



环境-经济系统的多目标优化

刘幼慈 应龙根

(华东师范大学地理系 上海)

摘要 目标规划作为一种多目标优化技术,已得到日益广泛的应用。本文试以上海桃浦化学工业区为例,设计了分别削减污染物排放量的 5%、10% 和完全达标排放三种方案,建立该工业区环境-经济系统的目标规划模型,并借助电子计算机进行系统的多目标优化模拟。优化结果提供了行业结构合理调整的具体途径,较好地协调了系统的环境、经济两大主要因素,改善了现今工业区环境-经济系统的无序化,使系统具有整体功能和综合作用。优化方案不仅使污染物排放量得到有效控制和较大削减,且工业产值又有一定幅度的增长,环境、经济效益明显。

本文试以上海桃浦工业区为例,应用定量的系统分析方法,建立该工业区环境-经济系统的目标规划模型,借助电子计算机进行系统的多目标优化模拟,力求达到系统的协调和有序,完善系统功能,以取得环境、经济整体上的最佳效益。

一、目标规划模型

线性规划是运筹学中发展比较成熟的一个分支。但是,由于线性规划的优化目标只能是单一的(在一组约束条件下,求某一个目标的极大或最小值),因此有它很大的局限性。目标规划则是在线性规划基础上,为适应复杂的多目标最优决策的需要而在近几十年内逐步发展起来的一种运筹学方法。在现代经济社会的管理决策中,更多的是多目标优化问题。任何一项经济社会活动,其利益关系是多方面的,需考虑的目标也是一系列的,要综合反映多目标的优化决策方案,仅用单目标的线性规划显然是不行的。目标规划首先是由美国科学家 Charnes 和 Cooper 在六十年代初提出来的,并得到迅速发展与应用。它可对众多的目标分别确定一个希望实现的目标值,然后按目标的重要级别依次进

行考虑和计算,以求得最接近实现各目标预定数值的方案。如果某些目标由于种种原因而不能完全实现,它也能反馈目标值不能实现的程度和原因,并可通过对各目标重要程度、希望实现值、约束条件等数据的组合变换进行计算机模拟分析,得到一系列的决策及原因,为决策提供有力的科学依据。因此,目标规划能圆满地解决实际应用中互相矛盾的多目标优化问题,是系统多目标优化决策分析中有效工具之一,被广泛应用于各类经济社会活动的优化决策之中。

目标规划模型的基本特征是:

1. 把系统中的任何一个约束条件都视为一个优化目标,并事先给予每个目标预定值 $E(e_1, e_2, \dots, e_m)^T$, 目标预定值可根据以往的历史资料、上级部门下达的计划或预测值等来确定。

2. 把目标实际可能达成的值与预定值之间的偏差定为目标偏差变量,对每一个优化目标函数分别引入正、负偏差变量。其中 d_i^+ 表示第 i 个目标函数超出目标预定值的

致谢: 翟淑华、陆卫国协助资料整理、上机计算工作,在此表示感谢。

数值; d_i^- 表示第 i 个目标未达到目标预定值的数值, 其中 $d_i^+, d_i^- \geq 0$ ($i = 1, 2, \dots, m$), 且 $d_i^+ \cdot d_i^- = 0$ 恒成立。

3. 对各目标根据重要程度给以不同的优先等级 p_i ($i = 1, 2, \dots, k$)。

4. 把对目标求极值问题转化为对目标的偏差变量(达成函数)求极小值。

根据目标规划模型的特征可知, 由于目标规划把互相矛盾的约束条件的部分或全部转化为优化目标来处理, 并引入偏差变量, 这样任何约束条件(目标)都允许在一定范围内“伸缩”, 使原来问题的约束集放宽, 当目标与约束集互不相容时, 也能找到一组“最优解”, 因此它不但能解决目标与约束集之间的互不相容, 而且还可以解决多目标的优化问题。

目标规划的数学模型的标准形式如下:

达成函数:

$$\min f = \sum_{i=1}^k p_i \sum_{j=1}^m (w_{ij} d_i^- + w_{ij} d_i^+)$$

约束条件:

$$\sum_{j=1}^n c_{ij} x_j + d_i^- - d_i^+ = e_i$$

$$(i = 1, 2, \dots, m)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq (=, \geq) b_i$$

$$(i = 1, 2, \dots, l)$$

$$x_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

$$d_i^-, d_i^+ \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

式中有: n 个决策变量, m 个目标, $2m$ 个偏差变量, l 个约束条件。

其中: x_j : 决策变量, c_{ij} : 第 i 个目标中 x_j 的相应系数, e_i : 第 i 个目标的预定值, a_{ij} : 第 i 个约束条件中 x_j 的系数, b_i : 第 i 个约束条件的右端常数, d_i^-, d_i^+ : 第 i 个目标低于或高于预定值的偏差变量, p_i : 目标的优先级别 (k 级), w_{ij}^-, w_{ij}^+ : p_i 目标中 d_i^-, d_i^+ 的权系数。

目标规划模型的矩阵形式为:

达成函数:

$$\min f = P(W^- D^- + W^+ D^+)$$

约束条件:

$$CX + D^- - D^+ = E$$

$$AX \leq (=, \geq) B$$

$$X \geq \theta \text{ (零向量)}, D^-, D^+ \geq \theta$$

二、目标规划实例

1. 概况

桃浦工业区地处上海市西北郊的城乡结合部, 是五十年代以来逐步建成和发展起来的上海重要化工工业区, 占地 1.6 km^2 , 包括市属化工、制药、颜料、香料等行业 33 家和乡办的化工等数家工厂。桃浦工业区的建成和发展, 给整个桃浦地区带来了广泛而深刻的经济 and 环境影响。从经济发展的角度看, 化学工业的发展使本区从单纯农作物区逐步形成工农业生产综合体, 促进了区域经济的发展与繁荣。然而, 由于长期以来忽视环境污染治理, 大量污染物任意排入环境, 使自然环境质量下降, 农业出现萎缩, 工业发展也受到影响。总之, 使桃浦地区环境-经济系统的协调有序逐步遭受破坏, 功能的正常发挥受到影响。

2. 模式的建立

不同的行业具有不同的污染物排放量和资源需求量, 因此必有经济、环境效益最佳的行业结构。建立模式的目的是要在考虑多个目标的情况下, 协调系统内部功能, 优化工业区的行业结构, 获得比现状更佳的环境、经济效益。

模型以桃浦区 1987 年的实物型投入-产出表和直接消耗-产出系数表为基础数据。设行业产量为决策变量, 以 X 代表(单位吨), 其中 x_1 —化工原料、 x_2 —橡塑、 x_3 —涂料、 x_4 —染料、 x_5 —香料、 x_6 —医药、 x_7 —轻工等七个行业。 X 的一组直则代表一个具体的优化方案。模型共有 20 个约束条件(包括产值、12 种污染物排放量、5 种资源、排污费、职工人数)、40 个偏差变量、5 个优先等级(其中产值及 SS、 BOD_5 、 COD_{Cr} 、油、氨氮、硝基

表 1 桃浦工业区环境-经济系统的多目标优化数学模型表*

目 项 目		约束内容 $\sum_{j=1}^7 a_{ij} X_j$	决策要求			优化型态 (min)	优先等级
			方案 A	方案 B	方案 C		
产值约束		$-d_1^+ + d_1^- =$	95000	95000	95000	d_1^-	P_1
污 染 物 排 放 约 束 (t)	SO ₂	$-d_2^+ + d_2^- =$	1789	1704	1704	d_2^+	P_2
	NO _x	$-d_3^+ + d_3^- =$	850	806	806	d_3^+	P_2
	烟尘	$-d_4^+ + d_4^- =$	864	818	818	d_4^+	P_2
	CO	$-d_5^+ + d_5^- =$	120	113	113	d_5^+	P_2
	废水	$-d_6^+ + d_6^- =$	11482964	9931230	9931230	d_6^+	P_2
	SS	$-d_7^+ + d_7^- =$	1139	1079	1079	d_7^+	P_1
	BOD ₅	$-d_8^+ + d_8^- =$	2307	2184	767	d_8^+	P_1
	COD _{cr}	$-d_9^+ + d_9^- =$	6244	5916	1093	d_9^+	P_1
	油	$-d_{10}^+ + d_{10}^- =$	159	150	71	d_{10}^+	P_1
	氨氮	$-d_{11}^+ + d_{11}^- =$	307	290	140	d_{11}^+	P_1
	酚	$-d_{12}^+ + d_{12}^- =$	14.6	14.6	14.6	d_{12}^+	P_2
	硝基苯	$-d_{13}^+ + d_{13}^- =$	48	46	22	d_{13}^+	P_1
资 源 约 束 (t)	水	$-d_{14}^+ + d_{14}^- =$	58232700	58232700	58232700	d_{14}^+	P_3
	煤	$-d_{15}^+ + d_{15}^- =$	112380	112380	112380	d_{15}^+	P_3
	油	$-d_{16}^+ + d_{16}^- =$	9851	9851	9851	d_{16}^+	P_3
	化工原料	$-d_{17}^+ + d_{17}^- =$	84479	84479	84479	d_{17}^+	P_3
	电(万度)	$-d_{18}^+ + d_{18}^- =$	16689	16689	16689	d_{18}^+	P_3
排污费约束(万元)		$-d_{19}^+ + d_{19}^- =$	661	661	661	d_{19}^+	P_4
职工人数约束(人)		$-d_{20}^+ + d_{20}^- =$	16679	16679	16679	d_{20}^+	P_5
达成函数:		$\min f = P_1(d_1^- + d_2^+ + d_3^+ + d_4^+ + d_5^+ + d_6^+ + d_7^+ + d_8^+ + d_9^+ + d_{10}^+ + d_{11}^+ + d_{12}^+ + d_{13}^+) + P_2(d_2^+ + d_3^+ + d_4^+ + d_5^+ + d_6^+ + d_7^+ + d_8^+ + d_9^+ + d_{10}^+ + d_{11}^+ + d_{12}^+ + d_{13}^+) + P_3(d_{14}^+ + d_{15}^+ + d_{16}^+ + d_{17}^+ + d_{18}^+) + P_4 d_{19}^+ + P_5 d_{20}^+$					

* 表中 $a_{ij}(i=1, 2, \dots, 20; j=1, 2, \dots, 7)$ 为投入产出直接消耗-产出系数。

苯五种污染物排放量为第一优先级；其它污染物排放量为第二优先级；资源为第三优先级；排污费为第四优先级；职工人数为第五优先级）、7个决策变量以及一个达成函数。

3. 模拟分析

根据所建的模型，分别以削减污染物排放量的 5% 作为 A 方案，以削减污染物排放量的 10% 为 B 方案，以污染物达标排放为 C 方案（见表 1），在计算机上进行模拟分析，可得到不同的优化方案，同时对每个目标提供了过剩和不足量信息，以及各优先等级的达成信息，便于分析、比较，以作出最优决策。计算结果见表 2。

从多目标优化信息表可知：A 方案中，

除第一级目标中的 BOD₅ 排放量（超 3.2 吨）、油排放量（超 21 吨），第二级目标中 NO_x 排放量（超 5.9 吨）未达到目标外，其余第一级目标至第五级目标各项均实现目标要求；B 方案中，除第一级目标中的 BOD₅ 排放量（超 8.9 吨）、油排放量（超 36.6 吨），第二级目标中 SO₂ 排放量（超 55 吨）、CO 排放量（超 3 吨）外，其余第一级目标至第五级目标各项均实现；C 方案中，除第一级目标中的 BOD₅ 排放量（超 521 吨）、COD_{cr} 排放量（超 2270 吨）、油排放量（超 164.7 吨）、氨氮排放量（超 2.6 吨）外，其余第一级目标至第五级目标各项均实现。从三个方案的总产值来看，分别比 1987 年现状增长 3.2%、3.1% 和 3.1%。

表 2 多目标优化达成信息*

项 目	目标要求			实际达成值			目标达成信息		
	方案 A	方案 B	方案 C	方案 A	方案 B	方案 C	方案 A	方案 B	方案 C
产值(万元)	95000	95000	95000	95010	95003	95000	+10	+3	持平
SO ₂ (t)	1798	1704	1704	1788.9	1759	1526	-9.1	+55	-178
NO _x (t)	850	806	806	855.9	806	711	+5.9	持平	-95
烟尘(t)	864	818	818	814.2	801	696	-49.8	-17.3	-122
CO(t)	120	113	113	118.9	116	102.5	-1.1	+3	-10.5
废水(×10 ⁴ t)	1048	993	993	1002	967	693	-45	-25	-29
SS(t)	1139	1079	1079	1138.2	1074.8	582	-0.8	-4.2	-497
BOD ₅ (t)	2307	2184	767	2310.2	2192.9	1288	+3.2	+8.9	+521
COD _{cr} (t)	6244	5916	1093	6244	5916	3363	持平	持平	+2270
油(t)	159	150	71	180	186.6	235.7	+21	+36.6	+164.7
氨氮(t)	307	290	140	282.7	269.4	166	-24.3	-20.6	+26
酚(t)	14.6	14.6	14.6	9.1	9.1	9.1	-5.5	-5.5	-5.5
硝基苯(t)	48	46	22	44.6	39.8	2.5	-3.4	-6.2	-19.5
水(×10 ⁴ t)	5823	5823	5823	4814	4628	3176	-1008	-1195	-2647
煤(t)	112380	112380	112380	103783	102195	89836	-8596	-10185	-22544
油(t)	9851	9851	9851	9416	9021	5945.4	-435	-830	-3905
化工原料(t)	84479	84479	84479	81544.1	77286	44151	-2934	-719	-40328
电(万度)	16689	16689	16689	16580	16207	13502	-109	-482	-3387
排污费(万元)	661	661	661	644.5	624	462.4	-16.5	-37	-193
职工人数(人)	16679	16679	16679	16583	16416	15112	-96	-263	-1567

决策变量		x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	总产值 (万元)	增产%
现状值		7122	13165	27711	3412	1098	1226	11058	92108	/
优化方案	A	4560	13850	40475	3810	950	1052	11710	95010	3.2
	B	4560	13850	46714	3810	950	932	11710	95003	3.1
	C	4560	13850	95269	3810	950	0	11710	95000	3.1

* 表中“+”表示增产或多排放;“-”表示少排放、节约、少交或减少。

对上述优化结果需要特别指出的是: A、B、C 三个方案污染物排放量的目标要求,是在对污染物排放现状值分别削减了5%、10%和达标排放定出的。因此,虽然有的污染物排放量超过了目标要求,但还是远低于污染物排放的现状数量。同时,反馈的一个重要信息是: 行业结构的调整,主要集中在涂料行业(x_2)和医药行业(x_3)之间,即从控制、削减污染物排放量的角度,应适当压缩相对重污染的医药行业,而发展相对少污染的涂料行业。

4. 环境经济效益比较

为了把优化方案 A、B、C 与现实状况加以比较,把各项内容归纳成七项综合指标: ① 总产值 ② 废气中污染物排放量(SO₂、NO_x、CO、烟尘) ③ 废水中污染物排放量(SS、BOD₅、COD_{cr}、油、氨氮、酚、硝基苯) ④ 资源需求量(水、煤、油、化工原料) ⑤ 用电量 ⑥ 排污缴费 ⑦ 职工人数,比较结果见表 3。

从表 3 可知,多目标优化方案 A、B、C 其经济效益和环境效益均十分明显。鉴于 C 方案完全取消了医药行业,从产品需要、行业联系和工业区现状考察,显然不可取。

表 3 环境经济效益比较

项 目		现状	A	B	C
总产值	万元	92108	95010	95003	95000
	增产%		3.2	3.1	3.1
废气中污染物排放量	t	4036	3778	3482	3036
	减少%		6.4	13.7	24.8
废水中污染物排放量	t	11354	10208	9688	5646
	减少%		10.1	14.7	50.3
资源需求量	10 ⁴ ×t	5844	4834	4647	3190
	减少%		17.3	20.5	45.4
用电量	万度	16689	16580	16207	13302
	减少%		0.7	2.9	20.3
排污缴费	万元	661	644	624	462
	减少%		2.6	5.6	30.1
职工人数	人	16679	16583	16416	15112
	减少%		0.6	1.6	9.4

5. 结果讨论

桃浦地区由于工业生产的发展,产生的大量污染物不能得到及时的处理而任意排入环境,造成现今该区环境-经济系统的无序化。在现有条件下,仅有物质与能量的输入,必将产生经济增长与污染排放量成正相关变化,则将进一步导致系统环境状况的恶化。系统的多目标优化,较好地协调了系统的环境、经济两大主要因素。在现有技术条件下,工业区行业结构的合理调整,不仅使污染物排放量得到有效控制和较大削减,同时资源的消耗大为减少,也促使了环境的改善,而且工业产值又有一定幅度的增长,使系统结构趋于完善,达到经济、环境效益的统一。同时,也促使人们去改进技术、更新设备、改善工艺流程或建立人工净化系统,使经济发展与环境保护尽可能协调,建立良好的区域生态环境,形成环境-经济系统的协同而又有序,使系统具有整体功能和综合作用。

三、结语

目标规划作为一种优化决策技术,已得

到日益广泛的应用,取得了明显的效果。在国内也有不少应用目标规划的成功例子。在多目标优化技术的实际应用中,只要资料来源可靠正确,并归纳成目标规划的数学模型,设计出相应的计算机求解程序,进行计算机模拟分析,便可得到多种方案的多目标优化结果,为决策提供依据。若与一些预测方法相结合,则可进行离散型的动态目标规划模拟。其应用前景是广阔的。

参 考 文 献

- [1] 陈景艳,目标规划与决策管理,147—164,清华大学出版社,1987年。
- [2] 赵可培,目标规划及其应用,14—44,同济大学出版社,1987年。
- [3] Haith, D. A. *Environmental Systems Optimization*, 13—54, John Wiley & Sons, Canada, 1982年。
- [4] 左玉辉 环境系统工程导论,1—4,南京大学出版社,1985年。
- [5] 张超等 计量地理学,185—205,高等教育出版社,1984年。
- [6] 王炎庠等译 应用环境经济学,5—20,商务印书馆,1986年。

(收稿日期: 1988年12月7日)

to determine the optimal numbers of stations for monitoring water quality in Xiamen region, Fujian Province. (See pp. 26—30)

Radiative Levels of Indoor Environment in Xia'n City

Qiang Yonggang et al. (Shaanxi Provincial Station of Sanitation and Epidemic Prevention, Xi'an)

This paper presents that the radiative levels of indoor environment in Xi'an City were investigated with a high sensitivity thermoluminescent dosimeter—LiF(Mg, Cu, P).

The radiative doses absorbed by local residents were also evaluated. The results show that average γ -radiation dose in air absorbed by the residents seems to be $9.10 \times 10^{-8} \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ and the contributive component of cosmic ray to be $2.82 \times 10^{-8} \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$. The annual effective dose equivalent and collective effective dose equivalent have been determined to be $374 \mu\text{Sv}$ and $1.36 \times 10^8 \text{ Man} \cdot \text{Sv}$. (See pp. 30—34)

Study on Treatment and Utilization of Industrial Wastewater in Dexin Copper Mine

Ni Dong (Beijing Central Engineering and Research Institute for Non-ferrous Metallurgical Industry, Beijing)

Dexin Copper Mine is one of the largest mines in the world. The industrial wastewater discharged from the mine is more than $300000 \text{ M}^3/\text{day}$. The acidic water from the mine in brown colour contains a lot of heavy metal ions, such as ferric ion and copper ion etc. The pH of acidic water is 2 or 3 while the pH of the tailing slurry and sulfur-bearing basic water discharged from the concentrator is 10 to 13. As it contains comparatively high sulphur ions, this water threatens the environment around the lower reaches of the river and causes big loss of resources.

Since Fe^{3+} in mine acidic water is ten times higher than copper ion, the addition of lime can remove Fe^{3+} in the first stage and sulphur-bearing wastewater is added to form sulphide settlings and recover copper in the second stage. In the third stage, the process with addition of basic wastewater for neutralization is adopted and through multitypes of tests, the water can be discharged out or recycled for use. At the same time, copper ion in water can be effectively recovered, thus environmental and economic benefits are achieved. (See pp. 34—39)

Ambient Two-Phase UASB Process for Treatment of Brewery Wastewater

Yan Yuegen, Liu Jingsong and Hu Jicui (Department of Environmental Engineering, Tsinghua University, Beijing)

Performance of ambient (25°C) two-phase UASB process treating malting wastewater (diluted to 2000 mgCOD/L) has been investigated. It is shown that this process has a high treatability with organic loading rate of $18 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{d}$, HRT of 2.7 h and soluble COD removal of 86% on a methane phase base. A systematic research is also done on the performance of acid- and methane-phase reactors and property of granules. (See

pp. 39—43)

Rapid Method for Spectrophotometric Determination of Sulphate in Surface Water Using Ion-Exchange Separation and the Sulphate and Chlorophosphonazo III (CPA III)- Ba^{2+} Complex Reaction

Qiu Xingchu, Liu Guoping and Zhu Yingquan (Research Institute of Environmental Science of Ganzhou Prefecture Jiangxi Province)

A rapid spectrophotometric method for determination of SO_4^{2-} in surface water is reported. It is based on the reaction of CPA III- Ba^{2+} complex with SO_4^{2-} in acidic medium in the presence of ethanol. Beer's law is obeyed up to $120 \mu\text{g}$ of SO_4^{2-} in final solution. The molar absorptivity is $6.3 \times 10^3 \text{ liters} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ at 500 nm, and the coefficient of variation varies from 1.85 to 3.10%. The absorbance remains stable for at least 24h and the interfering ions in separated by strongly acidic cation-exchange resin. (See pp. 51—53)

Study on the Microbial Membrane Electrode for BOD Determination

Sun Yusheng and Liu Xianmei (Hebei Institute of Chemical Technology and Light Industry, Shijiazhuang)

The electrodes of four different microbial membranes have been prepared for determining BOD in wastewater. The linear response range of the electrodes is 10—60 mg/L for BOD certified reference materials. The time for reaching equilibrium is between 4 minutes (for low limit concentration) to 7 minutes (for high limit concentration). The electrodes has sustained the initial sensitivity over 20 days. Compared with the standard method for five days, the microbial electrodes prepared for determination of BOD have obtained good results. (See pp. 53—57)

Multi-Target Optimization of Environment-Economic System

Liu Youci and Ying Longgen (Department of Geography, East China Normal University, Shanghai)

Target programming as a kind of multi-target optimization technique has been found to be increasingly utilized. Taking Shanghai Taopu Chemical Industry District as a case study, the authors present three alternative schemes for reducing discharge of pollutants: (1) reduction by 5%; (2) reduction by 10%; (3) discharge in conformity with norm. Then, they set up a model of target programming for the environment-economic system of this industrial district and performed multi-target optimization simulation for the system by means of a computer. The results of optimization provide concrete approaches to rational adjustment of trade structure, which will better coordinate the two principal factors of the system, i. e. environment and economy so as to redress the existing random state of environment-economic system of the district. The system has its integral and comprehensive functions. The optimization schemes not only
(Continued on p. 83)

- (454), 749—774 (1981).
- [7] Jung, H. J. et al., *Desertification in Europe*, pp: 35—48, D. Reidel, Dordrecht, 1984.
- [8] Frakes, L. A., *Climates Throughout Geologic Time*, pp: 29—96, Elsevier, Amsterdam, 1979.
- [9] Sagan, C. & Mullen, G., *Science*, 177, 52—56(1972).
- [10] Sagan, C., *Nature*, 269, 224—226(1977).
- [11] Owen, T. & Cess, R. D., *Nature*, 277, 640—641(1979).
- [12] Schidlowski, M., 早期的地球(陈庆宣等译), 120—134 页, 地质出版社, 北京, 1987 年.
- [13] Ронов, А. Б., *Геохимия*, 8, 1252—1277(1976).
- [14] Будыко, М. Н., 气候的过去和未来(翁笃鸣等译), 25—56 页, 208—254 页, 气象出版社, 北京, 1986 年.
- [15] Barnola, J. M. et al., *Nature*, 329, 408—414(1987).
- [16] Jouzel, J. et al., *Nature*, 329, 403—408(1987).
- [17] Friedli, H. et al., *Nature*, 324, 237—238(1986).
- [18] Machta, L., *Changing Climate*, pp: 242—251, National Academy Press, Washington, D. C., 1983.
- [19] 张宝政等, 地质学原理, 249—257 页, 地质出版社, 北京, 1983 年.
- [20] Arthur, M. A., *Climate in Earth History*, pp: 55—67, National Academy Press, Washington, D. C., 1982.
- [21] Machta, L., 人工影响天气和气候(王昂生等译), 485—513 页, 科学出版社, 北京, 1985 年.
- [22] Worsley, T. R., *Nature*, 230, 318—320(1971).
- [23] 张家诚等, 气候变迁及其原因, 213—255 页, 科学出版社, 北京, 1976 年.
- [24] Kondratyev, K. Ya., *Climate Shocks*, pp: 10—13, John Wiley & Sons, New York, 1988.
- [25] Tappan, H., *Palaeogeog., Palaeo climatol., Palaeoecol.*, 4, 187—210(1968).
- [26] 中科院上海植物所等, 植物生理学通讯, 1, 57—58(1980).
- [27] Lamb, H. H., 气候的变迁和展望, 338—347 页, 气象出版社, 北京, 1987 年.
- [28] Woodwell, G. M., *Changing Climate*, pp: 216—241, National Academy Press, Washington, D. C., 1983.
- [29] RaMaNathan, V., *Science*, 240, 293—299(1988).
- [30] Idso, S. B., *Theor. Appl. Climatol.*, 39, 54—56(1988).
- [31] Genthon, C. et al., *Nature*, 329, 414—419(1987).
- [32] 杨怀仁, 第四纪地质, 177 页, 高等教育出版社, 北京, 1987 年.
- [33] Jones, P. D. et al., *Monthly Weather Review*, 110(2), 59—70(1982).
- [34] Bryson, R. A. et al., 饥饿的气候, 164 页, 科学出版社, 北京, 1981 年.
- [35] Schlesinger, M. E., *Nature*, 335, 303—304(1988).
- [36] Roeckner, E., *Nature*, 329, 138—140(1987).

(收稿日期: 1989 年 2 月 12 日)

(Continued from p. 96)

realize effective control and considerable reduction of pollution discharge, but also raise the industrial output and environment-economic benefit. (See pp. 57—62)

Application of Triple Spline Functions to Determination of Dispersion Coefficient in the River

Qin Jianhou, Li Longdi and Deng Bo(Department of Chemistry, Tsinghua University, Beijing)

In order to obtain dispersion coefficient in the Zhengjiakou-Xuanhua section of the Yanghe River, the trace experiment has been done by using rhodamine B. An interpolation method of triple-spline function is described briefly and used to handle the experimental data of dilution and diffusion in the Yanghe River. The dispersion coefficient calculated in accordance with one-dimension diffusion model is $5.53 \text{ m}^2/\text{s}$ and then has verified with two-dimension diffusion model. The result shows

ows that the method mentioned above is correct and reliable. (See pp. 66—71)

CO₂ throughout Geologic Time and Its Greenhouse Effects

Wang Guiyong and Dong Guangrong(Institute of Desert Research, Academia Sinica, Lanzhou)

This paper queries the problem whether global climate warming in the future is due to the increase of carbon dioxide by human activities as it is said prevalently. The authors suggest that in view of CO₂ throughout geologic time, CO₂ component in the atmosphere has decreased from 91% primarily to 0.034% currently since formation of the atmosphere, nevertheless the present fluctuation of CO₂ would be the aggregate results of human activities and natural action both, not of human activities only. So, prediction of global warming based on CO₂ greenhouse effect is not of sufficient evidence according to the authors. (See pp. 79—83)