

岷江全流域水资源量化配置研究

胡玉明^{1,2}, 梁川¹

(1. 四川大学 水利水电学院, 四川 成都 610065; 2. 四川盛唐建设工程有限公司, 四川 成都 610000)

摘要: 针对岷江流域的生态功能, 本文采用多准则的层次分析法, 构建了社会发展、经济发展和生态保护三维度的评价指标, 以流域内行政区域作为分配对象, 建立了科学合理的岷江流域水资源量化分配模式。结果表明: 水资源分配不但要根据区域用水量、经济总量等社会、经济指标, 也要根据生态保护的量度来进行相应的补偿, 才能使水资源量化分配模型更加科学合理, 各方均可接受, 从而使得流域水资源的利用具有可持续性。

关键词: 水资源配置; 水资源量化; 生态保护; 岷江流域

中图分类号: TV213.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2016)01-0007-06

Study on water quantitative allocation in Minjiang River basin

HU Yuming^{1,2}, LIANG Chuan¹

(1. College of Water Resource & Hydropower, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. Sichuan Suntang Construction Engineering Co. Ltd, Chengdu 610000, China)

Abstract: In view of the ecological function of Minjiang river basin, the paper utilized the analytic hierarchy process of multinorm to built three dimensional evaluation index about society development, economy development and ecology protection. It built the scientific and rational water allocation quantization mode in Minjiang river basin by taking administration zone of the basin as allocation target. The result shows that water allocation not only accords to society and economy index about water consumption and total economy, but also accords to ecological protection to carried out appropriate compensation, which can make the water allocation model more scientific, rational and acceptable to all parties and make the utilization of water resources of the basin more sustainable.

Key words: water allocation; quantization of water resources; ecology protection; Minjiang river basin

水资源的可持续利用是实现社会、经济及生态环境可持续发展的重要保证。水资源的合理分配是保障水资源对流域或区域社会、经济发展、维护生态系统, 实现区域之间、用水目标之间、用水部门之间对水量和水环境容量的合理分配, 保持水资源良性循环过程及其可再生能力, 也是解决水资源系统内外部的基本矛盾, 解决社会、经济发展对水的需求与生态环境用水之间的矛盾^[1-2]。从区域上来看, 主要江河上游地区通常经济不够发达, 同时又承担了更多的维护水资源生态的责任, 需要得到相应的补偿。因此, 建立完善的水权体系和成熟的水市场, 实现水资源的优化配置, 已成为当前我国水资源管理的重点工作。在建立水市场之前, 必须对水资源进

行初始配置, 亦即初始水权的分配^[3-4]。

国内学者对水资源的合理配置的评价已经有广泛和深入的研究, 有全面的、成体系的水资源分配评价体系^[5]。也有学者从不同角度对水资源分配做了大量研究, 有从水资源承载能力 DPSIR 模型应用到流域水资源的研究^[6], 也有从控制排污的角度提出了水量分配的量和质的二维模型^[7], 王为人等^[8]、李长杰等^[9]学者对水资源分配或水权模型都做了具体研究。在国外, 莱茵河很早就成立了跨国的统一管理机构, 并确定了年度预算的分摊比例, 德国的流域面积占一半以上, 但分摊比例仅有32.5%, 可见费用的分摊并不是根据流域面积等简单指标来计算的, 而是综合了诸多影响因素后确定下来的

收稿日期: 2015-09-09; 修回日期: 2015-11-20

基金项目: 水利部公益性行业项目(201101038、201101053)

作者简介: 胡玉明(1971-), 男, 重庆人, 博士研究生, 高级工程师, 主要从事水文水资源及工程管理工作。

通讯作者: 梁川(1957-), 男, 四川人, 教授, 博士生导师, 主要从事水文水资源研究。

[10-11]。在多瑙河流域,国际多瑙河保护委员会(ICPDR)主导了多瑙河的流域管理,制定了大量的文件,指导河道改善、航道发展、项目规划和生态改善等,其经验和做法值得借鉴[12]。

水资源流域性的特点决定了水资源必须实行流域的统一管理,流域水资源系统受自然、社会和环境多方面因素的影响,需要从社会、经济、环境、资源、人口等方面来综合考虑全流域的水资源配置管理。可持续发展的水资源分配遵循人口、资源、环境和经济协调发展的原则,以满足社会、经济和生态用水,促进三者协调发展为目标,实现水资源在经济社会和生态环境中的全方面配置,使配置更加科学化、合理化和全面化[13]。

1 岷江流域水资源状况

岷江是长江流域水量最大的支流,流域大致位于东经 $100^{\circ}31' \sim 105^{\circ}26'$ 、北纬 $27^{\circ}50' \sim 34^{\circ}19'$ 范围,流经阿坝、成都、雅安、内江、自贡、眉山、乐山和宜宾 8 个地区(不含大渡河、青衣江支流),河口多年平均流量 $2\ 830\ \text{m}^3/\text{s}$,年均径流量 916 亿 m^3 ,流域水能理论蕴藏量 $4888.6 \times 10^4\ \text{kW}$ 。

岷江上游地区,由于强烈的人为干扰,生态环境变化剧烈,森林资源过度利用,中下游是全流域经济最发达的地区,其生态环境也较之于干流上游、大渡河支流良好,但也不乏水资源短缺、水质污染剧烈、森林植被退化严重、地质灾害频发、水污染现象逐渐增加、水土流失严重等生态问题[14]。岷江流域环境形势从总体上看并不乐观,这是因为长期以来过度的资源利用和开发建设造成生态与环境质量下降,不合理的经济结构和功能布局使生态环境面临压力,特别是在生态破坏趋势尚未得到根本遏制、环境质量有所下降情况下,生态安全问题日益突出。

岷江是长江上游水量最大的一条支流,相对于长江中下游而言,岷江流域的生态功能将远远大于社会、经济功能。目前,正是岷江流域加速发展阶段,必然会带来资源、能源需求量的增长,从而造成环境负荷加重,给有限的环境资源带来更大的压力,这些都将在很大程度上影响区域环境保护与生态建设。从实际情况来看,岷江流域并没有建立完善的流域综合管理制度,上游地区修建了大量中小型水电站,造成水土流失和水质恶化。有学者对岷江流域水质、需水和生态环境等局部问题作了一些研究[15-17],但缺少相关的水资源配置的研究和实践,

没有建立流域内各地区的用水量分配。为此,必须对流域生态状况进行系统分析,通过确立科学合理、各方均可接受的水资源分配方案,为制定总体的流域规划提供依据,同时形成专项研究成果也可用于指导各有关行业的具体建设。

2 资料与方法

层次分析法是一种实用的多准则决策方法,它把一个复杂系统问题转化为有序的递阶层次结构,通过人们的判断对决策方案的优劣进行排序并赋予权重。层次分析法是美国数学家 Satty T L 在 20 世纪 80 年代提出的[26],将该方法应用于流域水资源分配模型,可以求解水资源分配权重,从而使流域水资源分配做到既体现发展的目标又兼顾发展的可持续性。

2.1 评价准则

流域水资源分配递阶层次结构可由目标层、准则层、指标层和方案层组成。目标层为水资源分配;准则层包括社会性、经济性和生态型 3 个分析评判标准;指标层由水资源分配优先权因素及其代表性评价因子组成;方案层由待分配地区分区组成。

2.2 评价指标

水资源合理分配表现为社会性、经济性和生态性 3 个方面,现有评价指标体系大多是为评价区域或流域的社会经济可持续发展水平、水资源开发利用、区域用水和区域水资源承载能力等建立的,并没有考虑水资源可持续利用及流域所处位置的生态功能的影响因素。

2.2.1 选择水量分配指标体系 社会性指标、经济性指标、生态性指标选择详见图 1,其中森林总面积、湿地面积和水资源总量既作为经济性指标,又作为生态性指标。

2.2.2 构建层次结构图 建立层次结构图时,把目标层(A层)列在最高层,把实现总目标所涉及到的约束条件、评价准则等列在中间层(B层和C层),把实现总目标的方案放在最底层。凡上下层因素之间有关系因素就用直线连接,无关系的因素之间不连线,建立如图 1 所示的层次结构图。

2.3 指标权重

首先将各层次各指标进行两两比较,确定相对重要性并赋值。两两指标相比较的赋值方法见表 1,其中, $f(i, j)$ 表示第 i 指标与第 j 指标相比的重要程度, $f(j, i)$ 则相反,即 $f(i, j) = 1/f(j, i)$ 。

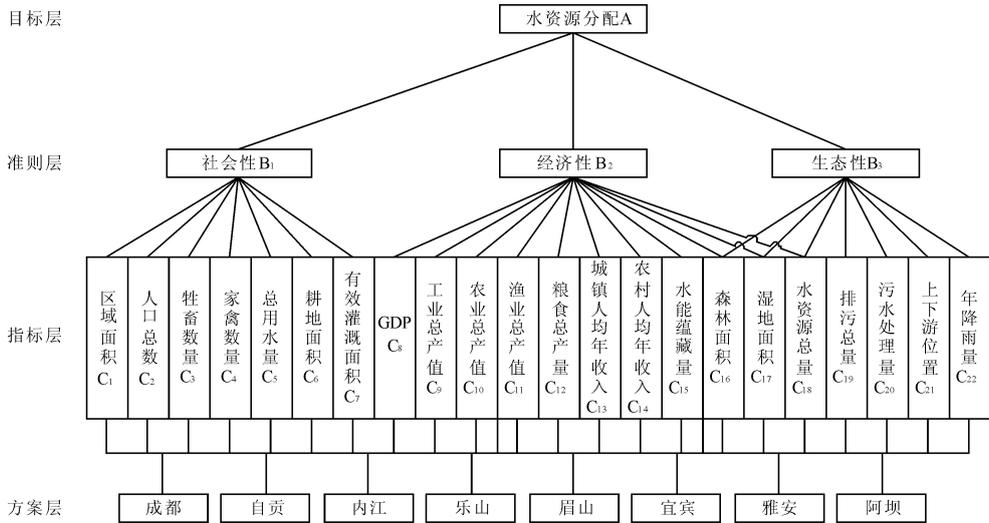


图 1 岷江流域水资源配置层次结构图

表 1 指标重要程度的判断值表

| 重要程度 | 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 |
|----------|------|------|------|------|------|-------------|
| $f(i,j)$ | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | 2,4,6,8 |

然后,根据赋值构造判断矩阵,用方根法计算矩阵的最大特征值(λ_{max}),其最大特征值所对应的特征向量(W_i)即为所要确定的各层次各指标的重要程度系数(权重)。最后,对判断矩阵进行一致性检验。检验方法如下:

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \quad (1)$$

$$CR = CI / RI \quad (2)$$

式中: CI 为一致性指标; λ_{max} 为最大特征值; n 为判断矩阵的阶数; RI 为随机一致性指标; CR 为判断矩阵的随机一致性比例。

若 $CR < 0.1$, 认为矩阵具有让人满意的一致性(即判断矩阵通过一致性检验); 否则, 若 $CR \geq 0.1$, 就需要重新调整判断矩阵, 直到满足条件为止。

$$E_1 = \begin{bmatrix} f(C_1, C_1) & f(C_1, C_2) & \cdots & f(C_1, C_6) & f(C_1, C_7) \\ f(C_2, C_1) & f(C_2, C_2) & \cdots & f(C_2, C_6) & f(C_2, C_7) \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ f(C_6, C_1) & f(C_6, C_2) & \cdots & f(C_6, C_6) & f(C_6, C_7) \\ f(C_7, C_1) & f(C_7, C_2) & \cdots & f(C_7, C_6) & f(C_7, C_7) \end{bmatrix} \quad (4)$$

建立特征方程: $DW_2 = \lambda W_2$, 经方根法计算, $W_2 = (0.0669, 0.3341, 0.0686, 0.0306, 0.1830, 0.1591, 0.1577)^T$, 经对判断矩阵进行一致性检验, $CR = 0.051 < 0.1$, 满足要求。社会性指标层指标权

3 结果与讨论

3.1 计算结果

(1) 准则层 B 层判断矩阵及层次指标权重涉及指标包括社会性(B_1)、经济性(B_2)和生态性(B_3) 3 项指标, 经指标两两比较赋值构建判断矩阵为:

$$D = \begin{bmatrix} f(B_1, B_1) & f(B_1, B_2) & f(B_1, B_3) \\ f(B_2, B_1) & f(B_2, B_2) & f(B_2, B_3) \\ f(B_3, B_1) & f(B_3, B_2) & f(B_3, B_3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1/2 \\ 1/2 & 1 & 1/2 \\ 2 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

建立特征方程: $DW_1 = \lambda W_1$, 经方根法计算, $W_1 = (0.3108, 0.1958, 0.4934)^T$, 经对判断矩阵进行一致性检验, $CR = 0.046 < 0.1$, 满足要求。准则层指标权重见表 2。

(2) 社会性指标层判断矩阵及层次指标权重涉及指标包括 7 项指标, 经指标两两赋值构建判断矩阵见式(4):

重见表 2。

(3) 经济性指标层判断矩阵及层次指标权重涉及指标包括 11 项指标, 经指标两两赋值构建判断矩阵见式(5):

$$E_2 = \begin{bmatrix} f(C_8, C_8) & f(C_8, C_9) & \cdots & f(C_8, C_{16}) & f(C_8, C_{18}) \\ f(C_9, C_8) & f(C_9, C_9) & \cdots & f(C_9, C_{16}) & f(C_9, C_{18}) \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ f(C_{16}, C_8) & f(C_{16}, C_9) & \cdots & f(C_{16}, C_{16}) & f(C_{16}, C_{18}) \\ f(C_{17}, C_8) & f(C_{17}, C_9) & \cdots & f(C_{17}, C_{16}) & f(C_{17}, C_{18}) \end{bmatrix} \quad (5)$$

建立特征方程: $DW_3 = \lambda W_3$, 经方根法计算, $W_3 = (0.0419, 0.0758, 0.1094, 0.0289, 0.1581, 0.1131, 0.1282, 0.0298, 0.0694, 0.0611, 0.01843)^T$, 经对判断矩阵进行一致性检验, $CR = 0.013 < 0.1$, 满

足要求。经济性指标层指标权重见表2。

(4) 生态性指标层判断矩阵及层次指标权重涉及指标包括6项指标, 经指标两两赋值构建判断矩阵见式(6):

$$E_3 = \begin{bmatrix} f(C_{16}, C_{16}) & f(C_{16}, C_{17}) & \cdots & f(C_{16}, C_{21}) & f(C_{16}, C_{22}) \\ f(C_{17}, C_{16}) & f(C_{17}, C_{17}) & \cdots & f(C_{17}, C_{21}) & f(C_{17}, C_{22}) \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ f(C_{21}, C_{16}) & f(C_{21}, C_{17}) & \cdots & f(C_{21}, C_{21}) & f(C_{21}, C_{22}) \\ f(C_{22}, C_{16}) & f(C_{22}, C_{17}) & \cdots & f(C_{22}, C_{21}) & f(C_{22}, C_{22}) \end{bmatrix} \quad (6)$$

建立特征方程: $DW_4 = \lambda W_4$, 经方根法计算, $W_4 = (0.2216, 0.1894, 0.3022, 0.0463, 0.1142, 0.0276, 0.0987)^T$, 经对判断矩阵进行一致性检验, $CR = 0.088 < 0.1$, 满足要求。生态性指标层指标权重排序见表2。

(5) 利用同一层次中所有层次单排序的结果, 按层次结构图从上至下计算所有指标的层次总权重和总排序, 计算结果见表2。同时, 经对总层次进行一致性检验, $CR = (\sum_{j=1}^n W_j CI_j) / (\sum_{j=1}^n W_j RI_j) = 0.0618/1.359 = 0.045 < 0.1$, 满足要求。在实际操作中, 总排序一致性检验常常可以省略。这是因为层次单排序通过一致性检验, 层次总排序的一致性不会有太大的偏离。另外, 实际构造判断矩阵, 难以兼顾整体排序的一致性。目前, 大多数实际工作都没有对整体一致性进行严格检验。

表2 指标层次总权重及总排序

| 准则层 | 准则层权重 | 指标层 | 各指标层对应准则层权重 | 各指标权重 | 各指标层总排序 |
|----------------|--------|------------------|-------------|--------|---------|
| 社会性 B_1 | 0.3108 | 区域面积 C_1 | 0.0669 | 0.0208 | 16 |
| | | 人口总数 C_2 | 0.3341 | 0.1038 | 4 |
| | | 牲畜数量 C_3 | 0.0686 | 0.0213 | 15 |
| | | 家禽数量 C_4 | 0.0306 | 0.0095 | 19 |
| | | 总用水量 C_5 | 0.1830 | 0.0569 | 5 |
| | | 耕地面积 C_6 | 0.1591 | 0.0495 | 7 |
| | | 有效灌溉面积 C_7 | 0.1577 | 0.0490 | 8 |
| 经济性 B_2 | 0.1958 | GDP C_8 | 0.0419 | 0.0082 | 20 |
| | | 工业总产值 C_9 | 0.0758 | 0.0149 | 17 |
| | | 农业总产值 C_{10} | 0.1094 | 0.0214 | 14 |
| | | 渔业总产值 C_{11} | 0.0289 | 0.0057 | 22 |
| | | 粮食总产值 C_{12} | 0.1581 | 0.0310 | 10 |
| | | 城镇人年均收入 C_{13} | 0.1131 | 0.0221 | 13 |
| | | 农村人年均收入 C_{14} | 0.1283 | 0.0251 | 11 |
| | | 水能蕴藏量 C_{15} | 0.0298 | 0.0058 | 21 |
| | | 森林面积 C_{16} | 0.0694 | | |
| | | 湿地面积 C_{17} | 0.0611 | | |
| 水资源总量 C_{18} | 0.1843 | | | | |
| 生态性 B_3 | 0.4934 | 森林面积 C_{16} | 0.2216 | 0.1229 | 2 |
| | | 湿地面积 C_{17} | 0.1894 | 0.1054 | 3 |
| | | 水资源总量 C_{22} | 0.3022 | 0.1852 | 1 |
| | | 排污总量 C_{18} | 0.0463 | 0.0228 | 12 |
| | | 污水处理量 C_{19} | 0.1142 | 0.0564 | 6 |
| | | 上下游位置 C_{20} | 0.0276 | 0.0136 | 18 |
| 年降雨量 C_{21} | 0.0987 | 0.0487 | 9 | | |

3.2 构造方案层矩阵

根据调查、收集基础数据, 计算各用水区域各指标评价值, 将各用水区域评价值结果构造评价矩阵 R , 与指标权重向量 W 相乘, 就可推算出各用水区域的水资源分配权重 G , 再将分配比例与分水总量相乘, 就可推算出分水量。

岷江流域各地区的指标向量矩阵见表3, 数据来自2010年统计公报发布的数据。本文采用线性比例变换法进行标准化处理, 在向量矩阵 $U = (u_{ij})_{m \times n}$ 中, 对于正向指标 f_j , 取 $u_j^* = \max(u_{ij}) \neq 0$, 则 $r_{ij} = u_{ij}/u_j^* (1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n)$; 对于逆向指标 f_j , 取 $u_j^* = \max(u_{ij})$, 则 $r_{ij} = u_j^*/u_{ij} (1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n)$ 。

矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times n}$ 称为线性比例标准化矩阵。经过线性比例变换之后, 标准化指标满足 $0 \leq u_{ij} \leq 1$, 并且, 正、逆向指标均化为正向指标, 最优值为1, 最劣质为0。其中, 城镇人年均收入、农村人年均收入

和排污总量为逆向指标。经计算可得线性比例标准化矩阵,详见表 4。

表 3 指标向量矩阵

| 地区 | 区域面积/km | 人口总数/万人 | 牲畜数量/万头 | 家禽数量/万只 | 总用水量/万 m ³ | 耕地面积/10 ³ hm ² | 有效灌溉面积/10 ³ km ² | GDP/亿元 | 工业总产值/亿元 | 农业总产值/亿元 | 渔业总产值/亿元 |
|----|---------|---------|---------|----------|-----------------------|--------------------------------------|--|---------|----------|----------|----------|
| 成都 | 12121 | 1404.8 | 1183.06 | 13908.73 | 47.14 | 356.54 | 320.28 | 5551.33 | 2062.80 | 237.14 | 11.71 |
| 自贡 | 4373 | 267.9 | 442.78 | 4126.95 | 6.06 | 134.64 | 80.24 | 647.73 | 339.70 | 67.10 | 4.52 |
| 内江 | 5386 | 370.3 | 516.94 | 4364.93 | 5.65 | 164.41 | 115.53 | 690.28 | 368.80 | 90.20 | 6.71 |
| 乐山 | 12827 | 323.6 | 447.75 | 5683.00 | 13.98 | 150.21 | 100.98 | 743.92 | 414.42 | 76.55 | 6.19 |
| 眉山 | 7186 | 295.0 | 490.39 | 4493.96 | 16.13 | 171.19 | 176.22 | 552.25 | 268.00 | 79.05 | 7.01 |
| 宜宾 | 13283 | 447.2 | 676.46 | 6146.00 | 9.15 | 243.42 | 124.82 | 870.85 | 476.89 | 104.63 | 7.61 |
| 雅安 | 15314 | 150.7 | 191.02 | 159.39 | 6.57 | 54.64 | 42.57 | 286.54 | 135.10 | 38.86 | 0.74 |
| 阿坝 | 84241 | 89.9 | 127.64 | 43.20 | 1.43 | 59.59 | 18.43 | 132.76 | 40.80 | 10.30 | 0.01 |

| 地区 | 粮食总产量/万 t | 城镇人均年收入/元 | 农村人均年收入/元 | 水能蕴藏量/万 kW | 森林面积/10 ³ km ² | 湿地面积/10 ³ hm ² | 水资源总量/亿 m ³ | 排污总量/亿 m ³ | 污水处理量/亿 m ³ | 上下游位置 | 年降雨量/mm |
|----|-----------|-----------|-----------|------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-------|---------|
| 成都 | 274.80 | 20835 | 8205 | 161.50 | 267.90 | 21.07 | 91.87 | 5.5404 | 5.0240 | 7 | 936.8 |
| 自贡 | 134.51 | 14538 | 5762 | 14.52 | 74.92 | 9.42 | 26.44 | 0.4502 | 0.3831 | 3 | 978.0 |
| 内江 | 160.85 | 14324 | 5504 | 14.50 | 157.27 | 9.72 | 22.54 | 0.1826 | 0.1419 | 4 | 1183.2 |
| 乐山 | 116.09 | 15237 | 5613 | 790.00 | 627.00 | 2.81 | 164.02 | 0.3368 | 0.1839 | 2 | 1380.8 |
| 眉山 | 176.80 | 14644 | 5943 | 106.00 | 283.30 | 0.02 | 74.53 | 0.2376 | 0.1791 | 5 | 1028.2 |
| 宜宾 | 230.66 | 15261 | 5610 | 825.70 | 490.00 | 3.47 | 107.32 | 0.3978 | 0.1460 | 1 | 1019.6 |
| 雅安 | 51.00 | 14906 | 5181 | 1180.00 | 734.22 | 23.43 | 218.47 | 0.1600 | 0.100 | 6 | 2092.3 |
| 阿坝 | 17.18 | 15939 | 3741 | 1933.00 | 2045.70 | 897.00 | 390.12 | 0.4203 | 0.0446 | 8 | 831.8 |

表 4 线性比例标准化矩阵

| 地区 | 区域面积 | 人口总数 | 牲畜数量 | 家禽数量 | 总用水量 | 耕地面积 | 有效灌溉面积 | GDP | 工业总产值 | 农业总产值 | 渔业总产值 |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 成都 | 0.1439 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 自贡 | 0.0519 | 0.1907 | 0.3743 | 0.2967 | 0.1286 | 0.3776 | 0.2505 | 0.1167 | 0.1647 | 0.283 | 0.386 |
| 内江 | 0.0639 | 0.2636 | 0.437 | 0.3138 | 0.1199 | 0.4611 | 0.3607 | 0.1243 | 0.1788 | 0.3804 | 0.573 |
| 乐山 | 0.1523 | 0.2304 | 0.3785 | 0.4086 | 0.2966 | 0.4213 | 0.3153 | 0.134 | 0.2009 | 0.3228 | 0.5286 |
| 眉山 | 0.0853 | 0.2100 | 0.4145 | 0.3231 | 0.3422 | 0.4801 | 0.5502 | 0.0995 | 0.1299 | 0.3333 | 0.5986 |
| 宜宾 | 0.1577 | 0.3183 | 0.5718 | 0.4419 | 0.1941 | 0.6827 | 0.3897 | 0.1569 | 0.2312 | 0.4412 | 0.6499 |
| 雅安 | 0.1818 | 0.1073 | 0.1615 | 0.0115 | 0.1394 | 0.1533 | 0.1329 | 0.0516 | 0.0655 | 0.1639 | 0.0632 |
| 阿坝 | 1 | 0.064 | 0.1079 | 0.0031 | 0.0303 | 0.1671 | 0.0575 | 0.0239 | 0.0198 | 0.0434 | 0.0009 |

| 地区 | 粮食总产量 | 城镇人均年收入 | 农村人均年收入 | 水能蕴藏量 | 森林面积 | 湿地面积 | 水资源总量 | 排污总量 | 污水处理量 | 上下游位置 | 年降雨量 |
|----|--------|---------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|-------|--------|
| 成都 | 1 | 0.6875 | 0.4559 | 0.0835 | 0.1310 | 0.0235 | 0.2355 | 0.0289 | 1 | 0.875 | 0.4477 |
| 自贡 | 0.4895 | 0.9853 | 0.6493 | 0.0075 | 0.0366 | 0.0105 | 0.0678 | 0.3554 | 0.0763 | 0.375 | 0.4674 |
| 内江 | 0.5853 | 1 | 0.6797 | 0.0075 | 0.0769 | 0.0108 | 0.0578 | 0.8762 | 0.0282 | 0.500 | 0.5655 |
| 乐山 | 0.4225 | 0.9401 | 0.6665 | 0.4087 | 0.3065 | 0.0031 | 0.4204 | 0.4751 | 0.0366 | 0.250 | 0.6599 |
| 眉山 | 0.6434 | 0.9781 | 0.6295 | 0.0548 | 0.1385 | 0.00002 | 0.191 | 0.6734 | 0.0356 | 0.625 | 0.4914 |
| 宜宾 | 0.8394 | 0.9386 | 0.6668 | 0.4272 | 0.2395 | 0.0039 | 0.2751 | 0.4022 | 0.0291 | 0.125 | 0.4873 |
| 雅安 | 0.1856 | 0.9610 | 0.7221 | 0.6105 | 0.3589 | 0.2610 | 0.5600 | 1 | 0.0199 | 0.750 | 1 |
| 阿坝 | 0.0625 | 0.8987 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.3807 | 0.0089 | 1 | 0.3976 |

根据表4和表2中指标权重向量可以计算出各地区的初始水权分配比例向量如下： $B = (0.5543, 0.1933, 0.2379, 0.3235, 0.2788, 0.3175, 0.3278, 0.5524)$ ，进而标准化初始水权分配比例向量如下： $G = (0.1990, 0.0694, 0.0854, 0.1161, 0.1001, 0.1140, 0.1177, 0.1983)$ ，见表5。

表5 岷江流域各地区水资源分配比例

| 成都 | 自贡 | 内江 | 乐山 | 眉山 | 宜宾 | 雅安 | 阿坝 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0.1990 | 0.0694 | 0.0854 | 0.1161 | 0.1001 | 0.1140 | 0.1177 | 0.1983 |

4 结论

本文首次针对岷江全流域的8个地区，在设计分配方案时从各个地区的社会经济、生态功能及可持续发展情况出发，综合考虑流域的社会性、经济性和生态性，全面考虑影响水资源分配的因素，尽可能让流域内各用水方相对能够接受，从水的使用权的角度构建了跨区域水资源分配综合指标体系，及其岷江全流域的水资源量化分配模型。

分配模型给予处在流域上游的阿坝州和雅安市更多的水资源，尽管这两个地区社会经济相对处于次发达的地位，但这两个地区承担了更多的维护流域源头区域的水质、生态环境和保持水土等生态责任，应从流域水资源分配过程中得到补偿，并转换为相应的资金来发展当地的社会经济水平。成都市的社会、经济发展水平远远大于流域内其他地区，但耗水量、排污量也高居不下，应该通过购买配额外水资源来满足需求，并提供相应的补偿给相应的地区。

分配模型为了突出岷江流域排污量、森林及湿地面积等指标对于初始水资源分配的影响，对各用水方具有节水激励等积极作用。一方面，给流域上游地区如阿坝州分配的初始水权较多，主要是由于其排污量少且产水量大，这样可促使其通过水权市场出售部分多余水权而得到必要的资金，并有积极性进一步采取措施涵养水源、减少排污、加强节水改造，节约更多的水资源，从而为全流域提供更多的、水质优良的水资源，有利于增进流域整体利益。另一方面，相应减少中下游地区的初始水资源分配也有积极意义，促使其自觉应用节水技术，减少排污，调整产业结构，发展节水型经济，进一步提高水资源利用效率，同时，通过购买上游多余水资源等补偿手段来满足经济发展的需要，实现流域水资源优化配置。

参考文献：

- [1] 唐德善, 邓铭江. 塔里木河流域水权管理研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
- [2] 唐文哲, 强茂山, 王忠静, 等. 流域管理与区域管理相结合的机制研究[J]. 水力发电学报, 2010, 29(2): 62 - 67.
- [3] 姚杰宝, 董增川, 田凯. 流域水权制度研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2008.
- [4] 沈满洪. 水权交易制度研究: 中国的案例分析[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2006.
- [5] 耿雷华. 水资源合理配置评价指标体系研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2008.
- [6] 陈刚, 胡成, 卢晓华. 福建省诸流域水资源承载能力研究[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2011.
- [7] 王宗志, 胡四一, 王银堂. 流域初始水权分配及水量水质调控[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [8] 王为人, 屠梅曾. 基于层次分析法的流域水资源配置权重测算[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2005, 33(8): 1133 - 1136.
- [9] 李长杰, 王先甲, 郑旭荣. 流域初始水权分配方法与模型[J]. 武汉大学学报(工学版), 2006, 39(1): 48 - 52.
- [10] 董哲仁. 莱茵河: 治理保护与国际合作[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2005.
- [11] ICPDR. Manual on good practices in sustainable waterway planning[EB/OL][2012]. <http://www.icpdr.org/main/resources/manual-good-practices-sustainable-waterway-planning>.
- [12] ICPDR. Joint statement for the development of inland navigation and environmental protection[EB/OL]. [2012]. <http://www.icpdr.org/main/resources/joint-statement-development-inland-navigation-and-environmental-protection>.
- [13] 黄强, 乔西现, 刘晓黎. 江河流域水资源统一管理理论与实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- [14] 彭立, 苏春江, 徐云, 等. 岷江上游生态环境现状、存在问题及治理对策[J]. 江西农业大学学报(社会科学版), 2007, 6(1): 80 - 84.
- [15] 赵希锦, 张国滨, 丁厚灿, 等. 岷江上游流域水电梯级开发的生态环境需水研究[J]. 四川环境, 2011, 30(1): 91 - 96.
- [16] 杜娟. 岷江水环境容量研究[J]. 四川环境, 2009, 28(3): 41 - 45.
- [17] 倪彬, 李旭东, 王红磊, 等. 岷江下游水环境质量评价与变化趋势分析[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(2): 172 - 176.