

黄河兰州段水污染物规划环境容量和 排污总量控制研究

曹 磊

(甘肃省环境保护局, 兰州 730030)

摘要 黄河甘肃河段,按水域功能划分为水源保护区、准水源保护区和综合功能区三个串联的功能河段。本研究提出各河段水环境规划容量新概念和排污总量控制方案。河段环境容量的计算,是以有机污染指标 COD 为例,在美国“PDM-PC 模型”的基础上,简化边界条件后,重新推导建立了近似解析求解数学表达式。所得环境容量和规划环境容量都是在不同目标和不同达标概率的随机条件下连续的风险环境容量系列值,为总量控制和环境决策提供了更多的选择余地。

关键词 黄河,环境容量,环境规划。

1 总量控制实施条件论证

黄河干流甘肃河段(简称黄河兰州段)是甘肃省境内的最大河流,长 397km,流域面积 8.5 万 km^2 ,流域人口约 290 万人,其中城镇人口 190 万人;据多年连续实测资料统计,兰州水文站年日平均流量 $1049\text{m}^3/\text{s}$ 。全河段现有工业企业 1700 多个,工业产值占全省工业总产值的 62%;年用水量 10 亿吨,其中工业新鲜取水 3.5 亿吨;年容纳污水 3 亿多吨,并以每年 4% 的速度递增。近二十年来,河水污染严重,水质下降,直接影响着兰州市、白银市、临夏州以及黄河中、下游省区城乡人民的生活和工农业的持续、稳定发展。本项研究目的在于有效控制黄河水质继续恶化,制订黄河兰州段流域综合整治规划;为由单纯排污浓度控制向总量控制转变,进而为实行污染源排污申报登记、排污许可证制度和污染集中控制等环境管理决策工作提供科学依据。

据多年水质监测和污染源调查分析,影响黄河兰州段水质的主要污染物是有机污染物、石油类、挥发酚和重金属等。本文仅以有机污染指标化学需氧量(COD)为例进行讨论。

表 1 是黄河兰州段各功能区段污水排放量和排放浓度参数值。

表 2 是黄河兰州段各监测断面河水流量和污染物浓度参数值。

根据黄河兰州段水功能区划研究和地面水环境质量标准 GB3838-88,对不同功能水域的质量要求及水质规划目标,将黄河兰州段分成三个功能河段。即水源保护区段(临夏段),以三类地面水标准考核为主;兰州市区段和白银市区段为综合功能区段,以四类地面水标准考核为主。并提出高、中、低三个规划目标。1995 年前按低目标考核,2000 年前按中目标考核,2020 年前按高目标考核。详见表 3。

黄河兰州段是甘肃省兰州市、白银市、临夏州等市州工农业用水和人畜饮用水的主要水源,当前水环境污染严重,水质下降,急需实施有效的污染控制;“七五”期间,对黄河兰州干流河段制订了污染控制规划,确定了规划目标,进行了功能区划,开展了污染调查和水文资料调查分析,为水环境容量研究和总量控制的实施创造了条件。

2 排污总量控制的目的和研究程序

污染物排放总量控制,实质上是总量负荷控制,即控制一定时间间隔内环境容纳污染物

表 1 黄河兰州段各功能区段污水排放量和排放浓度参数值

区段	参数 项目	均值 (μ_x)	中位值 ($\bar{x}$)	标准差 (σ_x)	变差系数 (ν_x)	对数均值 ($\mu_{\ln x}$)	对数标准差 ($\sigma_{\ln x}$)
水源	排放量 $Q_{E1}(\text{m}^3/\text{s})$	151	118	121	0.8	4.770	0.7033
	COD 浓度 $c_{E1}(\text{mg/L})$	6.18	5.48	3.226	0.522	1.701	0.4901
兰州市	排放量 $Q_{EII}(\text{m}^3/\text{s})$	5.95	5.834	1.190	0.20	1.764	0.1980
	COD 浓度 $c_{EII}(\text{mg/L})$	22.7	18.47	16.21	0.714	2.916	0.6418
白银市	排放量 $Q_{EIII}(\text{m}^3/\text{s})$	6.0	5.747	1.80	0.3	1.749	0.2936
	COD 浓度 $c_{EIII}(\text{mg/L})$	38.67	31.68	27.069	0.7	3.456	0.6315

注：表中数值均为水量平衡和质量平衡后的统计(影子)值,并非某污染源的实际排放值;对于污染严重的注入干流的支流,亦做为污染源处理。

表 2 黄河兰州段各监测断面河水流量及浓度参数值

断面	参数 项目	均值 (μ_x)	中位值 ($\bar{x}$)	标准差 (σ_x)	变差系数 (ν_x)	对数均值 ($\mu_{\ln x}$)	对数标准差 ($\sigma_{\ln x}$)
小川	流量 $Q_{S0}(\text{m}^3/\text{s})$	898	742	612	0.681	6.609	0.617
	COD 浓度 $c_{S0}(\text{mg/L})$	2.805	2.700	0.788	0.281	0.993	0.276
新城桥	流量 $Q_{S1}(\text{m}^3/\text{s})$	1049	867	714	0.681	6.765	0.617
	COD 浓度 $c_{S1}(\text{mg/L})$	3.291	3.185	0.856	0.260	1.158	0.256
包兰桥	流量 $Q_{S2}(\text{m}^3/\text{s})$	1055	872	718	0.681	6.771	0.617
	COD 浓度 $c_{S2}(\text{mg/L})$	3.400	3.304	0.826	0.243	1.195	0.239
五佛寺	流量 $Q_{S3}(\text{m}^3/\text{s})$	1061	876	723	0.681	6.775	0.617
	COD 浓度 $c_{S3}(\text{mg/L})$	3.599	3.426	1.159	0.322	1.231	0.314

表 3 黄河兰州段三个功能区段水质目标决策值 (mg/L)

项目	分类	水源保护区段			综合功能区段		
		高	中	低	高	中	低
	COD $\leq$ (标准)	4 (II 类)	4 (II 类)	6 (III 类)	4 (II 类)	6 (III 类)	8 (IV 类)

的总量。对于某一功能河段来说,允许排放某污染物总量的确定,可以用水质标准为基点反推,也可通过技术、经济分析直接决策。前者称为容量总量控制,后者称为目标总量控制。

容量总量控制是以环境质量标准出发,根据环境容许纳污量,运用环境质量模型计算,反推容许排污量。然后,再通过技术经济可行性分析、优化分配负荷,确定出切实可行的总量控制方案。容量总量控制的特点是将污染源排放污染物的控制水平与环境质量直接联系。

目标总量控制是根据环境目标提出的污染物排放量和削减量的控制。它是从现有的污染水平出发,针对特定环境的质量目标要求,确定分阶段的排污总量和削减量,循控制-削减-再

控制-再削减的程序,将污染物排放总量逐步削减到预期目标。目标总量控制的特点是将环境管理部门所制定的环境目标作为总量控制的基础。排污总量控制研究程序见图 1。

3 建立环境容量水质模型

河流水环境容量是一个取决于自然要素、污染物性质、水体功能及经济技术条件的函数。通常,污染物在大流量高净污比(20:1 以上)的河流中的水环境容量,化学(生物)净化过程的效果较微弱,主要是扩散稀释过程的作用。这种情况,确定河流的水环境容量,最主要的任务是计算环境稀释容量。对水环境稀释容量影响较大的因素有:河水流量和水质本底值、污水

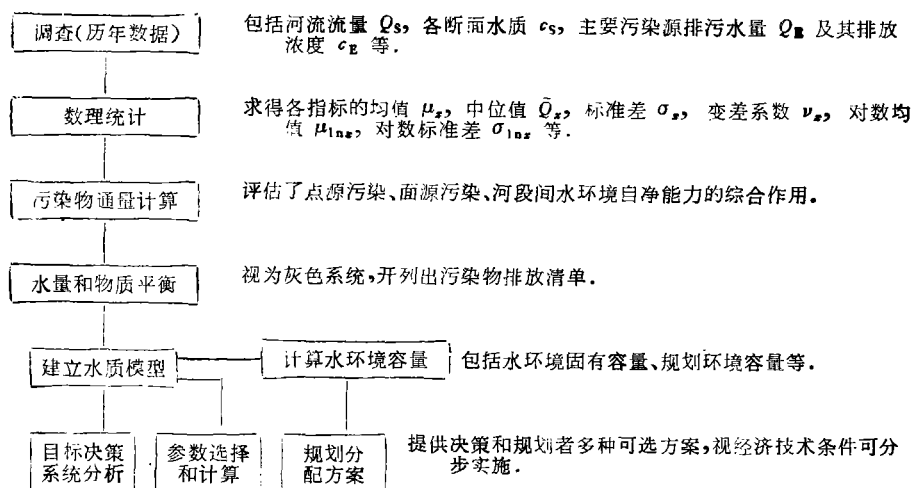


图 1 排污总量控制研究程序

排放量及排放浓度、由水体功能和经济技术条件所决定的环境目标(标准)等。由于这些因素都是不断变化和随机波动的, 所以, 其环境容量实质上是随机(风险)环境容量。

美国 EPA 创建的“点源对数正态概率稀释模型(PDM-PS)”, 就是从输入流量、排污量、排污浓度的波动过程出发, 进而输出反映波动过程的水质达标率和容许纳污量。但是, 此模型将河水下游浓度表达为流量、排污量及其浓度的联合分布密度的多重积分, 求解很复杂, 不易实际推广应用。

本研究在对以上模型的设计条件简化处理的基础上, 通过数学推导建立近似解析求解数学表达式。在研究过程, 已证明以下假设条件是成立的或者是在误差允许范围内的: ① 所讨论的随机变量符合正态概率分布规律; ② 每一计算区段的所有污染源均视为一个大点源; ③ 在公式推导过程中, 先假设上游河水背景断面的浓度值为零, 然后在下游控制断面目标值中扣除上游来水实际浓度后, 再进行容量计算; ④ 河水流量与污水排放量互不相关; ⑤ 净污比很大(实际为 175:1), 水环境自净以稀释作用为主。

本研究推导建立的计算公式为:

$$W_{\alpha} = \mu_{QE} \cdot (c_L - c_s) \cdot (1 + \nu_{CE}^2)^{0.5} \cdot \left[1 + \frac{\mu_{QS} \cdot (1 + \nu_{QE}^2)^{0.5}}{\mu_{QE} \cdot (1 + \nu_{QS}^2)^{0.5}} \right]$$

$$\begin{aligned} & \cdot \exp\{Z_{\alpha} \cdot \{\ln[(1 + \nu_{QS}^2) \\ & \cdot (1 + \nu_{QE}^2) \cdot (1 + \nu_{CE}^2)]\}^{0.5}\} \\ & \cdot 31.536 \end{aligned} \quad (1)$$

式中, W_{α} ——控制断面达标率 α 时的环境风险容量, t/a;

μ_{QE} ——污水排放设计(规划)流量均值, m^3/s ;

μ_{QS} ——河水背景断面流量均值, m^3/s ;

c_L ——控制断面污染物标准(目标)浓度, mg/L ;

c_s ——背景断面河水中污染物浓度实测均值, mg/L ;

ν_{QS} ——背景断面河水流量变差系数;

ν_{QE} ——污水排放量变差系数;

ν_{CE} ——污水排放浓度变差系数;

Z_{α} ——对数正态分布概率系数;

31.536——计算单位换算系数。

将(1)式编入计算机程序, 计算各断面和污染物及其不同目标要求时的环境风险容量。

4 环境容量计算结果及其分析

根据公式(1)可求得三个功能区段在不同规划水质目标要求下的各种达标概率的水环境污染物指标 COD 的风险环境容量。表 4 列出了主要达标概率的环境容量。从表中数值看出: 要求达标概率(R)愈高, 环境容量愈小; 规划目标(标准)愈高(数值愈小), 环境容量也愈小;

表 4 黄河兰州段三区段 COD 环境风险容量值 (t/a)

河段 标准 (mg/L)	水源区段		兰州市区段			白银市区段		
	4(高、中)	6(低)	4(高)	6(中)	8(低)	4(高)	6(中)	8(低)
99.9	1585	4238	1188	4538	7888	978	4237	7496
99.5	2717	7265	1891	7226	12562	1572	6810	12049
99	3578	9562	2398	9161	15924	2002	8675	15348
98	4757	12719	3067	11719	20372	2574	11153	19731
95	7337	19617	4458	17035	29611	3769	16333	28897
90	10733	28697	6192	23657	41123	5269	22833	40397
85	13832	36981	7707	29448	51188	6588	28547	50506
80	17057	45885	9250	35342	61434	7935	34386	60837
75	20450	54675	10801	41271	71740	9295	40280	71264
70	23962	64066	12385	47323	82260	10688	46314	81940

三个区段相比较,在其它条件相同的情况下,白银区段容量最小,其次是兰州区段,水源保护区段容量较大。

根据这些计算结果,可考虑目前和将来当地的经济、技术、财力、物力条件,选择适当的规划目标和达标概率,来规划分配各区段的污染物排放总量和削减量,以保证流域规划的切实可行。

5 规划环境容量的概念及计算

对于整个河流流域或多级功能河段串联的整体总量控制规划来讲,孤立地控制某些河段的水质是很不够的。对于黄河兰州段,共有三个功能区段和四个监测控制断面,每个区段均有背景断面和控制断面,上游段的控制断面就是下游段的背景断面。风险环境容量的计算是以背景断面的实测浓度均值为依据的,而背景断面的浓度均值是在不断变化的,尤其是在较长的规划期间,这种变化将直接而显著地影响着下游河段的水环境风险容量。背景断面浓度的提高会大大降低下游河段的实际环境容量。在整个流域规划中,每个断面的规划目标是确定的,其数值和现状实测均值不一定相同。因此,每个河段的现有环境容量是不能全部利用的,必须统筹规划和平衡。即在每个河段均能控制在某一规划目标的前提下,计算下游河段可能的实际环境容量,这个环境容量,本研究称

之为规划环境容量。

将各河段的背景断面实测均值(c_s),以该断面作为上游河段控制断面时的规划目标值(c_L)来取代,并代入公式(1)中,即可计算出规划环境容量。表 5 列出了黄河兰州市区段和白银市区段 COD 规划环境容量值。表中负值表示应削减的污染物排放量,即负环境容量。

由表 5 看出,规划环境容量比相应的风险环境容量小得多,这就为流域排污总量控制规划提供了更科学和留有机动容量的新的环境容量概念,以避免环境规划的“不足保护”。对于水环境污染现状严重,而规划目标(标准)需要削减污染物的河段背景断面(即上游河段的控制断面),所求得的规划环境容量要大于风险容量。此种情况风险容量多是负值,即待削减量,相应的规划容量是较小的负值或正值。这就为流域总量控制规划提供了较大的可供利用的环境容量资源,以避免环境“过保护”。

对于水源保护河段,背景断面是刘家峡水库坝下小川断面,多年实测水质基本稳定,其现状均值可视为规划目标值;而注入此河段的最大支流——湟水河,由青海省流入甘肃后注入黄河干流,已做为点源处理。故此河段的风险环境容量可视为规划环境容量利用。

6 结论

(1) 随机稀释风险环境容量,是用一系列

表 5 黄河兰州、白银二区段 COD 规划环境容量值 (t/a)

河段 标准 $c_{1a}(\text{mg/L})$ 背景 $c_s(\text{mg/L})$		兰州市区段			白银市区段		
		6	8		6	8	
		4	4	6	4	4	6
		达标率(%)					
99.9	-172	271	-283	-3957	-797	-4057	
99.5	161	789	-52	-2077	3162	-2977	
99	317	1150	108	-643	6030	943	
98	576	1616	316	1263	9842	1263	
95	1094	2555	733	5248	17812	5248	
90	1725	3685	1235	10248	27812	10248	
85	2259	4677	1662	14843	36602	14843	
80	2793	5607	2089	19135	45586	19135	

连续数值来表示的,它克服了试图用一个或有限个数值来表示环境容量的局限性,实现了环境容量“时空不均匀性”的综合表达,为水环境管理提供了更多的选择余地和决策的可能,避免环境“过保护”和“不足保护”两种偏向。

(2) 该研究是在对美国“PDM-PS 模型”的一些参数作了一定简化处理的基础上,推导建立了水环境风险容量近似解析求解表达式,使模型具有显明的物理意义和计算公式,容易理解,容易掌握,计算方便,与求重积分解法比较,其计算结果十分接近,误差不大于 0.5%,满足实际规划要求。

(3) 在水文参数等环境风险不变的情况下,随机稀释环境容量随着水质标准浓度的增大而增大。不同水质目标对应有不同的剩余容量或需要削减的量,这就为不同财力物力和经济社会条件下,采用不同目标提供了科学依据和不同决策选择的可能。

(4) 在水文参数和环境水质标准不变的情

(上接第 28 页)

醛基本上不存在超标问题,而乙醛超标明显,尤其城区比城近郊区超标严重。

参 考 文 献

- 1 城乡建设环境保护部环境保护局. 环境监测分析方法. 北京: 中国环境科学出版社, 1986: 237—241

况下,随机环境容量随着达标率的降低而增大。也就是说,同一目标要求不同达标率时又有不同的风险容量或需要削减的污染物质,这就为环境风险决策和总量规划分配提供了依据。

(5) 随机稀释环境容量是以河段上下控制断面水质指标的多次实测均值为基础,经过数理统计和计算的近似值。它宏观地概括了许多不易定量测算的综合因素,如面源污染、河水自净作用、支流注入等。这就为既不能忽略这些重要因素而又可以简化计算方法提供了一个研究途径。

(6) 根据规划环境容量的新概念,对流域或多功能河段整体总量控制规划的制订,提供了更接近实际的环境容量资源,并可对其中各功能河段提出总量控制分配方案,直至落实到每个重要污染源。

致谢 参加该研究的还有史复有、王有乐、祁国炜、成世昌、李明烽等;石敏媛、田炳申、夏青为总顾问,在此一并致谢。

- 2 中国预防医学中心卫生研究所. 大气污染监测方法. 北京: 化学工业出版社, 1984: 540—566
- 3 Barbara J. Finlayson-Pitts James N. Pitts, J. *Atmospheric Chemistry*, Printed in the United States of America: John Wiley & Sons, INC, 1986: 364
- 4 武汉大学等五校. 分析化学. 第二版, 北京: 高等教育出版社, 1982: 461

Key words: environmental sciences, expert system, environmental information system.

Study on the Planned Environmental Capacities of Water Pollutants and the Control of Total Amount of Discharged Sewage at Lanzou Section of the Yellow River. Cao Lei (Provincial Bureau of Environment Protection of Gansu, Lanzou 730030): *Chin. J. Environ. Sci.*, **14**(1), 1993, pp.54—58

According to the water function, the section of the Yellow River in Gansu is divided into three series sectors, the water resource protection sector, the para-resource protection sector and the comprehensive functional sector. A new conception of planned water environmental capacity of each sector and a scheme for the control of total sewage discharge were proposed. Taking COD, the indicator of organic pollution, as an example, the author calculated the environmental capacities of the sedors based on the U. S. "PDM-PC model", which was simplified for the boundary condition to form an approximate analytic formula. The results thus reckoned from the formula and the planned environmental capacities are both continuous risk values of environmental capacities on the random conditions of different objectives and different probabilities. And these provide more choices for the overall control of sewage discharge and environmental policy-making.

Key words: Yelliw River, environmental capacity, environmental programme.

Preliminary Study on the Biological Negadiversity Country. Zhang Weiping et al. (China Environmental Science Press, Beijing 100062): *Chin. J. Environ. Sci.*, **14**(1), 1993, pp.59—63

The article discusses the concept of biological megadiversity country and illustrates the great strategic importance of these countries in the worldwide conservation of biological diversity. Seven of the megadiversity countries are introduced to readers. Finally, the way of the determination of megadiversity country is discussed. The megadiversity approach is to attract attention of the world on these highly diverse, strategically critical mega-

diversity countries. The approach is a part of the measure of establishing priorities for conserving biological diversity.

Key words: megadiversity country, biological species, level of endemism, biological diversity.

Effects of Fumigation with SO₂, NO₂ and their Mixture on Ascorbic Acid in Chinese Cabbage. Yu Fei, Xu Yigang, Qin Wenjuan (Nanjing Institute of Environmental Sciences, National EPA of China, Nanjing 210042): *Chin. J. Environ. Sci.*, **14**(1), 1993, pp. 64—66

Effects of different doses of SO₂ (0.1—0.25 ppm), NO₂ (0.05—0.25 ppm) and their mixtures on the contents of ascorbic acid in Chinese Cabbage (*Brassica Chinese*) were investigated by using an top-open field chamber device. The results show that the content of ascorbic acid in Chinese Cabbage goes down as the concentrations of SO₂ and NO₂ increase, and SO₂ exerts greater influence on the level of ascorbic acid in the vegetable than NO₂. As ascorbic acid in Chinese Cabbage is reduced, the amount of chlorophyll dropped also. A linear correlation exists between the reduction rate of ascorbic acid and the injury rate of leaves of Chinese Cabbage.

Key words: Chinese Cabage, SO₂, NO₂, fumigation Ascorbic acid.

Toxicity of Mercury Ion and Cypermethrin Pesticide to *Tetrahymena Pyriformis*. Xu Yongxiang, Xiu Ruiqin et al. (Institute of Environmental Health and Engineering, Chinese Academy of Preventive Medicine, Beijing 100050): *Chin. J. Environ. Sci.*, **14**(1), 1993, pp.67—69

The toxicity of mercury ion and pesticide cypermethrin to *tetrahymena pyriformis* was observed in this study according to the method of aquatic toxicology. Results show that the rate of cell division multiplication of *tetrahymena pyriformis* decreases obviously with the increase of concentrations of mercury ion and the pesticide. The lowest effective concentrations for an observation period of 24h were 0.0001mg/L for mecury ion and 0.01 mg/L for cypermethrin, respectively. The lowest effective concentrations for a 48 h observation