

# 东北地区城镇污水处理厂碳排放核算及空间分布特征

孙 萌

哈尔滨师范大学, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2022年9月21日; 录用日期: 2022年10月20日; 发布日期: 2022年10月28日

## 摘 要

城镇污水处理厂在运行过程中会产生甲烷、氧化亚氮和二氧化碳, 这些被认为是重要的碳排放源之一。随着东北地区污水处理厂数量和处理能力的逐年攀升, 会导致碳排放量也随之上升, 本文以东北地区城镇污水处理厂为研究对象, 采用基于污染物消减量的排放因子法计算了2014年~2018年东北地区城镇污水处理厂碳排放总量, 并探究碳排放的时空分布特征。结果表明, 2018年碳排放总量为286.35万吨CO<sub>2</sub>-eq, 相比2014年增长了26.37%; 在碳排放结构上, 以间接排放为主, 2018年其占排放量的61%; 从空间分布特征来看, 省会城市以及工业较发达的城市, 城镇污水厂碳排放较高。

## 关键词

污水处理厂, 碳排放, 空间分布特征

# Carbon Emission Accounting and Spatial Distribution Characteristics of Urban Wastewater Treatment Plants in Northeast China

Meng Sun

Harbin Normal University, Harbin Heilongjiang

Received: Sep. 21<sup>st</sup>, 2022; accepted: Oct. 20<sup>th</sup>, 2022; published: Oct. 28<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

Urban wastewater treatment plants produce methane, nitrous oxide and carbon dioxide during operation, which is considered to be one of the important sources of carbon emissions. As a num-

ber of sewage treatment plant and processing capacity in the northeast China of rising year by year, it will lead to more carbon emissions, based on the urban sewage treatment plants in northeast China as the research object, based on the amount of pollutants to reduce emissions factor method to calculate the urban sewage treatment plants in northeast China in 2014~2018 carbon emissions, and to explore the time and space distribution characteristics of carbon emissions. The results showed that the total carbon emission in 2018 was 2,863,500 tons of CO<sub>2</sub>-eq, an increase of 26.37% compared with 2014. In terms of carbon emission structure, indirect emissions are the main ones, accounting for 61% of emissions in 2018. From the spatial distribution characteristics, provincial capital cities and cities with more developed industries have higher carbon emissions from urban sewage plants.

## Keywords

Wastewater Treatment Plant, Carbon Emissions, Spatial Distribution Characteristics

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

全球气候变暖问题已经成为全世界关注的环境问题，诱发全球变暖的主要因素之一就是大气中温室气体浓度上升，全球大气研究排放数据库公布的报告显示，在近几年期间，由于人类活动产生的温室气体排放量急剧增加，截止到 2005 年，已经从 1970 年的 240 亿吨二氧化碳总量增长到 410 亿吨[1]。目前控制温室气体排放是应对全球气候变化的重要途径[2]。城镇污水处理厂在处理污水过程中会产生大量的温室气体，包括甲烷、氧化亚氮和二氧化碳，这些也是重要的碳排放源之一[3]，近年来备受关注。

东北地区是我国重工业基地和重要的商品粮基地之一，近年来，随着地区经济不断发展以及环境保护重视程度的上升，在 2015 年 12 月，中央审议通过了《关于全面振兴东北地区等老工业基地的若干意见》明确将生态环境保护和绿色发展理念放置于重要地位。东北地区有污水处理厂 315 座，污水的年处理量占全国污水年处理总量的 8%，随着东北的城镇污水处理厂的数量和处理能力逐年攀升，碳排放量也逐年增长，对东北三省城镇污水厂温室气体排放进行核算，可以为减排措施提供参考。

## 2. 数据与方法

### 2.1. 核算边界

污水处理过程中涉及碳排放的过程有很多。一种观点认为碳排放可以分为两类[4]：一类是厂内排放，即温室气体在污水处理厂内部的排放，主要包括各个处理单元在生物好氧和厌氧的条件下产生的二氧化碳、甲烷和氧化亚氮，以及污水厂内由于能源的消耗所产生的二氧化碳，另一类是厂外排放，包括污水处理厂全部药品材料在生产和运输过程中产生的温室气体以及污水在管道中由于缺氧条件所产生的甲烷排放。使用这种分类方式对于数据的要求比较高，计算也相对复杂，本文采用第二种分类方式，可分为：直接排放和间接排放，直接排放是指废水在经过无氧处理产生甲烷和氧化亚氮的排放，在 IPCC 指南中废水中二氧化碳的排放是由生物成因产生，因此不纳入总排放量中，间接排放是指全面考虑能耗、化学药品、建设过程等涵盖污水处理厂建造和整个使用周期内的碳排放量[5]。本文只考虑间接排放中主要的因素 - 电耗，即污水处理过程中处理设备运行所消耗电能产生的二氧化碳排放。

## 2.2. 数据来源

本研究采用基于污水 COD、TN 削减量的排放因子法对东北三省城镇污水处理厂 2014 年~2018 年碳排放量进行估算，并对其空间分布情况进行分析，为东北地区污水处理行业碳排放减排对策研究提供帮助。所涉及的污水处理量、污染物削减量等基本数据来源于《城镇排水统计年鉴》和《环境统计年报》，东北电网的排放因子来自《中国区域电网基准线排放因子》。

## 2.3. 核算方法

### 2.3.1. 直接排放量核算

甲烷排放量核算公式，简化为：

$$\text{CH}_4\text{排放} = \text{COD}_{\text{削减}} \times \text{EF}_{\text{CH}_4}$$

式中  $\text{CH}_4$  排放——污水处理行业甲烷的年排放量，单位万吨/年。

$\text{COD}_{\text{削减}}$ ——污水中有机物削减总量，单位万吨/年。

$\text{EF}_{\text{CH}_4}$ ——甲烷排放因子，单位  $\text{kgCH}_4/\text{kgCOD}$ ，不同省份排放因子如表 1 所示。

**Table 1.** Methane emission factors in Northeast China

**表 1.** 东北地区甲烷排放因子

省份	排放因子(单位 $\text{kgCH}_4/\text{kgCOD}$ )
辽宁省	$8.1 \times 10^{-3}$
吉林省	$4.7 \times 10^{-3}$
黑龙江省	$6.9 \times 10^{-3}$

氧化亚氮排放量核算公式，简化为：

$$\text{N}_2\text{O 排放} = \text{TN}_{\text{削减}} \times \text{EF}_{\text{TN}} \times 44/28$$

式中  $\text{N}_2\text{O}$  排放——污水处理厂  $\text{N}_2\text{O}$  的年排放量，单位万吨/年。

$\text{TN}_{\text{削减}}$ ——污水中总氮削减总量，单位万吨/年。

$\text{EF}_{\text{TN}}$ ——氧化亚氮排放因子，单位  $\text{kgCH}_4/\text{kgCOD}$ ，本文选取 0.035 [6]。

44/28——表示  $\text{N}_2\text{O-N}$  到  $\text{N}_2\text{O}$  的转化系数。

### 2.3.2. 间接排放量核算

间接排放核算公式为：

$$\text{CO}_2\text{排放} = \text{Se} \times \text{EF}_{\text{CO}_2}$$

式中  $\text{CO}_2$  排放——污水处理行业因电力消耗而产生的  $\text{CO}_2$  排放量，单位万吨/年。

Se——污水处理厂处理单位水量所消耗的电量，单位为  $\text{kg/KWh}$ 。

$\text{EF}_{\text{CO}_2}$ ——排放因子，东三省用电由东北电网提供，东北电网各年份  $\text{CO}_2$  排放因子如表 2 所示。

**Table 2.** Annual emission factors of Northeast power grid [7]

**表 2.** 东北电网各年排放因子[7]

年份	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年
排放因子	1.1281	1.1291	1.1171	1.1082	1.0925

为了评价各种温室气体对全球气候变化的影响,通常采用“全球增温潜势”这一参数来进行评价。不同温室气体的增温潜势不同,因此需要将上述计算得到的3种温室气体排放量按照二氧化碳的增温潜势为标准,全部转化为二氧化碳当量,将结果统一能更好对其排放量进行表示,根据IPCC的研究,二氧化碳的增温潜势为1,甲烷为28,氧化亚氮为265。

### 3. 结果分析

#### 3.1. 2014~2018年东北地区城镇污水处理厂碳排放总量变化

本研究计算了2014~2018年东北三省城镇污水厂的碳排放量,如图1所示,可以看出五年期间,东北地区污水厂碳排放总量呈现逐年上升的趋势,从2014年的226.58万吨CO<sub>2</sub>-eq增长到2018年的286.35万吨CO<sub>2</sub>-eq,增长了26.37%。这一涨幅远远小于我国城镇污水厂碳排放的增长,这是由于东北地区人口数量和工业的发展在全国没有处于较高水平,所以产生的污水量较少,仅占全国的8%,致使碳排放总量也比较低。

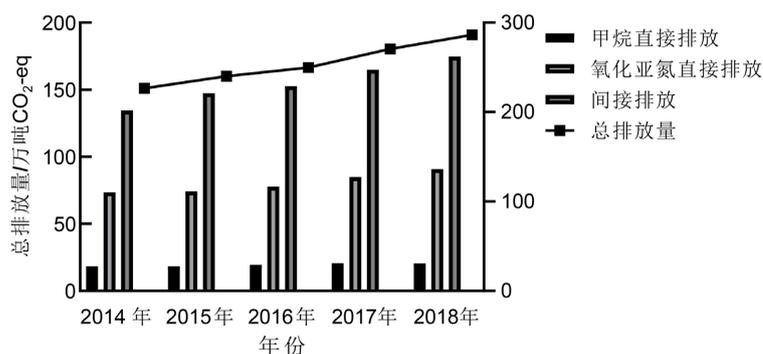


Figure 1. Total carbon emissions from urban wastewater treatment plants in Northeast China

图1. 东北地区城镇污水处理厂碳排放总量

#### 3.2. 东北地区城镇污水处理厂碳排放组成特征

图2是2014年~2018年东北地区城镇污水厂直接碳排放和间接碳排放的比例分布,可以看出排放组成变化很小,东北地区城镇污水厂的碳排放主要是以间接排放为主,在2014年间接排放约占总排放量的59.4%,在五年期间间接排放比例略有增加,在2018年达到61%。间接排放量的比例明显高于全国平均值,这与东北地区较低的平均气温有关,废水的处理适宜保持在15℃以上进行,以保证微生物活性,所以东北地区在温度的控制方面还需投入一定量的能耗来进行曝气、保温等工作,从而产生较高的温室气体排放[8]。直接排放的比例在不断降低,这是因为城镇污水处理厂由于污水量增多而导致的电耗不断增加,使间接排放的增加幅度更大,因此到时直接排放比例稍有下降。在直接排放中,以氧化亚氮排放为主,甲烷排放量所占的比例很小,甲烷的产生主要是由于污水中COD的消减,氧化亚氮的产生由于TN的消减,COD每年的消减量是TN消减量的十几倍,但是氧化亚氮的全球增温潜势和排放因子均高于甲烷,所以氧化亚氮为东北地区城镇污水厂贡献了更多的碳排放。

#### 3.3. 东北地区城镇污水厂碳排放空间分布特征

城镇污水处理厂碳排放量能很好的反映地区的经济、人口与工业状况,东北地区城镇污水厂的温室气体排放也符合这一特点,东北地区大多数城市都是以重工业为主,工业水平高的地区,其经济水平往

往也越发达，人口也会相对集中，污水处理厂的数量和污水处理率也会高于平均水平，从而造成污水处理厂碳排放量大[9]。

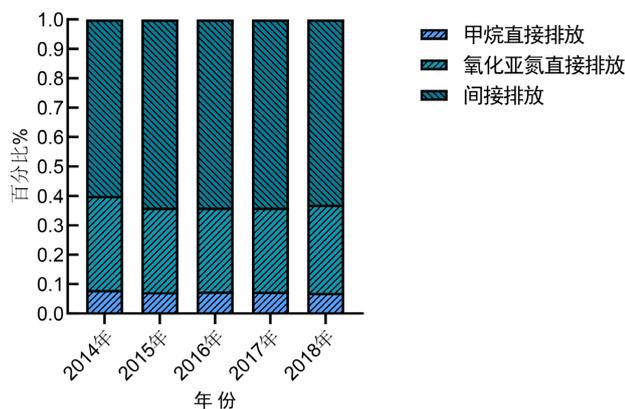


Figure 2. Composition of carbon emissions  
图 2. 碳排放组成

图 3 是 2014 年和 2018 年东北地区城镇污水处理厂碳排放分布图。由图可以看出，在 2018 年大部分城市污水厂碳排放都有明显的增长，城镇污水处理厂排放量该地区内部存在较大差异，排放较高的地区一般为省会以及该省重要的工业型城市，这是由于东北地区是我国老工业基地，大部分经济效益高的城市还是以重工业为主。在黑龙江省城镇污水处理厂温室气体排放最高的城市为哈尔滨市，其次为大庆市，齐齐哈尔市，两市均为本省重要的工业城市。在吉林省排放量最高城市为长春市，其次为松原市和延边市，松原市是吉林省重要的工业城市之一，而延边朝鲜族则是吉林省重要的旅游城市，其排放量较高受地区经济因素影响。辽宁省与其他两省不同，在 2018 年碳排放量最高的城市不是省会沈阳市而是大连市，沈阳市位居第二，这与大连日益增长的经济有关，其次为鞍山市、锦州市，这些城市均为辽宁省重要工业城市。

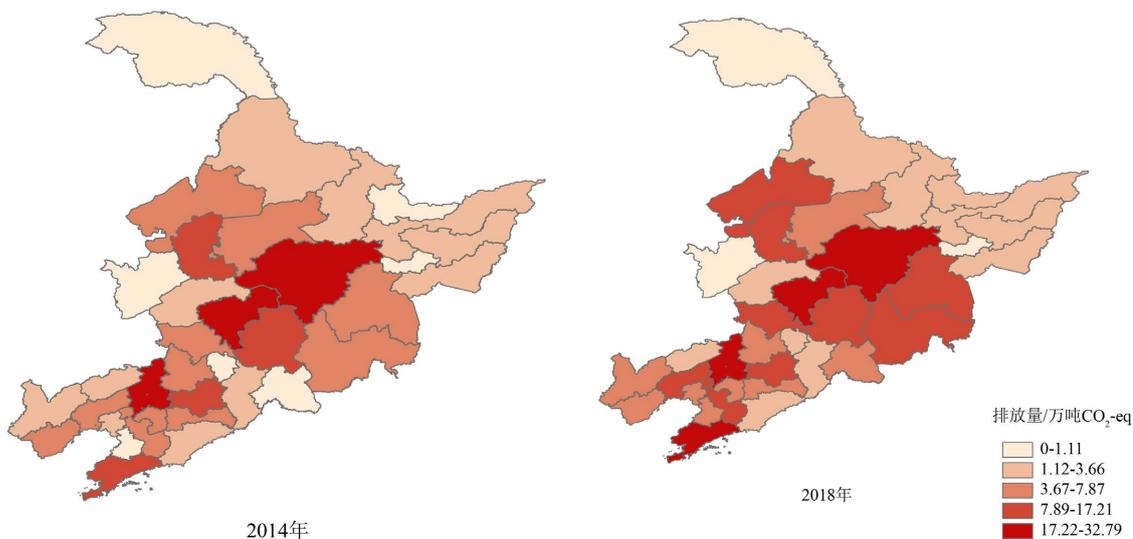


Figure 3. Spatial distribution of carbon emissions from urban sewage plants in Northeast China  
图 3. 东北地区城镇污水厂碳排放空间分布图

## 4. 结论

本文根据 2014 年~2018 年间《城镇排水统计年鉴》的污水处理统计数据, 采用了污染物消减量的排放因子法, 对东北地区城镇污水处理厂的碳排放进行核算及并对其空间分布特征进行了分析, 主要结论如下:

1) 东北地区城镇污水处理厂的碳排放量不断增加, 2014 年碳排放总量 226.58 万吨 CO<sub>2</sub>-eq, 2018 年碳排放总量为 286.35 万吨 CO<sub>2</sub>-eq, 增长了 26.37%。

2) 同时在排放结构上也有明显特征, 间接排放在整个东北地区城镇污水处理厂碳排放过程中占主要地位, 在五年期间略有增长, 从 2014 年的 59.4% 增长到 2018 年的 61%; 在直接排放中, 以氧化亚氮排放为主, 甲烷直接排放量占比最小。

3) 污水处理厂碳排放空间分布有明显差异, 地区的经济、人口与工业状况与碳排放密切相关, 对于东北地区来说也符合这一特征, 通常在省会城市以及工业较发达的城市, 城镇污水厂碳排放较高。

## 参考文献

- [1] 翟萌, 邵越, 徐福军. 西安污水处理厂温室气体排放及减排对策研究[J]. 环境工程, 2016, 34(2): 23-26. <https://doi.org/10.13205/j.hjgc.201602006>
- [2] 周兴, 郑有飞, 吴荣军, 康娜, 周渭, 尹继福. 2003~2009 年中国污水处理部门温室气体排放研究[J]. 气候变化研究进展, 2012, 8(2): 131-136.
- [3] Sahely, H.R., MacLean, H.L., Monteith, H.D., *et al.* (2006) Comparison of On-Site and Upstream Greenhouse Gas Emissions from Canadian Municipal Wastewater Treatment Facilities. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 5, 405-415. <https://doi.org/10.1139/s06-009>
- [4] Shahabadi, M.B., Yerushalmi, L. and Haghghat, F. (2009) Impact of Process Design on Greenhouse Gas (GHG) Generation by Wastewater Treatment Plants. *Water Research*, 43, 2679-2687. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.02.040>
- [5] 付加锋, 侯贵光, 马欣, 徐毅. 污水处理行业温室气体排放特征的实证分析[C]//2012 中国环境科学学会学术年会论文集(第二卷). 2012: 728-735.
- [6] 翟光红, 左孝凡. 污水处理的碳排放空间差异及影响因素分析[J]. 石家庄铁道大学学报(社会科学版), 2020, 14(1): 1-10+24. <https://doi.org/10.13319/j.cnki.sjztdxxbskb.2020.01.01>
- [7] 蔡博峰, 高庆先, 李中华, 吴静, 曹东, 刘兰翠. 中国城市污水处理厂甲烷排放因子研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(4): 118-124.
- [8] 郭盛杰, 黄海伟, 董欣, 曾思育. 中国城镇污水处理行业温室气体排放核算及其时空特征分析[J]. 给水排水, 2019, 55(4): 56-62. <https://doi.org/10.13789/j.cnki.wwe1964.2019.04.009>
- [9] 闫旭, 邱德志, 郭东丽, 齐星昊, 郑仕侃, 程轲, 孙剑辉, 刘建伟. 中国城镇污水处理厂温室气体排放时空分布特征[J]. 环境科学, 2018, 39(3): 1256-1263. <https://doi.org/10.13227/j.hjcx.201706079>