

# 中国西南山区资源环境安全态势评价

张继飞<sup>1, 2</sup>, 邓 伟<sup>1</sup>, 刘邵权<sup>1</sup>

(1. 中国科学院·水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 选择西南山区5省市区(广西、重庆、四川、贵州和云南)作为研究区域, 遵循“压力—状态—响应”框架构建评价指标体系, 运用熵权—模糊综合评价方法对西南山区5省近11年来的资源环境安全总体态势进行了初步综合评价。结果表明: 研究时段内, 西南山区资源环境安全整体水平较低, 但区域内各省的资源环境系统呈现良性发展趋势; 资源环境综合安全水平由高到低依次是云南、重庆、四川、贵州、广西; 2006年以来, 各个省份的资源环境安全各等级隶属度曲线呈明显的收敛特征, 说明“十一五”以来, 西南山区“建设资源节约型、环境友好型社会”战略取得一定成效; 西南山区整体上远未摆脱以牺牲资源环境的长期安全与稳定换取经济总量短暂增长的发展模式。

**关键词:** 资源环境安全; 评价; 西南山区

**文章编号:** 1000-0585(2011)12-2305-11

## 1 引言

资源环境安全概念是在人类社会快速发展对资源—环境系统的承载能力产生巨大压力的背景下提出的。隶属于非传统安全范畴的资源环境安全问题, 随着可持续发展思想的广泛传播而越来越受到学术界和决策界的关注<sup>[1]</sup>。我国是世界最大的发展中国家, 也是世界最古老的文明古国之一。历经数千年资源开发, 尤其1950年代以来的大规模工业化建设, 国家的资源环境状态已产生根本性变化<sup>[2]</sup>。我国西南山区是国家资源战略要地, 支撑国家及区域经济社会可持续发展的地位十分突出, 未来支撑作用不可替代。新中国成立以来, 西南山区在国家经济建设方面长期扮演各类自然资源高强度开发与输出的角色, 为国家经济建设提供了巨大的资源保障和生态环境服务功能。1960年代中期的“三线建设”和20世纪末西部大开发战略的实施, 大幅增加了西南山区在水利、交通、能源等重大基础设施项目建设方面的固定资产投资, 客观上推动了西部地区的工业化进程, 但同时也对西部尤其西南山地区域的资源环境造成极大压力。叠加了山地生态系统和岩溶生态系统双重脆弱性的西南山区<sup>[3]</sup>, 在以往几十年高强度资源开发活动胁迫下, 其资源环境态势已发生显著改变, 生态脆弱性增强、自然灾害加重、人—地关系逐渐恶化等负面效应接踵显现。因此, 就西南山区的资源环境安全态势进行综合性、量化评价研究具有重要现实意义。

资源安全是指一个国家或地区可以持续、稳定、及时、足量和经济地获取所需自然资源的状态或能力, 是资源对经济发展和人民生活的保障程度<sup>[4]</sup>。国内外学者针对关系国计民生的主要战略性资源安全问题, 诸如耕地<sup>[5~7]</sup>、水<sup>[8~11]</sup>、能矿<sup>[12~14]</sup>、粮食<sup>[15, 16]</sup>等, 取

收稿日期: 2011-04-09; 修订日期: 2011-08-26

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX2-YW-333)

作者简介: 张继飞 (1983-), 男, 河南孟津人, 博士研究生, 主要从事山区发展与规划研究。

E-mail: jfzhang@imde.ac.cn

得了一系列重要研究成果,为不同尺度区域的资源可持续利用提供了有益借鉴。从本质上讲,“资源环境安全”概念是“资源安全”概念的衍生和发展。从资源过程角度看,资源环境安全立足于资源利用的生态环境效果,是指资源开发利用的生态环境后果是否安全,事实上是将资源安全和生态环境安全联系了起来<sup>[17]</sup>。随着工业化和城市化的迅猛发展,大规模粗放式资源开发利用所带来的生态环境问题日趋严重,环境安全也逐渐从最初的边缘化概念发展成为各界关注的焦点<sup>[18~20]</sup>。有学者从宏观层面对我国资源环境安全态势进行了综合评价和国际横向对比,取得了较有价值的研究结论<sup>[2, 21, 22]</sup>。

总体看,目前关于资源环境安全综合评价研究的论著较少。关于山区资源环境安全的研究尤其薄弱。因此,本文通过构建熵权—模糊综合评价模型,对我国西南山区5省近11年来的资源环境态势进行初步综合评判,旨在为资源环境安全评价研究及区域资源环境综合开发治理与产业发展布局提供参考。

## 2 研究区概况

在行政区划上,西南山区包括贵州、云南、四川、重庆及广西5省(市、自治区),总面积137.44万km<sup>2</sup>,山区面积比重分别为95.1%,95.0%,94.7%,86.9%和86.0%<sup>[23]</sup>。西南山区拥有丰富的能矿资源、巨量的林草资源以及多样的生物物种基因库,是国家未来资源战略储备要地、国家生态环境安全屏障以及生物多样性研究基地,同时也是我国少数民族和贫困人口的集中分布区。总体而言,西南山区的发展具有下述三个特征。

### (1) 资源赋存丰裕,支撑国家发展的战略地位突出。

西南山区拥有的水能资源可开发量占全国的60%,全国已经规划的12大水电基地中,西南山区就占7个,已经开工的溪洛渡、向家坝和即将开工建设的白鹤滩、乌东德等特大型水电工程都分布在区内。该区域也是我国南方最大的煤炭产地,天然气探明储量已超过5000亿m<sup>3</sup>,钒、钛保有储量占全国的64%和92%,是我国金、铜、铅、锌金属、稀有金属和稀土矿的重要产地,磷矿和硫铁矿分别占全国的50%和30%。从我国的资源态势而言,国家已整体进入以重化工为代表的工业化中期阶段,对于能源和关键稀缺资源的需求将更为强烈。加之我国人口众多、经济规模总量较大,这一基本国情决定了我国经济社会发展的主要资源需求还必须依赖于国内供给保障。西南山区资源种类多,储量大,随着未来探矿技术的发展,也存在着巨大的深部资源潜力,西南山区资源战略地位对于支撑国家区域经济社会可持续发展的作用十分突出。

### (2) 长期高强度开发导致生态脆弱性增强,人一地关系日趋紧张。

西南山区(含丘陵区),山地和高原占幅员面积的比重高达80%,生态环境本底十分脆弱。因长期的资源强度开发,空间有序性差,生态环境广受破坏而脆弱性不断增加,人一地关系及其空间结构明显失调,危及到该区域资源可持续利用,对其自身可持续发展和下游地区生态环境安全产生巨大影响。西南山区水土流失面积占幅员面积的比重高达50%以上,崩塌、滑坡、泥石流等山地灾害密集分布。资源强度开发也产生较为严重的废渣、废水和大气污染,昆明、贵阳、重庆、攀枝花、六盘水、宜宾等城市已成为全国环境污染较为严重的城市之一,滇池水质常年保持在劣V类,已丧失生态功能。从今后较长一段时间来看,西南山区将面临以下人一地关系矛盾:国家资源需求与国家生态安全需求的矛盾;持续增长的山区人口与脆弱的生态环境难以承受的矛盾。

### (3) 西南山区全面协调可持续发展迫切需要科学统筹。

从西南山区社会经济态势而言,集中了34个少数民族,其少数民族人口占总人口的19%左右,占全国少数民族总人口的50%以上。尽管资源十分丰富,但以“资源环境剥夺”为主要形式的资源长期超量输出,并未带动西南山区区域经济社会的快速发展。相反,西南山区社会经济发展总体水平仍然较为落后,全国18个贫困人口集中分布区中的5个分布在西南山区,贫困人口占全国贫困人口总量的近50%。在全面协调可持续发展建设中,既存在民族之间经济社会的协调问题,也包括区域或特定地域空间范围内部的发展协调问题,对于广大山区而言,后者就更为迫切地需要解决资源开发与经济社会发展和区域生态环境的相互协调问题。

目前,中国正处于大规模工业化和城镇化进程之中,西南山区也处于一个深刻的变革过程,但其发展有自身特殊的历史阶段和区域任务。因此,就国家战略资源需求与保障和生态环境安全维系而言,西南山区迫切需要破解多维关联资源、环境和人口的区域可持续发展难题。因此,科学地分析和评判区域内资源环境安全的总体态势,对其人一地关系及其空间结构的协调,以确保资源供给、生态环境服务功能的有效性和持久性,以及对下游经济发达地区经济社会发展与民生安全都具有重要的战略意义。

### 3 研究方法

#### 3.1 资源环境安全评价指标体系构建及安全等级划分

影响资源环境安全的因素众多,辨识和评判特定区域的资源环境安全状态,应基于多因子综合的评价方法。本文依据经典的压力—状态—响应(PSR)概念框架,构建以资源环境压力、资源环境状态和人类社会响应为准则层的区域资源环境安全综合评价指标体系。遵循科学性、目的性及数据可获取性原则,构建能尽量反映研究区特点和代表性的评价指标体系(表1)。

区域资源环境安全是一个相对概念。目前关于资源环境安全的标准问题,学界尚未有定论。本文结合研究对象特点,在咨询专家及参考相关文献研究成果的基础上<sup>[24~30]</sup>,依据下述几点确定资源环境安全等级标准:资源、环境类指标参照国家或行业与国际标准、区域资源环境背景及类比标准等确定;社会经济类指标参照全国平均水平、发达地区水平和国际通行标准等确定。本文将资源环境安全标准分为5个等级(表1)。

#### 3.2 指标权重确定

指标权重确定是资源环境安全评价的关键环节,直接决定着评价结果的可靠性。由于不能充分考虑各指标提供的信息量,人为赋权往往缺乏客观依据,不能完全反映研究对象的实际状态。层次分析法是综合评价中确定权重的常用方法,是定性与定量分析相结合的多准则决策方法<sup>[31]</sup>,据其确定权重的关键部分是判别矩阵的构造,但在由专家咨询法构建判别矩阵时,常因各专家对判别标准选定的差异和认识问题的局限,造成矩阵构建的任意性较大<sup>[32]</sup>。本文引入客观的熵权法来确定各指标权重,以避免或减少人为主观影响。熵权法主要根据各指标传递给决策者的信息量大小确定其权重值<sup>[33]</sup>。在信息论中,信息是系统有序程度的度量,熵则是系统无序程度的度量。当评价对象在某项指标上的值相差越大,该指标的信息熵就越小,表明其变异程度越大,传递的有效信息越多,其相应权重也应越大;反之,若某项指标的值相差越小,其信息熵就越大而变异程度越小,传递的有效信息越少,其对应权重也越小。依据“熵权”进行评价指标赋权,已在当代工程技术、社会经济和环境科学等领域得到广泛应用<sup>[28]</sup>。

表 1 区域资源环境安全综合评价指标体系及其分级标准

Tah 1 The index system of regional resource and environment security assessment and the gradation criteria

目标层	准则层	项目层	指标层	资源环境安全分级与标准值					标准值来源
				1	2	3	4	5	
				不安全	较不安全	一般安全	较安全	安全	
资源环境安全综合指数(A)	资源环境压力(B <sub>1</sub> )	资源压力(C <sub>1</sub> )	人口密度(人/km <sup>2</sup> )(D <sub>1</sub> )	500	400	300	200	100	文献[39]
			人口自然增长率(‰)(D <sub>2</sub> )	5.00	4.00	2.35	1.20	0.70	文献[41]
			土地垦殖率(‰)(D <sub>3</sub> )	30	25	20	15	10	背景值
			城镇化率(‰)(D <sub>4</sub> )	80	70	55	35	20	文献[43]
			耕地成灾率(‰)(D <sub>5</sub> )	80	70	50	30	20	文献[39]
		环境压力(C <sub>2</sub> )	耕地化肥负荷(kg/ha)(D <sub>6</sub> )	600	550	450	300	200	文献[41、43]
			耕地农药负荷(kg/ha)(D <sub>7</sub> )	40	35	25	15	10	文献[39]
			国土工业废水负荷(t/km <sup>2</sup> )(D <sub>8</sub> )	4000	3500	2500	1500	1000	文献[39]
			工业SO <sub>2</sub> 排放率(‰)(D <sub>9</sub> )	74.45	65.64	56.84	48.04	39.24	见注释
			人均耕地面积(hm <sup>2</sup> )(D <sub>10</sub> )	0.040	0.053	0.067	0.080	0.100	文献[39]
	资源环境安全综合指数(A)	资源状态(C <sub>3</sub> )	人均水资源量(m <sup>3</sup> )(D <sub>11</sub> )	1000	1350	2000	2650	3000	文献[41]
			能源自给率(‰)(D <sub>12</sub> )	10	30	50	70	90	文献[43~45]
			耕地旱涝保收率(‰)(D <sub>13</sub> )	30	35	40	45	50	文献[42]
			森林覆盖率(‰)(D <sub>14</sub> )	35.0	42.5	50.0	57.5	65.0	见注释
			自然保护区覆盖率(‰)(D <sub>15</sub> )	4.0	6.0	9.0	12.5	15.0	文献[41]
		环境状态(C <sub>4</sub> )	工业废水排放达标率(‰)(D <sub>16</sub> )	80	85	92.5	97.5	100	文献[41]
			工业固体废物综合利用率(‰)(D <sub>17</sub> )	50	70	80	90	100	文献[39、43]
			人均GDP(元)(D <sub>18</sub> )	10000	25000	50000	80000	100000	文献[41]
			城镇居民人均可支配收入(元)(D <sub>19</sub> )	5500	7500	10000	12000	14000	见注释
			农村居民人均纯收入(元)(D <sub>20</sub> )	1500	2000	3000	4500	6000	见注释
	人类社会响应(B <sub>3</sub> )	社会发展响应(C <sub>5</sub> )	第三产业产值比重(‰)(D <sub>21</sub> )	20	30	50	65	80	文献[41]
			R&D投资强度(‰)(D <sub>22</sub> )	1.0	1.5	3.0	5.0	6.0	文献[41]
			每万人高等学校专任教师数(人)(D <sub>23</sub> )	3	6	9	11	13	见注释
		技术发展响应(C <sub>6</sub> )	单位GDP能耗(t/万元GDP)(D <sub>24</sub> )	1.50	1.25	0.75	0.30	0.10	文献[39]
			资源环境综合绩效指数(/)(D <sub>25</sub> )	100.0	119.3	138.7	158.0	177.3	见注释

注：“背景值”表示该值由国家和区域背景值趋势外推得到；工业SO<sub>2</sub>排放率=1-工业SO<sub>2</sub>去除率，其第1和第5级标准分别由研究时段内全国平均最劣值和最优值确定，之间各等级以等间距法确定；森林覆盖率、城镇居民人均可支配收入、农村居民人均纯收入等级标准参考《生态县、生态市、生态省建设指标（修订稿）》<sup>[34]</sup>中相关指标拟定；万人高等学校专任教师数的等级划分方法同SO<sub>2</sub>；资源环境综合绩效指数（2000~2008）引自《2010中国可持续发展战略报告——绿色发展与创新》，等级划分方法同SO<sub>2</sub>。1999和2009年的资源环境绩效指数根据2000~2008年数据趋势拟合得来。

3.3 模糊综合评价方法及其步骤

客观世界存在很多不确定性的因素，评价这类因素用界线分明的量化方法难免有失偏颇。模糊综合评价是以模糊数学为基础，借助模糊数学基本概念，通过引入隶属度建立评价因素与评判等级之间的对应关联，得到评价目标相对于各评判等级的隶属度，实现对边界不清、难以定量目标对象的定量化评判。资源环境安全概念是一个内涵明确，外延模糊

的概念,运用模糊数学理论和方法建立评价模型对西南山区资源环境安全态势进行综合评价,较之传统定性研究更具科学性。针对本研究而言,模糊综合评价步骤如下:

(1) 确定评价对象集、因素集和评语集。对象集  $O = \{\text{广西壮族自治区资源环境系统, 重庆市资源环境系统, 四川省资源环境系统, 贵州省资源环境系统, 云南省资源环境系统}\}$ ; 因素集  $F = \{25 \text{ 个评价指标}\} = \{x_1, x_2, \dots, x_{25}\}$ ; 评语集  $V = \{\text{不安全、较不安全、一般安全、较安全、安全}\} = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}$ 。

(2) 指标数据标准化。

(3) 确定权重向量。根据熵权法确定各指标权重,进而构建权重向量。

(4) 单因素模糊评价。基于实测值(统计值)构建隶属函数,求得隶属度;求算各因素对评语集不同安全等级的隶属度。

(5) 由因素集中各因子所对应的隶属度,构建模糊关系矩阵  $R$ 。

(6) 模糊合成及模糊评价结果综合分析。

## 4 西南山区资源环境安全综合评价

### 4.1 数据来源及处理

综合考虑重庆市的直辖时间为 1997 年,以及西南山区 5 省资源环境安全指标数据的可获得性等因素,本文以 1999~2009 年为研究时段,所有原始数据资料均来自以下几方面:中国统计年鉴(2000~2010),西南山区 5 省统计年鉴(2000~2010);中国国土资源年鉴 2000~2003,中国环境统计年鉴(2000、2004~2009),中国人口统计年鉴(2000~2009),中国农村统计年鉴(2000~2001、2005~2009),中国西部农村统计年鉴(2002~2004),中国区域经济统计年鉴(2000~2009);新中国 60 年统计资料汇编,新中国农业 60 年统计资料;四川省国民经济和社会发展统计公报(1999~2004),西南山区 5 省环境状况公报(2000~2004),西南山区 5 省水资源公报(2000~2004);《2010 中国可持续发展报告》。上述资料中部分原始数据即评价指标,可直接用于评价,如人口自然增长率等;另有部分原始数据需依照物理意义进行运算处理得到评价指标,如 R&D 投资强度等。

### 4.2 评价指标相对隶属度计算

对于不同性质指标的相对隶属度计算,处理方式亦有区别。资源环境安全评价一般涉及两类指标:正效应指标和负效应指标。正效应指标是指其发展方向与资源环境安全目标相一致的指标,如人均耕地面积和人均 GDP 等;负效应指标是指其发展方向与资源环境安全目标相违背的指标,如人口密度和耕地成灾率等。对于某个评价对象,假设  $x_i$  为评价因素集中第  $i$  个因素,其对应的  $j$  级安全标准值为  $s_{ij}$ ,其对应的评语论域中第  $j$  个等级  $V_j$  的相对隶属度为  $r_{ij}$ 。借鉴相关研究<sup>[26]</sup>,本文对  $r_i$  的计算方法如下:

(1) 当  $x_i$  为正效应指标时。

①若  $x_i$  小于“不安全”等级(第 1 级)的标准值  $s_{i1}$ ,它对“不安全”的相对隶属度为 1,对其余等级的相对隶属度为 0。以数学公式表达,即:当  $x_i < s_{ij}$  且  $j = 1$  时,  $r_{i1} = 1$ ,  $r_{i2} = r_{i3} = r_{i4} = r_{i5} = 0$ ;

②若  $x_i$  大于“安全”等级(第 5 级)的标准值  $s_{i5}$ ,它对“安全”的相对隶属度为 1,对其余等级的相对隶属度为 0。以数学公式表达,即:当  $x_i > s_{ij}$  且  $j = 5$  时,  $r_{i5} = 1$ ,  $r_{i1} = r_{i2} = r_{i3} = r_{i4} = 0$ ;

③若  $s_{ij} < x_i < s_{i,j+1}$ ,则  $r_{i,j+1} = x_i - s_{ij} / s_{i,j+1} - s_{ij}$ ,  $r_{ij} = 1 - r_{i,j+1}$ ,且  $r_{ik} = 0$  ( $k \neq j$ )

或  $j+1$ )。

(2) 当  $x_i$  为逆效应指标时。

①若  $x_i$  大于“不安全”等级(第 1 级)的标准值  $s_{i1}$ ，它对“不安全”的相对隶属度为 1，对其余等级的相对隶属度为 0。以数学公式表达，即：当  $x_i > s_{ij}$  且  $j=1$  时， $r_{i1}=1$ ， $r_{i2}=r_{i3}=r_{i4}=r_{i5}=0$ ；

②若  $x_i$  小于“安全”等级(第 5 级)的标准值  $s_{i5}$ ，它对“安全”的相对隶属度为 1，对其余等级的相对隶属度为 0。以数学公式表达，即：当  $x_i < s_{ij}$  且  $j=5$  时， $r_{i5}=1$ ， $r_{i1}=r_{i2}=r_{i3}=r_{i4}=0$ ；

③若  $s_j < x_i < s_{i,j+1}$ ，则  $r_{i,j+1}=s_{ij}-x_i/s_{ij}-s_{i,j+1}$ ， $r_{ij}=1-r_{i,j+1}$ ，且  $r_{ik}=0$  ( $k \neq j$  或  $j+1$ )。

依据上述计算方法，以及表 1 所确定的资源环境安全分级标准，计算各评价对象原始指标的单因子相对隶属度，构建单因子模糊评价矩阵，即相对隶属度矩阵  $R$ 。

### 4.3 综合评价指数计算

根据相对隶属度矩阵和各指标相对资源环境安全目标的权重，资源环境安全综合评价矩阵计算公式为： $A=W \cdot R=(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5)$ 。其中， $W=(w_1, w_2, w_3, \dots, w_{25})$  为各指标的相对权重，利用熵权法计算得出，具体方法详见文献<sup>[28,35]</sup>。 $A$  为资源环境安全状态综合评价指数。需要说明的是，本文利用熵权法计算各指标权重，是针对 5 个评价样本(西南山区 5 省)各自计算出一套权重体系。这主要基于以下思考：由于区域差异的客观存在，不同区域内同一评价因子对资源环境安全目标的贡献程度并不一致。因此，由熵权法确定不同样本区参评因子的独立权重体系，据此进行最终评价，较之使用同一权重更能体现对不同评价样本资源环境本底条件和社会发展差异的尊重。各省指标权重系数如表 2。

### 4.4 综合评价结果

#### 4.4.1 西南山区资源环境安全总体态势

根据上述方法，对西南山

表 2 各省指标权重系数

Tab 2 The index weight coefficients of each province

指标	权重系数				
	广西	重庆	四川	贵州	云南
D <sub>1</sub>	0.000528	0.002036	0.000831	0.000578	0.039706
D <sub>2</sub>	0.004309	0.027591	0.108071	0.062275	0.038942
D <sub>3</sub>	0.000332	0.002446	0.001299	0.000648	0.039513
D <sub>4</sub>	0.018931	0.015172	0.028441	0.006909	0.040256
D <sub>5</sub>	0.028269	0.026264	0.011483	0.014241	0.039323
D <sub>6</sub>	0.021087	0.015345	0.008166	0.008171	0.040556
D <sub>7</sub>	0.015982	0.008178	0.003115	0.019123	0.040572
D <sub>8</sub>	0.083799	0.009227	0.004577	0.050012	0.039423
D <sub>9</sub>	0.025137	0.031673	0.020623	0.055679	0.039059
D <sub>10</sub>	0.001025	0.001044	0.001013	0.001774	0.039400
D <sub>11</sub>	0.029331	0.032756	0.013036	0.016182	0.039105
D <sub>12</sub>	0.020422	0.002743	0.002639	0.034072	0.040041
D <sub>13</sub>	0.000310	0.002717	0.001756	0.002015	0.039815
D <sub>14</sub>	0.015788	0.019398	0.018736	0.010398	0.039734
D <sub>15</sub>	0.002356	0.092684	0.050488	0.102109	0.040470
D <sub>16</sub>	0.027611	0.010354	0.032038	0.040800	0.041250
D <sub>17</sub>	0.010239	0.003437	0.012715	0.015625	0.040218
D <sub>18</sub>	0.214723	0.227232	0.209284	0.192654	0.040753
D <sub>19</sub>	0.102635	0.094668	0.092653	0.091103	0.040459
D <sub>20</sub>	0.066689	0.088542	0.092801	0.068141	0.040406
D <sub>21</sub>	0.001410	0.001821	0.002568	0.011215	0.039838
D <sub>22</sub>	0.112906	0.067171	0.012989	0.020086	0.040529
D <sub>23</sub>	0.150613	0.143079	0.186659	0.090745	0.040789
D <sub>24</sub>	0.004097	0.023682	0.006733	0.035957	0.039489
D <sub>25</sub>	0.041471	0.050742	0.077286	0.049487	0.040354

区 5 省 1999~2009 年的资源环境安全态势进行综合评价。5 个省份的资源环境安全各等级及其变化趋势，以及最终隶属级别如表 3 所示。

表 3 西南山区 5 省资源环境安全综合评价结果

Tah 3 Integrated assessment results of resource and environment security  
of five provinces in mountainous area of Southwest China

省份	年份	各安全等级相对隶属度及分布										
		综合安全态势	不安全	比重	较不安全	比重	一般安全	比重	较安全	比重	安全	比重
广西	1999	不安全	0.700394		0.174716		0.033067		0.032566		0.059257	
	2000	不安全	0.686995		0.198341		0.036112		0.023555		0.054997	
	2001	不安全	0.665996		0.233752		0.024876		0.022846		0.052530	
	2002	不安全	0.626659		0.251413		0.046748		0.021719		0.050700	
	2003	不安全	0.635105		0.241857		0.053355		0.020950		0.048733	
	2004	不安全	0.588202	100%	0.219158	0	0.120820	0	0.027685	0	0.044135	0
	2005	不安全	0.581558		0.182429		0.164393		0.032154		0.039466	
	2006	不安全	0.506914		0.193669		0.222751		0.039916		0.036750	
	2007	不安全	0.442443		0.220192		0.136750		0.164635		0.035980	
	2008	不安全	0.350627		0.331174		0.114888		0.070006		0.133304	
重庆	2009	不安全	0.335691		0.305856		0.097168		0.123387		0.137898	
	1999	不安全	0.803067		0.066524		0.080365		0.038008		0.011956	
	2000	不安全	0.674216		0.222190		0.063077		0.029964		0.010552	
	2001	不安全	0.590659		0.237473		0.113256		0.048521		0.010092	
	2002	不安全	0.478287		0.321227		0.126285		0.065716		0.008484	
	2003	不安全	0.388030		0.364768		0.171963		0.067061		0.008178	
	2004	较不安全	0.330282	45%	0.333296	18%	0.248633	27%	0.079611	9%	0.008178	0
	2005	一般安全	0.327165		0.224509		0.369729		0.070388		0.008209	
	2006	一般安全	0.301856		0.200423		0.332368		0.157175		0.008178	
	2007	一般安全	0.263957		0.115430		0.339807		0.244228		0.036578	
四川	2008	较安全	0.206010		0.185844		0.218541		0.249209		0.140395	
	2009	较不安全	0.104533		0.288885		0.177849		0.256775		0.171958	
	1999	不安全	0.793001		0.098049		0.049156		0.014659		0.045135	
	2000	不安全	0.764243		0.110155		0.034475		0.058395		0.032732	
	2001	不安全	0.654804		0.219655		0.018171		0.065883		0.041488	
	2002	不安全	0.599988		0.256123		0.037753		0.066641		0.039495	
	2003	不安全	0.502205		0.293057		0.096286		0.041336		0.067116	
	2004	不安全	0.380724	55%	0.351432	27%	0.159331	18%	0.040549	0	0.067964	0
	2005	较不安全	0.333501		0.347347		0.209105		0.038382		0.071665	
	2006	较不安全	0.269294		0.333667		0.300023		0.040760		0.056256	
贵州	2007	一般安全	0.218383		0.233813		0.330791		0.155619		0.061393	
	2008	较不安全	0.168471		0.325443		0.240531		0.261108		0.097100	
	2009	一般安全	0.137661		0.211594		0.261502		0.193436		0.195807	
	1999	不安全	0.837360		0.010457		0.013148		0.070581		0.068455	
	2000	不安全	0.837347		0.009348		0.016057		0.041952		0.095295	
	2001	不安全	0.837341		0.009088		0.019109		0.054646		0.079817	
	2002	不安全	0.817253		0.035442		0.010589		0.006523		0.130193	
	2003	不安全	0.749422		0.099988		0.020682		0.012059		0.117850	
	2004	不安全	0.617745	100%	0.228950	0	0.013381	0	0.022765	0	0.117159	0
	2005	不安全	0.613937		0.205707		0.048078		0.015396		0.116882	
	2006	不安全	0.571759		0.212355		0.089245		0.010035		0.116606	
	2007	不安全	0.483183		0.199282		0.142985		0.051170		0.123381	

	2008	不安全	0.475258		0.173053		0.079106		0.140555		0.132028	
	2009	不安全	0.463982		0.161079		0.097740		0.066845		0.210354	
	1999	不安全	0.437342		0.127884		0.060621		0.085699		0.288057	
	2000	不安全	0.434510		0.108644		0.058818		0.116011		0.281620	
	2001	不安全	0.414282		0.118984		0.090189		0.101330		0.274819	
	2002	不安全	0.398915		0.134167		0.070452		0.107647		0.288422	
	2003	不安全	0.384365		0.122156		0.116152		0.097363		0.279567	
云南	2004	不安全	0.360135	64%	0.090892	0	0.142044	0	0.124607	0	0.270245	36%
	2005	不安全	0.322780		0.127737		0.136559		0.098546		0.318916	
	2006	安全	0.267881		0.137553		0.175486		0.107044		0.312036	
	2007	安全	0.251576		0.098225		0.202393		0.144663		0.303143	
	2008	安全	0.246278		0.101295		0.200587		0.133318		0.318523	
	2009	安全	0.243425		0.092431		0.187635		0.148262		0.328247	

(1) 西南山区整体资源环境安全态势。

西南山区 5 省因地处山区而具有特殊脆弱的自然生态本底，同时又因地处大江大河上游而发挥着重要的区域性乃至全国性生态服务功能。脆弱的山区自然生态背景和特殊的生态服务功能，共同决定了西南山区的资源环境安全应比东部平原和丘陵地区受到更多和更大的约束。但受研究能力所限，本文在资源环境安全评价指标等级标准的确定过程中，较多参考了相应值的全国发展背景和平均水平。即便如此，过去的 11 年间，西南山区 5 省的资源环境安全整体态势不容乐观，资源环境相对“不安全”的年份在各个省份都占据很高的比重。因此本文认为，从 1999~2009 年这 11 年的发展状况看，西南山区 5 省的资源环境安全水平整体较低，需在未来发展中给予高度重视。

(2) 西南山区内部资源环境安全状况。

由表 3，广西和贵州两省区的资源环境安全状态在整个研究时段内都处于相对“不安全”级别，其整体资源环境安全态势较为严峻，资源环境对经济社会发展的支撑作用整体呈不可持续状态。其余 3 省的“不安全”级别比重由高到低依次是：云南（64%）、四川（55%）、重庆（45%）。而作为最优状态的“安全”级别在 5 个省份的历年状态中所占比重极小，出现安全级别的唯一省份是云南省（2006~2009 年），资源环境系统连续 4 年呈现安全级别，并且有继续保持和优化的趋势（表 3），说明云南省经济社会发展与资源环境的良性协调机制正在逐渐形成，资源环境对社会发展的可持续支撑能力逐年增强。

(3) 西南山区 5 省资源环境安全水平排序。

考虑到西南山区 5 省的资源环境安全各等级的分布差异较大，本文按照下述方式对研究时段内西南山区 5 省的资源环境安全发展水平进行简略排序。

①对于研究时段内资源环境安全等级发生变化的省份，即重庆、四川和云南 3 省，分别按其各自“不安全”和“较不安全”比重加和（简称“不安全”水平），以及“一般安全”、“较安全”和“安全”比重加和（简称“安全水平”），然后双向比照并综合考虑其安全级别差异进行排序；

②对于研究时段内资源环境安全等级未发生变化的省份，即广西和贵州 2 省区，可对比其历年“不安全等级”的隶属度，以综合确定哪一省份相对更不安全。

基于以上思路，本文对 1999~2009 年间西南山区 5 省的资源环境安全水平进行计算和排序。西南山区 5 省的资源环境安全水平由高到低的顺序为：云南省、重庆市、四川



省、贵州省、广西壮族自治区。

**4.4.2 西南山区资源环境安全变化趋势** 西南山区 5 省（区、市）资源环境安全各等级隶属度的变化具有如下趋势及特点。

其一，1999 年至 2009 年的研究时段内，西南山区的资源环境安全总体水平较低，但各省资源环境系统都呈现出不同程度的良性发展取向。这主要表现在代表各省资源环境不安全级别隶属度的曲线都呈明显的下降态势，而代表各省资源环境安全与较安全级别隶属度的曲线却表现出上升轨迹。

其二，2006~2009 年，西南山区的资源环境安全各等级隶属度曲线呈明显的整体收敛性，亦即，表征“不安全水平”的不安全和较不安全隶属度曲线逐渐由高位向低位回落；相反，指示“安全水平”的一般安全、较安全以及安全隶属度曲线却逐年抬升。

以上发展趋势和特征表明，自 1999 年，尤其是 2006 年实施“第十一个五年规划”以来，在“建设资源节约型、环境友好型社会”的战略引导之下，西南山区对资源节约和环境保护的重视以及相应节能减排措施的实施等一系列积极因素，有效地促进了经济社会逐步向发展与环境双赢、人与自然相和谐的目标靠近，区域经济社会展现出良性发展的趋势。

此外，各省资源环境较不安全隶属度曲线在研究时段内都有不同程度的波动（如重庆、云南），甚至反弹现象（如广西、四川和贵州），说明西南山区远未摆脱资源能源密集型经济增长方式，以牺牲资源环境的长期安全与稳定换取经济总量短暂增长的发展方式仍较广泛存在。在现代城镇化和工业化浪潮的席卷之下，处于发展弱势的西南山区正面临资源开发强度持续加大，而生态环境明显脆弱、人地关系更加紧张的矛盾状态。因此，西南山区 5 省应将资源节约和环境保护作为长期坚持的战略目标，积极发展循环经济，提高资源利用效率；增加科技研发投入，降低高耗能、高污染产业比重；大力优化产业结构，积极推动节能降耗的清洁产业，加快绿色产业的布局与发展。

## 5 结论与讨论

（1）本文利用熵权—模糊综合评价方法对西南山区的资源环境安全态势进行了初步综合评价。结果表明，在 1999~2009 年的研究时段内，西南山区 5 省资源环境安全整体水平较低；西南山区 5 省资源环境安全水平由高到低依次是：云南、重庆、四川、贵州、广西；自 1999 年以来，尤其是进入“十一五”之后，西南山区各省资源环境系统呈现出明显的良性发展态势；西南山区整体远未摆脱以牺牲资源环境长期安全为代价换取经济总量短暂增长的粗放发展模式。未来应坚持资源高效集约利用、环境友好发展的战略取向，积极发展循环经济，增加科技研发投入，降低“两高”产业比重，大力优化产业结构，积极发展智能与绿色产业。限于篇幅，本文未对区域资源环境安全的“压力、状态及响应”三因素作进一步深入分析，后续研究应对之进行补充探讨。

（2）资源环境安全综合评价本质是对资源环境安全程度的综合性概率度量。目前关于资源环境安全评价的研究尚处于探索阶段，资源环境安全标准的界定是难点问题。参与评价的部分指标能够依据相关研究成果或结论来确定其等级标准，但还有很多指标的分级标准需要更深入地研究与实践来验证。指标赋权是综合评价的核心之一，熵权法可以充分挖掘原始数据本身的负载信息，客观程度较高，但却不能反映专家的知识经验，有时得到的权重或与实际重要程度不相符合<sup>[28]</sup>；同时，综合评价方法的优势在于时间序列以及区

域之间的横向比较,但同时可能会掩盖某些单一指标的“短板效应”所带来的关键性制约影响。由于数据可获取性的限制,本研究仍有很多诸如单位 GDP 水耗、酸雨频率以及万人高等学历人数等指标未纳入评价体系,部分指标采用近似替代的方法加以解决(如以  $\text{SO}_2$  排放率和万人高等学校专任教师数分别代替酸雨频率和万人高等学历人数等)。此外,本文的研究时段为 11 年,时间跨度较小,若能将时间序列向前延伸,可能更有利于深入探索区域资源环境安全态势的演变过程和隐藏问题。因此,未来研究应在上述方面继续改进和完善。

致谢:本文对西南山区资源环境安全背景分析所使用的数据,主要来自于中国科学院知识创新工程重要方向项目:“西南山区情势与资源环境安全战略研究”中的部分成果。在此,对该项目的参与成员表示感谢。

### 参考文献:

- [1] 谷树忠,姚予龙. 国家资源安全及其系统分析. 中国人口·资源与环境,2006,16(6):142~148.
- [2] 张雷,刘慧,陈文言. 国家资源环境安全的要素综合评价. 地球科学进展,2004,19(2):283~288.
- [3] 杨庆媛. 西南丘陵山区土地整理与区域生态安全研究. 地理研究,2003,22(6):698~708.
- [4] 封志明. 资源科学导论. 北京:科学出版社,2007. 414.
- [5] 郑荣宝,刘毅华,董玉祥,等. 基于主体功能区划的广州市土地资源安全评价. 地理学报,2009,64(6):654~664.
- [6] 杨齐,干晓宇,李建龙,等. 张家港市土地资源安全与城市化时空动态分析. 自然资源学报,2010,25(8):1274~1283.
- [7] 陈百明,周小萍. 中国粮食自给率与耕地资源安全底线的探讨. 经济地理,2005,25(2):145~148.
- [8] 贾绍凤,张士峰. 海河流域水资源安全评价. 地理科学进展,2003,22(4):379~387.
- [9] 李书恒,周寅康. 中国西北干旱地区水资源安全评价初探. 干旱区研究,2004,21(3):230~234.
- [10] 夏军,朱一中. 水资源安全的度量:水资源承载力的研究与挑战. 自然资源学报,2002,17(3):262~269.
- [11] 杨全明,王浩,赵先进. 贵州水资源安全问题初探. 生态学杂志,2005,24(11):1347~1350.
- [12] 陈德敏,杜健勋. 资源禀赋、地区差异与法律控制——地区差异条件下能矿资源安全的社会学基本分析框架. 中国软科学,2009,(7):1~10.
- [13] 谷树忠,耿海清,姚予龙. 国家能源、矿产资源安全的功能区划与西部地区定位. 地理科学进展,2002,21(5):410~419.
- [14] Nicolas L. Measuring the energy security implications of fossil fuel resource concentration. Energy Policy,2010,38(4):1635~1644.
- [15] Per P A, Rajul P L. Food security and sustainable use of natural resources: A 2020 vision. Ecological Economics, 1998,26(1):1~10.
- [16] Alexandros G. Resource consumption in Japanese agriculture and its link to food security. Energy Policy,2011,39(3):1101~1112.
- [17] 谷树忠,姚予龙,沈镭,等. 资源环境安全及其基本属性与研究框架. 自然资源学报,2002,17(3):280~286.
- [18] Stoett P J. Global environmental security, energy resources and planning: A framework and application. Futures, 1994,26(7):741~758.
- [19] Joseph A, Marcel B E, Frank K, *et al.* The GLASS model: A strategy for quantifying global environmental security. Environmental Science & Policy,2001,4(1):1~12.
- [20] 张勇,叶文虎. 国内外环境安全研究进展述评. 中国人口·资源与环境,2006,16(3):130~134.
- [21] 张雷,刘慧. 中国国家资源环境安全问题初探. 中国人口·资源与环境,2002,12(1):41~46.
- [22] 张雷. 中国国家资源环境安全的国际比较分析. 中国软科学,2002,(8):26~30.
- [23] 陈国阶. 2003 中国山区发展报告. 北京:商务印书馆,2004. 15.
- [24] 吴开亚,金菊良. 区域生态安全评价的熵组合权重属性识别模型. 地理科学,2008,28(6):754~758.
- [25] 刘佳雪,沙润,周年兴. 南京江心洲旅游景观健康评价. 地理研究,2010,29(4):748~756.
- [26] 高长波,陈新庚,韦朝海,等. 熵权模糊综合评价法在城市生态安全评价中的应用. 应用生态学报,2006,17(10):

1923~1927.

- [27] 罗俊,王克林,陈洪松. 西南喀斯特区域农业生态系统评价研究——以广西河池地区为例. 中国农业生态学报, 2007,15(3):165~168.
- [28] 高长波,陈新庚,韦朝海,等. 广州生态安全状态及趋势定量评价. 生态学报,2006,26(7):2191~2197.
- [29] 孙天晴,马宪国. 城市能源安全指标体系评价模型实证研究. 开发研究,2007,(6):64~67.
- [30] 张华林,刘刚. 我国石油安全评价指标体系初探. 国际石油经济,2005,13(5):44~48.
- [31] 杜栋,庞庆华,吴炎. 现代综合评价方法与案例精选. 北京:清华大学出版社,2008. 11.
- [32] 龚建周,夏北成. 城市景观生态学与生态安全. 北京:科学出版社,2008. 190.
- [33] 贾艳红,赵军,南忠仁,等. 熵权法在草原生态安全评价研究中的应用——以甘肃牧区为例. 干旱区资源与环境, 2007,21(1):17~21.
- [34] 中华人民共和国环境保护部. 关于印发《生态县、生态市、生态省建设指标(修订稿)》的通知. [http://web-search.mep.gov.cn/info/gw/huanfa/200801/t20080114\\_116248.htm](http://web-search.mep.gov.cn/info/gw/huanfa/200801/t20080114_116248.htm),2007-12-26/2011-02-01.
- [35] 罗军刚,解建仓,阮本清. 基于熵权的水资源短缺风险模糊综合评价模型及应用. 水利学报,2008,39(9):1092~1097.

## Quantitative assessment of resource and environment security: A case study in mountainous areas of Southwest China

ZHANG Ji-fei<sup>1, 2</sup>, DENG Wei<sup>1</sup>, LIU Shao-quan<sup>1</sup>

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** This paper takes mountainous areas of Southwest China (Guangxi Zhuang Autonomous Region, Chongqing Municipality, Sichuan Province), Guizhou Province and Yunnan Province, which are regions bearing huge pressure of resource and environment, as the study area. According to the Pressure-State-Response model, the integrated assessment index system of resource and environment security was established. Using the entropy weight and fuzzy synthetic evaluation method, the general situation of resource and environment security of each province from 1999 to 2009 were assessed quantitatively. The results are shown as follows. (1) The integral security level of the study area was lower, though the development of resource-environment system of each province showed positive momentum. (2) Yunnan had the highest holistic resource and environment security level, followed by Chongqing, Sichuan, Guizhou and Guangxi. (3) The degree of membership curve of each province presented a convergent tendency since 2006, which indicated that the mountainous areas of Southwest China made some progress during the period of the 11th Five-Year Plan (2006~2010), but the whole region has not got rid of the development model of seeking temporary economic growth at the expense of the environment and resources.

**Key words:** resource and environment security; assessment; mountainous areas of Southwest China