

【水资源】

# 塔里木河流域水资源合理配置方案研究

任加锐<sup>1,2</sup>, 唐德善<sup>1,2</sup>, 洪娟<sup>2</sup>, 刘小刚<sup>3</sup>

(1. 河海大学 水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098;

2. 河海大学 水利水电工程学院, 江苏 南京 210098; 3. 南京市水利建筑工程总公司 一公司, 江苏 南京 210000)

**摘要:**随着经济的迅速发展,塔里木河流域用水量持续增加,干流河道断流现象日趋严重。利用模糊综合决策、层次分析法等理论初步对该流域的水资源进行了配置研究,得出了不同保证率下水资源配置方案成果。认为,从未来的经济发展看,各地区分配水量指标与实际需要的水量差距很大,都面临艰巨的节水任务。

**关键词:**水资源;合理配置;塔里木河

**中图分类号:** TV213.9

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-1379(2006)05-0040-03

## 1 塔里木河流域概况

塔里木河流域是环塔里木盆地诸多向心水系的总称,涵盖整个南疆。塔里木河(以下简称塔河)干流全长1 372 km,其自身几乎不产流,由诸源流汇流而成。因人类活动与气候变化等影响,许多源流相继减少或中断了对干流的水量补给,目前与干流地表水联系密切的只有阿克苏河、叶尔羌河、和田河和开都—孔雀河(以下简称开—孔河),形成“四源—干”的局面,并且水量补给仍呈递减趋势。塔河是我国最大的一条内陆河,也是世界第二大内陆河,流域总面积102万km<sup>2</sup>,占新疆总面积的61.82%,干流流域面积4.4万km<sup>2</sup>,占全流域面积的4.3%。

塔河不合理的引水方式和极为有限的水利工程措施,使得塔河下游水量急剧下降、泥沙淤积严重(河道每年输沙量约2 840万t),干流从未进行过清淤。目前,河床呈宽浅式,导致河床输水能力极差;加之割据式水资源利用状况,造成塔河两岸天然植被退变和土地沙化面积加大,下游近300 km的河段断流长达20年之久。

## 2 水资源合理配置的原则

根据“四源—干”流域水资源总量、区域分布情况、开发利用现状及存在的主要问题,结合流域水资源可持续发展战略,水资源配置原则是:

(1)尊重现状。存在必有其合理性。现状用水是多种因素、多方利益主体博弈的结果,因此应该以现状用水为基础进行水资源配置,这将增加流域各地区水资源分配的可操作性。

(2)保障生态系统用水。保障生态系统用水,是实现水资源可持续利用的重要基础。要充分考虑水资源的制约条件,优化配置资源,科学安排不同产业、部门和地区用水,特别是要适当增加和优先保证生态系统的保护和改善用水。

(3)以“以供定需”为基础进行水资源供需平衡管理。对

水资源的供需平衡,要从过去的以需定供转变为以供定需,加强需水管理,根据流域内水资源总量和区域分布情况进行合理配置。

(4)切实加强节水建设,提高用水效率。积极稳妥地进行产业结构调整,切实搞好节水工程和节水灌溉,建设节水高效现代灌溉农业,提高水的利用效率。

(5)合理控制源流和干流上、中游经济用水。采取开源节流和管理措施,将各源流的引水量控制到规定的水量分配指标以内。严格控制干流上、中游的经济用水,满足干流下游生态建设用水。

(6)适度开发利用地下水。积极稳妥地开发各源流平原区较为丰富的地下水,以增加供水能力,防治土地次生盐碱化。

## 3 基准年供需分析

根据2000年的供水情况和需水情况进行供需分析,得出2000现状年的供需平衡结果见表1。

从表1可以看出,2000年区域总缺水量约为33.39亿m<sup>3</sup>,约占当年总需水量的15%。分析其原因:①区域水资源不丰富,其分布地域差异很大,年际年内波动极不稳定;②目前的水利工程以引水工程供水为主,往往在洪水期引水量过大,供水量超过农田实际的需水要求,而春、秋季供水量又不能满足实际需水要求,所以虽然年总供水量大于年需水量,但年内仍然存在缺水问题;③水资源利用过程中浪费现象严重,地表水引用水量的利用水平较低,渠道利用系数较低,农业毛灌溉定额较高。

**收稿日期:** 2006-01-05

**基金项目:** 水利部948科技创新项目(CT200424)。

**作者简介:** 任加锐(1981-),男,江苏淮安人,硕士研究生,研究方向为水资源规划及水利经济。

表1 2000 现状年的供需平衡结果 万 m<sup>3</sup>

项目	结果
需水量	2 240 683
供水量	1 906 720
地表水	1 818 550
地下水	86 056
其他水源	2 114
缺水量	333 963

## 4 水资源配置模型

### 4.1 水资源的分配方法

水资源的分配是一个多地区多目标多层次的决策问题,涉及到流域内各地区的社会、经济、环境等多方面因素,而影响这些因素的指标又有很多,故可采用综合权重法来配置水资源。所谓综合权重法,就是对水资源进行分配时,综合考虑水资源分配应遵循的原则和各种影响指标,对不同的指标赋予不同的权重,最后进行综合计算,得出各地区水资源分配结果。

首先从流域内各个地区的社会经济情况出发,全面考虑影响水资源分配的因素,确定水资源分配的指标,并将这些指标按生活、生态、生产因素对水资源分配的影响分为两个层次。然后根据此指标体系,利用模糊一致矩阵基础上的多目标多层次模糊综合优选方法来构建水资源分配的数学模型。

### 4.2 多目标多层次模糊综合优选

对于多目标多层次的模糊综合优选,首先需要确定方案集  $V$  和指标集  $U$ ;其次构建模糊一致矩阵,计算在单指标下的方案优度值;最后,用各分指标的权重求得优选总体方案<sup>[1]</sup>。

#### 4.2.1 确定方案集 $V$ 和指标集 $U$

设决策论域  $V$  是方案(地区)的集合,构成优选方案集  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ 。对各地区水资源分配有影响作用的指标集合为  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 。因为指标体系分为多层次,所以可将指标集分成若干组  $U = \{U_1, U_2, \dots, U_l\}$ , 并使得

$$U = \bigcup_{i=1}^l U_i, \text{ 且 } U_i \cap U_j = \varnothing (i \neq j)$$

称  $U = \{U_1, U_2, \dots, U_l\}$  为第一级指标集。

在第一指标集下,设  $U_p = \{u_1^{(p)}, u_2^{(p)}, \dots, u_{n_p}^{(p)}\} (p = 1, 2, \dots, l), n_1 + n_2 + \dots + n_l = \sum_{i=1}^l n_p = n$  称为第二级指标集。

#### 4.2.2 构建模糊一致矩阵和计算单指标下的方案优度值

建立模糊一致矩阵  $R^k = (r_{ij}^k)_{m \times m}$ <sup>[2]</sup>, 其中

$$r_{ij}^k = \frac{r_i^k - r_j^k}{2n_p} + 0.5 \quad (1)$$

$$r_i^k = \sum_{i=1}^m b_{ii}^k \quad (2)$$

$$r_j^k = \sum_{j=1}^m b_{jj}^k \quad (3)$$

由于是  $m$  个方案在  $n_p$  个指标下的优选,故可以建立  $n_p$  个单指标模糊优先关系矩阵  $B^k = (b_{ij}^k)_{m \times m} (k = 1, 2, \dots, n_p)$ , 其中  $b_{ij}^k$  称为在指标  $u_k$  下  $v_i$  对  $v_j$  的优先关系系数,其值为

$$b_{ij}^k = \begin{cases} 0 & \text{若在指标 } u_k \text{ 下, } v_j \text{ 优于 } v_i \\ 0.5 & \text{若在指标 } u_k \text{ 下, } v_j \text{ 与 } v_i \text{ 等优} \\ 1 & \text{若在指标 } u_k \text{ 下, } v_i \text{ 优于 } v_j \end{cases} \quad (4)$$

$$B^k = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1m} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \dots & b_{mm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5 & b_{12} & \dots & b_{1m} \\ b_{21} & 0.5 & \dots & b_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \dots & 0.5 \end{bmatrix}$$

运用方根法计算方案  $v_i$  在指标  $u_k$  下的优度值

$$S_i^k = \frac{\bar{S}_i}{\sum_{i=1}^m \bar{S}_i} \quad (5)$$

其中

$$\bar{S}_i = \left( \prod_{i=1}^m r_{ii}^k \right)^{\frac{1}{m}} \quad (6)$$

#### 4.2.3 总体方案的优选

设分指标集  $U_p$  里各指标相应的权重为  $\omega_k$ , 且满足  $\sum_{k=1}^{n_p} \omega_k = 1$ , 计算各方案的综合优属度值  $S_i$ :

$${}_p S_i = \sum_{k=1}^{n_p} \omega_k \cdot S_i^k \quad (i = 1, 2, \dots, m; p = 1, 2, \dots, l) \quad (7)$$

令分指标集的上一层次的指标层之间的权重为  $\omega_p (1, 2, \dots, l)$ , 且满足  $\sum_{p=1}^l \omega_p = 1$ 。则上一层次上的总体优度值  $S_i$  为

$$S_i = \sum_{p=1}^l \omega_p \cdot {}_p S_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (8)$$

### 4.3 指标权重的确定

在水资源分配中,各影响因素的指标既有定量的又有定性的,且这些指标之间通常又有不同的类别和层次,关系比较复杂。在此采用层次分析法确定各指标权重的。

层次分析法的基本原理是将要识别的复杂问题分解成若干层次,由专家和决策者对所列指标通过两两比较重要程度而逐层判断评分,利用计算判断矩阵的特征向量,确定下层指标对上层指标的贡献程度,从而得到基层指标对总目标而言重要性的排列结果。

#### 4.3.1 构造判断矩阵

首先需要确定各个指标之间的重要性,两两指标相比较求得相应的重要性判断矩阵  $(u_{ij})_{k \times k}$ 。两两指标比较的判断值  $f_{ij^{(u)}} / f_{ji^{(u)}}$  的确定方法见表2。其中  $f_{ij^{(u)}}$  表示第  $i$  指标与第  $j$  指标相比的重要程度;  $f_{ji^{(u)}}$  则相反  $f_{ji^{(u)}} = f_{ij^{(u)}}^{-1}$ <sup>[3]</sup>。

通过两两因素的比较,可得到判断矩阵:

$$U = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{n1} & u_{n2} & \dots & u_{nn} \end{bmatrix}$$

#### 4.3.2 计算各指标的权重

计算判断矩阵的最大特征值  $\lambda_{\max}$ , 即解  $UW = \lambda_{\max} W, \lambda_{\max}$  所对应的特征向量  $W$  即为所要确定的各指标的权重  $b_i$ , 记为  $B = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ 。

表 2 指标重要程度的判断值

$u_{ij}$	1	3	5	7	9	2,4,6,8
$f_{ij}(u)$	同等重要	稍微重要	明显重要	强烈重要	绝对重要	重要程度介于各等级之间

4.3.3 判断矩阵 U 的一致性

为验证权重的合理性,需要对判断矩阵 U 进行一致性检验。

当判断矩阵的随机一致性比例  $CR = \frac{CI}{RI} < 0.10$  时,则认为判断矩阵具有满意的一致性;否则需要调整判断矩阵,直至具有满意的一致性<sup>[4]</sup>。该式中,CI 为判断矩阵的一般一致性指标,由公式  $CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$  确定;RI 为判断矩阵的平均随机一致性指标。

当判断矩阵具有完全一致性时,CI = 0。为了度量不同阶数

判断矩阵是否具有满意的一致性,引进判断矩阵平均随机性指标 RI 值,对于 1 ~ 14 阶的判断矩阵,RI 值如表 3。

5 “四源一干”水资源配置方案对照

5.1 不同保证率下塔河流域水资源配置方案成果

根据塔河流域的实际情况,运用上述水资源的配置方法对塔河流域源流与干流的水资源进行配置,具体结果见表 4。

表 3 RI 指标值

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58

表 4 2010 年塔河“四源一干”不同来水频率水资源分配方案

亿 m<sup>3</sup>

来水频率	阿克苏河			和田河			叶尔羌河			开—孔河、塔河	塔河水资源总量
	河道来水	源流	塔河	河道来水	源流	塔河	河道来水	源流	塔河		
25%	88.49	46.92	41.47	50.00	24.71	15.02	84.19	73.45	5.12	4.23	65.92
50%	80.60	46.86	33.74	42.70	24.44	8.72	72.79	64.81	3.03	4.23	49.72
75%	72.51	46.55	26.06	36.10	21.07	6.19	65.06	62.69	0.00	4.23	36.36
90%	66.78	41.97	24.88	31.00	20.92	1.96	58.47	58.72	0.00	4.23	30.94

5.2 塔河流域近期综合治理规划水资源配置方案

塔河流域源流与干流的水资源划分采取自下而上的分配形式,即:按天然来水保证率 P = 50% 为基本原则,依据《塔里木河流域近期综合治理规划》,确定近期 2010 年阿拉尔断面多年

平均地表来水量应达到 46.5 亿 m<sup>3</sup>,开—孔河注入塔河下游 4.5 亿 m<sup>3</sup>,则塔河干流总水量为 51.0 亿 m<sup>3</sup><sup>[5]</sup>。源流内生态用水和国民经济各部门水资源量,则是在源流获得的水资源量中进行二次分配。水资源配置方案见表 5。

表 5 塔河“四源一干”近期综合治理规划水资源分配方案

亿 m<sup>3</sup>

来水频率	阿克苏河			和田河			叶尔羌河			开—孔河、塔河	塔河水资源总量
	河道来水	源流	塔河	河道来水	源流	塔河	河道来水	源流	塔河		
25%	88.49	46.46	42.03	50.0	24.42	15.51	84.19	73.14	5.58	4.5	67.62
50%	80.60	46.40	34.20	42.7	24.16	9.29	72.79	64.54	3.3	4.5	51.00
75%	72.51	46.10	26.41	36.1	20.83	6.39	65.06	62.43	0	4.5	37.30
90%	66.78	41.56	25.22	31.0	20.68	2.02	58.47	58.47	0	4.5	31.74

可以看出,表 4 中的四源流总体水资源量要比表 5 中的源流水资源量稍大,干流水资源总量减少 1.28 亿 m<sup>3</sup>,这是因为笔者在水资源分配中考虑到源流地区人口集中、经济发展等因素,源流地区需要的水资源量较多,干流人口较少,经济基础较差,所需的水资源量较少。上述两种方案均保证大西海子断面下泄水量为 4.5 亿 m<sup>3</sup>,水流到达台特玛湖,使塔河干流上、中游林草植被得到有效保护和恢复,下游生态环境得到初步改善。

6 结 语

塔河流域水资源总量是一定的,如何协调好社会经济和生态需水的矛盾,需要长期的实践和探索。从未来各地区的经济发展来看,各地区分配水量指标与实际需要的水量差距很大,都面临艰巨的节水任务。因此,应该加强广大群众的节水意识、加快节水工程建设,进一步调整种植结构、积极利用高新技术来提高水资源的利用率。

参考文献:

- [1] 冯尚友. 多目标决策理论方法与应用[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1990.
- [2] 黄健元. 模糊集及其应用[M]. 银川:宁夏人民教育出版社,2000.
- [3] 吴文静. 水市场的培育途径研究[D]. 南京:河海大学,2004.
- [4] 赵焕臣. 层次分析法——一种简易的新决策方法[M]. 北京:科学出版社,1986.
- [5] 新疆维吾尔自治区人民政府. 关于印发塔里木河流域“四源一干”地表水水量分配方案等方案的通知[Z]. 乌鲁木齐:新疆维吾尔自治区人民政府,2003.

【责任编辑 王 琦】