

水环境治理绩效评价指标构建与应用研究

——以成都市为例

余玉冰, 朱 靖

(成都理工大学商学院, 成都 610059)

摘要: 为探究城市水环境治理政策效果, 基于水环境主题框架模型, 从环境、社会、经济和管理4个层面构建水环境治理绩效评价指标体系。以目标渐进法、熵权法、雷达图法等为测度方法, 测算2007~2016年成都市的水环境治理绩效指数。并利用Stata 11.0软件对成都市的水环境绩效与当地经济进行相关性分析及评价方法的主成分因子检验。研究显示:(1)成都市水环境绩效指数整体呈不断上升的趋势, 验证了成都市水环境治理政策发挥出有效作用;(2)相关性检验证明, 水环境绩效指数与经济水平呈显著正相关, 突出水环境治理与经济发展相辅相成;(3)重视经济绩效和水生态环境保护的同时, 也要提高社会绩效和健全管理机制, 为经济可持续发展和城市生态文明建设提供质量保障。

关键词: 水环境治理绩效; 指标体系; 熵权法; 成都市

中图分类号:X821

文献标识码:A

文章编号:1001-3644(2019)02-0090-11

Research on Construction and Application of Environmental Performance Evaluation Indicators for Water Environment Governance: A Case Study of Chengdu

YU Yu-bing, ZHU Jing

(Business School, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: To research the effect of urban water environmental governance policy, based on the water environmental theme framework model, the water environmental governance performance evaluation index system was constructed from four aspects of environment, society, economy and management. The performance index of water environmental of Chengdu was estimated from 2007 to 2016 by the measurement methods of target asymptotic method, entropy weight method, radar chart method, etc. And the superiority and inferiority of performance was comparatively analyzed. The Stata11.0 was used to conduct correlation analysis between the water environmental performance of Chengdu and local economy, and the principal component factor test of the evaluation method was performed. The research shows that:(1) water environmental performance Index in Chengdu was increased in general, which proves that water environmental governance policy played an effective role;(2) correlation test shows that there is a significant positive correlation between water environment performance index and economic level, highlighting that water environment governance and economic development complement each other;(3) while paying attention to economic performance and water ecological environment protection, we should also improve social performance and management mechanisms to provide quality assurance for sustainable economic development and urban ecological civilization construction.

Keywords: Water environmental governance performance; index system; entropy weight method; Chengdu

1 前 言

水环境治理一直是国家政府和公众十分关心的

问题, 不仅与社会经济的可持续发展息息相关, 还和人们赖以生存的生态环境紧密联系。随着城市水

收稿日期:2018-12-03

基金项目:成都市哲学社科规划项目(2018Z35);成都理工大学“哲学社会科学研究基金”一般项目(20YJ2017-NS012);地方本科高校创新创业教育研究基地重点项目(201810616042);四川省社科规划“统计发展专项课题”一般项目(SC18TJ009)。

作者简介:余玉冰(1991-),女,安徽歙县人,成都理工大学商学院2017级应用经济学专业在读研究生,主要从事环境资源经济方向研究。

污染严重、水生态破坏和水资源紧缺等问题的日益突出，政府积极采取相应措施对水环境实施治理。为了能明确掌握政策落实的情况和发挥的作用，通过对水环境治理绩效评估研究，有助于了解水环境治理状况，及时反馈环保治理实践中存在的优点和不足，为政府对水环境治理的政策制定及改进提供有价值的建议。

关于环境治理绩效研究，Khandakar 定义为通过政府部门的决策治理环境问题，并带来了社会效益，使得经济、社会和环境实现可持续发展。它可以引导政治与社会经济关系的过程和结构，也可以理解为对治理绩效的理想状态的统计测度^[1]。国内外学者对水环境治理绩效评价的研究主要集中在水环境绩效评价指标体系、评价方法和水环境绩效评价体系的实际应用等方面。从指标体系来看主要有 Pires^[2]、王亚华等^[3]从环境、经济和社会三个维度构建了水环境管理、水资源可持续利用绩效评估体系；张丛林等从涉水空间开发和保护，水资源节约和补偿，水环境、水生态管理和市场保护，绩效评价考核和责任追究四个方面对相关政策进行归类，梳理出水环境政策体系的框架^[4]；吴丹设计了水资源、水环境、水生态和水灾害四个维度流域水利发展评价指标体系，研究淮河流域水资源开发水平^[5]。从评价方法来看，最常见的是 OECD 建立的压力 - 状态 - 响应框架（Pressure - State - Response, PSR）模型^[6-8]和欧洲环境署（EEA）基于该模型开发的驱动力 - 压力 - 状态 - 影响 - 响应（Driving forces - Pressure - State - Impact - Response DPSIR）模型^[9-11]，DPSIR 模型用于探索水资源系统与社会经济系统之间的关系，同时它也提供了一种有组织的方法来分析水系统变化的原因、后果和影响。此外，还有人工神经网络法^[12]、生命周期评估和水足迹方法^[13-14]、离散灰色模型法^[15]、模糊层次分析法和熵权法等^[16-17]。从水环境绩效评价体系的实际应用来看，冉欣等以吉林省招苏台河流域为例，构建指标评价体系，研究招苏台河流域的水环境管理绩效^[18]；郭衍玮构建了基于 PSR 模型水环境绩效评价体系，应用于评估洱海水污染治理项目的绩效^[19]；阮晨等从水资源承载力及水环境容量方面来预测成都市总体规划中水环境的影响^[20]。

现有的国内外相关文献中，目前对水环境治理绩效的评价体系主要存在以下几方面的不足：第一，学者们对水环境治理绩效的研究主要侧重于某

流域或某河流的水污染治理绩效的评价，而对城市水环境治理方面的实例研究较少；第二，构建的水环境绩效评估指标不够全面，大多是围绕社会、经济和环境三个层面构建评价指标，只是反映社会、经济与环境三者的关系，而没有将管理机制和公众参与等要素纳入评价体系中，也未反映环境治理对人、人与经济、社会、环境的影响，对水环境治理绩效的评价具有片面性；第三，关于对水环境绩效评价所使用的测度方法带有主观性的因素，例如，指标权重的确定使用德菲尔法、层次分析法及均权法，不能客观地反映事实，会影响最终的水环境绩效指数，所以对水环境治理绩效的统计测度方法也需要进一步的研究。

鉴于此，本研究在坚持绿色可持续发展理论、秉持生态文明的理念基础上，从环境、社会、经济和管理四个维度构建水环境治理绩效评价指标体系；并采用目标渐进法、熵权法、加权法、相关性分析法，作为水环境治理绩效的评估方法。并以成都市为研究区域，对 2007 ~ 2016 年期间的水环境治理水平进行定量的动态分析，为今后保护水资源、防治水污染、水环境管理等方面提供参考。另外在大数据时代背景下，随着技术的发展，探索研究一种更完善科学的统计测度方法，为政策的实施和反馈带来便利。

2 研究区域概况

成都位于四川盆地西部，青藏高原东缘，地貌类型以平原和平台为主，但也有少数山地和丘陵。成都市地处亚热带季风气候地区，年均降水量在 643.3 ~ 1 256.2mm，区域内河流众多，且隶属于长江流域的岷江和沱江两大水系，因此水资源总量充沛。近几年成都市经济迅猛发展，2016 年末，成都市拥有 14 335km² 土地面积，常住人口达到 1 591.76 万，城镇化率为 70.62%，GDP 已超过 1.2 万亿元，现已是全国新一线城市。但在经济发展的同时，也伴随着水环境问题的发生。由于人口密集，人均水资源量较少；工业、农业和服务业的发展，导致用水量增加，废水污染物排放强度加大，虽然河流 I ~ III 类水质达标率占 70.5%，但岷、沱江水系的部分支流水质已经遭受轻、中度污染，以总磷超标为主^[21]。因此，构建成都市水环境治理绩效评价体系，不仅是对城市水资源、水污染和水生态治理成效的有利考察，也为水生态文明城市和节水型社会建设提供质量保证。

3 评价体系与研究方法

3.1 水环境治理绩效评价体系

3.1.1 评价指标体系的模型

在借鉴相关研究成果和结合本研究需要, 决定构建多指标主题框架评价体系模型。主题框架模型, 是依据环境主题或者政策偏向来选取相应指标, 它的优势是能突出研究的核心问题和关注的重点, 避免指标重复性及指标缺乏意义^[22]。该逻辑框架模型被广泛用于评估环境质量, 2006年 Esty 利用主题框架模型建立使用全球各个国家环境绩效指标体系^[23]。所以以水环境为主题, 从水生态环境、社会发展、经济建设和管理机制四个方面进行水环境治理绩效评价指标体系的构建, 积极反映某区域的水环境管理问题和环境政策实施的有效性。

3.1.2 评价体系指标内涵

成都市水环境治理绩效评价是指城市水环境治理在环境绩效、社会绩效、经济绩效和管理绩效方

面的表现。各指标(见表1)的主要内涵和依据为。

3.1.2.1 生态环境绩效指标。水环境治理的生态环境绩效指标主要强调生态治理、水质污染防治两个层面。即修复河道两岸绿化带、建设城市绿化提高建成区绿化覆盖率和森林植被覆盖率, 使起到防止水土流失、涵养水源和河流净化水质的作用, 逐步达到改善生态环境的效果。此外, 水质的优劣直接关系到城市居民的用水安全, 因此, 选取化学需氧量(COD)和氨氮及城市集中式饮用水源地、主要河流、湖库监测断面(I~III类)水质的达标率来衡量河流、湖库的综合水质状况。

3.1.2.2 社会绩效指标。水环境治理的社会绩效指标主要强调社会经济和社会环境两个层面。即通过水环境的治理, 整顿污染严重的企业, 调整产业结构, 实现优化升级, 带动当地社会经济实现持续协调发展, 促进人均GDP、城镇居民人均可支

表1 成都市水环境治理绩效评价指标体系

Tab. 1 Evaluation index system of water environmental governance performance of Chengdu City

一级指标	二级指标	三级指标	单位
环境绩效指标	生态治理	建成区绿化覆盖率	%
		森林覆盖率	%
	水质污染防治	城市集中式饮用水源地水质达标率	%
		湖库监测断面水质达标率	%
		地表水监测断面水质达标率	%
		COD 的浓度值	mg/L
		氨氮的浓度值	mg/L
社会绩效指标	社会经济	恩格尔系数	%
		城镇居民人均可支配收入增长率	%
		人均 GDP	元/人
	社会环境	城镇化率	%
		年末常住人口增长率	%
		人口密度	人/km ²
经济绩效指标	水资源利用率	工业万元增加值用水量	m ³ /万元
		工业用水重复利用率	%
		农业每亩灌溉用水量	m ³ /亩
		节水灌溉率	%
	水环境利用率	单位 GDP 用水量	m ³ /万元
		工业和生活水源的 COD 排放总量削减率	%
		工业和生活水源的氨氮排放总量削减率	%
		城市污水处理率	%
管理绩效指标	水环境监测	地表水水质监测断面数	个
		城市集中式饮用水源地监测断面数	个
	环境信访	环境信访增加率	%
		环境信访投诉办结率	%

配收入的增长并提高社会福利水平。另一方面，能够改善区域可供人生存的环境、资源条件，进而改变区域的人口承载力，人们会根据生存条件自然的迁移，影响着城镇化水平。

3.1.2.3 经济绩效指标。水环境治理的经济绩效指标主要强调水资源利用率和水环境利用率两个层面。即通过提高工业用水重复利用率和农业节水灌溉效率，减少单位 GDP 的用水量，实现水资源的循环利用，保障经济发展的基本物质资源基础，同时达到节约用水成本，提高经济效益的效果。另外加强对城市污水的处理，降低主要水污染物的排放量，水环境改善，实现环境效益的增长。

3.1.2.4 管理绩效指标。水环境治理的管理绩效指标主要强调水环境监测和环境信访两个层面。即通过相关环保监测机构部门实施对水环境监测，获取河流水质信息，来反映水环境监测管理的有效性和信息的准确性；此外，环境信访一是可以反映群众对城市环境问题的关注度，体现群众对环境管理的监督，另外一方面环境信访投诉办结率反映环境管理的法律法规的完善性。

3.2 评价体系的测度方法

3.2.1 指标数据标准化

水环境治理绩效评价体涵盖多个指标，并且各指标代表的含义都不相同，指标值的计算方法和计量单位也不一样，为达到指标之间有统一的比较标准，应对每个指标的数据采用折线型无量纲方法的目标渐进法进行标准化处理^[24]，把每一项指标原始数据转换为 0~100 之间的指标指数。根据指标的属性，可将指标区分为效益型指标和成本型指标。

效益型指标：(越大越优)

$$x_{ij} = \begin{cases} 100, & a_{ij} \geq a_{\text{目标}} \\ \frac{a_{ij} - a_{\text{min}}}{a_{\text{目标}} - a_{\text{min}}} \times 100, & a_{ij} < a_{\text{目标}} \end{cases} \quad (1)$$

成本型指标：(越小越优)

$$x_{ij} = \begin{cases} 100, & a_{ij} \leq a_{\text{目标}} \\ \frac{a_{ij} - a_{\text{max}}}{a_{\text{目标}} - a_{\text{max}}} \times 100, & a_{ij} \geq a_{\text{目标}} \end{cases} \quad (2)$$

式中， a_{ij} 为指标的数值， a_{max} 和 a_{min} 分别为指标的最大值和最小值， $a_{\text{目标}}$ 为指标目标值， x_{ij} 为指标的目标绩效。

3.2.2 指标权重的确定

确定水环境绩效评价体系的指标权重在评估工作中是非常重要的步骤，指标赋权是否合理直接影响到水环境绩效评估的准确性和可靠性。因此，采用熵权法来确定指标权重，熵权法是利用熵的概念确定指标权重的方法，是由 SHANNON 将熵的概念引入信息论中，通过度量数据的有效信息量来确定权重。

具体步骤如下所示。

首先是对指标数据进行标准化处理，通过上述使用目标渐进法处理得到标准化数据矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times n}$ ，其中， $0 \leq r_{ij} \leq 1$ 。

然后计算第 j 项指标下，第 i 个评价对象的特征比重 p_{ij} 和熵值 E_j 。

$$p_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}} \quad (3)$$

$$E_j = -(\ln m)^{-1} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln(p_{ij}), \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (4)$$

E_j ：第 j 个指标的熵值， m ：被评价对象个数， n ：评价指标的个数。

最后利用 E_j 计算各指标权重 (W_j) 公式为

$$W_j = \frac{1 - E_j}{n - \sum_{j=1}^n E_j}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (5)$$

式中， W_j 为第 i 个评价对象的第 j 项指标的权重。

3.2.3 水环境绩效指数计算

通过用加权法计算出水环境绩效指数 (WEPI)，指数越高，代表水环境治理绩效越高，反之表示水环境治理绩效较差。具体公式如下：

$$WEPI = \sum_{j=1}^n W_j x_{ij} \quad (6)$$

其中， W_j 为第 j 个指标的权重， x_{ij} 为第 j 个指标的目标绩效。

3.3 数据来源

研究数据来源于 2008~2017 的《成都统计年鉴》《成都年鉴》《成都市水资源公报》《成都市环境质量公报》《成都市环境统计公报》。指标目标值设定的依据主要来自成都市“十二五”、“十三五”规划纲要、生态文明建设标准、国家节水型社会建设目标值，某些指标采用理想状态值和经验目标值即样本数据的均值，具体见表 2 所示。

表2 成都市水环境治理绩效指标体系的目标值

Tab. 2 Target values of water environmental governance performance indicators system of Chengdu City

三级指标	指标属性	目标值	目标值制定依据
建成区绿化覆盖率	正	45%	成都市林业发展“十三五”规划
森林覆盖率	正	40%	成都市林业发展“十三五”规划
城市集中式饮用水源地水质达标率	正	100%	成都市生态文明建设“十三五”规划
湖库监测断面水质达标率	正	100%	理想状态
地表水监测断面水质达标率	正	70%以上	成都市生态文明建设“十三五”规划
COD的浓度值	负	Ⅲ类以上	地表水评价标准(GB3838-2002)
氨氮的浓度值	负	Ⅲ类以上	地表水评价标准(GB3838-2002)
城镇居民人均可支配收入增长率	正	11.1%	成都市“十三五”规划纲要
恩格尔系数	负	30%	发达国家水平
人均GDP	正	10 000美元/人	成都市“十二五”规划纲要
城镇化率	正	77%	成都市“十三五”规划纲要
年末常住人口增长率	正	2.45%	样本数据均值
人口密度	负	1 151人/km ²	成都市“十三五”规划纲要
工业万元增加值用水量	负	31 m ³ /万元	成都市生态文明建设2025规划
工业用水重复利用率	正	83%	国家节水型城市建设标准
农业均亩灌溉用水量	负	380m ³ /亩	2016年全国平均水平
节水灌溉面积比率	正	65%	节水型社会建设标准
单位GDP用水量	负	40 m ³ /万元	成都市“十三五”规划
工业和生活源的COD排放总量削减率	正	5.11%	成都市“十二五”总量减排目标
工业和生活源的氨氮排放总量削减率	正	6.98%	成都市“十二五”总量减排目标
城市污水处理率	正	93.3%	成都市生态文明建设2025规划
地表水水质监测断面数	正	83个	样本数据均值
城市集中式饮用水源地监测断面数	正	20个	样本数据均值
环境信访增加率	负	10%	样本数据均值
环境信访投诉办结率	正	100%	理想状态

4 结论与讨论

4.1 成都市2007~2016年水环境绩效评估

基于水环境主题框架模型,以成都市为研究区域开展2007~2016年水环境治理绩效动态评估实证研究。并采用上述水环境绩效评价体系的测度方法,对成都在水环境状况进行定性和定量、静态和动态的综合性系统分析,一方面为政府部门提供水环境治理管理政策提供参考依据,另一方面能够提高公众对城市的环境生态保护意识,并积极参与水环境管理监督,努力构建人与自然和谐发展的现代化先进文明城市。

4.2 水环境绩效评价体系的指标权重

成都市水环境绩效评价体系指标权重的确定方法是熵权法,并借助EXCLE工具运算得到,各指标具体权重系数如表3所示。

如表3所示,4个一级指标按照权重系数大小依次为环境绩效、经济绩效、社会绩效和管理绩效。环境绩效所占的比重最大,是影响水环境绩效的关键指标;而管理绩效指标权重系数最小,说明指标变异程度小,也反映出水环境治理侧重环境和经济方面,而忽略了对管理机制的改革和完善;从各二级指标权重系数来看,其中水质污染防治、水资源利用率、社会环境、水环境监测和社会经济这五个指标的权重都在0.1以上;生态治理和水环境利用率权重系数在0.08以上,而环境信访权重系数最小。由此可见,在城市水环境治理中一直将水污染防治当作首要任务,但在改善水环境的同时还要提高水资源利用效率,加强水环境信息化监测,和制定严格的制度保障和维护城市水资源安全。

表 3 成都市水环境治理绩效评价指标权重

Tab. 3 Index weights of water environmental governance performance of Chengdu City

一级指标	二级指标	三级指标	权重	
环境绩效指标 0.330 3	生态治理 0.088 3	建成区绿化覆盖率	0.024 2	
		森林覆盖率	0.064 1	
	水质污染防治 0.242 0	城市集中式饮用水源地水质达标率	湖库监测断面水质达标率	0.031 5
			地表水监测断面水质达标率	0.120 0
			COD 的浓度值	0.023 0
		氨氮的浓度值	COD 的浓度值	0.021 0
			氨氮的浓度值	0.046 5
			恩格尔系数	0.020 0
	社会绩效指标 0.248 3	社会经济 0.117 2	城镇居民人均可支配收入增长率	0.063 1
			人均 GDP	0.034 1
城镇化率			0.037 1	
年末常住人口增长率			0.051 9	
社会环境 0.131 1		人口密度	0.042 1	
		工业万元增加值用水量	0.033 6	
		工业用水重复利用率	0.038 5	
		农业灌溉单位面积用水量	0.029 1	
经济绩效指标 0.259 0	水资源利用率 0.171 5	节水灌溉率	0.026 9	
		单位 GDP 用水量	0.043 4	
		水环境利用率 0.087 5	工业和生活源的 COD 排放总量削减率	0.036 7
		工业和生活源的氨氮排放总量削减率	0.019 8	
	水环境利用效率 0.087 5	城市污水处理率	城市污水处理率	0.031 0
			地表水水质监测断面数	0.020 5
			城市集中式饮用水源地监测断面数	0.103 1
		环境信访 0.038 8	环境信访增加率	0.023 1
			环境信访投诉办结率	0.015 7
管理绩效指标 0.162 4	水环境监测 0.123 6			

4.3 水环境绩效指数计算

水环境绩效指数计算采用线性加权法，将三级指标权重与其对应的目标绩效指数相乘并逐个相加得出成都市 2007 ~ 2016 年十年间的水环境治理绩效综合指数及单项绩效指标指数，还核算了 WEPI 的同比增长率，反映历年水环境绩效水平的动态变化，结果见表 4。此外，还对 4 个一级绩效指标指数分成 2007 ~ 2011 年和 2012 ~ 2016 年两个时期阶段并采用雷达图法对其的相对优劣势进行可视化处理（图 1）。

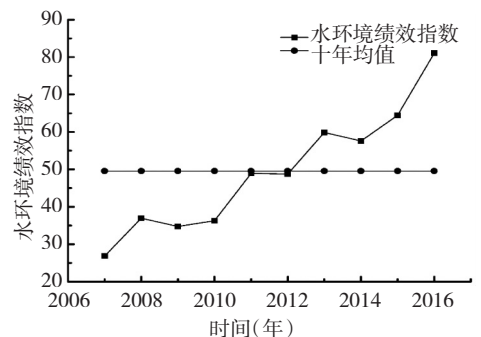


图 1 2007 ~ 2016 年成都市水环境绩效指数

Fig. 1 Water environmental performance index of Chengdu from 2007 ~ 2016

表4 成都市2007~2016年水环境治理绩效评估结果

Tab. 4 Results of water environment management performance evaluation in Chengdu from 2007 to 2016

年份	环境绩效	社会绩效	经济绩效	管理绩效	WEPI	同比增长 (%)	排序
2007	6.31	6.77	8.52	5.25	26.85	/	10
2008	10.17	9.06	11.78	5.93	36.94	37.62	7
2009	11.02	9.42	8.81	5.52	34.77	-5.87	9
2010	7.32	12.36	12.67	3.95	36.3	4.40	8
2011	7.75	7.72	21.02	12.45	48.94	34.82	5
2012	9.13	7.35	18.32	13.93	48.73	-0.43	6
2013	14.76	11.75	19.09	14.26	59.86	22.31	3
2014	21.45	11.48	20.09	4.59	57.61	-3.76	4
2015	13.75	11.05	23.42	16.20	64.42	11.82	2
2016	23.92	17.65	23.24	16.24	81.05	25.81	1

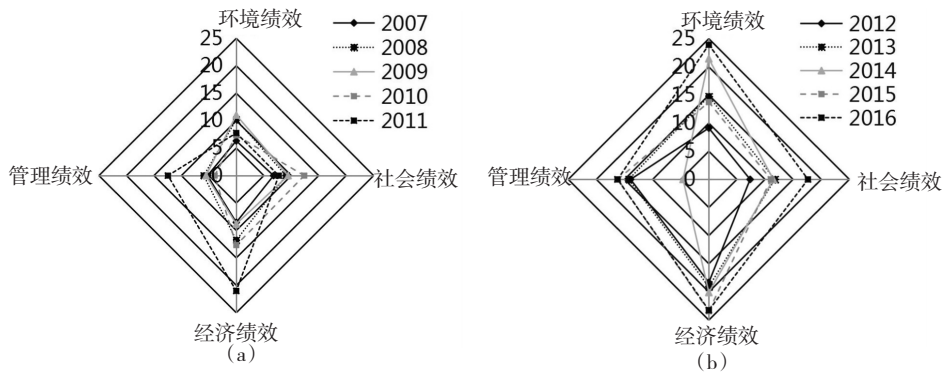


图2 2007~2016年一级指标绩效指数的雷达图

Fig. 2 Radar images of first-level indicators performance index from 2007 to 2016

根据表4和图1可知,4个一级指标的绩效和水环境治理绩效指数都是随时间的变化不断波动上升。从整体上看,虽然水环境绩效指数在“十一五”期间处于均值之下,但是从这一时期的水环境治理绩效整体趋势来看,还是存在不同程度的增长;而在2012~2016年间成都市水环境绩效指数超过了均值水平,年均增长在11%以上,说明这一时期水环境治理效果取得了显著的成效。尤其是2016年,水环境治理绩效指数达到了81.05,为“十三五”期间成都市水环境治理和建设节水型社会起到了示范的作用。

而图2是通过雷达图对4个一级指标的可视化处理,来分析水环境绩效的变化趋势。由4个一级指标所构成的多边形呈现明显向外扩张即表示该期间的水环境指数高;反之,越向中心集聚即说明水环境绩效不明显。因此通过图2中a和b图也很明

显地看出,2012~2016年环境绩效、社会绩效、经济绩效和管理绩效整体水平要比2007~2011年的高;从单个指标来看,在b图中环境绩效和经济绩效指标向外扩张明显,绩效指数高,表明水环境治理政策在环境改善和经济发展上已经落到实处,而在社会绩效和管理绩效上还差强人意。

4.4 主成分因子分析检验

为了进一步验证水环境绩效评价结果的可靠性,采用主成分因子分析法进行对比分析。

4.4.1 首先对逆向指标进行求倒数处理,并将原始数据进行标准化处理。将8个二级指标数据利用stata11.0软件进行主成分因子处理,确定主因子。然后对因子载荷矩阵做方差最大化旋转得到主因子的特征值、方差贡献率和累计贡献率,见表5。最后按照特征值大于1的标准,得出可选的主成分因子有2个,且累计方差贡献度达到75.57%,表明

2 个主成分因子可以反映原始评价指标信息。

表 5 因子特征值和方差贡献率

Tab. 5 Factor eigenvalue and variance contribution rate

成分	初始特征值			旋转平方和载入		
	合计	贡献率 (%)	累积贡献率 (%)	合计	贡献率 (%)	累积贡献率 (%)
1	4.544 3	56.80	56.80	3.347 3	41.84	41.84
2	1.501 6	18.77	75.57	2.698 6	33.73	75.57
3	0.976 5	12.21	87.78			
4	0.432 2	5.40	93.18			
5	0.353 2	4.42	97.60			
6	0.127 6	1.60	99.19			
7	0.037 4	0.47	99.66			
8	0.027 1	0.34	100			

4.4.2 通过最大方差正交旋转得到旋转后的主因子载荷矩阵，见表 6，由载荷矩阵可以看出 2 个主因子与指标之间的关联度。第一主因子与社会环

境、水环境监测等指标载荷度在 0.8 以上；第二主因子与社会经济、水资源利用率指标载荷度在 0.8 以上，反映指标与主因子之间的关系密切。

表 6 旋转后的因子载荷矩阵

Tab. 6 Rotated component load matrix

评价指标	第一主因子	第二主因子
生态治理	0.749 2	0.352 1
水质污染防治	0.778 7	0.435 1
社会经济	0.377 4	0.815 3
社会环境	0.966 2	0.006 0
水资源利用率	0.221 2	0.812 4
水环境利用率	-0.332 9	0.658 1
水环境监测	0.847 6	0.311 1
环境信访	0.474 8	0.728 5

4.4.3 根据旋转后的主因子载荷矩阵，将各因子得分进行综合，得出成都市水环境治理绩效综合得

分，并进行排序如表 7。

表 7 2007 ~ 2016 年成都市水环境绩效综合得分

Tab. 7 Scores of water environment management performance evaluation in Chengdu from 2007 to 2016

年份	第一主因子	第二主因子	综合得分	排序
2007	-0.547 2	-1.051 7	-1.598 9	10
2008	0.300 4	-0.986 3	-0.685 9	7
2009	-0.372 3	-0.599 9	-0.972 2	9
2010	0.675 1	-1.635 3	-0.960 2	8
2011	-1.155 0	0.643 7	-0.511 3	6
2012	-0.701 7	0.626 4	-0.075 3	5
2013	-0.078 5	0.365 9	0.287 4	3
2014	-0.670 3	0.870 3	0.200 0	4
2015	0.160 3	0.910 9	1.071 2	2
2016	2.389 2	0.975 9	3.365 1	1

4.4.4 通过主成分因子得出的水环境绩效结果与熵权法对水环境的评价结果进行对比来看,结果显示,两者的评价结果基本一致。说明了水环境治理绩效评价体系的有效性。

4.5 水环境绩效与经济发展水平的相关性分析

用一、二、三产业生产总值表征为成都市的经

济发展水平,利用 Stata11.0 统计软件对 2007 ~ 2016 年连续十年成都市的环境绩效、社会绩效、经济绩效、管理绩效、水环境综合绩效指数得分与经济发展水平之间进行双变量相关性检验,实证结果如表 8 所示。

表 8 成都市水环境绩效与经济发展水平相关性分析

Tab. 8 Correlation analysis of water environmental performance and economic development of Chengdu

		环境绩效	社会绩效	经济绩效	管理绩效	WEPI	第一产业 生产总值	第二产业 生产总值	第三产业 生产总值
环境绩效	相关系数	1.000 0							
	显著性 P 相关性								
社会绩效	相关系数	0.788 2	1.000 0						
	显著性 P 相关性	0.173 0 中度相关							
经济绩效	相关系数	0.605 6	0.473 8	1.000 0					
	显著性 P 相关性	0.840 9 中度相关	0.993 9 低度相关						
管理绩效	相关系数	0.329 8	0.307 8	0.784 5	1.000 0				
	显著性 P 相关性	1.000 0 低度相关	1.000 0 低度相关	0.183 4 中度相关					
WEPI	相关系数	0.829 9*	0.741 3	0.905 4***	0.765 8	1.000 0			
	显著性 P 相关性	0.079 8 高度相关	0.328 8 中度相关	0.008 7 高度相关	0.241 2 中度相关				
第一产业生产总值	相关系数	0.802 7	0.745 8	0.883 0**	0.755 7	0.980 0***	1.000 0		
	显著性 P 相关性	0.135 5 高度相关	0.311 8 中度相关	0.019 7 高度相关	0.275 7 中度相关	0.000 0 高度相关			
第二产业生产总值	相关系数	0.779 7	0.635 8	0.929 6***	0.720 8	0.955 6***	0.942 0***	1.000 0	
	显著性 P 相关性	0.197 4 中度相关	0.749 2 中度相关	0.002 8 高度相关	0.409 9 中度相关	0.000 5 高度相关	0.001 3 高度相关		
第三产业生产总值	相关系数	0.812 8	0.691 8	0.917 1***	0.711 3	0.971 1***	0.957 2***	0.991 5***	1.000 0
	显著性 P 相关性	0.112 5 高度相关	0.531 0 中度相关	0.005 2 高度相关	0.449 3 中度相关	0.000 1 高度相关	1.000 0 高度相关	0.000 4 高度相关	

注: ***, **, 和 * 分别表示在 1%, 5% 和 10% 的检验水平上显著。

检验结果显示,水环境绩效指数与成都市的第一、二、三产业生产总值在 1% 水平上呈极显著的正相关关系(相关系数分别为 0.98、0.955 6、0.971 1);经济绩效指标与第一、二、三产业的发展水平在 5% 和 1% 水平上呈显著的正相关关系(相关系数分别为 0.883、0.929 6、0.917 1)。由此可见成都市的经济发展水平与水环境治理绩效确实具有很好的一致性。经济发展与水环境治理紧密联系,相互促进,经济水平越高,对水环境的治理也就越严格和重视;同时水环境治理绩效越高,越能促进经济稳健持续的发展。

除此之外,经济发展水平与环境绩效、社会绩效和管理绩效具有中高程度的正相关关系,相关系数基本在 0.7 以上。在一定程度上也说明了经济发展水平越高,环境绩效、社会绩效和管理绩效指数也就越高,相应的绩效水平也就越高。

5 结论与建议

5.1 结论

5.1.1 基于国内外对水环境绩效评价指标体系、评价方法和水环境绩效评价体系的实践应用等相关文献的研究基础,针对成都市水环境治理绩效问题,以生态文明理念为指导,从环境绩效、社会绩效、经济绩效和管理绩效视角构建城市水环境治理绩效评价指标体系。该指标体系不仅评价了经济、社会和环境三个层面的绩效,而且还加入环境管理的因素,突出反映水环境管理的能力建设和公众对环境治理的满意度的评价。也更全面地反映水环境治理的状况。

5.1.2 运用主题框架逻辑模型、目标渐进法、熵权法、线性加权法、雷达图法和相关性分析法一系列统计测度方法,为评价水环境绩效提供了技术保障。其中,主题框架模型突出研究问题的核心;熵

权法确定指标权重,客观反映各个指标对水环境绩效影响程度;通过雷达图法既能展现整体的水环境绩效结果,又能直观地呈现出各单项指标的相对优势和变化差异,达到静态与动态相结合的效果。

5.1.3 实证研究表明,成都市2007~2016年间水环境绩效整体呈现上升波动趋势。在“十一五”期间水环境绩效低于十年均值水平,2011和2012年水环境绩效与均值基本持平,2013年以后,水环境绩效高于均值水平,说明“十二五”期间政府的水环境治理政策达到了预期的效果。在水环境治理中,重点突出了对城市水质污染的治理、提高工业、农业用水的利用效率,也严格控制单位GDP废水排放强度和水污染物的排放强度;从二、三级指标来看,在生态治理中,还应提高对建成区的绿化的覆盖率;社会经济建设中更加注重提高社会福利水平,保障人们的生活水平,减少贫富差距;在环境信访的处理中,需要完善法律法规制度和环境管理长效机制,提高公众对环境治理工作质量的满意度。

5.1.4 经过相关性分析,成都市水环境绩效WEPI与三产业的生产总值呈极显著正相关关系。“十二五”时期成都市的经济发展处于上升阶段,二、三产业的生产总值也是增速很快,而同时期的水环境绩效指数也是得到了很大的提高,表明经济发展水平受水环境治理的影响很显著。除此之外,WEPI与环境绩效和经济绩效呈显著正相关关系,与社会绩效和管理绩效具有中度的正相关性。说明生态环境得到改善、经济效益的增加、社会经济环境协调发展、完善环境管理长效机制对水环境治理绩效起着直接和间接的影响和作用。另外通过主成分因子分析还得出与熵权法的评价结果基本吻合,证实了水环境治理绩效受环境、社会、经济和管理因素的影响,说明该水环境绩效评价体系具有很好的准确性和合理性。

5.2 建议

从成都市水环境绩效评价结果来看,水环境治理绩效指数在2007~2016年间,由26.85上升到81.05,体现政府部门对水环境治理能力的不断增强,尤其在环境绩效和经济绩效方面表现得尤为突出。但是在社会绩效和管理绩效上还需要进一步地提高。

以治理城市水污染为先,改进生态环境。一方面饮用水的水质直接关系到市民的用水安全,另一方面良好的水环境,也会促进城市生态环境质量的

提高。所以减排、控污、提高城市污水的处理率是治理水污染的重要举措。其次要转变经济发展模式,避免走先污染后治理的道路。创新是经济发展的源泉,技术是实现手段,农业上积极投入节水灌溉技术,发展生态农业;工业上提高水资源利用效率,发展循环经济和生态经济。第三,然后在提高社会绩效上,应以人为本,提高人民生活水平为目标,健全社会保障制度和福利水平,合理地规划和建设城市,维护好我们的生存环境。最后需要提供长效管理机制。在建立水环境保护的法律法规体系和完善信息管理制度的同时也要实施环境责任追究制,使得在水环境治理实践中有法可依、有制度可寻。

参考文献:

- [1] Khakandar Q E. UNDP on good governance[J]. *International Journal of Social Economics*,2009,36(12):1167-1180.
- [2] Pires A, Morato J, Peixoto H, et al. Sustainability Assessment of indicators for integrated water resources management[J]. *Science of the Total Environment*,2017,(578):139-147.
- [3] 王亚华,吴丹.淮河流域水环境管理绩效动态评价[J]. *中国人口·资源与环境*,2012,22(12):32-38.
- [4] 张丛林,乔海娟,王毅,等.生态文明背景流域/跨区域水环境管理政策评估[J]. *中国人口·资源与环境*,2018,28(7):76-84.
- [5] 吴丹.流域水利发展水平评价方法研究——以淮河流域为例[J]. *资源科学*,2016,38(7):1323-1335.
- [6] OECD. *Towards Sustainable Development: Environmental Indicators 2001*[R], Paris: OECD,2001,1-152.
- [7] 董昕.基于PSR模型的水环境绩效审计评价体系构建及应用[J]. *财会通讯*,2018,(13):73-77.
- [8] 张冉.低碳经济下环保资金绩效审计评价指标体系的构建——以大气污染治理项目为例[D].北京:中国海洋大学,2014.
- [9] Rasi N, Nazariha S R, Moridi M. Environmentally sound water resources management in catchment level using DPSIR model and scenario analysis[J]. *International Journal of Environmental Research*,2017,(3),569-580.
- [10] Henriques C, Garnett K, Weatherhead E K, et al. The future water environment — Using scenarios to explore the significant water management challenges in England and Wales to 2050[J]. *Science of the Total Environment*,2015:381-396.
- [11] Sun X K, Wang Y B, Liu J, et al. Sustainability assessment of regional water resources under the DPSIR framework[J]. *Journal of Hydrology*,2016,(532):140-148.
- [12] Hanbay D I, Turkoglu Y, Demir. Prediction of Wastewater Treatment Plant Performance Based on Wavelet Packet Decomposition and Neural Networks[J]. *Expert Systems with Application*,2008,(34):1038-1043.

- [13] Jeswani H K, Azapagic A. Water footprint: methodologies and a case study for assessing the impacts of water use[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2011, (19):1288-1299.
- [14] Mahgoub M, Vander N P, Abuzeid K, et al. Towards sustainability in urban water: a life cycle analysis of the urban water system of Alexandria City, Egypt[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2010, (18):1100-1106.
- [15] 张可. 基于离散灰色模型的农村水环境政策减排效应及空间分异性研究[J]. *中国管理科学*, 2017, 25(5):157-166.
- [16] 李艳丽, 苏维词, 杨吉, 等. 基于熵权模糊综合模型的重庆水环境安全评价[J]. *人民长江*, 2017, 48(9):25-29.
- [17] 胡耘通, 何佳楠. 水环境审计评价指标体系构建研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2017, 31(8):13-18.
- [18] 冉欣, 孙世军, 冯江, 等. 基于污染物总量控制的流域水环境管理绩效优化研究——以吉林省招苏台河流域为例[J]. *南水北调与水利科技*, 2018, 16(4):128-136.
- [19] 郭衍玮. 基于PSR概念框架的水环境绩效审计评价指标体系构建与应用研究[D]. 昆明: 云南财经大学, 2016.
- [20] 阮晨, 胡林. 试论城市总体规划环境影响关键指标评价方法——以成都市为例[J]. *四川环境*, 2017, 36(6):104-109.
- [21] 杜明, 柳强, 罗彬, 等. 岷、沱江流域水环境质量现状评价及分析[J]. *四川环境*, 2016, 35(5):20-25.
- [22] 刘佳. 基于生态文明理念的中国省级环境绩效评估实证研究[D]. 天津: 南开大学, 2014.
- [23] Esty D C, Levy M A, Srebotnjak T, et al. Pilot 2006 environmental performance index[R]. New York: Yale Center for Environmental Law & Policy, 2006.
- [24] 董战峰, 郝春旭, 王婷, 等. 中国省级区域环境绩效评价方法研究[J]. *环境污染与防治*, 2016, 38(2):86-90.