

基于层次分析法的我国海水淡化开发利用潜力评价方法研究

王 静,刘淑静,陈爱慧,张拂坤,邢淑颖,李 磊

(自然资源部天津海水淡化与综合利用研究所,天津 300192)

摘要:海水淡化是缓解沿海地区水资源短缺的重要手段。利用层次分析法,开展了我国海水淡化开发利用潜力评价方法研究。从政策因素、社会经济因素、技术条件 3 个方面,构建了我国海水淡化开发利用潜力评价指标体系,对各指标影响作用权重进行了计算。以全国 11 个沿海省(区、市)为研究目标,对其海水淡化开发利用潜力进行了评价。研究结果表明,我国各沿海省(区、市)开发利用海水淡化的潜力由大到小分别是:河北、浙江、山东、天津、江苏、辽宁、海南、广东、广西、上海、福建。最后,结合影响我国海水淡化开发利用的主要因素,从战略定位、试点示范、财政补贴、自主创新 4 个方面,提出了进一步推进我国海水淡化开发利用的建议。

关键词:海水淡化;层次分析法;潜力评价;指标体系

中图分类号:P746

文献标志码:A

文章编号:1003-9511(2020)06-0012-03

我国沿海地区水资源短缺,随着国民经济和社会发展,对于水资源的需求更加迫切。海水淡化是水资源的开源技术,为缓解水资源短缺问题,沿海多地发布实施海水淡化政策规划,规划建设海水淡化工程。但因为种种原因,很多地方规划目标未能如期实现,且差距较大。为促进我国海水淡化健康发展,科学评估沿海地区海水淡化发展潜力,借鉴了水资源开发利用、农业灌溉节水、污水再生利用、可再生能源开发、旅游发展等有关领域潜力评价方法^[1-16],采用层次分析法(AHP)对海水淡化开发利用潜力进行评价。

1 我国海水淡化开发利用潜力评价指标体系

1.1 影响海水淡化开发利用潜力的指标

层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)是美国著名运筹学家 Satty 等人在 20 世纪 70 年代提出的一种定性和定量分析相结合的多准则决策方法,也是现代综合评价方法中使用较多的一种方法。

为评价我国海水淡化开发利用潜力,笔者把评价准则分成 3 个方面,分别是政策因素、社会经济因素、技术条件。在各评价准则中,与潜力正相关的指标为

正向指标,用“+”标识,即指标值越大评价越好;反之为负向指标,用“-”标识,即指标值越小评价越好。

a. 影响我国海水淡化开发利用潜力的政策因素。目前,在我国海水淡化产业发展条件下,沿海地方各种常规水资源及非常规水资源政策直接影响各地海水淡化发展潜力。针对我国水资源管理政策和措施,参考其他水资源潜力评价做法,笔者提炼出 8 项指标来反映政策因素的影响,分别是:-人均水资源量(m^3)、-传统水源供水量(亿 m^3)、-其他开源措施供水量(亿 m^3)、+生活水水价(元/ m^3)、+生活用水量(亿 m^3)、+工业用水量(亿 m^3)、+人均综合用水量(m^3)、+海水淡化优惠政策。

b. 影响我国海水淡化开发利用潜力的社会经济因素。发展海水淡化对保障国民经济和社会发展具有重要意义。社会经济发展,对海水淡化的需求随之增加。本文提出的社会经济影响因素分别为:+万元国内生产总值用水量(m^3)、+人口自然增长率(%)、+地区生产总值指数(无量纲)。

c. 影响我国海水淡化开发利用潜力的技术条件。海水淡化技术的进步对海水淡化产业发展具有显著的支撑作用。但对于各沿海省区市来说,在全

球一体化的环境下,无论当地是否拥有海水淡化技术支持院所、企业,其获得国内外成熟海水淡化技术的便易程度是均等的。而沿海各省(区、市)海水淡化工程规模以及拟建海水淡化规模可以在一定程度上体现出当地在建设海水淡化工程方面的技术经验。因此,笔者提出的技术条件指标包括: + 海水淡化工程规模(万 m³/d)、+ 拟建海水淡化工程规模(万 m³/d)。

图 1 为我国海水淡化开发利用潜力评价指标体系。

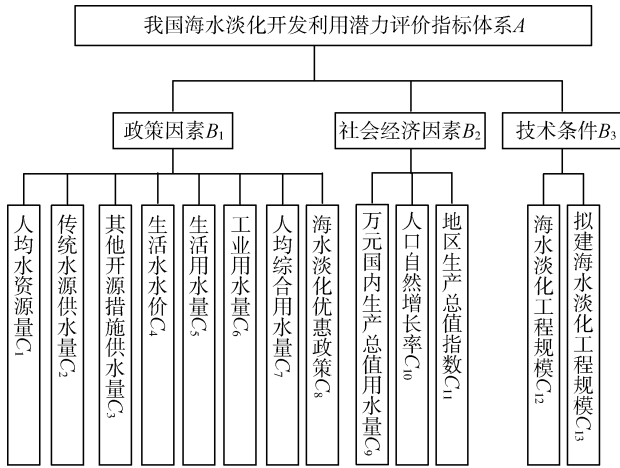


图 1 我国海水淡化开发利用潜力评价指标体系

1.2 指标权重计算

为了得出我国沿海各省(区、市)海水淡化开发利用潜力的评价结果,需要确定指标体系各层次的权重。通过构造两两比较判断矩阵、层次单排序、层次总排序、一致性检验,计算出我国海水淡化开发利用潜力评价指标权重值,如表 1 所示。

2 沿海省(区、市)海水淡化开发利用潜力测算

2.1 评价数据来源

以辽宁、天津、河北、山东、江苏、上海、浙江、福建、广东、广西、海南等沿海省、自治区、直辖市为研

表 1 我国海水淡化开发利用潜力评价指标及权重

一级指标	权重	二级指标	权重	总排序权重
B ₁	0.76	C ₁	0.038	0.029
		C ₂	0.038	0.029
		C ₃	0.038	0.029
		C ₄	0.106	0.080
		C ₅	0.108	0.082
		C ₆	0.108	0.082
		C ₇	0.108	0.082
		C ₈	0.456	0.347
B ₂	0.08	C ₉	0.333	0.027
		C ₁₀	0.333	0.027
		C ₁₁	0.333	0.027
B ₃	0.16	C ₁₂	0.500	0.079
		C ₁₃	0.500	0.079

究对象。其中,人均水资源量、人口自然增长率、地区生产总值指数等指标数据来源于国家统计局 2017 年数据;传统水源供水量、其他开源措施供水量、生活用水量、工业用水量、人均综合用水量、万元国内生产总值用水量等指标数据来源于《2017 年中国水资源公报》;海水淡化优惠政策指标数据根据沿海各地方出台的海水利用政策规划情况进行打分赋值;生活水水价指标选取该省(区、市)主要海水淡化应用城市居民自来水第一阶梯水价,海水淡化工程规模指标数据来源于《2017 年全国海水利用报告》^[17];拟建海水淡化工程规模指标数据来源于国家及沿海地方海水利用相关规划等。表 2 为沿海省(区、市)各评价指标原始数据。

2.2 指标数据标准化方法

为增强指标数据的可比性,需要对数据进行标准化处理,将计量值统一在标准化 0~1 的范围中。由于处理的解释因子中存在正向指标和负向指标,正向相关指标采用式(1)处理,负向相关指标采用式(2)处理,结果见表 3。

本文对各个解释因子采取极值标准化处理,公式为

$$Z_i = \frac{X_i - X_{i\min}}{X_{i\max} - X_{i\min}} \quad (\text{正向相关指标}) \quad (1)$$

表 2 沿海省(区、市)各评价指标原始数据

省(区、市)	C ₁ /m ³	C ₂ /亿 m ³	C ₃ /亿 m ³	C ₄ /(元·m ⁻³)	C ₅ /亿 m ³	C ₆ /亿 m ³	C ₇ /m ³	C ₈	C ₉ /m ³	C ₁₀ /%	C ₁₁	C ₁₂ /(万 m ³ ·d ⁻¹)	C ₁₃ /(万 m ³ ·d ⁻¹)
辽宁	425.98	126.9	4.2	2.30	25.4	18.6	300	1	55	-0.044	104.2	8.77	100.0
天津	83.36	23.6	3.9	4.90	6.1	5.5	176	2	15	0.260	103.6	31.72	60.0
河北	184.53	175.4	6.2	5.30	27.0	20.3	242	2	50	0.660	106.6	17.35	120.0
山东	226.14	200.8	8.7	3.50	34.6	28.8	210	2	29	1.014	107.4	28.26	50.0
江苏	490.27	583.7	7.7	3.05	58.5	250.1	738	1	69	0.268	107.2	0.51	1.0
上海	140.56	104.8	0.0	3.45	24.6	62.7	433	0	35	0.280	106.9	0.00	3.0
浙江	1592.07	177.5	2.0	4.30	47.0	46.1	319	2	35	0.636	107.8	22.78	23.0
福建	2711.88	191.4	0.7	2.20	33.2	64.4	493	0	59	0.880	108.1	1.12	3.0
广东	1611.87	431.1	2.3	2.67	100.9	107.0	391	0	48	0.916	107.5	8.13	10.0
广西	4912.06	283.6	1.4	3.32	40.2	46.0	586	0	140	0.892	107.1	0.00	1.5
海南	4165.74	45.4	0.2	1.65	8.4	3.0	494	1	102	0.872	107.0	0.27	3.0

表3 沿海省(区、市)海水淡化开发利用潜力评价体系指标数据标准化

省(区、市)	C ₁ '	C ₂ '	C ₃ '	C ₄ '	C ₅ '	C ₆ '	C ₇ '	C ₈ '	C ₉ '	C ₁₀ '	C ₁₁ '	C ₁₂ '	C ₁₃ '
辽宁	0.93	0.82	0.52	0.18	0.20	0.06	0.22	0.5	0.32	0.00	0.13	0.28	0.83
天津	1.00	1.00	0.55	0.89	0.00	0.01	0.00	1.0	0.00	0.29	0.00	1.00	0.50
河北	0.98	0.73	0.29	1.00	0.22	0.07	0.12	1.0	0.28	0.67	0.67	0.55	1.00
山东	0.97	0.68	0.00	0.51	0.30	0.10	0.06	1.0	0.11	1.00	0.84	0.89	0.41
江苏	0.92	0.00	0.11	0.38	0.55	1.00	1.00	0.5	0.43	0.29	0.80	0.02	0.00
上海	0.99	0.86	1.00	0.49	0.20	0.24	0.46	0.0	0.16	0.31	0.73	0.00	0.02
浙江	0.69	0.73	0.77	0.73	0.43	0.17	0.25	1.0	0.16	0.64	0.93	0.72	0.18
福建	0.46	0.70	0.92	0.15	0.29	0.25	0.56	0.0	0.35	0.87	1.00	0.04	0.02
广东	0.68	0.27	0.74	0.28	1.00	0.42	0.38	0.0	0.26	0.91	0.87	0.26	0.08
广西	0.00	0.54	0.84	0.46	0.36	0.17	0.73	0.0	1.00	0.88	0.78	0.00	0.00
海南	0.15	0.96	0.98	0.00	0.02	0.00	0.57	0.5	0.70	0.87	0.76	0.01	0.02

$$Z_i = \frac{X_{imax} - X_i}{X_{imax} - X_{imin}} \quad (\text{负向相关指标}) \quad (2)$$

式中: Z_i 为标准化后的指标值; X_i 为某项解释因子指标中的一个数值; X_{imax} 为某项解释因子的最大值; X_{imin} 为某项解释因子的最小值。

2.3 沿海各省(区、市)海水淡化发展潜力值

根据层次分析法得到各指标排序权重以及各指标标准化的数值,计算出我国各沿海省(区、市)海水淡化发展潜力值(表4)。

表4 沿海省(区、市)海水淡化发展潜力值

省(区、市)	政策因素		社会经济因素		技术条件		潜力评价	
	得分	排名	得分	排名	得分	排名	得分	排名
辽宁	0.294	6	0.013	10	0.088	4	0.395	6
天津	0.493	3	0.008	11	0.118	2	0.619	4
河北	0.518	2	0.044	7	0.122	1	0.684	1
山东	0.475	4	0.053	5	0.103	3	0.631	3
江苏	0.444	5	0.042	8	0.001	9	0.487	5
上海	0.195	9	0.032	9	0.001	10	0.228	10
浙江	0.538	1	0.046	6	0.072	5	0.656	2
福建	0.161	11	0.061	3	0.004	7	0.226	11
广东	0.219	8	0.054	4	0.026	6	0.299	8
广西	0.180	10	0.072	1	0.000	11	0.252	9
海南	0.282	7	0.062	2	0.002	8	0.346	7

由表4可以看出,在综合考虑了水资源现状、海水淡化产业政策情况、国民经济社会发展需求、海水淡化发展现状等情况下,我国各沿海省(区、市)开发利用海水淡化的潜力由大到小分别是:河北、浙江、山东、天津、江苏、辽宁、海南、广东、广西、上海、福建。

3 推进我国海水淡化开发利用的相关建议

a. 明确海水淡化水的战略定位,逐步提升海水淡化水在水资源配置体系中的比例。充分释放已建海水淡化工程产能,强化配置手段,明确海水淡化水作为重要水源纳入沿海地区水资源配置体系,并逐年提高其比例,构建多水源供水保障体系。

b. 以试点示范推进海水淡化在沿海规模化的

应用。选取青岛、天津等需求迫切的沿海缺水城市,开展规模化海水淡化供水应用试点工作,实现海水淡化水为工业、市政不同领域供水的典型示范,并向全国推广。

c. 加大财政资金对海水淡化的投入和补贴。建议国家及地方财政对海水淡化工程建设给予适当的建设投资补贴,推动地方政府对淡化水实行政府购买,建立海水淡化水入管网差额补贴以及电价优惠等政策,降低企业制水成本。

d. 加强海水淡化技术的自主创新。建议国家对海水淡化科技创新予以集中投入,重点突破反渗透膜、能量回收装置、海水高压泵等“卡脖子”技术装备,促进技术产业迭代升级,提升海水淡化自主创新能力和核心竞争力。

参考文献:

[1] 杨世杰,陈义华. 基于 AHP 的水资源可持续利用潜力评价:以山东半岛蓝色经济区为例[J]. 中国农村水利水电,2014(4):83-89.

[2] 刘凡,李逸云,李泽文,等. 节水潜力预测研究综述[J]. 水利经济,2018,36(6):41-47.

[3] 邹川玲,刘淑静,张拂坤,等. 海水淡化项目综合评价指标体系研究[J]. 工业水处理,2019(4):12-15.

[4] 倪志楠,李琼芳,王凯燕,等. 基于经济新常态的长春市水资源开发利用潜力评价[J]. 水利经济,2018,36(2):10-14.

[5] 曹淑敏,陈莹. 我国非常规水源开发利用现状及存在问题[J]. 水利经济,2015,33(4):47-49.

[6] 邹川玲,刘淑静,张拂坤. 基于能值理论的海水淡化系统对比分析[J]. 水利经济,2018,36(2):24-27.

[7] 陈爱慧,刘淑静,王静,等. 基于面板数据的广东省海水利用产业竞争力实证分析[J]. 水利经济,2019,37(2):13-17.

(下转第19页)

[9] 绿色金融助力福建“河长治”[J]. 水利科技,2018(1):32.

[10] 马颖卓,陈运东. 践行习近平生态文明思想 扛起永定河综合治理与生态修复历史重任:访永定河流域投资有限公司董事长孙国升[J]. 中国水利,2019(12):1-2.

[11] 田贵良,韦丁. 基于贝叶斯学习模型的水权交易谈判议价模型与仿真[J]. 水利经济,2019,37(1):26-31

[12] 陈艳萍,朱瑾,吴凤平. 我国水权交易价格研究综述:基于 CiteSpace 的可视化图谱分析[J]. 水利经济,2020,38(4):60-67.

[13] 曹淑敏. 合同节水模式下节水量纳入水权交易的有关问题与对策[J]. 水利经济,2019,37(4):36-38.

[14] 王慧. 水权交易的理论重塑与规则重构[J]. 苏州大学

学报(哲学社会科学版),2018(6):73-84.

[15] 杨君伟. 现代水利需要大企业[N]. 中国水利报,2005-12-24(1).

[16] 王寅,任亮,王崴,等. 基于合同节水管理模式的水权交易可行性研究[J]. 水利经济,2019,37(4):39-41.

[17] 卢汉文,王宇恒. 构建绿色金融体系服务生态文明建设发展战略[J]. 银行家,2019(1):102-104.

[18] 冯俊. 绿色金融助力长江经济带国家战略的对策思考[J]. 金融与经济,2017(6):31-34,67.

[19] 金彦婷,秋玉琴,杨惠芳. 嘉兴市“五水共治”的金融支持优化研究[J]. 科技视界,2016(2):14,22.

(收稿日期:2020-05-29 编辑:陈玉国)

(上接第 11 页)

4.4 以完善指标体系为前提,建立健全现代化评估机制

水利现代化建设是一项长期而系统的工程,应进一步加强水利现代化指标修订、动态监测、跟踪和评估工作。适应经济社会发展的要求和治水思路的重大调整,不断修正和完善水利现代化评价指标体系,发挥指标的引领作用。建立健全水利现代化评估机制,加强对水利现代化实施情况的动态监测和定期评估,建立常态化评估工作机制,形成规范化的成果定期发布机制,把评估结果作为衡量地方水利现代化工作成效和安排中央水利项目投资的重要依据。此外,在水利现代化试点的基础上,加快探索研究符合东中西部不同地域特点和经济社会发展水平的水利现代化发展模式和实现路径。

参考文献:

[1] 水利部发展研究中心. 我国水利现代化进程评估 2019 年[R]. 北京:水利部发展研究中心,2019.

[2] 樊霖,王梦晗. 推进水利现代化试点工作有关情况和建议[J]. 水利发展研究,2018(7):30-33.

[3] 顾浩,矫勇,张国良,等. 中国水利现代化研究[M]. 北京:中国水利水电出版社,2004.

[4] 顾浩. 中国水利现代化研究[J]. 水利水电技术,2004,35(1):26-29.

[5] 王亚华,黄译萱. 中国水利现代化进程的评价和展望[J]. 中国人口·资源与环境,2012,22(6):120-127.

[6] 傅春,杨志峰,刘昌明. 水利现代化的内涵及评价指标体系的建立[J]. 水科学进展,2002,13(4):502-506.

[7] 欧建锋,叶健,程吉林. 主成分分析法在江苏水利现代化评价中的应用[J]. 人民长江,2010,41(2):97-100.

[8] 刘洪超,杨路华,陈凯. 我国农村水利现代化评价指标体系与评价模型[J]. 水利经济,2015,33(4):15-23.

[9] 吴丹. 中国水利绿色现代化发展进程评价与战略构想[J]. 中国人口·资源与环境,2015,25(9):114-123.

[10] 张旺,庞靖鹏. 我国水利现代化进程初步评估(上)[J]. 水利发展研究,2013(5):39-43.

[11] 张旺,庞靖鹏. 我国水利现代化进程初步评估(下)[J]. 水利发展研究,2013(6):12-14.

[12] 中国现代化报告课题组. 中国现代化报告[M]. 北京:北京大学出版社,2003.

[13] 张旺. 建设现代化水利强国的认识和建议[J]. 水利发展研究,2019(5):1-3.

[14] 沈凤生. 新时代加快推进水利基础设施网络现代化建设的若干思考[J]. 中国水利,2018(9):20-22.

[15] 赵伟,张梦然,杨晴,等. 高质量谋划水利基础设施网络的工作思路与建议[J]. 中国水利,2019(16):5-12.

(收稿日期:2020-01-10 编辑:胡新宇)

(上接第 14 页)

[8] 姜新慧,徐其士. 农业灌溉节水潜力评价[J]. 华北水利水电学院学报,2012,33(3):27-29.

[9] 刘秀丽,张标. 我国水资源利用效率和节水潜力[J]. 水利水电科技进展,2015,35(3):5-10.

[10] 刘静,余钟波. 基于水足迹理论的中国水资源压力评价[J]. 水资源保护,2019,35(5):35-39.

[11] 姚偶. 银川市旅游发展潜力评价研究[J]. 价值工程,2018(33):31-35.

[12] 周兴波,杜效鹤. 2018 年全球水电发展现状与开发潜力分析[J]. 水利水电科技进展,2019,39(3):18-23.

[13] 陆晓梅. 森林养生旅游开发潜力评价研究[D]. 合肥:

合肥工业大学,2017.

[14] 艾亚迪,魏传江,马真臻. 基于 AHP-熵权法的西安市水资源开发利用程度评价[J]. 水利水电科技进展,2020,40(2):11-16.

[15] 沈义. 我国太阳能的空间布局及地区开发利用综合潜力评价[D]. 兰州:兰州大学,2014.

[16] 唐莲,刘超. 基于供需平衡的城市污水再生利用潜力预测[J]. 节水灌溉,2014(11):56-59.

[17] 自然资源部海洋战略规划与经济司. 2017 年全国海水利用报告[R]. 北京:自然资源部,2018.

(收稿日期:2019-11-27 编辑:罗丹)