

# 飞来峡库区水资源承载力研究

阳 蓉

(广东省飞来峡水利枢纽管理处, 广东 清远 511500)

**摘要:**把飞来峡库区水资源承载力作为一个系统进行研究, 将它划分为水资源条件、社会经济状况和生态环境3个子系统, 并对每个子系统选取相应的评价指标, 从而构建飞来峡库区水资源承载力评价指标体系。在此基础上, 分别以2010年、2015年为评估年和参照年, 各项指标为评估系和参照系, 运用距离指数——层次分析法计算出飞来峡库区2010年相对于2015年的距离指数, 得出社会经济状况子系统状态为基本可承载、水资源条件子系统和生态环境子系统均为可承载状态、整个系统状态为可承载, 以及飞来峡库区的水资源状态安全的结论。

**关键词:**飞来峡水库; 水资源承载力; 距离指数——层次分析法

**中图分类号:** TV213.4; TV741 **文献标志码:** B **文章编号:** 1008-0112(2014)04-0011-05

随着社会经济的不断发展, 人类社会面临着人口、资源和环境三大问题的严重挑战, 而水安全问题已经成为许多地区可持续发展的制约因素, 成为三大挑战中的突出问题。水资源承载力是水资源安全问题的重要组成部分, 不仅关系到水资源自身所能承载的人口、经济、生态环境的可持续发展力, 同时对优化水资源配置、协调区域可持续发展、保障水资源安全意义重大<sup>[1]</sup>。

飞来峡水利枢纽位于北江干流中下游、广东省清远市辖区内, 坝址控制流域面积为34 097 km<sup>2</sup>, 占北江流域面积的73%, 总库容为19.04亿m<sup>3</sup>, 装机容量为140 MW。枢纽以防洪为主, 兼有航运、发电、供水和改善生态环境等综合效益, 是北江综合治理的全流域控制工程。飞来峡水库是北江中下游以及珠三角部分地区的主要水源区, 其水资源安全问题是该区域关注的重点问题。水资源是否可承载是影响水资源安全的重要因素, 目前, 对飞来峡库区研究很少有涉及到专门对水资源承载力问题, 基本都是停留在对该库区生态、经济等某一方面的研究中。尤其是2005年和2010年由于北江上游韶关冶炼厂排污导致北江出现了严重的镉和铊超标事件, 使得北江流域水环境急剧恶化, 加剧了水资源短缺的严重性, 并对流域居民饮水安全造成威胁, 库区水安全问题更为突出, 成为制约区域经济发展的瓶颈因素, 所以研究库区水资源承载力不仅关系到水资源本身安全也关系到区域的可持续

发展。

## 1 水资源承载力的内涵

一般认为资源承载力是指一个国家和地区在一定的阶段, 某种资源对该空间内人口的基本生存和发展的供养能力。水资源作为地球上一切生命之源是生物物种和旅游等多种资源的载体, 也是土地、森林等多种资源的保证资源, 决定了其承载力的特殊性。当前, 由于学者们自己理解的和研究的不同, 赋予了水资源承载力不同的定义, 水资源承载力也广泛应用于研究某个地区以及整个经济发展的水资源供需平衡的度量, 但至今还未有一个统一定义。笔者认为, 对水资源承载力的理解和界定应考虑到以下要点: 首先, 水资源承载力研究必须是在水资源安全与可持续发展的理论框架下进行; 其次, 水资源承载力是生态经济系统的一部分, 必须综合考虑水资源对地区人口、资源、环境和经济发展的支撑能力; 再次, 水资源承载能力除受自然因素影响外, 还受到社会因素的影响和制约, 如社会经济状况、国家方针政策、管理水平等影响。因此, 本文将水资源承载力定义为: 在某一具体的历史发展阶段, 以某地区的社会经济发展、政策、管理水平为依据, 以安全和可持续发展为原则, 在保持生态环境良性循环的目标下, 该地区的水资源对支持目标人口、经济、生态环境的最大支撑能力和限度<sup>[1-3]</sup>。

## 2 飞来峡库区水资源承载力评价指标体系的建立

依据水资源承载力的定义, 可以看出水资源承载

收稿日期: 2014-02-11; 修回日期: 2014-03-26

作者简介: 阳蓉(1983), 女, 硕士, 工程师, 从事水库调度工作。

力是关于人口、水资源以及社会经济状况、生态环境等多方面的综合指标，它所表达的是一个系统的概念，因而在研究飞来峡库区水资源承载力的过程中将水资源系统划分为水资源条件子系统、社会经济状况子系统、生态环境子系统3大子系统，这3个子系统具有各自特征，但又是相互关联的，每一个子系统又包含若干层次的子系统，各子系统与水资源承载力系统形成网状结构。其中涉及的指标是能够反映这个区域或

区域以水为主要控制因素的社会经济、生态环境以及水资源之间的协调发展状况的指标体系。评价指标的选择应该是反映水资源承载力满足整个社会经济活动和居民需要的支撑能力<sup>[4]</sup>。据此，建立评价指标体系，分为3个层次，即目标层A、准则层B和指标层C(如图1)。评价指标体系中各指标名称、单位及含义详见表1。

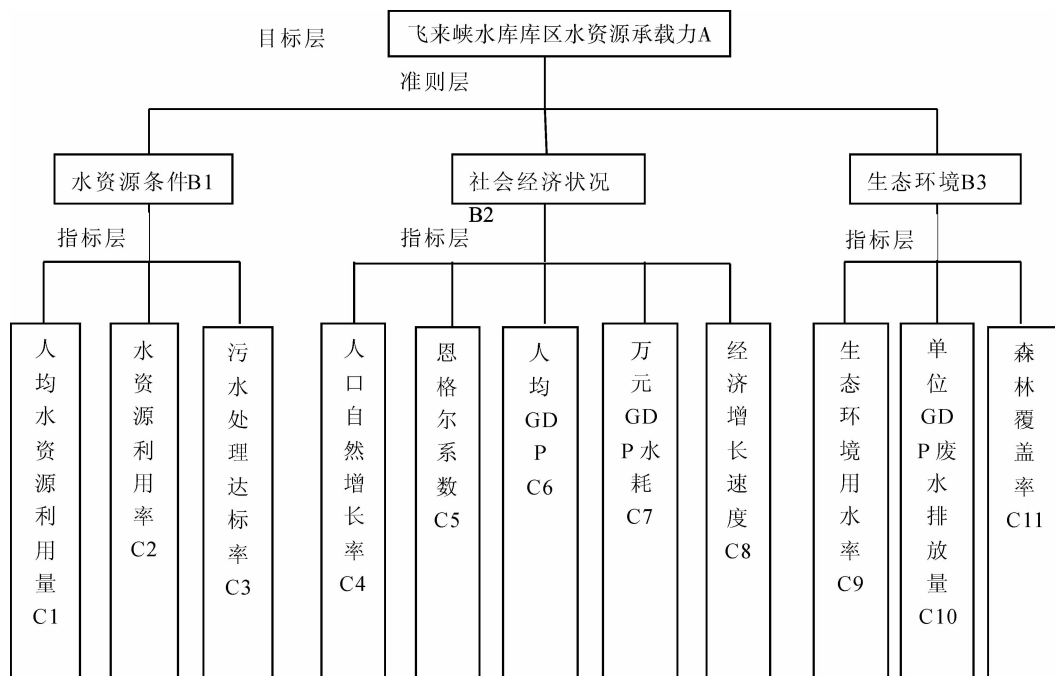


图1 飞来峡库区水资源承载力评价指标体系

表1 飞来峡库区水资源承载力评价指标体系

目标层	准则层	指标层	单位	含义
飞来峡库区水资源承载力A	水资源条件 B1	人均水资源占有量 C1	m <sup>3</sup> /人	水资源总供应量/总人口
		水资源利用率 C2	%	区域用水量/水资源可利用量
		污水处理达标率 C3	%	污水处理达标量/污水处理总量 × 100%
	社会经济状况 B2	人口自然增长率 C4	‰	人口自然增长率指一定时期内人口自然增长数(出生人数减死亡人数)/该时期内平均人口数
		恩格尔系数 C5	%	食品支出总额/个人消费支出总额
		人均 GDP C6	元	GDP 总额/总人口
		万元 GDP 水耗 C7	m <sup>3</sup>	每万元 GDP 所消耗掉的水资源
		经济增长速度 C8	%	社会经济在一个较长时期内逐年平均增长的一般水平
	生态环境 B3	生态环境用水率 C9	%	生态环境用水量/总用水量
		单位 GDP 废水排放量 C10	√/万元	工业废水、生活污水排放总量/地区生产总值
		森林覆盖率 C11	%	地区森林面积/土地总面积

### 3 飞来峡库区水资源承载力计算分析

由于水资源承载力是一个动态的过程，是否可承载是相对于一定的时期而言的，是一个相对量。本文主要借鉴宋豫秦等在《淮河流域可持续发展战略初论》中运用评估年与参照年之间的相对差距(距离指数)对淮河流域可持续发展状态以及水资源安全状态进行评

估的方法对飞来峡库区水资源承载力进行评估<sup>[5]</sup>。先用层次分析法确定准则层和指标层的权重，再通过相对差距来评估水资源承载力，这种方法被称为距离指数——层次分析法<sup>[6]</sup>。

$$GI_i(x_i, \bar{x}_i) = \sum b_{ij} \left| \frac{x_{ij}}{\bar{x}_{ij}} - 1 \right| \quad \text{其中} (GI_i(x_i, \bar{x}_i) \in$$

$$[0, 1]) \quad (1)$$

$$GI = \sum_{i=1}^3 \beta_i GI_i \quad \text{其中}(GI \in [0, 1]) \quad (2)$$

上述公式中,  $x_{ij}$ 表示第*i*个子系统内第*j*项指标在评估年的状态值;  $\bar{x}_{ij}$ 表示第*i*个子系统内第*j*项指标在参照年的状态值;  $GI_i$ 表示第*i*个子系统的综合距离;  $b_{ij}$ 表示第*i*个子系统内第*j*项指标权重;  $GI$ 表示区域的综合距离;  $\beta_i$ 表示第*i*个子系统的权重。

距离指数的值处于[0, 1]的范围内, 决定了系统评估年距离参照年的目标差距。距离指数数值越接近0则差距越小, 越接近1则差距越大, 其相对于水资源承载力状态如表2。

表2 水资源承载力状态等级参考

等级	可承载	基本可承载	初步可承载	不可承载
距离指数	<0.25	0.25~0.50	0.50~0.75	>0.75

### 3.1 指标体系中各指标权重确定<sup>[7-10]</sup>

采用层次分析法确定飞来峡库区水资源承载力指标体系中各指标的权重, 构造判断矩阵对各个指标的相对重要性进行判断。某一指标相对于另一个指标重要性的含义如表3所示。

表3 判断矩阵标度及其含义

重要性标度	含义
1	表示两个元素相比, 具有同等重要性
3	表示两个元素相比, 前者比后者稍重要
5	表示两个元素相比, 前者比后者明显重要
7	表示两个元素相比, 前者比后者强烈重要
9	表示两个元素相比, 前者比后者极端重要
2, 4, 6, 8	表示上述判断的中间值
倒数	表示相应两个因素交换次序比较的重要性

通过比率标度法得判断矩阵, 对其求最大正特征根, 归一化之后求的各指标权重。首先根据各指标的重要性构造判断矩阵, 见表4。

表5 飞来峡库区水资源承载力评价指标权重赋值

目标层	准则层	指标层	单位	分权重	权重		
飞来峡库区水资源承载力A	水资源条件 B1	人均水资源占有量 C1	m <sup>3</sup> /人	0.191 3	0.263 1		
		水资源利用率 C2	%	0.047 8			
		污水处理达标率 C3	%	0.023 9			
		人口自然增长率 C4	‰	0.212 6			
		恩格尔系数 C5	%	0.055 0			
	社会经济状况 B2	人均GDPC6	元	0.095 2	0.547 2		
		万元GDP水耗 C7	m <sup>3</sup>	0.136 7			
		经济增长速度 C8	%	0.047 7			
		生态环境用水率 C9	%	0.108 0			
		生态环境 B3	单位GDP废水排放量 C10	t/万元		0.063 2	0.189 7
			森林覆盖率 C11	%		0.018 5	

表4 指标相对重要性判断矩阵

	B1	B2	B3
B1	1	1/3	2
B2	3	1	2
B3	1/2	1/2	1

(相对于总目标而言, 各准则层之间相对重要性比较)

	C1	C2	C3
C1	1	2	4
C2	1/2	1	2
C3	1/4	1/2	1

(相对于准则层 B1 而言, 其相应指标层各指标之间相对重要性比较)

	C4	C5	C6	C7	C8
C4	1	5	2	3	2
C5	1/5	1	1/3	1/4	3
C6	1/2	3	1	1/2	2
C7	1/3	4	2	1	3
C8	1/2	1/3	1/2	1/3	1

(相对于准则层 B2 而言, 其相应指标层各指标之间相对重要性比较)

	C9	C10	C11
C9	1	2	5
C10	1/2	1	4
C11	1/5	1/4	1

(相对于准则层 B3 而言, 其相应指标层各指标之间相对重要性比较)

运用层次分析法分别求表4中4个判断矩阵的特征值。利用平均随机一致性指标, 通过 Matlab 语句求各判断矩阵的特征值, 对特征向量归一化处理, 并进行一致性检验, 经过一致性检验得出准则层和各指标层权重如表5, 可以看出, 社会经济状况子系统在3个系统中所占的权重最大, 达到0.547 2, 其中人口自然增长率和万元GDP水耗所占的权重较大。生态环境子系统最低为0.189 7, 其中生态环境用水率所占权重较大, 森林覆盖率较小。

### 3.2 指标体系中指标处理

本文研究飞来峡库区水资源承载力时以2010年为评估年，2015年为参照年。评估年的数据为当年实际

数据，参照年的数据为区域发展目标数据或国家通用数据，见表6。

表6 飞来峡库区各指标状态值

指标	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
2010年状态值	2 100	9.4	45.8	6.95	43.28	27 500	220	12.8	0.43	19	57
2015年状态值	3 000	83.1	100	3	40	42 700	64	15	60	15	60

利用等级法对指标进行标准化处理，标准化处理的目的是消除指标量纲和数量的差异，使指标之间具

有可比性。按照一定的标准等指标分为9个数量等级，将原来的绝对指标值转化为相应的等级值，见表7。

表7 指标预处理参考

指标	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C1	500	875	1 250	1 625	2 000	2 250	2 500	2 750	3 000
C2	5.1	13.8	22.55	31.3	40	50.8	61.55	72.3	83.1
C3	10	20	30	40	50	62.5	75	87.5	100
C4	10	8.75	7.5	6.25	5	4.5	4	3.5	<3
C5	59	56.75	54.5	52.25	50	47.5	45	42.5	40
C6	14 441	17 976	21 511	25 046	28 581	32 116	35 651	39 186	42 700
C7	261	237	213	189	165	141	117	93	64
C8	7	7.75	8.5	9.25	10	11.25	12.5	13.75	15
C9	<3.75	3.75	7.5	11.25	15	18.75	22.5	26.25	30
C10	45	41.25	37.5	33.75	30	26.25	22.5	18.75	15
C11	20	25	30	35	40	45	50	55	60

### 3.3 计算距离指数

根据表7 指标预处理参考表，将表6 中评估年2010 和参照年2015 的状态值转化为相应的数量等级，借助表5 中层次分析法得出的指标赋值，运用公式对飞来峡库区水资源承载力进行评估。结果如表8 所示，从表8 中可以看出，飞来峡库区整个水资源承载力系统2010 年相对于2015 年的距离指数为0.21。水资源条件子系统2010 年相对于2015 年的距离指数为0.13，

其中水资源利用率相对距离最大，人均水资源占有量相对距离较小。社会经济状况子系统2010 年相对于2015 年的距离指数为0.29，其中万元GDP 水耗相对距离较大，人口自然增长率、人均GDP 相对距离次之，恩格尔系数相对距离最小。生态环境子系统2010 年相对于2015 年的距离指数为0.10，其中生态环境用水率相对距离最大，森林覆盖率相对距离最小。

表8 飞来峡库区2010 年相对于2015 年的距离指数

类别	指标名称	单位	2010 年	2015 年	距离	综合距离	总综合距离
水资源条件 B1	人均水资源占有量 C1	m <sup>3</sup> /人	5.4	9	0.400 0	0.13	
	水资源利用率 C2	%	1.5	9	0.833 3		
	污水处理达标率 C3	%	4.6	9	0.488 9		
	人口自然增长率 C4	‰	3.4	9	0.622 2		
社会经济状况 B2	恩格尔系数 C5	%	7.7	9	0.144 4	0.29	
	人均GDPC6	元	4.7	9	0.477 8		
	万元GDP水耗 C7	m <sup>3</sup>	2.7	9	0.700 0		
	经济增长速度 C8	%	7.2	9	0.200 0		
	生态环境用水率 C9	%	1	9	0.888 9		
生态环境 B3	单位GDP废水排放量 C10	t/万元	7.9	9	0.122 2	0.10	
	森林覆盖率 C11	%	8.4	9	0.066 7		

### 3.4 飞来峡库区水资源承载力状态分析

结合表2 水资源承载力状态等级的划分，基于表8 计算得出的距离指数，可以得到飞来峡库区水资源承载力的等级状态，见表9。整体上说，飞来峡库区水资源承载力系统2010 年相对于2015 年而言除了社会经

济状况子系统为基本可承载外，库区整个水资源承载力系统、水资源条件系统、生态环境系统均为可承载状态。

表9 飞来峡库区2010年相对于2015年的水资源承载力状态等级

等级	系统飞来峡库区系统水资源条件社会经济状况			生态环境
	可承载	可承载	基本可承载	可承载
	0.21	0.13	0.29	0.10

#### 4 结论

为了研究飞来峡库区2010年相对于2015年水资源承载力状态,本文构建了飞来峡库区水资源承载力评价指标系统,以库区整个水资源承载力系统为目标层,目标层下建立有水资源条件子系统、社会经济状况子系统和生态环境子系统3个准则层,其下有11个评价指标。利用距离指数——层次分析法对评价指标系统进行计算分析,得出以下结论:

1) 总的来说,飞来峡库区水资源系统承载力较高,处于可承载状态,库区水资源状态安全。水资源条件和生态环境较好,均处于可承载状态。社会经济状况稍差,但也处于基本可承载状态。

2) 社会经济发展与资源、生态3者之间的矛盾是影响水资源承载力的关键因素。生态环境子系统的距离指数相对较小为0.10,而社会经济状况较高为0.29,水资源承载力所表达的是一个系统的概念,3个子系统之间存在相互关联、相互制约的关系,因而任何一个系统的功能都不能缺失。要保障水资源承载力,就必须协调好水资源、生态环境与社会经济之间的发展。

3) 虽然飞来峡库区水资源承载能力较高,状态安全,但是从表8的距离指数值来看,库区水资源利用

率相对距离较高,说明库区水资源利用率较低,未来要合理开发水资源,提高利用率。生态环境用水率相对距离较高,库区生态用水量较低,建议适当提高生态用水量,保障生态环境的可持续发展。

#### 参考文献:

- [1] 董剑. 区域水资源承载力评价研究——以天津市为例[D]. 天津: 天津理工大学, 2008.
- [2] 曹喜望. 管理科学中的数学模型[M]. 北京: 北京大学出版社, 2003: 231-251.
- [3] 孙富行. 水资源承载力的分析与应用[D]. 南京: 河海大学, 2006.
- [4] 常玉苗. 跨流域调水对区域生态经济影响综合评价研究[D]. 南京: 河海大学, 2007.
- [5] 宋豫秦. 淮河流域可持续发展战略初论[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 48-50.
- [6] 范兴建, 朱杰, 付永盛, 等. 距离指数——层次分析法在沱江流域水安全系统评价中的应用[J]. 农业系统科学与综合研究, 2009, 25(2): 129-132.
- [7] 黄娅婷. 基于极大熵原理的水资源承载力模糊评价[J]. 广东水利水电, 2011(2): 40-42.
- [8] 魏光辉, 马亮. 基于主成分分析的塔里木河流域水资源承载力评价[J]. 广东水利水电, 2012(2): 39-41, 48.
- [9] 龙德江. 基于变异系数权重的灰色关联投影法在石羊河流域水资源承载力综合评价中的应用[J]. 广东水利水电, 2009(11): 11-14.
- [10] 王暄. 基于模糊综合评判法的塔里木河流域水资源承载力评价[J]. 广东水利水电, 2010(8): 46-48.

(本文责任编辑 马克俊)

## Carrying Capacity of water Resources in Feilaixia Reservoir

YANG Rong

(The Administration Office of Feilaixia Water Conservancy Project of Guangdong Province, Qingyuan 511500, China)

**Abstract:** The carrying capacity of water resources in Feilaixia Reservoir area is studied as a system which is divided into three subsystems: water resource condition、socioeconomic condition and ecological environment. Based on the selected assessment indexes of each subsystem, the evaluation indexes system is built up. The year of 2010, 2015 have been respectively considered as evaluation year and reference year, indexes of them as evaluation system and reference system. The distance index - AHP has been used to account the distance between them. The results show that in 2010 the socioeconomic condition subsystem is basic carrying state, water resources subsystem and ecological environment subsystem are carrying state, and the system state is carrying state. Generally speaking, the Feilaixia Reservoir area is on the state of basal security.

**Key words:** Feilaixia reservoir; carrying capacity of water resources; distance index - AHP