综合研究

广东省小流域综合治理效益的定量评价
——以清远市瑶安小流域为例

郑国权[1]，杨宪杰[1]，温美丽[2]，官清华[2]，杨 龙[2]，田 甜[1]

（1.广东省水利电力勘测设计研究院，广东 广州 510635；
2.广东省地理空间信息技术与应用公共实验室 广州地理研究所，广东 广州 510070）

摘 要：[目的] 以广东省清远市瑶安小流域为例，对广东省小流域综合治理的效益进行定量评价，为该省小流域综合治理和效益评价工作提供借鉴和依据。[方法] 根据广东省小流域的灾害特点和治理目标及瑶安小流域的实际情况，利用层次分析法确立防洪减灾效益、水保生态效益、经济效益和社会效益等 4 个效益类型，选择 21 个具有代表性的评价指标。数据标准化后利用模糊数学综合评判法构建小流域综合治理效益评价模型。[结果] (1) 构建的评价指标体系和评价方法能较为全面地反映小流域治理的综合效益，适合广东省使用。(2) 2007—2013 年瑶安小流域的综合效益和 4 个单项效益均有不同程度的提高，其中防灾效益和经济效益显著提高。[结论] 提出的效益评价指标体系和方法在广东省是实用可行的。综合治理后瑶安小流域防灾减灾能力得到显著提高，水土流失状况得到改善。

关键词：小流域；水土保持综合治理；效益定量评价；广东省

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2016)04-0237-07 **中图分类号**：S157.1

文献参数：郑国权，杨宪杰，温美丽，等. 广东省小流域综合治理效益的定量评价[J]. 水土保持通报，2016，36(4)：237-243. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2016.04.042

Quantitative Evaluation of Benefits from Comprehensive Watershed Harness
—A Case Study of Yao'an Small Watershed of Qingyuan City in Guangdong Province

ZHENG Guoquan[1], YANG Xianjie[1], WEN Meili[2], GONG Qinghua[2], YANG Long[2], TIAN Tian[1]

(1. *Guangdong Hydropower Planning & Design Institute, Guangzhou, Guangdong* 510635, *China*; 2. *Guangdong Open Laboratory of Geospatial Information Technology and Application, Guangzhou Institute of Geography, Guangzhou, Guangdong* 510070, *China*)

Abstract: [Objective] Through a case study in quantitative evaluation of benefits from comprehensive watershed harness of Yao'an small watershed of Qingyuan City in Guangdong Province, we expected that some references for the watershed harness and benefit evaluation. [Methods] According to the disaster characteristics of small watershed in the province, the harness destination and actual situation of Yao'an small watershed, 4 benefit types(flood protection and disaster reduction, soil and water conservation and ecological, economic and social benefit) and 21 indices were chosen to evaluate the benefits from comprehensive harness of watershed. Methods of data standardization, fuzzy comprehensive evaluation model and analytic hierarchy process were used. [Results] (1) The indices system and evaluation model presented well the comprehensive benefit of soil and water conservation of small watershed, and were suitable in the region of Guangdong Province. (2) The comprehensive benefit and the above four benefit items were all improved with different percentages from 2007 to 2013 in Yao'an small watershed, among them, the disaster reduction benefits from flood protection and economic benefit were remarkable. [Conclusion] The indices and method used in quantitative benefit evaluation for comprehensive control were practical and suitable in the watershed of Guangdong

收稿日期：2015-08-30 **修回日期**：2015-10-15

资助项目：国家自然科学基金项目“基于 3D 激光扫描技术的风化花岗岩崩岗侵蚀泥沙来源空间分布研究”(41301301)；广东省水利厅政府采购项目(GPCGD132197FG076F)；广东省水利科技创新项目(2012-14)；广东省科学院科研平台环境与能力建设专项(2016GDAsPTO301)；广东省科技计划项目(2012A030200010)

第一作者：郑国权(1972—)，男(汉族)，甘肃省定西市人，硕士，高级工程师，主要从事水土保持设计方面的工作。E-mail：zheng.gq@gpdiwe.com。

通讯作者：温美丽(1976—)，女(汉族)，山西省阳高县人，博士，副研究员，主要从事水土资源保护利用方面的研究。E-mail：wenml@gdas.ac.cn。

Province. After comprehensive harness been conducted, the withstanding ability to disaster was signally enhanced and the situation of soil loss was moderated.

Keywords: small watershed; comprehensive control of soil and water conservation; quantitative benefit evaluation; Guangdong Province

广泛分布于广东省大江大河及其支流山区的小流域,因其特殊的地质环境条件和高温多雨的气候条件,加上防洪基础设施薄弱等问题,导致小流域地区不断出现山洪、滑坡泥石流灾害及水土流失危害。广东省自20世纪80年代开展小流域地区水土流失治理及灾害防治方面的不断探索和实践,使得东江、韩江和北江流域中上游地区的水土流失得到有效治理[1]。但针对丘陵山区山洪及其引发的地质灾害和水土流失的防治工程缺乏较系统和完整的防治,远不能满足经济社会发展的需要,灾害仍时有发生,如2006年6月18日连州市暴发突发性特大山洪,造成瑶安、三水等4个乡镇受灾,损失达1.7亿元;2007年6月7日,连州瑶安乡再次暴发特大山洪,造成直接经济损失8.244×10^7元;2次洪水共有4人被洪水夺去生命。2008年广东省发改委启动清远连州瑶安两条小流域的综合治理试点工作,以期为广东省山区小流域综合治理探索经验。在瑶安小流域试点的基础上,同年广东省完成《广东省小流域综合治理规划》编制导则,将"安全、生态、发展、和谐"确定为广东小流域综合治理的总体目标,小流域治理工作开始由单项治理转向流域系统治理[2]。在《广东省小流域综合治理工程规划(2011—2020年)》中提出,未来10 a广东将投入96亿元综合治理500条小流域,主要分布在粤东、粤西和粤北山区。该省各地陆续启动小流域综合治理项目,据不完全统计,到2013年广东已经治理小流域163条。各地的治理工程取得一定的治理成效,如何科学、客观地评价小流域综合治理的效益,已成为当前工作的重点和难点。科学、客观、合理地评价小流域综合治理的效益,既反映治理措施对环境质量的改善,又客观鉴定治理活动对生态安全、区域可持续发展和国民经济宏观发展的提升意义,也有助于检验治理规划和方法的适用性、治理措施的有效性和可靠性。更为重要地是,开展效益评价研究可总结现有治理模式的经验,对未来长期的小流域综合治理具有科学指导,将进一步促进规划决策的科学化、治理实施的规范化并不断提升小流域治理水平,因此小流域综合效益评价是小流域治理工作中不可或缺的组成部分。

小流域治理综合效益分析评价是是通过科学分析小流域现状特征、小流域治理措施、和小流域治理的目标要求等,建立衡量小流域治理成效的综合评价体系。通过检索文献发现,在小流域综合治理效益评价过程中所采用的方法主要有定性评价和定量评价两种,总体发展趋势为:从过去以定性为主的单因素、单目标评价,逐步演化到多因素、多功能和多指标的综合定量评价。定性评价主要是对小流域治理前后的各个效益指标进行简单的对比分析,以评分或指数为评价尺度而进行的评价。许多学者采用定性分析[3],但定性评价无法获得一个综合效益值,不利于相关部门决策[4]。定量评价是一种通过数值形式的指标体系,以计算结果为基础的一种评价方法。在当前应用较多的综合定量评价方法有加权或加乘综合指数法[5]、关联度分析法[5]、层次分析法[6-8]、主成分分析法[7]、模糊综合评判方法[9]等。部分学者则将定性分析与定量分析结合起来进行评价,也有少数学者将几种定量评价方法综合起来使用[5-8]。对于效益,多数学者[6-7,10]强调以生态效益为首要评价指标,经济效益和社会效益位居其次。也有少数学者[10]强调为提高治理区农民的参与积极性,应以经济效益为首要指标。还有部分学者将生态、经济、社会效益的各个指标均进行货币价值的估算,通过静态分析法[11-12]或纳入国民经济评价[13],实现综合效益的经济评估。但因缺乏统一的基础标准、指标体系和评价方法,不同研究者的评价结果都不具备普适性和可比性。为此,本研究从广东省小流域治理的目标、流程和策略出发,通过深入分析小流域广东省小流域的特征、小流域治理措施和取得的成效,考虑到《广东省小流域综合治理规划导则》是该省小流域综合治理的实践指导,治理措施体系比较全面,基本能覆盖该省的主要情况,因此以上述规划导则为基准,筛选具有代表性和可操作性的评价指标体系,探索采用模糊综合评判方法,建立广东省小流域综合治理效益评价方法。连州瑶安小流域是广东省小流域综合治理的试点工程,也是已完成治理工程并准备验收的为数不多的几个小流域之一,资料比较完整,效益评价非常迫切,因此以瑶安小流域的综合治理实践为例,检验指标体系和评价方法的可行性和适应性,以期为广东省小流域综合治理和效益评价工作提供借鉴和依据。

1 研究区概况

广东省在地貌上从北到南形成山地、丘陵、台地、

平原等类型,地势逐级递向南海倾斜,其中以山地丘陵为主,山地和丘陵面积占该省总面积 62%,小流域地区自然环境好,植被覆盖率高。因高温多雨的气候环境和小流域独特的山区地质环境,以及坡地开发等人为活动影响,使得小流域地区面临洪涝灾害、地质灾害、水土流失等问题,广东省针对以上问题,自 2008 年开始开展小流域综合治理工作。瑶安小流域位于清远市连州北部山区,包括瑶安乡及三水乡部分区域,流域面积 274.82 km^2。流域内地形以低中山、低山、丘陵为主。地势北高南低,水系发育,形成的水系蜿蜒曲折,区内主要 3 条支流自西向东分别为长合水、小滚水和带田水,呈扇形分布,流向自北向南,并最终汇流于瑶安乡。该区山陡坡峭,河谷切割较深,区内工程岩组以寒武系砂页岩、白垩系砂砾岩、燕山期花岗岩为主,大部分山体基岩裸露,坡积覆盖层较薄,水土流失轻微—中等。近年来,由于该流域上游森林过度开发等原因,水土流失严重,河道泥沙淤积,使河道调洪排洪能力降低,且流域内的水利设施老化,乡村堤防防洪标准低,水利设施不配套,洪涝灾害严重。针对瑶安小流域的水土流失和灾害问题,自 2007 年以来广东省水利厅通过村庄、农田防护、拦砂坝、格栅坝、河道整治清淤等多种形式进行防洪工程开展小流域综合治理试点[14-15],使区域的防洪减灾能力得到显著提升,流域生态环境得到明显改善。

2　评价过程

2.1　评价技术路线

广东省小流域综合治理的目的是解决流域内存在的洪涝灾害、地质灾害、水土流失、人居环境恶化等问题。本研究考虑到小流域治理效益评价具有影响因素不确定性的特点,是一个涉及社会、经济和生态等多目标、多层次极其复杂的系统过程,而且评价指标还存在内涵模糊、关系复杂、层次不清晰等问题。模糊综合评价法以模糊数学为基础,对概念无明显分界线且受到多种因素制约的事物进行综合评价。模糊综合评价法能较好地解决模糊的、难以量化的问题,适合解决各种非确定性的问题,且结果清晰,对多因素、多层次的复杂问题评判效果比较好。因此,广东省小流域综合治理的效益评价采用模糊综合评价法,通过模糊数学运算得出的定量评价结果,可以为相关部门正确决策提供科学依据。故本研究决定运用层次分析法与模糊综合评判相结合的方法进行小流域综合治理效益综合评价,以层次分析法确定各指标权重,将其用于模糊综合评判中,从而使评价结果更客观、更准确。本研究以小流域综合治理目的为着力点,以粤北山区的清远市连州瑶安小流域为典型区域,对小流域综合治理工程的综合效益进行全面、科学的评价。评价流程为:(1) 通过对小流域地区开展野外和资料调查,甄别广东省小流域的特点、问题和治理重点,然后结合文献综述开展研究方法和指标体系的对比研究,初步拟定了研究方法和评价指标体系。(2) 对广东该省小流域进行摸查,结合专家经验法建立较为完善、科学的评价指标体系。(3) 利用专家咨询和层次分析法确定指标权重。(4) 对瑶安小流域进行野外和工程施工资料调研,统计小流域综合治理效益评价的指标现状值,并依据规划资料和专家咨询法确定指标理想值,将指标值标准化处理。(5) 在文献综述基础上,总结目前在小流域综合治理效益研究中采用评判方法的和适用性,选择模糊综合评判法作为小流域综合评价的评价方法,并对瑶安小流域展开综合评价,为广东省小流域综合治理决策提供参考。

2.2　评价指标体系的建立

小流域综合治理是一项复杂的生态工程,涉及到自然、经济、社会和人文等一系列的因素[16]。在广东省的小流域综合治理工程规划中,为了覆盖该省的主要小流域类型,将治理小流域的面积从国标的 50 km^2 提高到 200 km^2,治理对象为山洪灾害和水土流失综合治理,治理措施包括防洪工程、地质灾害防治工程、水土流失防治工程、人居环境整治等类型。在这些小流域中,面临的一个重大问题就是山洪灾害,因此“安全、生态、发展、和谐”做为广东小流域综合治理的总体目标,而安全也是排在目标的首位。因此本研究的效益评价从防洪减灾效益、水保生态效益、经济效益和社会效益等 4 个方面进行综合评价。在评价指标选择时既考虑清远瑶安小流域自身区域环境特征和主要治理工程和治理对象,也分析该省小流域的现状、综合规划和治理工程措施,确立了指标筛选的 5 大原则:科学性、系统性、可操作性、通用可比性、主效益和直接效益,通过参照国标法、文献频数法、实例选取法、理论推导法、专家选取法等 5 种方法的综合,经历由下而上、由上而下等 3 轮筛选,最终确定 2 级共 21 个小流域综合治理效益评价指标体系(表 1)。瑶安小流域的指标数值来自清远连州市公开的统计资料、项目可研和初设报告及水务局填报资料。

2.3　评价方法计算

根据小流域综合治理的特点和前人的研究成果[9,16],运用层次分析法与模糊综合评判相结合的方法进行小流域综合治理效益综合评价。

表1 广东省小流域综合治理效益评价指标体系

A层 总目标层	B层 综合评价层	C层 评价指标层
A 综合治理效益	B_1 防洪减灾效益	C_1 农田防洪能力
		C_2 村庄防洪能力
		C_3 堤围防洪能力
		C_4 人口防护比例
		C_5 耕地防护比例
	B_2 水保生态效益	C_6 林草覆盖率
		C_7 水土流失治理率
		C_8 水土流失面积比例
		C_9 侵蚀模数
	B_3 经济效益	C_{10} 人均GDP
		C_{11} 土地产出率
		C_{12} 人均纯收入
		C_{13} 粮食单产
		C_{14} 灾害防护率
		C_{15} 灌溉保证率
	B_4 社会效益	C_{16} 水田占耕地比例
		C_{17} 水利设施用地比例
		C_{18} 人均耕地面积
		C_{19} 土地利用率
		C_{20} 水利技术人口比例
		C_{21} 恩格尔系数

2.3.1 *权重的确定* 权值的确定就是一种对于不同评价因子重要程度的分析过程。利用层次分析法确定评估因子的权值。层次分析法确定权重的基本过程是:首先,以小流域治理综合效益为总目标,分析影响目标的各个因素,并把各个因子按照相互之间存在的支配关系建立层次结构模型(表2),将评价的要素划分为3个层次,分别为第一层次为综合效益评价层(即总目标层A);第二层包括防灾减灾效益、水保生态效益、经济效益和社会效益4个子体系(即综合评价层B);第三层次为各子体系具体的评价指标(即指标层C)。然后,采用专家咨询打分法,构造判断矩阵,邀请5位专家对指标体系开展相对于上一层评价目标的重要性程度的两两比较打分,打分标准采用1~9标度法(表2),并取打分结果平均值,构造判断矩阵(因篇幅限制,判断矩阵略),第三,按照层次分析法的基本原理,对判断矩阵进行一致性检验,利用特征根法将判断矩阵进行层次排序,求得判断矩阵的最大特征值及对应的特征向量,并将特征向量进行归一化后即得评价指标的权重值,本研究的各个因子的权重值计算结果详见表3—4。

表2 1—9标度法判断矩阵标度及含义

标度	含义
$a_{ij}=1$	表示指标 a_i 与 a_j 相比,具有同等重要性
$a_{ij}=3$	表示两个因子相比,前者比后者稍微重要
$a_{ij}=5$	表示两个因子相比,前者比后者明显重要
$a_{ij}=7$	表示两个因子相比,前者比后者强烈重要
$a_{ij}=9$	表示两个因子相比,前者比后者极端重要
$a_{ij}=2,4,6,8$	介于上述相邻判断的中间值
倒数	若指标 a_j 与 a_i 相比,判断矩阵值为 $1/a_{ij}$

表3 瑶安小流域治理效益评价指标的现状值、标准化值和权重

效益	评价指标	2007年现状值	2007年标准化值	2013年现状值	2013年标准化值	权重值
防洪减灾效益 B_1	C_1 农田防洪能力	5	0.12	10	0.41	0.079
	C_2 村庄防洪能力	5	0.12	10	0.41	0.282
	C_3 堤围防洪能力	5	0.12	20	1.00	0.113
	C_4 人口防护比例/%	21.90	0.30	42.15	0.80	0.446
	C_5 耕地防护比例/%	61	0.03	86	0.87	0.08
水保生态效益 B_2	C_6 林草覆盖率/%	86.57	0.62	87.28	0.65	0.252
	C_7 水土流失治理率/%	51	0.20	87	0.85	0.296
	C_8 水土流失面积比例/%	3.75	0.63	2.62	0.74	0.188
	C_9 侵蚀模数/($t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$)	1 031.78	0.47	1 031.78	0.47	0.264
经济效益 B_3	C_{10} 人均GDP(元/人)	1 988.45	0.55	2 389.48	0.77	0.123
	C_{11} 土地产出率(万元 $\cdot km^{-2}$)	990	0.32	1034	0.38	0.101
	C_{12} 人均纯收入(元/人 $\cdot$ a)	2800	0.44	3900	0.66	0.155
	C_{13} 粮食单产($t \cdot hm^{-2}$)	0.45	0.08	0.6	0.25	0.11
	C_{14} 灾害防护率/%	73.84	0.48	98.57	0.97	0.51
社会效益 B_4	C_{15} 灌溉保证率/%	90	0.80	90	0.80	0.22
	C_{16} 水田占耕地比例/%	2.90	0.58	2.98	0.60	0.153
	C_{17} 水利设施用地比例/%	0.86	0.80	0.87	0.81	0.093
	C_{18} 人均耕地面积(hm^2/人)	0.06	0.83	0.06	0.87	0.162
	C_{19} 土地利用率/%	92.26	0.45	93.16	0.63	0.193
	C_{20} 水利技术人口比例/%	0.01	0.04	0.07	0.66	0.082
	C_{21} 恩格尔系数	0.47	0.22	0.47	0.22	0.093

2.3.2　效益评价指标及其标准化　对小流域综合治理效益的评价首先要对各评价指标的优劣状况进行评价,由于各评价指标的优劣具有模糊性和连续性,因此,本文利用模糊数学原理,建立治理效益与指标体系的具有连续性质的隶属函数,并从因子与效益之间的正负性,确定隶属度函数分布的升降性。隶属度函数实际上是评价指标与治理效益之间的数学关系表达式,由于评价指标单位、量纲各不相同,因此,各个指标的实际观测值不能直接相加,必须首先通过隶属函数将其无量纲化,转化为小流域治理效益评价指标的标准化值。本文根据前人研究经验和对效益评价指标性质的分析,本研究采用升降半梯型隶属函数。

(1) 升半梯形函数。这类函数表达的是在一定范围内评价因素指标值与治理效益之间呈正相关,低于或高于此范围评价指标值的变化对治理效益的影响很小。属于这类函数的评价因素包括:C_1 农田防洪能力,C_2 村庄防洪能力,C_3 堤围防洪能力,C_4 人口防护比例(%),C_5 耕地防护比例(%),C_6 林草覆盖率(%),C_7 水土流失治理率(%),C_{10} 人均 GDP(元/人),C_{11} 土地产出率(万元/km^2),C_{12} 人均纯收入(元/人·a),C_{13} 粮食单产(t/hm^2),C_{14} 灾害防护率(%),C_{15} 灌溉保证率(%),C_{16} 水田占耕地比例(%),C_{17} 水利设施用地比例(%),C_{18} 人均耕地面积(hm^2/人),C_{19} 土地利用率(%),C_{20} 水利技术人口比例(%)。隶属函数表达式为:

$$N(x)=\begin{cases}0 & (0\leqslant x\leqslant a)\\ \dfrac{x-a}{b-a} & (a<x<b)\\ 1 & (b\leqslant x)\end{cases}$$

式中:x——指标的实际值;a,b——评价指标的上限和下限即基准值和理想值。理想值为小流域综合治理应达到的理想水平,基准值为小流域治理前的基准水平。

(2) 降半梯形函数。这类函数表达的是在一定范围内评价因素指标值与治理效益之间呈负相关,低于或高于此范围评价指标值的变化对治理效益的影响很小。其中 C_8 水土流失面积比例(%)、C_9 侵蚀模数 t/(km^2·a)和 C_{21} 恩格尔系数采用降半梯形标准化类型,其函数表达式为:

$$N(x)=\begin{cases}1 & (0\leqslant x\leqslant b)\\ \dfrac{a-x}{a-b} & (b<x<a)\\ 0 & (a\leqslant x)\end{cases}$$

本研究综合考虑广东省小流域治理的现状和未来发展方向,将理想值确定方法采用目标值法、摸底调查、专家咨询法相结合的方法进行。① 目标值法。结合小流域综合治理规划等相关规划,在分析小流域治理现状的基础上,参考水利部颁发的开发建设项目和生态建设项目水土流失防治标准规定等规范文件,确定指标理想值;② 摸底调查法。将广东省的小流域进行了小流域治理效益指标的现状调查,基本摸清该省各小流域的小流域治理效益情况,参考省内先进水平,指导确定指标基准值和理想值;③ 专家咨询法。选择熟悉小流域发展现状和小流域治理状况的专家,提供相关材料,咨询确定指标基准值和理想值。

根据调查数据,通过统计计算瑶安小流域综合治理效益评价指标的实际数值,按照如上所述标准值确定方法,计算各指标的标准值,实际值和标准化值详见表 3。

2.3.3　效益评价值的计算　根据上述各层次指标权重和各评价指标的标准化值,运用模糊综合评价的基本模型对治理前后的经济效益、社会效益、防灾减实和水保生态效益和综合效益进行模糊评价,将评价结果乘以 100 转换为百分制(表 4)。模型表达式为:

$$p=M_i\cdot\boldsymbol{R}_i$$

式中:M_i——C 层中对应于防灾减实和水保生态效益、经济效益和社会效益的评价指标的权重向量;$\boldsymbol{R}_i$——C 层防灾减实和水保生态效益、经济效益和社会效益的单因素评价矩阵。

表 4　瑶安小流域治理效益评价结果

项　目	防灾减灾效益	水保生态效益	经济效益	社会效益	综合效益 A
权重	0.58	0.285	0.075	0.06	
2007 年	19	46	42	59	31
2013 年	69	68	76	68	69
增加比例/%	260.75	48.93	80.40	15.93	124.70

3　结果与分析

为了使评价结果等级化,将防灾减灾效益、水保生态效益、经济效益、社会效益和综合效益评价结果按百分制得分划分为 5 个等级(表 5)。瑶安小流域治理效益评价等级划分结果详见表 6。

根据计算和评价结果(表 4,6),2007—2013 年瑶安小流域的防灾减灾效益、水保生态效益、经济效益和社会效益都有了不同程度的提高。在综合治理工程实施前瑶安小流域的防灾效益为极差,水保生态效益、经济和社会效益评价分值均较低,属于“中等”,综合效益为“差”等,严重威胁流域的生态和人居安全,

极大制约流域的经济和社会发展;而小流域综合治理工程完成后,治理工程中的防洪工程实施起到了较好的安全防护和蓄水减沙效果,因此防灾减灾效益得到极大提高,经济效益、水保生态效益也显著提高,综合效益显著提高到"良好"等级。这与实地调查所得结果是吻合的。2008年瑶安小流域被列入广东省小流域综合治理省级试点,2011年完工后,工程效益日益凸显。据南方日报[17]2013年8月,受台风"尤特"和"潭美"影响,连州市发生两次大洪水,该市受灾人口12.69万人;农作物受灾面积4 440.6 hm^2,倒塌房屋106间,全市因洪涝灾害造成的直接经济损失2.181 3亿元。而地处暴雨中心的瑶安乡小流域内(8月15—18日三水乡降雨量为378.1 mm,8月22日8时至24日14时三水茶坪站降雨量287 mm),在这两次特大暴雨中没有任何损失,沿岸群众、村庄和农田都安然无恙,无一人伤亡。

表5 小流域治理效益评价等级划分标准

得分区间	0～19	20～40	41～59	60～79	80～100
等 级	极差	差	中等	良好	优秀

表6 瑶安小流域治理效益评价等级划分

年份	防灾减灾效益	水保生态效益	经济效益	社会效益	综合效益
2007年	极差	中等	中等	中等	差
2013年	良好	良好	良好	良好	良好

根据表3—4和表6,各效益等级的提高,表现在其下各个指标的变化。如防灾减灾效益值2013年为69,比2007年的19增加了263%,主要体现在农田、村庄防护能力由5年一遇提高到10年一遇;堤围防护提高到20年一遇;人口防护比例从21.9%提高到42.15%;耕地防护比例由61%提高到86%。水保生态效益值2013年为68,比2007年的46增加了48%,表现在水土流失治理率由51%提高到87%;水土流失面积比例小幅减少,而林草覆盖率也有小幅提升。经济效益值2013年为76,比2007年的42增加了81%,人均年纯收入由2 800元增加到3 900元,提高1100元;人均GDP增加400元,灾害防护率由73.84%提高到98.57%。社会效益值2013年为68,比2007年的59增加了15%;主要是水利技术人口比例得到大幅提升,土地利用率和水利设施用地比例、水田比例均有一定程度增加。而各效益提高的整体表现为,综合效益值2013年为69,比2007年的31增加了122%。

在瑶安小流域综合治理效益的评价指标中,通过权重的计算(表3)可以看出,灾害防护率和人口防护比例的权重最高,对综合治理效益的贡献最大;其次是水土流失治理率、村庄防洪能力、侵蚀模数、林草覆盖率。4大效益中,防灾减灾效益和水保生态效益的权重也远远高于经济和社会效益,这充分说明瑶安小流域治理工程主要通过提高防灾减灾能力和水土流失治理来发挥综合效益,因此虽然大量定量评价主要围绕生态、经济、社会等3个效益进行评价[6-7,10],但本研究效益评价增加了防灾减灾效益,因为这与广东省小流域面临的主要是灾害问题,而综合治理的主要目标是安全与生态,瑶安的实际情况,就是广东的一个典型。在国标2008中小流域水土保持综合治理效益中也包含4部分:调水保土效益、经济效益、社会效益和生态效益,社会效益中包含减轻自然灾害(包括洪涝灾害、泥沙危害和滑坡泥石流的危害),如于泳[18],张文普[19]按国标方法计算生态经济效益,但社会效益基本只有文字表述,无法获得小流域总体效益结果,不同小流域的效益结果也无法进行比较。有学者尝试将各指标量化成经济价值,但一些无法量化的生态指标如土壤侵蚀模数和植被覆盖度就只能剔除,不能参与综合评价[12]。而模糊综合法很好地解决了不同类型指标的量化问题,指标种类更加全面,评价结果非常直观,由于采用统一的评价标准,不同小流域的评价结果还可以进行对比研究。

4 结 论

本研究针对广东省小流域的灾害特点和治理目标,将专家经验法、层次分析法和模糊综合评价法有机结合,构建包括21个指标的评价体系,涵盖了防灾减灾效益、水保生态效益、经济效益、社会效益的4个方面,能较为全面地反映广东省小流域水土保持的综合效益,具有一定的区域适宜性;选取的指标大部分可以定量且能在设计标准或统计年鉴中获取,尽可能减少需要估算的指标,避免由不同人员估算产生的随机误差。

通过对瑶安小流域进行综合治理效益的评价,可以看出,流域综合治理之后,防灾减灾能力得到了显著的改善,有效提高了居民和村庄的防护等级,减少了灾害损失,同时改善了水土流失状况,适当提高了土地资源利用率,增加了粮食产量,增加群众的经济

收入,提高了经济和社会效益,这与当地实际的抗灾实践效果相吻合。因此该效益评价方法在瑶安小流域应用良好,证明该方法是实用和可行。

本研究指标体系选择侧重广东省小流域存在的问题和特点,参考广东省小流域综合治理的规划和目标,结合该省的治理措施配置情况而做出的选择,瑶安小流域水土流失和山洪灾害问题严重,在广东具有一定的代表性,因此该方法理论上在广东省内也是适合的;后续将在广东其他小流域开展应用研究,以期得到更多的实际验证。对全国范围内以灾害防治和生态效益为主要目标的小流域综合治理效益评价也具有一定的适应性。但全国各地小流域面临的问题差异极大,治理目标各不相同,因此本文指标选取和指标值的计算能否在更多小流域使用,还需进一步验证。

致谢:本文在数据收集过程中得到清远连州市水务局成国栋、李雅博、黄文基、黄永金和瑶安乡水利所吴锦华等同仁的大力协助,谨在此致以诚挚的谢意!

[参 考 文 献]

[1] 胡建.广东省安全生态型小流域综合治理实践[J].中国水土保持,2013(8):10-12.

[2] 广东省水利厅.广东省小流域综合治理规划编制导则[Z].广东 广州:广东省水利厅,2008.

[3] 梁志鑫,赵丹丹,史明昌,等.岩溶地区小流域治理基础效益评价:以"珠治"工程广西项目区河池片区为例[J].中国水土保持,2012(3):35-38.

[4] 王琦,杨勤科.区域水土保持效益评价指标体系及评价方法研究[J].水土保持研究,2010,17(2):32-36.

[5] 李智广,李锐.小流域治理综合效益评价方法刍议[J].水土保持通报,1998,18(5):20-24.

[6] 孙昕,李德成,梁音.南方红壤区小流域水土保持综合效益定量评价方法探讨:以江西兴国县为例[J].土壤学报,2009,46(3):373-380.

[7] 曹波.基于 RS 和 GIS 的小流域综合治理效益评价:以天津蓟县西大峪与黄土梁子小流域为例[[D]].北京:北京林业大学,2011.

[8] 卜贵贤,李凯荣,周俊.陕南秦巴山区小流域水土保持治理综合效益评价[J].水土保持研究,2011,18(6):231-235.

[9] 焦金鱼,贵立德,何启明,等.基于突变级数法的半干旱黄土丘陵沟壑区小流域水土保持综合效益研究[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2011,39(1):171-178.

[10] 姚文波,刘文兆,赵安成.水土保持效益评价指标研究[J].中国水土保持科学,2009,7(1):112-117.

[11] 史海静,李锐.水土保持工程综合效益评价研究:以陕西省长江流域水土流失综合治理工程为例[J].水土保持研究,2008,15(2): 41-44.

[12] 郑晓风,唐慧中.耜河示范区闫家河小流域综合治理效益评价[J].中国水土保持,2012(2):53-55.

[13] 庞敏,史淑娟,同新奇,等.小流域综合治理生态效益估算与国民经济评[J].生态经济,2009(8):174-177.

[14] 清远市水利水电勘测设计院有限公司.清远市连州瑶安小流域综合治理(试点)可行性研究报告[R].广东 清远:清远市水利水电勘测设计院有限公司,2008.

[15] 清远市水利水电勘测设计院有限公司.瑶安报告清远市连州瑶安小流域综合治理(试点)水利应急工程初步设计报告[R]. 广东 清远:清远市水利水电勘测设计院有限公司,2008.

[16] 杜峰.黄土丘陵沟壑区小流域综合治理效益评价研究[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2012.

[17] 邱羽琪.瑶安小河流域综合治理成效显著:瑶寨免遭洪灾变身美丽乡村[N],南方日报,2015-8-12(01).

[18] 于泳,郭文慧,赵辉等.湖北省阳新县洋港河小流域水土流失综合治理措施及效益分析[J].亚热带水土保持,2014,26(01):24-27.

[19] 张文普,赵小蓉,王昌全,等.五官小流域综合治理措施及效益分析[J].水土保持通报,2010,30(1):195-198.