

# 采煤区水土资源损毁相关影响因素分析

张凯媛, 王瑾\*, 毕如田, 刘建

(山西农业大学资源环境学院, 山西太谷 030801)

**摘要:**【目的】探讨煤炭企业生产视角下水土资源损毁的关键影响因素。【方法】借助EViews软件对研究区内12个煤炭企业共15个水土资源损毁影响因素进行散点拟合,定量分析了各因素对水土资源损毁的影响;选取7个影响因素进行核密度估计并描述了其曲线特征,结合多元回归模型分析了多因素对研究区水土资源损毁的综合影响并确定了其主要影响因素。【结果】影响研究区水资源耗损的主要因素是地下水径流量和总用水量,二者对数的核密度曲线双峰不明显,地下水径流量核密度曲线变化区间较大;服务年限与井田面积是土地资源损毁主要的影响因素,其对数的核密度曲线都是单峰,服务年限核密度曲线走势陡峭。【结论】研究区水土资源损毁的主要影响因素是地下水径流量、总用水量、服务年限与井田面积。

**关键词:**水土资源损毁;散点拟合法;核密度估计;多元回归分析;影响因素

中图分类号:TV213

文献标志码:A

doi:10.10352/j.cnki.ggps.20180031

张凯媛,王瑾,毕如田,等.采煤区水土资源损毁相关影响因素分析[J].灌溉排水学报,2019,38(1):108-115.

## 0 引言

煤炭是我国的主体能源,山西省是主要的煤炭产区之一,且大部分位于生态脆弱、水资源匮乏的黄土丘陵区,采煤造成的水土资源损毁以及衍生的资源环境问题尤为突出。采煤导致的水土资源问题一直以来都是学者们关注的重点,如围绕矿区土地损毁进行影响因素分析<sup>[1]</sup>、土地损毁与生态风险的评价<sup>[2-4]</sup>和预测<sup>[5]</sup>及探讨采煤影响下的土地利用变化<sup>[6]</sup>;研究采煤影响下的水资源响应<sup>[7-8]</sup>和矿水平衡<sup>[9]</sup>并进行动态模拟<sup>[10]</sup>。基于资源协调,一些学者在水土资源时空演变<sup>[11]</sup>的背景下分析了矿区水土资源承载力的协调性<sup>[12]</sup>、农业水土匹配<sup>[13-14]</sup>,以期在不同领域实现资源的同步利用和保护<sup>[15-16]</sup>。研究内容上,目前对农业水土资源平衡的关注远高于探讨采煤区煤地水资源的协调,细化到水土资源损毁影响因素的研究还有待补充。研究方法上,散点拟合分析<sup>[1]</sup>、Tobit回归模型<sup>[27]</sup>、多元线性回归<sup>[28]</sup>等在目前的研究中较为常见,基本都属于常规的参数估计方法,一定程度上忽略了样本数据真实的分布特征。核密度估计作为一种典型的非参数估计方法,能够有效弥补参数估计的缺陷,且其应用领域也逐渐涵盖了统计、电力<sup>[19]</sup>,甚至土地<sup>[20]</sup>方面。鉴于采煤加剧了水土资源损毁,矿区水土资源保护的研究也相应展开,但研究尺度局限在大尺度煤田矿区,对小尺度分散矿区的研究相对不足,提出的水土资源保护措施多从政府视角<sup>[21]</sup>或技术层面出发,如保水采煤关键技术探讨<sup>[22-23]</sup>与土地复垦研究<sup>[24-26]</sup>,忽视了煤炭企业作为利益相关者在采煤区水土资源保护关键调控因素确定中的必要性。为此,以山西长河流域采煤区12个煤炭企业为研究样本,综合考虑自然特征、社会经济、煤矿规模与采煤耗损因素,将核密度估计与散点拟合分析、多元回归分析方法相结合,判别造成研究区水土资源损毁的主要影响因素。将选取的因素作为基于煤炭企业视角进行水土资源保护的关键调控因素,并与政府宏观调控措施相结合以保护采煤区水土资源,为实现区域资源开发与水土保护的协调提供一定参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于山西省晋城市泽州县西北部长河流域采煤区,矿区总面积约123.54 km<sup>2</sup>,区域地貌主要以山

收稿日期:2018-01-09

基金项目:国土公益科研专项(201411007);山西省科技厅软科学研究项目(2017041032-3)

作者简介:张凯媛(1992-),女,山西晋中人。硕士研究生,研究方向为土地利用规划。E-mail:18235431153@163.com

通信作者:王瑾(1974-),女,山西晋中人。副教授,硕士生导师,研究方向为土地生态评价,环境规划。E-mail:sxauwj@163.com

地、丘陵为主。长河是黄河流域沁河水系,发源于晋城下村镇北武神山南麓,是全区唯一过境河流,干流全长约54.7 km,属季节性河流,年流量约为2 460万 m<sup>3</sup>。研究区属延河泉域,全域地下水资源量约为25 917万 m<sup>3</sup>,流域内矿区地下水资源量约为1 249.98 m<sup>3</sup>。目前研究区主要的大中型煤矿有12个(见图1),以3号、9号和15号煤层开采为主。成庄煤矿的生产规模较大达到了600万 t/a,天安润宏、壁盈、圣华与岳圣山煤矿的生产规模都是45万 t/a,是生产规模较小的煤矿,其余7个煤矿的生产规模集中在60万 t/a和90万 t/a。当地的采煤史最早可追溯到明清时期,其中1976年的辛壁煤矿和下麓煤矿是开采历史较早的煤矿。截至2014年煤炭开采已经造成了约13 039.79 hm<sup>2</sup>的损毁土地,吨煤排水量平均达到8.79 m<sup>3</sup>/t。天安晋瑞、圣乐山和成庄煤矿涉及的压煤村庄户数综合起来约有24 087户,煤炭开采与当地居民的生产生活息息相关,采煤既是当地经济增长的主要拉动力,又是造成区域水土资源损毁的主要驱动力。

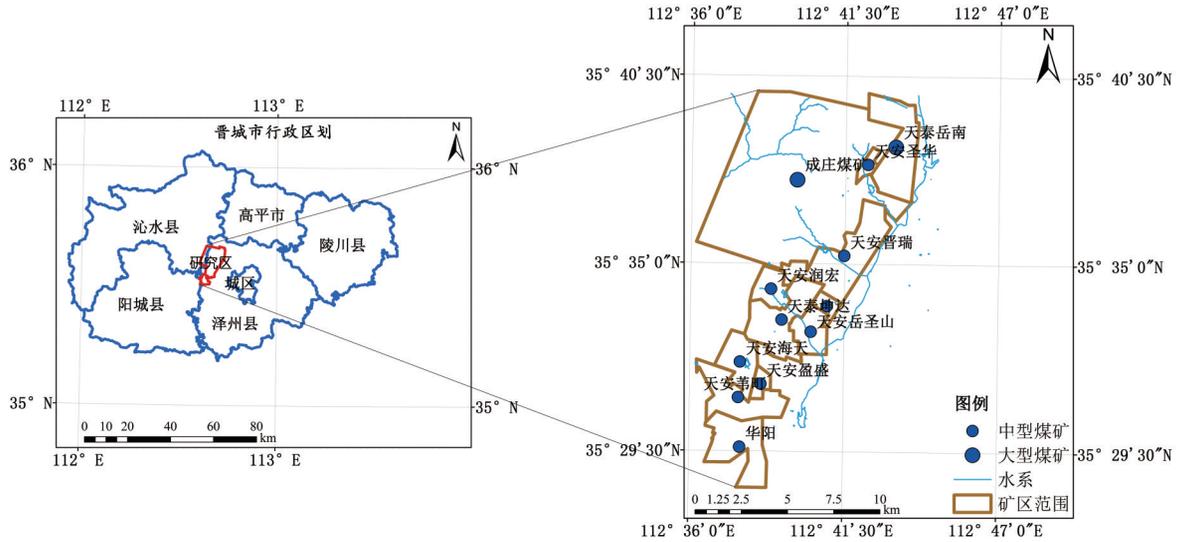


图1 研究区位置与煤矿分布

## 1.2 数据来源与影响因素选取

考虑影响因素独立性与可量化性,分别从自然特征、社会经济、煤炭规模和采煤耗损4个层面基于煤炭企业生产视角选取研究区水资源耗损和土地资源损毁的影响因素。为统一项目数据口径,提高研究的科学性建立了数据库,主要包括基础数据和专题数据。煤炭规模数据和采煤耗损数据主要是从各煤矿《土地复垦方案报告书》、《环境保护与治理方案》、《环境影响报告》、《开发利用方案》与《煤炭资源储量核实报告》5类报告和规划图件资料矢量化后获得,其他自然特征与社会经济资料由当地国土、环保、农业等相关部门提供,并涵盖了2017年进行的实地调研与村民访谈获得的资料。兹在一定采煤规模下进行采煤区水土资源损毁主要影响因素判别与分析,因此以研究区12个煤矿2009—2015年各影响因素的平均值作为样本分别进行散点拟合、核密度估计与多元回归分析。

表1 研究区水土资源损毁影响因素

研究层面	水资源耗损影响因素	表征	研究层面	土地资源损毁影响因素	表征
自然特征	地下水径流量/(万 m <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup> )	x <sub>01</sub>	自然特征	煤炭保有储量/万 t	x <sub>11</sub>
社会经济	压煤人口密度/(人·hm <sup>-2</sup> )	x <sub>02</sub>	社会经济	压煤面积/hm <sup>2</sup>	x <sub>12</sub>
煤炭规模	煤炭开采量/(t·a <sup>-1</sup> )	x <sub>3</sub>	煤炭规模	煤炭开采量/(t·a <sup>-1</sup> )	x <sub>3</sub>
	矿区地下水开采模数/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	x <sub>04</sub>		服务年限/a	x <sub>14</sub>
采煤耗损	-	-	井田面积/hm <sup>2</sup>	x <sub>15</sub>	
	吨煤采空面积/hm <sup>2</sup>	x <sub>05</sub>	吨煤占地面积/hm <sup>2</sup>	x <sub>6</sub>	
	吨煤占地面积/hm <sup>2</sup>	x <sub>06</sub>	吨煤塌陷面积/hm <sup>2</sup>	x <sub>7</sub>	
	吨煤塌陷面积/hm <sup>2</sup>	x <sub>07</sub>	采空区面积/hm <sup>2</sup>	x <sub>18</sub>	
	总用水量/m <sup>3</sup>	x <sub>08</sub>	预测变形区面积/hm <sup>2</sup>	x <sub>19</sub>	
被解释变量	废水排放量/m <sup>3</sup>	x <sub>09</sub>	-	-	
	排水量/m <sup>3</sup>	Y <sub>0</sub>	被解释变量	拟损毁土地面积/hm <sup>2</sup>	Y <sub>1</sub>

采煤造成了水量水质的下降、水体的污染和水系的破坏,此外还导致了含水层的疏干等。研究区由于气候变化与采煤导致地表水资源十分有限,采煤同时致使大量的地下水流失。当地居民主要的生产生活用水来源于地下水,地表水多用于农田灌溉等。基于以上原因,选取影响水资源耗损的因素包括地下水径流量、压煤人口密度等9个因素,分别用 $x_{s1}$ 到 $x_{s9}$ 表示(表1),由于煤炭开采量、吨煤占地面积和吨煤塌陷面积同时作为水资源与土地资源损毁的影响因素,分别用 $x_3$ 、 $x_6$ 、 $x_7$ 表示。由于不考虑水污染,用排水量表征采煤区水资源耗损,作为解释变量用 $Y_i$ 表示。

采煤对土地的破坏包括对土地的直接损毁如地表变形塌陷及矿区土地的不合理利用。研究区内煤炭开采造成了大面积的耕地损毁,同时条块状密集分布的采空区又加剧了水土资源流失的隐患。兹主要考虑采煤生产期造成的土地损毁,如地表塌陷及排矸压占土地,因此选取矿区土地资源损毁的影响因素包括煤炭保有储量、压煤面积等9个因素,除煤炭开采量、吨煤占地面积和吨煤塌陷面积外分别用 $x_{t1}$ 到 $x_{t9}$ 表示(具体见表1)。存在拟损毁土地与已损毁土地且含义相异,用拟损毁土地面积表征采煤区土地损毁,同样作为被解释变量,用 $Y_i$ 表示。

### 1.3 研究方法

#### 1.3.1 散点拟合分析

散点拟合是利用连续曲线模拟即通过函数表达式逼近离散数据并明确其函数关系的一种数据处理方法。借助EViews软件利用散点拟合法分析12个煤矿共15个因素对水土资源损毁的影响。为提高拟合精度与可比性,采用文献[1]方法将各影响因素与被解释变量分别取对数(以10为底)构建二次函数散点拟合模型。采用最小二乘法获得拟合方程,根据拟合优度 $R^2$ 判断拟合曲线对观测值的拟合程度,由此衡量各因素对水土资源损毁的影响程度。

#### 1.3.2 核密度估计

核密度估计又称为Parzen窗,是一种非参数检验方法,主要根据输入要素数据计算整个区域的数据集聚状况,即利用平滑的峰值函数拟合观察到的数据点,从而产生一个连续的密度表面进行模拟<sup>[20]</sup>,同时也能使一维数据实现可视化。基本原理为假设 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 是独立同分布 $F$ 的 $n$ 个样本点,概率密度函数用 $f(x)$ 表示,其核密度估计的表达式为:

$$f_h(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_h(x - x_i) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K_h\left(\frac{x - x_i}{h}\right), \quad (1)$$

式中: $K$ 为核函数; $n$ 为观测值数目; $x_i$ 为独立同分布的观测值; $\bar{x}$ 为均值; $h$ 为带宽。带宽是影响核密度曲线的重要参数,反映了曲线的平坦度和圆滑度,带宽越大,绘制出的核密度曲线越平缓。核函数有不同的类型,如高斯核、三角核等,这些核密度函数绘制出的曲线在性状上存在差异。文中使用Epanechnikov核函数,其表达式为:

$$f(x) = \frac{3}{4} (1 - x^2). \quad (2)$$

利用散点拟合定量分析每一因素对水土资源损毁的影响程度,初步选出8个因素,其中煤炭开采量对水土资源损毁的影响都相对显著。在EViews软件中绘制水资源耗损与土地资源损毁各4个影响因素的核密度曲线,描述其数据分布特征。为增强影响因素间的可比性,绘制核密度曲线时将各因素与被解释变量分别取对数(以10为底)。

#### 1.3.3 多元回归分析

多元回归分析的结果需要通过 $F$ 检验和 $t$ 检验,从而确保方程的显著性。定量和定性分析单一因素对水土资源损毁的影响后,在软件中得出多元回归方程并分析多因素的共同影响,即分别对研究区水资源耗损与土地资源损毁的各4个影响因素进行多元回归,采用逐步回归法消除因素间的多重共线性。本研究采用截面数据进行分析,多元回归易产生异方差,因此需要进行怀特(White)异方差检验。由于探讨的是水土资源损毁与多个影响因素之间的相关程度,因此将复相关系数的大小作为判别主要影响因素的一个依据。

## 2 水资源耗损影响因素判别与分析

### 2.1 水资源耗损主要影响因素判别

将研究区12个煤矿的排水量与9个水资源耗损影响因素分别取对数(以10为底)构建二次函数散点拟

合模型(见表2),判断每一因素对排水量( $Y_s$ )的影响程度,并选出拟合优度大于0.7的因素具体分析其对研究区水资源耗损的影响。

表2 水资源损毁影响因素散点拟合方程

影响因素	表征	$R^2$	回归方程
地下水径流量	$x_{s1}$	0.95	$Y_s = 0.3x_{s1}^2 - 0.45x_{s1} + 4.48$
压煤人口密度	$x_{s2}$	0.12	$Y_s = -2.22x_{s2}^2 + 6.87x_{s2} - 0.47$
煤炭开采量	$x_3$	0.96	$Y_s = 0.38x_3^2 - 2.28x_3 + 7.71$
矿区地下水开采模数	$x_{s4}$	0.33	$Y_s = -2.08x_{s4}^2 + 15.69x_{s4} - 24.79$
吨煤采空面积	$x_{s5}$	0.12	$Y_s = -0.18x_{s5}^2 - 0.21x_{s5} + 4.76$
吨煤占地面积	$x_6$	0.13	$Y_s = 0.96x_6^2 - 1.98x_6 + 3.67$
吨煤塌陷面积	$x_7$	0.12	$Y_s = -0.27x_7^2 - 1.13x_7 + 3.54$
总用水量	$x_{s8}$	0.84	$Y_s = 1.24x_{s8}^2 - 7.56x_{s8} + 15.93$
废水排放量	$x_{s9}$	0.70	$Y_s = 1.31x_{s9}^2 - 5.79x_{s9} + 10.8$

地下水径流量、煤炭开采量、总用水量和废水排放量这4个影响因素的拟合优度 $R^2$ 均大于0.7。从表2可以看出,煤炭规模因素中,煤炭开采量的拟合优度高达0.96,说明在不考虑其他因素的前提下其对水资源耗损的影响程度最大。通过分析二次方程的极值可得当煤炭开采量对数达到3,即煤炭开采量为1 000 t/a时,排水量对数最小是4.29,对应数值为19 498.45  $m^3$ 。通过EViews得出的拟合函数曲线开口向上,当煤炭开采量对数大于3时,排水量随着煤炭开采量的增加而增加。因此,在不考虑其他因素的影响时,当煤炭开采量大于1 000 t/a时,排水量是递增的。研究区内各煤矿的开采量均高于1 000 t/a,排水量是递增的。地下水径流量方程的拟合优度为0.95,属于自然特征因素,其拟合函数曲线开口向上,当对数达到0.75,即地下水径流量为5.62万  $m^3/a$ 时,排水量最小为20 476.23  $m^3$ ,对数是4.31。12个煤矿的地下水径流量都大于5.62万  $m^3/a$ ,排水量递增。采煤耗损因素中总用水量的拟合优度较高为0.84。当总用水量对数达到3.05,即总用水量为1 122.02  $m^3$ 时,排水量是最小的,其对数是4.41即25 703.96  $m^3$ ,当总用水量小于1 122.02  $m^3$ 时排水量递减,有4个煤矿在此范围。废水排放量的拟合优度次于总用水量为0.7,当废水排放量对数达到2.21即162.18  $m^3$ 时,排水量对数最小为4.4,对应的值为25 118.86  $m^3$ 。除天安盈盛煤矿外其他煤矿的废水排放量均大于162.18  $m^3$ ,排水量随废水排放量的增加而增加。由此发现,煤炭规模因素、自然特征因素和采煤耗损因素的影响程度明显,它们与排水量对数的拟合函数都是开口向上,存在极小值。依据理论来讲或在理想状态下,将各煤矿地下水径流量、煤炭开采量、总用水量和废水排放量等因素控制在一定范围内可以在某些程度上减缓矿区水资源的耗损。

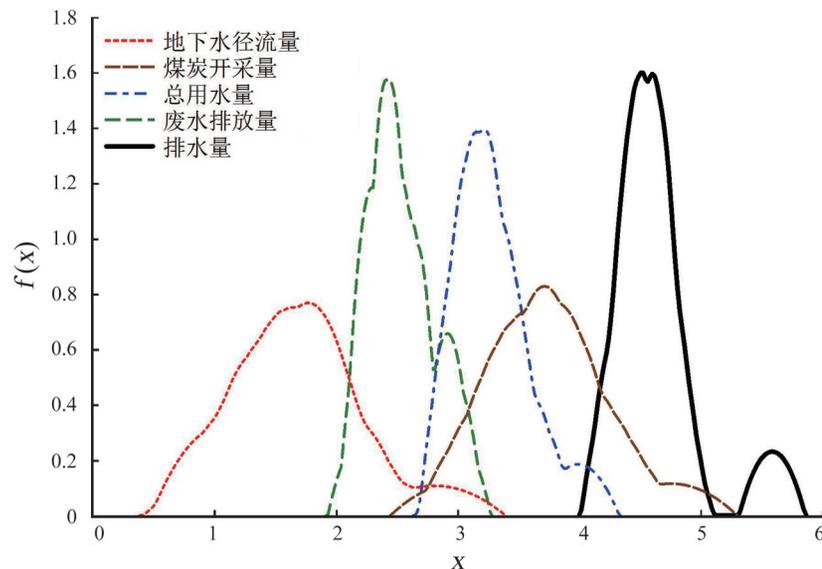


图2 水资源耗损主要影响因素核密度曲线

## 2.2 水资源耗损主要影响因素分析

### 2.2.1 水资源耗损主要影响因素核密度曲线

分别绘制地下水径流量、煤炭开采量、总用水量、废水排放量与排水量的核密度曲线,结果见图2。从图2

可以看出,各煤矿的煤炭开采规模差异明显,排水量核密度曲线存在明显的主峰和次峰,即存在两极分化现象,其概率密度聚集在 $39\ 810.71\ \text{m}^3$ 左右。废水排放量和总用水量的核密度曲线变化趋势与排水量相似,峰值中心都偏左,这表明研究区煤矿的排水量、总用水量和废水排放量都得到了一定控制。总用水量核密度曲线的双峰不太明显且峰值较低,过渡更为平缓,这是由于煤矿总用水量相近。废水排放量曲线主峰和次峰的差距相对接近,曲线走势较陡,说明在废水排放方面有待继续控制。地下水径流量和煤炭开采量的核密度曲线表现出由双峰向单峰转变的趋势,波峰较平缓且变化区间较大,两极分化不明显,地下水径流量的波峰更为平缓。这4个影响因素有可能成为煤矿企业缓解水资源压力的调控因素,如总用水量的概率密度聚集在 $1\ 995.26\ \text{m}^3$ ,结合散点拟合结果,在此范围内考虑单一因素影响时水资源耗损随总用水量的增加而增加,将总用水量控制在 $1\ 122.02\ \text{m}^3$ 以下即散点拟合二次方程的最小值处可在一定程度上保护水资源,由此推论研究区煤炭企业的废水排放量应小于 $162.18\ \text{m}^3$ ,并将煤炭开采量控制在 $1\ 000\ \text{t/a}$ 以下。

### 2.2.2 水资源耗损主要影响因素多元回归模型

构建研究区煤矿排水量对数与地下水径流量对数、煤炭开采量对数、总用水量对数和废水排放量对数的多元回归方程,得到 $Y_5 = 0.38x_{s1} + 0.19x_{s3} + 0.38x_{s8} - 0.21x_{s9} + 2.59$ ,拟合度达到0.89,复相关系数为0.94,且回归关系通过了 $F$ 检验。废水排放量是影响排水量的负相关因素,地下水径流量、煤炭开采量和总用水量则是正相关因素。方程没有通过 $t$ 检验,因此通过逐步回归剔除得到2个方程分别是: $Y_5 = 0.51x_{s1} + 0.27x_{s8} + 2.9$ ( $R^2 = 0.881\ 2$ )和 $Y_5 = 0.52x_{s3} + 0.31x_{s8} + 1.66$ ( $R^2 = 0.881\ 1$ ),都通过了怀特(White)异方差检验。对比2个方程复相关系数的大小,最终认为水资源耗损的主要影响因素是地下水径流量和总用水量,且都为正相关因素。

## 3 土地资源损毁影响因素判别与分析

### 3.1 土地资源损毁主要影响因素判别

与水资源耗损的上述分析方法相同,将12个煤矿的拟损毁土地面积( $Y_i$ )与9个土地资源损毁影响因素分别取对数(以10为底)构建二次函数散点拟合模型,结果见表3。

表3 土地资源损毁影响因素散点拟合方程

影响因素	表征	$R^2$	回归方程
煤炭保有储量	$x_{t1}$	0.89	$Y_i = -0.45x_{t1}^2 + 4.48x_{t1} - 7.7$
压煤面积	$x_{t2}$	0.21	$Y_i = 0.16x_{t2}^2 + 0.001x_{t2} + 2.15$
煤炭开采量	$x_3$	0.87	$Y_i = -0.33x_3^2 + 3.63x_3 - 6.33$
服务年限	$x_{t4}$	0.74	$Y_i = 0.36x_{t4}^2 + 0.87x_{t4} + 0.86$
井田面积	$x_{t5}$	0.92	$Y_i = -0.28x_{t5}^2 + 2.57x_{t5} - 2.39$
吨煤占地	$x_6$	0.18	$Y_i = -1.87x_6^2 - 1.94x_6 + 2.48$
吨煤塌陷	$x_7$	0.41	$Y_i = -0.73x_7^2 - 3.09x_7 - 0.52$
采空区面积	$x_{t8}$	0.62	$Y_i = -0.002x_{t8}^2 + 0.72x_{t8} + 0.98$
预测变形区面积	$x_{t9}$	0.60	$Y_i = 0.15x_{t9}^2 + 0.02x_{t9} + 1.48$

同样选取拟合优度大于0.7的因素,包括煤炭保有储量、煤炭开采量、服务年限和井田面积进行分析。由表3可知,煤炭规模因素井田面积的拟合优度最高是0.92,在不考虑其他影响因素时,井田面积对长河流域煤炭开采区土地资源损毁的影响程度最大。通过EViews得出的拟合函数曲线开口向下,分析函数极值发现当煤矿井田面积对数达到4.59,即面积为 $38\ 840.58\ \text{hm}^2$ 时,土地损毁面积最大达到 $3\ 215.36\ \text{hm}^2$ ,其对数是3.51。研究区内煤矿井田面积的对数均小于4.59,即井田面积在 $38\ 840.58\ \text{hm}^2$ 以内土地损毁面积是递增的。煤炭保有储量作为自然特征因素,拟合优度次于井田面积达0.89,当其对数达到4.98即煤炭保有量为 $95\ 060.48\ \text{万t}$ 时,土地损毁面积对数为18.85。除成庄煤矿外,其余煤矿的煤炭保有储量对数均小于4.98,土地损毁面积递增。煤炭规模因素中,煤炭开采量和服务年限的拟合优度较高,分别为0.87和0.74。煤炭开采量的拟合函数曲线开口向下,服务年限的拟合函数曲线开口向上且大部分处在拟合函数右侧。通过分析极值可得当煤炭开采量对数达到5.5,即煤炭开采量为 $316\ 227.77\ \text{t/a}$ 时,土地损毁面积最大,其对数为16.31。研究区内煤矿都属于大中型煤矿,煤炭开采量远小于 $316\ 227.77\ \text{t/a}$ ,因此土地损毁面积随着煤炭开采量的增加而增加。分析服务年限拟合函数的极值发现,当对数达到4.59即服务年限为 $38\ 840.58\ \text{a}$ 时,土地损毁面积对数的极小值为3.51即面积为 $3\ 215.36\ \text{hm}^2$ ,但实际上不可能达到此值,一般情况下土地损毁面积随着

服务年限的增加而递减。同水资源耗损影响因素分析结果类似,煤炭规模因素、自然特征因素和采煤耗损因素的影响明显。在理想状态下将煤矿的煤炭保有储量、服务年限、煤炭开采量和井田面积等因素进行控制或限定可以在一定程度上减缓土地资源损毁。

### 3.2 土地资源损毁主要影响因素分析

#### 3.2.1 土地资源损毁主要影响因素核密度曲线

分析土地资源损毁4个影响因素的核密度曲线(图3)可以看出,服务年限核密度曲线是单峰且走势陡峭,变化区间较小,说明研究区不同规模煤矿的服务年限有差距。除服务年限之外,拟损毁土地面积、煤炭保有储量、煤炭开采量和井田面积的核密度曲线变化趋势相近,都有较明显的单峰,但煤炭保有储量、煤炭开采量和井田面积曲线略有次峰,表明煤矿在规模上的存在两极分化,同时表明研究区内这些因素都集中在一定范围内,从实际情况来看即大中型煤矿分布密集。拟损毁土地面积的概率密度聚集在501.19 hm<sup>2</sup>

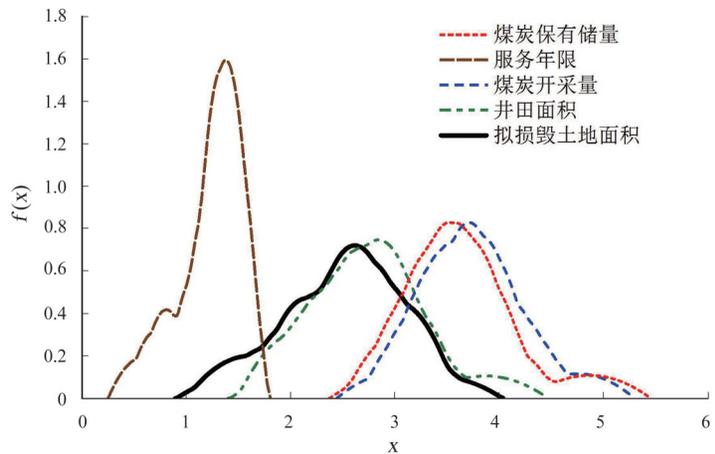


图3 土地资源损毁主要影响因素核密度曲线

附近,核密度曲线变化区间大且峰值偏右,左尾波动较大,煤炭企业之间的土地损毁面积整体上偏大,但差距并不极端,在一定程度上体现出采煤造成的土地损毁正在被控制。结合散点拟合结果与概率密度曲线,研究区煤矿的服务年限应设置在20~30 a,井田面积应少于1 000 hm<sup>2</sup>。

#### 3.2.2 土地资源损毁主要影响因素多元回归模型

经拟合,12个煤矿拟损毁土地面积与煤炭保有储量对数、服务年限对数、煤炭开采量对数和井田面积对数的回归方程为 $Y_1 = -0.63x_{11} + 0.57x_{13} + 0.51x_{14} + 0.88x_{15} - 0.36$ ,拟合度达到0.94,复相关系数为0.97,通过了F检验。服务年限、煤炭开采量和井田面积是影响土地损毁的正相关因素,而煤炭保有储量是负相关因素。由于影响因素间存在多重共线性,方程未通过t检验。通过逐步回归法进行剔除,得出2个方程分别是 $Y_1 = 0.63x_{11} + 0.86x_{14} - 0.83$  ( $F=42.53, R^2=0.90$ )和 $Y_1 = 0.62x_{14} + 0.74x_{15} - 0.26$  ( $F=65.72, R^2=0.94$ ),都通过了怀特(White)检验。根据复相关系数最终判别出长河流域煤炭开采区土地资源损毁的主要影响因素是服务年限与井田面积,且都为正相关因素。

## 4 讨论

矿区土地损毁评价<sup>[2-4]</sup>、农业水资源利用消耗强度<sup>[27-28]</sup>等研究目前大多单一关注水资源或土地资源,兹以煤炭企业为样本,选择小尺度分散煤矿区进行分析讨论,着重突出和细化煤炭产地尺度,并从水资源与土地资源2方面着手进行损毁分析,在内容上突出了水土资源的协调平衡。相关文献具体选择矿区土地损毁影响因素与评价指标时,聚集在地表变形、水文条件等自然特征与采煤耗损方面或着重社会经济特征的影响,如考虑可采煤层平均总厚、地下水埋深等自然地质特征因素<sup>[29]</sup>以及从经济层面分析采煤占损土地的驱动因子<sup>[30]</sup>等,因此考虑综合影响,基于自然特征、社会经济特征、煤炭规模与采煤耗损方面选取影响因素。结合散点拟合、多元回归(参数估计方法)与核密度估计(非参数估计方法),客观分析样本数据即研究区12个煤矿各影响因素的分布特征,在研究方法上弥补了多元回归等方法忽视数据真实分布特征的不足。

将多元主体共治理念纳入采煤区水土资源保护实践是在区域可持续发展和资源保护背景下的大势所趋。多元主体共治实际上就是将政府、社会组织及利益相关者的利益与责任进行重新配置,以政府为主导,其他角色均作为协商者讨论和制定相关决策<sup>[31-32]</sup>。因此在判别出水土资源损毁的主要影响因素后,以此明确了煤炭企业视角水土资源保护的关键调控因素。今后的研究应致力于将多元共治理念应用到采煤区水土资源保护的实践当中,构建以政府为主导,以利益相关者包括煤炭企业和公众为辅的多元共治体系,进一步提高水土资源损毁治理和保护策略的有效性。

## 5 结论

1)在不考虑其他因素影响时,矿区水资源耗损各影响因素中排序靠前的4个因素为煤炭开采量、地下水径流量、总用水量、废水排放量。通过多元回归逐步分析,确定水资源耗损的主要影响因素是地下水径流量和总用水量。

2)矿区土地资源损毁因素中影响程度靠前的4个为井田面积、煤炭保有储量、煤炭开采量、服务年限。通过逐步回归法,最终判别出土地资源损毁的主要影响因素是服务年限与井田面积。

3)研究区水土资源损毁的主要影响因素是地下水径流量、总用水量、服务年限与井田面积。由于地下水径流量可控性较弱,其他3个因素均可作为煤炭企业水土资源保护的关键调控因素,结合散点拟合与核密度估计的分析结果,将这些因素控制在合理范围内可缓解采煤引致的水土资源压力。企业需要充分承担在多元主体共治中的责任,主动融入政府宏观调控政策,以期实现区域煤炭开发与水土资源保护的协调。

### 参考文献:

- [1] 曹银贵,白中科,周伟,等.基于尺度差异的山西省采煤土地损毁影响因素分析[J].中国矿业,2014,23(8):75-82.
- [2] 周川,李妍均,朱祥柯,等.基于灰色聚类模型的重庆市典型矿区损毁程度研究[J].中国水土保持,2016(8):49-51.
- [3] 金洪波,张世文,黄元仿.可拓理论在矿区土地破坏程度评价中的应用[J].岩土力学,2010,31(9):2704-2710.
- [4] 孙琦,白中科,曹银贵,等.特大型露天煤矿土地损毁生态风险评价[J].农业工程学报,2015,31(17):278-288.
- [5] 何书金,苏光全.中国采矿业的发展与矿区土地损毁预测[J].资源科学,2002(2):17-21.
- [6] REDONDO-VEGA J M, GÓMEZ-VILLAR A, SANTOS-GONZÁLEZ J, et al. Changes in land use due to mining in the north-western mountains of Spain during the previous 50 years[J]. Catena, 2017, 149: 844-856.
- [7] 陆垂裕,陆春辉,李慧,等.淮南采煤沉陷区积水过程地下水作用机制[J].农业工程学报,2015,31(10):122-131.
- [8] 柴迪.村庄压煤山丘区采煤活动对地下水影响研究[D].北京:中国地质大学(北京),2017.
- [9] SHANG Yizi, LU Shibao, LI Xiaofei, et al. Balancing development of major coal bases with available water resources in China through 2020[J]. Applied Energy, 2016,194(15):735-750.
- [10] 李彩梅,杨永刚,秦作栋,等.基于FEFLOW和GIS技术的矿区地下水动态模拟及预测[J].干旱区地理,2015,38(2):359-367.
- [11] 许冬.济宁采煤沉陷区水土资源时空演变及引黄河泥沙充填复垦研究[D].徐州:中国矿业大学,2015.
- [12] 黄程希,王瑾,毕如田,等.压煤区开采规模与水土资源承载力协调性分析[J].灌溉排水学报,2018,37(1):91-97.
- [13] 许长新,林剑婷,宋敏.水土匹配、空间效应及区域农业经济增长:基于中国2003-2013的经验分析[J].中国人口·资源与环境,2016,26(7):153-158.
- [14] 李慧,周维博,庄妍,等.延安市农业水土资源匹配及承载力[J].农业工程学报,2016,32(5):156-162.
- [15] 娄华君,庄健鸿.煤矿开采区水、土地与煤炭资源同步利用模式研究[J].资源科学,2007(5):90-96.
- [16] 刘慧芳,毕如田,文博.流域“地-矿”土地水资源利用冲突测度确定及土地整治策略[J].农业工程学报,2017,33(14):238-249.
- [17] 张鹏辉,孙晚华.多元线性回归在影响因素分析中的应用[J].技术经济,2000(7):61-62.
- [18] 赵亮,赵春霞,张二华.核回归方法的散点拟合曲面重构[J].计算机研究与发展,2009,46(9):1446-1455.
- [19] 何耀耀,闻才喜,许启发.基于Epanechnikov核与最优窗宽组合的中期电力负荷概率密度预测方法[J].电力自动化设备,2016,36(11):120-126.
- [20] 匡兵,卢新海,周敏.中国城市土地经济密度的分布动态演进[J].中国土地科学,2016,30(10):47-54.
- [21] 杨军,吴蔚,丛建辉,等.煤炭开采与水资源利用保护的耦合关系研究:基于中国10个煤炭资源丰富省份的分析[J].生态经济,2016,32(2):156-164.
- [22] 范立民.保水采煤的科学内涵[J].煤炭学报,2017,42(1):27-35.
- [23] 顾大钊,张勇,曹志国.我国煤炭开采水资源保护利用技术研究进展[J].煤炭科学技术,2016,44(1):1-7.
- [24] 卞正富.国内外采煤区土地复垦研究综述[J].中国土地科学,2000(1):6-11.
- [25] 张立平,张世文,叶回春,等.露天采煤区土地损毁与复垦景观指数分析[J].资源科学,2014,36(1):55-64.
- [26] 孙琦,白中科,曹银贵.基于生态风险评价的采煤区土地损毁与复垦过程分析[J].中国生态农业学报,2017,25(6):795-804.
- [27] 马海良,黄德春,张继国.考虑非合意产出的水资源利用效率及影响因素研究[J].中国人口·资源与环境,2012,22(10):35-42.
- [28] 陈大波,杨德刚,唐宏,等.渭河流域农业水资源消耗强度及影响因素[J].干旱区地理,2014,37(3):509-519.
- [29] 程琳琳,董雪梅,付亚洁,等.兖州矿区土地破坏主导影响因子筛选及其作用机理[J].工业安全与环保,2017,43(11):89-93.
- [30] 郑娟尔,姚华军,袁国华,等.中国采矿占损土地驱动因子及治理资金效益定量研究[J].中国人口·资源与环境,2015,25(5):67-74.
- [31] 李奇伟,秦鹏.城市污染场地风险的公共治理与制度因应[J].中国软科学,2017(3):56-65.
- [32] 刘超.海底可燃冰开发环境风险多元共治之论证与路径展开[J].中国人口·资源与环境,2017,27(8):44-53.

# Correlation Analysis of the Factors that Affect Water and Soil Qualities in Coal Mining Areas

ZHANG Kaiyuan, WANG Jin\*, BI Rutian, LIU Jian

(College of Resources & Environment, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

**Abstract:** **【Objective】** Coal mining could pollute water and soil and in this paper we analyzed some factors which we believed have detrimental impact on soil and water qualities in coal mining regions. **【Method】** The analysis was based on data collected from 12 coal mines. We used the EViews software to analyze 12 factors which we believe have direct or indirect impact on water and soil qualities. For seven out of the 15 factors, we analyzed them using the nuclear density estimation method and quantified their statistical and correlative characteristics. Combined with the multiple regression analysis, the comprehensive impact of these factors on water and soil qualities in the studied mines was determined, from which we found the main factors. **【Result】** The main factors affecting water consumption in the 12 mines were groundwater flow and total water consumption. The logarithm of the nuclear density curves of the two factors did not have noticeable peaks. The nuclear density curve of groundwater flow varied widely, indicating that there was a difference between the 12 coal mines. The longevity of service and the size of the mines were the main factors responsible for soil deterioration, and the peaks of their logarithmic nuclear density curves were close. The steep nuclear density curve for the longevity of service indicated that the size of the coal mines had a significant impact on soil quality. **【Conclusion】** The main factors impacting water and soil qualities in the studied coal mines are groundwater flow, total water consumption, and longevity of service and size of the mines.

**Key words:** damage of water and land resources; scatter fitting method; nuclear density estimation; multiple regression analysis; influence factor

责任编辑:刘春成

---

(上接第100页)

## Groundwater Management in Texas High Plain

HU Yaqiong, LIU Jing, LIAO Lisha

(China Institute of Water Resource and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

**Abstract:** Texas High Plain is a major base for irrigated and dryland crops in USA. The main water source in the area is from the Ogallala Aquifer. However, since the development of irrigated agriculture in 1950, groundwater in the Ogallala Aquifer has been overused with groundwater tables dropped to 50 meters below the ground surface in some regions. To protect groundwater resources and achieve sustainable groundwater application, comprehensive technical and management measures have been taken over the past 15 years to alleviate detrimental impacts caused by groundwater overuse. The main measures taken included introduction of the Texas High Plains Evapotranspiration Network (TXHPET) for irrigation and groundwater management, increasing crop varieties and crop pattern, improving irrigation technologies, protection cultivation and rainfall management, and transforming some irrigated agriculture into rainfed agriculture. In 1958, the total irrigated area was 1 830 000 hm<sup>2</sup>, and peaked at 2 420 000 hm<sup>2</sup> in 1974, followed by a reduction to 1 590 000 hm<sup>2</sup> in 1989 prior to recovering to 1 870 000 hm<sup>2</sup> in 2000 due to large-scale application of sprinkler irrigation. The main irrigation method in 1958 was surface irrigation, with only 11% of sprinkler irrigation area. Since 1974, the irrigated area has been reduced and the central pivot irrigation has been developed quickly. In 2000, about 72% of irrigated area was sprinkler-irrigated. The early sprinkler application was under high pressure, and low pressure sprinkler ushered in after 1980. As the north China plain is similar to the Texas High Plain, the experiences of Texas High Plain area could provide valuable help for groundwater management in north China.

**Key words:** Texas High Plain; groundwater over development; comprehensive management measures; agricultural water-saving measures; water-saving irrigation technology

责任编辑:赵宇龙