

积木模型生成技术及其在城市 供水调度中的应用¹⁾

汪时萍 仲伟俊 夏安邦

(东南大学管理学院系统工程室, 南京 210018)

摘 要

本文在分析不同类型城市供水系统优化调度模型结构的基础上, 采用积木式模型构造法建立模型生成系统。该系统采用谓词和关系框架表示模型, 克服了模型软件包的局限性, 使得模型能跟踪环境的变化, 适应城市供水系统发展的需要。

关键词: 建模, 谓词, 关系框架, 模型管理。

一、引 言

近年来, 对城市供水系统优化调度模型和算法研究已经取得了一些成果。但由于城市供水系统结构差别大, 发展迅速, 很难建成比较通用的软件; 而用户对建模方法不了解; 无法根据应用环境的变化修改软件, 因此算法上取得的研究成果在实际应用中往往难以获得成功。

本文在分析不同类型城市供水系统优化调度模型结构的基础上, 采用积木模型构造法建立了城市供水系统优化调度模型生成系统。该系统采用谓词和关系框架的模型表示方法, 在与用户的交互中, 将模型元进行适当组合, 即能生成适用不同水网的模型。这种方法在水网结构变化后, 能让用户方便地组织模型元构造出新的模型, 以跟踪环境的变化。

二、城市供水系统的优化调度模型

城市供水系统是由供水管道及一些附属设施, 如供水泵站, 蓄水池等组成的大系统。由于城市规模、人口及城市的特点等方面的差异, 城市供水系统在组成上有较大的差别, 因而其优化调度数学模型也各不相同。但是, 虽然不同供水系统的数学模型差别较大, 但他们之间有着密切联系, 如复杂系统的数学模型包括简单系统的数学模型。根据系统的不同组成, 可归纳为如下四种情况:

1) 简单供水系统¹⁾。

本文于1990年3月11日收到。

1) 本课题得到国家自然科学基金项目“模型库动态生成”的资助(6874044)。

城市供水系统的优化调度是以供水成本作为优化调度的目标函数,以管网平衡条件为等式约束,以安全运行条件和服务质量为不等式约束.简单供水系统的供水成本仅包含进入供水泵站的水成本和泵站内的电能消耗费用,其优化调度数学模型为

$$f_1 = f_1^l = \sum_{i \in X} v_i u_i^l + \sum_{i \in X} \gamma_i u_i^l (p_i - ph_i), \quad (1)$$

$$u_i - Q_i - \sum_{j \in I_i} S_{ij} \operatorname{sgn}(p_i^l - p_j^l) |p_i^l - p_j^l|^{1/\alpha} = 0, \quad (2)$$

$$p_i^{\min} \leq p_i^l \leq p_i^{\max}, \quad (3)$$

$$u_i^{\min} \leq u_i^l \leq u_i^{\max}. \quad (4)$$

式(1)中, $\sum_{i \in X} v_i u_i^l$ 为水成本, $\sum_{i \in X} \gamma_i u_i^l (p_i - ph_j)$ 为泵站内电能消耗费用. u 为供水量, p 为供水扬程, ph 为地面标高, i 为节点标号, l 为时间区间标号. 式(2)为管网平衡条件,对有 n 个节点的水网应有 $n-1$ 个等式约束方程,式中 Q 为用水量. I_i 为与节点 i 相邻节点标号的集合. $\operatorname{sgn}(\cdot)$ 为符号函数. v, γ, S_{ij} 和 α 为参数. 式(3), (4)为保证系统安全运行和服务质量的不等式约束条件.

2) 含一个加压泵站的供水系统^[2].

含一个加压泵站的供水系统的目标函数是由简单供水系统的成本加上加压泵站的电能消耗构成. 设加压泵站在节点 KS 之间,目标函数为

$$f_2^l = f_1^l + z q_{ks}^l H^l, \quad (5)$$

式中 f_2^l 为简单供水系统的目标函数, z 为单位转换系数, H^l 为在 l 区间内的加压压力, q 为供水量.

3) 含蓄水池的供水系统^[3].

含蓄水池的供水系统的目标函数是由简单供水系统的目标函数加上蓄水池泵站的电能消耗. 目标函数为

$$f_3^l = \sum_{p=1}^m \left\{ f_1^l + \sum_{j \in Y} \delta_j^l \gamma_j F_j^l (p_i^l - ph_j) \right\}, \quad (6)$$

式中 Y 为蓄水池所在节点标号的集合, F 是蓄水池的进出水量, γ_j 为常数, δ_j^l 定义为

$$\delta_j^l \triangleq \begin{cases} 1, & \text{当 } F_j^l \geq 0 \text{ (} F_j^l \text{ 在 } l \text{ 区间为水源),} \\ 0, & \text{当 } F_j^l < 0 \text{ (} F_j^l \text{ 在 } l \text{ 区间为负载).} \end{cases} \quad (7)$$

4) 蓄水池及一个加压泵的供水系统^[4].

含蓄水池及一个加压泵站的供水系统的目标函数是式(5)式(6)的适当组合.

$$f_4 = \sum_{p=1}^m \left\{ f_2^l + \sum_{j \in Y} \delta_j^l \gamma_j F_j (p_i^l - ph_j) \right\}. \quad (8)$$

从以上分析可看出,复杂系统的目标函数都包含了较简单系统的目标函数,它们的约束条件也是如此,详见文献[2—4].

三、积木模型的动态生成方法

积木模型动态生成方法的基本思想是将模型分解成基本元,即积木,每个基本元用谓

词表示,由关系框架描述构造模型的条件,在推理过程中,将满足条件的基本元填入框架即完成模型的生成^[5]。

根据以上分析,城市供水系统优化调度模型的四种结构具有的特点是:复杂模型包含着简单模型的基本元素,模型结构的各项都是可分离的,且每一项都有实际的物理意义。因此,具备了积木模型生成法的应用条件。

下面以目标函数为例,论述积木式模型生成法的实现方法。

供水系统的目标函数是由各项成本之和构成的。因此,可以按成本分解,以表示各项成本的计算公式作为原子公式,描述成本的事实说明了公式含义,可作为一种信息资源进行访问。

描述成本的谓词为

```
cost (NAME, FORMULA, EXPLAINLIST)
```

其中,NAME 为成本名;FORMULA 为计算公式;EXPLAINLIST 为解释公式中每一项物理意义的表,

模型的表示是将模型分解为模型元;而模型的生成则是用关系框架将有关的模型元连接起来。

描述目标函数的框架以供水系统名为框架名,以组成该模型的模型元和合成规则为槽名。

以简单供水系统为例,其目标函数的框架为

```
Generic: OBJECTIVE FRAME
```

```
Name: SIMPLE
```

```
Slits: cost ("in-water", EXP1, F1),
       cost ("energy-Cosum", EXP2, F2)
       add (FUNCTION, [F1,F2]),
       append (EXP1, EXP2, EXPLIST).
```

其中,谓词 add() 为复合规则,FUNCTION 为 F1 和 F2 的组合公式,append() 将 EXP1 和 EXP2 并接为 EXPLIST。

利用框架结构的继承性^[6],可以把简单供水系统的目标函数作为一个槽,加入到复杂模型框架中。例如,含蓄水池的供水系统的目标函数框架为

```
Generic: OBJECTIVE FRAME
```

```
Name: RESERVOIR
```

```
Slits: objective ["simple", EXP1, F1],
       cost ("reservoir", EXP2, F2),
       add (FUNCTION, [F1, F2]),
       append (EXP1, EXP2, EXPLIST).
```

对于这样的框架结构,用户只需描述供水系统的结构即框架名和供水成本名,就可将有关描述成本的谓词填入所描述的关系框架,从而生成复合模型。描述成本的谓词可由用户修改,以跟踪环境的变化。由于目标函数为各项成本之和,在此框架下填入加法规则;若为更复杂的合成关系,将填入乘法规则和复合规则。

这种软件结构使模型成为一种可以让用户组织的信息资源,从而克服了模型软件包所具有的弱点,即当对象发生变化以后,模型很难更改。

四、结 论

积木模型生成法的应用条件为模型具有可分离性, 复杂模型包含简单模型和模型的应用环境经常发生变化。模型结构具有可分离性是指模型可由模型元通过加法规则, 乘法规则和复合规则进行合成。该方法的优点在于跟踪环境和交互建模。若应用环境基本不变或只需运行几个相互独立的模型, 则应用此方法意义不大。从积木模型生成法在城市供水系统中的应用可看出, 该方法在这样的应用环境中具有可行性。但更有意义的应用是在生产组织管理中的综合信息处理和决策支持方面。

参 考 文 献

- [1] 李光泉、郑丕谔、仲伟俊, 城市供水管网系统的优化调度, 系统工程学报, 1(1987), 59—66.
- [2] Zhong Weijun, Chen Senfa and Xu Nanrong, Optimal Dispatch of a Large Water Supply System With Booster, Proc. of Inter Conf. on Systems, Science and Engineering, 1988, 579—583.
- [3] 仲伟俊、徐南荣、陈森发, 城市供水系统调度的分解协调优化方法, 自动化学报, 16(1990), 3, 217—225.
- [4] 仲伟俊、徐南荣、陈森发, 复杂城市供水系统的三级递阶优化调度算法, 系统工程学报, 3(1988), 2, 36—45.
- [5] 汪时萍、夏安邦, 具有智能的积木式建模方法, 东南大学学报, 20(1990), 3, 81—86.
- [6] 史忠植, 知识工程, 清华大学出版社, 1988 年.

A TECHNIQUE OF BUILDING BLOCK MODELS AND ITS APPLICATION TO OPTIMAL DISTRIBUTION PROBLEMS OF URBAN WATER SUPPLY SYSTEMS

WANG SHIPING ZHONG WEIJUN XIA ANBANG

(Institute of Systems Engineering, College of Management, Southeast University, Nanjing 210018)

ABSTRACT

The objective of this paper is to provide a model building technique for optimal distribution problems of urban water supply systems. By analyzing a variety of models of optimal distribution problems, the paper applies a model representation based on Predicate-Relational Framework to the construction of the Block Model. This model building system may overcome some drawbacks of the model package with single component objective. It can trace the environment and let the user join in modeling.

Key words: Modeling; predicate; relational framework; model management.