

贵州省水利建设、生态建设和石漠化治理的耦合性

雷薇¹, 张超², 周文龙³, 王永涛¹

(1. 贵州省水利科学研究院, 贵州 贵阳 550002; 2. 贵州飞翔环保工程有限公司,
贵州 贵阳 550002; 3. 贵州省山地资源研究所, 贵州 贵阳 550001)

摘要: [目的] 研究贵州省水利建设、生态建设、石漠化治理即“三位一体”的耦合性, 促进三者之间的工程项目整合, 以期达到效益最大化。[方法] 根据系统学理论, 将“三位”作为 3 个子系统, 建立评价指标体系, 采用主成分分析法, 运用 SPSS 软件和耦合度模型计算。[结果] 耦合系统在 3 个规划期(2006—2010 年, 2011—2015 年, 2016—2020 年)的耦合度分别为 0.68, 0.86 和 0.89, 说明在“三位一体”规划前耦合系统处于磨合期, 规划后耦合系统处于高级耦合期且具有良好共振耦合。[结论] “三位一体”规划能有效突破制约贵州省发展的瓶颈, 促进贵州地区社会经济生态的可持续发展。建议继续加强 3 者的工程项目建设。

关键词: “三位一体”; 主成分分析法; 耦合度模型

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)04-0258-05

中图分类号: F205

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.04.045

Coupling of Water Conservancy Construction, Ecological Construction, Rocky Desertification Control System in Guizhou Province

LEI Wei¹, ZHANG Chao², ZHOU Wenlong³, WANG Yongtao¹

(1. Guizhou Academy of Hydraulic Sciences, Guiyang, Guizhou 550002, China;

2. Guizhou Feixiang Environmental Protection Engineering Co. Ltd, Guiyang, Guizhou

550002, China; 3. Guizhou Institute of Mountain Resources, Guiyang, Guizhou 550001, China)

Abstract: [Objective] Study on the coupling of water conservancy construction, ecological construction, rocky desertification which are the trinity planning was carried out in Guizhou Province to promote the project integration between the three aspects, and to achieve the maximum benefit. [Methods] According to the system theory, the trinity as the three subsystem, evaluation index system was established using principal component analysis method, the SPSS software and the coupling degree model were used to calculate. [Results] The coupled system in the coupling of the three planning periods(2006—2010, 2011—2015, 2016—2020) were 0.68, 0.86, 0.89, respectively, indicating that the coupled system was in the run-in period before the trinity planning, and it had the good resonance coupling after the trinity planning. [Conclusion] The trinity planning can effectively break the bottleneck restriction of the development, and promote social, economic and ecological sustainable development in Guizhou Province. It is proposed to continue to strengthen the construction of the projects with these three aspects.

Keywords: the trinity planning; principal component analysis; coupling degree model

贵州省地处云贵高原东部, 是一个亚热带强烈喀斯特化的高原山区。特殊的自然地理条件, 造成贵州石多土少, 地形破碎, 水文结构复杂, 水土流失严重, 石漠化发生, 洪涝干旱自然灾害频发。究其原因主要是由于全球气象变化、人地矛盾突出、工程性缺水等因素所诱发。随着人们对生态与社会经济发展关联性的重视, 2011 年《贵州省水利建设生态建设石漠化

治理规划》(以下称“三位一体”规划) 出台, 规划对打破水资源、生态环境对社会经济承载力薄弱以及石漠化发生带来生存威胁的瓶颈制约有重要的意义。规划^[1]指出, 贵州省水利建设滞后、生态环境脆弱、石漠化加剧之间有着十分紧密的内在联系, 三者相互叠加, 相互影响。这 3 者是有关联的, 但核心是水, 如果没有水, 石漠化治理也无法进行, 生态环境也无法改

收稿日期: 2014-04-03

修回日期: 2014-05-27

资助项目: 水利部公益性行业专项“贵州生态脆弱区水资源安全保障的关键技术研究”(201201025); 贵州省水利厅科研项目(KT201306); 贵州省科学技术基金项目(黔科合 J 字[2012]2216 号)

第一作者: 雷薇(1982—), 女(瑶族), 贵州省贵阳市, 硕士研究生, 工程师, 主要从事喀斯特水资源环境方面的研究。E-mail: 21498135@qq.com。

变;只有从根本上解决了水的问题,生态建设、石漠化治理才有基础,水土条件、耕地质量才能得到改善。因此,研究水利建设、生态建设、石漠化治理系统之间的耦合关系、系统指标选取及贡献、系统耦合度,是“三位一体”工作开展的科学依据,对于整合3个系统工程项,避免工程重复建设,发挥“三位一体”的社会、经济、生态效益,对促进贵州地区的整体发展具有重要意义。

1 “三位一体”系统耦合

1.1 子系统脆弱性

(1) 水利建设滞后,工程性缺水突出。贵州地区年降雨量丰富,但是时空分布不均,常造成区域性或季节性洪涝干旱交替发生的现象。由于长期以来,资金投入不足,水利基础设施建设严重滞后,加上喀斯特山区地质地貌条件复杂,导致水利工程建设条件差,形成特有的喀斯特山区“工程性缺水”。至2009年,该地区中型水库仅34座,各类水利工程供水量 $9.20 \times 10^9 \text{ m}^3$,人均供水量仅 $2\,420 \text{ m}^3$,仅为全国平均水平的54%^[1]。

(2) 水土流失严重,生态环境恶化。贵州地区生态环境十分脆弱,由于地形破碎、山高坡陡,山体势能高,土壤容易被降雨冲刷流失,造成土少植被稀,森林覆盖率低的状态。森林植被不足,森林生态效应削弱,导致植被赋存水土资源能力差、生物生境条件差、区域气候调节性能差等。该地区的森林覆盖率达39%,牧草地面积 $1.60 \times 10^4 \text{ km}^2$,林草植被质量不高。该区水土流失面积 $7.30 \times 10^4 \text{ km}^2$,占国土面积的42%,年均土壤侵蚀总量达 $2.50 \times 10^8 \text{ t}$,相当于每年流失 266.67 km^2 耕地的表土层^[1]。

(3) 人地矛盾严峻,石漠化加剧。贵州石漠化发生,除了自然因素影响外,主要还是人为因素占较大的比重。由于20世纪,贵州地区经济发展与区位、资源优势错位,人口增长与环境容量失衡,资源开发利用与产业结构失谐,贫困长期失调,发展战略决策上的失误等方面原因^[2],导致人地关系矛盾的突出。在喀斯特脆弱生态环境下,人地矛盾突出,人类为了生存向自然界无休止的获取资源,特别是土地资源和水资源,自然环境遭受破坏,引发石漠化的发生。贵州地区石漠化面积 3.3 km^2 ,占国土面积的19%,居全国各省区之首,且近年来仍以每年1%左右的速度在继续扩大^[1]。

1.2 “三位一体”耦合内涵

1.2.1 “三位一体”系统耦合分析 1994年任继周^[3]通过研究生态系统耦合,提出了农业系统中,由

于追求农业生产量的扩大,不可避免的出现自由能累积现象,自由能的积累转变为势能的增长,促使不同生态系统实现结构和功能的结合,从而产生新的、较高层次的生态系统。在这种能的驱动下,新的生态系统形成超循环,这种超循环联通了两个或两个以上的生态系统,即称为生态系统的耦合。首先分析“三位一体”水利工程、生态工程、石漠化工程相互之间的作用及意义。规划中要求提高水利对经济社会发展的支撑能力,可见水利工程是民生工程,修建水利工程的目的是对区域水资源进行综合调配,提供农业生产和生态用水需求,保障城镇居民生活用水及农村人口饮水安全,切实解决贵州工程性缺水问题。规划中对生态建设,要求提高其对经济社会发展的承载力,生态建设主要是提高森林覆盖率,特别是“两江”上游生态屏障建设,减少水土流失遏制石漠化的扩展态势。而石漠化治理工程是基于石漠化地区的生态建设、水利建设、扶贫工程等集成,包括林草植被保护和建设工程、草地建设和草食畜牧业发展工程、基本农田建设工程、农村能源建设工程、异地扶贫搬迁和劳务输出。可见,水利建设是生态建设和石漠化治理的重要保障,而生态建设和石漠化治理是确保水资源开发利用持续发展的生态基础。根据耦合理论,“三位一体”系统耦合定义为,在工程项目建设中,以水资源为耦合链,采用工程技术手段,通过时空上合理布置水利、生态、石漠化工程措施,使工程系统要素之间构成因果链的过程。所产生的耦合系统功效更加强大,结构更加合理,发展更加有序。

1.2.2 “三位一体”系统耦合度 在耦合发展中水利建设、生态建设、石漠化治理不断调和,3者协同发展,但是3个子系统之间也会出现相悖,影响到耦合系统或子系统的正常结构和功能。因此需要研究3个子系统的耦合要素之间的相互作用、彼此影响的程度,即“三位一体”系统耦合度。耦合度分析主要分两个步骤:(1)选取水利建设、生态建设、石漠化治理子系统的综合评价指标,评估指标贡献程度,得出子系统的综合得分;(2)采用耦合度模型,计算各时期系统之间的耦合度,并进行评价。

1.3 耦合子系统测度指标

根据“三位一体”系统耦合的内涵,按照科学性、全面性和可操作性等一般原则,借鉴相关文献资料研究成果^[4-7],结合“三位一体”规划中水利建设、生态建设和石漠化治理的建设目标和工程内容,选取系统耦合指标为3个子系统22项指标,各指标的数据详见表1,反映系统耦合协调发展水平。

表 1 贵州省水利建设、生态建设、石漠化治理的综合评价指标^[1,8-10]

系统	指标名称	指标解释	规划时期			指标载荷
			2006—2010年	2011—2015年	2016—2020年	
水利建设子系统	X_1 水利投入/亿元	水利建设的总投资金额	233.560	958.890	954.000	0.670
	X_2 新增总库容/ 10^8 m^3	新增水库工程规模容积	4.500	47.000	10.000	0.220
	X_3 新增兴利库容/ 10^8 m^3	新增水库正常蓄水位至死水位之间的水库容积	2.800	32.000	7.000	0.230
	X_4 修建水利工程/万处	修建水利工程的数量	15.000	31.000	87.000	0.620
	X_5 水利工程年供水量/ 10^8 m^3	水利工程年可供水量均值	92.00	127.10	159.40	0.700
	X_6 人均供水量/ 10^8 m^3	水利工程可提供人均水量	0.024	0.032	0.039	0.700
	X_7 有效灌溉面积/ 10^4 km^2	具备灌溉工程配套设施,保持正常灌溉的耕地面积	1.195	1.713	2.533	0.680
	X_8 农田灌溉水利用系数/%	一次灌水期间被农作物利用的净水量与水源渠首处总引水量的比值	0.500	0.600	0.700	0.700
	X_9 农村安全饮水人口/万人	解决农村安全饮水问题的人数	1060.000	2359.800	3659.800	0.700
	X_{10} 坡耕地综合治理/ 10^4 km^2	为控制坡耕地水土流失,以保土、蓄水、节水措施为主的治理面积	0.017	0.167	0.100	0.500
生态建设子系统	Y_1 生态建设总投资/亿元	生态建设投资总金额	194.540	220.000	265.000	0.990
	Y_2 森林覆盖率/%	森林面积占土地面积比例	40.520	45.000	50.000	0.990
	Y_3 活立木总蓄积量/ 10^4 m^3	活立木总蓄积量	3.330	3.800	4.500	0.990
	Y_4 水土流失治理面积/ 10^4 km^2	水土流失治理面积总和	2.813	3.813	5.313	0.990
	Y_5 农村人均年收入/万元	农村人均年现金收入	0.444	0.688	0.908	0.990
	Y_6 农村支出恩格尔系数/%	农村居民家庭食品支出总额占个人消费支出总额的比重	47.700	43.800	39.200	0.990
石漠化治理子系统	Z_1 石漠化治理投资/亿元	石漠化治理投资金额	13.493	169.960	253.000	0.560
	Z_2 石漠化治理面积/ 10^4 km^2	石漠化治理面积	0.138	1.600	0.600	0.400
	Z_3 人工造林/ 10^4 km^2	人工造林工程面积	0.045	0.061	0.011	0.160
	Z_4 封山育林/ 10^4 km^2	封山育林工程面积	0.066	0.043	0.011	0.490
	Z_5 治理退化草地/ 10^4 km^2	治理退化草地面积	0.155	0.203	0.205	0.580
	Z_6 坡改梯/ 10^4 km^2	坡改梯工程面积	0.002	0.037	0.005	0.290

2 系统综合评价

评价方式采用对水利建设、生态建设、石漠化治理 3 个子系统,基于工程目标和工程内容选取指标(表 1),通过主成分分析法计算贡献程度,得到 3 个规划时期的综合评分。再运用耦合度计算模型,计算 3 个规划时期内系统的耦合度,以此判别 3 者之间的耦合状态。

2.1 主成分分析法

主成分分析是研究如何通过少数几个由原始变量构成的主要分量来描述或解释多变量的方差—协方差结构特征。具有 3 个特点:即降维处理,统计简化和数据解释^[11]。

2.2 耦合度计算模型

根据耦合度理论,得出水利建设、生态建设、石漠化治理三者之间的耦合度计算模型:

$$D = \sqrt{CT} \quad (1)$$

$$C = 3 \left[\frac{XYZ}{(X+Y+Z)^3} \right]^{\frac{1}{3}}, T = \alpha X + \beta Y + \gamma Z$$

式中: C ——协调度,反映水利建设、生态建设和石漠化 3 个子系统演进的同步程度,三者之间的差距越小越好; T ——综合发展水平评价指数,反映这 3 个子系统的整体效益或水平,其值越大越好; D ——耦合度,协调度 C 与综合发展水平 T 的几何平均值^[12]。 X ——水利建设评价结果; Y ——生态建设评价结果; Z ——石漠化治理评价结果,均为 $[0, 1]$ 的标准化指数; α, β, γ ——特定权数,分别定为 $1/3$,即 3 个子系统具有相同的重要性。耦合度值 $D \in [0, 1]$,当 $D = 1$ 时,耦合度最大,系统间相互作用、相互影响的程度最大,系统之间达到良性共振耦合,利于系统有序发展;当 $D = 0$ 时,耦合度极小,系统间不存在相互作用和相互影响,系统之间处于无关状态,系统趋向无序发展。

2.3 评价结果

采用 SPSS 软件进行主成分分析计算^[13],首先将各子系统的多指标进行降维处理并得出各指标相对于新指标的载荷(表 1),最后计算出 3 个规划时期水利建设、生态建设、石漠化治理的综合得分,再运用耦合度模型计算 3 个子系统耦合协调度(表 2)。

表2 研究区3个子系统综合得分及耦合协调度

时期	综合评价得分			3个子系统耦合协调度
	水利建设	生态建设	石漠化治理	
2006—2010年	0.50	0.70	0.30	0.68
2011—2015年	0.80	0.74	0.71	0.86
2016—2020年	0.82	0.80	0.75	0.89

2.3.1 指标载荷分析 从表1中看出,指标载荷大于0.5的指标,对各子系统都有较大的贡献。在水利建设系统中贡献大小顺序为:水利工程的供水能力>工程投资和建设规模>水土保持治理能力;生态保持系统中各指标涉及生态工程的规模和效益,因此贡献都较大;石漠化治理的贡献体现在投资额和工程量方面,在石漠化治理工程中,工程面积大且效益大,指标的贡献也就大,一般在石漠化治理的项目贡献顺序为:封山育林面积>人工造林面积>草地改良面积>坡改梯的面积。

2.3.2 耦合结果分析 根据耦合度 D 值的大小,划分耦合过程为初步耦合期、磨合期以及高度耦合期:初步耦合期($0 \leq D < 0.45$),这一时期水利建设、生态建设、石漠化治理工程项目相互联系不明显,工程整合低,原因为生态环境保护与修复思想和项目建设刚刚起步,水利建设只有少数农田水利涉及生态范围,而生态建设与石漠化治理投资少、项目少;磨合期($0.45 \leq D < 0.7$),这一时期水利建设、生态建设、石漠化治理工程项目相互联系开始显著,工程整合较高,因为生态建设开始重视水资源的作用,并将水利建设作为生态可持续发展的支持项目;高度耦合期($0.7 \leq D < 1$),随着生态工程的进程,水利建设、生态建设、石漠化治理工程项目的整合模式较成熟,且效益逐步显著,三者之间达到良好耦合状态,形成有序发展的耦合系统。通过表2得出的计算结果分析,“十一五”期间3者耦合度为0.68,说明系统耦合处于磨合期,3个子系统之间随着工程项目的增加,逐步探索最优的配置协调方式。由于“十一五”期间贵州地区发生干旱等特大自然灾害,引发工程性缺水问题,同时,灾害也给生态环境的承载力拉了警钟,在灾害面前人们抵抗能力还是较为薄弱。在此期间,贵州地区全面实施生态立省战略,加强工程项目的投资建设,构筑“两江上游重要生态屏障”,水利基础设施保障能力全面提升,石漠化治理完成55个试点县第一批治理工作。“十二五”期间也是“三位一体”规划的近期目标期,系统耦合度为0.86,且远期目标期耦合度为0.89,说明整个“三位一体”规划期耦合处于高度磨合期。2011年《贵州省水利建设生态建设石漠化治理综合规划》实施以来,进一步加大水利建设、生态建设、石漠化治

理的资金投入和项目规模,逐渐形成子系统之间工程整合的示范模式^[14],在未来的规划实施过程中,将对高效的技术模式进行推广应用,扩展耦合系统的良性循环,有效打破制约贵州地区经济社会发展的瓶颈起到决定性的作用。

3 建议与措施

根据指标贡献和系统耦合结果分析,建议3个子系统及耦合系统应在投资资金、工程规模和数量、技术模式和管理体制等方面进一步发展。

(1) 多渠道引进投资资金,落实资金到位。投资资金对系统的贡献和影响较大,充足的资金才能保障工程的正常建设和运行。现阶段水利建设、生态建设、石漠化治理主要依靠中央和地方财政投资,由于投资范围广,财政能力不足等原因,导致许多工程建设没有形成集中连片,不能产生显著的效益。因此,建议多渠道引进投资资金,将工程项目与市场挂钩,明确工程使用产权,鼓励企业承包工程建设和运行,鼓励农民组织协会自行管理维护工程措施等,例如水利建设要求明确水权,水价改革,农民用水户协会进行水价征收和工程管护;生态保护要求林业产权明晰,产业结构转变;石漠化工程的“政府+企业+农户”经营管理模式等。

(2) 严格三条红线的水资源管理要求,发挥水的耦合键作用。水利工程的供水能力和农田灌溉水利用系数指标对水利建设系统的贡献较大,同时指标也是水资源三条控制红线的要求范围。因此发挥水的耦合键作用,按照水资源配置、节约和保护原则,以工程建设的形式保障生态需水量,加大骨干水源工程建设、大中小微并举、开源节流并重,合理规划水源工程、灌区续改建工程、农村饮水安全工程、坡耕地综合治理工程和“五小”水利工程,切实解决工程性缺水问题,提高水利工程对经济社会和生态环境的承载力。

(3) 增加工程规模和数量,优化配置整合工程。水利工程规模和数量直接影响水资源开发利用能力、水资源承载能力、生态建设需水供应能力、节水能力等。生态工程规模和数量影响森林覆盖率提升、水土流失量下降、环境污染程度减轻、生态环境质量提升等。石漠化工程规模和数量关系到石漠化速度的减缓、石漠化面积的缩小、石漠化等级的下降等。优化配置整合工程,是在建设区域内,通过三方资金整合,水利、生态、石漠化工程优化配置,使系统耦合,减少重复投资和建设带来的弊端,突显经济、社会、生态效益,达到区域可持续发展目的。

(4) 创新项目科技示范,探索新型技术模式。“三

位一体”耦合系统涉及水利、林学、农学、自然地理学和生态学等多学科的理论知识,需要各学科的科研力量的联合攻关,分工合作,发挥各学科优势。例如石漠化示范区建设,开展科技产学研集一体的项目,形成研究技术体系、应用体系与效益动态监测评价体系,使示范区资源得到合理利用和配置,生态环境得到明显改善实现区域社会经济与生态环境和谐可持续发展^[14]。因此,科技示范是将系统耦合进行实际应用,探索耦合机制和方式的主要途径。建设“三位一体”科技示范,总结水利建设、生态建设、石漠化治理的经验,集成工程技术模式,探索新型技术模式加以推广应用,进一步优化耦合系统,发挥显著效益。

(5) 完善法律法规,建立管理体系。完善水利、生态、石漠化方面的相关法律法规,明确水权、林权等自然资源的产权,深化水资源管理体制,建立水权分配体系、用水定额标准、水价征收制度;深化林权管理制度改革,完成确权面积勘界,健全森林生态效益补偿机制,限定森林采伐额度,简化采伐审批程序;健全石漠化地区生态补偿机制,研制石漠化治理工程规划设计标准、监测指标标准、效益评价标准等。法律法规的完善及管理体制的健全,使“三位一体”规划实施,有法可依,有章可循,协调有序地推动贵州生态环境保护事业的发展。

4 结论

通过对贵州水利建设、生态建设、石漠化治理的耦合性研究,依据“十一五”、“十二五”、“三位一体”三个时期目标和工程内容的规划数据,采用主成分分析法综合评价 3 个子系统的综合得分,运用耦合度计算模型,得出三个规划时期的耦合度分别为 0.68, 0.86, 0.89, 说明“三位一体”规划前耦合系统处于磨合期,规划后耦合系统处于高度耦合期,系统发展协调有序,“三位一体”规划有效解决工程性缺水、生态脆弱性、石漠化速度缓解的问题,突破制约贵州发展的瓶颈,提高水资源和生态环境的承载力,促进贵州地区工业化、城镇化和农业现代的可持续发展。

根据指标贡献和影响因素,建议 3 个子系统及耦合系统应在投资资金、工程规模和数量、技术模式及管理体制等方面加强整合促进发展。要明确 3 个子系统具体的耦合关系,还需在今后开展 3 个子系统耦

合关系与结构方程模型的研究,进一步透视系统之间的耦合强度和耦合机制,将此运用于水资源开发利用、优化配置、承载力等方面,提高水资源的社会、经济、生态效益,达到推进贵州地区社会经济发 展的目的。

[参 考 文 献]

- [1] 国家发展改革委. 贵州省水利建设生态建设石漠化治理综合规划[EB/OL]. (2010-01-02)[2011-07-04]. http://www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201107/t20110708_422097.html,
- [2] 高贵龙,邓自民,熊康宁,等. 喀斯特的呼唤与希望:贵州喀斯特生态环境建设与可持续发展[M]. 贵州 贵阳:贵州科技出版社,2003:71-72.
- [3] 任继周,万长贵. 系统耦合与荒漠—绿洲草地农业系统:以祁连山临泽剖面为例[J]. 草业学报,1994,3(3):1-8.
- [4] 黄剑坚,王保前. 我国系统耦合理论和耦合系统在生态系统中的研究进展[J]. 防护林科技,2012(5):57-61.
- [5] 李波,杨明. 贵州生态建设评价指标体系研究[J]. 贵州大学学报,2007,25(6):39-45.
- [6] 赵志轩. 白洋淀湿地生态水文过程耦合作用机制及综合调控研究[D]. 天津:天津大学,2012.
- [7] 熊康宁. 喀斯特石漠化的遥感—GIS 典型研究:以贵州省为例[M]. 北京:地质出版社,2002:89-114.
- [8] 贵州省水利厅. 贵州省“十一五”水土保持工作总结[EB/OL]. (2010-02-03)[2011-04-02]. http://www.cjw.com.cn/xwzx/zjj/2011nian/2011stbchy/jlcl/201104/t20110402_90071.shtml.
- [9] 贵州省发展改革委. 贵州省“十二五”水利发展专项规划[EB/OL]. (2010-06-05)[2013-02-02]. <http://www.gzgov.gov.cn/xxgk/jbxxgk/ghjh/zxgh/143969.shtml>.
- [10] 贵州省统计局. 贵州统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2012:55-73.
- [11] 陈彦光. 地理数学方法:基础和应用[M]. 北京:科学出版社,2010:12-16.
- [12] 史进,黄志基,贺灿飞. 城市群经济空间、资源环境与国土利用耦合关系研究[J]. 城市发展研究,2013(7):26-34.
- [13] 郭琼. 基于 SPSS 软件的主成分分析方法探析:榆次区土地生态系统健康评价[J]. 山西农业大学学报:自然科学版,2012,32(1):58-62.
- [14] 熊康宁,陈永毕,陈浒,等. 点石成金:贵州石漠化治理技术与模式[M]. 贵州 贵阳:贵州科技出版社,2011:42-57.