

应用水资源管理模拟模型研究 2000 年 乌鲁木齐河流域供水方案*

陈友媛

(新疆大学地理系 乌鲁木齐 830046)

周聿超

(新疆水文水资源局 乌鲁木齐 830000)

摘 要 乌鲁木齐河流域包括乌鲁木齐市及其南、北郊区,是全国著名的缺水流域。据分析 1990 年已经超采地下水资源 $1.2 \times 10^8 \text{ m}^3$,到 2000 年,流域及城市缺水将十分严重。乌鲁木齐河流域属于内陆河流域,在水资源开发利用过程中,地表水与地下水多次转换,目前该流域水资源的重复利用率已达 167%。建立有效的地表水和地下水联合利用模拟模型,可了解地下水资源动态变化及分析地表水和地下水的相互转换对可利用水资源总量的影响。通过分析得出,节流措施大大地提高了地表水的可利用量,而减少的地下水的可利用量却不多。在开源措施方面,对规划工程进行了方案组合,分析了其实施的必要性。通过大量运算提出该流域 2000 年六种供水方案,为解决乌鲁木齐市城市发展缺水问题及供水措施规划提供决策参考。

关键词 动态模拟 方案优选

分 类 中图法 TV213

1 乌鲁木齐河流域水资源管理模型的建立

乌鲁木齐河流域总水资源量 $6.32 \times 10^8 \text{ m}^3$,而目前开发利用量达 $10.58 \times 10^8 \text{ m}^3$,重复利用率已达 167%,而乌鲁木齐河流域地表水与地下水最大可引水量只有 $9.44 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。实际用水量超过最大可引水量近 $1.2 \times 10^8 \text{ m}^3$,其缺水量主要靠地下水超采和污水利用来弥补。水资源不足已成为制约乌鲁木齐河流域工农业发展的基础问题。因此,本文对乌鲁木齐流域进行了水资源管理模拟模型的建立与分析。

1.1 地表水的模拟模型

从乌鲁木齐河流域地表水和地下水联调模拟模型示意图可看出,概化后的用水分区构成了相互独立的子系统。子系统由中小水库、当地地表径流、污水资源化、区间水量及跨流域调水等地表供水水源及地下含水层供水水源和城镇农村生活、工业、农业用水组成。各子系统独立平衡,子系统之间,上、下游之间又进行着水量传递。可以用各子系统的水量平衡方程式,当地径流量、污水量及供需水量的约束来满足当地地表径流及污水利用的模拟模型。

水库群调度是模拟模型的重要部分。水库效益主要体现在供水量与供水保证程度两方面。由于不同用户的供水保证程度不同,在水库群优化调度时就要考虑放水参数 x_1, x_2 。即

* 国家自然科学基金资助项目 (49471017)
收稿日期: 1995-11-03, 收到修改稿日期: 1996-09-12

当水库满足生活、工业用水后，当它的剩余水量 R 小于农业灌溉用水时，按 $R = x_1 \times R$ 给农业供水。当它的剩余水量 R 大于农业灌溉用水时，按 $R = x_2 \times R$ 给农业供水。

其供水约束为：

$$R_{i,L,t} = \begin{cases} W_{i,L,t} & (\text{当 } 0 \leq W_{i,L,t} \leq U_{i,j,t}) \\ U_{i,j,t} + x_1(W_{i,L,t} - U_{i,j,t}) & (\text{当 } U_{i,j,t} \leq W_{i,L,t} \text{ 和 } W_{i,L,t} - U_{i,j,t} \leq U_{i,3,t}) \\ U_{i,j,t} + x_2(U_{i,3,t}) & (\text{当 } U_{i,j,t} \leq W_{i,L,t} \text{ 和 } W_{i,L,t} - U_{i,j,t} > U_{i,3,t}) \\ V_{i,L,t} = V_{i,L,t_{\max}} & (\text{当 } W_{i,L,t} \leq U_{i,j,t} + (V_{i,L,t_{\max}} - V_{i,L,t_{\min}})) \end{cases}$$

式中 L 为水库的数目； $R_{i,L,t}$ 、 $W_{i,L,t}$ 分别为第 i 区第 L 个水库第 t 时段的放水量（包括了城市生活、工业、农业的供水量和弃水量）及可供水量； $V_{i,L,t}$ 、 $V_{i,L,t_{\max}}$ 、 $V_{i,L,t_{\min}}$ 为第 i 区第 L 个水库第 t 时段的水库蓄水量、水库的最大限制库容、水库最小限制库容； x_1 、 x_2 为农业灌溉供水的放水系数。

1.2 地下含水层的模拟模型

地下水资源量可分为补给量、消耗量和储存量。这些量的计算可随地表水与地下水联合利用的模拟模型随机完成。使地下水资源不是以一个常量输入，而是随不同的用水、节水水平等变化而变化的。它的运行规则为：在枯水年份适当加大开采，使地下含水层腾空一部分库容；遇丰水年则可回补这部分库容，使地下水在长系列水文周期内采补基本平衡。达到“以丰补歉，采补平衡”的目的。

1.3 地表水与地下水联合利用的模拟模型

乌鲁木齐河流域地表水与地下水密切相关，一方面地下水补给量受地表水影响。另一方面地下水开发利用程度与地表水的总量有关。为了避免地下水的超采，建立有效的地表水和地下水联合利用模拟模型，会有助于水资源的开发与管理，对地下水开采进行有效的控制。

在地表水与地下水联合利用的过程中，我们将地表各种水源供水后的缺水量作为地下水的需水量输入地下水模型，并对各分区地下水的可开采量作了限制。当需水量超过可开采量时，将这一信息输出，作为修改地表水库调度方案的参考，然后再进入地下水模型作地下水开采量的运算^①。

① 京、津、唐地区大系统水资源模拟模型研究报告，1990

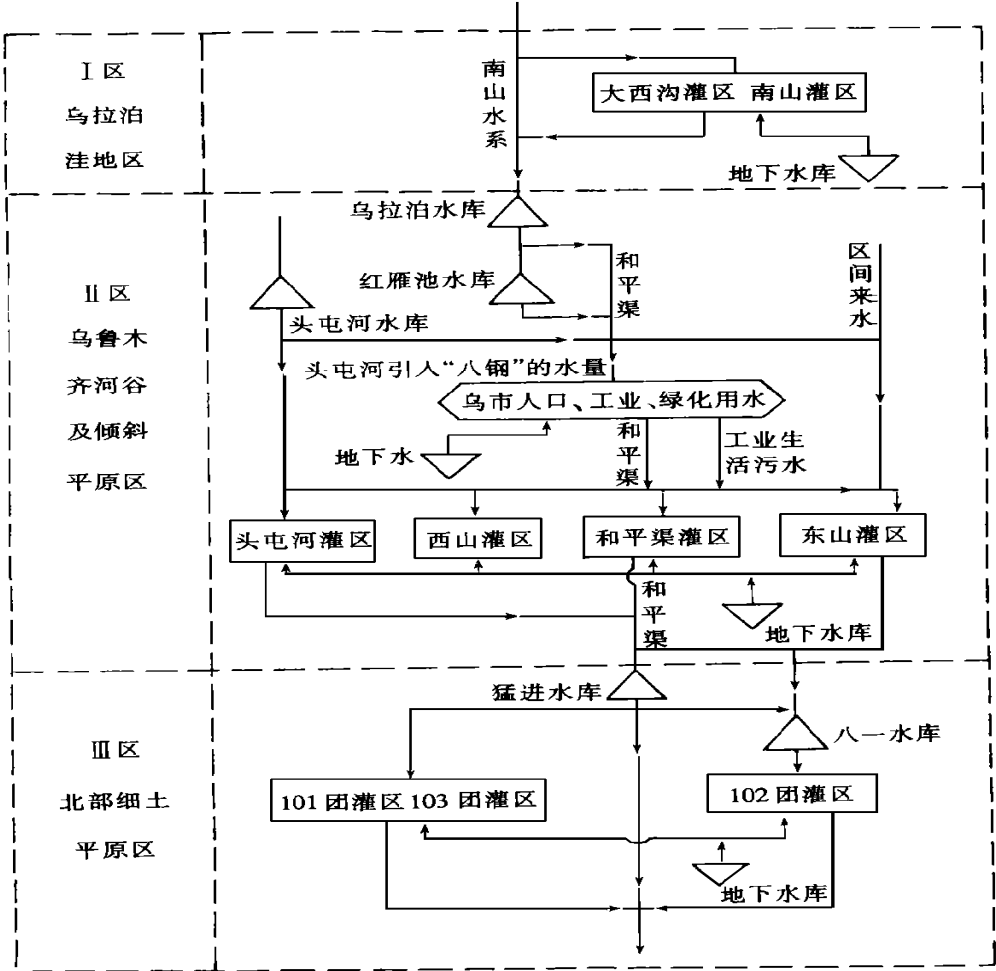


图 1 乌鲁木齐河流域地表水和地下水联调模拟模型示意图
Fig.1 The simulation model of combination of the surface water and
underground water on Urumqi river basin

2 2000 年乌鲁木齐河流域城市和工农业发展的供水方案研究

2.1 供水方案的设计

供水方案见表 1。

2.2 供水方案的比较与供水方案的效果显示

方案一，是在不考虑增加任何新的水源工程的情况下，把现有工程作为可比的零工程方案进行模拟计算的。从表 2 可知，乌鲁木齐河流域河谷及倾斜平原的生活供水保证程度为 81.75%，工业为 64.12%，农业为 47.12%，远远达不到规定的要求。乌鲁木齐河流域总缺水量为 $4.36 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，其中河谷及倾斜平原区缺水达 $3.88 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，而农业缺水量占 59.3%。由于农业用水的亏缺越大，对地下水转化补给量减小就越大，水资源的重复利用

率就越低, 说明按方案一实施供水, 供需水之间的差距很大, 缺水问题严重。必须采取相应的节流和开源对策。

表 1 地表水与地下水联合利用模拟模型方案

Tab. 1 The plans of the simulation model of the combination of the surface water and underground water

| 方 案 | 用水水平 | | | | | | 节流措施 | | | | 开源措施 | | | | 运 行 方 式 | |
|------------|------|-----|-----|-----|-----|-------|------|---------|--|--|----------|--------|--------|----------|------------------------------|------------------|
| | 生 活 | | 工 业 | | 农 业 | 污水资源化 | | 大西沟灌区喷灌 | | 渠系利 | 柴窝堡水源 | | 北水南引 | 规划中 | | |
| | 高方案 | 低方案 | 高方案 | 低方案 | 高方案 | 低方案 | 高方案 | 低方案 | 1. 33 × 10 ⁴ _{ha} | 0. 67 × 10 ⁴ _{ha} | 用率提 高 | 一 期 | 二 期 | 引额 济乌 | | 的大西 沟水库 |
| 一 | √ | | √ | | √ | | √ | | | | | √ | | | | 优 化 调 度 |
| 二 | √ | | | √ | | √ | | | √ | | √ | √ | | | | |
| 三 | √ | | √ | | √ | | √ | | √ | | √ | | √ | | | |
| 四 | √ | | √ | | √ | | √ | | | | | √ | | √ | | |
| 五 | √ | | √ | | √ | | √ | | | | √ | | √ | √ | | |
| 六 | √ | | √ | | √ | | √ | | √ | | √ | | √ | | √ | |

表 2 2000 年乌鲁木齐河流域分区供水保证程度 (%) 及缺水量 (10⁴m³)

Tab. 2 Guarantee rate of water supply and quantity of water-lacking on the separate zone of Urumqi river basin in 2000

| 分区方案 | | 一 | 二 | 三 | 四 | 五 | 六 |
|---------|-----|----------|------------|-----|------------|-----------|------------|
| 供水保证程度 | 生 活 | 乌拉泊洼地区 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | | 河谷及倾斜平原区 | 81. 57 | 100 | 97. 36 | 99. 64 | 100 |
| | 工 业 | 北部细土平原区 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | | 乌拉泊洼地区 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | | 河谷及倾斜平原区 | 64. 12 | 100 | 89. 14 | 97. 26 | 100 |
| | 农 业 | 北部细土平原区 | 95 | 100 | 98. 0 | 99. 0 | 100 |
| | | 乌拉泊洼地区 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | | 河谷及倾斜平原区 | 47. 73 | 100 | 83. 29 | 93. 10 | 100 |
| 缺水 量 | 业 | 北部细土平原区 | 77. 85 | 100 | 85. 82 | 83. 12 | 100 |
| | | 乌拉泊洼地区 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 河谷及倾斜平原区 | 38 821. 19 | 0 | 11 049. 1 | 3 981. 75 | 0 |
| | | 北部细土平原区 | 4 759. 81 | 0 | 2 091. 96 | 3 602. 33 | 0 |
| 合 计 | | | 43 581. 0 | 0 | 13 741. 06 | 7 584. 08 | 0 |
| | | | | | | | 13 024. 74 |

方案二, 作为节流措施的参考方案, 这主要是把工业用水维持在目前水平, 同时降低了农业的需要, 使流域 2000 年总需水比现状年 (1990 年) 只增加 $0. 38 \times 10^8 \text{m}^3$ 。同时, 为使 2000 年乌鲁木齐河流域水资源供需平衡, 增加了污水回用规模, 提高了渠系利用率以及大西沟灌区喷滴灌的实施。从表 2 可知, 它的供水保证程度已可满足。这是否说明乌鲁木齐河流域通过区内工、农业技术改造和挖潜节水真能达到这个水平。从目前的发展趋势分

析是很困难的。因为工业用水的增长速度很快，具有配套较好的循环用水设备的工厂只有少数几个大型企业，多数工厂重复利用率很低。而乌鲁木齐工业又要加快发展，要想维持目前工业用水水平，必须加大投资改造。增加循环用水，减少废水排放。目前，乌鲁木齐河流域还没有一座大中型污水处理厂，这使本来就很紧张的水资源，降低了水的利用率。同时要实现大西沟灌区喷灌 $0.67 \times 10^4 \text{hm}^2$ 技术的改造也需巨额投资。随着对外开放的深入，规划中的乌鲁木齐市经济开发区及八一钢铁总厂的改造扩建工程等都需要用水。因此方案虽好，但从经济上、技术上可能难以做到。

方案三与方案六是一组对比方案。方案三，从流域的实际出发，把渠系有效利用率分别由 1990 年的三个分区的 0.45、0.67、0.62，提高到 2000 年的 0.55、0.70、0.70。考虑污水处理厂建设规划，把污水的可利用量提高到 $1.15 \times 10^8 \text{m}^3$ 。大西沟灌区喷灌面积力争达到 $1.33 \times 10^4 \text{hm}^2$ ，调柴窝堡水源工程由一期 $0.3 \times 10^8 \text{m}^3$ 提高到二期 $0.5 \times 10^8 \text{m}^3$ 。方案六比方案三多考虑了规划中的大西沟水库。据对方案三和方案六分析，方案六只对生活、工业供水保证程度比方案三有微小的提高，从供水量上看，方案六贡献不大。说明修建大西沟水库对水资源的可利用总量并不起作用，只是增加了对水资源的调节作用。而且乌鲁木齐河多年平均径流量 $2.36 \times 10^8 \text{m}^3$ ，可供调节的能力较低，故修建大西沟水库对解决南郊农业春旱有一定的辅助意义，对保护生态环境有积极作用，但对提高供水的保护程度作用不明显。从方案三的供水保证程度分析，区和区都满足，区的生活供水保证程度为 97.36%，工业供水为 89.14%，农业供水为 83.29%，总缺水量为 $0.137 \times 10^8 \text{m}^3$ ，比现状年（1990 年）只增加了 $0.174 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

方案四与方案五是一组对比方案。方案四，重点考虑北水南引（引额济乌） $2 \times 10^8 \text{m}^3$ ，建设污水处理厂，使污水资源化，对其它节流措施未予考虑。方案五比方案四增加考虑了渠系利用率的提高及柴窝堡水源地二期工程的建设，并对北水南引的可行性作进一步分析。

方案五的供水保证程度最高，缺水量为零。该方案考虑了引额尔齐斯河水济乌鲁木齐河流域。这从根本上解决了缺水问题，但引额济乌耗资巨大，非属自治区能单独承担，实现起来困难较多。而且只考虑引额济乌单项工程，并不能使乌鲁木齐河流域水资源达到供需平衡。如方案四，乌鲁木齐河流域的缺水量为 $0.758 \times 10^8 \text{m}^3$ ，只有和节流工程配合起来，才能达到供需平衡。

通过分析，推荐方案三为 2000 年实现水资源平衡的较好方案。

3 结论

(1) 乌鲁木齐河流域水资源短缺是必然趋势。乌鲁木齐河流域现状水资源利用已处于过度开发状态，地表水资源已全部利用。2000 年在不实施新的规划措施时，通过方案一分析，流域总缺水量达 $4.36 \times 10^8 \text{m}^3$ 。这对水资源总量只有 $6.32 \times 10^8 \text{m}^3$ 的流域来说，未来供水短缺问题将更加严重。

(2) 解决缺水应采取的措施。为了解决 2000 年的水资源短缺问题，从可行性上分析，方案三为首选方案。它是以提高渠系利用率、建设污水处理厂、新建大西沟灌区 $1.33 \times 10^4 \text{hm}^2$ 喷灌面积和调柴窝堡水源二期工程为前提的。该方案经模拟和优化，乌鲁木齐河流域缺水量为 $1.37 \times 10^8 \text{m}^3$ ，通过对工业用水的管理，改革工艺流程，提高重复利用率，增加污水的

处理和回用，是可以缩小缺水矛盾的。但为了解决今后的供需平衡，开辟新水源应尽快地列入重要的议事日程。

(3) 经过模型验算，提高渠系有效利用率和扩大大西沟灌区喷滴灌面积等对乌鲁木齐河流域地下水的转化补给量不会有什么大的影响。

由于建立了地表水与地下水的联合调度模拟模型，实现了对地下水的动态模拟，从分析结果看，节流措施可以节余大量的地表水，对地下水的转化补给影响较低，节余的地表水量与减少的地下水量之比为 7 : 1，从地下水的开采量分析也没有什么变化，而它的供水保证程度却随着节流措施的进一步实施而有很大的提高。

参 考 文 献

- 1 翁文斌，邱培佳. 地表水、地下水联合调度动态模拟分析方法及应用. 水利学报, 1988(2) 1 ~ 10
- 2 郭元裕，李寿声. 灌排工程最优规划与管理. 水利电力出版社, 1994. 199 ~ 205
- 3 赵宝峰. 水资源管理. 水利电力出版社, 1994. 63 ~ 79
- 4 姚汝祥，翁文斌等. 水资源系统规划与分析. 水利电力出版社, 1988

作 者 简 介

陈友媛，女，1966 年 2 月生，现在新疆大学地理系水资源与环境教研室工作，讲师。编写了《水资源导论》教材，发表了“利用模拟模型研究乌鲁木齐河流域地表水对地下水资源补给的影响”等论文。

THE PROGRAMME OF WATER SUPPLY IN URUMQI RIVER BASIN IN 2000 BY USING THE ADMINISTRATIVE SIMULATION MODEL OF WATER RESOURCE

Chen Youyan

(The Department of Geography in Xinjiang University Urumqi 830046)

Zhou Yuchao

(The Bureau of Hydrology & water Resource Xinjiang Urumqi 830000)

Abstract

Urumqi river basin includes Urumqi city and the northern and the southern suburbs of Urumqi, which is a famous water-lacking basin in China. According to the data in 1990, the underground water resource which amounts to 120 million cubic meters in the basin was over exploited. By 2000, Water-lacking of the basin and city will be very serious. Urumqi river basin belongs to interior basin. Under the exploitation and utilization of water resource, the exchange from the surface water to underground water happens more than once. At present, the repeated utilization ratio of the water resource in the basin is 167%. By establishing effective simulation model of integration of surface water and underground water, we can know the dynamic change of underground water and analyze the influence of the exchange of surface water and underground water. In the course of simulation, the different sources of the water supply for living industry and agriculture are taken into account, and it is mainly based on the 1990 ~ 1992 detailed data of accurate test and assess of Urumqi city water resource. In the management of reservoir group, we consider different parameter of the water supply. In the meanwhile, we take the measures of saving water and enlarging water resource. Through dynamic simulation, we can know the ways of saving water which can greatly increase the quantity of the surface water with a small reduction of the quantity of underground water, and the ratio is 7 : 1. For the measures of enlarging the water resource, the future project combined and the necessity of carrying out it was analyzed. On the basis of it, the paper analyzes the tendency of living, industrial and agricultural water need of year 2000 and the measures should be taken. By means of a lot of calculations, this paper has offered six plans in 2000. The plans can offer a policy-making reference to solve the water-lacking problems of Urumqi city.

Key words dynamic simulation, optimization plan