

洗涤剂禁(限)磷对流域水质影响预测^{*}

杨 扬^{1,2} 熊 丽¹ 刘明清²
韩静磊² 陈锐成² 吴振斌¹ 成水平¹

(1:中国科学院水生生物研究所,武汉 430072;2:国家环境保护总局华南环境科学研究所,广州 510655)

提 要 本文在确定流域洗涤剂的磷在水体磷负荷中所占的比重及贡献率的基础上,采用 Thomaam 数学模型,对在实施洗涤剂禁限磷措施后,流域水质的响应进行预测,并评估洗涤剂禁限磷的环境效果.水质预测结果表明,实行限、禁磷措施后,供水水质磷含量将从目前的 0.24mg/L 降至 0.18mg/L,磷负荷削减了 25%;如严格控制流域畜禽散养,削减非点源磷盐 60%,供水水质处于地面水 II 类水质(0.1mg/L)标准临界水平.

关键词 洗涤剂 禁(限)磷 流域 水质模型 预测

分类号 X52

随着现代社会的发展,合成洗涤剂已成为人们日常生活中不可缺少的大众消费品.目前我国一些湖泊和水库富营养化状况日趋严重,而洗涤剂中所含的无机磷酸盐如果随生活污水直接进入这些富营养化水体,会增加水体的营养负担,因此关于禁止和限制含磷洗涤剂的问题开始受到越来越多的关注.我国洗涤剂的人均用量虽然很低,但近年来局部地区像太湖、巢湖、滇池及沿海地区已出现较严重的水体富营养化污染,这引起了有关部门的极大重视,提出了在敏感水域,特别是太湖等环境要求高,富营养化严重的水域要采取限、禁磷措施.为此,我国第一个涉及禁磷的法则《江苏省太湖水污染防治条例》于 1996 年 10 月起正式施行.条例明确规定,自 1999 年 1 月 1 日起江苏省太湖流域一、二级保护区禁止销售、使用含磷洗涤剂,三级保护区内控制销售、使用含磷洗涤剂.云南省的洱海也有明文规定,开始了禁、限磷的工作.另外,在《滇池保护条例》中也加入了禁用含磷洗涤剂方面的规定;昆明市政府及云南环保办已明确发文,为确保 1999 年底滇池污染治理措施得到保障,市政府及云南环保办组织各有关部门加强监督和管理,切实保证 1999 年禁止销售含磷洗涤剂及逐步取缔使用^[1].深圳市政府也于 1999 年 7 月 26 日发布了《关于禁止销售使用含磷洗涤剂的通告》,并于 10 月 1 日起生效.日前辽宁省政府决定,从 2000 年开始,在辽宁渤海地区的锦州、营口、盘锦和葫芦岛 4 市区实施“禁磷”,并且大连市和抚顺市的大伙房水库上游地区均已全面“禁磷”.

但值得注意的是,在国际上发达国家的洗涤剂禁限磷潮流中,一直存在着争议,争议的焦点就是花费巨大的人力物力进行洗涤剂禁磷是否有科学依据?是否能真正有效地改善水环境^[2-4]? 本文将在对南方某供水 D 流域磷的来源及洗涤剂的使用情况调查的基础上,确定洗涤剂的磷在水体磷负荷中所占的比重及贡献率,并采用数学模型,在实施洗涤剂禁限磷措施后,对流域水质进行预测,以评估洗涤剂禁限磷的环境效果.

* 收稿日期:2001-04-10;收到修改稿日期:2001-06-14. 杨扬,女,1960年生,博士,高级工程师.

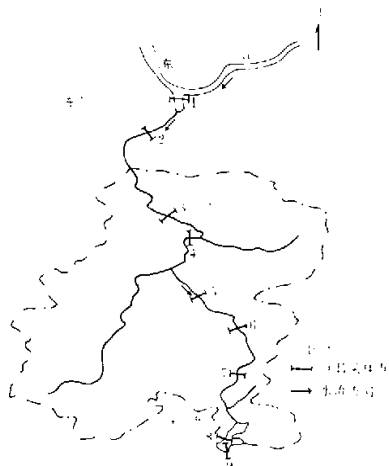


图1 流域位置及断面示意图

Fig.1 Location and section of valley

1 流域洗涤剂磷负荷贡献率

1.1 流域基本情况

D流域位于广东省东莞和深圳境内,是为解决沿线地区用水需要而建设的跨流域引水工程,年供水能力达到17.43亿 m^3 ,水源取自东江.流域呈南北走向,全长约80km(图1).流域面积约为682 km^2 ,流域内全部人口155.06万人,其中常住23.40万人,外来人口131.66万人,人口密度2530人/ km^2 ,外来人口的大量涌入,并逐渐占据本流域的主导地位,成为主要的污染源.

1.2 流域点源输入磷负荷

流域内的点污染源主要为:工业型点源、市政、生活型点源及集约化养殖业污水等,流域点源各种途径磷组成见表1^①.

表1 流域点源组成各种途径磷负荷

Tab.1 Phosphorus load come from kinds of point source on valley

发生途径	负荷(t/a)	百分比(%)
洗涤剂	427.75	37
人体排泄	512.27	45
第三产业	22.78	2
集约化养猪	164.11	14
工业污染源	25.97	2
合计	1152.2	100.00

1.3 流域非点源污染

流域非点源输入,主要由以下部分组成:城镇不透水地面降雨径流输入、水土流失养分输入、果园、菜地径流输入、垃圾渗滤液输入、禽畜散养输入,流域面源各种途径磷组成见表2^[5],可见城镇不透水地面及水土流失面源磷负荷是流域面源输入磷负荷的最大来源,这与流域迅速的城镇化及人们日益频繁的经济活动有密切关系.

1.4 流域洗涤剂排磷量贡献率分析

上述研究结果表明,D流域地区洗涤剂排磷占入流域总磷负荷的28.5%(占点源输入的近40%),这与日本70年代中期禁磷前的水平相一致(平均20%以上),并高于西欧的一些未禁磷国家(14%~19%)^[5].不同排磷途径大小的顺序,依次为人体排泄>洗涤剂>集约化养

① 杨扬等.典型流域磷源控制管理对策研究.华南环境科学研究所,2000

猪>城镇地表>禽畜散养>水土流失>库周面源>果园菜地>工业污染源>第三产业>降雨输入>垃圾渗滤。

表2 流域面源组成各种途径磷输入对比

Tab.2 Contrast on Phosphorus input of kinds of non-point source on valley

	负荷(t/a)	百分比(%)
降雨输入	1.01	0.27
库周面源	46.37	12.28
城镇地表	100.67	26.67
果园菜地	44.32	11.74
水土流失	88.04	23.32
禽畜散养	96.19	25.48
垃圾渗滤	0.86	0.23
合计	377.46	100

表3列出了流域磷负荷来源比较结果^①,从表3中可知,各种输入途径的输入量总计约为1548.63t/a,其中点源及主要河流流域输入为1152.15t,约占总输入量的72.9%;流域面源输入负荷约为377.46t,占总输入量的23.9%。尽管点源所占的比重大于面源,但点源、面源输入负荷之比约为3:1,由此可见,面源污染负荷不容忽视。随着流域各镇污水处理厂的陆续兴建,重点污染企业的达标及其它点源污染逐步得到有效治理,面源污染的比重将日益凸现。

表3 流域点、面源输入磷负荷对比

Tab.3 Contrast on phosphorus load of point and non-point input on valley

磷负荷输入途径	负荷(t/a)	百分比(%)
东江抽水输入	49.5	3.2
点源输入	1152.15	72.9
面源输入	377.46	23.9
合计	1579.11	100.0

1.5 含磷洗涤剂贡献率预测^①

洗涤剂排放到环境中磷贡献率的预测是根据预测人口数量和每年人均洗涤剂用量及洗涤剂中含磷量计算。

关于流域每年人均洗涤剂用量,与该地区人们的生活水平与生活习惯密切相关。该地区由于经济发达,人们的生活水平在国内已达最高,并因为所处地域气候属热带亚热带,因此,其洗涤剂用量接近或超过世界人均8-9kg/(人·a)的水平。根据国内外的大量研究成果以及本研究流域内的调查结果,洗涤剂用量,认为可取10kg/(人·a),TP含量根据洗衣粉、清洁剂及洗发液含磷量加权为3.1%。

预测2002年流域人口为167.6万人,洗涤剂总磷排放量为519.56t/a。如果仅以洗涤剂排磷和人体粪便排磷作为生活污水中磷的主要来源,则预测含磷洗涤剂贡献率约为生活污染源的50%。

① 扬扬等.典型流域磷源控制管理对策研究.华南环境科学研究所,2000

2 水质预测模型

考虑到流域供水系统的水环境特性,水道较为窄浅,水质在横向和垂向分布较易混合均匀,采用一维有限分段模型,能有效地表述 D 流域系统的水质状况.

2.1 模型形式

将流域分成 N 段,则 TP 的 Thomoamn^[6]模型具有如下形式:

$$GL_c = W_c \quad (1)$$

其中,向量 $L_c = \text{dig}(l_{c1}, \dots, l_{cn}) \in R$,为 N 个河段的 TP 指标向量; $W_c = \text{dig}(W_{c1}, \dots, W_{cn}) \in R$,为 TP 源向量; $G = (g_{ij}) \in R$,为三对角矩阵,且

$$\left. \begin{aligned} g_{i,i-1} &= -Q_{i-1,i} - \alpha_{i-1,i} - D'_{i-1,i} \\ g_{i,i} &= Q_{i,i+1}\alpha_{i,i+1} - Q_{i-1,i} - \beta_{i-1,i} + D'_{i-1,i} + D'_{i,i+1} + V_i(K_{1i} + K_{3i}) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中: $Q_{i-1,i}$ 为流量值 (m^3/s); K_{1i} 为 TP 降解系数 ($1/\text{d}$); K_{3i} 为沉浮影响系数 ($1/\text{d}$); $D'_{i-1,i} = A_{i-1,i}E_{i-1,i}/\Delta X_{i-1,i}$; $A_{i-1,i}$ 为 $i-1$ 及 i 河段间的界面过水面积 (m^2); $E_{i-1,i}$ 为 $i-1$ 及 i 河段间的弥散系数 (m^2/s); $\Delta X_{i-1,i}$ 为 $i-1$ 及 i 河段长度平均值 (m); V_i 为 i 河段的水体体积 (m^3); $\alpha_{i-1,i}$ 为权重系数, $\alpha_{i-1,i} = \Delta X_i / (\Delta X_{i-1} + \Delta X_i)$; $\beta_{i-1,i}$ 为权重系数, $\beta_{i-1,i} = 1 - \alpha_{i-1,i}$.

2.2 模型参数

(1) 弥散系数 E : 根据有关研究^①, D 流域系统河道弥散系数 E , 可由下面公式近似计算, 然后根据实际情况进行修正.

$$E = anUHb \quad (3)$$

其中, a 为常数, 据有关研究其取值为 8.72, n 为河道糙率, 取值为 0.018-0.025, U 为平均流速, H 为平均水深, b 为指数常数, 这里取值为 0.8667.

(2) 降解、沉浮系数: 根据有关研究, D 流域系统水质参数取值范围: TP 降解系数 K_n 为 0.02-0.11/d.

2.3 模型参数检验

根据确定的断面参数值(图 1), 配以相应的初始边界条件, 通过模型求解出相应的水质与

表 4 1999 年水质计算与实测值比较表(年均值)(TP)

Tab. 4 Contrast on calculation and actual value of phosphorus in water quality (annual average value)

河段	污染源(g/s)	计算浓度(mg/L)	实测浓度(mg/L)	绝对误差(mg/L)	相对误差(%)
1	0.01	0.06	0.06	0.00	0.00
2	3.82	0.11	0.10	0.01	10.00
3	12.96	0.34	0.30	0.04	13.33
4	3.51	0.36	0.32	0.04	12.50
5	0.81	0.39	0.35	0.04	11.43
6	5.49	0.45	0.39	0.06	15.38
7	2.59	0.47	0.42	0.05	11.90
8	0.06	0.25	0.24	0.01	4.17
∑/n		0.30	0.27	0.03	9.84

① 陈毓成等. 石马河污染状况及水环境容量计算. 华南环境科学研究所, 1996

实测值比较,以检验模型参数的正确性,表 4 为实测值(1999 年)与计算值比较,由表可见,相对误差与绝对值均较小,平均系统相对误差并小于 10%,说明模型参数取值是可行的,模型有较高的模拟精度,是水质模拟计算的有效工具。

3 流域 TP 水质预测计算及结果分析

预测水平年为 2002 年;计算水文条件是 50% 年径流的丰水期和枯水期;表 5 为 2002 年流域水质 TP 计算结果。

表 5 2002 年流域水质计算结果
Tab. 5 calculation result of water quality on valley

河段	1	2	3	4	5	6	7	8
方案 1	0.05	0.07	0.23	0.26	0.28	0.31	0.34	0.18
方案 2	0.05	0.07	0.18	0.20	0.23	0.24	0.27	0.14

方案 1 为生活点源削减率 50%,非点源削减 10%,工业点源达标排放的各计算河段水质情况,结果表明,1 至 2 段能满足 0.1mg/L 的水质标准,其它各计算河段水质均超过 0.1mg/L 的水平。

方案 2 为生活点源削减率 50%,非点源削减 60%,工业点源达标排放的各计算河段水质情况,可以看出,各河段水质计算结果较方案 1 基本一致,但水质浓度明显降低。

4 洗涤剂限、禁磷水质响应效果评估

从除磷的效果来看,实行限、禁磷措施后,按 2002 年估算可削减流域内磷发生量的 520t/a,约占入流域总量的 28%,生活点源的 50%;并且水质预测结果也表明,供水水质磷含量将从目前的 0.24mg/L 降至 0.18mg/L,磷负荷削减了 25%;如严格控制流域禽畜散养,削减非点源磷盐 60%,供水水质将达到 0.14mg/L,处于地面水 II 类水质(0.1mg/L)标准临界水平。

从控制供水水质富营养化的角度考虑,实施洗衣粉“禁磷”措施应是比较有效的,其投资费用较低,并且实施费用可转入工厂生产成本和居民洗涤费用分担,因此,该项措施在三级污水处理系统建成之前,对削减该流域的磷负荷具有重要的作用。

可见实行限、禁磷措施后,尽管不能彻底解决水体富营养化的问题,但却是减少磷排放,降低水体中总磷含量成本最低,最简单直接的措施。

参 考 文 献

- 1 胡 明等.太湖富营养化现状及其防治对策.中国环境管理.1998,(6)
- 2 Novotny V, Olem H. Water quality: prevention, identification and management of diffuse pollution. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1993
- 3 US EPA. National water quality inventory. Report to Congress Executive Summary. Washington DC: USEPA 1995.487
- 4 高锡芸等.富营养化与洗涤剂禁(限)磷的思考.环境保护,1997,(9):43-46
- 5 舒金华,黄文钰,高锡芸等.发达国家禁用(限用)含磷洗衣粉的措施.湖泊科学,1998,10(1):90-95
- 6 黄 平编著.水环境数学模型及其应用.广州出版社,1996

Prediction of the Impacts of Banning/Restricting Phosphorus in Detergents on the Valley Water Quality

YANG Yang^{1,2} XIONG Li¹ LIU Mingqing² HAN Jinglei²
CHENG Xiancheng² WU Zhenbin¹ CHENG Shuiping¹

(1: *Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, P. R. China;*

2: *South China Institute for Environmental Sciences, SEPA, Guangzhou 510655, P. R. China*)

Abstract

In this paper, on determination the proportion and contribution rate of the phosphorus in detergents to the phosphorus loading in the water body, the mathematical model of Thomamn is employed to predict the response effect arising from restricting or banning phosphorus in detergents. The prediction results show that phosphorus content of the water will reduced to 0.18mg/L from the present 0.24mg/L and the phosphorus loading will decrease by 25%; if the scattered culture of poultry and livestock in the valley pollution source by 60%, the water can achieve phosphorus quality standard of Class II (0.1mg/L) of surface water.

Key Words ban/limitation; detergent; phosphorus; prediction; valley; water quality model