

专论与综述

粉煤灰资源化利用发展战略的研究

左 文 生

(镇江市交通局规划设计室, 212002)

叶 连 生

(东南大学土木工程系, 南京 210018)

摘要 运用系统工程原理和运筹学的分析方法, 对南京地区粉煤灰资源化利用的发展战略、制约因素及政策措施进行了分析, 提出了一些方案措施, 为南京市规划、管理和制定用灰政策提供了必要的科学依据。

关键词 粉煤灰, 战略, 层次分析。

一、概 述

根据南京市自然、经济和社会条件的特点, 在本世纪末, 南京地区粉煤灰资源化利用的发展战略目标初步定为: ① 彻底解决燃煤电厂产生的粉煤灰侵占土地、污染水域的严重问题; ② 积极开展综合利用和资源化利用, 利用率要高于全国平均水平。

为此, 要从南京市综合利用粉煤灰的现状出发, 综合考虑各种因素, 提出多种开发战略, 逐步调整各部门的结构使之合理化、协同化, 为实现上述战略目标打下基础。然而, 由于南京市土石资源相对丰富, 主管部门(市综合利用粉煤灰办公室)的自主财力有限, 另有运输能力和运输半径的限制与战略目标之间产生矛盾, 将对粉煤灰的资源化利用产生不利的影响, 对各种开发战略产生制约。因此, 有必要认真研究开发战略, 针对一些关键的制约因素, 提供一些切实可行的政策和措施, 促使发展战略得以实施。

现采用多层次权重分析决策方法, 把这个战略问题分为: 战略目标、发展战略、制约因素和政策措施四个层次, 通过分析它们之间的联系和影响, 计算出开发战略、制约因素、政策措施的各子因素相应的权重。从中可以得出哪些因素对于总目标起着较大的作用, 为决策者提供在开展综合利用时, 应首先采用哪些政策措

施以克服各种制约因素的科学依据。

二、战略目标及开发战略

1. 战略目标 (O) 逐步实现由“以储为主”向“以用为主”转化, 开展资源化利用, 促进粉煤灰渣商品化。

2. 开发战略 (S)

S₁: 开展粉煤灰“优生化”。如果在粉煤煅烧时就调整其颗粒尺寸和矿物组分, 添加必要的掺合料, 那么在粉煤灰孕育之前就已经“优生优育”, 就可真正做到资源化。

S₂: 应用于建材工业。

S₃: 应用于建筑工程。

S₄: 应用于交通筑路、筑坝。

S₅: 应用于农业改良土壤和肥料。

S₆: 轻工、化工方面应用。

S₇: 冶金、机械等行业中应用。

S₈: 回填。

三、制约因素 (C)

C₁: 认识不足, 领导重视不够。

C₂: 电力需求增加, 导致粉煤灰猛增。

C₃: 丰富的黄土山石资源。

C₄: 用灰单位技术力量薄, 设计部门疏于粉煤灰的应用。

C₅: 科技发展资金短缺。

C₆: 电厂粉煤灰排放标准不统一, 质量不稳定。

C₇: 用灰单位缺乏经济效益。

C₈: 已有的政策不落实、不完善。

C₉: 用灰单位附加设备和二次污染, 施工环境恶劣。

C₁₀: 包括运输半径和运输能力在内的运输的制约。

C₁₁: 管理渠道不畅, 管理机构缺乏应有的权威和影响力。

C₁₂: 近期的基建压缩。

四、政策措施 (P)

P₁: 提高对粉煤灰资源化利用重要性的认识, 进行广泛的宣传教育。

P₂: 电厂尽量少烧煤、烧好煤。

P₃: 加强横向联系, 提高技术力量。

P₄: 设计部门紧密配合, 为粉煤灰开拓市场。

P₅: 疏通管理渠道, 市综合利用粉煤灰办公室应是全市粉煤灰的归口管理部门。

P₆: 统一粉煤灰排放标准, 稳定粉煤灰质量是促进灰渣资源商品化的关键所在。

P₇: 进一步落实和完善用灰政策。

P₈: 建立专业化公司, 包括运输公司、二灰(石灰和粉煤灰)拌合站及商品粉煤灰生产基地的建立, 实行统一的承包责任制。

P₉: 在技术上、决策上建立粉煤灰资源化利用所需的科研咨询机构, 组织信息交流和重大的软课题研究, 为领导部门提供决策依据。

五、应用多层次权重分析决策方法对开发战略的决策分析

(一) AHP 法原理^[2]

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, 简称 AHP 法) 是一种定性分析与定量分析相结合的多目标决策方法, 特别是将决策者的经验判断给以量化, 对目标(因素)结构复杂且缺乏必要的情况下更为实用。

设有 n 件物体 $A_1, A_2, \dots, A_n$; 它们的重量分别为 $w_1, w_2, \dots, w_n$ 。若将它们两两地比较重量, 其比值可构成 $n \times n$ 矩阵 A 。

$$A = \begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \cdots & w_2/w_n \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdots & w_n/w_n \end{pmatrix}$$

若用重量向量 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 右乘 A 矩阵, 得到

$$AW = \begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \cdots & w_2/w_n \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdots & w_n/w_n \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} = n \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} = nW$$

即: $(A - nI)W = 0$

由矩阵理论可知, W 为特征向量, n 为特征值。若 W 为未知时, 则可根据决策者对物体之间两两相比的关系, 主观地作出比值的判断, 使矩阵 A 为已知, 故判断矩阵记作 $\bar{A}$ 。

因为人们对复杂事物的各因素采用两两比较时, 不可能做到判断的完全一致性, 而存在估计误差。为了避免误差太大, 所以要衡量矩阵 $\bar{A}$ 的一致性。当 $\bar{A}$ 矩阵完全一致时, 该矩阵具有唯一非零的最大特征值 $\lambda_{\max}$, 且 $\lambda_{\max} = n$ 。而当矩阵 $\bar{A}$ 在判别不一致时, 一般是 $\lambda_{\max} > n$, 定义以 $C.I$ 作为检验 $\bar{A}$ 一致性指标, 这时,

$$C.I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i - n}{n - 1}$$

当 $\lambda_{\max} = n$, $C.I = 0$, 为完全一致; $C.I$ 值越大, $\bar{A}$ 的完全一致性越差。一般只要 $C.I \leq 0.1$, 认为一致性可以接受, 否则重新进行两两比较判断。

判断矩阵的维数 n 越大, 一致性将越差, 故应放宽对高维判断矩阵一致性的要求。于是引入修正值 $R.I$ 见表 1, 并取更为合理的 $C.R$ 为衡量 $\bar{A}$ 一致性的指标。

$$C.R = \frac{C.I}{R.I}$$

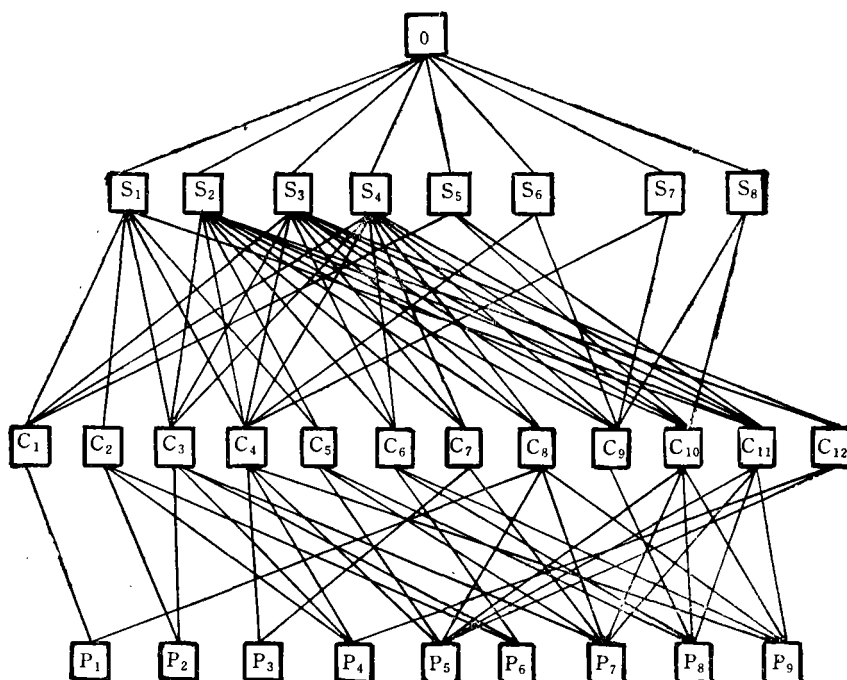


图 1 发展战略分析递阶层次结构

表 1 判断矩阵一致性的修正值

维 数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$R.I$	0.00	0.00	0.58	0.96	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

$$B_{ij} = \begin{cases} 2, & \text{第 } i \text{ 元素比第 } j \text{ 元素重要;} \\ 1, & \text{第 } i \text{ 元素与第 } j \text{ 元素同等重要;} \\ 0, & \text{第 } i \text{ 元素没有第 } j \text{ 元素重要.} \end{cases}$$

且有 $B_{ii} = 1$, 即元素自身比较重要性相同。

2. 计算重要性排序指数 r_i

$$r_i = \sum_{j=1}^n B_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

$$\text{取 } r_{\max} = \max_i \{r_i\}, r_{\min} = \min_i \{r_i\}$$

3. 求判断矩阵的元素

$$a_{ij} = \begin{cases} \frac{r_i - r_j}{r_{\max} - r_{\min}} (d_m - 1) + 1, & r_i \geq r_j \\ 1, & r_{\max} = r_{\min} \\ \left[\frac{r_i - r_j}{r_{\max} - r_{\min}} (d_m - 1) + 1 \right]^{-1}, & r_i < r_j \end{cases}$$

(1)

其中, 取 $d_m = r_{\max}/r_{\min}$ 。

(三) 计算步骤

根据一至五的分析, 可得出南京市粉煤灰资源化利用的开发战略分析递阶层次结构图 (图 1)。

运用多层次权重分析决策方法, 在计算机

(二) 判断矩阵的构造方法^[3]

层次分析法的关键步骤是构造判断矩阵。文献[2]给出了一种构造判断矩阵的直接方法, 即九标度判断, 但人们很难确切给出判断。文献[3]提供了一种间接给出法, 引用三标度判断。即当由甲乙两元素比较时, 若甲比乙重要, 则用 2 表示; 若甲与乙同等重要, 则用 1 表示; 若甲没有乙重要, 则用 0 表示。现列出判断矩阵的间接构造步骤如下:

1. 对于同一层次的 n 种元素, 相对于上一层层次中某一元素, 决策者通过元素的两两比较重要性, 用三标度法可得比较矩阵 B :

$$B = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & \cdots & B_{1n} \\ B_{21} & B_{22} & \cdots & B_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{n1} & B_{n2} & \cdots & B_{nn} \end{bmatrix}$$

其中,

表 2 开发战略和制约因素的权重

开发战略 制约因素	S_1 0.216	S_2 0.162	S_3 0.135	S_4 0.189	S_5 0.081	S_6 0.081	S_7 0.027	S_8 0.108	组 合 权 重
C_1	0.333		0.118	0.146	0.500				0.156
C_2	0.048								0.010
C_3	0.095	0.049	0.039	0.073					0.048
C_4		0.146	0.157	0.122		0.750	0.750		0.149
C_5	0.238	0.122							0.071
C_6	0.238	0.073	0.098	0.073					0.090
C_7		0.220	0.098	0.049					0.058
C_8		0.071	0.176	0.146					0.080
C_9		0.024	0.078	0.098		0.250	0.250	0.200	0.082
C_{10}		0.049	0.118	0.171	0.357			0.800	0.172
C_{11}		0.122	0.098	0.122	0.143				0.068
C_{12}	0.048	0.024	0.020						0.007

表 3 制约因素和政策措施的权重

制约因素 政策 措施	C_1 0.156	C_2 0.010	C_3 0.048	C_4 0.149	C_5 0.071	C_6 0.090	C_7 0.058	C_8 0.080	C_9 0.082	C_{10} 0.172	C_{11} 0.668	C_{12} 0.007	组 合 权 重
P_1	1.000							0.389					0.187
P_2		0.429	0.056										0.007
P_3				0.083			0.167						0.022
P_4		0.429	0.278	0.250									0.060
P_5				0.250	0.429		0.833	0.167		0.368	0.250	0.250	0.211
P_6		0.143	0.278			0.077							0.022
P_7			0.389		0.429			0.167		0.263	0.250		0.125
P_8						0.538			1.000	0.158	0.050		0.161
P_9				0.417	0.143	0.385		0.278		0.211	0.450		0.196

上对开发战略、制约因素以及政策措施进行了权重分析计算,其计算进程如下:

1. 根据 8 个开发战略 ($S_1, \dots, S_8$) 对发展南京市粉煤灰资源化利用总目标的重要程度,通过判断比较,得出比较矩阵为:

E	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	r
S_1	1	2	2	2	2	2	2	2	15
S_2	0	1	2	0	2	2	2	2	11
S_3	0	0	1	0	2	2	2	2	9
S_4	0	2	2	1	2	2	2	2	13
S_5	0	0	0	0	1	1	2	0	4
S_6	0	0	0	0	1	1	2	0	4
S_7	0	0	0	0	0	0	1	0	1
S_8	0	0	0	0	2	2	2	1	7

在这里 $r_{\max} = 15, r_{\min} = 1$, 取 $d_m = 15/1 =$

15, 利用变换式(1),得判断矩阵为:

E	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	权重
S_1	1	5	7	3	12	12	15	9	0.216
S_2	$\frac{1}{5}$	1	3	$\frac{1}{3}$	8	8	11	5	0.162
S_3	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{3}$	1	$\frac{1}{5}$	6	6	9	3	0.135
S_4	$\frac{1}{3}$	3	5	1	10	10	13	7	0.189
S_5	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{10}$	1	1	4	$\frac{1}{4}$	0.081
S_6	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{10}$	1	1	4	$\frac{1}{4}$	0.081
S_7	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{11}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{13}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	1	$\frac{1}{7}$	0.027

$$S_0 \frac{1}{9} \frac{1}{5} \frac{1}{3} \frac{1}{7} \frac{4}{4} \frac{4}{7} \frac{1}{1} 0.108$$

$\lambda_{\max} = 8.233$, $C.I = 0.033$, $C.R = 0.023 < 0.10$, 合格。从而计算又得出它们的相对权重。

2. 对于每个开发战略, 分别比较它们相应制约因素的重要程度, 得出比较矩阵, 变换为判断矩阵, 计算出制约因素相对于每个开发战略的权重, 用开发战略的相对权重对于制约因素的相应权重加权后相加, 得出制约因素的组合权重, 从中可以看出哪些制约因素最为严重。

3. 最后对每个制约因素, 分别比较它们相应的解决措施的重要程度, 得出比较矩阵, 再变换为判断矩阵, 计算出政策措施相对于每个制约因素的权重。用制约因素的组合权重对政策措施的相应权重加权后相加, 得出政策措施的组合权重, 从中就可得出哪些政策措施为当务之急, 首先必须实施的结论。

计算中的比较矩阵和判断矩阵从略, 表 2 和表 3 列出了主要计算结果。

六、计算结果分析

从表 2 和表 3 可以看出:

1. 从开发战略上看, 开展粉煤灰“优生化”的权重最大, 其权重为 0.216, 其次是开展交通筑路、筑坝, 建材工业, 建筑工程方面的应用和回填, 其权重依次为 (0.189, 0.162, 0.135, 0.108);

2. 从制约因素上看, 运输问题, 领导认识和重视程度, 吃灰技术力量和设计部门疏于运用及电厂排灰质量不稳定的制约最为严重, 它们的权重分别为 (0.172, 0.156, 0.149, 0.090);

3. 从政策措施看, 疏通管理渠道, 建立咨询机构, 广泛宣传以提高重视程度, 建立专业化公司及进一步落实、完善已有政策为当务之急, 它们的权重为 (0.211, 0.196, 0.187, 0.161, 0.125)。

七、结 论

1. 在规划南京市粉煤灰资源化利用时, 必须以开展“优生化”作为起点, 使电厂生产的粉煤灰质量可靠, 从而带动粉煤灰在交通筑路、建材、建工方面的大宗利用。

2. 但是必须看到, 开展粉煤灰资源化利用必然受到客观条件和主观因素的影响, 特别是运输问题难以解决, 经济合理运输半径小, 加之“吃灰”技术力量薄弱更是制约了南京地区粉煤灰资源化利用的开展。

3. 要解决和克服这些制约因素, 决策者必须采用相应的政策措施, 应该疏通管理渠道, 市综合利用粉煤灰办公室应是粉煤灰综合利用的归口管理部门, 必须建立政策研究和技术开发的科研咨询机构; 进行广泛宣传, 提高认识和重视程度; 进一步落实和完善已有的政策, 鼓励创建专业化公司, 逐渐使行政命令转为经济法规, 运用经济杠杆促进粉煤灰商品化。

这样才能使开发战略的实施切实有保证, 使战略目标能够顺利实现。

参 考 文 献

- 1 汪应洛. 系统工程. 北京: 机械工业出版社, 1986: 182—187
- 2 钱颂迪. 运筹学. 第二版. 北京: 清华大学出版社, 1990: 461—466
- 3 卢宗华. 系统工程. 1990, 8(1): 43

(上接第 49 页)

水, 得 20% 的浓缩酸, 为萃取-精馏操作提供条件, 使从含低浓度乙酸的糠醛废水中回收乙酸的工艺技术得以实现。

3. 采用电渗析-萃取-精馏工艺综合治理糠醛废水回收乙酸, 经济、社会、环境效益显著。

参 考 文 献

- 1 单逢源等. 农产物有机化工. 济南: 山东出版社, 1979 年: 121
- 2 Eaglesfield P et al. *Ind. Chemist.* 1953, 29(4): 273
- 3 Brown W V. *Chem. Eng. Progr.*, 1963, 59(10): 65
- 4 Othmer D F. *Chem. Eng. Progr.*, 1958, 54(7): 48
- 5 周广俊等. 太原工业大学学报. 1986, (1): 79

Abstracts

Chinese Journal of Environmental Science

Environmental Engineering East China University of Chemical Technology, Shanghai 200237): *Chin. J. Environ. Sci.*, 1992, 13(5), pp. 50—52

This paper describes the study on the effects of sulfate ion on the anaerobic biological treatment of wastewater under controlled or uncontrolled sulfide concentrations. A continuously operated upflow anaerobic sludge bed (UASB) experimental reactor was used. It was found that sulfate ion itself is non toxic to anaerobic biological process. However, sulfate could be reduced to hydrogen sulfide which is toxic to the bacteria. When ferrous ion was used to control the concentration of hydrogen sulfide, sulfate did not exert any harmful effect on the removal efficiency of organic matter from the waste water and the gas producing rate, but it caused the gradual decrease of CH_4 content in the produced gas and methane yield and the increase of the yield of carbon dioxide as increasing the concentration of sulfate ion.

Key words: sulfate, anaerobic biological treatment, methane, wastewater.

A Study on the Strategy of the Utilization of Coal Fly-Ash Resources in Nanjing Area. Zuo Wensheng (Communication Planning and Designing Office of Zhenjiang, Nanjing 210003). Ye Liansheng (Department of civil Engineering, South-East University, Nanjing): *Chin. J. Environ. Sci.*, 1992, 13(5), pp.53—57

This paper analyses the strategy, restrictive factors and policies of the utilization of coal fly-ash resources in Nanjing area by using systems engineering and decision-analysis method of operation research. A series of measures was put forward. This may lay a scientific foundation for the municipality of Nanjing to formulate the policy in the management of coal fly-ash in this area.

Key words: coal fly-ash strategy, hierarchical analysis.

Changes of Ecological Environment in the Shiyanghe River Basin and Measures Proposed for Rational Utilization of Water Resources. Hou Yinwei, Li Shengcai, Wang Changming, Zheng Yi (Changchun college of Geology Science): *Chin. J. Environ. Sci.*, 13(5) 1992, pp. 58—66

The authors present a new viewpoint that deterioration of ecological environment in the arid region the Shiyanghe River basin of northwest China, has originated from three causes: (1) people put undue emphasis on surface water controlling, and neglected the regulative function of natural ground water reservoir; (2) water for farmland use was stressed but water for oasis use was neglected; (3) the backward way of irrigation leads so far to serious waste of water resources. In order to solve the problem, a proposed multi-goal decision-making model has been built for managing rational use of water resources in the Shiyanghe River basin. In this model, as the basin is divided into 16 sub-districts, the quantity of water for both oasis-farmland ecosystem and vegetation ecosystem necessities is considered as a main variable, and integrates with economic development, the investment of water

resource development, amelioration of ecological environment etc 9 goals to be regarded. The result of the model operation shows that deterioration of ecological environment in the basin will be in effective control.

Key Words: the Shiyanghe River basin, management of water resources, arid area, decision-making model

Sulfur Dioxide Removal from Flue Gas by Means of Active Carbon Catalysis—Dynamic Adsorption of SO_2 on Catalyst. Zhao Xiusong et al.(Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Dalian 116023): *Chin. J. Environ. Sci.*, 1992, 13(5), pp. 67—70

Influence of the main component (O_2 and water steam) in flue gas on the amount of adsorption and the dynamics of adsorption of SO_2 on active carbon catalysts were studied by flow method. It was found that when the content of O_2 is about 5% (V%) and the content of water steam is about 8%, adsorption amount of SO_2 on the catalyst reached the maximum value. Adsorption dynamics of SO_2 almost exactly fit the law of Elovich. The apparent adsorption activation energy (E_a), Elovich parameters and the relation between adsorption activation energy and temperature were hence obtained.

Key words: active carbon, flue gas, SO_2 adsorption activation energy.

A Study on the Adsorbability of a New Separation Adsorbent for Heavy Metallic Ions. Zhu Guoyi, Zhou Yanxiu, Wang Bingwu(Changchun Institute of Applied Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Changchun, 130022): *Chin. J. Environ. Sci.*, 1992, 13(5), pp. 70—73

The adsorbability of a new separation adsorbent containing sulfhydryl-activated carbon compounds for heavy metallic ions was studied. Experimental results indicate that in static state the equilibrium time for the adsorption is 1 hour for Cd^{2+} and Zn^{2+} and 1.5 hours for Pb^{2+} and Cu^{2+} . The sequence of adsorption velocity is $\text{Pb}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Cd}^{2+}$. When $[\text{Mg}^{2+}] < 200\text{mg/L}$, $[\text{Ca}^{2+}] < 400\text{mg/L}$ and $[\text{K}^+] < 350\text{mg/L}$, the three kinds of ions do not interfere with the adsorption of Cu^{2+} . In dynamic state, the adsorbent could adsorb Hg^{2+} and Cu^{2+} ions completely under the following conditions: the amount of the adsorbent was 0.1g for Hg^{2+} or 0.15g for Cu^{2+} , pH was 0.3—8 for Hg^{2+} or 3—8 for Cu^{2+} and the velocity of flow $< 7\text{mL/min}$ for Hg^{2+} or $< 10\text{mL/min}$ for Cu^{2+} . In addition the saturated capacity of adsorption of the new separation adsorbent is about 3—20 times higher than that of sulfhydryl cotton fiber. The adsorbent has high adsorbability and good stability.

Key words: adsorption, heavy metallic ions, new separation adsorbent.

Clean-up of Soil Sample by GEL Permeation Chromatography. Sun Sien, Liu Xiufen (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Academia Sinica, Beijing 100085): *Chin. J. Environ. Sci.*, 1992, 13(5), pp. 74—78