

文章编号:1673-9469(2012)04-0048-05

## 2001-2011年我国城市空气污染变化特征及分析

苏捷,王丽涛,魏巍,程丹丹

(河北工程大学 城市建设学院,河北 邯郸 056038)

**摘要:**本文主要根据国家环境部2001-2011年所公布的我国86个重点城市空气质量日报的空气污染指数(API)、首要污染物的发生情况、空气质量评价等数据资料,分析了我国11年来城市空气污染的变化特征。结果表明:2001-2011年我国城市API有缓慢下降趋势,空气质量逐步好转;城市大气污染时空分布特征比较明显,华北地区及西北地区可吸入颗粒物污染较为严重。二氧化硫的污染集中体现在华北地区及东北地区 and 南方部分城市。氮氧化物的发生主要集中在华南及华东地区,内陆城市发生频率较低;我国大气主要污染物的发生在地域上具有同一性;南北方城市差异较大,南方城市空气质量明显优于北方。

**关键词:**API;可吸入颗粒物;二氧化硫;氮氧化物;污染

**中图分类号:**X51

**文献标识码:**A

## Characteristics and analysis of China's cities air pollution changes during 2001-2011

SU Jie, WANG Li-tao, WEI Wei, CHENG Dan-dan

(College of City Construction, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

**Abstract:** Based on the daily air pollution index (API), primary pollutant, air quality assessment data of 86 cities in China during 2001-2011, issued by the State Environmental Protection Department, 11 years of urban air changes in characteristics of the pollution were analyzed in this paper. And the results show that: API have slow down trend during 2001-2011 in China cities, air quality is improved step by step; Urban air pollution time and space distribution characteristics were obvious, PM10 pollution is serious in the north and northwest area. Sulfur dioxide pollution embodied in north and northeast in China and southern parts of the city. The occurrence of nitrogen oxides mainly appeared in the south and east, the frequency of inland cities is lower; The main pollutants of atmospheric occurred in the region with identity; there were great difference in the city, the southern cities of air quality is obviously superior to the northern.

**Key words:** API; PM10; sulfur dioxide; nitrogen oxide; pollution

随着我国城市化发展过程的飞跃,工业现代化的迅猛崛起,对大气环境所造成的污染也日趋严重。特别是在经济水平高度发达、人口相对集中的城区环境,交通源及建筑群的日趋密集不利于污染物的扩散,工业废气排放量和耗煤量的不断猛增等现象都成为影响空气质量状况的重要因素。污染物进入到大气环境后的扩散与稀释过程会使大气环境的物理、化学性质发生改变<sup>[1]</sup>。当

前,我国绝大部分城市均以空气污染指数的实况数据向公众市民播报空气质量状况。空气污染指数(Air Pollution Index, API),是将常规所监测的几种大气污染物浓度简化为单一概念性的指数形式来表征空气污染程度和空气质量状况。这对研究某一地区的空气污染状况有着重要的意义<sup>[2-3]</sup>。

近年来,国内有许多学者对空气污染指数资料做出过系统的研究和分析,从最初对空气污染

收稿日期:2012-07-20

基金项目:国家自然科学基金(41105105);河北省自然科学基金(D2011402019)

特约专稿

作者简介:苏捷(1989-),女,北京人,硕士研究生,从事大气污染控制工程方面的研究。

指数法在城市大气环境评价的应用讨论<sup>[4]</sup>到后来的应用统计学方法对空气污染在时空变化及特征的研究,如中国海洋大学的王斌曾利用空气污染指数 API 和聚类分析的方法分析了 2004 - 2007 年我国空气污染的时空变化特征<sup>[5]</sup>及 2001 - 2005 年间我国 23 个沿海城市的空气污染状况<sup>[6]</sup>,孙炳彦等对我国南北方城市空气环境质量对比分析<sup>[7]</sup>,袁博等对我国城市群空气污染及其季节变化特点<sup>[8]</sup>,李小飞等对中国空气污染指数变化特征及影响因素分析<sup>[9]</sup>。另外,也有大部分针对小区域或个别城市的单独研究,包括北京地区<sup>[10]</sup>,上海城区<sup>[11]</sup>,杭州地区<sup>[12]</sup>,河南省重点城市<sup>[13]</sup>,陕西西安<sup>[14]</sup>,新疆乌鲁木齐与克拉玛依<sup>[15-16]</sup>,广州地区<sup>[17]</sup>,重庆地区<sup>[18]</sup>,河北邯郸<sup>[19]</sup>。但多数研究只是针对某一特定区域或单一城市的重点讨论,缺乏长时间、大范围区域内的空气污染特征分析和研究。而事实上,我国的大气环境质量呈现大区域特征<sup>[20-21]</sup>。本文主要利用 2001 - 2011 年全国 86 个重点城市的日空气质量数据资料对我国 API 的年际变化进行了分析,并通过 API 值反算浓度值对华北、东北、华中、华南等 7 大地理区域进行污染因子变化趋势的研究,并以 2011 年为例,分析了空气质量评价及污染因子的地理分布情况。

1 数据来源及研究方法

研究所用的数据资料来自源于国家环境保护部网站 (<http://datacenter.mep.gov.cn>) 2001 年 1 月 1 日至 2011 年 12 月 31 日全国 86 个重点监测城市所公布的每日空气质量信息,主要包括空气污染指数 API、首要污染物的发生情况及空气质量

评价等相关资料,数据信息完整的城市为 42 个。自 2001 年 6 月 5 日起,国家环保部网站增加了秦皇岛、连云港、宁波、桂林、北海 5 个城市。2004 年 6 月 4 日起增加了 37 个城市(渭南、宝鸡、玉溪、曲靖、德阳、泸州、绵阳、柳州、韶关、张家界、常德、荆州、平顶山、开封、日照、潍坊、济宁、枣庄、泰安、淄博、九江、泉州、芜湖、湖州、绍兴、镇江、扬州、齐齐哈尔、牡丹江、抚顺、鞍山、赤峰、阳泉、长治、大同、石嘴山、克拉玛依)。2006 年 1 月 1 日起又增加自贡、南充 2 个城市。文本主要针对我国城市空气污染变化特征以统计学方法对近 200 020 个数据进行了相应的分析和研究。

2 结果与分析

2.1 API 均值与首要污染物的时空变化

为保证最终结果的精确性及合理性,此部分研究主要针对 2001 - 2011 年数据信息完整的 42 个主要监测城市。图 1 所描述的是 API 的年际均值变化及首要污染物发生频率情况,可以看出,近 11 年来,全国重点城市 API 年际均值总体呈下降趋势,年变化范围在 65 ~ 90 之间,波动幅度较小。下降过程可分为三个阶段:(1) 2006 - 2009 年;(2) 2010 - 2011 年。下降幅度分别为:14.91%、8.75%、3.31%。最高值发生在 2001 年,API 均值达到 86.14,最低值发生在 2011 年,API 均值达到 66.80。从首要污染物的发生频率来看,可吸入颗粒物的发生频率明显高于二氧化硫与氮氧化物的发生。三种首要污染物的发生频率都有不同程度的下降趋势。(3) 2001 - 2005 年;二氧化硫的高发期出现在 2004 - 2008 年,2009 年之后有明显的

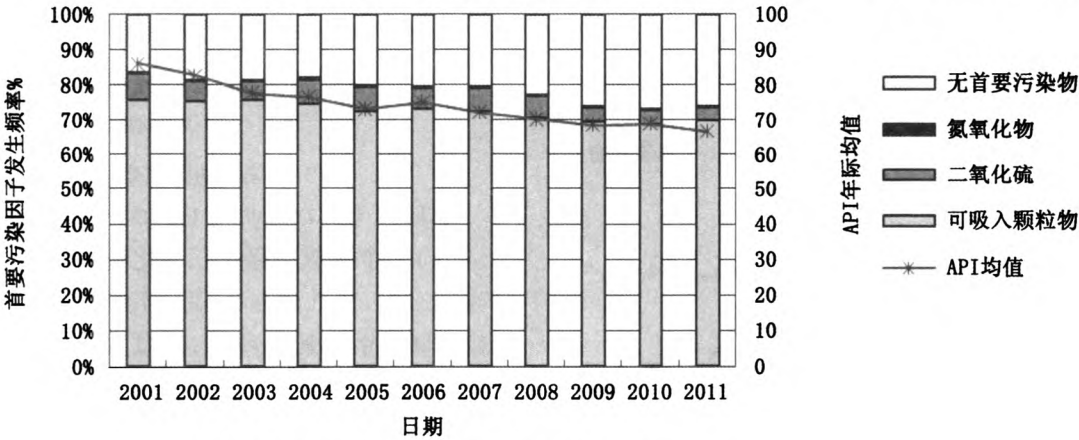
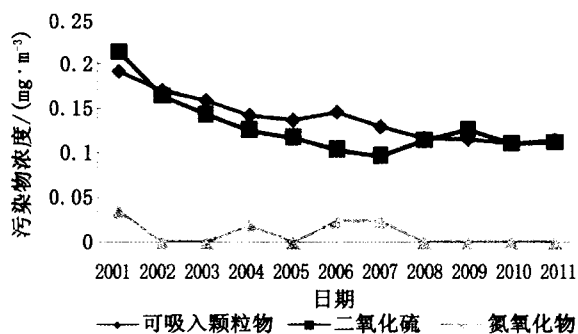


图1 API的年际均值及首要污染物发生频率  
Fig.1 The annual mean of API and the frequency of the first pollutants

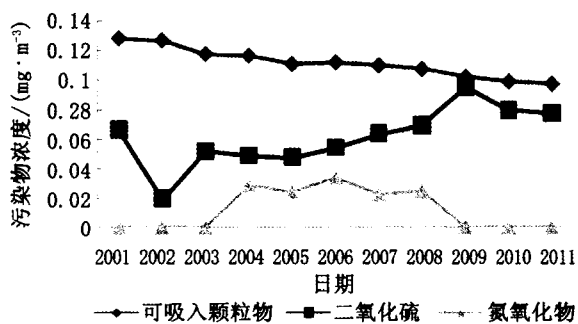
下降势态。氮氧化物为首要污染物的发生情况最少,发生频率的最高峰值出现在2004年。从时间上来看,无首要污染物的发生天数年变化有较明显的增加趋势,2010年达到11年来的最高值。这表明2001-2011年,全国大部分城市空气质量状况稍有缓解。

图2为污染物的区域变化情况,分别对地理上的7大区域(华北、东北、华中、华东、西北、西南、华南)以三种污染物浓度的变化情况进行了独立的研究与分析。从图中可以得到以下结论:

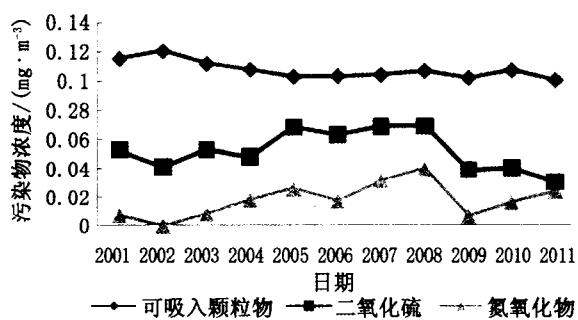
(1)可吸入颗粒物是造成全国空气污染最主要的污染物。可吸入颗粒物污染较为严重的地域为华北地区和西北地区,华南地区污染物浓度值最低,可吸入颗粒物逐年平均浓度均小于 $0.1\text{ mg}/\text{m}^3$ 。11年中,除华南地区无明显的规律变化以外,其余6个区域(华北、东北、华中、华东、西北、西南)可吸入颗粒物的浓度均有不同程度的下降趋势。下降幅度较大的是华北地区和西北地区,分别达到40.79%、33.62%。



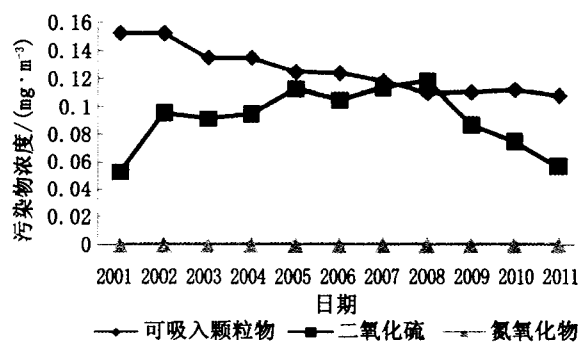
(a) 华北地区



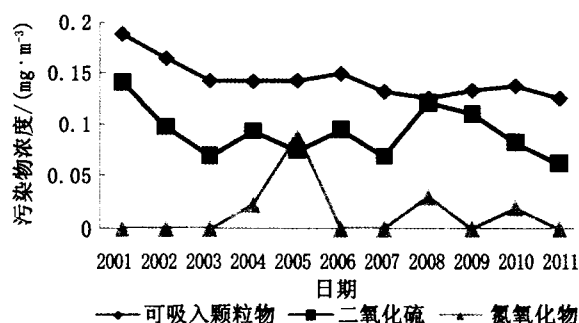
(b) 东北地区



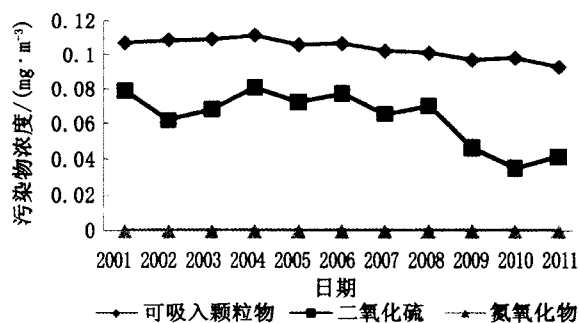
(c) 华东地区



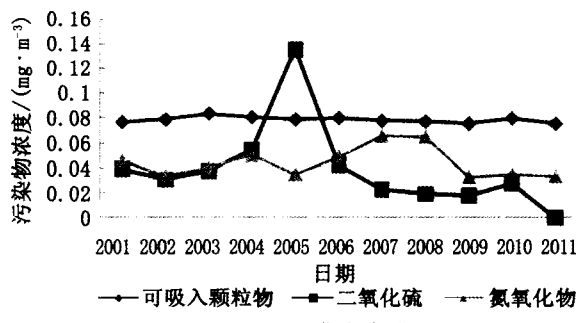
(d) 华中地区



(e) 西北地区



(f) 西南地区



(g) 华南地区

图2 污染物的区域变化情况

Fig.2 The regional change of pollutants

(2)七个区域均存在二氧化硫的污染,从浓度分布上来看,华北地区二氧化硫的污染情况较为突出,2001年达到最高值,浓度为 $0.214\text{ mg}/\text{m}^3$ ,2007年达到 $0.0962\text{ mg}/\text{m}^3$ ,为11年来的最低值。东北地区的二氧化硫浓度有较为明显的上升趋势,2009年出现了一个峰值,浓度为 $0.0956\text{ mg}/\text{m}^3$ 。2005年,华南地区二氧化硫的污染有明显的起伏,浓度达到 $0.1361\text{ mg}/\text{m}^3$ 。从走势来看,华

北、华东、华中、西北、西南、华南地区有明显下降趋势的变化规律。

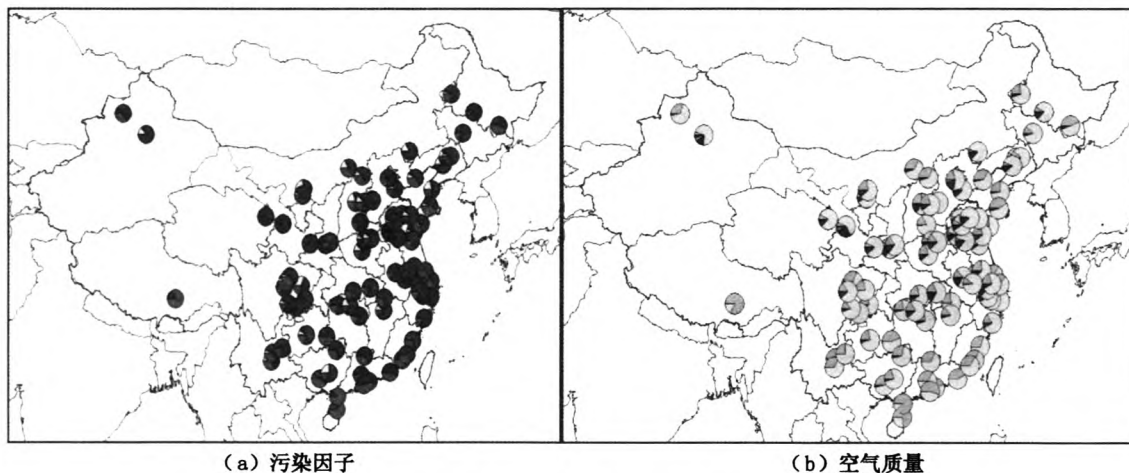
(3)相对于可吸入颗粒物及二氧化硫的污染情况,全年氮氧化物的发生频率较低。2001—2011年间,华中地区与西南地区没有发生氮氧化物的污染。华北地区和东北地区近三年不存在氮氧化物的污染。氮氧化物发生的地区主要集中在华南及华东地区,内陆城市虽也有发生,但是发生频率相对较低,南北地区有较为明显的差异。氮氧化物污染较为严重的地区集中发生在华南地区,特别是在沿海城市,氮氧化物的污染浓度在 $0.03 \sim 0.06 \text{ mg/m}^3$ 的范围内变化,这与该地域频频发生的光化学烟雾污染有极大关系。

## 2.2 空气质量评价与分析

根据2011年的数据信息资料,对全国86个重点监测城市进行统计分析,得到的结果如图3所示。从污染因子分布图来看,首要污染物为可吸入颗粒物的城市主要集中在我国北方及南方内陆城市,总体呈现南低北高的变化特征。2011年间发生频率较高的城市有枣庄、淄博、济宁、济南、兰州、西宁等,可吸入颗粒物发生天数均在330 d以上。相比之下,南方沿海城市及西藏地区发生较少,如湛江、海口、拉萨等。二氧化硫的分布情况无明显规律,发生频率较高的城市主要集中在

华北地区与南方内陆城市。另外,全年中发生频率最高的城市为南充、柳州、鞍山、石嘴山等。氮氧化物的发生主要集中在沿海城市,诸如厦门、深圳、广州,全年发生频率较低。全年中,无首要污染物因子的城市集中在南方沿海地区,如珠海、湛江、海口、拉萨,全年发生天数各为201 d、318 d、263 d、294 d,空气质量较为突出。2011年全国86个重点监测城市污染物分布与前面2001—2011年间42个城市的地域性分析结果大体相似,可见我国大气主要污染物的发生在地域上具有同一性。

由空气质量的分布情况来看,空气质量为优、良的发生天数在全年中占有较大的比重。由图3(b)可知,空气质量为优的天数呈现为南方城市优于北方城市的趋势,较为明显的是沿海城市及西藏地区。如湛江、拉萨、海口三市,全年中空气质量为优的天数分别为318 d、294 d、263 d,三市的空气质量在86个城市中较为突出。轻微污染、轻度污染、中度污染发生频率较高的城市多集中在北方内陆城市。中度重污染及重度污染情况发生较多的城市为乌鲁木齐、兰州、赤峰三市,全年分别达到8 d、6 d、6 d。特别是乌鲁木齐市,全年重度污染高达5 d,空气污染较为严重。由此可见,我国南北方地区的空气质量状况有明显的差异,北方城市的空气质量低于南方城市,特别是可吸入颗粒物的污染情况对空气质量影响较大。



(a) 污染因子

(b) 空气质量

图3 空气质量评价的空间分布

Fig.3 Air quality assessment of space distribution

## 3 结论

1)2001—2011年,空气污染指数API值缓慢下降,空气质量逐年好转。可吸入颗粒物发生频率大,目前是我国的主要污染物。二氧化硫的高发期出现在2004—2008年,近几年来有明显下降

态势。氮氧化物发生频率的最高峰值出现在2004年,集中在沿海地区。无首要污染物的发生天数年变化有较为明显的增加趋势,2010年达到11年来的最高值。

2)在空间变化上,东西南北差异较大。华北地区及西北地区可吸入颗粒物污染较为严重。二

氧化硫的污染集中体现在华北地区及东北地区南方部分城市。氮氧化物的发生主要集中在华南及华东地区,内陆城市发生频率较低。我国大气主要污染物的发生在地域上具有同一性。

3)就2011年空气质量评价来看,全年可吸入颗粒物发生频率较高的城市有枣庄、淄博、济宁、济南、兰州、西宁。空气质量为优良的情况为南方城市优于北方。轻微污染、轻度污染、中度污染发生频率较高的城市多集中在北方内陆城市。中度重污染及重度污染情况发生较多的城市为乌鲁木齐、兰州、赤峰三市。我国南北方地区的空气质量有明显差异,南方城市的空气质量优于北方城市。

#### 参考文献:

- [1] 邓伟,陈怀亮,杨海鹰,等. Models-3/CMAQ 模式对郑州市大气污染物的预报分析研究[J]. 气象与环境科学, 2007, 30(1): 54-57.
- [2] 胡友彪,朱正国. 北京市空气质量时间变化特点分析[J]. 北方环境, 2010, 22(2): 64-67.
- [3] WEI ZHEN LU, HONG DI HE, ANDREW Y T LEUNG. Assessing air quality in Hong Kong: A proposed, revised air pollution index (API) [J]. Building and Environment, 2011, 46:2562-2569.
- [4] 佟彦超,万本太. 城市空气质量周报及其进展[J]. 气候与环境研究, 1999, 4(3): 275-282.
- [5] 王斌. 利用空气污染指数(API)分析我国空气污染的区时空变化特征[D]. 青岛:中国海洋大学, 2008.
- [6] 王斌,高会旺. 中国沿海城市空气污染指数的分布特征[J]. 生态环境, 2008, 17(2): 542-548.
- [7] 孙炳彦,刘连友,郭兰兰,等. 我国南北方城市空气质量对比分析[J]. 环境保护科学, 2008, 34(4): 1-5.
- [8] 袁博,肖苏林,蒋大和. 我国城市群空气污染及其季节变化特点[J]. 环境科技, 2009, 22(1): 102-106.
- [9] 李小飞,张明军,王圣杰,等. 中国空气污染指数变

化特征及影响因素[J]. 环境科学, 2012, 33(6): 1936-1943.

- [10] 马宁,刘民. 奥运空气质量保障措施对北京城市空气污染指数的影响及持续效应研究[J]. 中华预防医学杂志, 2009, 43(6): 517-521.
- [11] 马涛,孔令毅,杨凤辉. 上海市城区空气质量现状与分析-兼论对空气质量日(周)报数据的利用[J]. 复旦学报, 2002, 41(6): 604-608.
- [12] 洪盛茂. 杭州主城区大气臭氧对空气污染指数 API 的影响[J]. 中国环境监测, 2010, 26(1): 46-52.
- [13] 张靖,班海群,丁卫东,等. 2002-2004 年河南省大气可吸入颗粒物污染现状及变化趋势分析[J]. 河南预防医学杂志, 2009, 20(3): 161-200.
- [14] 邵天杰,赵景波. 西安空气质量时空变化特征分析[J]. 干旱区研究, 2008, 25(5): 723-728.
- [15] 魏毅,孟亮,李朝阳. 2004-2010 年乌鲁木齐市可吸入颗粒物污染特征[J]. 气象与环境学报, 2012, 28(1): 82-85.
- [16] 杨浩,钟玉婷,何清,等. 乌鲁木齐和克拉玛依市 2008 年大气质量状况对比分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2011, 5(2): 40-45.
- [17] 陈灿. 广州市 2002-2003 年空气污染指数分析[J]. 四川环境, 2005, 24(5): 20-23.
- [18] 邓小红,宋仲容,李晓. 重庆市主城区大气环境质量变化分析及对策研究[J]. 中国环境监测, 2007, 23(3): 85-88.
- [19] 程丹丹,王丽涛,潘雪梅,等. 基于 CMAQ 模型的邯郸市霾污染来源的模拟研究[J]. 河北工程大学学报:自然科学版, 2012, 28(2): 45-48.
- [20] 任阵海,万本太,苏福庆,等. 当前我国大气环境质量的几个特征[J]. 环境科学研究, 2004, 17(1): 1-9.
- [21] 马芳,王丽涛,潘雪梅. 基于 MM5-Models-3/CMAQ 的中国地区大气污染模拟[J]. 河北工程大学学报:自然科学版, 2010, 27(4): 57-62.

(责任编辑 马立)

(上接第 47 页)

从表 2 可得:对氧转移效率的影响重要性顺序为 B(射流量)→C(内筒直径)→A(温度)。

## 4 结论

反应器最佳内筒直径为 7 cm,考虑充氧能力和理论动力效率的两者关系,选择 2.5 m<sup>3</sup>/h 作为最佳射流量,水温较低的时候有利于氧的转移,影响该反应器氧转移效率的主次因素顺序为:射流量→内筒直径→温度。

#### 参考文献:

- [1] 刘康怀,康为民,李月中. HCR-一种高效好氧生物处理技术[J]. 给水排水, 2000, 20(6): 25-28.
- [2] 张自杰,林沈忱,金儒霖. 排水工程下册(第 4 版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2000.
- [3] CJ/T 3015.2-93,曝气器清水充氧性能测定[S].
- [4] 法浩然. 硫酸法钛白粉生产的废酸治理[J]. 江苏化工, 1999, 27(3): 35-36.

(责任编辑 刘存英)