

# 基于主成分分析和因子分析的宁夏水资源承载力研究

赵自阳<sup>1</sup>, 李王成<sup>1,2,3</sup>, 王 霞<sup>1</sup>, 崔婷婷<sup>1</sup>, 程载恒<sup>1</sup>, 王 帅<sup>1</sup>

(1.宁夏大学土木与水利工程学院,宁夏 银川 750021;  
2.宁夏节水灌溉与水资源调控工程技术研究中心,宁夏 银川 750021;  
3.旱区现代农业水资源高效利用教育部工程研究中心,宁夏 银川 750021)

**摘 要:**为了探求宁夏水资源承载力状况,利用主成分分析法和因子分析法,在分析宁夏 2004~2014 年水资源承载力状况的基础上,对宁夏 5 市 2013 年水资源承载力分水资源支持力、社会经济技术水平和社会生活水平 3 个方面进行综合考虑,得到宁夏 5 市的水资源利用状况指数和分级标准。具体得到以下几个结论:(1)2004~2014 年间,宁夏水资源承载力仅在 2005~2006 年有所波动,其余年份两种方法结果一致,11 年间保持稳定上升;(2)对于宁夏 5 市 2013 年水资源承载力状况,主成分分析结果由大到小排序为吴忠市、银川市、石嘴山市、固原市和中卫市,因子分析结果由大到小排序为吴忠市、银川市、固原市、石嘴山市和中卫市;(3)建立宁夏 5 市水资源承载力状况分级阈值,主成分分析下吴忠市和银川市的水资源利用状况高,石嘴山市的水资源利用状况中等,固原市和中卫市的水资源利用状况低;因子分析下吴忠市和银川市的水资源利用状况高,其余 3 市水资源利用状况都较低。

**关键词:**主成分分析;因子分析;水资源承载力;宁夏

中图分类号:TV213

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2017)02-0064-09

## 1 引言

随着社会经济的飞速发展,世界各地面临着越来越严峻的水资源紧缺形势。为了对区域水资源承载力状况进行合理的评价分析,国内外学者进行了许多的研究。依据研究方法性质的不同大致可以分为模糊综合评价法<sup>[1-2]</sup>、常规趋势法<sup>[3-4]</sup>、主成分分析法<sup>[5-6]</sup>和因子分析法<sup>[7-8]</sup>等。其中模糊综合评价法计算复杂,指标选择多是根据专家主观经验确定,人为干扰因素较强<sup>[9]</sup>;常规趋势法虽然直观、简便,但是忽略了各个指标之间的相互关系,不能全面反映一个区域的水资源承载力<sup>[10]</sup>。主成分分析法和因子分析法则都是运用降维的思想,不同的是主成分分析法是要找出彼此不相关但能代表原始变量信息的几个主成分,因子分析法则根据变量之间的相关性进行分组,使得组内相关性高而组间相关性低<sup>[11]</sup>。相比模糊综合评价法和常规趋势法等,主成分分析法和因子分析法因为操作简单、易于推广和

克服了主观随意性等优点,迅速在水资源领域得到了广泛的推广和应用。

在以往的研究中往往是单纯利用某一种方法对区域的水资源承载力状况进行评价分析,本研究将主成分分析法和因子分析法结合起来,建立水资源承载力综合评价模型。首先对比分析宁夏 2004~2014 年间的水资源承载力变化情况,然后探讨银川、石嘴山、中卫、吴忠和固原 5 市 2013 年的水资源承载力情况。为政府部门评价水资源状况,科学管理水资源提供依据。

## 2 材料与方法

### 2.1 研究区域概况

宁夏回族自治区,位于北纬 35°14'~39°23',东经 104°17'~107°39'之间,全境海拔 1 000m 以上。南北相距约 456km,东西相距约 250km,总面积为 6.6×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>。深居西北内陆高原,属于典型的大陆性半湿润半干旱气候,具有春多风沙、夏少酷暑、秋凉较早、冬寒较长、

收稿日期:2016-08-01

基金项目:国家自然科学基金项目(51169021,51569022)

作者简介:赵自阳(1991-),男,河南洛阳人,硕士研究生,研究方向为水资源高效利用。E-mail:zyzhao115@163.com

通讯作者:李王成(1974-),男,陕西勉县人,副教授,主要研究方向为节水灌溉技术与理论、农业水资源高效利用。E-mail:liwangcheng@126.com

雪雨稀少、日照充足、蒸发强烈等特点。全年平均气温在 5~9℃ 之间,年平均降水量 300mm 左右。

2.2 主成分分析法步骤

主成分分析研究的是变量之间的相关关系,通过变量相关矩阵内部结构的研究,找出控制所有变量的几个主成分,它的一般步骤为:(1)确定分析变量,收集数据资料;(2)对原始数据进行标准化处理,主要是为了消除量纲不同带来的影响;(3)对标准化后的数据进行相关系数矩阵计算;(4)计算相关系数矩阵的特征值和特征向量,并按照特征值大小排序;(5)计算各主成分的贡献率和累积贡献率;(6)确定主成分个数,一般选取累积贡献率 85% 以上的主成分;(7)以各主成分的贡献率为权重进行综合评价。

2.3 因子分析法步骤

因子分析法和主成分分析法有一些相似之处,它的一般步骤为:(1)确定分析变量,收集数据资料;(2)对原始数据进行标准化处理;(3)计算相关系数矩阵;(4)计算相关系数矩阵的特征值和贡献率等;(5)确定公因子个数;(6)对因子载荷矩阵进行旋转处理;(7)计算因子得分。

2.4 指标选取和数据来源

根据宁夏水资源利用现状,同时考虑社会、经济和环境等因素<sup>[7]</sup>。本研究对宁夏水资源承载力状况的分析

选取 10 个指标,具体见表 1。对于银川、石嘴山、中卫、吴忠和固原 5 市 2013 年的水资源承载力情况,我们则从水资源支持力、社会经济技术水平和社会生活水平 3 个方面进行综合评价<sup>[12]</sup>,具体指标见表 2。本研究的主成分分析法和因子分析法借助 spss22.0 软件完成。

本研究数据均来源于 2005~2015 年《宁夏统计年鉴》和 2004~2014 年《宁夏水资源公报》。

3 宁夏水资源承载力分析

3.1 基于主成分分析法

选取反映宁夏水资源承载力的 10 个指标对水资源承载力状况进行分析,得出 10 个指标的相关系数矩阵(见表 3)、特征值及贡献率(见表 4)和主成分矩阵(见表 5)。由表 3 可知,选取的指标变量之间的相关系数都大于 0.3,表明所有的变量因子之间有一定的关系,适合做主成分分析<sup>[13]</sup>。表 4 是主成分个数的选取,一般情况下对于主成分个数的提取有两种方法:一种是提取特征值大于 1 的主成分,一种是提取累积贡献率达到 85% 的主成分。这里运用第二种方法,选取 2 个主成分<sup>[14]</sup>。用 2 个主成分来代表原有的 10 个原始变量,此时累积贡献率已经达到 88.906%,可以反映宁夏 2004~2014 年间水资源承载力的变化趋势,达到了降维的目的<sup>[13]</sup>。

表1 宁夏水资源承载力评价指标

Table1 The indexes of assessing the water resources carrying capacity of Ningxia

目标层	指标层	指标层
水资源承载力	年末常住人口 $X_1 / 10^4$ 人	供水总量 $X_6 / 10^8 \text{m}^3$
	地区生产总值 $X_2 / 10^8$ 元	降雨量 $X_7 / \text{mm}$
	农业用水总量 $X_3 / 10^8 \text{m}^3$	有效灌溉面积 $X_8 / \text{khm}^2$
	工业用水总量 $X_4 / 10^8 \text{m}^3$	全社会固定资产投资 $X_9 / 10^8$ 元
	生态用水总量 $X_5 / 10^8 \text{m}^3$	废水排放总量 $X_{10} / 10^4 \text{t}$

表2 宁夏5市水资源承载力评价指标

Table2 The indexes of assessing the water resources carrying capacity of 5 cities in Ningxia

目标层	准则层	指标层	准则层	指标层
水资源承载力	水资源支持力	区域面积 / $\text{hm}^2$	社会经济技术水平	工业耗水量 / $10^8 \text{m}^3$
		地表水资源量 / $10^8 \text{m}^3$		万元 GDP 耗水量 / $\text{m}^3$
		地下水资源量 / $10^8 \text{m}^3$		工业万元增加值用水量 / $\text{m}^3$
		年降雨量 / $10^8 \text{m}^3$	社会生活水平	总人口 / 万人
		水资源总量 / $10^8 \text{m}^3$		城镇人均纯收入 / 元
	社会经济技术水平	总供水量 / $10^8 \text{m}^3$		农村人均纯收入 / 元
		GDP / $10^8$ 元		城镇生活耗水量 / $10^8 \text{m}^3$
		总耗水量 / $10^8 \text{m}^3$		农村人畜耗水量 / $10^8 \text{m}^3$
		农业耗水量 / $10^8 \text{m}^3$		人均耗水量 / $\text{m}^3$

表3 评价指标的相关系数矩阵

Table3 The correlation coefficient matrix of the evaluation index

相关系数	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$
$X_1$	1	0.988	-0.84	0.936	0.906	-0.69	0.838	0.987	0.959	0.644
$X_2$	0.988	1	-0.83	0.968	0.868	-0.68	0.845	0.985	0.975	0.583
$X_3$	-0.84	-0.83	1	-0.77	-0.80	0.971	-0.88	-0.78	-0.81	-0.58
$X_4$	0.936	0.968	-0.77	1	0.763	-0.61	0.828	0.941	0.947	0.495
$X_5$	0.906	0.868	-0.80	0.763	1	-0.67	0.739	0.871	0.901	0.619
$X_6$	-0.69	-0.68	0.971	-0.61	-0.67	1	-0.81	-0.62	-0.65	-0.52
$X_7$	0.838	0.845	-0.88	0.828	0.739	-0.81	1	0.782	0.851	0.343
$X_8$	0.987	0.985	-0.78	0.941	0.871	-0.62	0.782	1	0.945	0.645
$X_9$	0.959	0.975	-0.81	0.947	0.901	-0.65	0.851	0.945	1	0.482
$X_{10}$	0.644	0.583	-0.58	0.495	0.619	-0.52	0.343	0.645	0.482	1

表4 主成分特征值和累积贡献率

Table4 The principal component eigenvalues and cumulative contribution rate

主成分	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
1	8.132	81.325	81.325
2	0.758	7.582	88.906

表5 主成分矩阵

Table5 The principal component matrix

因子	主成分 1	主成分 2	因子	主成分 1	主成分 2
$X_1$	0.983	0.149	$X_6$	-0.801	0.509
$X_2$	0.978	0.123	$X_7$	0.889	-0.348
$X_3$	-0.919	0.34	$X_8$	0.959	0.236
$X_4$	0.928	0.126	$X_9$	0.958	0.088
$X_5$	0.909	0.11	$X_{10}$	0.639	0.366

主成分矩阵表示主成分与指标变量之间的相关系数。由表 5 可知,第 1 主成分与  $X_3$  与  $X_6$  之间有着较强的负相关关系,与其他因子之间有较强的正相关关系。第 2 主成分与  $X_7$  之间有着一定的负相关关系,与  $X_6$  之间有着一定的正相关关系。然后可以计算得到宁夏水资源承载力的 2 个主成分得分,最后根据主成分得分和特征值贡献率得到最终的综合得分。

从表 6 和图 1 可以看出,主成分的得分正负不等,但是这种正负值仅仅表明各年水资源承载力所处的位置,并不反应真实的水资源承载力水平。对于综合得分来说,它的值与水资源承载力大小成正比。主成分 1 的得分和综合得分趋势相近,整体在 2004~2014 年间呈现不断上升趋势,这是由于主成分 1 的贡献率达到 81.325%。主成分 2 的得分则呈现不规则的波浪形,因为它的贡献率相对较低,对综合得分没有起到

表6 主成分得分及排序

Table6 The scores and sequencing of the principal component

年份	$F_1$	$F_2$	综合得分 $F$	排序
2004	-1.27039	-1.62536	-1.16	11
2005	-1.26228	1.53605	-0.91	9
2006	-1.17171	0.17763	-0.94	10
2007	-0.31843	-1.59344	-0.38	8
2008	-0.40562	0.50150	-0.29	7
2009	-0.03174	0.40485	0	6
2010	0.30750	0.17111	0.26	5
2011	0.35818	0.87403	0.36	4
2012	1.07650	-0.80929	0.81	3
2013	1.16215	0.68083	1.00	2
2014	1.55584	-0.31790	1.24	1

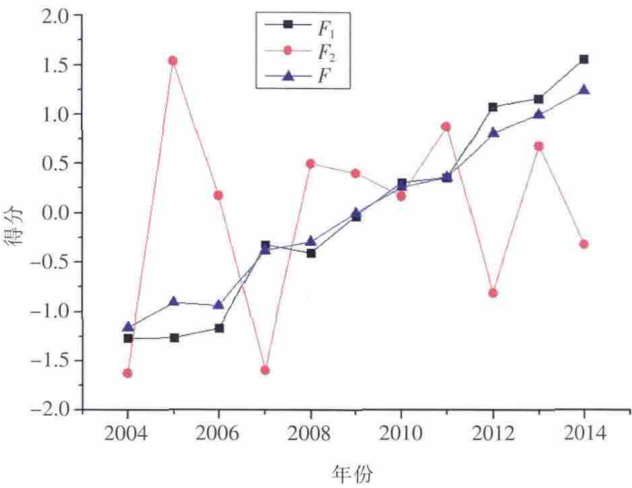


图 1 基于主成分分析的宁夏水资源承载力变化趋势图

Fig.1 The trend of the water resources carrying capacity of Ningxia based on principal component analysis

太大影响。

总体来看,宁夏水资源承载力仅仅在 2005~2006 年有所波动,整体在这 11 年间呈现稳定上升趋势。这主要是由于宁夏是一个农业用水大省,农业用水占到 85.3%,随着近些年高效节水灌溉技术的发展,节水灌溉面积不断增大,农业用水效率不断提高,促使水资源承载力相对上升<sup>[16]</sup>。

3.2 基于因子分析法

为了对宁夏水资源承载力状况有一个更加准确的了解,我们运用因子分析法对宁夏水资源承载力进行综合评价。其中利用主成分分析法进行公共因子的提取,用最大方差法进行因子旋转。在进行因子分析之前,首先要检验指标变量因子是否适合做因子分析<sup>[13]</sup>,由表 3 可知各因子之间的相关系数均大于 0.3,表明各变量之间可以提取公共因子。由表 7 可知,巴特利球检验统计量为 200.055,相应的概率 Sig 为 0.000,因此可以认为相关系数矩阵和单位阵有显著性差异。同时,KMO 值为 0.679,根据 KMO 度量标准可知原始指标变量适合作因子分析。

由表 8 可知,旋转前的特征值和贡献率与主成分分析一致,这是由于在因子分析中对于公共因子的提取运用的也是主成分分析法。前 3 个因子的累积贡献率为 96.373%,远超过 85%,能够非常全面的反应水资源承载力的情况,但是这 3 个因子对原始数据信息的反映没有侧重型,没有明显的实际意义。因子旋转前后累计方差没有变化,但重新分配了各个因子解释原有变量的方差,改变了各个因子的方差贡献,使得因子更容易被解释。由表 9 知第 1 因子在  $X_1,X_2,X_4,X_5,X_8,X_9$  上有较大的载荷,体现出人口和经济发展水平。第 2 因子在  $X_3,X_6,X_7$  上有较大的载荷,体现出水资源供水能力和农业用水水平。第 3 因子在  $X_{10}$  上有较大的载荷,体现出环境水平。然后可以计算得到宁夏各年水资源承载力的 3 个因子得分,最后根据各因子贡献率得到最终的综合得分。

同主成分分析相似,最终因子分析综合得分表现的仅仅是各年水资源承载力所处的位置,并不代表真实的水资源承载力水平。由表 10 和图 2 可知,第 1 因子最低得分出现在 2007 年,2007 年也是一个分水岭,此后到 2014 年一直保持稳定增长;第 2 因子由于体现水资源供水能力,与降雨量等有密切关系,所以波动性比较大,规律性不是特别明显。第 3 因子体现的是环境水平,由于随着社会经济的发展,对经济的污染较大,所以说从 09 年开始,第 3 因子就持续下降。但从综合来看,在 2004~2014 这 11 年间,宁夏水资源承载力水平持续上升,与主成分分析结果基本一致,仅在 2005~2006 年有所区别,这主要是由于两种方法

表7 KMO和Bartlett检验  
Table7 The test of KMO and Bartlett

检验方法		结果
抽样适度的 KMO 测定值		0.679
	近似卡方	200.055
Bartlett 球形检验	df	45
	Sig	0.000

表8 旋转前后的特征值与累积贡献率  
Table8 The eigenvalues and cumulative contribution rate before and after rotation

因子	旋转前			旋转后		
	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
1	8.132	81.325	81.325	5.214	52.137	52.137
2	0.758	7.582	88.906	2.847	28.467	80.603
3	0.747	7.466	96.373	1.577	15.769	96.373

表9 旋转后的因子载荷矩阵  
Table9 The rotated factor loading matrix after rotation

因子	第 1 因子	第 2 因子	第 3 因子	因子	第 1 因子	第 2 因子	第 3 因子
$X_1$	0.845	0.389	0.354	$X_6$	-0.287	-0.914	-0.271
$X_2$	0.874	0.387	0.276	$X_7$	0.667	0.707	-0.018
$X_3$	-0.500	-0.810	-0.296	$X_8$	0.870	0.299	0.368
$X_4$	0.897	0.328	0.166	$X_9$	0.898	.0379	0.172
$X_5$	0.715	0.409	0.403	$X_{10}$	0.278	0.213	0.926



表10 2004~2014年宁夏水资源承载力因子得分和排名

Table10 The factor scores and sequencing of the water resources carrying capacity of Ningxia during 2004–2014

年份	$F_1$	$F_2$	$F_3$	综合得分 $F$	排序
2004	-1.113	0.423	-1.882	-0.76	11
2005	-.5159	-1.879	0.416	-0.74	10
2006	0.032	-1.195	-1.676	-0.59	9
2007	-1.444	1.429	0.131	-0.33	8
2008	-0.546	-0.424	0.732	-0.29	7
2009	-0.701	0.052	1.449	-0.12	6
2010	-0.057	0.198	0.736	0.14	5
2011	0.703	-0.574	0.349	0.26	4
2012	0.531	1.238	0.013	0.63	3
2013	1.527	-0.119	0.113	0.78	2
2014	1.584	0.849	-0.382	1.01	1

的原理不同，主成分分析是把相关联的指标依据主成分方差衡量信息选取主成分，因子分析则是把影响变量的公共因子按照重要程度提炼出来<sup>[17]</sup>。

4 宁夏 5 市水资源承载力状况分析

为了更加全面的了解宁夏 5 市水资源利用现状，在上文分析的基础上再对宁夏 5 市 2013 年的水资源承载力状况进行对比分析。把水资源承载力分水资源支持力、社会经济技术水平和社会生活水平 3 个方面来考虑。将指标数据标准化处理之后在 spss22.0 中求出相关矩阵旋转前后的特征值和贡献率，见表 11、表 13 和表 15。我们选取特征值大于 1 并且累积贡献率达

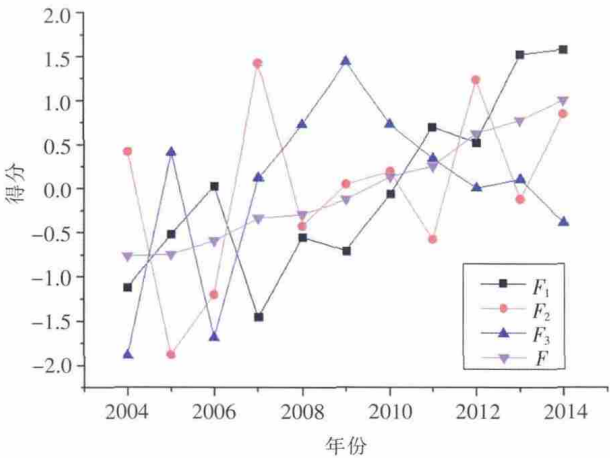


图 2 基于因子分析的宁夏水资源承载力变化趋势图

Fig.2 The trend of water resources carrying capacity of Ningxia based on factor analysis

到 85%的几个成分。由于原始指标量纲不同,我们利用标准化之后的数据进行综合评价得分的计算和排名<sup>[13]</sup>,见表 12、表 14 和表 16。

从水资源支持力状况来看,主成分分析和因子分析都选取 2 个成分,累积贡献率达到 88.519%,可以反映原有指标的信息。主成分分析和因子分析综合得分的排序一致,说明分析结果具有一定的代表性。水资源支持力状况的大小排序为固原市、中卫市、吴忠市、石嘴山市和银川市。由主成分分析和因子分析确定的第 1 成分指标权重可知,地表水资源量、年降雨量在水资源支持力方面占有较大的正权重,而总供水量则在水资源支持力方面有较大的负权重。固原市的地表

表11 宁夏5市水资源支持力状况特征值和累积贡献率

Table11 The eigenvalues and cumulative contribution rate of the water-support-capacity of 5 cities in Ningxia

成分	主成分分析			因子分析		
	特征值	贡献率 / %	累积贡献率 / %	特征值	贡献率 / %	累积贡献率 / %
1	4.053	67.555	67.555	3.802	63.369	63.369
2	1.258	20.964	88.519	1.509	25.150	88.519

表12 宁夏5市水资源支持力状况得分与排名

Table12 The scores and sequencing of the water-support-capacity of five cities in Ningxia

5 市	主成分分析				因子分析			
	$F_1$	$F_2$	综合得分	排序	$F_1$	$F_2$	综合得分	排序
银川市	-0.992	-.5281	-0.781	5	-0.788	-0.801	-0.701	5
石嘴山市	-0.481	-1.078	-0.551	4	-0.136	-1.173	-0.381	4
吴忠市	-0.188	1.315	0.149	3	-0.573	1.198	-0.062	3
固原市	1.658	-0.481	1.019	1	1.726	0.038	1.103	1
中卫市	0.002	0.773	0.164	2	-0.229	0.738	0.040	2

表13 宁夏5市社会经济技术水平状况特征值和累积贡献率

Table13 The eigenvalues and cumulative contribution rate of the soci-economic technology of 5 cities in Ningxia

成分	主成分分析			因子分析		
	特征值	贡献率 / %	累积贡献率 / %	特征值	贡献率 / %	累积贡献率 / %
1	3.483	58.042	58.042	3.073	51.214	51.214
2	2.168	36.130	94.172	2.578	42.959	94.172

表14 宁夏5市社会经济技术水平状况得分与排名

Table14 The scores and sequencing of the soci-economic technology level of 5 cities in Ningxia

5 市	主成分分析				因子分析			
	$F_1$	$F_2$	综合得分	排序	$F_1$	$F_2$	综合得分	排序
银川市	0.802	1.550	1.026	1	-0.199	1.734	0.643	1
石嘴山市	-0.053	-0.050	-0.049	3	-0.016	-0.071	-0.039	3
吴忠市	0.860	-1.007	0.136	2	1.276	-0.355	0.501	2
固原市	-1.616	0.233	-0.854	5	-1.471	-0.709	-1.058	5
中卫市	0.006	-0.726	-0.259	4	0.410	-0.599	-0.047	4

表15 宁夏5市社会生活水平状况特征值和累积贡献率

Table15 The eigenvalues and cumulative contribution rate of the soci-living level of 5 cities in Ningxia

成分	主成分分析			因子分析		
	特征值	贡献率 / %	累积贡献率 / %	特征值	贡献率 / %	累积贡献率 / %
1	2.442	40.692	40.692	2.306	38.426	38.426
2	1.843	30.715	71.407	1.867	31.111	69.538
3	1.065	17.752	89.159	1.177	19.621	89.159

表16 宁夏5市社会生活水平状况得分与排名

Table16 Scores and sequencing of the soci-living level of five cities in Ningxia

5 市	主成分分析					因子分析				
	$F_1$	$F_2$	$F_3$	综合得分	排序	$F_1$	$F_2$	$F_3$	综合得分	排序
银川市	-0.581	1.612	-0.508	0.169	3	-0.116	1.777	-0.158	0.477	2
石嘴山市	1.440	-0.291	-1.012	0.317	2	0.994	-0.504	-1.393	-0.048	3
吴忠市	0.657	0.254	1.641	0.637	1	1.059	-0.259	1.415	0.604	1
固原市	-0.811	-0.721	0.030	-0.546	4	-0.974	-0.446	0.176	-0.478	4
中卫市	-0.706	-0.855	-0.152	-0.577	5	-0.963	-0.568	-0.041	-0.555	5

水资源量和年降雨量均处在宁夏 5 市首位,而总供水量则处在末位,故而水资源支持力最大;银川市的地表水资源量和年降雨量相对偏小,总供水量则处在宁夏 5 市首位,故而水资源支持力最为薄弱。

从宁夏 5 市社会经济技术水平状况来看,主成分分析和因子分析同样选取 2 个成分,累积贡献率达到 94.172%,可以反映原有指标的大部分信息。两种方法综合得分排序也相同,由大到小分别为银川市、吴忠市、石嘴山市、中卫市和固原市。一般来说,一个地区的 GDP 和工业耗水量越高,说明经济技术水平越高<sup>[15]</sup>。银川市 2013 年的 GDP 和工业耗水量达到  $1\,289.02\times 10^8$  元和

$1.584\times 10^8\text{m}^3$ ,均处在宁夏 5 市的首位,因而社会经济技术水平最高;固原市 2013 年的 GDP 和工业耗水量则为  $184.58\times 10^8$  元和  $0.046\times 10^8\text{m}^3$ ,均处于宁夏 5 市的末位,因而社会经济技术水平最低。

从宁夏 5 市社会生活水平状况来看,主成分分析和因子分析选取 3 个成分,累积贡献率为 89.159%,可以反映原有指标的大部分信息。但两种方法综合得分的排序则有所不同,主成分分析法结果大小排序为吴忠市、石嘴山市、银川市、固原市和中卫市,因子分析法的结果大小排序则为吴忠市、银川市、石嘴山市、固原市和吴忠市,两者仅在银川市和石嘴山市之间稍有

区别。影响社会生活水平最大的因素为城镇居民人均收入、农村人均收入和人均耗水量,吴忠市 2013 年的城镇人均收入为 24 862.48 元,农村人均收入为8 927.87 元,人均耗水量为 824m<sup>3</sup>,均处在宁夏 5 市的前列,故而社会生活水平最高;中卫市 2013 年的城镇人均收入为 20 457.61 元,农村人均收入为 5 359.21 元,人均耗水量为 645m<sup>3</sup>,均处在宁夏 5 市的末尾,故而社会生活水平最低。

表17 宁夏5市水资源利用状况总得分及排序  
Table17 The total score and sequencing of water resources utilization of 5 cities in Ningxia

5 市	主成分分析		因子分析	
	总得分	排序	总得分	排序
银川市	0.414	2	0.419	2
石嘴山市	-0.283	3	-0.468	4
吴忠市	0.922	1	1.043	1
固原市	-0.381	4	-0.433	3
中卫市	-0.672	5	-0.562	5

经过水资源支持力、社会经济技术水平和社会生活水平 3 个方面的分析,得到宁夏 5 市水资源承载力状况的总得分和排序。从表 17 可知,主成分分析和因子分析的结果略有不同,主成分分析结果由大到小的排序为吴忠市、银川市、石嘴山市、固原市和中卫市,因子分析结果由大到小排序为吴忠市、银川市、固原市、石嘴山市和中卫市,两者在石嘴山市和固原市排序之间有所差别。

表18 水资源利用指数正态分布K-S检验结果  
Table18 The results of K-S test for normal distribution of water resources utilization index

主成分分析			因子分析		
N		5	N		5
正态参数	均值	0.002	正态参数	均值	-0.004
	标准差	0.657		标准差	0.707
Kolmogorov-Smirnov Z		0.266	Kolmogorov-Smirnov Z		0.331
渐进显著性(双侧)		0.200	渐进显著性(双侧)		0.076

表19 水资源利用状况分级标准  
Table19 Utilization of water resources classification standard

主成分分析		因子分析	
水资源利用指数	水资源利用等级	水资源利用指数	水资源利用等级
<-0.28707	低	<-0.31492	低
-0.28707~0.29107	中等	-0.31492~0.306918	中等
>0.29107	高	>0.306918	高

分别对宁夏 5 市主成分分析和因子分析下的水资源承载力状况指数在 spss22.0 中进行单一样本的 K-S 检验<sup>[13]</sup>,从表 18 知双侧渐进性检验值均大于 0.05,表明总指数均服从正态分布。根据正态分布原理,经过正态分布表查询,将宁夏 5 市水资源承载力状况分为 3 类,每类的概率约为 0.33。其中,总得分小于 ( $\mu-0.44\sigma$ ) 定义为水资源承载力程度低,大于 ( $\mu+0.44\sigma$ ) 定义为水资源承载力程度高,介于两者之间的定义为水资源承载力程度中等。根据这一原则分别得到主成分分析和因子分析下的宁夏 5 市水资源承载力状况分级阈值,如表 19 所示。从而得到基于主成分分析和因子分析的宁夏 5 市水资源承载力状况,从表 20 可知主成分分析下吴忠市和银川市的水资源利用状况高,石嘴山市的水资源利用状况中等,固原市和中卫市的水资源利用状况低;因子分析下吴忠市和银川市的水资源利用状况高,其余 3 市水资源利用状况都较低。两种方法的分类结果相似,仅在石嘴山市的分类上有所不同,表明计算结果是可信的。

5 结论

首先考虑宁夏 2004~2014 年间的水资源承载力情况,然后对宁夏 5 市 2013 年的水资源承载力状况分水资源支持力、社会经济技术水平和社会生活水平 3 个方面进行综合考虑,得到宁夏 5 市的水资源承载力状况指数和分级标准。具体得到以下几个结论:

(1)通过主成分分析和因子分析,将 10 个原始指标降维为 2 个主成分和 3 个因子,建立宁夏水资源承

表20 宁夏5市水资源利用程度

Table20 The water resources utilization degree of 5 cities in Ningxia

主成分分析		因子分析	
5 市	水资源利用状况	5 市	水资源利用状况
银川市	高	银川市	高
石嘴山市	中等	石嘴山市	低
吴忠市	高	吴忠市	高
固原市	低	固原市	低
中卫市	低	中卫市	低

载力评价模型。两种评价方法的结果相似,其中主成分分析的排序结果仅在 2005~2006 年有所波动,其余年份和因子分析结果一致,总体在 2004~2014 年间保持稳定上升。

(2)宁夏 5 市在水资源支持力方面,两种方法计算的结果一致,大小排序为固原市、中卫市、吴忠市、石嘴山市和银川市;在社会经济技术水平方面,两种方法的结果仍一致,大小排序为银川市、吴忠市、石嘴山市、中卫市和固原市;而对于社会生活水平方面,两种结果稍有不同,主成分分析结果大小排序为吴忠市、石嘴山市、银川市、固原市和中卫市,因子分析法结果大小排序则为吴忠市、银川市、石嘴山市、固原市和吴忠市。3 个指标层在两种方法下的计算结果基本一致,表明结果具有较高的可信度。

(3)宁夏 5 市水资源承载力状况方面,主成分分析结果由大到小的排序为吴忠市、银川市、石嘴山市、固原市和中卫市,因子分析结果由大到小排序为吴忠市、银川市、固原市、石嘴山市和中卫市。表明吴忠市水资源承载能力较高,中卫市水资源承载能力较低。

(4)宁夏 5 市水资源承载力指数服从正态分布,建立宁夏 5 市水资源承载力状况分级阈值,主成分分析下吴忠市和银川市的水资源利用状况高,石嘴山市的水资源利用状况中等,固原市和中卫市的水资源利用状况低;因子分析下吴忠市和银川市的水资源利用状况高,其余 3 市水资源利用状况都较低。

参考文献:

[1] 杜发兴,梁川,桃春华. 灌区水资源承载力的多级模糊综合评判[J].中国农村水利水电,2005,(10):11-13.(DU Faxing, LIANG Chuan, TAO Chunhua. Multi-level fuzzy comprehensive evaluation for water resources carrying capacity of irrigation district [J]. China Rural Water and Hydropower, 2005,(10):11-13.(in Chinese))

[2] 王鹏,王群,张和喜,等. 模糊综合评判在安西灌区农业水资源安全评

价中的应用[J].节水灌溉,2012,(7):31-34+38. (WANG Peng, WANG Qun, ZHANG Hexi, et al. Fuzzy synthetic evaluation in agricultural water resources security evaluation of anxi irrigation district [J]. Water Saving Irrigation. 2012,(7):31-34+38. (in Chinese))

[3] 揭秋云.海南省旅游水资源承载力研究[D].海南大学,2011.(JIE Qiuyun. Research on Hainan Tourism Water Resources Carrying Capacity [D]. Hainan University,. (in Chinese))

[4] 王海静.黄河三角洲高效生态经济区水资源承载力研究[D].山东师范大学, 2013. (WANG Haijing. Study on Water Resources Carrying Capacity of High Efficient Eco-economic Zone in the Yellow River Delta [D]. Shandong Normal University, 2013. (in Chinese))

[5] 童纪新,顾希.基于主成分分析的南京市水资源承载力研究[J].水资源与水工程学报, 2015,26(1):122-125. (TONG Jixin, GU Xi. Study on water resources carrying capacity in Nanjing based on principal component analysis [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2015,26(1):122-125. (in Chinese))

[6] 凌子燕,刘锐. 基于主成分分析的广东省区域水资源紧缺风险评价[J].资源科学, 2010,32(12):2324-2328. (LING Ziyun, LIU Rui. Risk assessment on regional water scarcity in Guangdong province based on principal component analysis [J]. Resources Science, 2010,32(12):2324-2328. (in Chinese))

[7] 张伟. 基于因子分析的安徽省水资源承载力评价 [J]. 节水灌溉, 2012,(9):11-14. (ZHANG Wei. Evaluation of water resources carrying capacity in Anhui province based in factor analysis [J]. Water Saving Irrigation, 2012,(9):11-14. (in Chinese))

[8] 梁美社,王正中,刘计良. 基于因子分析定权的水资源承载力评价模型[J]. 人民黄河, 2010,32(7):62-63+65. (LIANG Meishe, WANG Zhengzhong, LIU Jiliang. Evaluation model of water resources carrying capacity based on factor analysis [J]. Yellow River, 2010,32(7):62-63+65. (in Chinese))

[9] 党丽娟, 徐勇. 水资源承载力研究进展及启示 [J]. 水土保持研究, 2015,22(3):341-348. (DANG Lijuan, XU Yong. Review of research progress in carrying capacity of water resources [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2015,22(3):341-348. (in Chinese))

[10] 刘佳骏,董锁成,李泽红.中国水资源承载力综合评价研究[J].自然资源学报, 2011,26(2):258-269. (LIU Jiajun, DONG Suocheng, LI Zehong. Comprehensive evaluation of China water resources carrying capacity [J]. Journal of Natural Resources, 2011,26(2):258-269. (in Chinese))

[11] 孙德山. 主成分分析与因子分析关系探讨及软件实现 [J]. 统计与决策, 2008,(13):153-155. (SUN Deshan. The relationship and software implementation between principal component analysis and factor analysis [J]. Statistics & Decision, 2008,(13):153-155. (in Chinese))

[12] 袁伟,楼章华,田娟. 富阳市水资源承载能力综合评价[J]. 水利学报, 2008,39(1):103-108. (YU Wei, LOU Zhanghua, TIAN Juan. Comprehensive evaluation of water resources carrying capacity in Fuyang city [J]. Journal of Hydraulic Engineering,2008,39(1):103-108. (in Chinese))

[13] 薛薇. SPSS 统计分析方法及应用 [M]. 北京: 电子工业出版社,



- 2013:262–279. (XUE Wei. SPSS Statistical Analysis Method and Its Application [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2013:262–279. (in Chinese))
- [14] 邵淑彩,孙韞玉,何娟娟. 应用数理统计[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2005:248–256. (TAI Shucui, SUN Wenyu, HE Juanjuan. Applied Mathematical Statistics [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2005:248–256. (in Chinese))
- [15] 杨涛,汤英,杨东旭. 大柳树灌区宁夏分区水资源承载力综合评价[J]. 水利水电技术, 2015,46(12):1–4. (YANG Tao, TANG Ying, YANG Dongxu. Comprehensive assessment on water resources carrying capacity of Ningxia of Daliushu irrigation area [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2015,46(12):1–4. (in Chinese))
- [16] 贾绍凤,周长青,燕华云,等. 西北地区水资源可利用量与承载能力估算[J]. 水科学进展, 2004,15(6):801–807. (JIA Shaofeng, ZHOU Changqing, YAN Huayun, et al. Estimation of usable water resources and carrying capacity in Northwest [J]. Advances in Water Science, 2004,15(6):801–807. (in Chinese))
- [17] 王文博,陈秀芝. 多指标综合评价中主成分分析和因子分析方法的比较[J]. 统计与信息论坛, 2006,21(5):19–22. (WANG Wenbo, CHEN Xiuzhi. Comparison of principal component analysis with factor analysis in comprehensive multi-indicators scoring [J]. Statistics & Information Forum, 2006,21(5):19–22. (in Chinese))

### Study on Water Resources Carrying Capacity in Ningxia Based on Principal Component Analysis and Factor Analysis

ZHAO Ziyang<sup>1</sup>, LI Wangcheng<sup>1,2,3</sup>, WANG Xia<sup>1</sup>, CUI Tingting<sup>1</sup>, CHENG Zaiheng<sup>1</sup>, WANG Shuai<sup>1</sup>

(1. Department of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2. Ningxia Water-saving Irrigation and Water Resources Regulation and Control Engineering Technology Research Center, Yinchuan 750021, China; 3. Research Center of Modern Efficient Utilization of Agricultural Water Resources in Arid Area, Ministry of Education, Yinchuan 750021, China)

**Abstract:** In order to explore the situation of water resources carrying capacity in Ningxia, this paper analyzed the water resources carrying capacity in Ningxia during 2004–2014 by using the principal component analysis and factor analysis, then took into account comprehensively including water-support-capacity, soci-economic technology and soci-living level of five cities in Ningxia, and got water resources utilization index and classification criteria in different areas. The results show as follows: (1) The consequence of water resources carrying capacity is only fluctuated from 2005 to 2006 during 2004–2014, and the other years were consistent under the two methods, they both had steadily increased in the past 11 years. (2) For the water resources carrying capacity of five cities in Ningxia in 2013, the descending order of principal component analysis are Wuzhong, Yinchuan, Shizuishan, Guyuan and Zhongwei; the descending order of factor analysis are Zhongwei, Yinchuan, Guyuan, Shizuishan and Zhongwei. (3) The threshold value of classification of water resources carrying capacity in Ningxia was established. As the result of principal component analysis, the higher grades of water resource exploiting are Wuzhong and Yinchuan, the medium grades of water resource exploiting is Shizuishan, and the lower grades of water resource exploiting are Guyuan and Zhongwei. As the result of factor analysis, the higher grades of water resource exploiting are Wuzhong and Yinchuan, and rest of three regions all have lower grades.

**Key words:** principal component analysis; factor analysis; water resources carrying capacity; Ningxia

(上接第 53 页)

### Application of On-site Membrane Filtration Method in Analyzing Suspended Matter Turbidity

LIN Zhenzhen, JIA Liangwen, YANG Rikui, CHEN Yunzhen

(School of Marine Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

**Abstract:** With the calibration of suspended matter turbidity as the research object, the best method to measure the suspended sediment concentration was attempted to be found, through the analysis of the correlation between the concentration results obtained by different calibration methods and turbidity meter. According to the comparison and analysis of the measured data over the years, it is found that on-site sucking filtration method is time-saving, low-cost, highly efficient and more reliable, being compared with natural incineration, indoor filtration method and drying precipitation method, with the main reason that there are many factors affecting the experiment in laboratory, such as the adsorption of container wall, growth of microorganisms in water samples during transportation and storage, and the systematic error of natural incineration that the organic matter of water sample would be volatile, resulting in the research object of the data different from the observation instrument, and hence the reliability is reduced. On-site sucking filtration method is not only suitable for using in relatively stable inland river, but also be strongly practical of the estuary sediment concentration measurement where the flow pattern is complex and the change of sediment concentration is great.

**Key words:** water sample collection; suspended matter; suspended sediment; on-site sucking filtration; suspended sediment content; turbidity calibration