

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.06.008

兰州市水污染特征分析与预测

王秀娜¹,杨太保¹,闫 晶¹,姜 珊¹,金庆森²

(1.兰州大学资源环境学院 西部环境教育部重点实验室,甘肃 兰州 730000;2.兰州市环境保护局,甘肃 兰州 730000)

摘要 :以 2005—2009 年兰州市水环境统计数据为基础,对兰州市水污染现状进行分析评价;以 1990—2009 年市区非农业人口数据为基准,选取二次移动平均法预测 2010—2015 年兰州市区非农业人口数,并由此预测兰州市区生活污水排放量,选用灰色系统理论模型对兰州市工业废水排放量进行预测,将统计数据与预测数据进行综合分析,得出兰州市城市污水各种排放类型的排放量及变化趋势。结果表明:兰州市水污染以生活污水为主,并呈逐年增大趋势。指出应加大废污水综合治理与执法力度,落实各项治污配套措施,加强城市污水再生利用。

关键词 :水污染;分析预测;防治措施;兰州市

中图分类号 :X52 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-6933(2011)06-0032-04

Characteristic analysis and prediction for water pollution in Lanzhou City

WANG Xiu-na¹, YANG Tai-bao¹, YAN jing¹, JIANG Shan¹, JIN Qing-sen²

(1. Key Laboratory of Western China's Environmental Systems under the Ministry of Education, College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 2. Lanzhou Municipal Environmental Protection Bureau, Lanzhou 730000, China)

Abstract :Based on statistical data regarding the water environment in Lanzhou City from 2005 to 2009, the water pollution situation in the city was analyzed and evaluated. Based on non-agricultural population data from the urban area of Lanzhou City from 1990 to 2009, the non-agricultural population of the urban area of the city from 2010 to 2015 was predicted using the second-order moving average model, and thus the discharge of domestic sewage in the urban area of the city could be predicted. The grey system theory model was used to predict the discharge of industrial wastewater in Lanzhou City. Then, the discharge of various types of municipal sewage and their change trends in Lanzhou City were obtained through comprehensive analysis of the statistical and predicted data. The study results show that the water in Lanzhou City is polluted mainly by domestic sewage and the pollution has an increasing trend year by year. It is pointed out that the integrated management and execution of environmental laws should be strengthened, measures for water pollution prevention should be taken, and the utilization of recycled urban sewage should be increased.

Key words :water pollution; analysis and prediction; prevention measures; Lanzhou City

中国是世界上最缺水的国家之一,全国 600 多个城市中目前大约有一半左右的城市缺水,水污染更使水资源短缺雪上加霜。我国水体污染源主要来自两方面:一是工业发展超标排放的工业废水;二是城市化进程中由于城市污水排放而集中处理设施严重缺乏,大量生活污水未经处理直接进入水体^[1]。

随着社会经济的发展,人类对洁净水的需求量不断增加,合理利用现有水源,保护现有水源不受污染,治理生活污水和工业废水以及污水回用,不仅是我国城乡面临的当务之急,而且是当今世界性的问题。由于我国城市化的快速发展,城镇人口急剧增加,加上我国过去过多地把环境污染防治的重点放在工业

废水污染防治上,城市生活污水的污染防治相对滞后。随着城市污水排放量增加,环境基础设施建设又跟不上城市化发展速度,致使城市生活污水成为水污染的一个重要来源^[2]。笔者对兰州市水污染现状进行评价,预测分析未来几年兰州市城市工业废水和生活污水排放量及所占比例,并针对其特点对水环境治理提出建议。

1 数据来源及研究方法

1.1 数据来源

数据来源于兰州市环境保护局、兰州市环境监测站 2005—2009 年的水环境统计数据,以及文献[3]中提供的人口及其他数据。

1.2 研究方法

1.2.1 灰色预测模型

灰色系统是指部分信息明确、部分信息不明确的系统。由于工业废水的排放量受多种因素影响,有的因素较明确,有的不明确,故可看成一个灰色系统。根据实际情况,工业废水排放量的历史数据为一时间序列,而且只有一个时间序列,为了建立精度较高的预测模型,特别选定了 GM(1,1)模型^[4]。GM(1,1)表示 1 阶、1 个变量的微分方程:

$$\frac{dy(t)}{dt} + ay(t) = u$$

式中: a 、 u 为参数,在建模型时求得; $y(t)$ 是原始数据 $x(t)$ 的累加生成数据。

GM(1,1)建模具体过程如下:

a. 求原始数据的累加生成数据。

$$y(k) = \sum_{t=1}^k x(t) \quad (k = 1, 2, \dots, n)$$

b. 取 $y(0) = y(1)$,求紧邻均值。

$$Z(k) = \frac{1}{2}(y(k) + y(k - 1))$$

c. 用最小二乘法求 GM(1,1)模型中的参数 a 、 u ,满足

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y = \begin{pmatrix} a \\ u \end{pmatrix}$$

$$\text{其中 } B = \begin{pmatrix} -Z(2) & 1 \\ -Z(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -Z(k) & 1 \end{pmatrix} \quad Y = \begin{pmatrix} x(2) \\ x(3) \\ \vdots \\ x(k) \end{pmatrix}$$

d. 确定 GM(1,1)模型的白化方程及时间响应式。

$$\frac{dy(t)}{dt} + ay(t) = u$$

$$\hat{y}(t + 1) = \left(x(1) - \frac{u}{a} \right) e^{-at} + \frac{u}{a}$$

e. 对时间响应函数离散化,求得预测模型。

$$\hat{Y}(k + 1) = \left(x(1) - \frac{u}{a} \right) e^{-ak} + \frac{u}{a}$$

f. 生成预测值^[4-5]。

$$\hat{x}(k + 1) = \hat{Y}(k + 1) - \hat{Y}(k)$$

1.2.2 二次移动平均法

移动平均法是修匀时间序列的一种方法。它是从时间序列的首项数据开始,按拟定的移动项数求时序平均数,而后项逐项移动,求出移动平均数。这些移动平均数构成一个新的时间序列。这个新的时间序列把原序列的不规则变动加以修匀,变动趋于平滑,使长期趋势比较清楚地显现出来^[6]。

a. 一次移动平均数法公式:

$$\bar{x}_{t+1}^{(1)} = \frac{X_t + X_{t-1} + \dots + X_{t-n+1}}{N_1}$$

式中: t 为周期数; $\bar{x}_{t+1}^{(1)}$ 为第 t 周期的平均数(1)代表一次移动; X_t 为第 t 周期的数据; N_1 为平均数的分段数据数。

b. 在第一次移动平均数据的基础上,再进行一次移动平均的预测法称作二次移动平均法。当时间序列数据具有线性趋势时,它用来修正第一次移动平均值的“滞后现象”。“滞后现象”是当数据具有线性趋势,分析线无法与实际线相吻合、总要落后于数据的步进而发生的一种滞后偏差。

首先,计算二次移动平均数^[6-8]:

$$\bar{x}_{t+1}^{(2)} = \frac{\bar{x}_t^{(1)} + \bar{x}_{t-1}^{(1)} + \dots + \bar{x}_{t-n}^{(1)}}{N_2}$$

式中: $\bar{x}_{t+1}^{(2)}$ 为二次移动平均值; N_2 为二次移动平均数的分段数据数;其余同前。然后,计算平滑系数:

$$a' = 2\bar{x}_{t+1}^{(1)} - \bar{x}_{t+1}^{(2)}$$

$$b' = \frac{2}{N_2 - 1}(\bar{x}_{t+1}^{(1)} - \bar{x}_{t+1}^{(2)})$$

最后,建立线性关系模型:

$$Y_{t'+T} = a' + b'T$$

式中: $Y_{t'+T}$ 为由 t' 到 T 周期的预测值; t' 为目前周期数; T 为由目前周期 t 到需要预测的周期的间隔数; a' 为目前周期数据水平; b' 为单位周期变化量。

2 水污染现状

2.1 研究区水环境概况

兰州市地处东经 102°30′~104°30′、北纬 35°5′~38°之间,为西北地区重要的工业城市。具有典型的大陆性气候特征,水资源短缺,多年平均降水量 300 mm 左右,境内多年平均自产径流量不足全国平均水平的 1/3,境内自产水资源占有量只有全国人均水平的 22%^[9]。因此研究兰州市水污染特征,对

优化污水处理效率、解决兰州市水资源短缺和水污染问题尤为重要。

兰州城市用水主要取自黄河,水源地包括西固西柳沟岸门桥地表水源、迎门滩和崔家大滩地下水源,其中地表水源地取水量高于90%。地表水资源总量为自产水资源量与入境水资源量之和。全市多年平均地表水资源总量为325.67亿m³,其中黄河干流区为279.13亿m³,占全市地表水资源总量的85.71%,湟水、大通河区为44.09亿m³,庄浪河区为2.03亿m³,宛川河区为0.42亿m³。

2.2 污水排放总量变化

据兰州市环保局统计数据,兰州市污水排放总量从2005年的16726.80万t增加到2009年的16867.26万t,全市污水排放量略有上升,其中工业废水排放量从2005年的4351.80万t降低到2009年的2944.70万t,而生活及其他污水排放量呈增加趋势,从2005年的12375.00万t增加到2009年的13922.56万t(图1)。

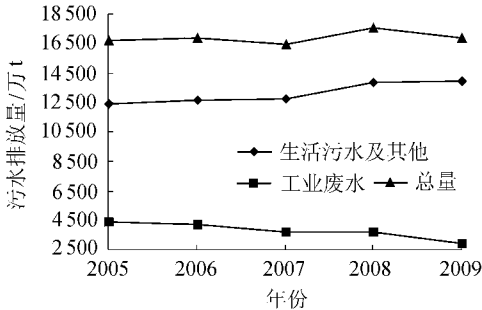


图1 兰州市2005—2009年污水排放量变化趋势

2.3 重点工业企业废水排放量变化

2005—2009年兰州市重点工业企业废水排放量下降明显,尤其是2009年较2008年有大幅下降,废水排放达标率逐年上升,截至2009年兰州市重点工业企业废水排放达标率已达到98.71%。这与2009年兰州市加强对排污企业管理,推行节水措施,部分企业新上污水回用及处理设施有关,另也有企业因经济危机等因素产能下降的原因。基于以上因素,2009年兰州市重点工业企业废水排放量降低明显,相应的工业COD、NH₃-N排放量也都有所下降(表1)。

表1 兰州市2005—2009年重点工业企业废水排放明细

年份	废水排放量/万t	排放达标量/万t	达标率/%	COD排放量/t	NH ₃ -N排放量/t
2005	4351.80	3946.76	90.69	3583.40	267.10
2006	4254.99	3812.57	89.60	3149.79	281.95
2007	3724.78	3384.34	90.86	2112.06	229.14
2008	3737.12	3680.77	98.49	2199.38	205.34
2009	2804.50	2768.33	98.71	1834.62	134.41

2.4 生活及其他污水排放量变化

2009年兰州市生活污水排放量为13922.56万t。

截至2009年,兰州市区共有污水处理厂4座,污水处理能力为61.5万t/d,全年城市生活污水处理量为9025.86万t,城市污水处理率为64.83%(表2)。由表2还可以看出,2007—2009年生活污水中COD排放量比较稳定,基本维持在4.6万t左右,但其去除率有大幅提高。

表2 兰州市区2005—2009年城市生活污水处理情况

年份	污水排放量/万t	污水处理量/万t	污水处理率/%	COD排放量/t	COD去除量/t	COD去除率/%
2005	5470.14	3413.33	62.40	42222.70	15717.50	27.13
2006	8042.86	3692.97	45.92	47011.17	14367.28	23.41
2007	8058.24	3935.90	48.84	46658.54	15252.40	24.64
2008	13859.05	5564.17	40.15	46854.62	17660.95	27.37
2009	13922.56	9025.86	64.83	46062.38	23438.91	33.72

综上所述,兰州市2005—2009年城市污水处理能力逐步提高,尤其是工业废水排放达标率稳步提高,但生活污水处理率偏低,已成为制约兰州市水环境改善的“瓶颈”。

3 污水排放量预测与水污染问题分析

3.1 工业废水排放量预测

根据文献[3],兰州市2005—2009年工业废水排放量是逐渐减少的。应用灰色预测模型对工业废水排放量进行预测,得到 $a = 0.117$, $u = 5048.7$,则由

$$Y(k+1) = -38914.1e^{-0.117k} + 43265.9$$

$$\hat{x}(k+1) = Y(k+1) - Y(k)$$

可预测兰州市2010—2015年工业废水排放量:2010年为2690.82万t,2011年为2393.71万t,2012年为2129.41万t,2013年为1894.29万t,2014年为1685.13万t,2015年为1499.07万t。

3.2 生活污水排放量预测

依据调查结果、专家意见及兰州市环保局2009年环境统计报表数据,确定兰州市2010—2015年4城区生活污水排放量按非农业人口200kg/(d·人)计算,COD排放量按90g/(d·人)计算,NH₃-N排放量按8g/(d·人)计算,3县及红古区生活污水排放量按非农业人口100kg/(d·人)计算,COD排放量按70g/(d·人)计算,NH₃-N排放量按7g/(d·人)计算。

参照文献[3],以1990—2009年市区非农业人口总量数据,利用二次移动平均法预测2010—2015年兰州市区非农业人口数:

$$Y = 204.35 + 4.92T$$

式中:Y为预测年人口规模;T为预测年与基准年的年份差。

根据年鉴人口统计数据,2005—2008年4城区非农业人口和3县及红古区非农业人口在全市总非农业人口中的比例变化不大。预测在2010—2015年4

城区非农业人口比例为 88% 3 县及红古区的非农业人口比例为 12%。由此分别得到兰州市 2010—2015 年 4 城区、3 县及红古区非农业人口数(表 3)。

预测兰州市 2010—2015 年市区生活污水排放量、COD、NH₃-N 排放量结果见表 4。

表 3 兰州市 2010—2015 年非农业人口数量预测 万人

年份	4 城区	3 县及红古区	总数
2010	184.16	25.11	209.27
2011	188.49	25.70	214.19
2012	192.82	26.29	219.11
2013	197.15	26.88	224.03
2014	201.47	27.47	228.95
2015	205.80	28.06	233.87

表 4 兰州市 2010—2015 年市区生活污水排放量预测

年份	COD 排放量/万 t	NH ₃ -N 排放量/t	排放总量/万 t
2010	6.69	601.90	14360.20
2011	6.85	616.05	14697.82
2012	7.00	630.21	15035.44
2013	7.16	644.35	15373.07
2014	7.32	658.48	15709.96
2015	7.48	672.63	16047.59

3.3 污水排放量对比分析

根据以上预测结果,综合分析可得 2005—2015 年兰州市工业废水和生活污水排放量各占城市总污水排放量的比例(图 2)。

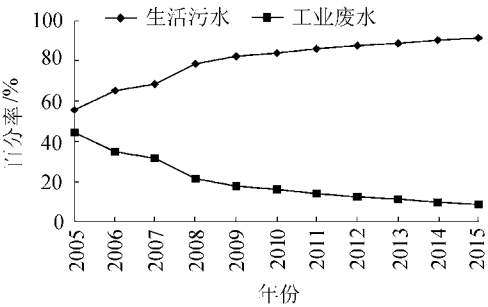


图 2 兰州市 2005—2015 年工业废水及生活污水排放比例变化趋势

由图 2 可见,兰州市城市生活污水在未来几年比重逐年增大,而工业废水比重逐年降低。从历年兰州市现状城市污水量分析,兰州市总体规划污水量数据偏大,尤其是工业方面更为突出,与现状工业发展有较大差距,工业废水的排放率降低势在必行,故应调整总体规划数据。同时由于目前城市工业废水治理水平已经较高且呈稳步发展趋势,而生活污水处理率偏低,成为制约城市水环境改善的主要因素,因此兰州城市水污染治理应将城市生活污水的治理放在一个更为重要的位置。

4 污染防治措施

综上所述,在维持城市工业废水排放达标率稳步增长的前提下,生活污水治理应该作为兰州市未

来几年水环境治理的重点。

4.1 加大废污水综合治理与执法力度

通过对兰州市水污染进行现状分析和未来预测,发现兰州市水污染一直以来都是生活污染占主要部分,且其比例呈现逐年增大的趋势。因此,水污染防治工作必须实施综合治理。对于工业废水,要实施入黄排污许可制度及污染物总量控制,严厉查处超排、偷排污染单位;对排污大户和不达标企业要实行限期治理,治理无望的要坚决关、停、并、转;对城镇生活污水,要增加资金投入,加快污水管网设施、污水处理厂和污水回用系统的建设,提高污水的处理率和回用率,降低排入黄河的污染物总量。

4.2 切实落实各项治污配套措施

进一步加快城市污水处理基础设施建设,不仅要依靠政府投资建设,而且应制定优惠政策,大力支持、鼓励和引导社会资金投资环保建设,特别是要关注在建的和已建成而未投入运行的污水处理厂,促使其尽快投入运营,高度重视城市污水管网建设,在污水处理厂建设中,污水收集管网应同步进行,决不能让已建成的污水处理厂长期“大马拉小车或不拉车”,努力提高污水处理达标率,保证正常运转,避免时开时停,充分提高中水回收利用率,积极推进城市污水处理体制改革,使污水处理逐步实现市场化。

4.3 加强城市污水再生利用

随着水资源的日趋紧张,经过净化、处理后的城市污水成为一种稳定的新水源。面对兰州城市生活污水排放量不断增加和水资源短缺问题愈加突出的现状,加强城市污水的再生利用已势在必行。

参考文献:

[1] 白炜.关于城市生活污水的防治[C]//水资源、水环境与水法制建设问题研究.2003 年中国环境资源法学研究会(年会)论文集:上册.青岛:中国海洋大学出版社,2003:269-272.

[2] 李伟,陈朴.简述城市生活污水的处理方法[J].高等教育研究,2008,25(1):94-96.

[3] 兰州市统计局,国家统计局兰州调查队.兰州统计年鉴 2009[M].北京:中国统计出版社,2009.

[4] 邓聚龙.灰色系统基本方法[M].武汉:华中理工大学出版社,1987:104-114.

[5] 熊孟英.一种实用的工业废水排放量的预测模型[J].环境与健康杂志,1996,13(2):75-76.

[6] 华伯泉.统计预测中的二次移动平均法[J].统计研究,1995(2):70-73.

[7] 汤江龙,赵小敏.土地利用规划中人口预测模型的研究[J].中国土地科学,2005,19(2):15-20.

[8] 贾刘强,舒波,唐由海.在城镇化发展目标研究中人口预测模型的运用[J].四川建筑科学研究,2008,34(1):198-201.

[9] 贡力.兰州市水资源承载力评价研究[J].人民黄河,2009,31(4):61-62.

(收稿日期 2010-10-12 编辑 徐娟)