

文章编号:2095-6134(2015)04-0528-08

# 干旱区大城市水资源利用变化过程及驱动效应分析

## ——以乌鲁木齐为例<sup>\*</sup>

张豫芳<sup>1†</sup>, 杨德刚<sup>1</sup>, 唐 宏<sup>2</sup>, 刘雅轩<sup>3</sup>

(1 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 2 四川农业大学 四川省农村  
发展研究中心, 成都 611130; 3 新疆财经大学经济学院, 乌鲁木齐 830012)

(2014 年 7 月 16 日收稿; 2015 年 2 月 28 日收修改稿)

Zhang Y F, Yang D G, Tang H, et al. Analysis of change process and influence factors of water resource utilization in megalopolis of arid area: a case study of Urumqi city[J]. Journal of University of Chinese Academy of Sciences, 2015, 32(4):528-535.

**摘 要** 综合考虑经济发展水平、人口规模、产业用水效率及水资源开发利用程度等因素,建立全要素分解模型和运用 LMDI 分解方法对 1995—2012 年乌鲁木齐市用水过程的驱动因素进行分解分析. 结果表明: 经济发展水平与用水强度是乌鲁木齐市用水总量变化的决定因素; 产业用水结构、经济发展水平、用水强度是影响乌鲁木齐市用水效益变动的决定性因素. 产业结构调整和产业技术升级对用水总量增加有一定抑制作用, 但作用不强. 人均供水量的增长在一定程度上对资源利用效率变化起到抑制作用.

**关键词** LMDI 分解法; 用水效率; 用水总量; 乌鲁木齐市

中图分类号:TV214 文献标志码:A doi:10. 7523/j. issn. 2095-6134. 2015. 04. 015

# Analysis of change process and influence factors of water resource utilization in megalopolis of arid area: a case study of Urumqi city

ZHANG Yufang<sup>1</sup>, YANG Degang<sup>1</sup>, TANG Hong<sup>2</sup>, LIU Yaxuan<sup>3</sup>

(1 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China;  
2 Agricultural Development Research Center of Sichuan, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China;  
3 School of Economics, Xinjiang University of Finance and Economics, Urumqi 830012, China)

**Abstract** Urumqi was selected as the object for this study. Through constructing an all-factor decomposition model, Logarithmic mean Divisia index (LMDI) decomposition method was used to conduct decomposition analyses on the factors that caused the change process of water resource utilization in Urumqi from 1995 to 2012. The results indicated that economy development level and water use intensity, and the effects of industrial water use structures, economy level, and water use intensity were the determinant factors that influenced the water use consumption and efficiency, respectively. The adjustment of industrial structures and the upgrading of industrial technologies

<sup>\*</sup> 中国科学院西部博士课题(XBBS201108)资助

<sup>†</sup> 通信作者, E-mail: zhangyf@ms. xjbu. ac. cn

caused certain inhibitory effects on the total water consumption, but these effects were not strong. The amount of water supply per capital had inhibitory effects in certain extent on water resource utilization efficiency.

**Key words** LMDI decomposition method; water use efficiency; total water consumption; Urumqi

水资源是维系地球生命支持系统的基础自然资源之一,随着人口的增长和社会经济的发展,人类正在以空前的速度和规模开发利用极其有限的水资源,水资源短缺成为区域社会经济制约因素<sup>[1-3]</sup>,因而探讨水资源利用过程及其影响机制和调控措施是地理学、水文学等研究的重要领域<sup>[4]</sup>.纵观国内外对该领域的研究,主要集中在经济增长对水资源利用的拉动作用<sup>[5-6]</sup>,水资源利用效率的评价及技术进步对水资源利用的减缓作用<sup>[7-9]</sup>,产业发展中技术进步对水资源利用的减缓作用<sup>[10-13]</sup>等方面,取得了一定成果.但就目前研究看,研究内容上缺乏对水资源利用过程的驱动机理研究,研究方法上缺少从总体角度考虑水资源可持续利用与经济社会可持续发展的关系的研究;同时研究成果对政府水资源管理和规划缺少科学指导,致使水资源管理的指导思想仍停留在传统的供水管理阶段,阻碍了水资源持续利用<sup>[14]</sup>.实际上水资源利用过程是由经济增长、技术进步、产业结构变动、水资源开发利用率等多因素共同驱动的,因此迫切需要加强基于多方面研究耦合方法的水资源利用变动机制基础研究,特别是对水资源利用总量和效率变动驱动因素与其驱动量、调控措施与其调控量之间的定量关系研究<sup>[4,15]</sup>.

西北干旱区地处内陆腹地,水资源短缺、生态环境脆弱是制约其社会经济发展速度和规模的主要因素之一,研究社会经济发展中水资源利用过程和驱动因素为保障区域可持续发展有很重要的意义<sup>[16-17]</sup>.乌鲁木齐市位于亚欧大陆中心,天山北麓、准噶尔盆地南侧,自清代成为边疆屯垦中心,迄今经历250年的发展,是古丝绸之路上的重镇,是中国连接欧亚大陆的重要枢纽和沿边重点开放城市,同时也是世界上最大的典型干旱缺水城市.近年来乌鲁木齐市水资源严重短缺,并且水污染加剧致使水资源环境容量和承载能力不断降低,水资源问题已成为制约城市发展的主要因素<sup>[19]</sup>.随着国家西部大开发战略的实施,及天山北坡经济区被纳入到国家重点发展战略,乌鲁木

齐市将进入大规模开发和新时期,人口与环境、经济与发展都对城市水资源开发利用提出了更高要求<sup>[19-20]</sup>,因而乌鲁木齐城市发展与水资源开发利用的作用关系及影响机理方面的相关研究亟待开展,以便为政府水资源管理和社会经济发展方案的制定提供科学参考.

本文基于乌鲁木齐市水资源利用过程及特点分析,选取产业结构效应、经济发展水平效应、人口规模效应、产业技术效应和水资源开发程度效应5种因素构建产业用水总量和用水效率变化的全要素分解模型,分析1995—2012年社会经济对用水总量和用水效率的变化和影响过程.

## 1 材料及方法

### 1.1 数据来源

本文数据来源于《新疆统计年鉴》(1996—2013年)、《新疆维吾尔自治区水资源公报》(1996—2013年)和《新疆维吾尔自治区水利统计资料汇编》(1996—2013年),借鉴贾绍凤等<sup>[6]</sup>的划分方式将历年可比价经济数据和用水数据相匹配,即将建筑业与第三产业二者GDP组合后与生活用水数据相匹配进行建模运算.

### 1.2 研究方法

自20世纪80年代,因素分解分析的理论及应用都得以发展,并逐步完善.研究表明因素分解法是分析能源及资源利用变动机理的一个有效工具<sup>[21]</sup>,具体包括结构分解分析法(structural decomposition analysis, SDA)和指数分解分析法(index decomposition analysis, IDA)2种方法.其中IDA利用各部门指标的加总数据,更适合进行时间序列及较少影响因素的分析比较,众多研究表明从理论基础、适应范围、应用便捷性、结果表达等方面综合比较.该方法中的对数平均迪氏指数法(logarithmic mean Divisia index method, LMDI)是一种完全的、不产生残差的分解分析方法,是目前相对较优的因素分解法<sup>[22-23]</sup>,本文借鉴该方法通过建立全要素分解模型,运用残差项为零的LMDI分解法(加法形式)对1995—2012年乌鲁

木齐市用水总量和效率变化的驱动因素进行分解分析,计算各驱动效应因素的相对贡献率,测度其影响程度和方向.具体公式表达和推导如下

$$W_t = \sum_{i=1}^n W_{it} = \sum_{i=1}^n \frac{W_{it}}{GDP_{it}} \cdot \frac{GDP_{it}}{GDP_t} \cdot \frac{GDP_t}{P_t} \cdot P_t, \quad (1)$$

$$E_t = \sum_{i=1}^n \frac{GDP_{it}}{W_t} = \sum_{i=1}^n \frac{GDP_{it}}{W_t} \cdot \frac{W_{it}}{W_t} \cdot \frac{GDP_t}{P_t} \cdot \frac{P_t}{R} \cdot \frac{R}{W_t} \cdot \frac{W_t}{GDP_t}, \quad (2)$$

式中,  $W_t$  为  $t$  时期的用水总量 ( $10^8 \text{ m}^3$ ),  $E_t$  为  $t$  时期的用水总效率 (元/ $\text{m}^3$ );  $W_{it}$  表示第  $i$  产业  $t$  时期的用水量;  $GDP_{it}$  表示第  $i$  产业  $t$  时期的 GDP (亿元);  $GDP_t$  为  $t$  时期的国内生产总值;  $P_t$  表示  $t$  时期的人口总量 (万人);  $R$  是多年平均水资源的总量 ( $10^8 \text{ m}^3$ );  $h_{it} = GDP_{it}/W_{it}$ , 代表第  $i$  产业  $t$  时期的用水效益 (元/ $\text{m}^3$ );  $I_{it} = GDP_{it}/GDP_t$ , 代表  $t$  时期的产业结构, 无量纲;  $s_{it} = W_{it}/W_t$ , 代表  $t$  时期的用水结构, 无量纲;  $r = R/P_t$ , 代表  $t$  时期的水资源禀赋, 反映该区域人均供水量 ( $\text{m}^3/\text{人}$ );  $e = W_t/R$ , 代表  $t$  时期的水资源开发利用率, 无量纲;  $g_t = GDP_t/P_t$ , 表示  $t$  时期的人均国内生产总值 (元/人), 反映城市经济发展水平;  $U = W_t/GDP_t$ , 代表用水强度;  $n$  是产业划分个数. 则

$$W_t = \sum_{i=1}^n I_{it} \cdot g_t \cdot P_t \cdot u_{it}, \quad (3)$$

$$E_t = \sum_{i=1}^n \frac{h_{it} s_{it} u_{it} g_t}{e_t r_t}. \quad (4)$$

据 LMDI 模型用水总量和效率在基期第 0 -  $t$  年之间的变动和各要素驱动效应为:

用水总量变化量

$$\Delta W = W_t - W_0 = \Delta W_I + \Delta W_g + \Delta W_p + \Delta W_u, \quad (5)$$

用水效率变化量

$$\Delta E = E_t - E_0 = \Delta E_h + \Delta E_s + \Delta E_u + \Delta E_g - \Delta E_r - \Delta E_e, \quad (6)$$

这里  $\Delta W, \Delta E$  为 0 -  $t$  年用水总量及效率变化值, 称为总效应,  $\Delta W$  由  $\Delta W_I, \Delta W_g, \Delta W_p, \Delta W_u$  组成, 分别为产业结构效应、经济发展水平效应、人口规模效应和产业技术效应;  $\Delta E$  由  $\Delta E_h, \Delta E_s, \Delta E_u, \Delta E_g, \Delta E_r$  和  $\Delta E_e$  组成, 分别为产业用水效率效应、产业用水结构效应、总用水强度效应、经济增长效应、水资源禀赋效应和水资源开发程度效应. 各要素

对用水总量驱动效应为:

$$\Delta W_I = \sum_{i=1}^m L(W_{it}, W_{i0}) \ln \frac{I_{it}}{I_{i0}}, \quad (7)$$

$$\Delta W_p = \sum_{i=1}^m L(W_{it}, W_{i0}) \ln \frac{P_t}{P_0}, \quad (8)$$

$$\Delta W_u = \sum_{i=1}^m L(W_{it}, W_{i0}) \ln \frac{u_{it}}{u_{i0}}, \quad (9)$$

$$\Delta W_g = \sum_{i=1}^m L(W_{it}, W_{i0}) \ln \frac{g_t}{g_0}. \quad (10)$$

各要素对用水效率驱动效应为:

$$\Delta E_h = \sum_{i=1}^m L(E_{it}, E_{i0}) \ln \frac{h_{it}}{h_{i0}}, \quad (11)$$

$$\Delta E_s = \sum_{i=1}^m L(E_{it}, E_{i0}) \ln \frac{s_{it}}{s_{i0}}, \quad (12)$$

$$\Delta E_u = \sum_{i=1}^m L(E_{it}, E_{i0}) \ln \frac{u_{it}}{u_{i0}}, \quad (13)$$

$$\Delta E_r = \sum_{i=1}^m L(E_{it}, E_{i0}) \ln \frac{r_t}{r_0}, \quad (14)$$

$$\Delta E_e = \sum_{i=1}^m L(E_{it}, E_{i0}) \ln \frac{e_t}{e_0}, \quad (15)$$

$$\Delta E_g = \sum_{i=1}^m L(E_{it}, E_{i0}) \ln \frac{g_t}{g_0}, \quad (16)$$

其中,  $L(W_{it}, W_{i0}) = (W_{it} - W_{i0}) / (\ln W_{it} - \ln W_{i0})$ ,  $L(E_{it}, E_{i0}) = (E_{it} - E_{i0}) / (\ln E_{it} - \ln E_{i0})$ , 分解效应的值若为正, 则说明该因素对用水总量和用水效率起到拉动作用, 即消耗水资源, 促进效率的增加, 增量效应; 分解效应的值若为负, 则说明该效应对用水总量和效率起到抑制作用, 节水有贡献, 用水效率降低, 称为减量效应.

## 2 乌鲁木齐市用水过程特征分析

### 2.1 用水总量呈波动快速增长趋势

乌鲁木齐市用水总量呈波动快速增长趋势 (图 1). 2012 年用水总量为  $11.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 较 1995 年增长  $6.50 \times 10^8 \text{ m}^3$ . 其中第一产业用水量 2012 年为  $6.60 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 是 1995 年的 1.92 倍, 增加  $3.17 \times 10^8 \text{ m}^3$ . 第二产业用水由工业产值快速增长推动下呈波动增加趋势, 2012 年第二产业用水量为  $2.10 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 是 1995 年的 3.96 倍, 增加  $1.57 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 增长幅度最大. 第三产业用水由于人口快速增长、居民生活条件的改善、服务业的蓬勃发展等因素驱动下呈持续增长趋势, 2012 年第三产业用水量为  $2.0 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 是 1995 年的 3.17

倍,增加  $1.77 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

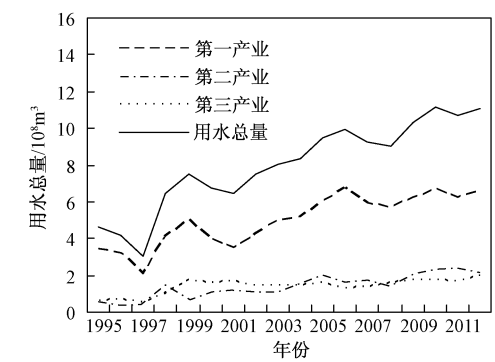


图 1 乌鲁木齐市 1995—2012 年各产业用水变化  
Fig. 1 Water consumption of Urumqi from 1995 to 2012

## 2.2 用水结构不断优化,第一产仍是用水主体

从用水结构看(图 2),第一产业占用水总量的比重总体呈下降趋势,由 1995 年的 74.73% 降至 2012 年的 59.46%,但比例仍在 60% 左右;第二产业用水比例持续增长,1995 年为 11.55%,2012 年为 18.80%;第三产业占用水总量的比重总体在 20% 上下波动。可见,随着区域社会经济的发展,尤其是城市化带动的工业化进程,乌鲁木齐市第一产业用水占用水总量的比重逐步下降,第二产业、第三产业用水占用水总量的比重逐步增长,用水结构不断优化,但第一产业仍然是用水主体。

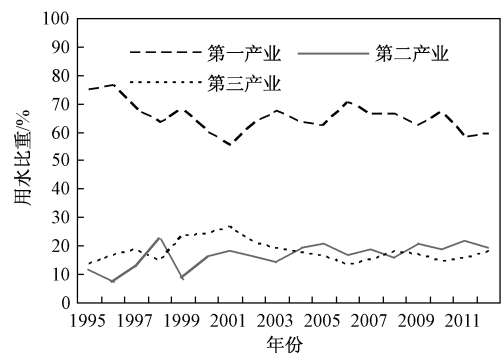


图 2 乌鲁木齐市 1995—2012 年用水结构变化  
Fig. 2 Change in water utilization structure in Urumqi from 1995 to 2012

## 2.3 用水效率呈持续增长趋势

从用水效率看,总用水效率大幅增长,由 40.52 元增长到 187.08 元(图 3),用水效率年际变化量总体表现为增加趋势,其中第二产业、第三产业用水效率年际变化较大。第二产业用水效率 2012 年为 394 元/ $\text{m}^3$ ,是 1995 年的 2.98 倍,增长

262.17 元/ $\text{m}^3$ ;第三产业用水效率 2012 年为 573.85 元/ $\text{m}^3$ ,是 1995 年的 3.3 倍,增长 400.12 元/ $\text{m}^3$  增加幅度最为明显。

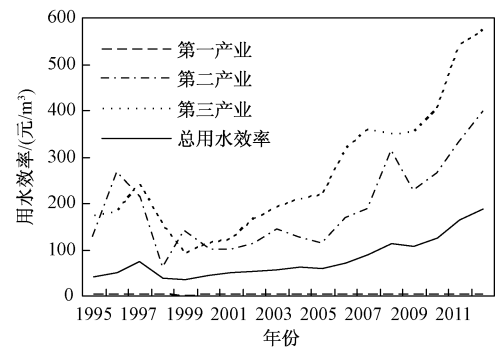


图 3 乌鲁木齐市 1995—2012 年各产业用水效率变化  
Fig. 3 Change in industrial water use efficiency in Urumqi from 1995 to 2012

近年来随着城市化的不断推进,城市人口和经济总量都有大幅增长。2012 年人口规模达  $311.26 \times 10^4$  人,较 1990 年增长 97.97%;经济规模 2012 年  $2\,001.74 \times 10^8$  元,较 1995 年增长 10.76 倍。而城市人均水资源量从 1990 年的  $629.87 \text{ m}^3$  降到 2012 年的  $318.51 \text{ m}^3$ ,仅为全国人均占有量的 1/7。且近 40 年来,受全球气候变暖及人类活动等因素影响,乌鲁木齐重要水源地一号冰川面积大幅缩减,由 1962 年的  $1.95 \text{ km}^2$  缩小到 2012 年的  $1.62 \text{ km}^2$ ;地下水水源地柴窝堡、西山片区、米东区的地下水位持续下降,其中柴窝堡地下水位下降 8~12 m,面积减少约  $10 \text{ km}^2$ 。乌鲁木齐市水资源利用现状不容乐观,用水量已达供水量的极值,未来人口规模和经济规模快速增长对水资源需求将持续增大,地下水超采严重,水资源供需矛盾日益突出。

## 3 乌鲁木齐市水资源利用变化驱动力分析

### 3.1 用水总量变化驱动效应分析

据式(7)—式(10)对乌鲁木齐市 1995—2012 年用水总量年际变化做效应分解及贡献变化分析(图 4),结果显示:乌鲁木齐市用水波动增加态势由经济发展水平、人口规模、产业结构和产业用水强度 4 因素共同驱动,其中经济发展水平和人口规模的增加带动用水总量的用水增加,年际变化效应值为  $0.82 \times 10^8 \text{ m}^3$  和  $0.27 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,而产业结构和产业用水强度基本表现为抑制作用,年际



变化效应值分别为  $-0.245 \times 10^8 \text{ m}^3$  和  $-0.47 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 4 种因素变化产生的效应叠加使得用水变

化呈一定波动, 其中经济发展水平和用水强度对用水总量变化作用较强(图 4(a)).

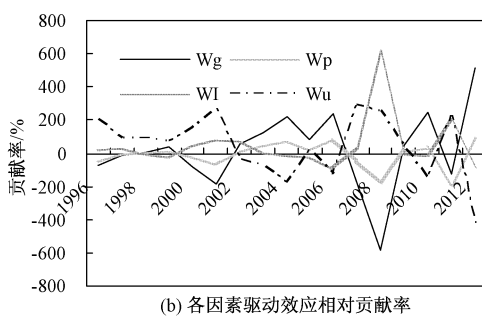
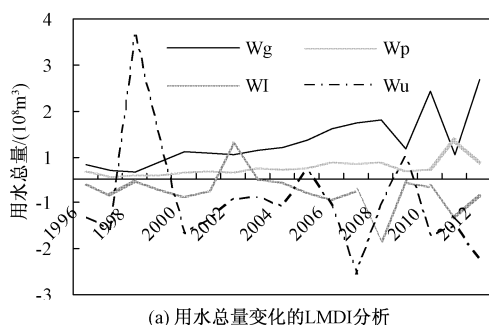


图 4 乌鲁木齐市 1995—2012 年用水总量变化的 LMDI 分解和驱动效应相对贡献率

Fig. 4 Results of LMDI for water utilization and relative contribution rate of effect decomposition water use efficiency in Urumqi from 1995 to 2012

从各种效应对用水增长的贡献率看(图 4(b)), 经济增长和人口规模效应为正向驱动力, 平均贡献率约为 215.18% 和 70.40%; 产业结构效应基本为负向驱动力, 平均贡献率约为 -63.97%, 而用水强度效应波动较大, 为双向驱动力, 在不同时期表现不同驱动性质, 平均贡献率约为 -121.60%。就各因素对用水总量作用强度变化趋势而言, 1995—2012 年, 经济发展水平和人口规模对用水总量的拉动作用逐年增强, 其中经济发展水平所产生的拉动效应最强, 其变化趋势与用水总量变化趋势一致。产业结构和产业用水强度对用水总量的抑制作用表现为波动增强趋势, 遏制用水增加, 其中产业用水强度产生的效应波动性较大(1997、2005 和 2009 年突然表现为拉动作用)且抑制作用最强。就各因素对用水总量作用强度的变化幅度而言, 1997 年前, 产业结构和产业用水强度对用水总量的抑制作用增幅大于经济发展水平和人口规模所产生的拉动作用的增幅, 4 者叠加后导致这一阶段用水出现减少趋势; 1997—1999 年, 用水强度对用水总量的作用波动, 与经济发展水平和人口规模共同作用下, 拉动这一时期用水基本上呈增加趋势; 1999—2001 年, 用水强度和产业结构产生的抑制作用增加, 经济发展水平的拉动作用有所下降, 叠加后对用水总量起到抑制作用, 导致这一阶段用水总量呈减少趋势; 2001—2007 年, 经济增长、人口规模效应增长幅度大, 拉动用水增加, 这一时期用水量基本呈增加趋势; 2007—2008 年, 用水强度效应减少幅度大, 抑制用水增加, 同时经济增长效应小幅下降, 该时期用水基本上呈减少趋势; 2008 年后, 经

济增长、人口规模效应增长幅度大, 拉动用水增加。

进一步比较总拉动效应与总抑制效应的相互作用特点, 取 2 种效应绝对值的变化(图 5), 除 1997、1999、2001、2005、2008、2010 年几个年份乌鲁木齐市节水能力基本能达到社会经济发展的需求, 其他年份中, 1995—1997 年产业节水能力及产业结构调整带来的抑制效应较强, 随着经济的发展用水总量呈减少趋势, 水资源有盈余; 1997—1999 年, 经济的快速增长对用水总量产生强有力的拉动作用, 水资源的需求量增大, 产业节水技术和结构调整后的节水效应跟不上, 水资源出现缺口; 1999—2001 年, 产业节水技术和结构调整后的节水效应对用水增长的抑制作用能力较强, 水资源有盈余; 2001—2005 年经济增长加快对水资源的需求量增大, 拉动作用大, 节水能力跟不上, 水资源出现缺口; 2005—2008 年产业节水能力及产业结构调整带来的抑制效应较强, 随着社会经济的发展用水总量呈减少趋势, 水资源有盈余; 2008 年以后, 乌鲁木齐市经济增长对产业用水有很强的拉动力, 产业节水技术和结构调整后的节水效应显出疲态, 水资源缺口加大, 现有的节水能力不能适应社会经济的进一步发展。并且由于经济增长是社会发展的动力, 有较强的刚性需求, 其对用水总量产生的拉动能力会长期作用, 用水总量的增长必将在一定时间内持续存在。且值得注意的是, 随着城市的发展和人民生活水平的提升, 城市绿化面积不断增长, 机动车保有量持续增加, 未来绿化用水和洗车用水量目前达到近  $2.05 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 可见未来随着乌鲁木齐城市持续

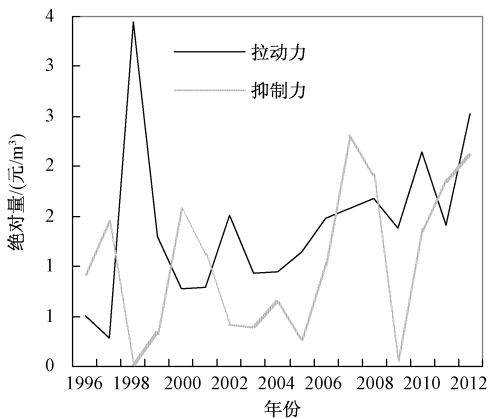
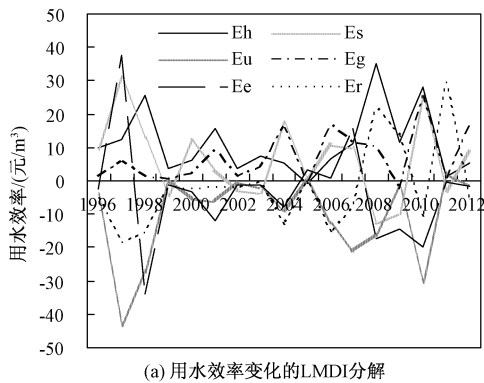


图 5 乌鲁木齐市各时期水资源利用的总拉动效应与总抑制效应绝对量  
Fig.5 Pushing effects and inhibitory effects on amount of water use in Urumqi in each period



发展,城市用水缺口将不断加大,供需矛盾突出.

### 3.2 用水效率变化驱动效应分析

据式(11)一式(16),对 1995—2012 年乌鲁木齐市水资源利用效率年际变化进行效应分解,并计算各驱动效应对用水效率变化的相对贡献率(图 6).结果表明,产业用水效益、产业用水结构、经济发展水平对用水效益增加起到正向驱动效应,年际变化效应值分别为 11.07,6.12,6.96 元/ $\text{m}^3$ ,对用水效率作用年平均效应贡献率为 140.55%,77.70%和 88.32%(图 6(a)).用水强度、人均水资源量和水资源开发利用率对用水效益的增加起到负向驱动效应,抑制用水效率的增长,年际变化效应值分别为 -10.54, -3.50, -2.30 元/ $\text{m}^3$ ,对用水效率作用年平均贡献率为 -133.78%, -44.41%和 -28.36%(图 6(b)).

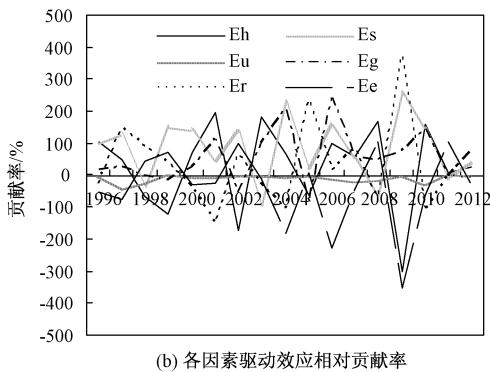


图 6 乌鲁木齐市 1995—2012 年用水效率变化的 LMDI 分解和驱动效应相对贡献率  
Fig.6 Result of LMDI to water utilization and relative contribution rate of effect decomposition water use efficiency in Urumqi from 1995 to 2012

这 6 个因素中产业用水效益、经济发展水平和用水强度对用水效率的驱动方向比较一致,几个要素的效应叠加后使乌鲁木齐市用水效率呈持续增长的趋势,由 1995 年的 40.52 元/ $\text{m}^3$  提高到 2012 年的 187.08 元/ $\text{m}^3$ ,年平均增长率为 11.94%.而人均水资源量和水资源开发利用率波动性较大,其对用水效率产生的效应也表现出了定的波动性,但总体上对用水效率提高表现为抑制作用(图 6(b)).究其原因,该时期随着乌鲁木齐市经济的发展,水资源的消耗量不断增大,出现水资源紧缺现象,促使供水能力不断提升,水资源开发利用率不断提高,虽然人口持续增长,但人均用水量是波动增加的,水资源对社会经济发展的约束力降低,人们对水资源的关注程度和社会经济节水意识有所下降,因而人均水资源和水资源

开发利用程度总体上抑制了乌鲁木齐市用水效率的提升.值得注意的是当水资源开发利用率达到一定程度,随着开发潜力的减小,社会各界就有动力来节约用水,水资源开发利用程度对用水效率变化的作用效应产生拉动作用.

进一步对比各要素对用水效益的总拉动效应与总抑制效应的相互作用特点,取 2 种效应绝对值的变化(图 7),6 要素对乌鲁木齐市用水效益起拉动作用总和始终大于抑制作用总和,用水效率持续增长.社会经济发展过程中,技术进步使工业内部各行业水资源使用效率显著提高的结果,用水效率不断提升.产业结构调整对水资源使用强度降低的贡献相对较小.

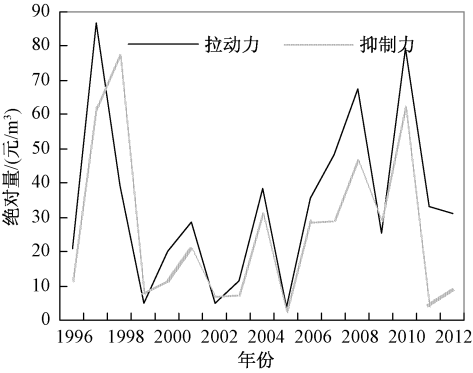


图 7 乌鲁木齐市 1995—2012 年用水效率的总拉动效应与总抑制效应绝对量  
Fig. 7 Pushing effects and inhibitory effects on water use efficiency in Urumqi from 1995 to 2012

4 结论与讨论

4.1 结论

本文通过建立全要素分解模型,运用 LMDI 分解方法对 1995—2012 年乌鲁木齐市用水总量和效率变化的驱动因素进行分解分析,计算各驱动效应因素的相对贡献率,测度各影响因素程度和方向.结果显示:研究期内乌鲁木齐市用水总量的变化结果是经济发展水平、人口规模、产业结构和产业用水强度 4 因素产生效应间动态博弈的结果,总体表现供水盈余和缺口交替出现的利用过程,目前处于供水缺口状态.其中,经济增长、人口规模对用水量变化的效应为拉动作用,年际变化效应值为  $0.806 \times 10^8 \text{ m}^3$  和  $0.221 \times 10^8 \text{ m}^3$ ;而产业结构和用水强度则表现为抑制作用,年际变化效应值分别为  $-0.376 \times 10^8 \text{ m}^3$  和  $-0.258 \times 10^8 \text{ m}^3$ . 经济发展水平效应和用水强度产生效应是改变用水总量变化趋势的主要动力因素,其中用水总量变化幅度由经济发展水平产生的拉动效应控制,用水总量变化趋势由用水强度产生的抑制效应变化趋势来控制.

研究期内用水效率的变化趋势是产业用水效益、产业用水结构、经济发展水平、用水强度、人均供水量和水资源开发利用率 6 个因素动态博弈的结果,总体上拉动作用强于抑制作用.其中产业用水效率效应、产业用水结构效应、经济发展水平效应为拉动效应,年际变化效应值分别为 11.07, 6.12, 6.96 元/ $\text{m}^3$ ,用水强度、人均水资源量和水资源开发利用程度则表现为抑制效应,年际变化

效应值分别为  $-10.54, -3.50, -2.30 \text{ 元}/\text{m}^3$ ,其中产业用水结构、经济发展水平、用水强度是影响乌鲁木齐市用水效益变动的决定性因素.

4.2 讨论

通过对各因素对乌鲁木齐市资源利用过程中总量和效率影响定量分析,对水资源资源管理具有重要的政策启示.

1)产业结构调整和产业技术升级对用水总量增加能起到一定的抑制作用,但作用力不强,需采用其他有效缓解水资源供需矛盾的方法做补充.一方面可通过继续推进产业结构优化调整和产业技术升级,重点对现有第一产业格局实施“南退、北缩”战略,即保留水土条件较好的北郊井灌区外,调整农业种植产业结构的同时,调整其灌溉方式由粗放型向高效节水转变;对第一产业用水效率低、用水量较大的区域实施退耕还草还生态,有效降低农业用水标准;其他行业发展中要努力降低用水标准和提升工业用水重复利用率.另一方面必须将城市中水回收利用作为另一有效缓解供需矛盾的重要途径,据预测,乌鲁木齐市在 2015 年可产生中水 2.5 亿方,经深度处理后其 60% 可以用于工业发展.因而未来城市建设必须加大污水处理设施和中水管网建设速度和力度,并合理布局污水处理设施,制定新建单位小区庭院须配套建设中水设施以及洗车业需安装循环水设备,及对中水回用率好的企业和单位进行财政补贴等措施,加大中水回用力度,缓解城市用水紧张和绿化用水矛盾.

2)人均供水量对资源利用效率在一定程度上起到抑制作用,是一种逆向影响.水资源管理者可利用人均供水量对水资源利用效率的这种影响,通过在一定程度上控制水资源的供给量,同时结合阶梯型水价收费方式的制定和实施,即用水越多收费越高的方式,促进水资源粗放利用方式的改变,促使水资源利用效率的提高,从而有效地缓解日益增长的社会经济用水需求与稀缺水资源间矛盾.有关数据显示目前乌鲁木齐市现行水价与广州、西宁、银川等 15 个城市的水价进行对比整体偏低,有数据表明水价提高 40% 其用水量下降 20%,提价促节水的有效性十分可观,有利于形成一个良性循环,促进乌鲁木齐市水资源优化配置.

感谢“新疆与中亚科学数据共享平台”为本研究提供用水数据的支持。

参考文献

- [ 1 ] Wang X, Cui Q, Li S Y. An optimal water allocation model based on water resources security assessment and its application in Zhangjiakou region, northern China [ J ]. Resources, Conservation and Recycling, 2012, 69: 57-65.
- [ 2 ] 刘昌明, 陈志恺. 中国水资源现状评价和供需发展趋势分析[ M ]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
- [ 3 ] 王浩, 秦大庸, 王建华, 等. 区域缺水状态的识别及其多维调控[ J ]. 资源科学, 2003, 25( 6 ): 2-7.
- [ 4 ] 陈东景. 我国工农业水资源使用强度变动的区域因素分解与差异分析[ J ]. 自然资源学报, 2012, 27( 2 ): 332-343.
- [ 5 ] Zhai J J, Zhai J L, Feng R G, et al. Constraining factors to sustainable utilization of water resources and their counter measures in China [ J ]. Chinese Geographical Science, 2003, 13( 4 ): 310-326.
- [ 6 ] 贾绍凤, 张士锋, 杨红, 等. 工业用水与经济发展的关系: 用水库兹涅茨曲线[ J ]. 自然资源学报, 2004, 19( 3 ): 279-284.
- [ 7 ] 孙才志, 李红新. 辽宁省水资源利用相对效率的时空分异[ J ]. 资源科学, 2008, 30( 10 ): 1 442-1 448.
- [ 8 ] 许新宜, 王红瑞, 刘海军, 等. 中国水资源利用效率评估报告[ M ]. 北京: 北京师范大学出版社, 2010.
- [ 9 ] 黄初龙, 邓伟. 东北区农业水资源可持续利用地域分异的因子分析[ J ]. 地理科学, 2006, 26( 3 ): 284-291.
- [ 10 ] Bao C, Fang C L, Chen F. Mutual optimization of water utilization structure and industrial structure in arid inland river basins of Northwest China [ J ]. Journal of Geographical Sciences, 2006, 16( 1 ): 87-98.
- [ 11 ] Kaneko S, Tanaka K, Toyota T. Water efficiency of agricultural production in China: regional comparison from 1999 to 2002 [ J ]. International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology, 2004( 3 ): 231-251.
- [ 12 ] Mo X, Liu S, Lin Z, et al. Prediction of crop yield, water consumption and water use efficiency with a SVAT-crop growth model using remotely sensed data on the North China Plain[ J ]. Ecological Modeling, 2005, 183: 301-302.
- [ 13 ] 雷波, 刘钰, 许迪, 等. 农业水资源利用效用评价研究进展[ J ]. 水科学进展, 2009, 20( 5 ): 732-738.
- [ 14 ] 钱正英, 陈家琦, 冯杰. 从供水管理到需水管理[ J ]. 中国水利, 2009( 5 ): 20-23.
- [ 15 ] 孙才志, 王妍. 辽宁省产业用水变化驱动效应分解与时空分异[ J ]. 地理研究, 2010, 29( 2 ): 244-252.
- [ 16 ] 鲍超, 方创琳. 干旱区水资源对城市化约束强度的情景预警分析[ J ]. 自然资源学报, 2009, 29( 9 ): 1 509-1 519.
- [ 17 ] 方创琳, 乔标. 水资源约束下西北干旱区城市经济发展与城市化阈值[ J ]. 生态学报, 2005, 25( 9 ): 2 413-2 422.
- [ 18 ] Dong W, Zhang X L. Urumqi [ J ]. Cities, 2011, 28: 115-125.
- [ 19 ] 杨宇, 董雯, 刘毅, 等. 乌昌地区能矿资源开发利用的可持续发展能力评价[ J ]. 中国科学院研究生院学报, 2011, 28( 3 ): 328-335.
- [ 20 ] Wang H W, Zhang X L, Wei S F, et al. Analysis on the coupling law between economic development and the environment in Urumqi city [ J ]. Science in China Ser. D Earth Sciences, 2007, 50( 2 ): 149-158.
- [ 21 ] Stern D, Common M. Economics growth and environmental degradation: the environmental Kuznets curve and sustainable development[ J ]. World Development, 1996, 24( 7 ): 1 151-1 160.
- [ 22 ] Ang B W, Liu N. Energy decomposition IEA model versus other models[ J ]. Energy Policy, 2007, 35: 1 426-1 432.
- [ 23 ] 王长建, 张利, 王强, 等. 1990—2009 年山东能源消费的碳排放动态演进分析[ J ]. 中国科学院研究生院学报, 2012, 29( 4 ): 469-475.