

DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20221214

基于综合赋权法的岷江水量分配研究

任文辉^{1a,2}, 黄晓荣^{1a,1b}, 崔 萌², 张 敏^{1a}, 崔 强²

(1. 四川大学 a. 水利水电学院; b. 水力学与山区河流开发保护国家重点实验室, 四川 成都 610065;
2. 中国人民解放军 31308 部队, 四川 成都 610000)

摘要: 为提升岷江水资源分配效益及合理性,从水资源管理及考核成效角度入手,建立包括取用水监管率、控制断面水质达标率和下泄流量预警等指标在内的水量分配指标体系,采用主客观结合的综合赋权法定量计算各取水城市取水量,并分析各指标的重要性。结果表明,取水量分配结果与实际分水结果在排序上总体一致,岷江中游成都、眉山等城市对水资源需求量较大,可为岷江水资源调度与水权交易提供依据;取用水监管率与控制断面水质达标率在6个新指标中权重较大,对推动构建新的水量分配指标体系提供了一种思路。分水结果兼顾了河流健康与水环境要求,同时将水资源管理效益与分水直接挂钩,可为实际分水提供参考,并促使各地区有侧重地持续做好水资源管理及考核相关工作。

关键词: 水量分配;水资源管理;岷江流域;综合赋权;指标体系

中图分类号: TV213.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7709(2023)04-0061-04

1 概况

岷江作为成都平原的母亲河,是四川省十大江河中水资源开发最早、供需矛盾最突出、水环境治理压力最大的河流。岷江(含青衣江、大渡河)在四川省境内流域面积达 $13.56 \times 10^4 \text{ km}^2$, 约占四川省总面积的 27.9%。岷江流域属四川省经济活跃区,尤其中游的成都平原是川内人口密度最大、经济最发达的区域。岷江多年平均水资源总量为 $301.2 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中地表水资源量为 $300.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。由于前期开发力度过大过快、上游供水不足、水资源利用不合理、缺乏完善的流域综合管理制度及监管不足不严等因素,加上岷江除承担本区域供水外,还向沱江、涪江中上游丘陵区长期供水,导致岷江出现上下游用水短缺、部分断面生态流量不满足要求、中游河段水环境质量不达标等诸多问题,严重影响流域健康可持续发展^[1]。因此,本文以岷江流域为研究区,以地表水为水源范围、以取水量为分配形式,立足效率、公平和可持续发展的原则,运用综合赋权法,构建将传统指标与反映水资源管理及考核的指标相结合的水量分配模型,力求更加科学合理地分配岷江水量。

2 研究方法 with 数据

2.1 水量分配指标体系构建

设置效率、公平与可持续 3 原则,在选取 6 项传统指标的基础上,结合管理及考核内容补充以下 6 项指标:①农田灌溉水有效利用系数,是农业灌溉用水效率和用水管理的重要参数,亦是合理配置农业用水、制定节水灌溉宏观政策的依据^[2];②耗水率,是表征水资源无效消耗的一个指标,反映流域水资源整体利用效率,可用于考核各行业用水水平及构建节水指标体系^[3];③取用水监管率,是全面摸清取水口及取水监测计量现状,落实国家水资源管理“合理分水、管住用水”目标的具体举措,可促进水资源节约保护和合理开发利用^[4];④非常规水源利用量占比,非常规水源被视为保障经济社会发展的第二水源,能缓解水资源匮乏、供需矛盾,也属于节水管理的考核内容^[5];⑤控制断面水质达标率,是水功能区限制纳污目标的一项考核内容,按统计口径可分为个数达标率和面积达标率(本文采用个数达标率),可用于评价河流健康性和水环境状况^[6];⑥下泄流量预警分数,指对控制断面在一定时间内持续出现流

收稿日期: 2022-06-09, 修回日期: 2022-07-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(51779160)

作者简介: 任文辉(1994-),男,硕士研究生,研究方向为水文学及水资源、气象预报,E-mail:rwh507072@163.com

通讯作者: 黄晓荣(1971-),男,教授,研究方向为水文学及水资源,E-mail:hxiaorong@scu.edu.cn

量低于最小下泄或生态流量^[7]目标值的警示报告(设蓝、橙、红色三级预警赋分,具体见表1)。至此,以3原则、12项指标构建水量分配指标体系,结果见表2,其中耗水率、下泄流量预警分数为负向指标,其余均为正向指标。

表1 不同等级的流量预警阈值

Tab.1 Threshold of different levels of discharge warning

预警层级	当前下泄流量占达标流量指标的比例
蓝色预警(1分)	80%~100%且持续时间6h以上
橙色预警(2分)	80%~100%且持续时间12h以上 60%~80%且持续时间6h以上
红色预警(4分)	80%~100%且持续时间24h以上 60%~80%且持续12h以上 60%且持续时间6h以上

表2 岷江流域水量分配指标体系

Tab.2 Water allocation index system for Min River Basin

目标	原则	指标	指标含义
岷江	效率	人均GDP	表示经济水平,体现区域整体发展效益
流域	性	单方水工业增加值	表示工业用水效率
水量		农田灌溉水有效利用系数	表示农业用水效率
分配		耗水率	表示水资源无效消耗,反映水资源利用效率
公平		现状用水量	体现尊重实用水需求,反映用水现状
性		取水水监管率	体现依规取水、计量取水要求
		人口总数	表示区域人口数量
		农业有效灌溉面积	体现农业用水公平
可持		人口自然增长率	表示人口发展速度,反映未来用水需求
续性		非常规水源利用量占比	体现非常规水源利用情况
		控制断面水质达标率	反映河流健康性和水环境状况
		下泄流量预警分数	反映生态流量和河道内生态用水保障情况

2.2 研究方法

为便于计算,采用将层次分析法与熵权法相结合的综合赋权法计算权重。

(1)层次分析法,是一种层次权重主观赋权方法。该方法先按特定目标和性质等提取各类影响因素,逐层分析和计算影响因素的重要性并赋权,

从而为最后决策提供依据。层次分析法步骤^[8]如下。

- 步骤1 建立系统的递阶层次结构。
- 步骤2 构造判断矩阵。
- 步骤3 层次单排序及其一致性检验。
- 步骤4 层次总排序及其一致性检验。

(2)熵权法。是一种基于信息论与物理学的方法,用信息熵来衡量某项数据的离散程度,信息熵越小表示数据离散程度越大,有效信息越多,相应数据对综合评价的权重越大。熵权法步骤^[9]如下。

- 步骤1 构建判断矩阵。
- 步骤2 数据归一化。
- 步骤3 计算信息熵。
- 步骤4 计算各指标权重。

计算得到各指标权重后,用熵权法的权重对层次分析法中各指标权重进行调整修正,最后得到综合权重。

2.3 数据来源

与水相关的数据来源于2020年四川省水资源评价报告和成都等6市州2020年的水资源公报,下泄流量预警数据来源于2020年11月至2021年4月四川省岷江全流域枯水期水量监测专报,其余数据来源于2020年四川省及6市州的统计年鉴。

3 结果分析

3.1 确定岷江流域水量分配的指标权重

根据水量分配指标体系,筛选原始数据并进行归一化处理,计算得到各指标值,结果见表3。

表3 各指标基本情况

Tab.3 Basic information on various indicators

指标性质	指标	成都	自贡	乐山	眉山	宜宾	阿坝
原始	单方水 GDP/元	357.140 0	250.000 0	175.440 0	117.650 0	256.410 0	169.490 0
	单方水工业增加值/元	1 250.000 0	1 000.000 0	454.550 0	526.320 0	434.780 0	285.710 0
	农田灌溉水有效利用系数	0.560 0	0.503 0	0.495 0	0.520 0	0.510 0	0.460 0
	耗水率/%	49.000 0	59.000 0	54.000 0	60.000 0	53.000 0	66.000 0
	现状用水量/10 ⁸ m ³	35.330 0	1.070 0	6.400 0	7.620 0	2.300 0	0.950 0
	取水水监管率/%	47.000 0	26.000 0	30.000 0	23.000 0	49.000 0	32.000 0
	人口总数/10 ⁴ 人	2 093.780 0	248.930 0	316.020 0	295.520 0	458.880 0	82.260 0
	耕地灌溉面积/kha	371.750 0	102.050 0	142.270 0	171.310 0	189.740 0	27.150 0
	人口自然增长率/%	4.600 0	0.820 0	1.390 0	2.570 0	3.640 0	5.430 0
	非常规水源利用量占比/%	0.400 0	0.200 0	0.100 0	0.700 0	0.200 0	0.000 0
	控制断面水质达标率/%	89.290 0	86.110 0	89.810 0	85.420 0	100.000 0	100.000 0
	下泄流量预警分数	8.000 0	20.000 0	65.000 0	12.000 0	9.000 0	26.000 0
归一化后	单方水 GDP	0.269 3	0.188 5	0.132 3	0.088 7	0.193 4	0.127 8
	单方水工业增加值	0.316 3	0.253 1	0.115 0	0.133 2	0.110 0	0.072 3
	农田灌溉水有效利用系数	0.183 7	0.165 0	0.162 4	0.170 6	0.167 3	0.150 9
	耗水率	0.143 7	0.173 0	0.158 4	0.176 0	0.155 4	0.193 5
	现状用水量	0.658 3	0.019 9	0.119 2	0.142 0	0.042 9	0.017 7
	取水水监管率	0.227 0	0.126 4	0.144 9	0.113 5	0.237 3	0.152 6
	人口总数	0.599 0	0.071 2	0.090 4	0.084 5	0.131 3	0.023 5
	耕地灌溉面积	0.370 2	0.101 6	0.141 7	0.170 6	0.188 9	0.027 0
	人口自然增长率	0.249 3	0.044 4	0.075 3	0.139 3	0.197 3	0.294 3
	非常规水源利用量占比	0.250 0	0.125 0	0.062 5	0.437 5	0.125 0	0.000 0
	控制断面水质达标率	0.162 2	0.156 4	0.163 1	0.155 1	0.181 6	0.181 6
	下泄流量预警分数	0.057 1	0.142 9	0.464 3	0.085 7	0.064 3	0.185 7

采用层次分析法,从学术和实践角度邀请相关专家打分,构造判断矩阵,计算各指标的主观总权重,结果均通过一致性检验,见表 4。

表 4 层次分析法下各指标权重

Tab. 4 Weight of each index under AHP method

原则	权重	指标	单权重	主观总权重
效率性	0.375	单方水 GDP	0.306	0.114 8
		单方水工业增加值	0.492	0.184 5
		农田灌溉水有效利用系数	0.078	0.029 3
		耗水率	0.125	0.046 9
公平性	0.375	现状用水量	0.467	0.175 1
		取水水监管率	0.277	0.103 9
		人口总数	0.160	0.060 0
		农业有效灌溉面积	0.095	0.035 6
可持续性	0.250	人口自然增长率	0.122	0.030 5
		非常规水源利用量占比	0.227	0.056 8
		控制断面水质达标率	0.424	0.106 0
		下泄流量预警分数	0.227	0.056 8

按照熵权法计算步骤,计算各指标熵值和客观权重。最后对主观总权重进行修正,得到最终的综合权重,结果见表 5。

表 5 岷江流域水量分配指标综合权重

Tab. 5 Comprehensive weight of water allocation indicators for the Min River Basin

指标	主观总权重	熵值	客观权重	综合权重
单方水 GDP	0.114 8	0.815 1	0.064 8	0.076 4
单方水工业增加值	0.184 5	0.749 2	0.087 9	0.166 5
农田灌溉水有效利用系数	0.029 3	0.858 2	0.049 7	0.014 9
耗水率	0.046 9	0.859 4	0.049 3	0.023 7
现状用水量	0.175 1	0.488 6	0.179 3	0.322 3
取水水监管率	0.103 9	0.752 6	0.086 7	0.092 5
人口总数	0.060 0	0.600 4	0.140 1	0.086 3
农业有效灌溉面积	0.035 6	0.822 0	0.062 4	0.022 8
人口自然增长率	0.030 5	0.808 0	0.067 3	0.021 1
非常规水源利用量占比	0.056 8	0.782 0	0.076 4	0.044 5
控制断面水质达标率	0.106 0	0.719 3	0.098 4	0.107 1
下泄流量预警分数	0.056 8	0.892 6	0.037 6	0.021 9

3.2 水量分配结果及方案评价

3.2.1 水量分配结果

根据表 3、5,可计算得到不同分配方式下各省市的分水比例,见表 6。

表 6 不同分配方式下各省市水量分配比例

Tab. 6 Water distribution proportion of cities and states under different distribution method

分水比例	成都	自贡	乐山	眉山	宜宾	阿坝
层次分析法	0.3421	0.1400	0.1233	0.1511	0.1462	0.0972
熵权法	0.3682	0.1158	0.1197	0.1566	0.1460	0.0937
综合权重法	0.4120	0.1164	0.1222	0.1458	0.1248	0.0788

四川省 2021 年岷江干流地表水在四川省可分配取水量约为 $62.03 \times 10^8 \text{ m}^3$,据此计算分配给 6 市州的取水量,同时列出实际分水情况,结果见表 7、图 1。

表 7 各省市水量分配结果

Tab. 7 Water distribution results of cities and states

分配方法	分配水量/ 10^8 m^3					
	成都	自贡	乐山	眉山	宜宾	阿坝
层次分析法	21.22	8.68	7.65	9.37	9.07	6.03
熵权法	22.84	7.18	7.42	9.71	9.06	5.81
综合权重法	25.56	7.22	7.58	9.04	7.74	4.89
实际分配	39.92	1.34	9.08	7.96	3.00	1.00

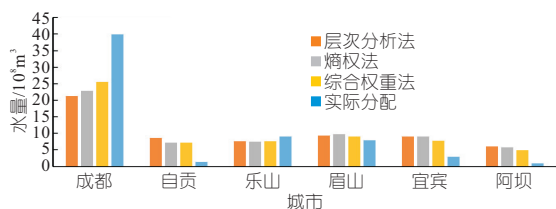


图 1 各省市水量分配结果

Fig. 1 Water distribution results of cities and states

3.2.2 分水方案分析

由表 3、5 可知,此次岷江分水涉及的 6 市州,在用水现状、用水效率及人口、经济和水资源管理及考核情况等方面差异较大,这种差异对水量分配结果有直接影响:①从 3 原则角度看,公平性占比较高,其中现状用水量、取水水监管率、人口总数 3 项指标权重分别达到 0.322、0.093、0.086,均大于平均值 0.083;②从各地区指标权重看,成都大多数指标均大于平均值,部分甚至达到领先水平,因而分水最多;阿坝大部分指标均小于平均值,分水最少。其余地区指标总体接近平均水平,分水整体较平均;③从新选取指标看,取水水监管率和控制断面水质达标率的权重均接近 0.1,其余 4 项新指标权重均不足 0.05,初步分析原因与层次分析法设置这 4 项指标的分值相对较小有关。通过横向对比,发现农田灌溉水有效利用系数、非常规水源利用占比 2 项指标在各市州差异较小,说明管理成效较接近,是两者权重较小的次要原因。

由表 6、图 1 可知,3 种方法的水量分配排序总体较一致,均是成都最大、阿坝最小。整体看,3 种方法与实际分水对比均存在偏差,综合权重法的水量分配方案偏差相对更小,说明结合主客观方法的优点可使分水结果相对更加合理。而偏差普遍存在的主要原因是实际分水以现状用水为重要参考,尤其突出现状用水格局对分水的影响。

4 结论

本文采用综合赋权法分析岷江地表水水量分配,分配结果较好地体现了效率、公平与可持续性,尽可能减小了主观的影响,并能挖掘反映水资

