

文章编号:2095-7386(2022)02-0044-08

DOI:10.3969/j.issn.2095-7386.2022.02.008

湖北省生活污水主要污染物的排放预测

黄 岚,徐卫健

(武汉轻工大学 化学与环境工程学院,湖北 武汉 430023)

摘 要:为了更好地加强对生活污水排放的管理,利用一元回归分析法对2005年至2019年湖北省的统计数据进行分析,以湖北省社会经济指标国民生产总值GDP、人口、城市化率为自变量,以生活污水排放量、生活污水COD排放量、生活污水氨氮排放量为因变量,建立因变量与自变量的一元回归分析模型,对“十四五”期间湖北省生活污水排放情况进行预测。预测结果表明:“十四五”期间,湖北省生活污水排放量总体仍将呈上升趋势,污水中COD、氨氮排放量将有所下降。研究结果可为湖北省生活污水处理和污水资源化利用提供宏观依据。

关键词:一元回归;生活污水;主要污染物排放

中图分类号:X 703

文献标识码:A

Predictions of main pollutant emissions from domestic sewage in Hubei province

HUANG Lan, XU Wei-jian

(School of Chemical and Environmental Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

Abstract: In order to better strengthen the management of domestic sewage discharge, the article uses Linear Regression of One-variable to analyze the statistical data from 2005 to 2019, takes social economic indicators gross national product GDP, population, urbanization rate in Hubei province as independent variables, takes life wastewater, sewage COD emissions, wastewater ammonia nitrogen emissions as the dependent variable, sets up One-variable Linear Regression analytical model concerning dependent variable and independent variable, forecasts the discharge of domestic sewage in Hubei province during the 14th Five-Year Plan period. The results show that during the 14th Five-Year Plan period, the domestic sewage discharge in Hubei province will be still on the rise. Domestic COD emissions and domestic ammonia nitrogen emissions will decrease to a certain degree. The results of this study can provide a macro basis for domestic sewage treatment and sewage resource utilization in Hubei province.

Key words: Linear Regression of One-variable; domestic sewage; discharge of major pollutants

1 引言

据统计^[1]数据显示,2019年湖北省废水排放总量为31.38亿吨,其中生活污水排放量为23.27亿

吨,约占总量的74.2%,由此可见,湖北省废水排放总量较大,且生活污水排放占比较重。加强重点流域水环境治理是“十四五”的重中之重,在湖北省水资源保护问题面临较大压力的情况下,持续加强生

收稿日期:2022-02-25.

作者简介:黄岚(1974-),女,硕士,讲师, E-mail:12548327@qq.com.

活污水排放管理、提高生活污水排放标准、减少污染物排放总量刻不容缓。

笔者基于 2005 年至 2019 年湖北省统计年鉴数据和湖北省生态环境统计公报数据,参照相关文献^[2-4],选择与生活污染物排放相关性较高的社会经济指标对“十四五”期间湖北省生活污水及主要污染物的排放情况进行预测,以期为湖北省水污染防治提供科学依据。

2 研究方法

2.1 数据来源

本文的数据主要来自湖北省生态环境厅 2005—2019 年《湖北省环境统计公报》^[1]、湖北省统计局 2005—2019 年《国民经济和社会发展统计公报》^[5]。

2.2 指标选择

笔者选择了与生活污染物排放相关性较高的社会经济指标对“十四五”期间湖北省生活污水及主要污染物的排放情况进行预测。生活污水排放指标包括污水排放量、化学需氧量(COD)和氨氮排放量^[2-4],社会经济指标包括 GDP、城市化率以及人口^[6]。以湖北省社会经济指标为自变量、生活污水排放量及污染物排放指标为因变量,建立一元回归模型^[7],从各种不同的函数模型中选择出与基础数据最为匹配的模型,用于对污染排放进行预测。

2.3 研究方法

2.3.1 ARIMA 模型预测法

利用 ARIMA 模型^[8]对 GDP 进行预测。首先对数据进行 ADF 检验,判断数据的平稳性,若数据非平稳,则对数据进行差分,差分后再次对差分数据进行 ADF 检验,直到数据平稳。在过程中所进行的差分次数就是 d 值的大小,根据最终的差分数据画出自相关图和偏自相关图,再根据图确定自相关阶数 p 和移动平均阶数 q 。对建立的模型进行拟合,使用拟合完成后的模型对序列进行短期预测。

2.3.2 马尔萨斯人口预测法

通过马尔萨斯人口模型^[9]预测人口增长率。笔者将模型的人口增长率分为高、中、低三个方案。高方案模型的人口增长率取 2005 年至 2017 年人口增长率的极大值,中方案模型的人口增长率取 2005 年至 2017 年人口增长率的平均值,低方案模型的人口增长率取 2005 年至 2017 年人口增长率的最小

值。分别计算出三个方案的预测值及相对误差,比较三个方案的预测结果,确定最佳的人口增长率及最终预测值。

2.3.3 回归预测法

回归分析^[10-12]预测有以下 5 个步骤。(1)根据需要的数据确定模型的自变量和因变量。(2)建立回归预测模型。根据前期收集的历史统计数据进行分析,在历史数据中建立回归方程。(3)进行相关分析。求出相关关系系数,根据计算所得的相关系数大小来判断所建立模型的相关程度。(4)检验回归预测模型是否合适,计算各模型的预测结果,比较预测值与实际值,计算预测误差,比较误差大小,确定最终模型。(5)根据回归模型计算出预测值,并对各预测值进行分析,确定最后的预测值。

3 结果与讨论

3.1 社会经济指标分析

笔者通过建立湖北省生活污水及主要污染物排放量与社会经济指标的一元回归模型,对 2021 年至 2025 年湖北省生活污水及主要污染物的排放量进行预测分析。为达到研究目的,需先对社会经济指标进行分析,并完成对 2021 至 2025 年湖北省社会经济指标的预测。

3.1.1 GDP 预测

查阅湖北省《国民经济和社会发展统计公报》^[5],绘制出 2005—2019 年的湖北省 GDP 数据图(见图 1),并利用 Eviews 10^[13]完成湖北省 GDP 数据的一阶差分(见图 2)。

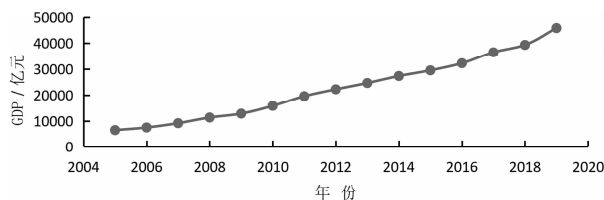


图 1 湖北省的 GDP 折线图

如图 1 所示,原序列呈现近似线性趋势,对其进行一阶差分。通过使用 EViews 软件对原序列作 ADF 检验,检验结果显示湖北省的 GDP 数据有 99.73% 的概率为非平稳序列。随后对 GDP 数据进行一阶差分,同时使用 ADF 检验确定数据的平稳性问题,检验结果显示一阶差分后的数据有 93.85% 的概率为非平稳序列。

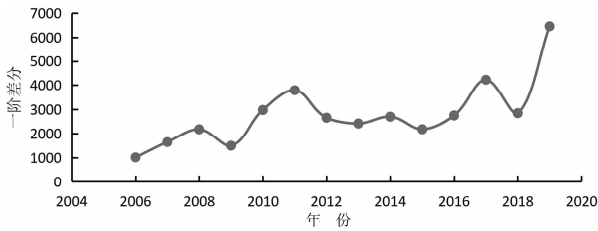


图2 GDP一阶差分折线图

由于一阶差分的数据非平稳,需对数据进行二阶差分,结果见图3。ADF 检验结果显示,二阶差分后的数据有 4.72% 的概率为非平稳序列。二阶差分序列为非平稳序列的概率很小,则认为二阶差分序列是平稳序列,最终确定湖北省的 GDP 数据在差分 2 次后达到平稳,模型 d 值为 2。已经知道湖北省 GDP 的二阶差分序列是一种平稳的时间序列,建立模型还需要确定自 p 值和 q 值,来作出湖北省 GDP 二阶差分数据的自相关函数图和偏自相关函数

图。分析函数图确定模型的自回归系数 p 为 1,移动平均系数 q 为 0,于是建立了 $ARIMA(1,2,0)$ 模型,对模型进行拟合,最终确定该模型可用于后续预测。

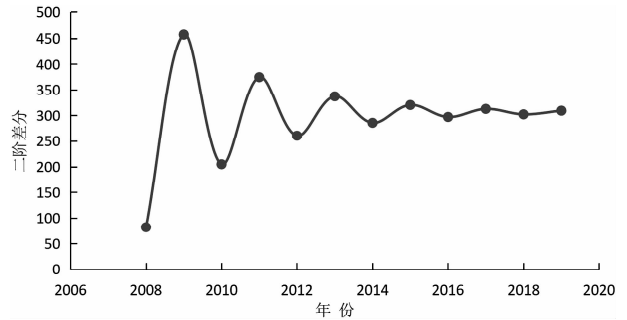


图3 GDP二阶差分折线图

利用 $ARIMA(1,2,0)$ 模型对湖北省 2008 年至 2019 年的 GDP 数据进行分析,并预测 2021 年至 2025 年湖北省的 GDP 数据,预测分析如表 1 所示。

表 1 湖北省 GDP 的 $ARIMA(1,2,0)$ 模型预测值(亿元)及相对误差(%)

年份	实际值	预测值	相对误差	年份	实际值	预测值	相对误差
2008	11 330.38	10 884.77	3.93	2017	36 522.95	35 358.35	3.19
2009	12 831.52	13 968.12	8.86	2018	39 366.55	41 050.14	4.28
2010	15 806.09	14 537.52	8.03	2019	45 828.31	42 519.41	7.22
2011	19 594.19	19 155.35	2.24	2020	—	52 594.55	—
2012	22 250.16	23 642.76	6.26	2021	—	59 668.48	—
2013	24 668.49	25 243.42	2.33	2022	—	67 047.93	—
2014	27 367.04	27 372.45	0.02	2023	—	74 734.38	—
2015	29 550.19	30 385.96	2.83	2024	—	82 726.82	—
2016	32 297.91	32 030.34	0.83	2025	—	91 025.93	—

2008 至 2019 年湖北省的 GDP 预测值与实际值平均误差仅为 3.93%,表明该模型能较好模拟 2008 至 2019 年湖北省的 GDP 数据。利用该模型对 2021 至 2025 年湖北省的 GDP 数据进行预测,结果分别为 59 668.48 亿元、67 047.93 亿元、74 734.38 亿元、82 726.82 亿元、91 025.93 亿元。

3.1.2 人口预测

参照湖北省 2006 至 2017 年的人口增长率(表 2),对 2018 至 2025 年湖北省的人口增长率分为高、中、低 3 个方案进行预测。其中,高方案的人口增长率为 0.61%,中方案的人口增长率为 0.31%,低方案的人口增长率为 0.07%。根据上述 3 种年人口增长率的方案,利用 Excel 对马尔萨斯人口模型进行求解,得出拟合值与预测值,并作出拟合与预测及实际值的图形,进行比较后结果见图 4 和表 3。

表 2 2006—2017 年的人口增长率(%)

年份	增长率	年份	增长率	年份	增长率
2006	0.30	2010	0.07	2014	0.29
2007	0.11	2011	0.59	2015	0.61
2008	0.21	2012	0.36	2016	0.57
2009	0.16	2013	0.35	2017	0.29

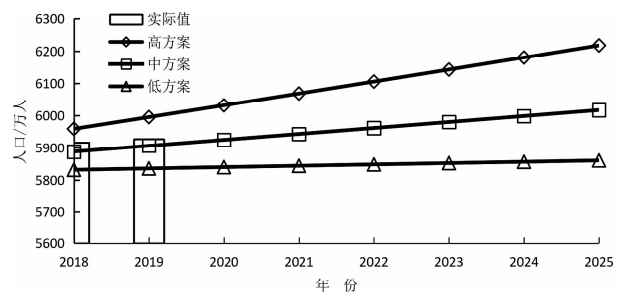


图4 湖北省2018年至2025年人口高、中、低方案预测

表 3 高、中、低方案误差对比 (%)

年份	误差		
	高方案	中方案	低方案
2018	0.71	0.48	1.43
2019	1.16	0.34	1.53

由图 4 和表 3 可知,高方案最大相对误差为 1.16%,中方案最大相对误差为 0.48%,低方案最大相对误差为 1.53%。比较分析发现,三种方案中中方案的相对误差最小,预测结果与实际数据较为吻合。所以,综合湖北省历年的人口数据、社会发展情况和国家生育政策,认为中方案的人口增长率比较符合湖北省未来 5 年的人口增长趋势,据此对 2021 至 2025 年湖北省的人口进行预测,结果分别为 5 943.4 万人、5 961.8 万人、5 980.3 万人、5 998.8 万人、6 017.4 万人。

3.1.3 城市化率预测

将 2005 年至 2019 年间的城市化率进行回归分析,结果如图 5 所示。所得回归方程的 R^2 较大,拟合程度较好。

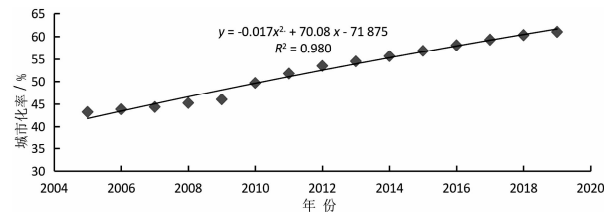


图 5 湖北省城市化率回归模型图

从图 5 曲线的形状上看,也基本与生长曲线中间阶段末期相吻合。根据湖北省城市化率的变化数据,可以得出该过程应该不是一个线性的过程,而是逐渐的陷入瓶颈。利用拟合公式,对 2021 至 2025 年间湖北省的城市化率进行计算,结果分别为

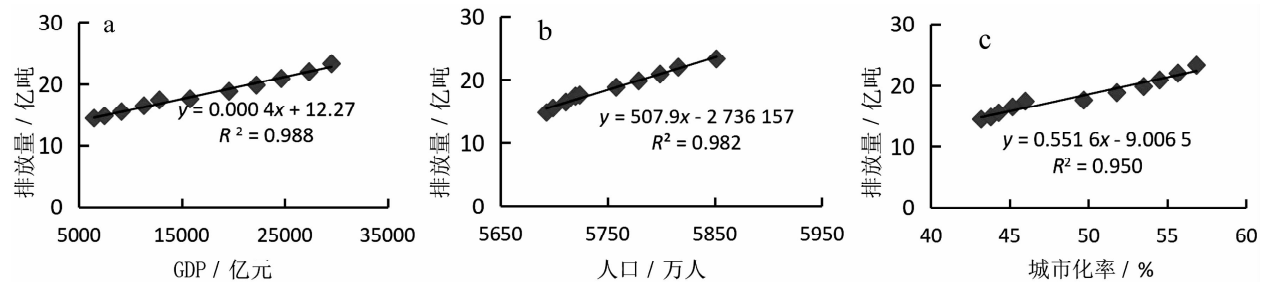


图 6 湖北省生活污水排放量与社会经济指标回归模型

以人口、城市化率、GDP 分别为自变量,对 2021 至 2025 年的生活污水排放量进行预测,见表 4。

63.37%、64.47%、65.52%、66.55%、67.54%。

GDP、人口数量及城市化率的预测数据可为 2021 年至 2025 年湖北省生活污水及主要污染物的排放量预测提供基础数据。

3.2 生活污水及污染物排放情况预测分析

3.2.1 生活污水排放量

图 6 为湖北省生活污水排放量与社会经济指标的回归模型。如图 6 所示,生活污水排放量与 GDP、人口、城市化率的模型拟合程度都较好, R^2 均大于 0.95,且自变量与因变量都表现为正相关。

由 GDP 与生活污水排放量的回归模型可以得到生活污水排放量的增长率为 0.000 4 亿吨每亿元。由图 6(a)可以看出,GDP 在 12 834 亿元与 15 806 亿元之间时生活污水排放量无明显增涨,15 806 亿元所对应的 2010 年国家完成了第一次全国污染源普查,对全国污染物的排放情况有了更准确、详细的了解,这可能是造成增长率无明显变化的原因。

在人口与生活污水排放量的回归模型中,生活污水排放量的增长率约为 507.9 万吨/万人。由图 6(b)可以看出,人口在 5 720 万之前时生活污水排放量增长率较低,在人口达到 5 724 万之后,生活污水排放量的增长率有了明显降低。在人口高于 5 724 万之后,生活污水排放量的增长率无明显变化,只是在小范围内波动。

由城市化率与生活污水排放量的回归模型可以得到生活污水排放量的增长率为 0.551 6 亿吨每百分点。由图 6(c)可以看出,在城市化率从 46% 增长至 49.7% 的过程中,生活污水排放量并没有顺应趋势增长。2010 年湖北省省政府出台的《关于加快推进新型城镇化的意见》加快了湖北省的城市化进程,城市化率才出现爆发式增长。

表 4 2021—2025 年生活污水排放量预测结果(万吨)

年份	生活污水排放量(GDP)	生活污水排放量(人口)	生活污水排放量(城市化率)	平均值
2021	334 805.5	282 429.6	259 465.2	292 233.4
2022	361 038.0	291 787.2	265 500.8	306 108.7
2023	388 361.8	301 173.9	271 348.3	320 294.6
2024	416 773.3	310 589.6	277 007.5	334 790.1
2025	446 275.0	320 034.5	282 478.5	349 596.0

“十四五”期间,随着经济和人口的持续增长以及城镇化建设的持续深入推进,湖北省生活污水排放量总量仍将持续上升,2025 年的预测值较 2015 年上升 50.2%,将给生活污水处理带来较大压力。

3.2.2 生活污水 COD 排放量

由于第二次全国污染源普查的完成对 2016 年

之后的各项数据进行了更新,造成 2016 年之前的数据与 2016 年之后的数据出现较大差异,为此将数据以 2016 年为界分成两部分,然后进行分段分析。

以 GDP 为自变量、以 COD 排放量为因变量建立一元回归分析模型,分析结果见图 7。

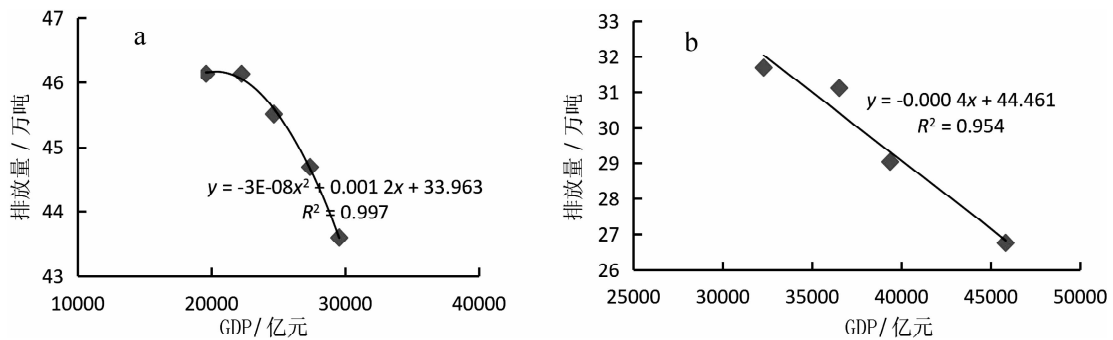


图 7 湖北省 COD 排放量与人口回归模型
(a 图为 2016 年之前,b 图为 2016 年之后)

如图 7 所示,2016 年之前湖北省的 COD 排放量与 GDP 回归模型为多项式,COD 排放量的下降率随着 GDP 的增长而持续增大,这说明随着国民经济的提高,COD 排放总量减排力度加大,环保投入增加。

2016 年之后湖北省的 COD 排放量与 GDP 回归模型为线性,COD 排放量的下降率为 0.000 4 万吨/亿元。

以湖北省人口与生活污水 COD 排放量建立一元回归分析模型,如图 8 所示。

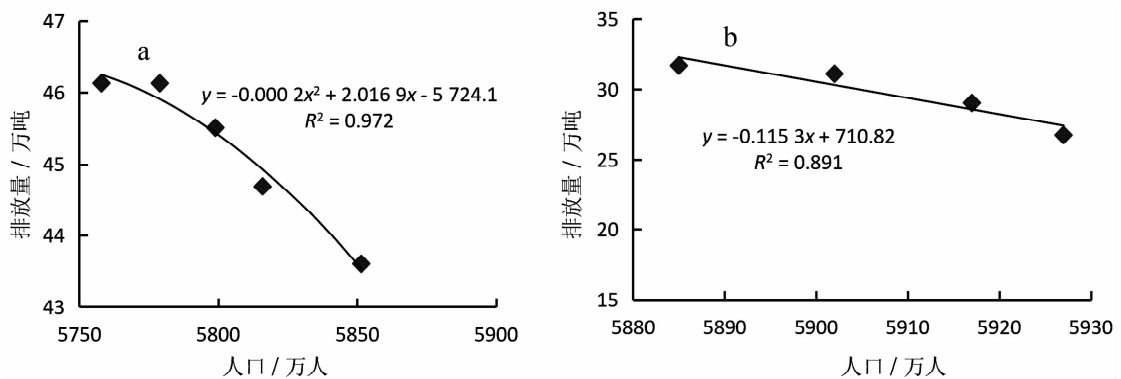
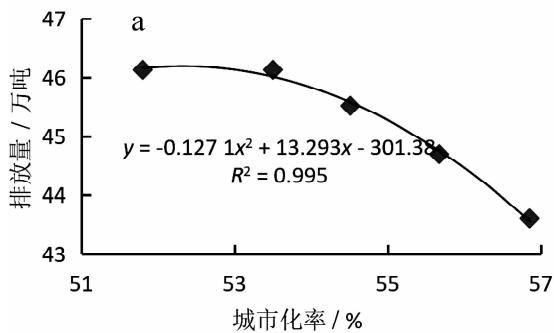


图 8 湖北省 COD 排放量与人口回归模型
(a 图为 2016 年之前,b 图为 2016 年之后)

通过图 8(a)可知,COD 排放量的下降率在 0.031 万吨/万人到 0.048 万吨/万人之间,由图 8(b)可知,COD 排放量的下降率在 0.034 万吨/万人到 0.228 万吨/万人之间。与 2016 年之前的下

降率相比,2016 年之后 COD 排放量的下降率明显增大。全国第二次污染源普查更新了 2016 年之后的数据,使数据更加精确,为准确判断我国当前的环境污染情况、制定更加有针对性的环境保护

计划、实施更加有效的环境治理政策和不断改善环境起到了重要作用。



以城市化率和 COD 排放量建立的一元回归分析模型见图 9。

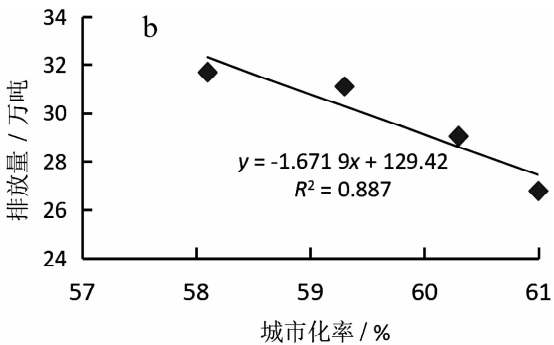


图9 湖北省 COD 排放量与城市化率回归模型
(a 图为 2016 年之前,b 图为 2016 年之后)

图 9(a) 的回归模型拟合程度好, R^2 值大于 0.99;图 9(b) 中回归模型的拟合程度一般, R^2 值仅为 0.887, 自变量与因变量都表现为负相关。由图 9(a) 可知, COD 的下降率随着城市化的不断推进在不断增大, 表明在城市化的过程中, 生活污水的治理也在同步进行。

以人口、城市化率、GDP 分别为自变量, 对 2021 至 2025 年的 COD 排放量进行预测, 结果见表 5。

表 5 2021—2025 年的 COD 排放量预测结果(万吨)

年份	COD (GDP)	COD (人口)	COD (城市化率)	平均值
2021	20.59	25.55	23.47	23.20
2022	17.64	23.42	21.64	20.90
2023	14.57	21.29	19.87	18.58
2024	11.37	19.15	18.15	16.23
2025	8.05	17.01	16.49	13.85

由回归模型可知, COD 排放量与 GDP、人口、城市化率都表现为负相关, 在“十四五”期间, 经济社会

将持续发展, 受环保投入加大、科学技术进步、生活污水主要污染物排放总量控制更加严格等因素的影响, 生活污水的处理能力将稳步提升, COD 排放量将有所下降, 2025 年平均预测值较 2019 年下降 48.2%。

3.2.3 生活污水氨氮排放量

由于第二次全国污染源普查对各项数据进行了更新, 因此依然将数据以 2016 年为界分成两部分进行分段分析。

图 10 为湖北省氨氮排放量与 GDP 回归模型。由图 10(a) 可知, GDP 在 19 594.19 至 22 250.16 亿元时, 氨氮排放量随着 GDP 的增长而增大, GDP 突破 22 250.16 亿元之后, 氨氮排放量随着 GDP 的增长而减小。图 10(b) 与图 10(a) 有相似情况。生活污水氨氮排放量总体为下降趋势, 但中间有部分区间为上升趋势。GDP 在 36 522.95 亿元(2017 年) 时, 生活污水氨氮排放量在总氨氮排放量(包括工业、农业、生活、集中式) 中占比增加, 可能是因为该年份在处理污水资源时更加倾向对工业源的治理。

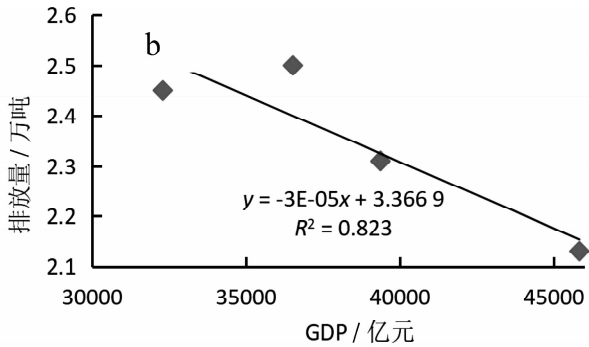
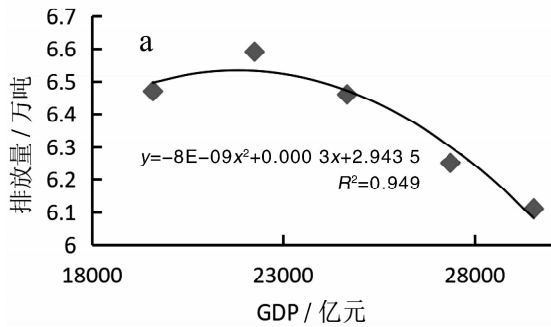


图10 湖北省氨氮排放量与 GDP 回归模型
(a 图为 2016 年之前,b 图为 2016 年之后)

图 11 为湖北省氨氮排放量与人口回归模型。图 11(a) 中 R^2 值仅大于 0.84, 图 11(b) 中 R^2 值仅大

于 0.77, 回归模型中自变量与因变量都表现为负相关。由图 11(b) 可知, 生活污水中氨氮排放量下降

率约为 0.007 7 万吨/万人。

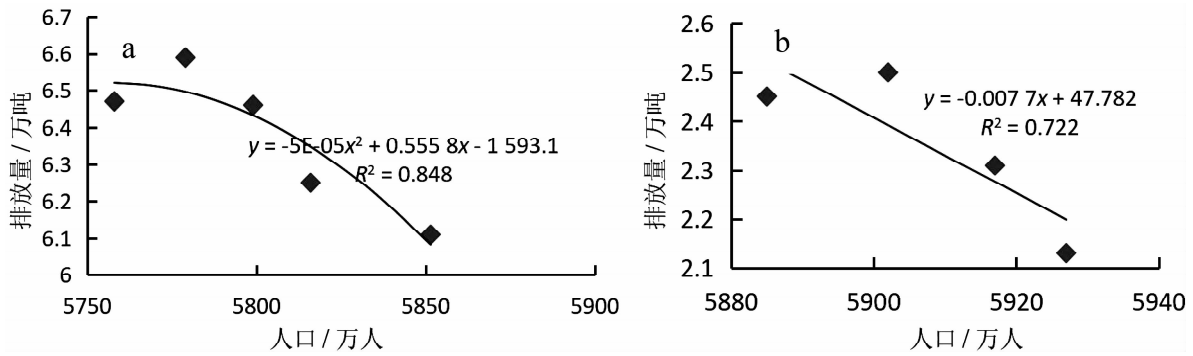


图 11 湖北省氨氮排放量与人口回归模型
(a 图为 2016 年之前, b 图为 2016 年之后)

图 12 为湖北省氨氮排放量与城市化率回归模型。图 12(a) 的回归模型拟合程度好, R^2 值大于

0.93; 图 12(b) 的回归模型拟合程度一般, R^2 值仅为 0.715, 回归模型中自变量与因变量均呈负相关。

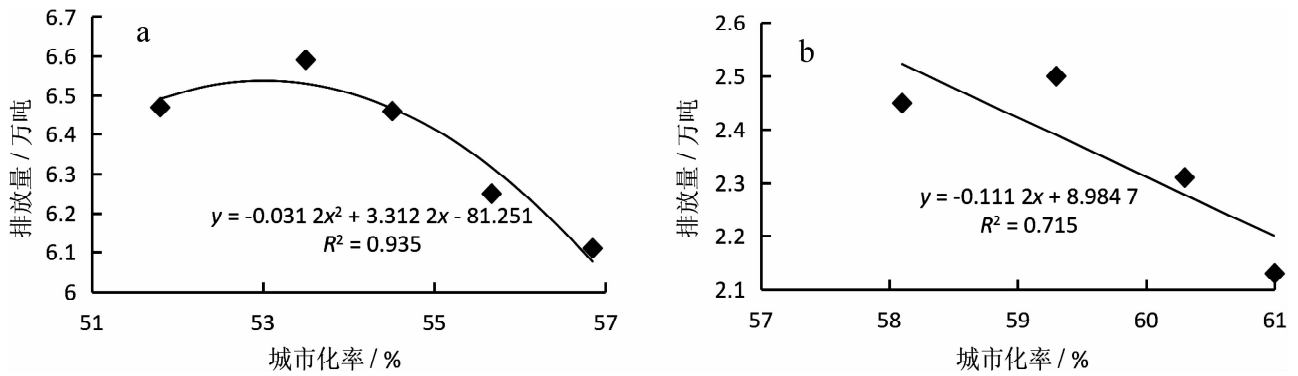


图 12 湖北省氨氮排放量与城市化率回归模型
(a 图为 2016 年之前, b 图为 2016 年之后)

以人口、城市化率、GDP 分别为自变量, 对 2021 至 2025 年的氨氮排放量进行预测, 结果见表 6。

表 6 2021—2025 年的氨氮排放量预测结果(万吨)

年份	氨氮 (GDP)	氨氮 (人口)	氨氮 (城市化率)	平均值
2021	1.79	2.02	1.94	1.91
2022	1.59	1.88	1.82	1.76
2023	1.39	1.73	1.70	1.61
2024	1.18	1.59	1.58	1.45
2025	0.96	1.45	1.47	1.29

与生活污水 COD 的排放相似, “十四五”期间湖北省生活污水的氨氮排放量将有所下降, 2025 年平均预测值较 2019 年下降 39.4%。

4 结论与建议

4.1 结论

利用回归模型分别构建“十四五”期间湖北省

的生活污水排放量、生活污水化学需氧量(COD)排放量、生活污水氨氮排放量预测模型, 通过分析得到以下结论:

(1) “十四五”期间, 湖北省的生活污水排放量总量仍将上升, 2021 年至 2025 年的综合预测值分别为 292 233.4 万吨、306 108.7 万吨、320 294.6 万吨、334 790.1 万吨、349 596 万吨, 2025 年平均预测值较 2015 年上升 50.2%, 全省生活污水处理仍有较大压力;

(2) 生活污水 COD 排放量在“十四五”期间将会下降, 2021 年至 2025 年的平均预测值分别为 23.20 万吨、20.90 万吨、18.58 万吨、16.23 万吨、13.85 万吨, 2025 年较 2019 年生活污水 COD 排放量将下降 48.2%;

(3) “十四五”期间的生活污水氨氮排放量将会下降, 2021 年至 2025 年的平均预测值分别为 1.91 万吨、1.76 万吨、1.61 万吨、1.45 万吨、1.29 万吨, 2025

年较 2019 年生活污水氨氮排放量将下降 39.4%。

4.2 建议

为减轻“十四五”期间湖北省的生活污水排放压力,提出以下 2 点建议。

(1)大力推行城镇区域内部建设雨水与污水分流管网。新建的城镇内部必须规划建设雨水与污水分流管网,建立雨水的收集、处理系统,达到雨水与污水分离的目的,实现雨水的资源化利用,进而减少生活污水的产生。同时,政府要注意加大对环境资金的投入,大力推进污水管网的配套设施建设,加快落实排水达标示范区的建设、污泥资源化处置、中水回用等工作,完成生活污水的处理和重复利用。

(2)推行污水处理收费价格调整政策。鼓励将一定比例的城镇生活污水处理费用于其他设施的运营维护和未来的设施预建设,提高生活污水排放代价,进而减少生活污水的排放。建立健全、合理的排污收费机制是社会发展的必要步骤,同时这也体现了水的资源价值和环境价值。

参考文献:

- [1] 湖北省生态环境厅. 2016—2019 年湖北省生态环境统计公报[EB/OL]. [2021-03-18]. http://sthjt.hubei.gov.cn/fbjd/xxgkml/tjxx/202103/t20210318_3407470.shtml.
- [2] 王俊能. 我国城镇生活污水排放的环境库兹涅茨特征研究——基于省级面板数据的实证[C]//中国环境科学学会. 2009 年学术年会论文集(第一卷). 北京:北京航空航天大学出版社,2009:453-458.
- [3] 余婷婷,李勇,白云,等. 水污染预测方法研究现状[J]. 绿色科技,2017,7(14):53-55,58.
- [4] 尹微琴,王小治,王爱礼,等. 太湖流域农村生活污水污染物排放系数研究——以昆山为例[J]. 农业环境科学学报,2010,29(07):1369-1373.
- [5] 湖北省统计局. 2005—2019 年国民经济和社会发展统计公报. [EB/OL]. [2021-03-18]. http://tjj.hubei.gov.cn/tjsj/tjgb/ndtjgb/qstjgb/202003/t20200323_2188487.shtml
- [6] 范清华. 江苏省生活污水主要污染物排放预测及控制对策研究[J]. 环境科学与管理,2018,43(01):159-162.
- [7] 王凤仙,李树平,陶涛. 城市污水量预测模型及方法综述[J]. 河南科学,2009,27(4):483-487.
- [8] 田涛,薛惠,锋张峰. 基于 ARIMA 与 GM(1,1) 的区域用水总量预测模型及应用——以广州市为例[J]. 节水灌溉,2018,43(2):61-65.
- [9] 何春. 马尔萨斯人口模型在广州市人口预测中的应用[J]. 广东工业大学学报,2010,27(03):31-34.
- [10] M. Zeleňáková a, M. Čarnogurská, I. Gargara. Prediction of pollutant concentration in Laborec river station, Slovak Republic[J]. Procedia Engineering, 2012,42:1474-1883.
- [11] 张东生,马娜. 中国城市化率预测模型构建[J]. 统计与管理,2016,31(11):49-51.
- [12] 李颖慧. 基于灰色系统模型的三峡库区水污染预测与治理对策研究[J]. 重庆理工大学学报:社会科学版,2020,34(03):46-55.
- [13] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1990.