

# 煤田火区环境影响综合评价指标体系与评价方法

曹代勇<sup>1</sup>, 时孝磊<sup>2</sup>

(1 中国矿业大学 煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 北京 100083; 2 南京大学 环境学院, 江苏 南京 210093)

**摘要:** 在研究煤田火区对自然-社会经济系统影响的基础上, 提出了煤田火区环境影响综合评价指标体系的构建思路, 建立了煤田火区环境影响评价的一般性指标体系, 包括 5 级 32 个指标。以内蒙古乌达煤田火区为实例, 论述了煤火环境影响综合评价的实施过程。根据煤田火区特征, 在一般指标体系框架内确定了 23 个评价指标, 采用层次分析法与综合指数法相结合, 建立了火区环境影响综合评价公式。评价结果表明, 乌达煤田火区对环境的影响为较严重水平, 与定性分析结果相符。

**关键词:** 煤田火区; 环境评价; 指标体系; 评价方法; 乌达煤田

**中图分类号:** X820.3; X141 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2009)01-0094-06

## Study on the Index System and Method for Comprehensively Assessing the Environmental Impact of Coalfield Fires

CAO Dai-yong<sup>1</sup>, SHI Xiao-lei<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Coal Resources and Mine Safety, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China; 2. School of Environment, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China)

**Abstract** Based on study of the influence of the coalfield fires on the nature-socioeconomic system, the design strategy of the index system for comprehensively assessing the environmental impact of coal fires is brought forward, and the general index system is established which may be divided into 5 grades and 32 indexes. The fires in Wuda coalfield of Inner Mongolia is taken as an example to show the application of comprehensive assessment of environmental impact of coalfield fires. According to the coal-fire characters of Wuda coalfield, 23 indexes for the environmental assessment is selected. Finally, the comprehensive assessment formula is set up in terms of analytic hierarchy method and complex index method. The assessment results indicate that the environmental impact of coal fires in Wuda coalfield is in the rather serious level, which is consistent with that of qualitative analysis.

**Key words:** coalfield fire; environmental assessment; index system; assessment method; Wuda coalfield

## 0 引言

煤层自燃在世界许多国家都有发生, 煤层自燃不但损失了大量的煤炭资源, 而且对生态环境造成严重破坏, 污染物的扩散还使其危害超出了一国的范围, 演变成全球性的灾害<sup>[1-6]</sup>。煤层自燃形成大面积煤田火区对自然-社会经济系统造成的危害, 逐渐引起世界各国的重视, 中国政府也将煤田火区

灾害及其治理列入“中国 21 世纪议程”<sup>[1-2]</sup>。

当前对煤田火区的研究主要集中在自燃机理、自燃条件、火区探测技术以及防灭火技术等方面, 对火区环境效应研究较少, 且多限于定性分析<sup>[1-2, 7-10]</sup>。因此, 建立煤田火区环境影响评价指标体系, 力图从定量角度确定煤田火区对自然-社会经济系统的影响程度, 对于科学评价煤田火区危害和采取合理的防治措施具有重要意义。

收稿日期: 2008-04-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(40572092); 国家高技术研究发展计划项目(2003AA131100-02)

作者简介: 曹代勇(1955-)男, 重庆人, 教授, 博士研究生导师, 从事能源地质教学研究。E-mail: cdy@cumt.edu.cn

# 1 煤田火区环境评价指标体系构建方法

## 1.1 煤田火区环境评价指标体系的构建思路

评价是通过一些归类指标按照一定的规则与方法,对评判对象的某一方面或综合状况做出优劣的评定。评价指标体系则是衡量被评价事物的标准尺度<sup>[11-12]</sup>。指标体系的选取要具有可靠性<sup>[13]</sup>,对于煤田获取环境评价而言,则取决于评价者对煤田火区及周围环境的全面认识和理解程度。由于评价者对于煤田火区环境的构成理解有差异,因此所建立的指标体系也就不完全相同。指标体系不是大量单项指标的简单堆积组合,而是在一定原则基础上综合性指标的有机集合体,具有很强的耦合性和条理性,既要能反映出总体目标的状态,也能够反映单项因素的变化。由于煤层自燃对火区周围的自然生态环境和社会经济都具有重要影响,因此指标体系应涵盖这两个方面的内容。

## 1.2 评价指标体系的构建框架

根据煤田火区特征及其环境评价要求,可以将煤田火区的环境影响评价指标体系按集中度划分为5个层次,分别为目标层、约束层、准则层、指标层和变量层,分别对应着5级指标(表1)。

### 1.2.1 目标层(A层)

一级指标,表征着煤田火区对自然-社会经济系统的影响程度,通过对该级别指标的分析和比较可以评价火区对环境的影响变化趋势。

### 1.2.2 约束层(B层)

二级指标,在一级指标下设立的子目标层(约束层),根据火区对环境的影响因素,将其分为自然环境和社会经济环境影响等两类参数。

### 1.2.3 准则层(C层)

三级指标,是对约束层进行表征的能够代表该部分整体特征和行为的关键信息准则类,具有随时空变化的动态性。准则层共划分了大气环境状况、土壤环境状况、地质地理环境状况、生态环境状况、人类健康状况、环境治理水平、经济环境状况等8类参数。

### 1.2.4 指标层(D层)

四级指标,是在系统内部各具体变量基础上综合而成的综合性指标,能够从本质上反映系统的动态行为变化。

### 1.2.5 变量层(E层)

五级指标,构成四级指标的具体变量数据,代

表了评价指标的具体含义,是建立指标体系时需要实际获取的数据。

## 1.3 指标的筛选

煤田火区环境影响评价既具有一般性环境影响评价的共性,也具有煤层自燃环境效应的特性<sup>[3]</sup>,因此,煤田火区环境影响评价指标的选择应从3个步骤进行。

(1)广泛收集地质环境评价、区域环境质量评价、环境遥感评价等相关研究的评价指标,依据使用频率,建立分层次的指标库,作为煤田火区环境影响评价指标体系的参考样本。

(2)综合国内外对煤层自燃环境影响效应和影响因素的研究成果,从上述指标库中筛选出与煤田火区环境影响关系密切的指标,构成煤田火区环境影响评价指标的初步方案。

(3)以上述方案为基础,分别征求煤层自燃研究、环境评价研究领域的专家意见,并进行实地调查,对指标进行调整,最终确立煤田火区环境影响评价指标体系。

# 2 煤田火区评价指标体系

## 2.1 一般性评价指标体系

煤田火区一般呈块状散布在煤田内,具有燃烧范围广、持续时间长、燃烧阶段各异、控制困难、潜伏性强等特点,对区域地质地理、生态、大气、土壤、水、居民健康和社会经济发展等都具有影响,因此涉及的因素较多。笔者在总结国内外相关研究成果的基础上,按照上述指标体系构建的思路和指标选择的步骤,构建了煤田火区环境影响评价的一般性指标体系(表1)。

## 2.2 指标的量化

每一个评价指标(指标层D层)由若干个变量构成,变量的求取是综合评价的基础性工作,包括变化赋值和归一化处理两个步骤。

### 2.2.1 变量赋值

表1中变量层(E层)的参数可以分为定量参数与定性参数。定量参数以数值化形式表达,如水温、土壤重金属含量等数值数据,待复垦土地面积/火区熄灭或被扑灭后的面积、灭火面积/火区总面积、火区植被覆盖率/对照区植被覆盖率等比值数据、地表粗糙度变化率、地形起伏度变化率动态数据等几类,具有特定数值,可直接采用;定性参数具有描述性特征,如气候条件、地方病发病种类、居

表 1 煤田火区环境影响评价一般性指标体系

Tab 1 General Index System of Environmental Impact Assessment of Coalfield Fire

目标层(A)	约束层(B)	准则层(C)	指标层(D)	变量层(E)	
煤田火区环境影响评价指标体系(A)	自然环境(B <sub>1</sub> )	大气环境状况(C <sub>1</sub> )	大气污染指标(D <sub>1</sub> )	总悬浮颗粒物(TSP)、SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、CO	
			气候条件指标(D <sub>2</sub> )	气候条件指数	
			酸雨指标(D <sub>3</sub> )	酸雨指数(酸雨次数/总降雨次数)	
			温室气体排放指标(D <sub>4</sub> )	煤火温室气体排放量/评价区排放总量	
		水环境状况(C <sub>2</sub> )	地面水污染指标(D <sub>5</sub> )	水温、悬浮物、pH 等 13 个要素	
			地下水污染指标(D <sub>6</sub> )	水温、pH、硝酸盐等 20 个要素	
			水文指标(D <sub>7</sub> )	流量、含沙量、流速 3 个要素的变化率	
		土壤环境状况(C <sub>3</sub> )	土壤污染指标(D <sub>8</sub> )	土壤酸碱度以及重金属含量等 9 个要素	
			土壤理化指标(D <sub>9</sub> )	土壤重度、有机质、土壤温度等 9 个要素的变化率	
		地质地理环境状况(C <sub>4</sub> )	地质灾害指标(D <sub>10</sub> )	地裂缝地面塌陷程度、泥石流发生率、滑坡发生率	
			地形破坏指标(D <sub>11</sub> )	地表粗糙度变化率、地形起伏度变化率	
		生态环境状况(C <sub>5</sub> )	景观破坏指标(D <sub>12</sub> )	火区塌陷(包括裂隙)、灭火施工开挖	
			土地利用类型指标(D <sub>13</sub> )	耕地、林地、建筑用地等土地利用类型的变化	
			生物多样性指标(D <sub>14</sub> )	植物、动物、微生物种类的变化	
			植被覆盖率指标(D <sub>15</sub> )	火区植被覆盖率/ 对照区植被覆盖率	
			土地复垦指标(D <sub>16</sub> )	待复垦土地面积/ 火区熄灭或被扑灭后的面积	
			水土流失指标(D <sub>17</sub> )	土壤水力侵蚀流失量和水土流失总面积变化率	
		人类健康状况(C <sub>6</sub> )	地方病指标(D <sub>18</sub> )	地方病发病种类、地方病发病率	
			精神状态指标(D <sub>19</sub> )	居民对煤层自燃的了解程度、出现焦虑及抑郁等状态的人数占总人口的比例	
			典型疾病发病指标(D <sub>20</sub> )	消化系统疾病、呼吸系统疾病和癌症发病变化率	
			放射性指标(D <sub>21</sub> )	大气、水体、土壤中氡及其子体剂量变化率	
	环境治理水平(C <sub>7</sub> )	火区治理指标(D <sub>22</sub> )	待灭火面积/ 火区总面积		
		地质灾害防治指标(D <sub>23</sub> )	地质灾害防治经费投入、应急救援能力		
		水土流失治理指标(D <sub>24</sub> )	火区水土流失治理投资/ 评价区水土流失治理总投资		
		环境治理投资指标(D <sub>25</sub> )	评价区环境治理投资占 GDP 的比例		
		经济发展水平指标(D <sub>26</sub> )	人均 GDP、财政收入、工业化		
		社会经济环境(B <sub>2</sub> )	经济环境状况(C <sub>8</sub> )	经济效益指标(D <sub>27</sub> )	工业增长率、全员劳动生产率、单位产值能耗
				矿业经济指标(D <sub>28</sub> )	矿业增加值、矿业占工业比例、矿业单位产值能耗
火区治理资金投入指标(D <sub>29</sub> )	灭火工程年投资总额/ 评价区年财政收入				
社会环境状况(C <sub>9</sub> )	人口环境指标(D <sub>30</sub> )		人口数量、健康人口出生率、劳动力比例		
	居民生活水平指标(D <sub>31</sub> )		医疗卫生水平、人均可支配收入、出行方便程度		
社会管理水平指标(D <sub>32</sub> )	管理部门工作效率、安全管理力度				

民对煤层自燃的了解程度、对环境状况的评价、管理部门工作效率等参数,通常需建立相应的分级标准,采用分级赋值方式获取该变量的指数值,实现量化。

2.2.2 归一化处理

上述不同类型的定量数据和定性赋值量化数

据,具有不同的量纲和不同的量级,在进行评价计算之前,必须对数据进行归一化处理,将不同量纲、不同量级的赋值数据归一到[0, 1]区间的无量纲数据。对定量的数据,如果数值在[0, 1]之间,可以直接使用原始数据;如果定量数据不在[0, 1]之间,则采取 5 分制对数据进行分级,所得分值除以 5 进行

归一化。对于定性参数, 则对其分级赋值, 使评价  
值处于[ 0, 1] 之间<sup>[14]</sup>。

例 1: 火区治理指标( $D_{22}$ )可用火区待灭火面积  
( $m^2$ )占火区总面积( $m^2$ )的比值来表征。该变量数  
值在[ 0, 1] 之间, 可直接采用。

例 2: 地下煤层自燃产生的烟气会沿裂隙、塌陷  
口等释放到大气中, 造成污染。大气污染指标( $D_1$ )  
通过对大气中与煤火具有密切关系的变量来评价  
火区对环境影响状况。

$$D_1 = (XY)^{1/2}$$

$$X = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{C_i}{S_i}$$

式中: $Y$  为  $k$  个  $C_i/S_i$  值中的最大值;  $k$  为污染变量  
的个数;  $C_i$ 、 $S_i$  为污染变量  $i$  的年平均浓度和评价  
标准。

该指数超出[ 0, 1] 的范围, 采用 5 分制进行分  
级赋值, 将所得分值除以 5 进行归一化(表 2)。

表 2 大气污染指标( $D_1$ )评分参考

Tab. 2 Classification of Atmosphere Pollution Index ( $D_1$ )					
分级	清洁	轻污染	中污染	重污染	极重污染
$D_1$	< 0.6	0.6~1	1~1.9	1.9~2.8	> 2.8
大气污染指标赋值	1	2	3	4	5
归一化	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0

例 3: 精神状态指标( $D_{19}$ )反映煤田火区对附近  
居民精神状态影响程度, 用居民对自燃的了解程度  
( $K$ )及出现焦虑、害怕及抑郁等状态的人数占评价  
区总人口的比例( $S$ )两个变量来表征。变量赋值见  
表 3, 精神状态指标( $D_{19}$ )计算公式为

$$D_{19} = (K/5 + S/5)/2$$

表 3 精神状态指标( $D_{19}$ )评分参考

Tab. 3 Classification of Mental State Index ( $D_{19}$ )					
计算变量	评分值				
	1	2	3	4	5
居民对自燃的了解程度( $K$ )	少	偏少	中等	偏多	多
出现焦虑及抑郁等状态的人数比例( $S$ )	小	偏小	中等	偏大	大

2.3 评价标准的确定

在进行煤田火区环境影响评价时, 需要有一定的  
评价标准。但由于煤田火区发生的范围广、地域  
性强, 因此采用的评价标准因地制宜, 不是唯一的。  
对于有国家和地方标准的指标应采用正式颁布的  
标准, 如环境空气质量标准、地表水环境质量标准  
等; 没有正式标准的可参照国际上的标准或研究成  
果。社会经济类指标, 有些可根据国家或地方经济

发展规划和有关规定确定, 有些定性指标的标准则  
要经专家综合研究确定<sup>[15-19]</sup>。

2.4 指标权重计算

指标权重计算, 指环境质量评价中因子的权  
重, 是指某个因子在所有评价因子中占有的比重,  
反映了不同指标相对重要性或贡献率的大小, 是一  
个定量化指标。常用的确定权重的方法有回归分  
析法、德尔斐(Delphi)法、灰色关联法、模糊综合评  
判法、层次分析法、变异系数法和熵域赋权法等  
多种确定权重的方法<sup>[17]</sup>。在具体运用时, 可根据指标  
的获得情况选用合适的方法。

2.5 评价方法的选择

目前环境质量综合评价的方法很多, 常用的有  
专家评价法、核查表法、矩阵法、网络法、综合指数  
法等, 随着对环境问题研究的深入, 层次分析决策、  
模糊集理论、灰色系统理论、物元可拓集、集对分  
析、粗集理论、投影寻踪技术、人工神经网络、遗传  
算法等新理论和新技术在环境质量综合评价中也  
取得了越来越广泛的应用<sup>[15]</sup>。其中, 层次分析决策  
方法是把复杂的问题分解为各个组成因素, 将这些  
因素按支配关系分组形成有序的递阶层次结构, 通  
过两两比较方式确定层次中诸因素的相对重要性,  
然后综合人们的判断以决定诸因素相对重要性总  
的排序, 从而进行评价、选择和计算决策等活动, 对  
于决策中的定性和定量因素也能够统一处理, 因此  
被广泛应用于许多领域。综合指数法在环境评价  
中常常用来代表环境质量的好坏, 并且能够兼顾单  
因子指数评价。

笔者将层次分析法和综合指数法结合开展火  
区环境影响综合评价, 即采用层次分析方法确定指  
标权重, 综合指数法计算综合评价指数, 最后根据  
分级评价标准确定环境影响等级。

3 实例研究

3.1 试验区选择

乌达矿区位于内蒙古自治区西部乌海市的乌兰  
布和沙漠南缘, 总面积约 35  $km^2$ 。神华集团乌达矿  
业有限责任公司始建于 1958 年, 现有五虎山、苏海  
图、黄白茨 3 个煤矿, 核定年生产能力为 410×10<sup>4</sup> t,  
是内蒙古自治区重要的焦煤生产基地。1961 年在苏  
海图井田内首次发现 9<sup>#</sup>、10<sup>#</sup> 煤层自燃, 20 世纪  
70~90 年代初, 由于大批小煤窑开采, 造成 1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>、  
4<sup>#</sup>、6<sup>#</sup>、7<sup>#</sup>、9<sup>#</sup>、10<sup>#</sup>、12<sup>#</sup> 等煤层接连发生自燃。据

2002 年火区详勘报告证实, 乌达煤田已形成大小火区 16 个, 总面积达到  $307.6 \times 10^4 \text{ m}^2$ <sup>[18-19]</sup>。

煤层自燃不仅烧毁大量煤炭资源, 危及矿井安全生产, 而且严重地破坏国土资源, 引发一系列生态环境问题, 对社会经济发展和人民身体健康带来极大的危害。煤层自燃产生大量燃烧裂隙和塌陷裂隙, 地表遭到严重破坏侵蚀; 浅部煤层燃烧高温形成大片烧变土壤, 造成土壤严重污染、生物多样性降低并加速沙化进程; 地表裂隙析出大量的煤焦油、芒硝、硫磺等有害气体形成雾团长期笼罩在矿区上空及乌海市, 酸雨连年上升, 严重破坏了区域的自然生态环境及生活环境<sup>[3, 18]</sup>。

### 3.2 评价指标的选择

依据国家自然科学基金和“863”项目的研究成果以及多年来乌达煤田开展的火区调查工作, 在表 1 所列煤田火区环境影响评价指标体系框架内, 针对乌达煤田火区的具体特征, 并考虑指标变量的可获得性, 选取 23 个指标, 构成乌达煤田火区环境影响评价指标体系。通过资料整理和实地考察获取的原始资料, 根据以上计算方法, 对定量参数和定性参数分别进行计算和赋值, 并经归一化处理, 得到各指标的指数值(表 4)。

表 5 乌达煤田火区评价指标权重向量总排序

Tab. 5 Sequence of Weighted Vector of Assessment Index of Coalfield Fire in Wuda Coalfield

指标 $D_i$	$D_{20}$	$D_{22}$	$D_{26}$	$D_{30}$	$D_1$	$D_{18}$	$D_{28}$	$D_{25}$	$D_{14}$	$D_{10}$	$D_{27}$	$D_3$
权重 $W_i$	0.197 6	0.139 7	0.127 5	0.078 3	0.063 0	0.056 5	0.053 1	0.034 9	0.033 2	0.029 2	0.029 1	0.026 5
指标 $D_i$	$D_{31}$	$D_{19}$	$D_9$	$D_{12}$	$D_{29}$	$D_{11}$	$D_{32}$	$D_2$	$D_8$	$D_{15}$	$D_{16}$	
权重 $W_i$	0.023 4	0.021 6	0.015 5	0.014 2	0.012 5	0.009 7	0.009 3	0.008 3	0.007 7	0.006 1	0.002 9	

### 3.4 综合评价

采用综合指数法计算综合评价指数  $I$ , 其计算公式为

$$I = \sum_{i=1}^n D_i W_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

式中:  $D_i$  为第  $i$  个指标的归一化指数值;  $W_i$  为第  $i$  个指标的权重;  $n$  为评价指标数量。

综合评价指数  $I$  用于表征煤田火区对环境的影响程度, 其数值介于 0~1 之间, 数值越大, 反映煤火对环境的影响越大。作为一种方法探讨, 笔者将综合评价指数简单地等分为 5 级(表 6)。

分别将表 4 的  $D_i$  和表 5 的  $W_i$  代入上式, 计算求得环境影响综合指数  $I$  为 0.646。与火区环境影响评价分级标准比较(表 6), 乌达煤田火区对环境的影响为较严重水平, 这一定量评价结果与定性分

表 4 乌达煤田火区评价指标指数值

Tab. 4 Value of Assessment Index of Coalfield Fire in Wuda Coalfield

评价指标	指数值	评价指标	指数值
大气污染指标( $D_1$ )	1.00	地方病指标( $D_{18}$ )	0.73
气候条件指标( $D_2$ )	1.00	精神状态指标( $D_{19}$ )	0.40
酸雨指标( $D_3$ )	0.60	典型性疾病指标( $D_{20}$ )	0.60
土壤污染指标( $D_8$ )	0.60	火区治理指标( $D_{22}$ )	0.674
土壤理化指标( $D_9$ )	0.60	环境治理投资指标( $D_{25}$ )	0.60
地质灾害指标( $D_{10}$ )	0.467	经济发展水平指标( $D_{26}$ )	0.60
地形破坏指标( $D_{11}$ )	0.70	经济效益指标( $D_{27}$ )	0.67
景观破坏指标( $D_{12}$ )	0.09	矿业经济指标( $D_{28}$ )	0.68
生物多样性指标( $D_{14}$ )	0.80	火区治理资金指标( $D_{29}$ )	0.80
植被覆盖率指标( $D_{15}$ )	0.80	人口环境指标( $D_{30}$ )	0.587
土地复垦指标( $D_{16}$ )	1.00	居民生活水平指标( $D_{31}$ )	0.467
		社会管理水平指标( $D_{32}$ )	0.667

### 3.3 确定权重

选用层次分析法(AHP)建立相应的结构层次模型, 1~9 比较标度法构造判断矩阵, 通过求解特征值和特征向量, 获得影响因素权重向量总排序, 即各指标权重(表 5)。一致性检验:  $CI=0.025\ 9$ ,  $RI=0.886\ 2$ ,  $CR=CI/RI=0.029\ 2<0.1$ , 表明判断矩阵符合一致性检验条件<sup>[20]</sup>。

表 6 煤田火区环境影响分级

Tab. 6 Classification of Environmental Impact of Coalfield Fire

综合指数	分级				
	轻微	中等	明显	较严重	严重
$I$	< 0.2	0.2~0.4	0.4~0.6	0.6~0.8	> 0.8

析结论相吻合。

## 4 结语

笔者主要基于内蒙乌达煤田的研究试验, 构建火区环境影响综合评价指标体系, 力图为科学评价煤田火区危害提供定量依据。由于煤田火区环境影响综合评价的复杂性以及缺乏可借鉴的研究成果, 这里只是一次初步探讨, 在以下几方面还需要进一步深入研究:

(1)煤田火区环境影响因子的识别和指标体系的完善,进一步研究煤田火区带来的环境效应,分析煤田火区对环境因子影响的主要方面,筛选出代表性指标,修正指标体系。

(2)评价分级的进一步研究,综合指数级别是衡量环境影响大小的尺度,需要开展更多的实例研究,通过综合指数值与定性评价结论的对比分析,科学地确定以综合指数值代表的评价等级。

(3)评价方法的选择,加强多种定性、定量评价方法在火区环境综合评价中的应用和比较,优选出合适地评价方法。

#### 参考文献:

- [1] 管海晏,冯·亨特伦,谭永杰,等.中国北方煤田自燃环境调查与研究[M].北京:煤炭工业出版社,1998.
- [2] 张建民,宁书年,曹燕.中国北方地区煤层自燃环境影响及治理对策研究[J].中国减灾,1998,8(1):34-38.
- [3] 曹代勇,时孝磊,樊新杰,等.煤田火区环境效应分析[J].中国矿业,2007,16(7):40-42.
- [4] Kim A G. Greenhouse Gases Generated in Underground Coal-mine Fires[C] //Stracher G B. Geology of Coal Fires: Case Studies from Around the World. Boulder: The Geological Society of America, 2007: 1-14.
- [5] Skacher G B Taylor T P. Coal Fires Burning Out of Control Around the World: Thermodynamic Recipe for Environmental Catastrophe[J]. Int J of Coal Geol, 2004, 59(1/2): 7-17.
- [6] Finkelman R B. Potential Health Impacts of Burning Coal Beds and Waste Bank[M]. Int J of Coal Geol, 2004, 59(1/2): 19-24.
- [7] 胡社荣,蒋大成,李泽光,等.煤田煤矿区火灾与环境效应及其防治对策[J].地质灾害与环境保护,2001,12(1):21-23.
- [8] 齐德香.新疆煤田火灾的危害及其防治[J].中国煤炭,2005,31(6):34-36.
- [9] 曹代勇,樊新杰,时孝磊,等.乌达煤田煤层自燃内因分析与自燃类型划分[J].煤炭学报,2005,30(3):288-292.
- [10] 熊盛青,陈斌,于长春,等.地下煤层自燃遥感与地球物理探测技术[M].北京:地质出版社,2006.
- [11] 洪增林,薛惠锋.城市土地集约利用潜力评价指标体系[J].地球科学与环境学报,2006,28(1):106-110.
- [12] 王宗仁,武子远,段彩环,等.特尔斐模糊综合比较法评价生态环境质量变化[J].城市环境与城市生态,2001,14(3):47-49.
- [13] 李爱军,朱翔,赵碧云,等.生态环境动态监测与评价指标体系探讨[J].中国环境监测,2004,20(4):35-38.
- [14] 胡明安.鄂东南大型矿业基地资源开发的环境影响评价指标及生态重建示范工程调研[M].武汉:中国地质大学出版社,2004.
- [15] 金腊华,邓家泉,吴小明.环境评价方法与实践[M].北京:化学工业出版社,2005.
- [16] 唐勇,刘妍,刘娜.光雾山国家地质公园地质环境敏感度评价[J].地球科学与环境学报,2008,30(1):97-100.
- [17] 陈玉成,李章平,曹秋华.环境质量评价中的赋权技术[J].重庆环境科学,1997,19(2):43-47.
- [18] 雷学武,万余庆,李宝春.乌达矿区煤层自燃现状及成因初析[J].中国煤田地质,1999,11(4):19-20.
- [19] Cao D Y, Fan X J, Guan H Y, et al. Geological Models of Spontaneous Combustion in the Wuda Coalfield, Inner Mongolia, China[C] //Stracher G B. Geology of Coal Fires: Case Studies from Around the World. Boulder: The Geological Society of America, 2007: 23-30.
- [20] 王莲芬,许树柏.层次分析法引论[M].北京:中国人民大学出版社,1990.

## 欢迎订阅 2009 年《地球科学与环境学报》

《地球科学与环境学报》(1979 年创刊,刊名先后为《西安地质学院学报》、《西安工程学院学报》、《长安大学学报(地球科学版)》)是教育部主管、长安大学主办的地学综合类学术期刊,系中国科技核心期刊,其先后被美国《化学文摘》、美国《地质学题录与索引》、美国《剑桥科学文摘:自然科学》、美国《石油文摘》、美国《乌利希国际期刊指南》、俄罗斯《文摘杂志》、《中国核心期刊(遴选)数据库》、《中国科学引文数据库》、《中国地质文摘》、《中国石油文摘》等国内外十余家著名权威文摘或数据库固定收录。

本刊刊登内容主要有基础地质与矿产地质、水文地质与工程地质、环境地质与生态地质、地球物理、地球信息科学等,重点报道地学前缘及交叉学科的高水平科技成果,突出西部大开发中资源勘查、干旱与半干旱地区地质与生态环境保护以及国家重要基础工程建设中重大地质科技问题。

在此,热诚欢迎广大地学科技工作者为本刊撰写论文,对高质量特别是国家各种基金项目或重大科技攻关项目产出的论文将优先发表。

《地球科学与环境学报》为季刊,每季末月出版,112 页,每册定价 8 元,邮发代号 52-280,国外代号 Q4115,邮局漏订者亦可直接同本刊编辑部联系。

本刊地址:西安市南二环路中段长安大学杂志社;邮政编码:710064;电话:(029)82334686;E-mail:dkyhxb@chd.edu.cn