

# 基于空间聚类分析的松辽流域水资源利用风险评价

张学霞<sup>1</sup>, 武鹏飞<sup>1</sup>, 刘奇勇<sup>2</sup>

(1. 北京林业大学 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083;

2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘 要:**随着社会经济发展对水资源需求的增加,区域水资源供需矛盾日益加剧,如何科学评价水资源供需矛盾引起的风险成为有效解决水资源失衡的有效途径。本文以 1999–2006 年的水量、水质和社会经济数据对松辽流域的水资源利用现状进行了分析,构建了由区域水资源总量等 10 个指标组成的水资源利用风险评价指标体系。采用因子分析得到高需水量、高供水量和劣质水 3 个公因子,然后采用空间聚类方法对上述 3 个公因子进行评估,得到松辽流域水资源利用风险分布图。研究表明,松辽流域水资源利用风险呈现出嫩江流域和松花江流域偏高,其它流域偏低的总体格局;嫩江和松花江流域为水资源利用高风险区;图们江和乌苏里江流域水资源利用风险程度较低。

**关 键 词:**水资源利用;风险评估;空间聚类;因子分析;松辽流域

## 1 引言

近年来,河流富营养化、海藻污染、赤潮等环境灾害频频发生,造成水质下降,加之气候变化引起区域水资源量的变动。同时,社会经济发展对水资源的需求也越来越大,水资源供需矛盾的不断加剧已引起社会的广泛关注,如何科学评价供需矛盾引起的风险、并有效缓解水资源利用风险达到区域水资源供需平衡已成为学术界普遍关注的问题。目前,层次分析法<sup>[1]</sup>、模糊综合评价<sup>[2–8]</sup>和 GIS<sup>[4]</sup>等方法已经广泛用于水资源短缺风险和冲突风险的评价中。刘涛等<sup>[1]</sup>采用层次分析方法,对汉江中下游干流供水系统进行了风险综合评估;闵庆东等<sup>[2]</sup>、宋晓莉等<sup>[3]</sup>论述了模糊综合评价方法在风险评估中的应用;潘兴瑶等<sup>[4]</sup>采用 GIS 技术和模糊综合评判模型对北京通州区的水资源承载力进行了综合评价;阮本清等<sup>[5]</sup>、韩宇平等<sup>[6]</sup>引入 GIS 技术,采用模糊综合评价法对京津地区的水资源短缺进行了评估;胡庆和等<sup>[7]</sup>、黄大鹏等<sup>[8]</sup>改进线性加权模糊综合评价模型,发展了非线性模糊综合评价模型,并对资水流域水资源冲突风险进行了评价;黄明聪等<sup>[9]</sup>应用基于支持向量机的水资源短缺风险评价模型对闽东南地区的水资源短缺风险进行了评价。

上述水资源评价方法均采用统计分析方法,未

能考虑到评价单元之间的空间连续性。实际上,相邻近单元的相似性要大些,相远离的单元相异性要大些。空间聚类方法则同时考虑到评价单元的空间特性和属性,但以往的空间聚类主要用于城市功能区划分<sup>[10]</sup>、城市规划<sup>[11]</sup>、生态环境分区<sup>[12]</sup>、区域经济差异分析<sup>[13–14]</sup>等领域,如骆剑承等<sup>[13]</sup>采用空间聚类方法对江苏省社会经济发展水平进行了区域划分,李新运等<sup>[10,12]</sup>采用坐标与属性一体化的空间聚类方法对山东省生态环境、济南城市功能区进行划分,张燕文<sup>[14]</sup>采用空间聚类对东北地区的区域经济差异进行了分析;但空间聚类方法较少应用于水资源利用风险评价研究。

因此,本文充分考虑评价单元的空间地域连续性,将评价单元的空间坐标引入风险评价中,发展了基于空间聚类分析的水资源利用风险评价方法,并以松辽流域二级水资源区为最小的分析单元,对松辽流域的水资源利用风险进行了评价。

## 2 水资源利用风险评价指标体系

水资源利用风险的形成与多种自然和社会经济因素有关。根据其成因,可将影响水资源利用风险评估的因子归结为自然和社会经济因素 2 类。从区域水量供需平衡看,水资源的供应包括满足一定

收稿日期:2008–10; 修订日期:2010–05.

基金项目:国家科技支撑计划项目(2006BAD20B06);国家自然科学基金项目(40701183)。

作者简介:张学霞(1975–),女,山东临沂人,博士,副教授,主要从事自然灾害评估、3S 应用研究。E-mail: zhangxuexia@bjfu.edu.cn.

水质要求的水量供应,与自然因素有关;水资源的需求主要来自人类的需求,与社会经济因素有关。

水资源短缺可以从质的优劣和量的短缺 2 个方面进行分析<sup>[15]</sup>。水资源质的短缺主要指水环境被严重污染从而导致可利用的水资源量大幅减少。近年,工业发展带来大量工业污水,企业单纯追求经济效益对污水不经任何处理而直接排放,造成区域地表水和地下水受到严重污染,造成可用水资源锐减,形成水资源质的短缺。水资源量的短缺产生的原因是区域位置和气候条件,尤其是我国西北干旱地区,年降水量小于 400 mm,地表水资源远远满足不了区域工农业和生活用水的需求,不得不大量开采地下水以维持经济社会的发展。地下水开采不均衡,部分城市和厂矿地下水超采严重,地下水位大幅下降,造成地面沉降,加剧了地下水的污染。从区域水量供需平衡看,工农业总产值、人口密度、万元 GDP 耗水率等社会经济发展状况直接影响区域需水量,并在一定程度上影响区域防范水资源短缺的能力。因此,水资源短缺的影响因素主要包括水量因素、水质因素和社会经济因素 3 个方面。

(1) 水量因素。影响水资源短缺的水量因素包括降水量、蒸发量、水汽补给量、地表水资源量、水源涵养指标和地下水天然补给量等评价因子,因此可以大概认为区域可利用水资源总量=降水量-蒸发量+水汽量+水源涵养指标+地下水天然补给量。由于蒸发量和水汽补给量的数据不全,本文仅选取年降水量、径流量、地下水资源量作为平均指标。降水量是一个地区水资源的主要来源,其大小变化直接影响到水资源量的大小,当降水量减小时,水资源利用风险相应增大;径流量和地下水资源量越大,水资源供应越多,水资源利用风险越低。

(2) 水质因素。水质因素包括每升水中重金属元素含量、氮磷钾等有机物含量、微生物含量等。考虑到地下水资源更新较慢,且工农业生产利用的主要是地表水资源,因此,本文根据水资源公报提供的资料,将各水资源区的Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类、Ⅴ类 5 类水域功能所占的河长作为评价因子,评价各水资源区的水质。不同水域功能类别分别执行相应的标准值(表 1)。水质越差,水资源利用风险越高。

(3) 社会经济因素。社会经济因素包括工农业总产值、人口密度和万元 GDP 耗水率等。考虑到工业、农业耗水量较大,且农业需水量与农作物种植面积相关性较大,本文选取总人口和 GDP 总值 2

个评价因子进行水资源利用风险的评估。总人口越多,需水量越大,水资源利用风险越大。GDP 总值越大,保障水资源风险的能力越强,水资源利用风险越小。

通过对水资源利用风险评价因素的分析,建立相应的风险指标体系,该指标体系可分为 3 个层次 12 个指标。

### 3 基于空间聚类的风险评估

风险评价是一个复杂的过程,对评价方法的选择直接影响到评价过程的每个环节,甚至是评价的结果。风险评估的方法有多种,但是已有的研究方法大多根据空间对象的属性特征集进行分类,不考虑对象的空间位置关系。现在空间聚类分析方法则倚重于空间对象的地理坐标进行聚类,即只考虑对象的空间邻接性。实际上,地理空间对象本质上具备地理位置和属性特征的双重含义,只有统一考虑二者,才能更完整和更好的描述空间特征、空间差异和空间模式。将地理位置和属性特征纳入统一的空间距离测度和空间聚类分析系统,更好地考虑到空间邻接性和属性特征的统一,将改善空间分析和空间数据聚类的信息质量。

空间聚类的关键是空间距离的测度、类型数量的确定,然后是聚类方法的选择。由于空间聚类只能将类别区分开,无法获取类内对象的共性。因此,类内总体特征的归纳采用直观、形象的箱线图进行分析、归纳。

#### 3.1 空间距离的测度

空间聚类的核心是空间距离的定义。本文建立集地理位置临近性和属性特征临近性为一体的空间距离测度公式,即:

$$D_p=\sqrt{(x_i-x_j)^2+(y_i-y_j)^2+\sum_{k=1}^n(a_{ik}-a_{jk})^2}$$

(1)

表 1 地表水水域功能和标准分类

Tab.1 Classification of function and standards of surface water

类别	功能
Ⅰ类	主要适用于源头水、国家自然保护区
Ⅱ类	主要适用于集中式生活饮用水地表水源地一级保护区、珍稀水生生物栖息地、鱼虾类产卵场、仔稚幼鱼的索饵场等
Ⅲ类	主要适用于集中式生活饮用水地表水源地二级保护区、鱼虾类越冬场、洄游通道、水产养殖区等渔业水域及游泳区
Ⅳ类	主要适用于一般工业用水区及人体非直接接触的娱乐用水区
Ⅴ类	主要适用于农业用水区及一般景观要求水域

注:劣Ⅴ类水质的水域水污染严重、水体的使用功能基本丧失。

式中： $(x_i-x_j)^2+(y_i-y_j)^2$  表示地理对象的空间临近性，其中， $x、y$  表示地理对象的经纬度坐标转换为平面直角坐标后的东向距离和北向距离。 $\sum_{k=1}^n(a_{ik}-a_{jk})^2$  表示属性特征的临近性，其中， $a$  为标准化后的地理对象的属性特征值。为简化计算，将空间位置和属性特征等同看待。

### 3.2 类型数的确定

类型数的确定是聚类分析中非常重要的内容，其确定的标准是类内相似性最大、类间差异性最大。基于方差分析的原理，本文采用  $R^2$  统计量 (RSQ)、半偏相关系数  $SPR^2$  (SPRSQ) 统计量衡量类间差异性和类内相似性。二者的计算公式分别如式 (2)、式 (3) 所示。

$$R_c^2=1-\frac{P_c}{T_c} \tag{2}$$

式中： $P_c$  为分类数  $G$  类时的总类内离差平方和， $T$  为所有变量的总离差平方和。 $R_c^2$  越大，表明  $G$  类时，每个类的类内离差平方和越小，类间离差平方和越大。随着分类数  $G$  的增大，总体上  $R_c^2$  的曲线表现为增加趋势。如果出现  $R_{G+1}^2$  比  $R_G^2$  大幅度增加，此后  $R_{G+1}^2$  虽有波动性增减，但彼此间差异并不悬殊的情形，那么，选择大于  $G+1$  为聚类类型数是适宜的。

$$SPR^2=\frac{B_{KL}}{T} \tag{3}$$

式中： $B_{KL}$  表示  $G+1$  类中，类  $K$  和类  $L$  合并为类  $M$  时引起的类内离差平方和的增量， $SPR^2$  越大，类  $K$  和类  $L$  越不宜合并，选择  $G+1$  类是适宜的。因  $B_{KL}$  曲线随着类型  $G$  的增加总体上表现为减少趋势，宜选择曲线中  $B_{KL}$  较大值前的类别数作为适宜类别。

由于聚类是对多个属性变量进行的类型划分，可能会出现某属性  $R_c^2$  最大，而其他属性  $B_{KL}$  并不同步最大的情形，为弥补单一运用  $R^2$  统计量、 $SPR^2$  统计量的不足，宜于选择多个属性  $R_c^2、B_{KL}$  同时较大的类型数<sup>[16]</sup>。

### 3.3 空间聚类方法

空间聚类的方法有 K-均值 (K-means) 法、层次聚类、判别式聚类 3 种方法。本文采用 K-means 方法进行聚类，聚类变量包括坐标值和属性值。K-

means 方法根据类中各数据变量的平均值来计算相似度，将类中变量的平均值作为类中心。首先由系统随机选择  $k$  个观测值作为初始类中心，对余下的每个变量，计算其与各个类中心的距离，按距离最小的原则，将它们分配给最近的类；在此基础上，重新计算每个类的平均值；如此往复，直到误差平方和的值最小。此时，类中的成员不再发生变化，且类内差异最小，类间差异最大。

### 3.4 类型特征归纳方法

空间聚类中同一类型实现了地理位置和属性值的临近性、不同类型的差异性。其中，地理位置的临近性通过经纬度坐标转化为平面直角坐标系后的东向距离和北向距离表达，属性值的临近性可以用集中性和离散性表达。因此，本文采用探索性数据分析技术 (Exploring Data Analysis, EDA) 的箱线图识别同一类别内部的总体特征、分布特征。箱线图是数据分布特征直观简洁的表示方法，将标识数据总体特征的最小值、下四分位数、中位数、上四分位数、最大值<sup>[17]</sup>展现在图中，以反映属性数据的集中性、分散性、偏态性、异常极端性等的分布情况。

## 4 结果与分析

松辽流域位于我国东北部，包括辽宁、吉林、黑龙江 3 省和内蒙古自治区东 2 市 2 盟及河北承德的一部分，总面积 124.17 万  $\text{km}^2$ 。根据全国水资源区划规定，松辽流域包括松花江区和辽河区 2 个水资源一级区，额尔古纳河等 14 个水资源二级区。松花江区包括黑龙江省全部，吉林省大部，辽宁省和内蒙古自治区的一部分，总面积约 93.5 万  $\text{km}^2$ ，占松辽流域面积的 75%。松花江区包括松花江流域、嫩江、第二松花江、额尔古纳河、黑龙江干流、乌苏里江、绥芬河和图们江流域。辽河区位于松辽流域的南部，包括辽宁省大部、吉林省、内蒙古自治区及河北省的一部分，总面积 31.4 万  $\text{km}^2$ ，占松辽流域面积的 25%。辽河区包括辽河干流、东辽河、西辽河、鸭绿江、浑太河及东北沿黄渤海诸河流域。

松辽流域是我国重要的商品粮基地，也是重要的重工业基地，工农业需水量均较大。松辽流域天然年径流量多年平均值为 1703.7 亿  $\text{m}^3$ ，占全国的 6.37%；水资源总量多年平均值为 1990.1 亿  $\text{m}^3$ ，占全国的 7.17%。但是，松辽流域江河水质污染严重，



约 60%的河段被污染, I—II 类水质仅占评价河长的 11.08%(图 1)。可见,松辽流域面临严峻的水资源利用风险,科学评判该区域水资源利用情景,可为政府部门决策支持提供科学依据,促进区域水资源的合理开发、利用和保护。

4.1 数据来源及处理

水资源利用风险评价所采用的数据来自 1999—2006 年松辽流域水资源公报,1999—2006 年中国水资源年报,黑龙江、吉林、辽宁 3 省 1999—2006 年统计年鉴。

4.1.1 指标规范化处理

规范化处理的目的是将各个无法统一评价的指标值表达为具有相同量纲和优劣评判标准的属性值。因此,将风险指标分为成本型指标和效益型指标。成本型指标的特点是值越小越好,包括降水量、地表水资源量、地下水资源量、I—III 类水资源量、IV—V 类水资源量、GDP 总值、工业 GDP 和农业 GDP,其规范化处理公式为:

$$r_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \tag{4}$$

效益型指标,其特点是值越大越好,如劣 V 类水、总人口和农业播种面积,其规范化处理公式为:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \tag{5}$$

式(4)和式(5)中: $r_{ij}$ 为规范化处理后的第  $i$  个水资源区、第  $j$  个指标的属性值; $x_{ij}$ 为规范化处理前第  $i$  个水资源区、第  $j$  个指标的实际计算值; $x_j^{\max}$ 和  $x_j^{\min}$ 分别为处理前所有水资源区中第  $j$  个指标实际计算的最大值和最小值。

4.1.2 因子分析

水资源利用风险评价的指标变量之间存在相关关系以及数据冗余,由此增加了风险评价的工作量,混淆了基本规律的解读。而采用因子分析方法得到的综合指标代表的信息不重叠,彼此不相关,且能反映事物的本质,还可

对原始变量进行分门别类的综合评价。因此,本文采用因子分析方法将水资源利用风险评价的多个指标转换为少数几个不相关的综合指标,以此来剖析松辽流域水资源利用风险。

本文采用主成分(Principal Components)方法进行因子分析,并将特征矩阵采用方差最大(Varimax)旋转方法进行 25 次旋转。同时,以特征根大于 1 为标准,得到 3 个主因子(表 2),3 个主因子对原始变量的解释水平达到 92.844%。

主因子 1——高供水量因子 主因子 1 主要表现为水资源总量、降水量、径流量、地下水资源量等水资源量的因素,且主因子 1 与各指标之间为正相关,即主因子数值越大,供水量越大,因此可将主因子 1 命名为高供水量因子。高供水量因子对总体变量的解释率为 50.735%。

表 2 正交旋转后的因子负荷矩阵和因子解释率  
Tab.2 Rotated component matrix and percentage of variance of rotation sums of squared loadings

	主因子1 高供水因子	主因子2 高需水因子	主因子3 劣质水因子
降水总量	0.960		
径流量	0.956		
区域水资源总量	0.983		
地下水资源总量	0.991		
流域面积	0.850		
I—III类水量			-0.916
IV—V类水量			0.790
劣V类水量			0.760
总人口		0.941	
GDP 总值		0.955	
因子解释率	50.735	26.586	15.523

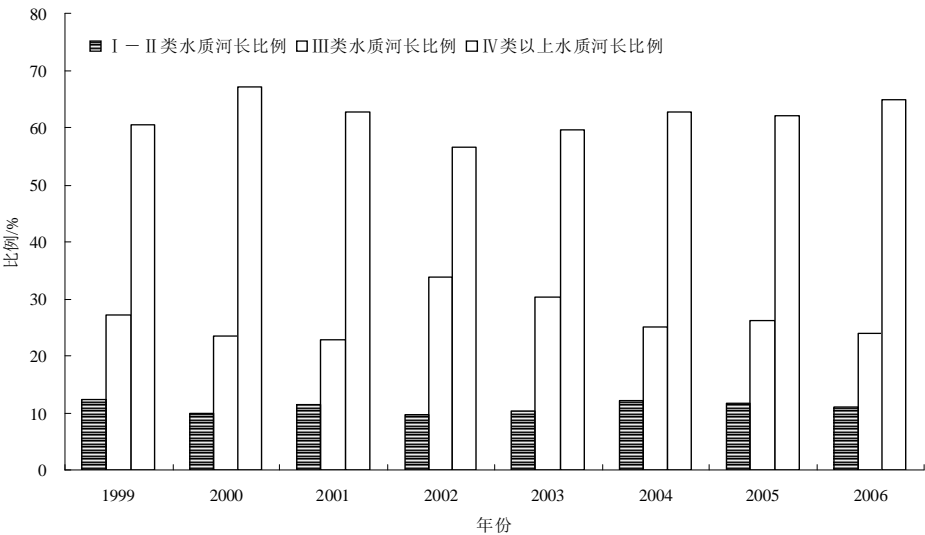


图 1 松辽流域 1999—2006 年各类水质河长比例图  
Fig.1 Percentages of the lengths of water sections of various water quality types in the Songliao Basin in 1999—2006

主因子 2——高需水量因子 主因子 2 主要表达人口、经济发展等需水方面的信息,而且主因子 2 与各指标之间为正相关,即主因子数值越大,需水量越高,因此可将主因子 2 命名为高需水因子。高需水因子对总体变量的解释率为 26.586%。

主因子 3——劣质水因子 主因子 3 主要表现了 I—Ⅲ类、IV-V 类、劣 V 类满足不同功能的水质的水量,且主因子 3 与 I-Ⅲ类水量为负相关,与 IV-V 类水量、劣 V 类水量为正相关,因此可将主因子 3 命名为劣质水因子。劣质水因子对总体变量的解释率为 15.523%。

4.1.3 空间聚类进行风险综合评价

考虑到风险分类中空间位置关系的重要性,将因子分析后的 3 个主因子作为属性特征,二级水资源区的几何中心点的东向距离和北向距离作为空间位置特征,采用空间聚类方法进行分析。该分析过程在 SPSS 统计分析软件中实现,采用 Ward 分层聚类法,类别间距离度量采用欧几里德距离。

当聚类的类别从 2 类到 10 类变动时,各聚类因子的 R<sup>2</sup> 统计量(RSQ)、半偏相关系数 SPR<sup>2</sup> 的变化如图 2 和图 3 所示。图 2 表明,对于劣质水因子和横向距离因子而言,五类是最适宜的;对于高供水因子和纵向距离因子而言,四类以上是适宜的;对于高需水因子而言,六类是最适宜的。图 3 表明,七类减六类时,高需水因子等 2 个指标的 SPR<sup>2</sup> 增加,而六类减五类时,所有指标的 SPR<sup>2</sup> 均是减少的。可见,根据 RSQ 和 SPR<sup>2</sup> 的分析结果表明,选择聚类数为 5 类是最适宜的。空间聚类只能将各类别区分开,无法衡量各类别的总体特征。因

此,本文根据高供水、高需水、劣质水 3 个主因子的因子得分及贡献率(表 2),计算风险值,并按照风险值的高低标识各个类别的总体特征。

$$r=d\cdot d_s-s\cdot s_s+q\cdot q_s$$
 (6)

式中:  $r$  为风险度;  $d$ 、 $s$ 、 $q$  分别代表高需水主因子、高供水主因子、劣质水主因子的因子得分;  $d_s$ 、 $s_s$ 、 $q_s$  分别代表高需水主因子、高供水主因子、劣质水主因子的因子贡献率。

根据式(6)得到松辽流域各个二级水资源区的风险值(表 3),结合空间聚类结果,计算各类别风险值的平均值。根据国际风险管理理事会(International Risk Governance Council, IRGC) 对风险强度由低到高<sup>[18]</sup>的划分标准,按照各类别的风险值将松辽流域分为低风险、有一定风险、中等风险、较高风险和高风险 5 种类型(表 3,图 4)。

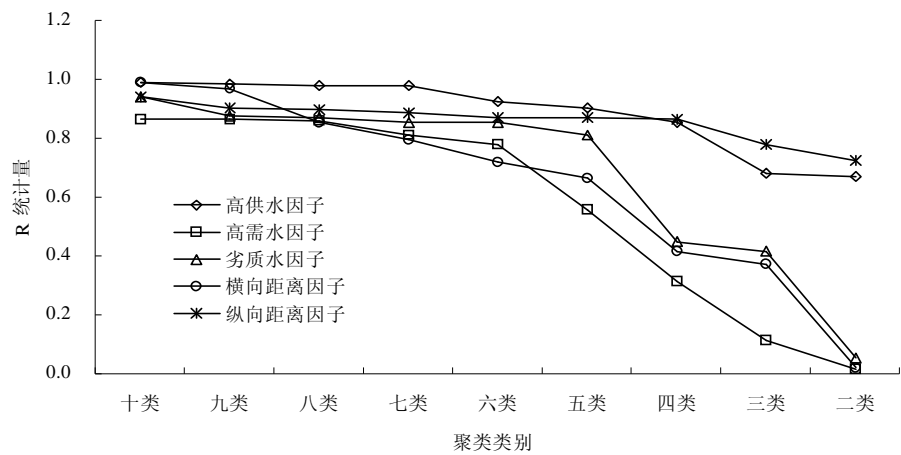


图 2 R<sup>2</sup> 统计量(RSQ)随类别数变动图

Fig.2 Changes of R<sup>2</sup> statistic (RSQ) with different clustering classes

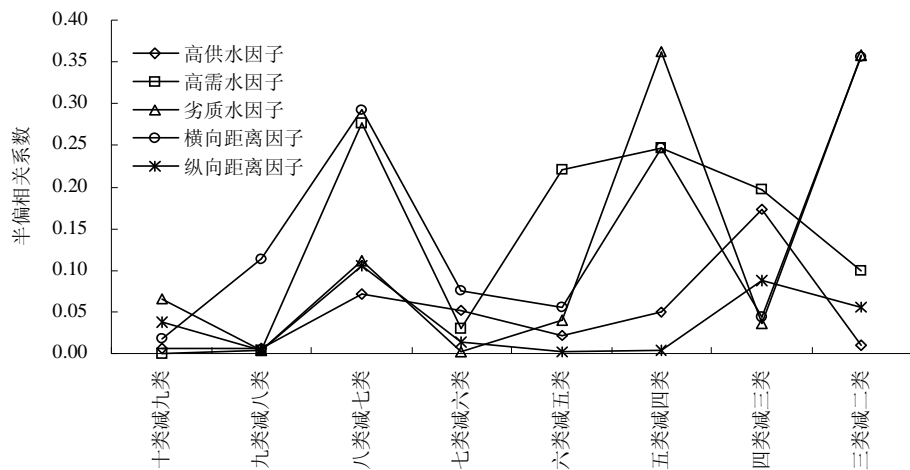


图 3 半偏相关系数(SPR<sup>2</sup>)随类别数变动图

Fig.3 Changes of semi-partial correlation coefficient SPR<sup>2</sup> with different clustering classes

Fig.4 The water resources utilization risk grading map in the Songliao Basin

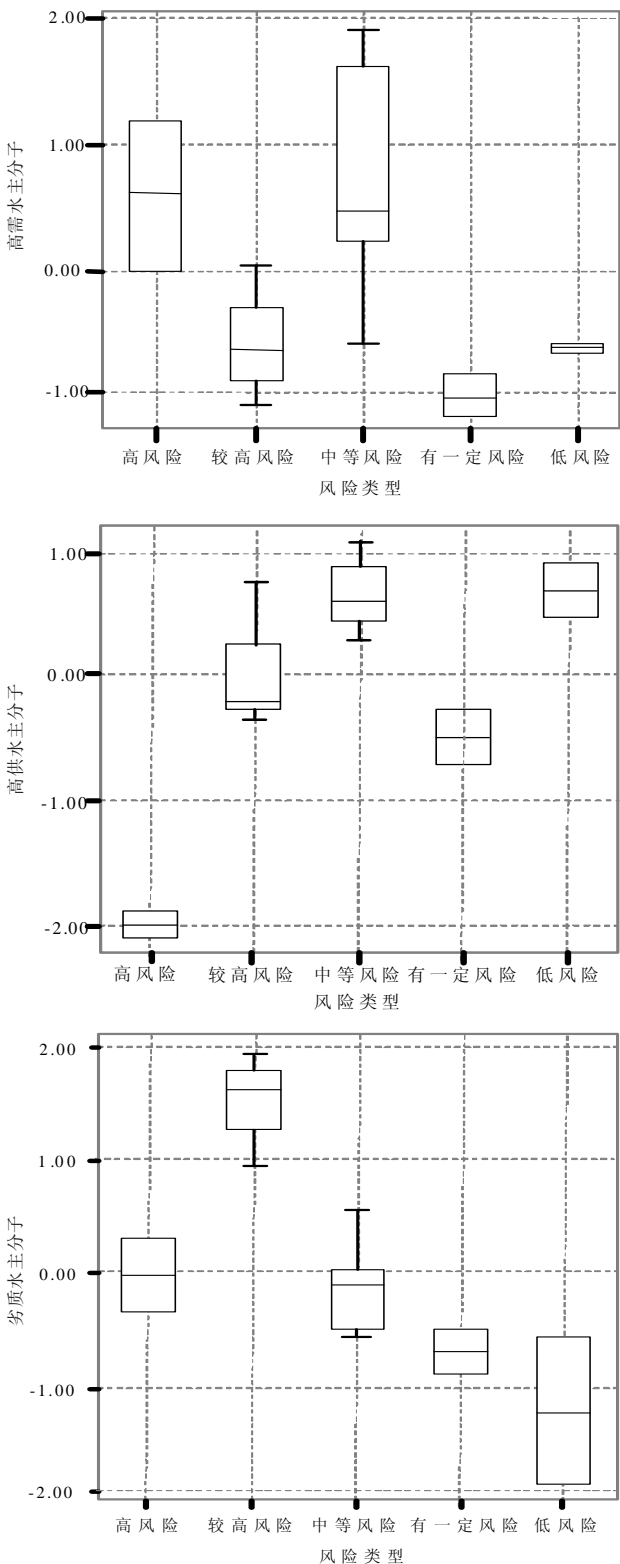


图 5 水资源风险评价主因子的箱线图

Fig.5 The Box-whisker plot of the common factors of water resources risk assessment

高需水主因子处于平均水平,说明该区域经济发展水平一般;高供水主因子处于平均水平,表明供水量不是非常充足;劣质水主因子处于较高水平,表

明该区域水质较差,存在水质性缺水。

可见,较高风险区的水资源利用风险主要来源于水质较差造成的水质性缺水,因此提高较高风险区的水资源保障能力,应采取高新技术提高水资源的利用效率、减少水资源污染、改善河流水质的对策以减缓水资源利用风险。

**4.2.3 中等风险区**

中等风险区主要位于经济发达的辽河流域,辽河干流的水资源利用风险较大,东辽河和浑太河次之,西辽河和东北沿黄渤海诸河风险值相对较低(表 3)。水资源风险评价主因子的箱线图表明,高风险区 25%~75%高需水主因子(图 5a)均位于很高的水平上,说明该区域为经济发达地区;高供水主因子(图 5b)也处于较高的水平,表明区域供水能力相对较高;劣质水主因子(图 5c)则处于中等水平,说明该区域水质较差。可见,辽河流域的水资源利用风险是需水量大、水质相对较差造成的,提高区域水资源保障能力应从 2 方面入手: ①应该注意节流,降低单位 GDP 的水资源利用量,注意调整产业结构,增加低耗水产业的比率,减少经济发展对水量的需求;②应重点加大工业废水和城市综合污水的治理力度,严格控制水资源污染,避免水体富营养化。

**4.2.4 有一定风险区**

有一定风险区主要位于额尔古纳河和黑龙江干流 2 个流域。从图 5 可以看出,有一定风险区的高需水主因子处于较低水平,说明区域经济欠发达;高供水主因子处于平均偏下水平,供水能力相对较差;劣质水主因子处于平均偏下水平,水质相对较好。可见,有一定风险区的水量供需关系表现低需水、低供水、低劣质水的总体特征,水资源利用风险主要来自经济发展引起需水量增加、打破原有的水资源供需平衡;降水量异常导致突发性洪灾或旱灾。

**4.2.5 低风险区**

低风险区位于图们江、乌苏里江 2 个流域。从图 5 可以看出,该风险类型区的高需水主因子处于平均偏下水平,说明该区域经济欠发达;而高供水主因子处于较高水平,说明该区域供水充足;劣质水主因子处于较低水平,该区域水质较好。可见,基本无水资源利用风险区的水量供需关系表现为中需水、高供水、低劣质水的总体特征,供水量充足、水质较好,基本无水资源利用风险。



## 5 结论

本文采用空间聚类方法对松辽流域的水资源利用风险进行评估,发现该流域水资源利用风险具有区域不平衡的空间分布特征,呈现出嫩江流域和松花江流域偏高,其他流域偏低的总体格局。辽河区水资源利用风险内部差异不大,松花江区内部差异较大,嫩江和松花江流域为水资源利用高风险区,图们江、乌苏里江流域为水资源利用低风险区。具体而言,松辽流域的水资源利用风险表现为以下 4 个特征。

(1) 嫩江和松花江两个流域水资源利用风险最高,区域工农业和经济较发达,需水量较大;供水量严重不足;水质污染较严重,存在水质性和水量性缺水。针对上述区域的情况,应开源节流、减少水资源的污染、提高水资源的质量以提高区域水资源保障能力。

(2) 辽河区、绥芬河和第二松花江流域存在水质性缺水,应重点加大工业废水和城市综合污水的治理力度,严格控制水资源污染。

(3) 额尔古纳河和黑龙江干流水质相对较好,应注重经济发展与水资源保护并重,提防突发性的洪灾或旱灾。

(4) 图们江、乌苏里江流域供水量充足,水质相对较好,水资源利用风险程度较低。

## 参考文献

[1] 刘涛,邵东国,顾文权. 基于层次分析法的供水风险综合评价模型.武汉大学学报:工学版, 2006, 39(4): 25-28.

[2] 朱阿兴,裴韬,乔建平,等. 基于专家知识的滑坡危险性模糊评估方法. 地理科学进展, 2006, 25(4): 1-12.

[3] 宋晓莉,余静,孙海传,等. 模糊综合评价法在风险评估

中的应用. 微机计算机信息, 2006, 22(12-3): 71-79.

[4] 潘兴瑶,夏军,李法虎,等. 基于 GIS 的北方典型区水资源承载力研究:以北京市通州区为例. 自然资源学报, 2007, 22(4): 664-671.

[5] 阮本清,韩宇平,王浩,等. 水资源短缺风险的模糊综合评价. 水利学报, 2005, 36(8): 906-912.

[6] 韩宇平,阮本清. 基于地理信息系统的水资源短缺风险评估. 灌溉排水学报, 2008, 27(2): 9-12.

[7] 胡庆和,施国庆,黄涛珍,等. 非线性 FCA 模型在流域水资源冲突风险评估中的应用. 水利水电科技进展, 2007, 27(2): 6-9.

[8] 黄大鹏,刘闯,彭顺风. 洪灾风险评估与区划研究进展. 地理科学进展, 2007, 26(4): 11-22.

[9] 黄明聪,解建仓,阮本清,等. 基于支持向量机的水资源短缺风险评估模型及应用. 水利学报, 2007, 38(3): 255-259.

[10] 李新运. 城市空间数据挖掘方法与应用. 济南:山东大学出版社, 2005: 64-76.

[11] 李新延,李德仁. DBSCAN 空间聚类算法及其在城市规划中的应用. 测绘科学, 2005, 30(3): 51-53.

[12] 李新运,郑新奇,闫洪文. 坐标与属性一体化的空间聚类方法研究. 地理与地理信息科学. 2004, 20(2): 38-40.

[13] 骆剑承,周成虎,梁怡,等. 多尺度空间单元区域划分方法. 地理学报, 2002, 57(2): 167-173.

[14] 张燕文. 基于空间聚类的区域经济差异分析方法. 经济地理, 2006, 26(4): 557-560.

[15] 衷平,沈珍瑶,杨志峰,等. 石羊河流域水资源短缺风险敏感因子的确定. 干旱区资源与环境, 2005, 19 (2): 81-86.

[16] Tsai C F, Tsai C W , Wu H C, et al. A Novel Data Clustering Approach for Mining in Large Databases. The journal of Systems and Software, 2004, 73(1): 133-145.

[17] 王远飞,何洪林. 空间数据分析方法. 北京:科学出版社, 2007: 34-39.



# Risk Assessment on Water Resource Utilization in the Songliao Basin by Spatial Cluster Analysis

ZHANG Xuexia<sup>1</sup>, WU Pengfei<sup>1</sup>, LIU Qiyong<sup>2</sup>

- (1. Key Laboratory of Soil & Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education,  
Beijing Forest University, Beijing 100083, China;
2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract:** With the socio-economic development, water demand is increasing, and the conflicts between water supply and water demand at regional scales become increasingly significant. Scientific evaluation on the risk that caused by the conflicts between supply and demand of water resources is essential to the elimination of the imbalance. This paper analyzes the utilization of water resources in the Songliao Basin based on the water quantity, water quality and socio-economic data in 1999–2006, and generates a risk evaluation index system of water resources utilization, which included 10 indicators. Three common factors including high water demand, high water supply and low-quality water were used in factor analysis. The three common factors were assessed with spatial clustering, and the risk distribution of water resources in the Songliao Basin was estimated. The research results show that the pattern of water resource utilization in the Songliao Basin is that high risks is in the center, with low risk around the basin. Nen River and Songhua River have high risks and Tumen River and Wusuli River have low risks.

**Key words:** water resources utilization; risk assessment; spatial cluster; factor analysis; Songliao Basin

本文引用格式：  
张学霞, 武鹏飞, 刘奇勇. 基于空间聚类分析的松辽流域水资源利用风险评价. 地理科学进展, 2010, 29(9): 1032–1040.