

# 中国水资源短缺程度及缺水类型研究

□ 丁竹英,陈瀛洲,胡陈静

(浙江理工大学 经济管理学院,浙江 杭州 310018)

**摘要:**本文搜集了我国大陆 31 个省份 2014 年水资源数据,选取 19 个指标构建评价体系,采用主成分分析法对各省的水资源短缺程度进行评价,并划分缺水地区的缺水类型。结果表明:除西藏水资源特别丰富外,华南、西南、两湖地区以及浙江、安徽、江西、福建属于水资源相对丰富或脆弱地区;华北、东北、陕甘宁地区以及山东、河南、上海、江苏属于缺水或严重缺水地区。在缺水类型上,所有的严重缺水地区均属于综合性缺水;除黑龙江属于资源性缺水,上海属于过载-工程性缺水外,剩余的缺水省份均属过载-资源性缺水。这为我国政府制定各地节水政策、进行水资源跨区调配、改革水资源管理体制提供了决策参考。

**关键词:**水资源;短缺程度;缺水类型;主成分分析

中图分类号:F205;F424

文献标识码:A

文章编号:1004-0714(2018)09-0047-04

## Water Shortage and Water Shortage Types in China

DING Zhu-ying, CHEN Ying-zhou, HU Chen-jing

(School of Economics, Zhejiang Sci-tech University, 310018, Hangzhou, Zhejiang, China)

**Abstract:** This paper collects China's 31 provinces in 2014 water resources data, selects 19 indexes to construct the evaluation index system, uses principal component analysis method to evaluate water resources shortage of provinces, and divides water shortage in water shortage types. Results show: in addition to Tibet is particularly rich in water resources, Southern China, Southwest China, Hubei and Hunan provinces as well as Anhui, Zhejiang, Jiangxi and Fujian provinces belong to the relatively rich water resources or fragile areas; North China, Northeast China, Shaanxi Gansu Ningxia region and Shandong, Henan, Shanghai, Jiangsu belongs to the water shortage or severe water shortage area. On the type of water shortage, all the serious water shortage areas are comprehensive water shortage; in addition to Heilongjiang belong to the lack of water resources, Shanghai belong to overload - engineering water shortage, the remaining water shortage provinces are overloaded - resource shortage. This can help Chinese government develop the water-saving policy, make water resources allocation, reform water resources management system.

**Keywords:** water resource; water shortage degree; shortage type; principal component analysis

### 一、引言

2000 年以来,我国经济呈现飞速发展的态势,各地区工农业活动愈加活跃,城市化进程持续推进。社会的发展带来用水总量的激增,从 2000 年到 2014 年上升了 10.9%。<sup>①</sup>然而,我国人均淡水占有量仅为世界人均的 1/4,且空间分布极不均衡。北方地区人口占全国总人口的 43.2%,水资源总量只占 17.1%。<sup>②</sup>2017 年,

国家发展改革委提出要加强节水型社会的建设,因地制宜确定节水目标、方向和重点任务。<sup>③</sup>因此,研究并评价当前我国各省份的水资源短缺程度及缺水类型将为制定新时期水资源管理制度提供判断依据。

水资源评价的关键是运用科学合理的水资源评价方法。李飞等<sup>④</sup>对主成分分析法(PCA)、综合评分法等 11 种常用的水资源评

价方法进行了评述,提出主成分分析法具有同时分析不同量纲指标的优点。王壬等<sup>[9]</sup>以福建地区为研究对象,构建区域水资源可持续利用评价体系并运用主成分分析法(PCA)、层次分析法(AHP)等7种方法进行评价,结果发现PCA和AHP方法的评价过程相对稳定,评价结果一致性最高。

在研究我国各地区水资源现状的文献中,多数学者选择特定地区的城市进行水资源短缺程度及缺水类型研究<sup>[4-7]</sup>,少有学者关注我国大陆31个省份的整体情况。王晓青<sup>[8](516-520)]</sup>采用层次分析法研究我国大陆31个省市的水资源状况,其结果认为严重缺水区域集中于北方地区的鲁、晋、陕、甘、冀、津、内蒙古七省。

本文搜集我国大陆31个省、直辖市、自治区2014年的水资源数据,选取19个相关指标构建评价体系,用主成分分析法测算各省水资源短缺程度,在此基础上又进一步划分得到各缺水省份的缺水类型。本文考察在“新常态”背景下我国各省份的水资源短缺程度及缺水类型,通过与王晓青(2001)的文章做比较,判断新千年出现的新趋势、新变化,这有助于客观分析各省份水资源的变化趋势,在准确判断地区差异的基础上,为各省份制定水资源管理制度提供依据。

## 二、方法、模型、指标与数据

### 1.方法介绍

本文将采用主成分分析法(PCA)划分各省的水资源短缺程度与缺水类型。PCA是利用降维的思想,把原本具有一定相关性的多个指标重组为新的无相关性的综合指标,并基于新的综合指标进行统计评价的分析方法。新综合指标通常是在选取合适的组合系数后构造的原指标的线性组合,从而使新指标相互独立且能较好地代表原指标。

### 2.模型构建

设有 $p$ 个原始指标,则PCA的构建步骤如下:

步骤1,将原始数据标准化,以消除变量间在数量级和量纲上的不同,得到标准化数据矩阵。

步骤2,计算标准化后的数据间的相关系数,建立相关系数矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1p} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \dots & r_{pp} \end{bmatrix}, \text{其中 } r_{ij} (i,j=1,2,\dots,p) \text{ 为标准化后变量 } x_i \text{ 与 } x_j \text{ 的相关系数。}$$

步骤3,求 $R$ 的特征值和特征向量:首先解特征方程 $|\lambda_i I - R| = 0$ ,求出特征值,即主成分方差 $\lambda_i (i=1,2,\dots,p)$ ,并使其按大小排列,即 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$ ;再分别求出对应于特征值 $\lambda_i$ 的特征向量 $\mu_i (i=1,2,\dots,p)$ 。

步骤4,计算主成分方差贡献率与累计方差贡献率:每个主成分的贡献率代表了该主成分涵盖的原数据总信息量的百分比。

主成分 $C_i$ 的方差贡献率为 $\frac{\lambda_i}{\sum_{k=1}^p \lambda_k} (i=1,2,\dots,p)$ ,累积方差贡献率为 $\sum_{k=1}^m \lambda_k / \sum_{k=1}^p \lambda_k$ 。

步骤5,确定主成分:假设前 $m$ 个主成分的累积方差贡献率达到80%,则取前 $m$ 个主成分代替原有指标。

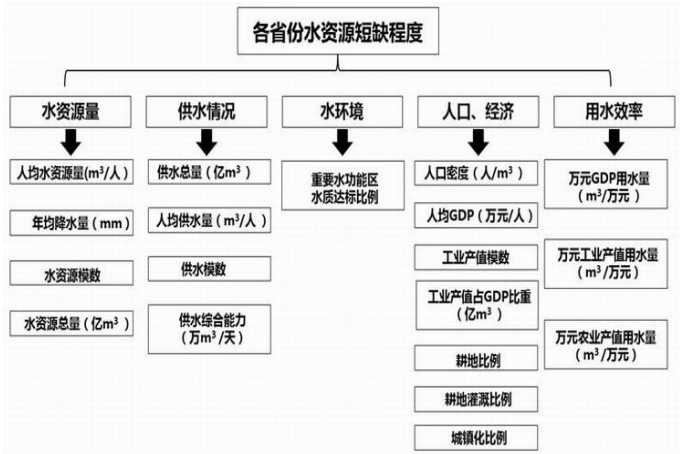
步骤6,计算主成分得分:以各主成分对原变量指标的载荷系数即每个主成分对应的特征向量为权,将各主成分表示为原变量指标的线性组合,而主成分的经济意义则由各线性组合中权数较大的指标的综合意义来确定,即: $C_i = u_{i1} x_1 + u_{i2} x_2 + \dots + u_{ip} x_p$ ,其中 $i=1,2,\dots,m$ 。

步骤7,计算评价对象的综合得分:以各主成分的方差贡献率即对应的 $R$ 的特征值为权,以各主成分的线性组合综合评价各评价对象。

步骤8,得分排序:利用综合得分可对评价对象进行排序。

### 3.指标选取与数据来源

本文利用各省份2014年的数据考察我国大陆31个省份的水资源现状,建立如下指标体系:



指标体系图

以上各指标的原始数据均来源于国家统计局编写的《中国统计年鉴2015》《中国能源统计年鉴2015》以及各省市统计局编写的统计年鉴、水资源公报和自然资源与环境统计年鉴。为了确保数据的完整性,我们将各省市下的市县数据归类于31个省级行政区下,并以查阅地方统计年鉴的方式插补部分数据缺失值。

### 三、各地水资源短缺程度与缺水类型划分

#### 1.水资源短缺程度划分

根据主成分分析法的计算步骤,本文用R软件对各省、直辖市、自治区的水资源短缺程度进行综合评价,得出如下结果:

当 m=5 时,累积方差贡献率为 82.69%>80%,因此确定用 5 个主成分代替原变量指标体系进行水资源短缺程度的评价。此时,5 个特征值分别为 2.34、1.93、1.67、1.56 和 1.14。最终得到的各地缺水程度综合得分及排名如下表:

各省份水资源短缺程度评分

省份	PC	rank	省份	PC	rank	省份	PC	rank
天津	-1.5560	1	江苏	-0.3825	12	贵州	0.4090	23
山东	-1.4597	2	甘肃	-0.2550	13	云南	0.4766	24
北京	-1.0204	3	黑龙江	-0.0458	14	福建	0.5007	25
河北	-0.9445	4	宁夏	-0.0321	15	新疆	0.7116	26
河南	-0.8820	5	青海	0.0307	16	湖南	0.7279	27
山西	-0.7987	6	重庆	0.0966	17	海南	0.7896	28
上海	-0.7938	7	浙江	0.1100	18	江西	0.9213	29
辽宁	-0.7209	8	湖北	0.1138	19	广西	1.0521	30
吉林	-0.6945	9	安徽	0.1542	20	西藏	4.0806	31
陕西	-0.6785	10	广东	0.2788	21			
内蒙古	-0.5761	11	四川	0.3869	22			

注:PC 表示各省份的综合得分,rank 则表示各省的相对排名。

根据综合得分,本文将我国大陆 31 个省份的水资源短缺程度划分为丰富、相对丰富、脆弱、缺水 and 严重缺水五个等级。从表中可以看出,西藏的综合得分为 4.08,远高于其他 30 个省份,故将西藏划分为水资源丰富区;剩下 30 个省份的综合得分均匀分布在-1.6 到 1.2 之间,其中以天津、山东为代表的 15 个省份的综合得分为负,故将该 15 个地区的水资源短缺程度以 0.8 为刻度划分为缺水和严重缺水两个等级;而以广西、江西为代表的 15 个省份综合得分为正,故将该 15 个省份的水资源短缺程度以 0.6 为刻度划分为相对丰富和脆弱两个等级。即除西藏外,其余 30 个省份的水资源短缺程度被划分为严重缺水 (-1.6<PC<-0.8)、缺水 (-0.8<PC<0)、脆弱 (0<PC<0.6) 及相对丰富 (0.6<PC<1.2) 四个等级,最终的划分结果为:

- 严重缺水区:天津、山东、北京、河北、河南;
- 缺水区:山西、上海、辽宁、吉林、陕西、内蒙古、江苏、甘肃、黑龙江、宁夏;
- 脆弱区:福建、云南、贵州、四川、广东、安徽、湖北、浙江、重庆、青海;

相对丰富区:广西、江西、海南、湖南、新疆;

王晓青<sup>[8]516-520</sup>的文章使用以专家打分为主的层系分析法,本文使用了包含 19 项评价指标的主成分分析法,反映的信息量更加全面也更加客观。由两文结果比较可见,绝大多数省市的水资源短缺程度相对变化不大,表明当前我国各地水资源短缺形势依然严峻。

重庆、上海、浙江、甘肃四省的水资源短缺情况发生了较大变化。其中重庆、上海、浙江的水资源短缺程度明显加深,这可能归因于三地快速的经济发展<sup>③</sup>。大量工业废水被直接排放到河道内,严重污染当地水质,破坏了当地的水生态系统。而甘肃地处西北,虽然仍属缺水省份,但它是少有的水资源短缺情况有较大好转的省份。这归功于当地建成的许多引水工程、蓄水工程以及喷灌工程,有效地促进了水资源的循环利用。<sup>④</sup>

2.缺水类型划分

对于缺水类型的划分,本文选择以各缺水省份的人均水资源量、水资源模数(单位面积土地水资源占有量)和人均供水量与全国均值的差值作为划分依据。只有一项指标与全国均值的差值为负时,则根据负值的那一项将其划分为过载性缺水、资源性缺水、工程性缺水中的一种;如果有两项指标为负值则将其划分为过渡

性缺水;三项指标均低于全国均值的则为综合性缺水。划分结果如下:

过载—资源性缺水:内蒙古、吉林、江苏、宁夏;

过载—工程性缺水:上海;

资源性缺水:黑龙江;

综合性缺水:北京、天津、河北、山东、河南、山西、辽宁、陕西、甘肃;

由此可以发现,我国严重缺水的五个省份均属于综合性缺水。导致它们缺水的原因除水资源总量少外,水资源利用率低也是一个重要因素,而且还存在严重的水污染现象。同时,北京、天津、山东等地工农业的快速发展导致水资源消耗量与日俱增,更加剧了这些省份的水资源短缺问题。

缺水区中的东北三省、陕西、宁夏、内蒙古、山西均属位于我国北方。这些地区本身水资源不丰富、全年降水量少且降水季节分配极不平均。同时,伴随着工农业的大量用水以及水浪费,上述各省的缺水情况一直没有缓解。位于南方的上海和江苏也属缺水地区,这主要是由于两地人口密集且经济发达,生产、生活用水量较大,水污染严重。

水资源相对丰富区中广西、海南、江西、湖南四省均位于南方地区。它们都有几个共同的特点,即水资源储量大、全年降水丰富、人口密度适中,工农业发展所需的用水量能够自给自足。位于西部的新疆和西藏两省情况相对特殊。两省水资源丰富的主要原因是人口较少且经济活动不活跃,生产、生活用水量较少。

#### 四、结论与建议

本文用主成分分析法对我国大陆31个省、直辖市、自治区的水资源短缺程度和缺水省份的缺水类型进行划分。结果表明:除西藏水资源特别丰富外,华南、西南、两湖地区以及浙江、安徽、江西、福建属于水资源相对丰富或脆弱地区;华北、东北、陕甘宁地区以及山东、河南、上海、江苏属于缺水或严重缺水地区;在缺水类型上,所有的严重缺水地区均属于综合性缺水;除黑龙江属于资源性缺水,上海属于过载—工程性缺水外,剩余的缺水省份均属过载—资源性缺水。依据上述结果,本文提出两点原则与政策建议:

1.根据不同的缺水程度,采取相应措施缓解缺水地区水危机

水资源丰富区应在保持自身水资源优势的前提下,适当向缺水地区调水,用以缓解缺水地区水资源总量有限以及水污染严重等问题。同时,缺水地区应出台更严格的污水排放政策并适当提高水价,用作对水资源调出地的生态补偿。另外,在产业发展类型上,缺水地区应停止钢铁、建材、化工等高耗水行业的发展,逐步向用水量较少的高新技术产业和现代服务业转移。

2.根据不同的缺水类型,采取相应措施节约用水

资源性缺水区主要问题是水资源有限,所以应提高工农业用水的重复利用率,并对居民的生活用水实行阶梯水价制度;过载性缺水区主要问题是人口和产业的高度集中,所以应控制区域内人口增长速度,减少高耗水企业,并对工农业用水和生活用水进行差异定价,利用水价杠杆引导企业和个人重视节水;工程性缺水地区主要问题是水资源开发利用程度低,所以应加快水利设施建设,同时更新供水系统以降低供水途中的水浪费。

注释:

①根据《中国能源统计年鉴2001》和《中国能源统计年鉴2015》数据计算得出。

②《节水型社会建设“十三五”规划》,国家发展改革委,发改环资[2017]128号,2017年1月17日。

③2015年重庆GDP增长率为11%,上海为6.9%,浙江为8%,全国平均为6.9%。2016年重庆GDP增长率为10.7%,上海为6.8%,浙江为7.5%,全国平均为6.7%。

④《一面湖,一座城,一份坚守》,新华社,2016年5月5日。

参考文献:

[1]王熹,王湛,杨文涛等.中国水资源现状及其未来发展方向展望[J].环境工程,2014,(7):1-5.

[2]李飞,贾屏,张运鑫等.区域水资源可持续利用评价指标体系及评价方法研究[J].水利科技与经济,2007,(11):826-828.

[3]王壬,陈莹,陈兴伟.区域水资源可持续利用评价指标体系构建[J].自然资源学报,2014,(8):1441-1452.

[4]胡效珍.山西省地表水水质达标对策分析[J].山西水利科技,2015,(2):97-99.

[5]张丽萍.四川省水资源短缺程度及缺水类型综合研究[D].雅安:四川农业大学,2004.

[6]郭靖,李峰,陈亚军.承德市水资源短缺类型模糊模式识别分析[J].黑龙江水利科技,2008(5):87-88.

[7]桂春雷.基于水代谢的城市水资源承载力研究—以石家庄市为例[D].北京:中国地质科学院,2014.

[8]王晓青.中国水资源短缺地域差异研究[J].自然资源学报,2001(6):516-520.

作者简介:丁竹英(1994-),女,汉族,浙江绍兴人,硕士。研究方向:资源经济学等。

收稿日期:2018-04-23