

水资源紧缺程度的模糊综合评判 ——以云南省楚雄市为例

徐留兴¹ 梁 川¹ 王上辅² 王晨华¹

(1. 四川大学水电学院 四川 成都 610065 ; 2. 四川省生态经济协会 四川 成都 610065)

摘要 应用模糊理论中的模糊隶属度评判原理 , 通过分析云南省楚雄市三个县不同水平年水资源紧缺程度、缺水原因和趋势 , 划分缺水的类型。计算结果与现状比较吻合 , 本理论为楚雄市将来解决水资源紧缺和提高水资源综合利用率提供了参考依据。

关键词 水资源紧缺程度 水资源综合利用率 模糊评判

中图分类号 : TV213 文献标识码 : A 文章编号 : 1004-693X(2006)04-0040-04

Fuzzy synthetic evaluation on shortage of water resources : A case study on Chuxiong City of Yunnan Province

XU Liu-xing¹ , LIANG Chuan¹ , WANG Shang-fu² , WANG Chen-hua¹

(1. College of Hydraulic and Hydroelectric Engineering , Sichuan University , Chengdu 610065 , China ; 2. Sichuan Association of Ecology & Economy , Chengdu 610065 , China)

Abstract Fuzzy membership principle in fuzzy theory was used to analyze the shortage of water resources in different years and the reason and trend of the shortage of three counties in Chuxiong City of Yunnan Province . Types of water deficiency were decided . The calculation result fits well with the status quo . The theory provides a basis for resolving water shortage and improving utilization of water resources .

Key words shortage degree of water resources ; comprehensive utilization of water resources ; fuzzy evaluation

虽然影响水资源紧缺程度的因素是多方面的 , 但在一定时期内 , 可能会以某种因素或某几种因素起主要作用。为此 , 对地区的水资源质和量的状况、社会经济发展及其对水资源需求关系、供水条件及水资源开发利用状况以及缺水程度进行全面分析 , 综合评价楚雄市在规划水平年不同保证率下的水资源紧缺程度及其产生原因 , 以便区分轻重缓急 , 采取不同的对策与措施是十分必要的。

水资源的供需分析 , 能反映地区的水资源供需水量及缺水情况。仅以水量的多少表示一个地区水量的丰、缺程度 , 还不能充分说明地区的水资源紧缺程度。对于缺水问题 , 也不能反映该地区缺水性质、内涵和紧缺程度。文中应用模糊理论中的模糊隶属度评判原理 , 在水资源紧缺程度评价分析中 , 将通过和水资源紧缺有关的指标进行分析筛选 , 找出与之关系密切的主要指标 , 并分析确定这些指标对水资源紧

缺程度的影响情况 , 进行水资源紧缺程度的评价。

1 评价指标的选定

分别对云南省楚雄市水资源的紧缺程度进行了现状(2000 年)、2010 年、2020 年和 2030 年 4 个规划水平年的不同保证率综合评价。

选择评价指标的原则 : ①代表性好 , 所选指标能反映某一方面的特征。②表征性强 , 分析指标与目标函数具有较高的关联度。③具有独立性 , 选用指标各自反映评价对象的某一方面 , 相互之间不重复。④指标在分析过程中易于量化 , 便于操作 , 采用资料完整可靠。⑤所选指标组成的体系能比较全面反映评价对象各方面的特征。

根据以上原则 , 在初选出的 52 个指标基础上最终挑选了 6 类 24 个指标进行评价(表 1)。水资源量类指标主要反映天然水资源量的多寡等因素对水资

源紧缺程度产生的影响。社会经济类指标主要反映由于区域内人口数量、经济发展对水资源需求而引起的水资源紧缺程度所产生的影响。供水类指标主要反映供水工程建设程度与建设难度对水资源紧缺产生的影响。需水类指标则反映需用水水平和节水情况等的影响。缺水类指标是综合影响指标,其含义具有一定的综合性。水环境类指标因进行定量分析的对应指标比较少,本次研究中选用 2 个,以反映由于水污染因素对水资源紧缺程度的影响。当上述指标偏高时,表明水资源紧缺现象是由其相关因素起主要作用。

表 1 评价指标及计算方法

类别	指 标	计算方法
水资源量	人均水资源占有量	水资源总量/总人口
	农田需水量 ^①	水资源总量/耕地面积
	径流系数 ^①	径流量/降水量
	干旱指数	水面蒸发量/降水量
社会经济	人口密度	总人口/土地面积
	人均 GDP	GDP/总人口
	工业产值模数	工业总产值/土地面积
	耕地率	耕地面积/土地面积
	灌溉率	灌溉面积/耕地面积
	水田比例	水田灌溉面积/灌溉面积
	人均灌溉面积	灌溉面积/总人口
	工业总产值占 GDP 比重	工业总产值/GDP
供水	人均供水量	可供水量/总人口
	水资源利用率 ^②	(地表可供水 + 地下可供水) / 水资源总量
	地下水供水比例	地下可供水量/可供水总量
	跨流域调水比例	跨流域调水量/可供水总量
	每立方水投资	工程投资/可供水量
需水	需水模数	需水量/土地面积
	城镇需水比例	(城镇生活需水 + 工业需水) / 总需水
	万元 GDP 需水量	需水量/GDP
	耗水率	耗水量/总用水量
缺水	缺水率	缺水量/总需水量
水环境	水质等级	评价河段的水质类别
	污径比 ^①	污水排放量/地表径流量

注 ①考虑过境水 ②考虑过境水及回归水。

2 模糊综合评判

采用模糊理论中多因子二级评判法进行综合评价。第一级对所有评价指标进行综合评价,第二级则对 6 类指标分别进行评价。

2.1 指标权数分配

评价指标按类别分层次分配权数。本次采用 delphi 法确定权重。第一层次 6 种类别中,反映水资源供需关系的指标与反映外界环境条件的水资源量、社会经济及水环境的指标各占一半权数。供水与需水等同权数,各为 0.20,缺水类权数为 0.10;水资源量、社会经济和水环境的权数分别为 0.20、0.20 和 0.10。在供水类指标中,地下水供水比例及跨流

域调水供水比例均为反映供水组成的指标,其权数(指占供水的权重)分别为 0.125,其他指标权数分别为 0.25。其余类别指标中的各项指标均为同等权重,见表 2。

表 2 评价指标权数分配

类别		指标		A_iB_j
名称	权数 A_i	名 称	权数 B_j	
水资源量	0.2	人均水资源占有量	0.250	0.050
		农田需水量	0.250	0.050
		径流系数	0.250	0.050
		干旱指数	0.250	0.050
社会经济	0.2	人口密度	0.125	0.025
		人均 GDP	0.125	0.025
		工业产值模数	0.125	0.025
		耕地率	0.125	0.025
		灌溉率	0.125	0.025
		水田比例	0.125	0.025
		人均灌溉面积	0.125	0.025
		工业总产值占 GDP 比重	0.125	0.025
供水	0.2	人均供水量	0.250	0.050
		水资源利用率	0.250	0.050
		地下水供水比例	0.125	0.025
		跨流域调水比例	0.125	0.025
		每立方水投资	0.250	0.050
需水	0.2	需水模数	0.250	0.050
		城镇需水比例	0.250	0.050
		万元 GDP 需水量	0.250	0.050
		耗水率	0.250	0.050
缺水	0.1	缺水率	1.000	0.100
水环境	0.1	水质等级	0.500	0.050
		污径比	0.500	0.050

2.2 指标隶属度

指标隶属度是表征评价指标隶属于水资源紧缺的程度,取值在 0 ~ 1 之间。根据水资源紧缺的程度,隶属度分为 5 级。各项指标隶属度的分级标准见表 3。

2.3 云南省楚雄市相关指标

根据楚雄市的有关资料,其现状(2000 年)、2010 年、2020 年和 2030 年 4 个规划水平年和不同保证率的指标见表 4^[1-2]。

2.4 相关指标的计算

在各项指标的权数及隶属度确定后,即可进行楚雄市的水资源紧缺程度的评判计算。评判分二级进行,第一级为综合评判,其计算公式为^[3]

$$D_{kP} = A_i \cdot B_j \cdot C_{kPj}$$

式中: D_{kP} 为 k 水平年、 P 保证率下、楚雄市第一级评判结果($k = 2000, 2010, 2020, 2030, P$ 为 50%、75%、90%); A_i 为 i 类指标权数矩阵($i = 1, 2, \dots, 6$); B_j 为 j 项指标权数矩阵($j = 1, 2, \dots, 24$); C_{kPj} 为 k 水平年 P 保证率下、楚雄市 j 项指标隶属度矩阵($k = 2000, 2010, 2020, 2030, P$ 为 50%、75%、90%; $j = 1, 2, \dots, 24$ 。2000 年保证率 P 只有 50%)。

第二级评判分类别进行 ,计算公式为

$$E_{kPi} = B_j \cdot C_{kPj}$$

式中 : E_{kPi} 为 k 水平年、 P 保证率下、楚雄市第 i 类指标评判结果($i = 1\ 2\ \dots\ 6$)

表 3 评价指标隶属度分级标准

类 别		隶 属 度				
		0.9	0.7	0.5	0.3	0.1
水 资 源 量	人均水资源占有量/ m^3	< 400	400 ~ 800	800 ~ 1 200	1 200 ~ 2 000	> 2 000
	农田需水量/($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	< 400	400 ~ 800	800 ~ 1 200	1 200 ~ 2 000	> 2 000
	径流系数	< 0.1	0.1 ~ 0.2	0.2 ~ 0.3	0.3 ~ 0.4	> 0.4
	干旱指数	> 3.0	2.0 ~ 3.0	1.5 ~ 2.0	1.0 ~ 1.5	< 1.0
社 会 经 济	人口密度/(人 $\cdot\text{km}^{-2}$)	> 300	150 ~ 300	50 ~ 150	10 ~ 50	< 10
	人均 GDP/元	> 5 000	3 000 ~ 5 000	1 500 ~ 3 000	500 ~ 1 500	< 500
	工业产值模数/(万元 $\cdot\text{km}^{-2}$)	> 500	200 ~ 500	100 ~ 200	20 ~ 100	< 20
	耕地率/%	> 40	30 ~ 40	20 ~ 30	10 ~ 20	< 10
	灌溉率/%	> 80	60 ~ 80	40 ~ 60	20 ~ 40	< 20
	水田比例/%	< 10	10 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 80	> 80
	人均灌溉面积/ hm^2	> 1.0	0.8 ~ 1.0	0.6 ~ 0.8	0.4 ~ 0.6	< 0.4
	工业总产值占 GDP 比重/%	< 1.0	1.0 ~ 2.0	2.0 ~ 2.5	2.5 ~ 3.0	> 3.0
供 水	人均供水量/ m^3	< 200	200 ~ 400	400 ~ 600	600 ~ 1 000	> 1 000
	水资源利用率/%	> 60	40 ~ 60	20 ~ 40	10 ~ 20	< 10
	地下水供水比例/%	> 60	40 ~ 60	20 ~ 40	10 ~ 20	< 10
	跨流域调水比例/%	> 10	5 ~ 10	1 ~ 5	0 ~ 1	0
	每立方水投资/元	> 6	5 ~ 6	4 ~ 5	3 ~ 4	< 3
需 水	需水模数/($\text{m}^3 \cdot \text{元}^{-1}$)	> 20	10 ~ 20	5 ~ 10	2 ~ 5	< 2
	城镇需水比例/%	> 50	40 ~ 50	30 ~ 40	20 ~ 30	< 20
	万元 GDP 需水量/ m^3	> 3 500	3 000 ~ 3 500	2 500 ~ 3 000	2 000 ~ 2 500	< 2 000
	耗水率/%	> 80	60 ~ 80	40 ~ 60	20 ~ 40	< 20
缺 水	缺水率/%	> 15	10 ~ 15	5 ~ 10	1 ~ 5	< 1
水 环 境	水质等级	5	4	3	2	1
	污径比	> 0.1	0.05 ~ 0.1	0.02 ~ 0.05	0.01 ~ 0.02	< 0.01

表 4 规划水平年评价指标和保证率指标

类别		指 标	2000 年		2010 年		2020 年			2030 年		
			<i>p</i> = 50%	<i>p</i> = 50%	<i>p</i> = 75%	<i>p</i> = 90%	<i>p</i> = 50%	<i>p</i> = 75%	<i>p</i> = 90%	<i>p</i> = 50%	<i>p</i> = 75%	<i>p</i> = 90%
水资源量	人均水资源占有量	3 148	2 907	2 471	2 180	2 693	2 289	2 019.6	2 494	2 120	1 870.9	
	农田需水量	3 958	3 958	3 364	2 968.7	3 958	3 364	2 968.7	3 958	3 364	2 968.7	
	径流系数	0.25	0.25	0.21	0.18	0.25	0.21	0.18	0.25	0.21	0.18	
	干旱指数	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
社会经济	人口密度	107.2	116.1	116.1	116.11	125.3	125.3	125.33	135.3	135.3	135.3	
	人均 GDP	8 453	16 304	16 304	16 304	36 206	36 206	36 206	80 392	80 392	80 392	
	工业产值模数	71.09	131.5	131.5	131.52	244.5	244.5	244.5	454.5	454.5	454.52	
	耕地率	5.686	5.686	5.686	5.685 6	5.686	5.686	5.685 6	5.686	5.686	5.685 6	
	灌溉率	59.24	59.24	59.24	59.239	59.24	59.24	59.239	59.24	59.24	59.239	
	水田比例	88.57	88.57	88.57	88.569	88.57	88.57	88.569	88.57	88.57	88.569	
	人均灌溉面积	0.471	0.435	0.435	0.435	0.403	0.403	0.403	0.373	0.373	0.373 3	
	工业总产值占 GDP 比重	0.784	0.695	0.695	0.694 7	0.539	0.539	0.538 8	0.418	0.418	0.417 9	
供水	人均供水量	425.3	392.7	333.8	294.56	363.9	309.3	272.89	337.1	286.5	252.79	
	水资源利用率	13.51	13.51	13.51	13.512	13.51	13.51	13.512	13.51	13.51	13.512	
	地下水供水比例	1.592	1.592	1.873	2.122 5	1.59 2	1.873	2.122 5	1.592	1.873	2.122 5	
	跨流域调水比例	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	每立方水投资	4.735	4.735	4.735	4.735	5.1	5.1	5.1	5.2	5.2	5.2	
需水	需水模数	5.096	5.403	6.085	6.446 8	5.573	6.255	6.616 3	5.888	6.57	6.931 3	
	城镇需水比例	7.347	12.7	11.28	10.646	15.36	13.68	12.935	19.89	17.82	16.892	
	万元 GDP 需水量	562.2	285.4	321.4	340.53	122.8	137.8	145.8	54.13	60.4	63.725	
	耗水率	48.63	45.87	40.72	38.44	44.47	39.62	37.456	42.09	37.72	35.753	
缺水	缺水率	10.5	15.6	36.3	46.95	— 18.2	— 38	— 48.31	22.5	41	50.66	
水环境	水质等级	2.5	2.5	3	3	2.5	3	3	3	3	3.5	
	污径比	0.005	0.005	0.006	0.006	0.005	0.006	0.006	0.005	0.006	0.006	

注 2010 年、2020 年和 2030 年指标考虑了技术对农业灌溉节水的影响 ,但没有考虑新增供水 ,各指标单位同表 3。

通过上述评判计算 ,分别得出评价区水资源紧缺的隶属度 ,以及水资源量、社会经济、供水、需水、缺水和水环境 6 类指标的隶属度。

3 计算结果与分析

3.1 水资源紧缺程度分析

根据评价指标综合隶属度 D_{kp} 的大小划分为严重紧缺 ($D_{kp} \geq 0.65$)、紧缺 ($0.50 \leq D_{kp} < 0.65$)、轻微紧缺 ($0.35 \leq D_{kp} < 0.50$) 及不紧缺 ($D_{kp} < 0.35$) 4 级^[1]。

根据评价结果 ,列出楚雄市 4 个水平年和不同保证率的评价成果(表 5)。

表 5 水资源紧缺隶属度评价

水平年	保证率/%	综合	水资源量	社会经济	供水	需水	缺水	水质环境
2000	50	0.318	0.375	0.364	0.298	0.169	0.52	0.25
	50	0.367	0.375	0.381	0.306	0.197	0.90	0.25
2010	75	0.378	0.395	0.381	0.321	0.192	0.90	0.30
	90	0.382	0.410	0.381	0.331	0.190	0.90	0.30
	50	0.378	0.375	0.414	0.332	0.193	0.90	0.25
	75	0.389	0.395	0.414	0.345	0.188	0.90	0.30
2020	90	0.393	0.410	0.414	0.354	0.186	0.90	0.30
	50	0.390	0.375	0.418	0.343	0.214	0.90	0.30
2030	75	0.391	0.395	0.418	0.356	0.186	0.90	0.30
	90	0.400	0.410	0.418	0.364	0.184	0.90	0.35

从表 5 可以看出 ,云南省楚雄市水资源在 2000 年 50% 的保证率下 $D_{kp} < 0.35$,水资源属于不紧缺。但随着经济水平和人口的不断增长 ,到 2010 年、2020 年和 2030 年的 50%、75% 和 90% 的 3 种保证率下都出现了轻微紧缺的情况 , D_{kp} 值位于 0.367 ~ 0.400 之间。

3.2 水资源紧缺原因分析

楚雄市位于我国低纬度的云南省山区 ,处于我国气候湿润地区 ,但降雨量相对湿润地区较小 ,而蒸发量比较大 ,加上该市人口较多 ,因此 ,反映水资源量指标的隶属度在 0.35 以上。楚雄市是云南省经济比较发达的市 ,人均 GDP、工业产值模数、工业总产值占 GDP 比重等指标隶属度较大 ,故反映社会经济指标的隶属度也在 0.35 以上。由于市内分布大量的山地 ,位于河流的上游和一些河流的发源地 ,加上土地资源少 ,而且多分布呈小片散布在山区高处 ,土层薄瘠 ,丰富的水资源位于深谷及地下深处 ,使水土资源不能很好匹配 ,河流深切 ,开发难度大 ,深切河谷中平坦地少 ,城镇及较大面积的耕地分布于高处早期侵蚀面和河流分水岭地带 ;在人口稠密的地区 ,土高水低 ,开发利用水资源难度较大 ,为解决高处的农业和工业用水 ,需要较多的投资和较大规模的工程措施。因此 ,目前的供水能力不足 ,工程建设

滞后 ,缺水类指标较突出 ,供水指标也在不断上升 ,这些是造成水资源紧缺的重要原因。

3.3 趋势分析

现状年 2000 年、2010 年、2020 年及 2030 年 4 个水平年在 50% 保证率下的指标隶属度分别为 0.318、0.367、0.378 和 0.390。2010 年、2020 年及 2030 年 3 个水平年在 75% 保证率下的指标隶属度分别为 0.378、0.389 和 0.391。2010 年、2020 年及 2030 年 3 个水平年在 90% 保证率下的指标隶属度分别为 0.382、0.393 和 0.400。可以看出楚雄市在不同水平年和不同保证率下 ,水资源紧缺呈递增的变化趋势比较明显。

各类评价指标均不同程度增加。水质隶属度变化幅度最小(主要是楚雄市在未来将加大污水的治理) ,需水隶属度增加幅度也不大 ,但社会经济和缺水隶属度则有较大的增长 ,尤以缺水的增长最为突出 ,这反映出楚雄市的缺水情势愈来愈严峻。

4 结 论

通过对云南省楚雄市水资源紧缺程度的 24 个指标进行模糊隶属度的分析 ,可以得出楚雄市在未来不同水平年的不同保证率都将面临轻微紧缺。进一步分析可以得出楚雄市主要属于工程型缺水 ,这与楚雄市现状比较吻合。针对缺水类型和目标 ,楚雄市已拟定在未来的供水方案中新建水库 ,使楚雄市的总库容达到 17 790.3 亿 m^3 ,同时对老水库进行改善 ,以提高供水能力 ,从而增加灌溉面积 ,提供对城市居民和工业的供水 ,解决楚雄市未来的缺水问题。

参考文献 :

[1] 张宗祜 ,卢耀如. 中国西部地区水资源开发利用[M]. 北京 :中国水利水电出版社 ,2001.
[2] 钱正英 ,张光斗. 中国可持续发展水资源战略研究综合报告及各专题报告[M]. 北京 :中国水利水电出版社 ,2001.
[3] 陈守煜. 模糊水文学与水资源系统优化原理[M]. 大连 :大连理工大学出版社 ,1989.

(收稿日期 2004-12-27 编辑 :傅伟群)

