

基于灰色关联度的水资源综合评价模型

——以乌鲁木齐市为例

苏慧琳, 顾秀松, 陈 蓓

陆军工程大学基础部, 江苏 南京
Email: txhlsu@163.com

收稿日期: 2021年3月24日; 录用日期: 2021年8月13日; 发布日期: 2021年8月20日

摘 要

乌鲁木齐市作为资源性缺水地区, 近年来随着经济的高速增长、人口的增加以及工业化和城市化的快速推进, 水资源所承受的压力进一步加大, 水资源的短缺严重制约了该地区经济社会发展和居民生活质量的提高。本文建立了基于灰色关联度的水资源综合评价模型, 用水资源承载力来衡量乌鲁木齐市水资源的供给能力, 并对缓解乌鲁木齐水资源短缺提出了一些建议。

关键词

水资源承载力, 灰色关联度, 综合评价模型

Comprehensive Evaluation Model of Water Resources Based on Gray Correlation Degree

—Taking Urumqi City as an Example

Huilin Su, Xiusong Gu, Bei Chen

Department of Elementary Education, Army Engineering University of PLA, Nanjing Jiangsu
Email: txhlsu@163.com

Received: Mar. 24th, 2021; accepted: Aug. 13th, 2021; published: Aug. 20th, 2021

Abstract

Urumqi is a resource-based water shortage area. In recent years, the rapid growth of economy, the increase of population and the rapid promotion of industrialization and urbanization, have further increased the pressure on water resources. The shortage of water resources has seriously re-

stricted the economic and social development and the improvement of residents' quality of life in this area. In this paper, a comprehensive evaluation model of water resources based on grey correlation degree is established to measure the supply capacity of water resources in Urumqi, and some suggestions are put forward to alleviate the shortage of water resources in Urumqi.

Keywords

Water Resources Carrying Capacity, Gray Correlation Degree, Comprehensive Evaluation Model

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

地球上 71% 的面积被水覆盖, 但海水占了 97.2%, 陆地淡水仅占 2.8%, 与人类生活最密切的江河、淡水湖和浅层地下水等淡水, 仅占淡水储量的 0.34%。随着社会的发展、城市的不断扩张和人口的增长, 用水需求量已经超过了水资源天然循环的可供量, 特别是在全球变暖、生态环境问题突出的现今社会, 在某些城市和地区已经明显地表现出了“水资源危机”, 解决水资源短缺和污染问题成为人类现在乃至未来的头等大事。

水资源承载力目前来说是水资源科学领域的一个研究热点, 施雅风、曲耀光等对乌鲁木齐流域的水资源承载力进行了评价[1], 开启了水资源承载力的初期研究。此后, 国内学者对水资源承载力的评价研究加深, 进一步完善和提高水资源承载力的理论基础。如张雪花等基于系统动力学多目标规划整合模型对秦皇岛市的水资源利用方式进行改善[2]。近几年, 对于区域水资源承载力的评价方法有了创新和突破, 如孙才志等提出了基于信息论中的 Jaynes 最大信息熵原理的水资源承载力评价模型, 并对黄河流域地区的水资源承载力进行评价[3] [4] [5] [6] [7]。然而, 上述研究均未从长时间序列的角度研究水资源承载力的变化过程。鉴于此, 本文采用灰色关联度的水资源承载力综合评价模型来衡量某地区的水资源供给能力, 选取需水模数、供水模数、人均供水量、单位 GDP 用水量、单位工业增加值用水、年均降水量、COD 排放强度, 氨氮量排放强度等 8 个指标对乌鲁木齐市 2009~2018 年水资源承载力进行评价, 并提出改善水资源承载力的对策及建议, 该研究结果可为当地相关部门提供决策参考和依据。

2. 研究对象概况及数据来源

2.1. 研究对象概况

乌鲁木齐地处中国西北地区、新疆中部、亚欧大陆中心、天山山脉中段北麓、准噶尔盆地南缘, 毗邻中亚各国, 是新疆的政治、经济、文化、科教和交通中心, 世界上距离海洋最远的大城市, 是第二座亚欧大陆桥中国西部桥头堡和中国向西开放的重要门户, 是世界上最内陆、距离海洋和海岸线最远的大型城市(2500 千米)。但乌鲁木齐是水资源严重短缺地区, 虽然在水资源利用方面取得一定进展, 但问题依然没有缓解。

乌鲁木齐存在着冰川融水、地表径流和地下径流等不同形态的水资源, 降水是水资源的补给来源, 降水的变化直接影响水资源的变化。乌鲁木齐有大小河流 46 条, 但由于水资源总量不足, 时间、空间分布不均, 造成严重的水资源紧缺。据统计, 2012 年乌鲁木齐水资源总量为 $9.969 \times 10^8 \text{ m}^3$ [8], 人均均为 321 m^3 , 远远低于联合国人均 500 m^3 的极度缺水标准。

2.2. 数据来源

本文涉及 2010~2019 年乌鲁木齐市指标数据，主要来源于《乌鲁木齐市统计年鉴》、国家数据网、国家统计局等官方网站。

3. 基于灰色关联度对水资源供给能力的综合评价模型

3.1. 评价指标体系的建立

水资源承载力评价指标的选取非常关键。在指标的选取中要遵循全面性、科学性、可操作性、时效性等原则。从经济、社会、环境三方面来考虑影响供水和需水的动态因素，本文选取了人均水资源量、水资源利用率、单位 GDP 用水量、单位工业增加值用水量、农田灌溉亩均用水量、年均降水量、生态用水量等 7 个指标用来衡量乌鲁木齐市水资源承载力。如图 1 所示。

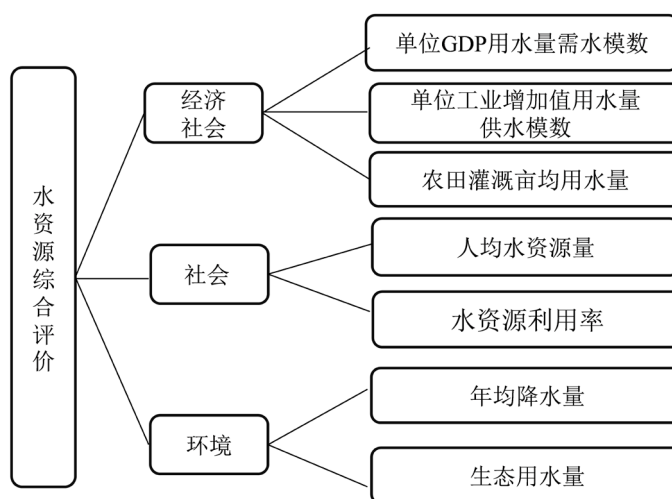


Figure 1. Water resource evaluation index system

图 1. 水资源评价指标体系

3.2. 评价指标权重的确定

“经济 - 社会 - 环境”系统属于不确定性的灰色系统，且由于数据资料的局限性，不适宜采用其他数理方法，故选用灰色关联度进行权重计算[5]。灰色关联度加权的步骤如下：

Step1: 确定分析序列

确定参考序列 $X_0 = \{x_0(t), t=1, 2, \dots, m\}$ ，比较序列 $X_i = \{x_i(t), t=1, 2, \dots, m; i=1, 2, \dots, n\}$ ，将各指标进行无量纲化后构成矩阵：

$$\begin{pmatrix} x_0(1) & x_1(1) & \cdots & x_n(1) \\ x_0(2) & x_1(2) & \cdots & x_n(2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_0(m) & x_1(m) & \cdots & x_n(m) \end{pmatrix}_{m \times (n+1)}$$

Step2: 求差序列、最大差和最小差

求参考序列与比较序列对应绝对差值：

$$y_{0i}(t) = |x_0(t) - x_i(t)|$$

构成差值矩阵:

$$\begin{pmatrix} y_{01}(1) & y_{02}(1) & \cdots & y_{0n}(1) \\ y_{01}(2) & y_{02}(2) & \cdots & y_{0n}(2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ y_{01}(m) & y_{02}(m) & \cdots & y_{0n}(m) \end{pmatrix}_{m \times n}$$

绝对差值阵中最大数和最小数, 即为最大差和最小差:

$$y_{\max} = \max_{\substack{1 \leq i \leq n \\ 1 \leq t \leq m}} \{y_{0i}(t)\}, y_{\min} = \min_{\substack{1 \leq i \leq n \\ 1 \leq t \leq m}} \{y_{0i}(t)\}.$$

Step3: 计算关联系数

由于绝对差值数据序列的数据间存在着较大的数量级差异, 不能直接进行综合, 利用分辨系数 ρ 对其进行规范化, 则关联系数

$$r_{0i}(t) = \frac{y_{\min} + \rho y_{\max}}{y_{0i}(t) + \rho y_{\max}}.$$

关联系数取值常在 0.1~0.5 范围内, 取值越小, 则关联系数差异越明显。

得到关联系数矩阵

$$\begin{pmatrix} r_{01}(1) & r_{02}(1) & \cdots & r_{0n}(1) \\ r_{01}(2) & r_{02}(2) & \cdots & r_{0n}(2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{01}(m) & r_{02}(m) & \cdots & r_{0n}(m) \end{pmatrix}_{m \times n}$$

Step4: 计算关联度

$$r_i = \frac{1}{m} \sum_{t=1}^m r_{0i}(t)$$

Step5: 归一化加权

权重系数:

$$\omega_i = \frac{r_i}{\sum_{i=1}^n r_i}$$

3.3. 综合评价等级的确定

选取线性加权组合法作为综合评价模型, 相应的综合评价函数为:

$$y = \sum_{i=1}^n \omega_i p_i$$

根据综合评价模型, 将水资源承载力指数划分为 5 个等级(见表 1), 根据水资源承载力指数值来判断该地区的供水能力情况。

Table 1. Comprehensive index classification standard

表 1. 综合指数等级划分标准

综合评价等级	A	B	C	D	E
水资源承载力指数	0~0.35	0.35~0.50	0.50~0.75	0.75~0.95	0.95~1
供水能力	较弱	弱	一般	好	强

由灰色关联度加权的步骤求得各指标权重见表 2:

Table 2. Weight of each index
表 2. 各指标权重

指标名称	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
权重	0.1	0.1	0.3	0.15	0.15	0.1	0.1

由此可见, 农田灌溉亩均用水量、人均水资源量和水资源利用率反映了这个地区水资源条件和可持续利用程度, 对水资源承载能力影响较大。

3.4. 结果分析

利用灰色关联度加权法综合评价模型, 根据上述计算方法可得到 2010~2019 年乌鲁木齐市水资源承载力综合评价指标值, 计算结果见表 3。

Table 3. Comprehensive evaluation results of Urumqi from 2010~2019
表 3. 乌鲁木齐市 2010~2019 年水资源承载力综合评价结果

年份	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
评分	0.4891	0.5102	0.4612	0.5291	0.4711	0.5092	0.5193	0.4910	0.5545	0.4980
等级	弱	一般	弱	一般	一般	弱	一般	弱	一般	弱

根据表 3 可知, 2010~2019 年乌鲁木齐市水资源承载力综合评分值均在 0.45~0.56 之间, 综合评分值比较低, 表明近十年来该市的水资源承载力较弱, 水资源开发具有较大潜力, 水资源供给具有一定保证。由图 2 可看出水资源承载力整体上呈上升趋势, 但上升幅度不大, 且出现上下波动的现象, 水资源承载力系统呈现出良性发展态势。

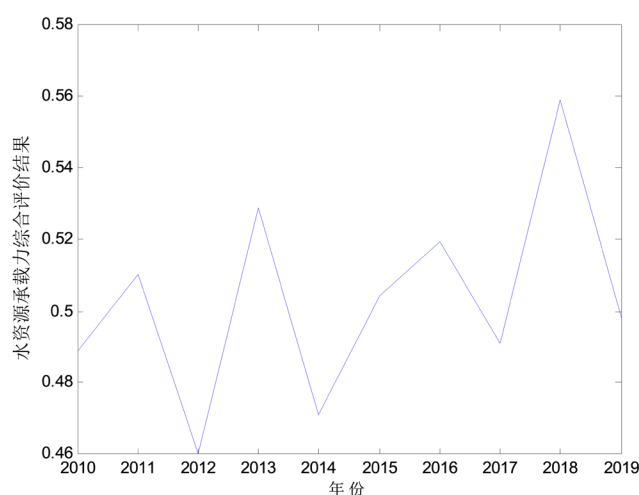


Figure 2. Comprehensive evaluation value of water resources carrying capacity in Urumqi
图 2. 乌鲁木齐市水资源承载力综合评价值

4. 乌鲁木齐水资源匮乏的解决对策

近年来, 乌鲁木齐市同时面临着水资源短缺和水环境污染问题, 未来的水资源将无法

求,亟需进行相关干预[9][10][11][12],制定一些措施来提高水资源利用率,缓解水资源短缺问题。

1) 加强水利基础设施建设。为解决“跑、冒、滴、漏”造成水资源大量浪费的问题,需加强输水管道、水站、泵站等基础设施的维修和更新,减少和避免水资源在运输过程中的浪费,提高水的利用率。

2) 建立和完善水价。研究表明[5],进行一定的水价调整可以减少用水量,若水价提高10%,家庭用水将降低3%~7%。采用经济手段进行调控,改革水费计费方式,可以促进水资源的保护和利用。

3) 提高污水处理技术和中水利用率。据有关资料显示,城市供水的80%转化为污水,如果污水经过收集处理后,70%的再生水可以循环使用。再生水可用于地下水回灌,地下水源补给,防治地面沉降;用于工业可作为冷却用水、洗涤用水和锅炉用水等方面;用于农、林、牧业用水,可作为农作物的灌溉、种植;用于浇洒公园、绿地的草坪和树木等以及用于冲洗街面道路。

4) 大力发展节水灌溉,提高农业用水利用率。乌鲁木齐用水主要是农业用水,传统的漫灌法极大地浪费了水资源,为了提高农业用水率,采用先进的滴灌、喷灌等技术,可以节约灌水量30%到70%。

5) 提高雨水收集技术。由于乌鲁木齐水资源匮乏,降水量少,对雨水的充分利用十分重要。提高雨水的收集技术,在丰水期时,对雨水的收集处理利用可以在一定程度上缓解供需矛盾。

6) 倡导节约用水,加大宣传力度,提高全民节水意识。解决水资源紧缺,紧靠设施的完善和政策的制定是远远不够的,应做一些从思想上提高惜水和节水意识,更有效地缓解水资源短缺问题。

5. 结论

人类的生产生活都离不开水,随着社会的发展,水资源渐渐成为一种战略资源,淡水总量越来越少,水资源供需矛盾日益突出。因此,合理配置水资源变得越来越重要。

本文首先建立了基于灰色关联度加权的综合评价模型,综合考虑水资源供水和需水动态因素,用水资源承载力来衡量某地区的供水能力。为此,结合乌鲁木齐地理环境条件,制定了一系列缓解水资源短缺的干预措施。

参考文献

- [1] 施雅风,曲耀光. 乌鲁木齐河流域水资源承载力及其合理利用[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 210-220.
- [2] 张雪花,郭怀成,张宝安. 系统动力学——多目标规划模型在秦皇岛市水资源规划中的应用[J]. 水科学进展, 2002, 13(3): 351-357.
- [3] 孙才志,左海军,杨静. 基于极大熵原理的黄河流域水资源承载力研究——以山西段为例[J]. 资源科学, 2004, 26(2): 17-22.
- [4] 王暄. 基于模糊综合评判法的塔里木河流域水资源承载力评价[J]. 广东水利水电, 2010(8): 46.
- [5] 吕洁. 规划环境影响评价中的水资源评价研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2012.
- [6] 肖淮仁. 攀枝花市水资源供需平衡分析及可持续利用研究[D]: [硕士学位论文]. 雅安: 四川农业大学, 2012.
- [7] 戴晓晖. 多目标线性规划在水资源优化调度中的应用研究——以乌鲁木齐河为例[J]. 新疆农业大学学报, 1996, 19(1): 39-45.
- [8] 乌鲁木齐市人民政府. 水资源[Z/OL]. <http://www.urumqi.gov.cn/zisf2/zrdl/184.htm>, 2019-06-20.
- [9] 朱江. 乌鲁木齐水资源预测及优化配置[J]. 水利科技与经济, 2014, 20(1): 81-82.
- [10] 栾凤娇,周金龙,贾瑞亮,等. 乌鲁木齐市水资源与水环境问题及对策[J]. 水利科技与经济, 2015, 37(5): 82-85.
- [11] 张润杰. 乌鲁木齐市水资源存在的问题及对策[J]. 人民长江, 2008, 39(3): 62-63.
- [12] 段新光,栾芳芳. 基于模糊综合评判的新疆水资源承载力评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(3): 119-121.