

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2019.0004

黄微尘,余朕天,李春晖,等.基于 ELECTRE III 的淮河流域水资源安全评价[J].南水北调与水利科技,2019,17(1):20-25.  
HUANG W C, YU Z T, LI C H, et al. The assessment of water resources security in Huaihe River basin based on ELECTRE III[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2019, 17(1): 20-25. (in Chinese)

# 基于 ELECTRE III 的淮河流域水资源安全评价

黄微尘,余朕天,李春晖,李 慧

(北京师范大学 环境学院 水沙科学教育部重点实验室,北京 100875)

**摘要:**为探讨淮河流域水资源安全问题,建立了淮河流域水资源安全评价指标体系,运用多准则决策方法——ELECTRE III,对淮河流域四省江苏、安徽、山东、河南 2006—2012 年水资源安全性进行评价,并利用净可信度得分排序。结果显示:水资源安全性就不同省份而言,江苏省相对最好,其次为安徽省、河南省,山东省相对最差;就不同年份而言,2011 年最好,最高达 7.62,最低为-0.82,全部处于较危机等级,而 2006 年相对较差,最高达-2.03,最低为-18.37,除江苏省外全部处于危机水平;就同一省份不同年份而言,随着时间的变化,四省份的水资源安全性评价结果总体呈现出先上升再下降,后又上升转而再下降的“M”型趋势。该评价方法与评价指标体系适用性较强,评价结果较为客观,为淮河流域水资源安全评价提供了一个新视角和新方法。合理水资源安全评价定量和趋势分析,可为淮河流域水资源合理开发和可持续利用提供科学依据与决策支持。

**关键词:**水资源安全; ELECTRE III; 淮河流域; 熵权法; 净可信度

中图分类号: TV211.1 文献标志码: A 开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## The assessment of water resources security in Huaihe River basin based on ELECTRE III

HUANG Weichen, YU Zhentian, LI Chunhui, LI Hui

(Key Laboratory for Water and Sediment Sciences of Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** In order to explore the water resources security (WRS) problem in Huaihe River basin, we established the water resources security evaluation index system of the Huaihe River basin. Using the multi-criteria decision-making method-ELECTRE III, we evaluated the water resources security of four provinces in the Huaihe River basin (Jiangsu, Anhui, Shandong and Henan) from 2006 to 2012 and ranked them by net confidence score. The results showed that: Among these provinces, Jiangsu Province had the best WRS situation, followed by Anhui Province and Henan Province, while Shandong Province had the worst. Throughout the years, the WRS situation in Huaihe River basin was the best in 2011, with the highest score reaching 7.62 and the lowest -0.82, all at the near-crisis level; the situation was the worst in 2006, with the highest score reaching -2.03 and the lowest -18.37, all at the crisis level except for Jiangsu province. For one province throughout the years, with the change of time, the water resources security of the four Provinces all showed an M-shaped trend of first increasing, then decreasing, and then increasing and decreasing again. This method and evaluation index system have strong applicability and can provide relatively objective evaluation results. They present a new perspective and a new method for water resources security evaluation in the Huaihe River basin. The proper quantitative and trend analysis of WRS will provide a scientific basis for reasonable develop-

收稿日期: 2018-09-10 修回日期: 2018-11-12 网络出版时间: 2018-12-04

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20181130.1120.014.html>

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC0401305); 水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07301-001)

作者简介: 黄微尘(1997—), 男, 安徽铜陵人, 主要从事水资源评价与规划方面研究。E-mail: 201511180140@mail.bnu.edu.cn

通信作者: 李春晖(1976—), 男, 安徽临泉人, 副教授, 主要从事水资源评价与规划方面研究。E-mail: chunhui@bnu.edu.cn

ment and sustainable utilization of water resources in the Huaihe River basin.

**Key words:** water resources security; ELECTRE III; Huaihe River basin; entropy weight method; net confidence level

水资源是一种宝贵的战略资源,水资源数量和质量的下降已对我国粮食安全、生态环境安全、经济安全等造成巨大影响,水资源安全问题逐渐成为水资源领域的研究热点<sup>[1]</sup>。夏军等<sup>[2]</sup>指出:“水资源安全通常指水资源(量与质)供需矛盾产生的对社会经济发展、人类生存环境的危害问题”。因此,科学评价水资源安全是水资源合理利用的重要基础。目前国内国外水资源安全评价的方法很多,主要有层次分析评价方法(AHP)<sup>[3]</sup>,模糊集对分析法(SPA)<sup>[4]</sup>,生态足迹分析方法<sup>[5]</sup>,模糊综合评价法<sup>[6]</sup>,TOPSIS法<sup>[7]</sup>,系统动力学法<sup>[8]</sup>等多种方法。由 Benayoun 和 Roy 等提出的 ELECTRE (elimination et choice translating reality)方法是应用比较普遍的一种系统决策方法<sup>[9]</sup>,目前正在能源规划管理、材料选择等方面得到了广泛的应用<sup>[10-11]</sup>,但还没有在水资源评价方面的应用案例。

淮河流域包括河南、安徽、山东、江苏、湖北五省 40 个地(市),181 个县(市),总人口为 1.65 亿人。流域内平均降水量 965.00 mm,洪涝、干旱等自然灾害发生频繁<sup>[12-13]</sup>,流域内水资源安全问题突出。本研究拟采用 ELECTRE III 对淮河流域水资源安全进行评价,以期探索新方法在水资源评价中的应用,为流域水资源安全决策提供依据。

## 1 研究方法

本研究采用 ELECTRE III 对淮河流域水资源安全进行评价。ELECTRE III 方法通过阈值函数,设置无差异、严格优于、否定阈值,进行方案间的两两比较,形成一致性与非一致性优先度矩阵,构建可信度矩阵,从而对各个方案的优劣进行排序,为决策者提供决策依据<sup>[14-17]</sup>。ELECTRE III 是一种非完全补偿性的方法,即当某个方案在某些评价指标下的评分过高时不能弥补其他指标的低分。这符合水资源安全评价的特点,因而使得评价结果更加可信。此外,ELECTRE III 还可以将各个指标统一量化,即在水资源安全评价过程中可采用绝对值与相对值进行运算,这使得该方法的评价结果更具有参考性<sup>[18]</sup>。ELECTRE III 步骤参见文献<sup>[18]</sup>,主要包括:(1)确定备选方案;(2)确定指标体系;(3)确定属性值;(4)权重确定;(5)确定阈值;(6)计算非一致性指数;(7)加权计算一致性指数;(8)计算可信度指

数;(9)结果排序,最后得到方案的最终优劣排序结果。本文采用熵权法和阈值公式确定指标权重,并采用王建军等提出的净可信度法进行排序,考虑篇幅限制,具体步骤参见文献<sup>[19-21]</sup>。

## 2 淮河流域水资源安全评价

### 2.1 指标体系

指标体系的建立需要考虑系统性、可比性、实用性、科学性。由于定性指标基于主观判断,需咨询多位专家并参考大量文献。本研究综合采取多种指标选取方法,建立的淮河流域水资源安全评价体系和标准见表 1 和 2<sup>[19]</sup>。

### 2.2 确定评价方案、属性值、权重和阈值

收集淮河流域内 4 个省的 2006 年至 2012 年的相关指标数据,数据来自淮河流域、河南省、安徽省、江苏省水资源公报(2006—2012),以及四个省的社会经济统计年鉴(2006—2012 年)<sup>[19]</sup>。由于水质数据难以获取,这里以各省份的统计水质数据代替各省淮河流域水质数据。各指标具体数据略。将淮河流域 4 省份连续 7 年共 28 个评价对象基于评价指标体系的数据序列视为方案 A1 至 A28 的属性值。定义标准方案 Ae(安全-较安全)、Af(较安全-临界安全)、Ag(临界安全-较危机)、Ah(较危机-危机),其属性值为各指标标准区间的临界值(图 1),并视为方案 A29 至 A32,共同参与评价和排序。因此评价方案一共设置了 32 个评价对象,其中包括 28 个评价指标值和 4 个标准方案指标值。考虑到评价指标体系中同时存在正向指标与负向指标,将负向指标取负值作为属性值。根据熵权法和阈值确定公式,得到指标权重及阈值见表 3。



图 1 安全等级及标准方案划分

Fig. 1 Classification of security grade and standard

### 2.3 结果分析

对 32 个指标进行排序,结果如表 4。各评价对象排序如下: Ae > Af > Ag > 江苏(2011) > 安徽(2010) > 江苏(2007) > 河南(2011) > 江苏(2012) > 江苏(2010) > 安徽(2012) > 江苏(2008) > 安徽(2008) > 安徽(2011) > 河南(2010) > 安徽(2007) >

表 1 淮河流域水资源安全评价指标

Tab. 1 Assessment indexes of water resources security in Huaihe River basin

	指标	计算公式	指标类型
水资源量	C1 产水系数	水资源总量/降水量	正向
	C2 年径流深/mm	区域径流总量/区域评价面积	正向
	C3 地下水资源模数/(万 m <sup>3</sup> ·km <sup>2</sup> )	区域地下水资源量/区域土地面积	正向
	C4 产水模数/(万 m <sup>3</sup> ·km <sup>2</sup> )	水资源总量/总面积	正向
	C5 水资源利用率/%	用水量/水资源总量×100%	负向
	C6 水资源供需平衡指数	多年平均需水量/供(用)水量	负向
	C7 人均水资源量/(m <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup> )	水资源总量/总人口	正向
水环境 质量	C8 洪涝受灾面积占总耕地面积的百分比/%	洪涝灾害受灾面积/耕地面积×100%	负向
	C9 干旱受灾面积占总耕地面积的百分比/%	干旱灾害受灾面积/耕地面积×100%	负向
	C10 农村自来水普及率/%	农村使用自来水户数/总户数×100%	正向
	C11 森林覆盖率/%	区域森林面积/区域土地面积×100%	正向
	C12 环境污染治理投资占 GDP 比重/%	环境污染治理投资额/GDP×100%	正向
	C13 污径比/(t·(万 m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> )	COD、NH <sub>3</sub> -N 入河量/年径流量	负向
	C14 废污水排放量/(t·m <sup>3</sup> )	废污水排放总量/径流量	负向
	C15 生态环境用水比例/%	生态环境用水量/总用水量×100%	正向
	C16 COD 纳污能力/(万 t·a <sup>-1</sup> )	—	正向
	C17 NH <sub>3</sub> -N 纳污能力/(万 t·a <sup>-1</sup> )	—	正向
社会经济 用水	C18 万元 GDP 用水量/m <sup>3</sup>	总用水量/GDP	负向
	C19 万元工业增加值用水量/m <sup>3</sup>	工业用水量/工业增加值	负向
	C20 供用水模数/(万 m <sup>3</sup> ·km <sup>2</sup> )	总供(用)水量/供(用)水面积	正向
	C21 人均供用水量/m <sup>3</sup>	总供(用)水量/总人口	正向
	C22 城镇人均生活用水量/(L·d <sup>-1</sup> )	城镇生活总用水量/城镇人口	正向
	C23 农村人均生活用水量/(L·d <sup>-1</sup> )	农村生活总用水量/农村人口	正向
	C24 农田灌溉亩均用水量/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>2</sup> )	农田灌溉用水量/灌溉面积	负向

表 2 淮河流域水资源安全划分标准

Tab. 2 Grading standard of water resources security in Huaihe River basin

评价指标	指标标准					
	安全	较安全	临界安全	较危机	危机	
水资源量	C1 产水系数	≥0.45	0.4~0.45	0.35~0.4	0.3~0.35	<0.3
	C2 年径流深/mm	≥400	350~400	300~350	250~300	<250
	C3 地下水资源模数/(万 m <sup>3</sup> ·km <sup>2</sup> )	≥16	15~16	14~15	13~14	<13
	C4 产水模数/(万 m <sup>3</sup> ·km <sup>2</sup> )	≥50	40~50	30~40	20~30	<20
	C5 水资源利用率/%	<40	40~45	45~50	50~55	≥55
	C6 水资源供需平衡指数	<0.8	0.8~1	1~1.2	1.2~1.4	≥1.4
	C7 人均水资源量/(m <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup> )	≥1 000	800~1 000	600~800	400~600	<400
水环境 质量	C8 洪涝受灾面积占总耕地面积的百分比/%	0	0~2	2~4	4~6	≥6
	C9 干旱受灾面积占总耕地面积的百分比/%	0	0~2	2~4	4~6	≥6
	C10 农村自来水普及率/%	≥95	85~95	75~85	65~75	<65
	C11 森林覆盖率/%	≥30	25~30	20~25	15~20	<15
	C12 环境污染治理投资占 GDP 比重/%	≥1.5	1.25~1.5	1~1.25	0.75~1	<0.75
	C13 污径比/(t·(万 m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> )	<0.05	0.05~0.075	0.075~0.1	0.1~0.125	≥0.125
	C14 废污水排放量/(t·m <sup>3</sup> )	<0.05	0.05~0.075	0.075~0.1	0.1~0.125	≥0.125
	C15 生态环境用水比例/%	≥4	2~4	1~2	0.5~1	<0.5
	C16 COD 纳污能力/(万 t·a <sup>-1</sup> )	≥16	15~16	14~15	13~14	<13
	C17 NH <sub>3</sub> -N 纳污能力/(万 t·a <sup>-1</sup> )	≥1.2	1.1~1.2	1~1.1	0.9~1	<0.9
社会经济 用水	C18 万元 GDP 用水量/(m <sup>3</sup> ·(万元) <sup>-1</sup> )	<100	100~200	200~300	300~400	≥400
	C19 万元工业增加值用水量/(m <sup>3</sup> ·(万元) <sup>-1</sup> )	<20	20~50	50~80	80~110	≥110
	C20 供用水模数/(万 m <sup>3</sup> ·km <sup>2</sup> )	≥40	35~40	30~35	25~30	<25
	C21 人均供用水量/(m <sup>3</sup> )	≥600	550~600	500~550	450~500	<450
	C22 城镇人均生活用水量/(L·d <sup>-1</sup> )	≥125	120~125	115~120	110~115	<110
	C23 农村人均生活用水量/(L·d <sup>-1</sup> )	≥95	90~95	85~90	80~85	<80
	C24 农田灌溉公顷均用水量/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>2</sup> )	<1950	1 950~2 250	2 250~2 550	2 550~2 850	≥2 850

表 3 各评价指标权重及阈值  
Tab. 3 Weights and thresholds of indexes

评价指标	权重系数	严格优先阈值 $p_j$	无差异阈值 $q_j$	否决阈值 $v_j$
C1	0.039 1	0.008 1	0.002 4	0.26
C2	0.037 2	11.622 2	3.486 7	371.91
C3	0.033 9	0.197 5	0.059 3	6.32
C4	0.036 7	1.235 0	0.370 5	39.52
C5	0.022 3	3.311 9	0.993 6	105.98
C6	0.046 1	0.058 1	0.017 4	1.86
C7	0.044 9	23.620 3	7.086 1	755.85
C8	0.033 7	0.851 3	0.255 4	27.24
C9	0.030 4	0.622 5	0.186 8	19.92
C10	0.051 9	1.987 5	0.596 3	63.60
C11	0.041 9	0.701 9	0.210 6	22.46
C12	0.073 5	0.044 1	0.013 2	1.41
C13	0.023 7	0.008 1	0.002 4	0.26
C14	0.018 0	0.016 9	0.005 1	0.54
C15	0.053 7	0.176 6	0.053 0	5.65
C16	0.051 8	0.334 7	0.100 4	10.71
C17	0.055 8	0.029 4	0.008 8	0.94
C18	0.033 8	12.617 5	3.785 3	403.76
C19	0.020 7	12.704 7	3.811 4	406.55
C20	0.068 0	0.911 3	0.273 4	29.16
C21	0.062 5	16.724 7	5.017 4	535.19
C22	0.026 1	1.429 1	0.428 7	45.73
C23	0.050 5	1.651 9	0.495 6	52.86
C24	0.043 8	11.545 9	3.463 8	369.47

河南(2007) > 山东(2011) > 安徽(2009) > 河南(2012) > 河南(2008) > 江苏(2006) > 江苏(2009) > 山东(2008) > Ah > 山东(2007) > 山东(2012) > 山东(2009) > 河南(2009) > 安徽(2006) > 山东(2010) > 河南(2006) > 山东(2006)。

基于 ELECTRE III 评价淮河流域水资源安全,得到的结果如图 2。从图 2 可见,2006 年至 2012 年淮河流域水资源安全性总体较差,全部处于较危机或危机等级。就不同省份相比较而言,水资源安全性排序是江苏省 > 安徽省 > 河南省 > 山东省;就不同年份而言,淮河流域 2011 年水资源安全性相对较好(最高达到 7.62,最低为 -0.82),全部处于较危机等级,而 2006 年水资源安全性相对较差(最高达到 -2.03,最低为 -18.37),除江苏省外全部处于危机水平。该结论与贾晓丽采用组合评价方法得到的结果基本一致<sup>[19]</sup>,但在个别省份年份排序结果方面存在一定差异,如江苏省(2006)、江苏省(2009)等<sup>[19]</sup>。就同一省份不同年份而言,随着时间的变化,四省份总体的水资源安全性总体呈现出先上升再下降,后又上升转而再下降的 M 型曲线的趋势。由于 ELECTRE III 方法自身的特点,可以解决指标量化不统一的问题,减低了某一方案在某一指标上的得分过高和权重确定的主观性,本研究相对于贾晓丽研究<sup>[19]</sup>,评价结果更精确、更合理。

进一步分析表明,山东省水资源安全性在淮河流域四省中相对最差。除了稍好的 2008 年和 2011 年外,其余年份都处于水资源安全最低的危机等级。

表 4 各评价对象得分及排序  
Tab. 4 Scores and ranks of each assessment object

评价指标	A1 河南(2006)	A2 安徽(2006)	A3 江苏(2006)	A4 山东(2006)	A5 河南(2007)	A6 安徽(2007)	A7 江苏(2007)	A8 山东(2007)
$B(a_i)$	-13.92	-9.46	-2.03	-18.37	-0.81	0.02	5.31	-5.15
排名	31	29	21	32	16	15	6	25
评价指标	A9 河南(2008)	A10 安徽(2008)	A11 江苏(2008)	A12 山东(2008)	A13 河南(2009)	A14 安徽(2009)	A15 江苏(2009)	A16 山东(2009)
$B(a_i)$	-1.74	0.88	1.86	-2.92	-8.29	-1.40	-2.73	-7.70
排名	20	12	11	23	28	18	22	27
评价指标	A17 河南(2010)	A18 安徽(2010)	A19 江苏(2010)	A20 山东(2010)	A21 河南(2011)	A22 安徽(2011)	A23 江苏(2011)	A24 山东(2011)
$B(a_i)$	0.09	6.95	2.29	-11.63	2.55	0.73	7.62	-0.83
排名	14	5	9	30	7	13	4	17
评价指标	A25 河南(2012)	A26 安徽(2012)	A27 江苏(2012)	A28 山东(2012)	A29 (Ae)	A30 (Af)	A31 (Ag)	A32 (Ah)
$B(a_i)$	-1.69	2.24	2.46	-5.38	29.40	23.32	13.05	-4.73
排名	19	10	8	26	1	2	3	24

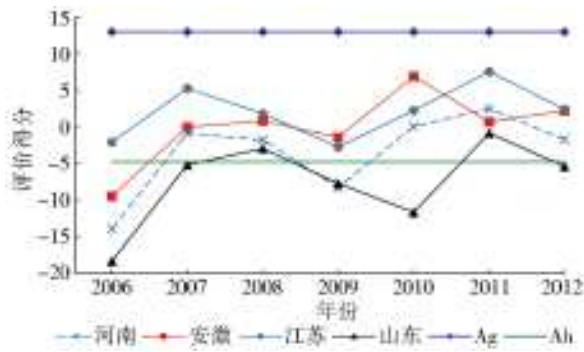


图 2 ELECTRE III 排序结果

Fig. 2 Ranking results of ELECTRE III

山东省水资源量较为匮乏,且水资源时空分布不均,多年平均水资源总量为 303.07 亿  $m^3$ <sup>[12]</sup>,仅占全国水资源总量的 1.09%。结合指标体系分析,山东省水资源问题导致地下水资源模数、产水系数、人均水资源量指标都较小,环境污染治理投资占 GDP 比重低、生态环境用水比例小,万元 GDP 用水量和人均供用水量多,使得在水资源量、水环境质量和社会经济用水三方面水资源安全性都较差,所以总体水资源安全等级最低。河南省水资源安全也存在类似问题,水资源总量匮乏,利用程度低,供需存在矛盾,水污染严重。应加大在山东、河南等水资源安全性较差省份的政策和经济支持,按照科学发展观全面、协调、可持续的要求,落实严格的水资源管理制度,不断完善监督保障机制,加强节水类、水资源开发利用类、水生态保护类、水资源管理类工程的建设,提高公众参与度,以提高水资源的安全性。江苏和安徽水资源安全性较好,但是总体仍未达到临界安全等级。安徽省在水环境质量和社会经济用水量这两个层次上安全性较差,农村自来水普及率低、万元 GDP 用水量和万元工业增加值用水量比较高,在维持经济快速发展的同时不能以破坏水资源安全为代价。

### 3 结 论

本文采用 ELECTRE III 方法,对淮河流域四省 2006—2012 年连续七年的水资源安全性进行评价,结果表明:空间上看,淮河流域水资源安全性总体较差,处于较危机或危机等级;相对而言,江苏省最好,山东省最差;时间上看,水资源安全性 2006 年相对最差,2011 年最好,而且随着时间的变化,四省份的水资源安全性总体呈现出先上升再下降,后又上升转而再下降的“M”型趋势。由于河南、山东两省水资源安全性相对较差,应加大对两省政策和经济方面的支持,完善监管制度,提高公众参与度,以提高水资源的安全性。虽然淮

河流域四省中江苏、安徽水资源安全性相对较好,但是总体仍未达到临界安全等级,仍需采取进一步的针对性措施。

ELECTRE III 方法利用阈值函数,进行评价对象间的两两比较,采用熵权法确定指标权重,并根据净可信度得分排序,解决了指标量化不统一的问题,避免了某一方案在某一指标上的得分过高和权重确定的主观性,使得评价结果更具有参考性。本研究结果与已有研究评价结果基本一致,并且与研究区域水资源状况相符,方法科学可行,结果合理。但是,在利用 ELECTRE III 方法进行水资源安全性的评价,在方案的组织实施过程中仍存在一些不足,可通过进一步优化提高评价结果的合理性与可参考性。

#### 参考文献(References):

- [1] 高媛媛,王红瑞,许新宜,等. 水资源安全评价模型构建与应用:以福建省泉州市为例[J]. 自然资源学报,2012(2):204-214. (GAO Y Y, WANG H R, XU X Y, et al. Assessment of water resources security: Case of Quanzhou City in Fujian Province[J]. Journal of Natural Resources, 2012(2):204-214. (in Chinese))
- [2] 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[J]. 自然资源学报,2002(3):262-269. (XIA J, ZHU Y Z. The measurement of water resources security: A study and challenge on water resources carrying capacity[J]. Journal of Natural Resources, 2002(3):262-269. (in Chinese))
- [3] 武荣,李援农. 基于层次分析法的水资源安全模糊综合评价模型及其应用[J]. 水资源与水工程学报,2013(4):139-144. (WU R, LI Y N. Application of fuzzy assessment model of water resources security based on AHP[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2013(4):139-144. (in Chinese))
- [4] 代稳,王金凤,马士彬,等. 基于集对分析法的水资源安全综合评价研究[J]. 水科学与工程学报,2014(4):38-41. (DAI W, WANG J F, MA S B, et al. Research on comprehensive evaluation of water resources security based on set pair analysis[J]. Water Sciences and Engineering Technology, 2014(4):38-41. (in Chinese)). DOI: 10. 19733/j. cnki. 1672-9900. 2014. 04. 014
- [5] 张义. 基于生态足迹模型的广西水资源利用评价[J]. 人民黄河,2014(2):58-61. (ZHANG Y. Evaluation of water resources utilization in Guangxi Based on ecological footprint model[J]. Yellow River, 2014(2):58-61. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-1379. 2014. 02. 019
- [6] 郜慧,金辉. 基于 AHP 和模糊综合评价的区域水资源

- 可持续利用评价:以广东省江门市为例[J]. 水资源与水利工程学报,2007(3):50-55. (GAO H, JIN H. Evaluation of sustainable utilization for regional water resources based on AHP and fuzzy synthetic judgment; A case study for Jiangmen City in Guangdong Province [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2007(3): 50-55. (in Chinese))
- [7] 池静静,陈彬. 基于 TOPSIS 的灰色关联法在水资源安全评价中的应用研究[J]. 水土保持通报, 2009(2): 155-159. (CHI J J, CHEN B. Application of TOPSIS based grey correlation analysis in integrated water resource security evaluation[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2009(2): 155-159. (in Chinese)). DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2009.02.005.
- [8] 杜梦娇,田贵良,吴茜,等. 基于系统动力学的江苏水资源系统安全仿真与控制[J]. 水资源保护, 2016(4): 67-73. (DU M J, TIAN G L, WU X, et al. Simulation and control of water resources system security in Jiangsu Province based on system dynamics [J]. Water Resources Protection, 2016(4): 67-73. (in Chinese)) DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2016.04.011.
- [9] BENAYOUN R, ROY B, SUSSMAN B. ELECTRE: Une méthode pour guider le choix en présence de points de vue multiples[J]. Rev Française Informat Recherche Opérationnelle, 1966, 3(2): 31-56.
- [10] BECCALI M, CELLURA M, MISTRETTA M. Decision making in energy planning. Application of the Electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology[J]. Renewable Energy, 2003, 28(13): 2063-2087. DOI: 10.1016/S0960-1481(03)00102-2. Doi: 10.1016/S0960-1481(03)00102-2.
- [11] BURTON J, HUBACEK K. Is small beautiful A multicriteria assessment of small-scale energy technology applications in local governments[J]. Energy Policy, 2007, 35(12): 6402-6412. Doi: 10.1016/j.enpol.2007.08.002.
- [12] 水利部淮河水利委员会. 淮河片水资源公报[M]. 2016. (The Huaihe River Commission of the Ministry of Water Resources, P. R. C, Huai River Water Resources Bulletin[M]. 2016. (in Chinese))
- [13] 淮河. [http://www.mwr.gov.cn/szs/hl/201612/t20161222\\_776385.html](http://www.mwr.gov.cn/szs/hl/201612/t20161222_776385.html). (Huaihe River)
- [14] LEYVA-LÓPEZ J C, FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ E. A new method for group decision support based on ELECTRE III methodology[J]. European Journal of Operational Research, 2003, 148(1): 14-27. DOI: 10.1016/S0377-2217(02)00273-4.
- [15] ROGERS M, BRUEN M. Using ELECTRE III to choose route for Dublin Port motorway[J]. Journal of Transportation Engineering, 2000, 126(4): 313-323. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2000)126:4(313)
- [16] BUCHANAN J, SHEPPARD P, VANDERPOOTEN D. Project ranking using Electre III[M]. Presented at MCDM 2000, Ankara, Turkey, 1999.
- [17] ROGERS M, BRUEN M. A new system for weighting environmental criteria for use within ELECTRE III [J]. European Journal of Operational Research, 1998, 107(3): 552-563. Doi: 10.1016/S0377-2217(97)00154-9.
- [18] 王冰,陈伏龙,吴泽斌,等. 基于 ELECTRE III 法的引滦水量分配组织实施评估[J]. 水文, 2017(2): 42-47. (WANG B, CHEN F L, WU Z B, et al. Organization and implementation assessment of water allocation in Luanhe-Tianjin water diversion project using ELECTRE III [J]. Journal of China Hydrology, 2017(2): 42-47. (in Chinese))
- [19] 贾晓丽. 气候变化下淮河流域水资源安全评价[D]. 北京: 北京师范大学, 2015. (JIA X L. Evaluation of water resources security in Huaihe River basin under climate change[D]. Beijing: Beijing Normal University, 2015. (in Chinese))
- [20] 刘景矿,马燕玲,庞永师,等. 基于 ELECTRE III 的建筑废弃物资源化处理企业选址优化研究:以广州番禺、南沙区为例[J]. 广州建筑, 2017(2): 12-17. (LIU J K, MA Y L, PANG Y S, et al. The optimization of the site selection of the companies majored in resourceful disposal of construction waste based on ELECTRE III: A case study of Guangzhou Panyu and Nansha districts [J]. Guangzhou Architecture, 2017(2): 12-17. (in Chinese))
- [21] 王建军,杨德礼. ELECTRE III 的一种排序新方法[J]. 系统工程, 2005(12): 95-98. (WANG J J, YANG D L. A new ranking method for ELECTRE III [J]. Systems Engineering, 2005(12): 95-98. (in Chinese))