



# 近 10 年我国用水与水资源利用情况时空特征研究

## 摘要

水资源是社会经济发展的重要物质基础,地下水是水资源的重要组成部分,水资源合理开发利用是社会经济发展的重要因素之一.基于《中国统计年鉴》及《中国水资源公报》中 2003—2012 年用水及供水相关数据,利用 EOF 展开方法,分析了我国 31 个省级行政区用水和水资源利用情况的分布及时间演变特征.研究表明:全国总用水量不断增加,但增幅有所减小,各地区用水总量变化趋势多样,中东部变化较大,西部变化较小,河北省、浙江省、海南省、青海省和甘肃省与其他地区反相变化;江苏省、浙江省和广东省地下水资源的利用与工业产业协调发展,可作为其他地区的典范;北京市、天津市、河北省、山西省、陕西省、甘肃省和青海省通过调整产业结构,地下水资源利用状况向良好的趋势发展;新疆维吾尔自治区和内蒙古自治区的地下水资源利用现状和趋势不容乐观,应注意增强环保意识,调整产业结构,以求水资源得到协调、可持续的开发和利用.

## 关键词

工业用水;水资源贡献率;时空特征;EOF 分析

中图分类号 TV213

文献标志码 A

收稿日期 2014-07-08

资助项目 国家自然科学基金(71273139)

作者简介

周素萍,女,博士生,讲师,主要研究方向为气候变化与公共气象等.zsp@nuist.edu.cn

<sup>1</sup> 南京信息工程大学 经济管理学院,南京,210044

## 0 引言

水是人类和生物赖以生存和发展的基础,是人类可持续发展的重要自然资源<sup>[1]</sup>.我国是水资源相对短缺的发展中国家,水资源在时间和空间上分布极不均匀,加上经济社会的快速发展与水环境恶化,使得我国水资源短缺的矛盾十分突出<sup>[2]</sup>.有限水资源得到可持续利用,对于经济社会的可持续发展是至关重要的.地下水资源是水资源的重要组成部分.我国地下水资源分布呈现南多北少的基本特征,以长江为界,南方地区大约是北方地区的两倍,人均地下水资源最少的地区也在北方,部分北方地区地下水是用水的主要来源或重要来源.人们已经开始注意到,虽然地下水资源具有可更新性,但是不合理利用和过度开采地下水会带来诸多生态环境及安全问题.

水资源作为自然母体资源,其可持续发展与以人为中心的区域经济发展的互促关系引起国内学者和有关部门的高度重视<sup>[3]</sup>.已有研究表明水资源是区域社会经济发展最基本的物质基础,水资源对区域社会经济发展有着重要的制约作用<sup>[4]</sup>.王顺久等<sup>[5]</sup>指出水资源的合理配置是确保社会经济可持续发展的根本保障,提出理想的可持续发展模型应是时间和空间有机耦合的.方国华等<sup>[6]</sup>、何晓光等<sup>[1]</sup>利用投入产出技术和经济学观点,研究水资源与国民经济布局及各产业的关系.张培丽<sup>[7]</sup>分析了我国经济持续稳定增长中水资源的供需状况.王海英等<sup>[8]</sup>和宋先松<sup>[9]</sup>分析了流域地带产业结构等社会经济要素与水资源短缺的矛盾,提出应优化调整产业结构,建立有利于水资源节约利用的社会经济体系.宋松柏等<sup>[10]</sup>、刘恒等<sup>[11]</sup>利用不同方法构建评价指标体系用以评价水资源可持续发展能力,如宋松柏等<sup>[10]</sup>利用 RSWRS 系统发展综合指数和发展态势度量模型对陕西省水资源可持续利用进行综合定量评价,结果显示陕西省的社会经济发展水平不断发展,其水资源开发利用水平、环境条件也是不断得以改进的,这与本文研究结果一致.文献[12-15]研究了水资源及地下水资源对不同地区经济社会发展的支撑能力以及承载能力,如汪党献等<sup>[12]</sup>通过分析水资源及其利用、区域发展和生态环境状况之间的协调程度,指出我国水资源的区域发展支撑能力在空间上有巨大差异,并详细分析了各区域支撑能力状况.但将时间和空间变化相结合,对我国各地区用水情况和水资源利用情况的时空特征的分析研究尚不多见.

本文利用《中国统计年鉴》31 个省级行政区 2003—2012 年用水

与供水数据,分析了近年来我国各地区用水总量和工业用水量的时空变化特征,以及我国各地区地表水源和地下水源贡献率的时空变化特征,以期为我国水资源合理高效利用与社会经济可持续发展提供一定的决策依据.

## 1 资料与方法

本文所用基础数据来源于《中国统计年鉴》和《中国水资源公报》,资料年限为2003—2012年.本文选取了全国31个省级行政区(不包括港澳台地区)的年用水情况及年水源供水数据资料,包括用水总量、工业用水量、地表水源供水量、地下水源供水量等.本文对我国总体的用水量、用水结构、用水比例、供水来源等情况做描述性统计,以研究我国不同地区用水及供水的基本状况.接着,为避免EOF分解时第1特征向量方差贡献过于集中的问题,先对所用原始数据按地区进行标准化,再进行EOF分解,以研究我国不同地区用水及供水情况的时空特征.

经验正交函数(EOF)方法是大气科学领域常用的时空分析方法,文献[16-17]将其应用到气象向量场的研究中,它能够将变量场时间和空间变化分离,用尽可能少的模态表达出主要的时间和空间变化,既能保留原始数据提供的绝大部分信息,又能起到降维作用,可有效浓缩空间场信息.这种分解能够紧紧抓住被展开对象的特征,比其他函数展开收敛快,且函数本身及各函数的系数也是正交的.目前除了在大气科学领域,该方法也应用于农业旱灾、城市空气质量等其他领域,如蒋国富等<sup>[18]</sup>运用EOF方法把人均GDP距平正交分解为空间函数场及时间函数,分析了区域经济分异的整体格局和局部比重及变化特征,比传统的分析方法具有较明显的优势.

本文将全国31个省级行政区2003—2012年经过标准化处理后的数据记为 $X = (x_{it})$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ ,  $t = 1, 2, \dots, n$ ,  $m$ 为地区数,  $n$ 为时间点,则可将 $X$ 分解为具有“正交性”的空间函数矩阵 $V$ 和时间函数矩阵 $Z$ <sup>[19-20]</sup>

$$X = VZ, \quad (1)$$

$$x_{it} = \sum_{k=1}^m v_{ik} z_{kt}, \quad (2)$$

$$\text{其中 } V = (v_1, v_2, \dots, v_m) = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{21} & \dots & v_{m1} \\ v_{12} & v_{22} & \dots & v_{m2} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ v_{1m} & v_{2m} & \dots & v_{mm} \end{bmatrix},$$

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \dots & z_{1n} \\ z_{21} & z_{22} & \dots & z_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ z_{m1} & z_{m2} & \dots & z_{mn} \end{bmatrix}, v_j = (v_{j1}, v_{j2}, \dots, v_{jm})^T \text{ 是第 } j$$

个典型场,它仅仅是空间的函数.

分解时,由式(1),令 $A = X \cdot X^T = V \cdot Z \cdot Z^T \cdot V^T$ ,则 $A$ 为实对称矩阵,根据实对称矩阵分解定理,一定有 $V^T A V = \Lambda$ 或 $A = V \Lambda V^T$ ,其中 $V$ 的列是 $A$ 的特征向量, $\Lambda$ 是 $A$ 的特征值组成的对角阵.利用 $Z = V^T X$ 求出 $Z$ ,分解工作即可完成.

## 2 我国用水和供水来源基本情况

### 2.1 用水基本情况

用水总量指各类用水户取用的包括输水损失在内的毛水量,主要由生态用水、生活用水、工业用水和农业用水组成,用水比例指某类用水量占用水总量的比例.由图1可见,从2003年到2012年全国总用水量逐年增加,2012年比2003年同比增加了15.24%,其中2004年增加幅度最大,增加了227.4亿 $m^3$ ,同比增加4.27%.整体来看,同比增加量有所减小,增加幅度放缓.农业用水量和工业用水量与全国用水总量变化趋势一致,呈增加状态,但增加幅度变小,两者之和占用水总量的86%左右.但图2显示,随着我国经济的不断发展,从2003年到2012年工业用水比例呈上升趋势,而农业用水比例呈下降趋势.

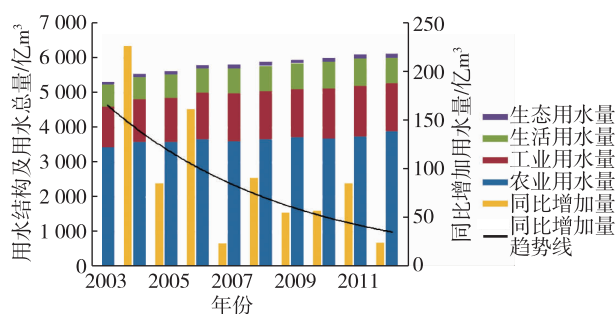


图1 我国用水结构、用水总量及同比增加情况

Fig. 1 Water utilization structure, the gross water usage and its year-on-year growth in China

### 2.2 供水来源基本情况

地表水源供水量指地表水体工程的取水量,按蓄、引、提、调4种形式统计;地下水源供水量指水井工程的开采量,按浅层淡水、深层承压水和微咸水分别统计;其他水源供水量包括污水处理再利用、集雨

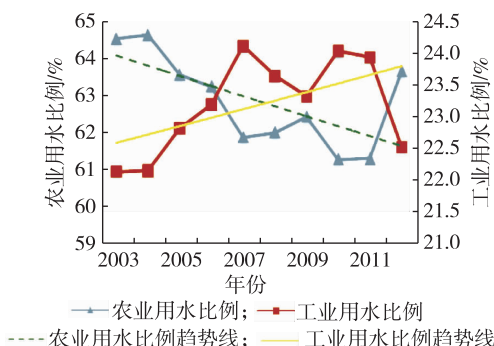


图2 我国农业用水比例和工业用水比例变化趋势  
Fig. 2 Agricultural and industrial proportion in water usage during 2003—2012 in China

工程、海水淡化等水源工程的供水量.前两者是全国用水的主要来源,贡献总和占99%以上.随着全国用水总量的逐年增加,地表水源供水量从2003年的4 286亿 $m^3$ 增加到2012年的4 952.81亿 $m^3$ ,地下水水源供水量则从1 018.1亿 $m^3$ 增加到1 133.8亿 $m^3$ .由表1可知,地表水源供水同比增加量有所减少,2012年已出现负增长,而地下水水源供水量持续正增长,但同比增加量较大波动.

随着技术的进步和社会环保意识的增强,其他水源供水量在不断提升,从2003年的16.3亿 $m^3$ 增加到2012年的44.56亿 $m^3$ ,增加了173.37%.从图3还可以看出,其在总供水量中的贡献也在不断提升,从0.31%增加到0.73%,这种变化在早期不是非常明显,近几年尤为突出.

### 3 EOF分解结果及讨论

#### 3.1 用水情况的时空特征

用水总量的变化具有明显的地域差异,EOF分解方法能够反映出其变化的时空特征.对31个省级行政区年用水总量序列进行EOF分解,结果显示第1模态方差贡献最大,为49.74%,第2模态方差贡献为21.13%,前2个模态的累计方差贡献率达

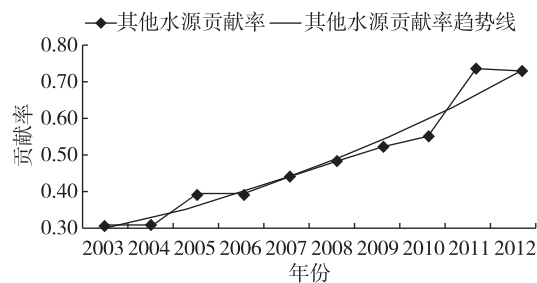


图3 我国其他水源贡献率变化趋势  
Fig. 3 Contribution rate of other water sources during 2003—2012 in China

70.87%,且都通过了North检验.第1模态基本能够刻画全国用水总量变化的主要空间分布特征,图4为该模态对应的特征向量场和时间系数.

由图4a可见,第1特征向量场空间分布符号不一致,说明我国各地区用水总量变化情况空间格局不一致,大部分行政区为正值,只有河北省、浙江省、海南省、青海省和甘肃省为负值,表明这5个地区的变化趋势与其他地区相反,正值中心和负值中心都位于我国的中东部地区,说明我国用水总量的分布为中东部变化较大,西部变化较小.

时间系数代表了该特征向量场分布型的时间变化特征.时间系数绝对值越大,说明该年的特征向量特征越明显,这类分布型越典型.时间系数的正负决定型场的分布方向,正值表示与场型相同,为负号时,表示出现反位相分布.从图4b可以看出,第1时间系数从2003年到2012年由负到正逐年增大,且增幅较大,其变化趋势与我国用水总量的多年变化趋势一致.第1特征向量场(图4a)中大部分呈现正值的区域为用水量呈增多趋势地区,数值越大,用水量增加趋势越明显;负值区为用水量减少趋势地区,数值越大,用水量减少趋势越明显.用水总量的变化与地域经济、产业结构、地形特点、气候特征等都有着密切的联系.

表1 我国地表水源和地下水水源供水量同比增长情况

Table 1 The year-on-year growth of surface water and underground water supply in China											亿 $m^3$
	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	
地表水源供水量	4 286.0	4 504.2	4 572.2	4 706.80	4 723.90	4 796.42	4 839.47	4 881.57	4 953.27	4 952.81	
地下水水源供水量	1 018.1	1 026.4	1 038.8	1 065.52	1 069.10	1 084.79	1 094.52	1 107.31	1 109.11	1 133.80	
地表水源供水同比增加量		218.2	68.0	134.60	17.10	72.52	43.05	42.10	71.70	-0.46	
地下水水源供水同比增加量		8.3	12.4	26.72	3.58	15.69	9.73	12.79	1.80	24.69	

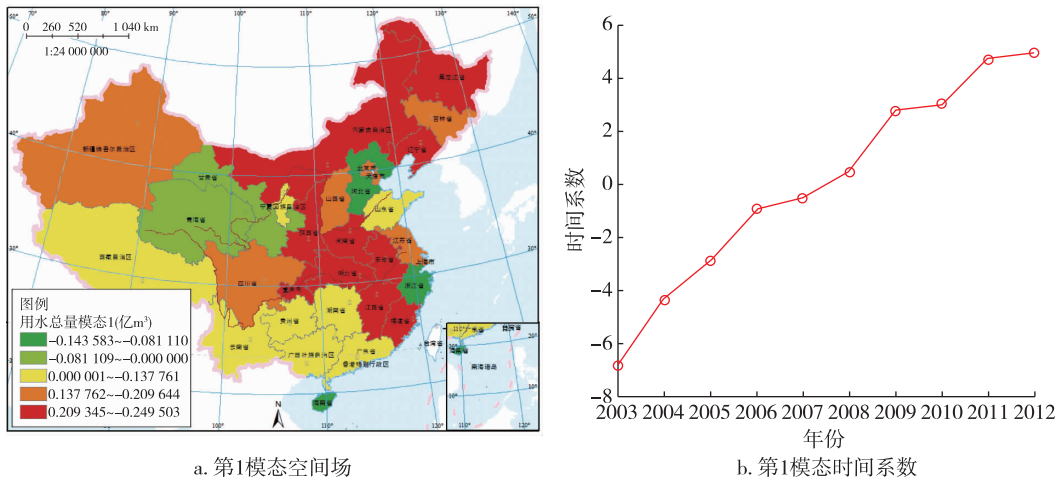


图 4 我国年用水总量 EOF 展开第 1 模态空间场及第 1 模态时间系数

Fig. 4 Spatial pattern and time coefficient of EOF for annual gross water usage in China

3.2 工业用水情况的时空特征

工业用水指工矿企业在生产过程中用于制造、加工、冷却、空调、净化、洗涤等方面的用水,按新水取用量计,不包括企业内部的重复利用水量.工业用水量与地区产业结构等因素有着密切的联系,具有明显的地域性.对 31 个省级行政区年工业用水量序列进行 EOF 分解,结果显示,前 2 个模态的累计方差贡献达 73.03%,且都通过 North 检验,第 1 模态的贡献率最大,为 50.78%,基本能够刻画我国年工业用水量变化的主要时空特征.如图 5 所示,本文给出第 1 个模态所对应的特征向量场及时间系数描述.

由图 5a 可见,第 1 特征向量场空间分布符号不

一致,说明各地区工业用水量变化不一致,具有明显的地域特征,负值区域除了东北的黑龙江省以外,华东的山东省、华北的大部分地区(包括北京市、天津市、河北省、山西省)以及西北大部分地区(包括陕西省、甘肃省、青海省)沿黄河由东向西连成一线,工业用水量变化趋势与正值区反相位,北京市、河北省和甘肃省是负值大值区.其余地区均为正值区,表明大部分地区工业用水量正相变化,正值大值区较多,主要分布在中部和西部,正值小值区较少,主要分布在东部沿海省份.

图 5b 中第 1 时间系数从 2003 年到 2012 年由负到正呈增加趋势,且增幅较大,2011 年开始有所下降.表明第 1 特征向量场(图 5a)中正值区为年工

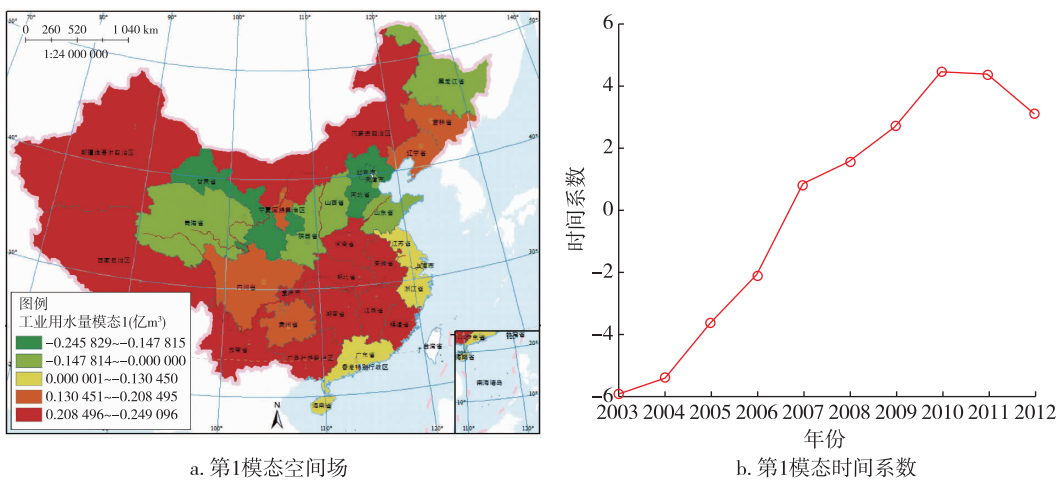


图 5 我国年工业用水量 EOF 展开第 1 模态空间场及第 1 模态时间系数

Fig. 5 Spatial pattern and time coefficient of EOF for annual industrial water consumption in China

业用水量呈增多趋势,2010年达到极大值;负值区则相反,年工业用水量呈减少趋势,特征向量场中绝对值越大表明变化特征越显著。

### 3.3 供水来源贡献率时空特征

地表水源和地下水源是用水的主要来源,两者之和占供水总量的99%以上,各来源供水量占供水总量的百分比称为其贡献率。供水来源贡献率与各地区的气候、产业结构、地理环境及水资源配置管理等都有着密切的联系,也有明显的地域性。

对31个省级行政区年地表水源贡献率和年地下水源贡献率序列分别进行EOF分解,结果显示,两者分解后的前2个模态的累计方差贡献率均可达50%以上,且能够通过North检验,其中第1模态的贡献率均为最大。由于地表水源贡献率和地下水源贡献率具有极高的负相关性,所以两者第1模态反映的空间特征差异不大,时间系数反相。图6仅给出地下水源贡献率第1特征向量场的描述,基本能够刻画我国供水来源贡献率的主要时空分布特征。

由图6a可见,第1特征向量场空间分布符号不一致,说明我国各地区地下水源贡献率变化不一致,具有明显的地域特征,只有西藏自治区、新疆维吾尔自治区、黑龙江省、安徽省、四川省和内蒙古自治区为正值,其余行政区均为负值。正值区主要是地广人稀的自治区和几个重要的农业大省,结合图6b的时间系数,从2003年到2012年,地下水源贡献率呈现不断增加趋势,而其余全国大部分地区都是负值区,呈反相变化,地下水源贡献率呈不断减少趋势,负值

大值区较为集中,如负值较大的北京市、天津市、山东省和陕西省等变化趋势更显著。负值地区有些是我国较发达地区,如江苏省、浙江省、广东省和上海市,它们是高科技产业密集区,工业用水量变化不大,工业发展脚步放缓及注重发展高技术、低能耗产业,对于地下水资源的开发利用较为合理,且环保意识较强。有的是以文化产业、高科技信息产业等为主,且环保意识较高地区,如北京市、天津市等,还有的是原经济发展粗放度较高,资源型工业所占比重较高,但已经意识到产业结构存在问题,开始依靠技术进步调整产业结构,努力发展第三产业,注重促进产业集聚,培育主导产业群的地区,如河北省和甘肃省。

地表水源和地下水源贡献率的负相关性表现为一方面显著减少(或增加),则另一方面显著增加(或减少),但北京市地下水源贡献率减少趋势显著,而同时地表水源贡献率却没有显著增加趋势(图略)。查看其他水源贡献率发现,北京市其他水源贡献率10年来同比增长465%,2012年增幅超过20%,不论涨幅还是贡献率本身在我国均遥遥领先,这是北京市地下水源贡献率减少的主要原因。

### 3.4 讨论

水是工业的血液,没有哪一项工业的生产过程不需要用水,工业结构对工业用水增长的长期趋势有明显的作用<sup>[1]</sup>。工业用水量的变化趋势能够反映区域经济的工业布局 and 结构发展状况。根据年工业用水量EOF分析的第1特征场(图5a)可分为3种类型:第1类是正值大值区,工业用水量增加趋势显

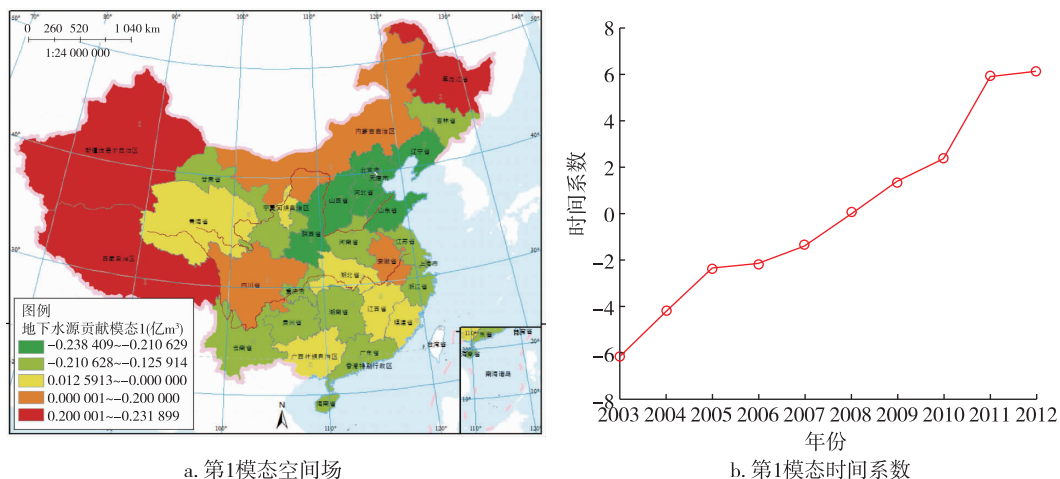


图6 我国年地下水源贡献 EOF 展开的第1模态空间场及第1模态时间系数

Fig. 6 Spatial pattern and time coefficient of EOF for annual contribution rate of underground water in China

著,主要是工业欠发达并加速发展地区,中部和西部大部分地区都属于这种类型,例如安徽省、新疆维吾尔自治区、内蒙古自治区、西藏自治区、四川省等;第2类是正值小值区,近年来工业用水量变化不显著,主要是东部沿海地区,例如江苏省、浙江省、广东省、海南省、上海市等;第3类是负值区,工业用水量减少趋势显著,分布在黄河沿岸,主要是工业发展中地区,部分地区或者产业结构在不断调整和优化中,例如陕西省、甘肃省等,或者是高科技产业区,例如北京市等。

地下水是水资源的极重要的组成部分,具有水质好、供水保证程度高以及可更新性等特点.其作为一种资源在被不断地被开采和利用,尤其以深层水采集为甚,但是过渡开采可能引发诸如地下水位下降、地面沉降、海水入侵、地面塌陷和地裂缝以及水质恶化等环境问题.按国际通用标准,一个区域的水资源开发利用率不宜超过水资源量的30%,若超过40%就可能引起生态危机<sup>[21]</sup>,因此必须关注地下水资源的利用趋势情况.根据年地下水贡献率 EOF 分析的第1特征场(图6a)也可分为3种类型:第1类是正值区,地下水贡献率呈增加趋势,包括内蒙古自治区、黑龙江省、安徽省、四川省、西藏自治区、新疆维吾尔自治区;第2类是负值大值区,地下水贡献率减少趋势显著,包括北京市、天津市、河北省、山西省、辽宁省、山东省、陕西省等;第3类是负值小值区,地下水贡献率增加趋势不明显。

江苏省、浙江省和广东省在水资源利用方面表现为近10年工业用水量呈不显著增加趋势,地下水贡献率呈显著减少趋势的特点.这3个地区均为我国较发达地区,也是高科技产业密集区,近10年工业发展脚步放缓,注重发展高科技、低能耗产业,工业用水量变化较小.它们对于地下水资源的开发、利用较为合理,且环保意识较强,其向高科技产业发展的模式和经验可以作为其他地区的典范。

北京市、天津市、河北省、山西省、陕西省、甘肃省和青海省在水资源利用方面有着相似的特点,即近10年来工业用水量和地下水贡献率均呈现显著减少趋势.其中,一部分地区,如北京市和天津市等,以文化产业、高科技信息产业等为主,且环保意识较高;一部分地区,如甘肃省、河北省等,原经济发展粗放度较高,资源和能源高消耗型工业所占比重较高,轻重工业比例不协调,但现已意识到产业结构存在的问题,开始依靠技术进步调整产业结构,注重

促进产业集聚,培育主导产业群。

新疆维吾尔自治区和内蒙古自治区地处我国西北部,地广人稀,水资源相对匮乏,季节分布也不平衡.国家西部大开发战略实施以来,其经济得到了长足的发展,但在水资源利用方面,工业用水量和地下水贡献率均呈显著增加趋势.这2个地区的水资源开发利用率(水资源耗用量占水资源总量的百分比)较高,且增长较快.新疆维吾尔自治区的地下水贡献率从2003年的8.78%增加到2012年的19.91%,同比增长125.56%,地表水源开发利用率则高达50%以上.应注意研究和调整该地区的产业结构,大力发展地域优势经济,积极调整优势产业形成产业链.内蒙古自治区地下水贡献率高达40%,地表水源开发利用率也超过30%.从总体看,内蒙古自治区区内地表水和地下水资源较贫乏,而且分布不均匀.地下水一直是一些地区工业生产、城镇居民生活及农村人畜用水的主要水源,合理开发利用十分重要.应注重研究和减少内蒙古自治区的工业发展速度,特别是重工业的发展,减少高耗能产业的发展。

## 4 结论

利用《中国统计年鉴》及《中国水资源公报》2003—2012年31个省级行政分区的年用水、供水数据,采用 EOF 展开方法,分析了我国用水和供水的空间和时间演变特征,结论如下:

1) 全国地表水源使用同比增加量有所减小,2012年已出现负增长,而地下水使用量持续正增长,同比增加量波动较大.全国总用水量不断增加,但增幅有所减小.全国用水总量时空特征显示,各地区趋势不完全一致,中东部变化较大,西部变化较小,河北省、浙江省、海南省、青海省和甘肃省与其他地区反相变化。

2) 江苏省、浙江省和广东省的工业产业以高科技、低能耗为主要模式,且环保意识较强,其在水资源利用,特别是地下水资源利用方面表现突出,可以作为其他地区的典范。

3) 北京市、天津市、河北省以文化产业、高科技信息产业等为主,山西省、陕西省、甘肃省和青海省已经意识到快速发展工业产业过程中存在的问题,并依靠技术进步对结构进行调整,以上地区地下水资源利用状况向良好的趋势发展。

4) 新疆维吾尔自治区和内蒙古自治区的水资

源利用现状和趋势不容乐观,应充分考虑水资源的地理和季节分布特点,大力发展地域优势产业,减少高能耗产业,并增强环保意识,以求水资源得到协调、可持续的开发和利用。

水资源在年内和年际间很不均匀,大部分地区的年内降水量主要集中在汛期,丰水期与枯水年的交替周期可持续几年或者十几年,同一地区内的差异也很大.因此本文仅以省级行政区的年数据作为研究的基础数据,时空尺度相对较粗,可以减小尺度做进一步研究。

## 参考文献

### References

- [ 1 ] 何晓光,钟茂初.水资源对经济社会发展的影响[J].山西财经大学学报,2002,24(5):39-44  
HE Xiaoguang, ZHONG Maochu. The effect of water resource on the development of economy and society[J]. Journal of Shanxi Finance and Economics University, 2002, 24(5): 39-44
- [ 2 ] 夏军, Thomas Tanner, 任国玉, 等. 气候变化对中国水资源影响的适应性评估与管理框架[J]. 气候变化研究进展, 2008, 4(4): 215-219  
XIA Jun, Thomas Tanner, REN Guoyu, et al. Potential impacts of climate change on water resources in China: Screening for adaptation and management[J]. Advance in Climate Change Research, 2008, 4(4): 215-219
- [ 3 ] 李长健, 吴薇, 刘丽. 水资源可持续发展与区域经济发展互促关系研究: 以鄱阳湖生态经济区为例[J]. 江西社会科学, 2010(4): 209-213  
LI Changjian, WU Wei, LIU Han. Research on the relationship of mutual promotion between sustainable development of water resources and regional economic development: A case study of Poyang Lake ecological economic zone[J]. Jiangxi Social Sciences, 2010(4): 209-213
- [ 4 ] 何希吾, 陆亚洲. 区域社会经济发展与水资源[J]. 科学对社会的影响, 1996(2): 12-16  
HE Xiwu, LU Yazhou. Regional socio-economic development and water resources[J]. Impact of Science on Society, 1996(2): 12-16
- [ 5 ] 王顺久, 侯玉, 张欣莉, 等. 水资源优化配置理论发展研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2002, 12(5): 79-81  
WANG Shunjiu, HOU Yu, ZHANG Xinli, et al. Study on the development of optimal allocation theory of water resources [J]. China Population, Resources and Environment, 2002, 12(5): 79-81
- [ 6 ] 方国华, 钟淋涓, 张建华. 江苏省水资源利用、水环境保护与国民经济发展关系分析[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(11): 1008-1013  
FANG Guohua, ZHONG Linjuan, ZHANG Jianhua. Analysis on relationship between water resources utilization, water environment protection and national economic development of Jiangsu province[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2009, 18(11): 1008-1013
- [ 7 ] 张培丽. 我国经济持续稳定增长下的水资源安全[J]. 经济理论与经济管理, 2011(9): 17-26  
ZHANG Peili. Water security under China's sustainable and steady economic growth [J]. Economic Theory and Business Management, 2011(9): 17-26
- [ 8 ] 王海英, 董锁成, 尤飞. 黄河沿岸地带水资源约束下的产业结构优化与调整研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2003, 13(2): 79-83  
WANG Haiying, DONG Suocheng, YOU Fei. Study on the optimizes and adjustment of industry structure subjected to the water resource in drainage areas of the Yellowriver [J]. China Population, Resources and Environment, 2003, 13(2): 79-83
- [ 9 ] 宋先松. 黑河流域水资源约束下的产业结构调整研究: 以张掖市为例[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(5): 81-84  
SONG Xiansong. Optimizes and adjustment of industry structure subjected to the water resources of the Heihe river basin [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2004, 18(5): 81-84
- [ 10 ] 宋松柏, 蔡焕杰. 区域水资源可持续利用的综合评价方法[J]. 水科学进展, 2005, 16(2): 244-249  
SONG Songbai, CAI Huanjie. Comprehensive assessment method for region sustainable water resources [J]. Advances in Water Science, 2005, 16(2): 244-249
- [ 11 ] 刘恒, 耿雷华, 陈晓燕. 区域水资源可持续利用评价指标体系的建立[J]. 水科学进展, 2003, 14(3): 265-270  
LIU Heng, GENG Leihua, CHEN Xiaoyan. Indicators for evaluating sustainable utilization of regional water resources [J]. Advances in Water Science, 2003, 14(3): 265-270
- [ 12 ] 汪党献, 王浩, 马静. 中国区域发展的水资源支撑能力[J]. 水利学报, 2000(11): 21-26  
WANG Dangxian, WANG Hao, MA Jing. Water resources supporting capacity for regional development in China [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2000(11): 21-26
- [ 13 ] 杨建锋, 万书勤, 陈兴华. 中国地下水资源对区域经济社会发展的支撑作用评价[J]. 资源科学, 2007, 29(5): 97-104  
YANG Jianfeng, WAN Shuqin, CHEN Xinghua. An evaluation of groundwater's role in regional economic and social development in china [J]. Resources Science, 2007, 29(5): 97-104
- [ 14 ] 谢高地, 周海林, 甄霖, 等. 中国水资源对发展的承载能力研究[J]. 资源科学, 2005, 27(4): 2-7  
XIE Gaodi, ZHOU Hailin, ZHEN Lin, et al. Carrying capacity of water resources for china's development [J]. Resources Science, 2005, 27(4): 2-7
- [ 15 ] 张薇薇, 金菊良, 周玉良, 等. 区域地下水资源承载力评价的模糊联系度方法[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2008, 40(6): 30-36  
ZHANG Weiwei, JIN Juliang, ZHOU Yuliang, et al. Fuzzy connection degree method for comprehensive evaluation of regional groundwater resources carrying capacity [J]. Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition, 2008, 40(6): 30-36
- [ 16 ] 王盘兴, 徐建军, 许应龙. 关于 EOF 分析方法的一个试验[J]. 南京气象学院学报, 1991, 14(S1): 455-460

周素萍,等.近10年我国用水与水资源利用情况时空特征研究.

- WANG Panxing, XU Jianjun, XU Yinglong. An experiment of the EOF analysis method [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 1991, 14(S1):455-460
- [17] 陈海山,朱伟军,邓自旺,等.江苏冬季气温的年代际变化及其背景场分析[J].南京气象学院学报,2004, 27(4):433-442
- CHENG Haishan, ZHU Weijun, DENG Ziwang, et al. Inter-decadal variations of winter air temperature in Jiangsu province and their physical background [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2004, 27(4):433-442
- [18] 蒋国富,刘嘉俊.自然正交函数在区域经济时空演变中的实证分析:以河南省县域经济为例[J].经济地理,2009,29(7):1103-1107
- JIANG Guofu, LIU Jiajuan. Demonstration analysis on the spatial-temporal evolution of the regional economy using by EOF: A case study of the county economic in Henan province [J]. Economic Geography, 2009, 29(7): 1103-1107
- [19] 施能.气象科研与预报中的多元分析方法[M].北京:气象出版社,2002:114-123
- SHI Neng. Multivariate analysis methods in weather research and forecasting [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2002:114-123
- [20] 黄嘉佑.气象统计分析与预报方法[M].北京:气象出版社,2004:130-134
- HUANG Jiayou. Methods of meteorological statistical analysis and forecasting [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2004:130-134
- [21] 李德一,张树文.黑龙江省水资源与社会经济发展协调度评价[J].干旱区资源与环境,2010,24(4):8-11
- LI Deyi, ZHANG Shuwen. Evaluation on coordination degree between water resources and social economic development in Heilongjiang Province [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2010, 24(4):8-11

## Temporal and spatial distribution characteristics of water consumption and water resource utilization in China during 2003—2012

ZHOU Suping<sup>1</sup> CAO Jie<sup>1</sup>

<sup>1</sup> School of Economics & Management, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

**Abstract** As an important material basis for social and economic development, water resource in rational development and utilization is critical for social and economic sustainable development. Based on water consumption and supply data from Chinese Statistical Yearbook and Chinese Water Resources Bulletin from 2003 to 2012, the temporal and spatial distribution characteristics of water consumption and water resource utilization in China were analyzed by means of empirical orthogonal function (EOF) analysis. The results show that in the last ten years the gross water usage have been increasing, but with reduced increase trend. The change of the gross water usage is diversified in different regions, which is greatest in area of middle east, and least in the western region. Hebei, Zhejiang, Hainan, Qinghai, and Gansu had an opposite trend in change of gross water usage compared with the rest of the provinces. Underground water is an important part of water resources. Jiangsu, Zhejiang and Guangdong provinces utilize their underground water in a coordinated mode with industrial development, which can be models for other areas. Beijing, Tianjin, Hebei, Shanxi, Shaanxi, Gansu, and Qinghai provinces optimize their usage of the underground water by restructuring their industrial development. However, Xinjiang Uygur Autonomous Region and Inner Mongolia Autonomous Region are not optimistic in underground water utilization status and trends. More attention should be paid to strengthen the water resource protection and optimize the industrial structure, in order to develop and use water resources coordinately and sustainably in these areas.

**Key words** industrial water consumption; contribution rate of water resource; temporal and spatial distribution characteristics; EOF analysis