划与模拟技术相结合的混合模型(DP-ST),他们首先将历史径流资料输入动态规划模型,求得最优解后,利用回归分析确定水库的运行规则,然后再用一个自回归滑动模型生成人工径流系列。按上述运行规则模拟水库的运行情况,经反复修正得到水库的运行规则。1980年后,国内也有不少学者从事研究并提出或应用各种混合模型以求解水资源的各种优化问题。例如,洞庭湖区和江汉平原四湖区的除涝排水优化规划^[4,5],北京市水资源优化调度^①,宁波市水资源系统优化调度^[6],库群电站的多目标随机优化运行决策^[7],引滦入津工程的库群联合运行等等。然而,混合模型至今仍缺乏系统的论述。例如,什么是混合模型,混合模型如何建模,又如何求解等都有待进一步研究。本文针对这些问题,总结前人的成果并提出一些自己的看法。

任何数学模型都是实际系统的抽象化与简化,但是一个单一的数学模型的决策容量总是有限的,它所能研究的问题性质(如确定性或随机性)也是有局限的,它所擅长的功能是有所

本文于1992年1月21日收到,1992年6月10日收到修改稿。

① 南京水文水资源研究所等,北京市水资源系统分析及其数学模型研究,1987

侧重的。所以单靠一个模型去详尽地描述和决策每一个复杂的大系统问题是很困难的,即使能够做到这一点,其求解也相当不易。要完成这样的任务,往往需要按照大系统的思路和观点,建立一个由一组模型构成的混合模型,这是实践的需要和科学发展的必然。用模型系统代替单一的整体模型,是深化水资源系统工程的一个方向。

混合模型往往根据求解问题的具体情况及其最优规划要求建立,其中各种单一模型的组合是多种多样的,没有一定的模式,它象大系统递阶模型那样分为若干层,上下层之间具有特定、紧密的协调反馈关系。但是这并不说明混合模型本身及其建立与求解,就不存在一定的规律性。如果能对国内外现有的混合模型加以分析研究,是可以总结出混合模型的建模及其求解方法的,下面分别加以论述。

2 混合模型的建模原则和分类

2.1 建模原则

建立实际系统的任一系统分析模型,都不是一个章法清晰的过程,而是一项自始至终对问题不断进行分析、综合而带有创造性的工作。建立大型复杂系统的混合模型,尤其是如此。当前我国水利建设方面,大型的水资源系统和灌排系统都存在许多复杂的决策问题亟待解决,这就面临着系统分析模型的发展与创新问题。

建立任何决策模型,一般都要从实际出发,首先对所研究的实际系统进行周密的调查分析,深入了解存在的问题,明确需要决策的目标;然后收集有关资料,分析系统内部各因素之间的联系以及系统与周围环境的关系等;最后建立模型和进行计算、分析与评价等。这种从实际问题出发,用系统的观点在弄清问题的来龙去脉的基础上建立模型的途径或思路,有人称之为“问题导向”,它是完全不同于带着某种优化方法的框框,以方法去套问题的建模方法,即“方法导向”。以“方法导向”的思路建模,即使所研究的实际问题不太复杂,也可能导致模型的失真和成果的不合理。而用“问题导向”来研究复杂的实际问题,却往往可以激励系统分析人员的创造性思维,克服求解复杂问题中的种种困难,提出解决问题的办法,并容易获得创新性成果。由于混合模型所研究的问题一般都是复杂的大系统,而且混合模型不象单一数学模型和大系统递阶模型那样,具有一定的模式,所以它必须采取具体问题具体分析途径,用“问题导向”的思路来建立模型和确定求解方法,这是混合模型建模的一大特色,也是一个首要的原则。

混合模型区别于单一模型的明显特征是它包括有多个单一模型,这些单一模型可以是LP、DP等数学模型,也可以是一般的模拟模型或自优化模拟模型,甚至是大系统递阶模型等。因此,建立混合模型的另一特色是:不仅要根据所研究的复杂系统的情况及其决策要求,合理选择若干单一模型,而且还要考虑所选单一模型之间的优化组合与联结,以实现复杂系统的满意决策。混合模型是一个整体,其中单一模型的选择与组合总是同时进行的,选择和组合单一模型的原则也总是和混合模型所应具有的功能一致。这些原则一般是:(1) 尽量提高模型的仿真性;(2) 满足降维要求,便于模型求解;(3) 减少计算机存储量和提高计算效率;(4) 实现多种优化决策要求;(5) 与现有的数据资料条件相匹配;(6) 具有较强的实用性和灵活性等。

2.2 模型分类

由于混合模型具有较好的仿真性和较强的降维能力等, 目前这一模型已在工程系统、社会经济系统和生物生态系统等方面得到了广泛应用, 但已经建立的混合模型多种多样, 要据此进行科学的分类, 似乎为时尚早。不过, 为了探求混合模型的建模规律, 从分析已有混合模型的内容、结构和功能等方面的特点和区别出发, 还是可以进行大致分类的。

(1) 按所包含的单一模型的类别进行分类: ① 数学规划与数学规划的组合, 例如 LP-DP等; ② 数学规划与模拟技术的组合; ③ 数学规划或模拟技术与大系统递阶模型的组合; ④ 确定性模型与随时性或不确定性模型的组合, 例如 LP 或 DP 与模糊决策或灰色系统模型的组合等。

(2) 按其决策的主要功能分类: ① 实现多种优化决策要求类, 如为了同时实现系统的多目标决策、库群优化调度以及随机决策, 提出了多目标、多层次的混合模型; 为了同时确定灌区发展规模和工程实施顺序, 或为了同时获得具有产生方案、比较方案和评价方案的功能分别提出了混合模型; ② 提高模型仿真性及决策成果精度类, 如有的水资源系统先将多个水库聚合为一个水库, 降低维数, 以便在大系统分解-协调中便于应用动态规划法进行决策, 然后再增加一个分解模型, 将求得的聚合水库决策成果分解出每一个水库的决策方案等; ③ 节省计算机存储, 便于实现微机操作类, 例如在有些水资源系统、灌排系统或流域规划中, 往往首先应用筛选模型进行宏观决策, 缩小决策可行域, 然后用模拟技术或其它数学模型进行比较深入和详细的决策分析, 这样既可节省计算机存储量, 又可满足仿真性要求; ④ 综合类, 即同时满足以上多种要求的混合模型。

此外, 混合模型还可按其优化技术分类, 这将在下面论述其优化技术时一并说明。

3 混合模型的优化技术

混合模型的优化技术包含两个方面, 一是混合模型中各子模型的优化方法, 另一是各子模型之间的组合或决策信息交换方式。前者都是一般的优化技术, 如数学规划法和模拟技术等, 而后者乃是求解混合模型的关键。

总结现有一些水资源系统和灌排系统的一些优化决策混合模型, 可以看出混合模型中所包含的子模型主要有: 为实现系统多种决策要求的各种子模型(如多目标决策子模型, 水库、电站和泵站等工程的优化规划与优化调度子模型, 工程排序子模型以及工程经济分析子模型等); 为提高整个系统决策效率的各种子模型(如用以缩小择优空间的子模型等); 为优化模型降维服务的各种子模型; 提高整个系统决策模型仿真性的各种子模型等。这些子模型都将根据决策系统的具体情况及其决策要求加以选择, 并以一定的顺序, 按决策信息优化传递为原则, 分层分级进行组合, 形成一个具有多种决策功能、仿真性好、计算效率高、计算机存储少、便于求解的混合模型。

必须指出: 由于混合模型一般要采用许多子模型, 编制许多子程序, 收集整理许多数据, 所以就需建立相应的数据库、程序库和模型库以及一套与之配合的计算和分析管理系统。如果所研究的问题是属于可以获得最优或近似最优解的结构化决策问题, 则这种软件管理系统

通称为“管理信息系统”。如果所研究的问题是属于不可能获得最优解的半结构化决策问题和非结构化问题，则需要建立一种软件管理系统，即“决策支持系统”。

下面举出关于混合模型几种典型的模型组合形式：

(1) 串联式(开环式) 设这一混合模型包括三个子模型，各子模型自上而下依次求解，且上一个模型的输出，就是下一个模型的输入。阿根廷的科罗拉多河流域规划模型基本上是属于这种类型。该流域的优化规划模型包括了筛选模型、模拟模型和工程排序模型三个子模型(图1)。决策时首先利用筛选模型初步选出若干优化方案(包括工程布局和工程规模尺寸)；然后把这些优化方案的数据输入模拟模型，藉以更精确地确定各工程的规模及其效益、投资等；最后将模拟模型求得的数据输入排序模型，求解流域内工程的最优开发顺序。另外，1984年北京水利经济研究所董子敖等人^[7]为解决水库群多目标随机优化调度的问题所提出的“多目标多层次法”，也是属于这种串联式的混合模型，只是串联形式与上例有所不同，是嵌套式的串联(图2)。



图1 阿根廷科罗拉多河流域规划混合模型结构

Fig. 1. Planning mixed-model of Colorado river basin in Argentina

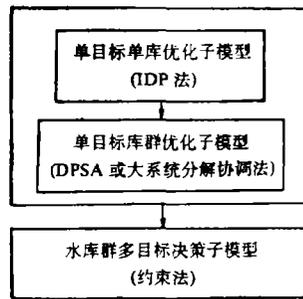


图2 多目标多层次串联式混合模型结构

Fig. 2. Series connection mixed-model structure of multi-objective and multi-level

(2) 反馈式(闭环式) 设这一混合模型仍包括三个子模型，各个子模型之间的决策顺序及其主要连接形式与图1中的串联式基本相同，所不同的只是下层的子模型输出，根据需要将反馈到较上层的子模型。海南省松涛灌区最优续建规划模型^[8](图3)，就是属于这一类。

(3) 混联式 如果一个混合模型中各子模型之间，既有串联式联结，又有并联式联结，则这类模型组合方式称混联式。混联式也有多种多样，图4中所示只是其中一种。中国宁波市供

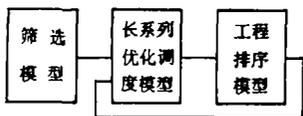


图3 松涛灌区最优续建规划反馈式混合模型结构

Fig. 3. Feedback mixed-model structure of optimal completion construction plan of the Songtao irrigation district

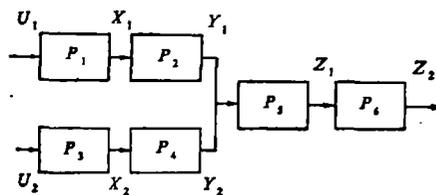


图4 混联式示意图

Fig. 4. Sketen of series-parallel connection structure

水地区水资源优化调度研究^[6]，就采用了混联式混合模型(图5)。显然，图中用以决策系统内优化调配的大系统分解-协调子模型与优化调度水量再分配子模型之间是串联关系，而优化调度水量再分配的子模型之间，则是并联关系。

(4) 人机对话式 这类混合模型的特点是：后续模型的输入不仅与前面的模型输出有关，而且与外来干预或控制有关，这种外来干预或控制，往往采用人-机对话的方式，即在求解模型时，决策者与系统分析者可以根据初始决策的结果，调整控制量或决策要求，对模型施加干预，使求得的结果更为满意。1982年，天津大学的刘豹、顾培亮等^[9]在研究国家能源开发系统布局时，曾提出并运用了“大系统逐级优化的数学规划序列模型”。实际上，这一模型也属于人-机对话式混合模型(图6)。该混合模型分三层，分别采用三种子模型(LP、混合整数规划MTP和0-1整数规划ILP)对全国六大行政区各省和省内各能源开发点(矿井、电厂)的能源开发生产规模进行优化决策。另外在各层子模型之间设有窗口，决策者如果对某层的求解结果不满意，可以采用人-机对话或其它方式按需要输入决策变量(即控制量) u ，寻求满意的结果。

(5) 综合式 前述几种子模型的组合方式，是一些基本的方式。对于有些更加复杂的水资源或灌排系统，还可能构成包括上述几种基本方式的混合模型，例如模型既是混联形式，又有层间反馈和中间控制等(图7)。

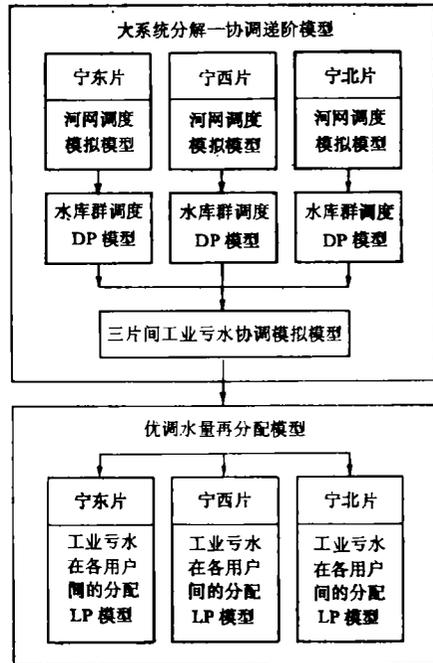


图5 宁波市水资源优化调度混联式模型结构
Fig. 5. Model structure of series-parallel connection of water resources optimal operation of the NinBo City

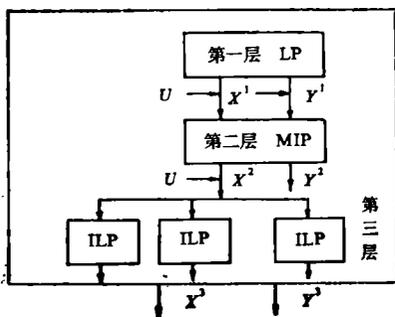


图6 大系统逐级优化的数学规划序列模型结构
Fig. 6. Series model structure of mathematical plan of large-scale system optimization of stage by stage

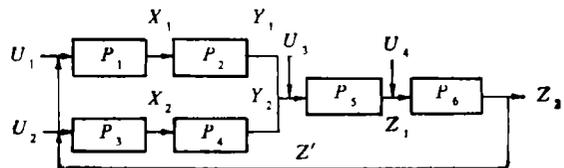


图7 综合式模型结构图
Fig. 7. Sketch of comprehensive model structure

4 结 语

随着科学技术和生产实践的不断发展,水资源系统逐渐庞大,结构日益复杂,功能日趋综合,继续研究复杂系统优化决策的新方法依然是一项艰巨的任务。混合模型是研究大系统优化决策的一个有效途径,为此,本文从理论上对它进行了归纳和总结,比较系统地提出了混合模型的建模原则、分类及其优化技术,具有一定的理论意义。

参 考 文 献

- 1 David C Major, Roberto L Lenton. Applied Water Resources System Planning. Prentice-Hall Inc, 1979
- 2 Becker L, Veh W W-G. Optimization of real time operation of multiple reservoir system. W R R. 1974, 10(6)
- 3 Karamouz M, Houck M H. Annual monthly reservoir operating rules generated by deterministic W R R. 1982, 18(5)
- 4 郭元裕, 白宪台, 雷声隆等。湖北四湖地区除涝排水系统规划的大系统优化模型和求解方法。水利学报。1984, 11: 9. 1~14
- 5 陈晓平, 郭元裕等。除涝系统优化调度中递阶多维分解-协调模型及其求解方法。水利学报。1988, 6, 1~10
- 6 沈佩君, 王博等。混合模型在滨海水网地区水资源优化调度中的应用。水利学报。1989, 6: 1~9
- 7 董子敖, 阎建生等。径流时空相关梯级水库群优化调度的多目标多层次优化法。水力发电学报。1989, 2: 1~16
- 8 郭元裕, 关洪林。用于松涛灌区最优续建规划的广义模型。系统工程学报。1991, 1: 81~95
- 9 刘豹, 顾培亮。大系统逐级优化的数学规划序列模型—国家能源开发系统的布局研究。系统工程理论与实践。1983, 1: 3~9

Mixed-Model of Water Resources System

Guo Yuanyu, Shen Peijun, and Guan Honglin

(Wuhan university of Hydraulic and electric Engineering)

Abstract: The key of large-scale system optimization is dimension reducing of models. The mixed-model is a method of dimension reducing by means of decomposing the total system into several sub-systems with loose inter-connections. The principles of the model construction, the classification, the characteristics and the optimal methods of the mixed model are summarized theoretically in this paper. It shows that the mixed model is useful applied in the large water resources systems and irrigation or drainage systems with complicated structures and multiple functions.

Key words: water resources system; mixed-model; reducing dimension.