

## 基于规则的水资源配置模型在三亚市的应用

张亭亭<sup>1</sup>, 王树谦<sup>1</sup>, 刘彬<sup>1, 2</sup>, 孙建伟<sup>3</sup>

(1. 河北工程大学 水电学院 河北 邯郸 056021; 2. 中国水利水电科学研究院 水资源研究所 北京 100044;

3. 邯郸市水利局 河北 邯郸 056021;)

**摘要:** 根据三亚市水资源现状开发利用情况, 建立了基于规则的三亚市水资源配置模型, 采用三亚市 1956 ~ 2010 年系列水文资料及规划水平年相关数据, 实现了 2020 规划水平年三亚市水资源优化配置。配置成果对促进三亚市水资源与社会经济协调发展有重要意义。

**关键词:** 水资源; 配置; 规则; 应用

中图分类号: TV213.9

文献标识码: A

### Application of water resources allocation model based on regulating rules in Sanya City

ZHANG Ting - ting<sup>1</sup>, WANG Shu - qian<sup>1</sup>, LIU Bin<sup>1, 2</sup>, SUN Jian - wei<sup>3</sup>

(1. Institute of Water and Electricity, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056021, China; 2. Water Resources

Department China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China; 3. Handan Bureau of Water Resources, Hebei, Hebei Handan 056021, China)

**Abstract:** Considering water resources exploitation at present in Sanya city, the water resources allocation model based on regulating rules in Sanya city is established. According to hydrological data from 1956 to 2010 and relevant data in the planning year, water resources allocation in Sanya city in 2020 is realized. The results have an important significance to promote coordinated development between water resources and social economy.

**Key words:** water resources; allocation; regulating rules; application

水资源配置方法主要有优化、模拟以及优化与模拟相结合三种类型, 优化模型通过建立数学模型寻求最优解, 目标针对性较强, 但其最主要的“维数灾”问题较难克服。模拟模型注重水资源系统细节描述, 但输入数据众多, 建模时间长。优化与模拟相结合模型由于其计算方法和硬件平台等限制, 并未完全超过以上两种方法单独应用<sup>[1-3]</sup>。针对三亚市水资源系统的特点及存在问题, 本文建立了基于规则的三亚市水资源配置模型, 并应用该模型对三亚市进行水资源合理配置, 从而促进三亚市水资源的合理开发利用。

### 1 模型构建

#### 1.1 水资源系统概化

水资源系统概化是模型构建的基础, 水资源

系统规模庞大、结构复杂, 影响因素众多<sup>[4]</sup>。为描述水资源系统各元素间的联系, 将系统涉及的各类实体概化为点和线两类元素。点元素一般包括水利工程、用水户、分汇水点以及各类人为设置的控制性节点; 线元素主要描述不同点元素间的水量传输关系<sup>[5]</sup>。一般步骤为: 首先明确系统中各实体类别, 如河道、湿地等各种天然的水源载体、不同类别的用水户、各类水利工程等。其次, 将确定的各实体合理的分类、描述和整理, 从而设置好基本元素。最后, 客观、清晰地描述出各元素间的水量传递关系。

#### 1.2 水资源配置规则

配置规则包括一些系统必须遵循的框架和原则, 如为保障工程安全具有强制约束性的安全运行规则。同时还包括以下规则: 系统来水确定: 以

水资源评价得到的水资源量作为系统来水。用水户及需水优先级次序设定: 根据供用水实际情况确定生活、工业及建筑业、第三产业、农业、生态等用水户优先满足次序<sup>[5]</sup>。水源及其利用优先序确定: 以区域实际情况为依据将水源分类, 合理确定地表水、地下水、非常规水等水源的利用顺序<sup>[6-7]</sup>。

地表水利用。蓄水工程可供水量

$$W_{\text{水库}} = M, \text{当 } W' \geq M \quad (1)$$

$$W_{\text{水库}} = W' + \Delta V, \text{当 } W' < M \quad (2)$$

式中  $W_{\text{水库}}$  - 水库的可供水量;  $W'$  - 水库的月来水量;  $\Delta V$  - 水库的蓄变量;  $M$  - 月需水量。

引提工程可供水量

$$W_{\text{引提}} = \sum_{i=1}^t \min(H_i, Q_i, X_i) \quad (3)$$

式中  $W_{\text{引提}}$  - 引提工程的可供水量;  $H_i, Q_i, X_i$  -  $i$  时段引提工程的引提能力、取水口的可引提流量、用户的需水量。

非常规水源利用。再生水可利用量是指上一个时段工业、第三产业及城镇生活产生的污水量经处理后可供本时段利用的量。

$$W_i = D_{i-1} \times k_{i-1} \quad (4)$$

式中  $W_i$  - 本时段可使用的再生水量;  $D_{i-1}$  - 上一时段污水量;  $K_{i-1}$  - 污水处理率。

雨水可通过屋面雨水集蓄系统、雨水截污系统等收集, 可将其用于生态环境建设、农村生活等。海水主要是直接利用和淡化后利用, 分别用于工业和居民生活。微咸水一般应用于农业灌溉。

地下水利用。地下水配置需分阶段进行。①在充分利用当地地表水, 且不超过可开采量上限的前提下, 浅层地下水可应用于生活、工业和农业。②在遵循地下水开采保护原则的前提下, 应尽量不开采或少开采, 深层地下水主要供给农村生活用水。

## 2 实例分析

### 2.1 区域概况

三亚市是海南省南部的政治、经济、文化中心。三亚市行政区域总面积 1 918.8 km<sup>2</sup>, 总人口 68.5 万人, 属热带海洋性季风气候, 地形北高南低, 北部山高岭峻, 峰峦连绵; 南部平原沿海岸呈东西分布。多年平均降水量 1 501.0 mm, 水资源总量为 13.40 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 人均水资源量 1 965.2 m<sup>3</sup>,

与海南省人均水资源量相比, 仍然处于较低水平。全市行政区划包括市区及海棠湾、吉阳、凤凰、天涯、崖城、育才等 6 个镇。三亚市水资源较为丰富, 但在时空上分布不均, 全年约 80% 的降雨量集中在 6 ~ 10 月, 东部和西部地区水资源较丰富, 中部局部地区水资源量偏少。

三亚市有独流入海的河流 10 条, 分别是宁远河、藤桥河、三亚河、大茅水、龙江溪、九曲溪、烧旗溪、文昌溪、东河溪、石沟溪。河流主要发源于三亚市北部山区及保亭县, 由于地形地貌的原因, 自然形成了东、中、西三个相对独立的水系, 自北向南注入南海。三个独立水系包括东部的藤桥河, 中部的三亚河和大茅水, 西部的宁远河, 四条河流的流域面积均在 100 km<sup>2</sup> 以上。东部藤桥河流域和西部宁远河流域的水资源相对丰富, 用水量较少, 中部三亚河、大茅水流域的水资源相对较少, 但位于中部的中心城区以及沿海的狭长地带是三亚市经济社会最发达地区, 水资源需求量较大, 区域用水不能得到满足。水资源问题仍是制约其经济和生态环境协调发展的一个重要因素。

### 2.2 三亚市水资源配置

三亚市划分为东区、西区、中区和北区四个水资源区, 以水资源分区嵌套行政分区为计算最底层单元, 对赤田、吉阳灌区等重要灌区进行单列计算, 则三亚全市共有 12 个计算单元。模型计算中除单元节点外还设置地表水系统节点, 包括需要单列分析的地表工程和主要控制断面, 其中控制断面主要为重要河流的出入境断面和汇合断面。三亚市现有大中型水库 7 座, 小型水库 25 座。除工程节点外, 选取部分重要的市界断面和河流汇流断面作为单列的计算节点, 包括宁远河、藤桥东河和藤桥西河进入三亚市断面, 宁远河、三亚河和藤桥河重要汇流断面和入海断面。本次配置计算所考虑的系统节点共 52 处。三亚市水资源系统网络关系图见图 1。

因大多数河流断面和水库仅有短期径流资料, 可由降雨资料根据降雨 - 径流关系推出径流量, 故水文资料采用 1956 ~ 2010 年逐月面降水量。用水户优先序设定为生活、生态、工业及建筑业、农业。水源利用顺序确定为地表水、非常规水、浅层地下水。

2020 规划水平年三亚市水资源优化配置结果见表 1。

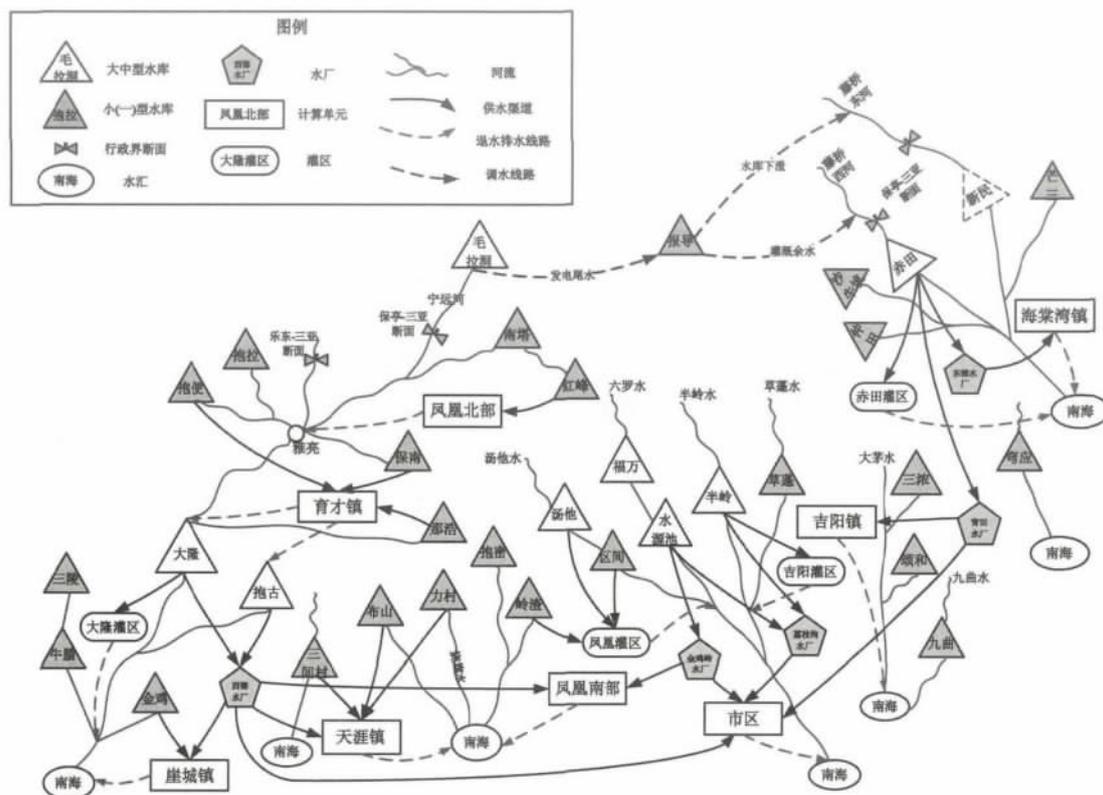


图1 三亚市水资源配置系统网络图

Fig.1 Network of water resources allocation system of Sanya city

表 1 三亚市水资源优化配置结果

Tab.1 Water resources optimal allocation results of Sanya city

行政区	需水量	按用户分类供水量					缺水率 /%	按水源分类供水量			
		城镇生活	农村生活	工业	农业	生态		地表水	地下水	非常规水源	
市区	9 523	3 312	0	5 088	405	718	0	0	8 064	0	1 459
海棠湾镇	5 174	551	217	1 012	3 376	0	18	0.35	4 931	132	93
吉阳镇	5 358	1 241	307	1 521	2 289	0	0	0	4 933	264	161
凤凰镇	5 134	493	297	773	3 305	0	266	5.18	4 479	219	170
天涯镇	3 953	181	167	304	3 301	0	0	0	3 822	96	35
崖城镇	9 922	538	326	964	8 094	0	0	0	9 615	216	91
育才镇	1 685	142	82	272	1 189	0	0	0	1 626	48	11
三亚市	40 749	6 458	1 396	9 934	21 959	718	284	0.70	37 470	975	2 020

2020年三亚市需水量为 $4.07 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 供水量为 $4.04 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 缺水量为 $0.03 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。三亚市最大用水户为农业, 其次为工业。通过水量合理调配, 生活用水和工业用水及环境用水均能得到保证, 缺水主要出现在农业, 其中凤凰镇农业缺水相对较为明显。从供水结构分析, 三亚市的主要水源为地表水, 地下水主要为浅层地下水, 仅占总供水的2%, 非常规水源利用主要包括再生水和海水利用。

### 3 结语

基于规则的水资源配置模型将具体的客观实物抽象化、系统化, 并建立水循环与用水的整体关系, 可较明确地模拟复杂的水资源系统, 进而对一定流域或区域的水资源进行合理调配。通过对三亚市水资源合理配置, 基本缓解了三亚市中部资源性缺水、区域间水量不协调问题, 解决了三亚市水资源配置结构不够合理的矛盾; (下转第85页)

3) 粉土的剪切波速值受埋深的影响为单向性的, 而埋深对粉质粘土剪切波速值的影响呈先增大后减小趋势。

#### 参考文献:

- [1] 李英虎. 剪切波速在工程地震中的应用[J]. 工程勘察, 1991, (5): 65-67.
- [2] 王邦圆, 李世峰, 王帮团. 邯郸市区场地土剪切波速与埋深相关性分析[J]. 河北工程大学: 自然科学版, 2013, 30(3): 92-95.
- [3] 陈国兴, 徐建龙, 袁灿勤. 南京城区岩土体剪切波速与土层深度的关系[J]. 南京建筑工程学院学报, 1998, (2): 32-37.
- [4] 邱志刚, 薄景山, 罗奇峰. 土壤剪切波速与埋深关系的统计分析[J]. 世界地震工程, 2011, 27(3): 81-88.
- [5] 齐鑫, 丁浩. 下辽河平原区剪切波速与土层埋深关系分析[J]. 世界地震工程, 2012, 28(3): 151-156.
- [6] 李平, 薄景山, 孙有为, 等. 西昌市场地剪切波速与土层深度经验关系[J]. 世界地震工程, 2010, 26(4):

(上接第70页) 同时在供水结构上发生改变, 在以地表水为主要水源基础上, 再生水超过地下水成为第二大水源。从分配成果可知, 2020年三亚市缺水率为0.7%, 主要是农业用水上存在缺口, 其他用户均能得到满足。三亚市水资源优化配置为促进水资源开发利用、经济社会发展及生态稳定有重要意义。

#### 参考文献:

- [1] 甘治国, 蒋云钟, 鲁帆, 等. 北京市水资源配置模拟模型研究[J]. 水利学报, 2008, 39(1): 91-95.
- [2] 游进军, 王浩, 甘泓. 水资源系统模拟模型研究进展[J]. 水科学进展, 2006, 17(3): 425-429.

(上接第77页)

#### 参考文献:

- [1] 王腾蛟, 张镭, 张博凯, 等. 城市下垫面对河谷城市兰州冬季热岛效应及边界层结构的影响[J]. 气象学报, 2013, 71(6): 1115-1129.
- [2] 牟雪洁, 赵昕奕. 珠三角地区地表温度与土地利用类型关系[J]. 地理研究, 2012, 31(9): 1589-1597.
- [3] 李艳红, 李智才, 周晋红, 等. 基于自动站资料的太原城市热岛研究[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(12): 173-179.
- [4] 邓莲堂, 束炯, 李朝颐. 上海城市热岛的变化特征分析

13-17.

- [7] 刘红帅, 郑桐, 齐文浩, 等. 常规土类剪切波速与埋深的关系分析[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(7): 1142-1149.
- [8] 战吉艳, 陈国兴, 刘建达. 苏州城区深软场地土剪切波速与土层深度的经验关系[J]. 世界地震工程, 2009, 25(2): 11-17.
- [9] 韩月丽, 史道济, 刘宁. 分位数回归在海平面高度影响因素分析中的应用[J]. 海洋技术, 2009, 28(3): 83-86.
- [10] 关静. 分位数回归理论及其应用[D]. 天津: 天津大学, 2008.
- [11] 赵云川, 李琦, 陈江. 分位数回归在岩体力学参数选取中的应用[J]. 工程地质学报, 2012, 20(2): 283-288.
- [12] 陈建宝, 丁军军. 分位数回归技术综述[J]. 统计与信息论坛, 2008, 23(3): 89-95.
- [13] 苏瑜, 万宇艳. 分位数回归的思想与简单应用[J]. 统计教育, 2009, (10): 58-61.

(责任编辑 刘存英)

- [3] 李群, 贾明敏, 陈南祥, 等. 优化与模拟耦合模型在水资源合理配置中的应[J]. 水土保持, 2007, 21(5): 142-146.
- [4] 夏云林. 水资源系统优化配置研究进展与展望[J]. 水资源与水工程学报, 2010, 21(2): 150-156.
- [5] 游进军, 甘泓, 王浩. 基于规则的水资源系统模拟[J]. 水利学报, 2005, 36(9): 1043-105.
- [6] 朱启林, 甘泓, 游进军, 等. 基于规则的水资源配置模型应用研究[J]. 水利水电技术, 2009, 40(3): 1-4.
- [7] 谷媛媛, 矫振宽, 朱红玉, 等. 区域多水源联合调配供水研究[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2008, 25(4): 69-72.

(责任编辑 刘存英)

[J]. 热带气象学报, 2001, 17(3): 273-280.

- [5] 江学顶, 夏北成, 郭冻, 等. 广州城市热岛空间分布及时域-频域多尺度变化特征[J]. 应用生态学报, 2007, 18(1): 133-139.
- [6] 骆杨, 周锁铨, 孙善磊, 等. 杭州城市热岛空间分布及时域-频域多尺度变化特征[J]. 生态环境学报, 2009, 18(6): 2200-2205.
- [7] 张立杰, 李磊, 江崑, 等. 基于自动站观测资料的深圳城市热岛研究[J]. 气候与环境研究, 2011, 16(4): 479-486.

(责任编辑 刘存英)