

长江上游水质与产业密度关系数学模型*

苏春江, 何锦峰, 陈国阶(中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

摘要: 通过对长江上游(四川省)各地、市、州水质及相应地区产业密度的分析, 以地区水质 P_j 为自变量, 以产业密度 G' 为因变量, 以 $1 + 5P_j'$ 和 $\ln G'$ 作散点图并进行数学拟合, 得到四川省水质与产业密度数学模型. 对数学模型求导并令导数等于 1, 得 $P_j' = 0.402, G' = 141.71$. 当 $G' \leq 141.71$ 万元/ km^2 时, 水质的变差速度小于产业增长速度, 当 $G' > 141.71$ 万元/ km^2 时, 水质的变差速度大于产业密度的增长速度. 在考虑四川省经济发展时要注意到这个关系. 在产业密度大于 141.71 万元/ km^2 时, 为保护水环境和促进经济持续健康发展, 必须提高产业的技术水平、调整产业结构、采取必要的环保政策、加大环保投入和环保新技术的开发和应用.

关键词: 水质, 产业密度, 数学模型, 长江上游.

中图分类号: X11, TV213 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2000)02-0016-04

The Model of Relationship between Water Quality and Industry Density at Upper Reaches of Yangtze River(Sichuan Province)*

Su Chunjiang, He Jin feng, Chen Guo jie(Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China)

Abstract Through assessing the water quality of upper reaches of Yangtze River(Sichuan Province)and analyzing the industry density of Sichuan province, a relation of water quality and industry density was found and a mathematical model was established. Deriving the equation and letting the derivation equal to 1, a very important point was gotten. When $G' > 141.71 \times 10^4$ Yuan/ km^2 the water quality will lower down quickly. For protecting the water quality and making economy sustained development at the upper reaches of Yangtze River (Sichuan Province), a series of enhanced measurements of progress of industry process, industry construction adjustment and relative policy for environment protection should be taken when industry density reaches 141.71×10^4 Yuan/ km^2 .

Keywords: water quality, industry density, mathematical model, upper reaches of Yangtze River.

目前对发展产业与废水排放间关系已有较多研究^[1-4]. 本文通过对长江上游(四川省)产业密度与水污染程度的研究, 得出了产业密度与水质关系数学模型.

1 四川省河流水质现状

1.1 水质评价

以国家地面水环境质量标准^[5]作为评价标准, 用综合污染指数 P_j 对四川省主要干支流水质进行评价, 用污染负荷分担率 K_i 评价其污染性质. P_j, K_i 计算方法如下:

P_j : i 项污染物的污染指数; c_i : i 项污染物的含量; S_i : i 项污染物的标准值.

按下例判别式对水质进行分级:

- $P_j \leq 0.1$ 清洁水质
- $0.1 < P_j \leq 0.2$ 较清洁水质
- $0.2 < P_j \leq 0.3$ 轻污染水质
- $0.3 < P_j \leq 0.65$ 中污染水质
- $0.65 < P_j$ 重污染水质

四川省各河流江段 P_j, K_i 计算结果见表 1

~ 5.

$$P_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad P_i = \frac{C_i}{S_i} \quad K_i = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

* 中国科学院“九五”重大课题
作者简介: 苏春江(1958~), 男, 学士, 副研究员, 主要从事水文水环境研究
收稿日期: 1999-05-02

表 1 III类水域干流各江段综合评价结果

江段	K_i												P_j	污染级别	
	COD	BOD ₅	非离子氨	NO ₂ -N	酚	CN	As	Hg	Cr ⁶⁺	Pb	Cd	石油			
长 江	宜宾段	50.51	7.71	15.41	2.74	10.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.36	0.177	较清洁	
	泸州段	38.13	19.61	26.14	8.28	0.00	0.00	1.31	0.00	6.54	0.00	0.00	0.128	较清洁	
金沙江	攀枝花段	53.31	7.40	14.81	1.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.14	2.37	0.147	较清洁	
	宜宾段	65.10	8.42	13.47	2.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.04	0.135	较清洁	
岷江	都江堰段	46.91	48.15	0.00	10.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.056	清洁	
	温江段	28.34	19.20	24.68	11.33	0.00	0.00	4.39	0.00	12.07	0.00	0.00	0.152	较清洁	
	乐山段	21.50	14.11	48.37	10.39	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.37	0.310	中污染
	宜宾段	44.57	16.30	13.05	6.52	13.04	0.00	0.00	6.73	0.00	6.52	0.00	0.139	较清洁	
沱江	内江段	13.68	9.55	26.19	18.87	5.66	0.00	3.40	0.00	0.00	0.00	0.00	22.65	0.589	中污染
	自贡段	6.26	2.82	10.89	8.16	0.00	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	70.57	1.110	重污染
	泸州段	16.43	10.91	40.40	14.97	12.93	0.00	4.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.516	中污染
嘉陵江	广元段	34.64	6.11	20.78	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	1.96	26.41	8.80	0.372	中污染	
	南充段	27.03	15.20	35.47	12.16	10.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.179	较清洁	

表 2 III类水域主要支流综合评价结果

江段	K_i												P_j	污染级别
	COD	BOD ₅	非离子氨	NO ₂ -N	酚	CN	As	Hg	Cr ⁶⁺	Pb	Cd	石油		
攀枝花雅砻江	53.84	6.06	4.04	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.30	3.23	0.0	0.103	较清洁
凉山州安宁河	16.37	18.42	49.11	2.18	0.00	0.00	1.64	0.00	12.28	0.0	0.0	0.0	0.204	较清洁
温江江安河	17.34	14.60	30.11	2.92	3.65	0.00	2.55	0.00	3.28	0.00	0.00	25.55	0.457	中污染
府河黄龙溪	2.68	3.15	3.90	0.93	1.38	0.00	0.0	0.00	0.32	0.00	0.00	87.64	3.632	重污染
雅安青衣江	24.13	18.10	24.13	9.12	16.09	0.00	0.00	8.04	0.00	0.00	0.00		0.113	较清洁
乐山大渡河	24.09	12.04	48.17	5.00	10.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.156	较清洁
德阳绵远河	9.40	8.67	26.91	4.11	2.07	0.00	4.97	1.55	0.14	0.62	1.97	39.33	1.610	重污染
青白江毗河	0.32	0.29	91.56	0.37	0.11	0.01	0.05	0.37	0.05	0.26	0.18	6.44	28.998	重污染
泸州赖溪河	34.59	20.18	24.98	18.71	0.00	0.00	1.54	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.217	轻污染
自贡旭水河	4.43	4.49	3.59	2.01	0.0	0.00	0.72	0.0	0.00	0.00	0.00	84.76	1.160	重污染
涪江江油段	10.23	20.46	57.30	4.64	0.0	0.00	0.00		3.37	0.00	0.00		0.244	轻污染
涪江绵阳段	15.36	12.75	49.02	11.50	3.92	0.00	0.0	0.0	0.00	0.39	7.06		0.464	中污染
涪江遂宁段	19.33	12.65	23.19	4.36	21.08		7.59		11.81	0.00	0.0		0.527	中污染
达川洲河	17.36	15.26	19.15	6.70	14.36	0.00	0.00		5.03	7.90	13.64		0.279	轻污染
南充西河	10.83	14.91	68.18	3.12	3.41	0.00	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00		1.067	重污染
永宁河泸州段	35.20	22.38	17.12	10.86	13.77	0.11	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.363	中污染

表 3 I类水域综合评价结果

江段	K_i												P_j	污染级别
	COD	BOD ₅	非离子氨	NO ₂ -N	酚	CN	As	Hg	Cr ⁶⁺	Pb	Cd	石油		
德阳铁索桥上游	13.86	4.62	19.41	0.00	0.00	0.00	1.11	5.55	0.00	0.00	0.00	55.45	0.301	中污染

表 4 II类水域综合评价结果

江段	K_i												P_j	污染级别
	COD	BOD ₅	非离子氨	NO ₂ -N	酚	CN	As	Hg	Cr ⁶⁺	Pb	Cd	石油		
成都灌县水文站	1.82	0.81	0.52	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00	96.27	2.407	重污染
成都府河高桥	1.47	1.05	1.37	0.75	0.00	0.08	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	95.04	2.122	重污染
成都沙河五长	2.34	2.15	0.97	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	93.72	2.578	重污染
青白江农水局	8.52	3.03	23.28	2.04	0.00	0.23	0.45	0.00	1.36	4.31	6.81	49.96	0.734	重污染
德阳绝缘桥上游	7.04	5.12	16.65	0.00	12.80	0.00	2.05	0.00	0.00	0.00	0.00	56.34	0.325	中污染

表 5 IV 类水域综合评价结果

江段	K_i												P_j	污染级别
	COD	BOD ₅	非离子氨	NO ₂ -N	酚	CN	As	Hg	Cr ⁶⁺	Pb	Cd	石油		
成都三河	14.70	16.76	1.39	0.99	6.19	0.08	0.15	0.31	2.17	0.00	0.00	57.25	0.539	中污染
釜溪河自贡段	10.71	10.71	25.22	4.19	0.00	0.07	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00	48.17	0.623	中污染

(1) III 类水域主要干流水质状况 长江、金沙江总体水质较好, 整体为较清洁级水质; 岷江整体水质也为较清洁, 但乐山段已呈轻污染; 沱江整体为重污染; 嘉陵江总体为轻污染。

(2) III 类水域主要支流水质状况 平均综合污染指数 2.47, 重污染。

(3) I 类水域 德阳铁索桥上游, 中污染。

(4) II 类水域 平均综合污染指数为 1.63, 重污染。德阳绝缘桥上游江段属中污染。

(5) IV 类水域 平均综合污染指数为 0.58, 属中污染。

1.2 主要污染物和水质污染特征

四川河流水中主要污染物为 COD、BOD₅、非离子氨和石油类, 这 4 种污染物的污染负荷分担率高, 超标普遍。

III 类水域干流以 COD、BOD₅ 和非离子氨污染为主, 其污染负荷分担率平均值为 67.38%, 远远超过其它污染物污染负荷分担率的总和。其中有机污染物 COD、BOD₅ 和油类的平均污染负荷分担率为 54.55%。污染性质属以 COD、BOD₅ 和非离子氨为主的有机污染型。

III 类水域主要支流仍以 COD、BOD₅ 和非离子氨污染为主, 部分江段以石油类为主。COD、BOD₅ 和非离子氨平均污染负荷分担率为 65.04%。其中 COD、BOD₅ 的污染负荷分担率为 31.22%, 属有机污染型。

I 类水域以石油类污染为主, 石油类污染负荷分担率为 55.45%。有机污染物 COD、BOD₅ 和石油类的总污染负荷为 73.93%, 属有机污染。

II 类水域以石油类污染为主, 平均污染负荷分担率达到 78.26%。石油类、COD 和 BOD₅ 的平均污染负荷分担率为 84.94%, 为有机污染型。

IV 类水域仍以石油类污染为主, 石油类的平均污染负荷分担率为 52.17%。有机污染物石油类、COD 和 BOD₅ 的平均污染负荷分担率达到 79.16%。属有机污染型。

2 四川省区域产业密度与区域水质

区域产业密度 G' 是一个地区经济发展程度的一个指标。 $G' = GDP/A$ 式中, GDP: 国民生产总值(万元)^[6]; A: 区域面积(km²)。

区域水质用区域综合污染指数 P'_j 表示, 由综合污染指数与区域径流量加权平均求得, 即:

$$P'_j = \frac{\sum_{j=1}^n P_j R_j}{\sum_{j=1}^n R_j}$$

式中, R_j : j 河流径流量。

由于区域产业密度的差异, 产业产生的废水量与废水中污染物的性质差异, 造成了四川省不同区域的水质差异。四川省区域产业密度和区域水质见表 6。

表 6 四川省区域水质与产业密度

地区	产业密度/ 万元·km ⁻²	综合污 染指数	地区	产业密度/ 万元·km ⁻²	综合污 染指数
成都市	701.65	1.240	南充地区	102.02	0.385
自贡市	257.99	0.900	宜宾地区	96.87	0.165
攀枝花市	116.83	0.138	广安地区	151.26	0.160
泸州市	102.73	0.284	达川地区	92.03	0.240
德阳市	325.24	0.980	巴中地区	53.74	0.124
绵阳市	118.64	0.464	雅安地区	35.08	0.080
广元市	49.41	0.372	阿坝州	3.51	0.073
遂宁市	189.21	0.527	甘孜州	1.43	
内江市	174.09	0.589	凉山州	16.82	0.147
乐山地区	100.00	0.215			

3 四川省水质与产业密度数学模型

将产业密度与水质联系起来, 以 $(1 + 5P'_j)$

为因变量,以 $\ln G'$ 为自变量,作散点图(图 1).

并根据趋势分析,作指数拟合,得产业密度与水质关系式:

$$1 + 5P'_j = 0.5811e^{0.3321 \ln G'}$$

$$\text{即: } P'_j = 0.11622(G')^{0.3321} - 0.2$$

$$R = 0.77$$

相关系数 $R = 0.77$ 表明,四川省水质与产业密度有相当密切的关系.

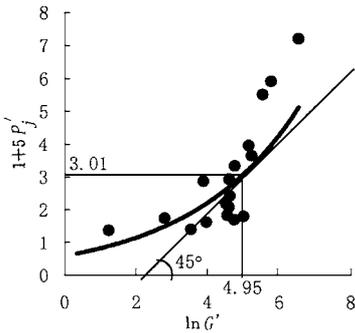


图 1 四川省水质与产业密度关系图

四川省各地区水质与产业发展水平所表现出的区域差异耦合,其内在机理正反映了产业发展对区域水质的影响.

由产业密度与水质相关图可知,拟合线为一递增曲线,随着产业密度的加大,综合污染指数呈加速上升趋势.并且在产业密度小于某定值时水质变差的速度小于产业密度增长的速度,当产业密度大于某一定值后,水质变差的速度将大于产业密度增长的速度.

对方程求导,令导数等于 1 所对应的 $\ln G' = 4.95$, $1 + 5P'_j = 3.01$, 即产业密度为 141.71 万元/ km^2 , 综合污染指数 P'_j 为 0.402. 以产业密度 141.710 万元/ km^2 为分界点,将曲线分为 2 段: ① 产业密度 $G' \leq 141.71$ 万元/ km^2 时,对应的综合污染指数小于 0.402, 曲线的切线斜率小于 1, 纵轴所代表的综合污染指数的增长幅度小于横轴产业密度的增长幅度. 此阶段随着产业密度的升高, 污染物数量加大, 综合污染指数会随之升高, 但此时河流的自净能力较强, 综合污染指数上升趋势仍较为平缓. ② 当产业密度 $G' > 141.71$ 万元/ km^2 时, 此时对应的综

合污染指数大于 0.402, 水质接近于中污染的下限值, 曲线切线的斜率大于 1, 水质下降趋势快于产业密度的增长速度. 当产业密度发展到一定程度以后, 如果产业发展与工艺改进, 环境管理不匹配, 废水排放数量继续上升, 由于河流已属中污染水平, 其自净能力减弱, 水环境恶化加速, 综合污染指数迅速升高.

4 小结

(1) 目前的产业发展是一种牺牲水环境质量的发展. 不管产业发展快慢, 不管产业密度高低, 都对水环境质量造成不利影响.

(2) 到目前为止, 产业发展的技术进步、结构调整、环保投入对产业发展造成的水质影响没有产生大的有意义的作用(曲线没有出现明显的分段).

(3) 河流能承受一定的污染负荷, 即在产业密度在 141.7 万元/ km^2 以下时, 水质变差的速度低于产业增长的速度, 河流有一定的自净能力, 能够承受产业密度在 141.71 万元/ km^2 以下的发展; 当产业密度大于 141.71 万元/ km^2 时, 水质变差的速度高于产业增长的速度, 这时产业的生长将使水质加速变差.

(4) 为保护河流水环境, 促进经济健康持续发展, 当一个地区产业密度达到 141.71 万元/ km^2 后, 应特别重视产业的技术进步, 产业结构的调整, 环保政策的加强及环境治理的投入和环保新技术的开发应用.

参考文献

- 1 苏春江等. 长江水污染评价与长江产业带开发. 大自然探索, 1997, 16(3): 96~100.
- 2 陈国阶. 长江水质评价与沿江产业发展决策. 中国环境科学, 1996, 16(5): 339~344.
- 3 陈国阶等. 长江水质的区域差异与产业发展的关系. 重庆环境科学, 1997, (4): 11~15.
- 4 虞孝感. 长江产业带的建设与发展研究. 北京: 科学出版社, 1997. 49~50.
- 5 国家环境保护局科技标准司. 地面水环境质量标准 GB3838-88, 1988.
- 6 《四川统计年鉴》. 北京: 中国统计出版社, 1997. 22.