

太原市用水量影响因素的灰色关联分析

成晋松, 吕惠进, 刘玲

(浙江师范大学 地理与环境科学学院, 浙江 金华 321004)

摘 要: 城市用水紧张已经成为城市经济发展的瓶颈。本文运用灰色关联分析法, 对影响太原市用水量的因子进行排序后发现: 水的重复利用率是影响太原市用水量的主要因子, 其次为人口数量和水价, 而人均收入和工业总产值的影响较小。据此提出提高水资源重复利用率实现水循环; 控制人口数量, 协调供需矛盾; 调节水价, 推动节水工作等措施。从而达到节约用水, 促进经济发展的目的。

关键词: 城市用水量; 水重复利用率; 灰色关联分析; 太原市

中图分类号: TV21; TU991.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2012)02-0109-03

Grey relational analysis of influence factors on water consumption in Taiyuan City

CHENG Jinsong, LÜ Huijin, LIU Ling

(College of Geography and Environmental Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China)

Abstract: City water stress has become the bottleneck of the city's economic development. With the help of the grey relational analysis, the paper ranked the influence factors affecting water consumption in Taiyuan City. The results indicate that the reuse of water is the main factor, followed by population and water price, percapita income and gross industrial output less affect water consumption. Accordingly, this article proposes to raise water reuse in order to realize water cycle; controlling population can coordinate the contradiction of water supply and demand; regulation of water price can promote water saving so that obtain save water and promote the economic development.

Key words: urban water consumption; rate of water reuse; grey relational analysis; Taiyuan City

1 研究背景

水资源危机是当今世界上许多国家面临的重大课题之一。目前, 全世界有 80 多个国家饮水得不到保障, 全球每年有许多人因缺水而死亡^[1]。因此, 国外的许多学者从 1950 年开始就对造成缺水的因素进行研究和分析。例如, 澳大利亚的学者 May 等人认为水价、人口、居民人均收入、年降雨量等是影响用水量的重要因素^[2]。D. Day 和 C. Howe 分析了最高日用水量产生影响的非气候因素, 并对最高日用水量进行了预测^[3]。

近年来, 我国许多地区和城市缺水日益严重。在 600 多个城市中, 有 400 多个城市供水不足, 其中严重缺水的城市有 110 个, 城市年缺水总量达 60 亿 m³。特别是在北方和滨海的一些大中城市更为突出。因此, 我国的许多学者也对我国的水资源进行了评价。相对于外国学者的研究, 我国的学者注重

对用水量进行预测。例如, 张洪国、赵洪宾、蒋洪江^[4]利用灰色模型预测建立年用水量预测模型; 吕谋等建立了城市用水量预测实用动态模型^[5]; 黄和平等利用神经网络建立灌区引水量和城市用水量模型^[6-7]。

山西省地处内陆, 多年平均年降水量为 500 mm 左右, 境内大部分地区为半干旱气候, 水资源十分贫乏。太原作为山西省的省会城市, 作为全国著名的能源重化工城市, 随着经济社会的快速发展、大规模的开发建设、人口的不断增加和自然环境的不断变化, 缺水状况更为严重。

造成城市缺水的因素有很多, 其中城市用水量的多少是其主要因素。对城市中长期用水量的影响因素有工业总产值、人均年收入、水的重复利用率、人口数量及水价等。本文采用灰色关联分析方法对太原市近 10 年的用水量影响因素进行分析, 以期揭示影响太原市用水量的主要影响因素。

收稿日期: 2011-11-15; 修回日期: 2011-11-25

作者简介: 成晋松(1982-), 男, 山西阳城人, 在读硕士, 研究方向: 地质环境评价。

2 灰色关联分析

2.1 灰色关联分析简介

灰色关联分析是灰色系统理论的一种分析方法,它是依据因子之间发展态势的相似或相异程度来衡量因子间关联程度的方法。在系统发展变换过程中,如果两个因素变化的趋势具有一致性或相似性,那么它们的同步变化程度就会比较高,这两个因素之间的关联程度就越高;相反则它们的关联度就相对较低。灰色关联度法具有样本需求量少,数据不需要有规律性分布形式,计算方法简便、工作量少,定量分析结果与定性分析结果一致,精准度高,适用范围广的优势^[8]。

灰色关联分析的基本原理为:

设一母序列 $x_0(t)$ 和子序列 $x_i(t)$, 先对 $x_0(t)$ 和 $x_i(t)$ 进行无量纲化处理,并且记它们在 t 时刻的绝对差值为:

$$\Delta_{0i}(t) = |x_0(t) - x_i(t)|, (t = 1, 2, \dots, n)$$
 (1)

二级最大差值为:

$$\Delta_{\max} = \max_i \max_t |x_0(t) - x_i(t)|$$
 (2)

二级最小差值为:

$$\Delta_{\min} = \min_i \min_t |x_0(t) - x_i(t)|$$
 (3)

关联系数 ξ 是反映第 i 个比较序列 x_i 与参考序列 x_0 在第 t 期的关联程度,其计算公式为:

$$\xi_{0i}(t) = \frac{\Delta_{\min} + \Delta k_{\max}}{\Delta_{0i}(t) + \Delta k_{\max}}$$
 (4)

式中: k 为分辨系数(其取值不影响母序列和子序列的关联度分析), $k \in (0, 1)$ 。

由(4)式可以得出关联度为:

$$\gamma_{0i} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \xi_{0i}(t)$$
 (5)

式中:关联度 γ_{0i} 表示母序列 $x_0(t)$ 和子序列 $x_i(t)$ 之间相关的程度, γ_{0i} 的数值越大,表示 $x_0(t)$ 与 $x_i(t)$ 的相关程度越高。

2.2 参考序列与比较序列的确定

太原市用水量的变化与不同影响因子的关联度大小不一,需要对各影响因子与用水量之间的关联度大小作出判断并排序,以确定影响用水量大小的主导因素。将用水量随年份的变化的数列设为母序列 X_0 (亿 m^3),选取工业总产值(X_1 , 亿元)、人均年收入(X_2 , 元)、水的重复利用率(X_3 , %)、人口数量(X_4 , 万人)和综合平均水价(X_5 , 元)等数据作为子序列,将二者建立关联模型(表 1)。

表 1 太原市用水量与影响用水量的因子

年份	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
2001	5.440	332.00	6500	91.5	336.39	1.95
2002	5.503	347.73	7376	91.6	338.29	2.08
2003	5.582	517.80	8264	92.4	339.84	2.12
2004	5.671	708.28	9353	93.2	341.38	2.25
2005	5.717	1000.39	10476	96.9	342.85	2.30
2006	5.811	1341.98	11741	95.4	344.27	2.81
2007	5.960	1624.72	13745	96.7	345.71	2.81
2008	5.728	1720.72	15230	96.3	348.24	2.83
2009	5.281	1555.40	15607	95.6	350.18	3.23
2010	5.660	1994.65	17258	95.5	420.16	3.90

注:数据来源于太原市 2001 - 2010 年国民经济和社会发展统计公报;山西省水资源公报。

2.3 无量纲化处理

由于参考序列和比较序列中各因子的含义不同、单位各异,必须对其进行无量纲化处理,以加强各因子间的接近性,增强可比性。无量纲化处理主要有初值化、均值化等处理方法。本研究采用初值化处理方法,即以同一数列的第一个数据除以该数列所有数据,得到一个相对于第一个数据的倍数数列,即为初值化数列。

2.4 绝对差值计算

对无量纲化处理后的初值化数据,依据(1)式求解其绝对差值,构成各因子的差序列,计算结果见表 2。

表 2 绝对差值表

Δ_{01}	Δ_{02}	Δ_{03}	Δ_{04}	Δ_{05}
0	0	0	0	0
0.0358	0.1232	0.0105	0.0059	0.0551
0.5335	0.2453	0.0163	0.0158	0.0611
1.0909	0.3965	0.0239	0.0276	0.1114
1.9623	0.5608	0.0081	0.0317	0.1286
2.9739	0.7381	0.0256	0.0448	0.3728
3.7981	1.0190	0.0388	0.0679	0.3454
4.1300	1.2901	0.0005	0.0177	0.3983
3.7142	1.4303	0.0740	0.0702	0.6856
4.9675	1.6146	0.0033	0.2086	0.9596

2.5 关联系数与关联度的计算

先从差序列矩阵中找出最大差值和最小差值。所谓差序列是指第一列参考序列与其余比较序列对应期的绝对差值,由绝对差值(表 2)可知, $\Delta_{\max} = 4.9675$, $\Delta_{\min} = 0.0005$, k 值取 0.2,代入(4)式计算关联系数列于表 3。

关联度值反映母序列与子序列之间的关联密切

程度,其值越大,说明比较序列与参考序列变化的态势越一致,比较序列对参考序列的影响也越大。依据(5)式计算得到关联度值,结果如表 4 所示。

表 3 关联系数表

ξ_{01}	ξ_{02}	ξ_{03}	ξ_{04}	ξ_{05}
1	1	1	1	1
0.9652	0.8897	0.9896	0.9941	0.9475
0.6506	0.802	0.9839	0.9843	0.9421
0.4766	0.7148	0.9765	0.9729	0.8992
0.3361	0.6392	0.9919	0.9691	0.8854
0.2504	0.5737	0.9749	0.9569	0.7271
0.2073	0.4937	0.9625	0.936	0.742
0.1939	0.4351	0.9995	0.9825	0.7138
0.2110	0.4099	0.9306	0.934	0.5917
0.1667	0.3809	0.9967	0.8265	0.5087

表 4 关联度表

γ_{01}	γ_{02}	γ_{03}	γ_{04}	γ_{05}
0.4458	0.6339	0.9806	0.9556	0.7957

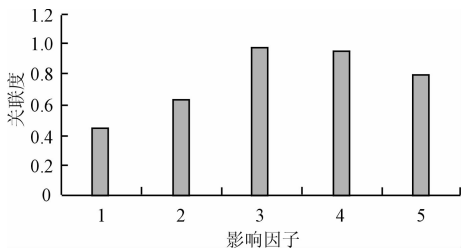


图 1 太原市用水量与影响因子的关联度图

3 结果分析

由表 4 和图 1 可知,各影响因子与太原市城市用水总量的关联度大小依次为: $\gamma_{03} > \gamma_{04} > \gamma_{05} > \gamma_{02} > \gamma_{01}$ 即水的重复利用率、城市人口数量、综合平均水价、人均收入及工业总产值。也就是说,水的重复利用率与太原市的城市用水总量的关联度最大。

我国水资源缺乏,节约用水是解决水资源短缺的有效途径之一。许多的工业企业,由于水源不足,供水紧张,采取了许多节水的措施,如提高工业用水的重复利用率,利用经济杠杆,实行科学管理;研发新型的节水设备和节水工艺;把经过处理的生活废水用于工业生产,实现废水资源化等。但目前为止,工业生产中 most 常用最有效的节水措施是提高水资源的重复利用率。可以说,城市用水总量随着水资源重复利用率的提高而减少。太原市是我国北方重要的重化工城市,平均每年的工业用水量占到城市用水总量的 40% 左右。由于水资源有限,近十几年

来,水资源短缺与工业发展之间的矛盾日益突出。为了缓解这一矛盾,太原市加大了对工业用水的重复利用。从 2000 年开始,太原市工业用水的重复利用率达到 90% 以上,这就在一定程度上缓解了太原市用水紧张的局面。城市人口数量与太原市城市用水总量的关联度居第二位。居民用水是城市生活用水的重要组成部分,占城市生活用水的比例很大,很显然,城市的用水总量随着城市人口的增加而增加。随着经济的快速发展和城市规模的不断扩大,城市化的进程日益加快,城市人口也在快速的增加。太原市作为山西省的省会城市,近年来城市人口(尤其是流动人口)快速增加,使得太原市城市用水总量也在不断增长。

综合平均水价与太原市城市用水总量的关联度居第三位。研究表明:只有城市水价提高到一定的水平,水费的支出占人均收入的一定比例时,人们才会对水价有一定的反应。如果水价很低,水费支出在家庭支出中占的比例很小,人们是不会根据水价来决定用水量的。我国目前的水价总体较低,应适当提高水价,缓解用水压力。

人均收入与城市用水总量之间也存在密切的关系。随着人均收入的增加,居民有能力购买一些家庭耗水设备(如洗衣机、洗碗机、热水器等),这些设备的使用必然导致生活用水量的增加。也就是说,随着居民收入水平的提高,城市用水总量在上升。工业总产值与城市用水总量之间的关系:工业生产、加工过程中都需要消耗大量的水资源。一般情况下,城市用水总量会随着工业总产值的增加而增加。

4 缓解用水压力的措施

近年来,太原市把建设节水型城市、促进水资源的可持续发展作为城市建设的重要战略目标。把节水减排作为本市经济社会发展的约束性指标。在节水减排工作中,太原市主要采取了三方面的措施。

4.1 发展绿色经济,创新节水理念

太原市把保护水资源作为“绿色高压线”的重要内容,对新开工建设的项目进行用水评估;广泛推进新材料、新工艺、新器具和节水设施的使用,提高生产生活用水效率;大力发展节水工业和节水农业,促进节水型城市建设。

4.2 增加节水投资、改善节水设备、创新节水技术

太原市通过引进资金、降低税收、增加补贴、提供信贷等措施,增加节水工作的投入。

(下转第 115 页)

关系的持续恶化现状。

4 结 语

(1)黄河流域 1956—2009 年均降雨量 446.2 mm,多年平均降水量 3 547.1 亿 m^3 。统计年中,2003 年为丰水年,降水量为 4 417 亿 m^3 ;2001 年降水量最少 3 210 亿 m^3 ,为枯水年。除 2003、2007 年,其余年份降水量均小于多年平均值。

(2)统计年中,黄河流域水资源量最大值最小值比例达到 1.41,年际变化较大。9 年中年均水资源为 525 亿 m^3 ,较多年平均水资源量少 15.4%,总体属于枯水年系列。流域内产流模数差别较大,最大值与最小值比例达到 3.5。

(3)流域中,用水总量逐年增加并且有继续增加的趋势,由 2003 年的 429 亿 m^3 增加到 2009 年的 503 亿 m^3 。农业用水量 2006 年最多,达到 393.3 亿 m^3 。工业用水量基本保持稳定,居民生活和生态用水呈现出增加的趋势。建议采取增加黄河水资源总量,如通过南水北调的方式缓解供水矛盾。

(4)农业用水占总用水的 75% 左右,其中的

91% 为农田灌溉;工业用水比例为 14.5% 左右;居民生活用水比例为 8.5% 左右;生态环境用水比例有 1.9% 增加到 3.2%,并且有继续增长的趋势。建议建立水价制度,在同一地区实行阶梯型水价制度,对超出正常用水量之外的水量提高水价,通过经济杠杆对用水量比重进行控制。

参考文献:

- [1] 庄景林,杨庆安,陈先得,等.黄河志[M].郑州:河南人民出版社,1998.
- [2] 陈梧桐,陈名杰.黄河传[M].保定:河北大学出版社,2009.
- [3] 王浩,等.黄河流域水资源及其演变规律研究[M].北京:科学出版社,2010.
- [4] 董增川.水资源规划与管理[M].北京:中国水利水电出版社,2008.
- [5] 陈晨,刘兴达,李午阳.黄河流域花园口段水质水量及水资源保护方法探析[J].科技传播,2010(14):128-132.
- [6] 王延贵,胡春宏,史红玲.黄河流域水沙资源量变化及其对泥沙资源化的影响[J].中国水利水电科学研究院学报,2010,8(4):237-245.

(上接第 111 页)

建立有利于促进节水工作的投资机制。加大科技投入,对现有的节水设备进行改造,使现有设备的节水潜力得到充分的发挥^[9]。继续加快工业节水技术改造,开发煤矿矿井水回收利用、钢铁废水回收利用等节水新技术,提高工业用水重复利用率。

4.3 发挥市场作用,创新节水体制

结合太原市供水、节水和排水一体化的实际,统筹规划,积极推进水价改革,加大城市污水处理费的征收力度;继续超计划累进加价制度,促进城市节约用水;抓紧建立完善水资源宏观控制指标和微观定额指标体系,明确地区、行业及用水户的用水定额,加大执法监督力度,确保实现用水控制指标。

参考文献:

- [1] White S. International Report. Water demand management and conservation including water losses control[J]. Water Supply,2000,18(1-2):163-175.

- [2] Mays L W. Water demand forecasting[C]//Hydro system engineering and management. McGraw-Hill,1992:24-32.
- [3] Day D, Howe C. Forecasting peak demand what do we need to know[J]. Water Supply,2003,3(3):177-184.
- [4] 张洪国,赵洪宾,李恩轅.城市用水量灰色预测[J].哈尔滨建筑大学学报,1998,31(3):32-37.
- [5] 徐洪福,袁一星,赵洪宾.灰色预测模型在年用水量预测中的应用[J].哈尔滨建筑大学学报,2001,34(4):61-64.
- [6] 黄国如,胡和平.基于 BP 神经网络的黄河下游引黄灌区引水量分析[J].灌溉排水学报,2004,23(4):6-10.
- [7] 陈志军.灌溉发展需求预测人工神经网络模型的建立与应用[J].水利学报,1998,29(2):1-6.
- [8] 冯利华.水资源变化趋势的物元分析[J].地域研究与开发,1999,18(2):18-21.
- [9] 杨婷,赵力.太原市节约用水与可持续发展实践与思考[J].山西水利,2009,25(3):16-18.