

渭南主城区道路积尘负荷及交通扬尘颗粒物排放^{*}巴利萌¹ 邓顺熙^{1#} 汪晶发¹ 宋 慧²

(1.长安大学环境科学与工程学院,陕西 西安 710054;2.长安大学建筑工程学院,陕西 西安 710061)

摘要 对渭南主城区道路积尘负荷进行了实测,并计算了2018年不同道路类型和不同车型的交通运输扬尘颗粒物排放量。结果表明:渭南主城区支路积尘负荷最大,为 1.79 g/m^2 ,高速积尘负荷最小,为 0.05 g/m^2 ,洒水作业能有效降低积尘负荷;渭南主城区道路交通扬尘 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 的年排放量分别为1 149.65、4 751.88 t;小型客车引起的交通扬尘颗粒物排放在城市道路(包括主干道、次干道、支路)和国道省道(包括国道和省道)上的分担率最高,分别为59.49%、41.46%,重型货车在高速上的分担率最高,为63.35%;城市道路交通扬尘颗粒物排放有明显的双峰日变化规律,而国道省道和高速不明显。

关键词 渭南主城区 交通扬尘 积尘负荷 颗粒物

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2020.03.018

Road dust loading in main urban area of Weinan and particulate matters emission released by vehicle fugitive dust BA Limeng¹, DENG Shunxi¹, WANG Jingfa¹, SONG Hui². (1. School of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an Shaanxi 710054; 2. School of Architecture Engineering, Chang'an University, Xi'an Shaanxi 710061)

Abstract: Road dust loading was determined in main urban area of Weinan, and particulate matters emission released by vehicle fugitive dust was estimated from different aspects of road types and vehicle types in 2018. Results showed that the dust loading of the branch road was the largest (1.79 g/m^2), while that of the expressway was the smallest (0.05 g/m^2). Sprinkling was an effective way to decrease dust loading. $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10} annual emissions released by vehicle fugitive dust in main urban area of Weinan were 1 149.65 and 4 751.88 t, respectively. On urban roads (including main road, secondary main road and branch road), and national and provincial roads (including national road and provincial road), the distribution rates caused by small passenger cars were the highest (59.49% and 41.46%, respectively). But on expressway, the distribution rates caused by heavy trucks was the highest (63.35%). The particulate matters emission released by vehicle fugitive dust had obvious daily variation with two peaks on urban roads, but not on national and provincial roads and expressway.

Keywords: main urban area of Weinan; vehicle fugitive dust; dust loading; particulate matters

近年来,我国机动车保有量迅速增长,交通污染排放已成为城市空气污染的重要来源,其中道路交通扬尘排放是城市颗粒物污染的重要因素^[1]。相关研究显示, $\text{PM}_{2.5}$ 每增加 $5\text{ }\mu\text{g/m}^3$,肺癌风险就会增加18%; PM_{10} 每增加 $10\text{ }\mu\text{g/m}^3$,肺癌风险增加22%;在繁忙道路附近100 m内居住,肺癌风险高出9%^[2]。因此,研究道路交通扬尘排放特征及其颗粒物排放量很有必要。

道路交通扬尘是道路积尘在机动车行驶过程中产生的气流作用下再悬浮而进入空气中形成的^[3]。BHASKAR等^[4]对印度坎普尔的道路交通扬尘排放特征研究发现,道路交通扬尘颗粒物排放占机动车总排放质量的20%~35%。AMATO等^[5]对法

国巴黎城区道路交通扬尘排放的研究得出,道路交通扬尘的 PM_{10} 排放量占城市 PM_{10} 年均排放量的60%。国内道路交通扬尘排放的研究主要集中在京津冀^{[6]23,[7]}、珠三角^{[8],[9]2661}等城市和地区,对于西北地区城市的道路交通扬尘排放特征还知之甚少。

渭南位于陕西关中平原东部,是陕西东部地区政治经济文化中心和交通枢纽,受地形和气象条件的影响,该地区污染物扩散条件较差。分析近3年的“陕西省统计年鉴”发现,渭南机动车保有量平均每年增加9.2%。

因此,本研究对渭南主城区道路积尘负荷进行实测,并收集不同类型道路上机动车活动水平信息,采用AP-42模型^[10]计算渭南主城区道路交通扬尘

第一作者:巴利萌,女,1994年生,硕士研究生,研究方向为交通移动源污染物排放与控制对策。[#]通讯作者。

^{*}国家重点研发计划项目(No.2016YF010037);陕西省科技统筹创新工程计划项目(No.2016KTZDSF-02-01);渭南市大气污染防治综合解决方案研究项目(No.DQGG-05-39)。

排放的颗粒物,并分析不同路型、不同车型对道路交通扬尘排放颗粒物的影响以及日变化特征,为道路交通扬尘污染治理提供决策依据。

1 研究方法

1.1 道路积尘负荷监测

根据渭南主城区路网实际情况分别在主干道、次干道、支路、省道、国道和高速共计45条道路(见表1)上进行了道路积尘负荷监测。

道路积尘负荷监测方法遵循《防治城市扬尘污染技术规范》(HJ/T 393—2007)要求,采用道路积尘负荷车载式快速监测系统^[11]开展走航监测。

1.2 道路交通扬尘颗粒物排放量估算

利用排放因子法对渭南主城区2018年道路交通扬尘颗粒物排放量进行估算,计算方法如式(1)所示。

$$Q=N \times E \times L \times V \quad (1)$$

式中: Q 为某一路类型的交通扬尘颗粒物年排放量,kg; N 为基准年天数,d,取365 d; E 为某一路类型的交通扬尘颗粒物排放因子,kg/(km·辆); L 为某一路类型的总长,km; V 为某一路类型上的日均交通量,辆/d。

本研究计算排放因子时用的积尘负荷是在常规条件下监测的,即在道路日常洒水2 h后路面干燥情况下走航监测,不必考虑道路污染控制措施的控制效率,故采用美国环境保护署(USEPA)的AP-42

模型来计算道路交通扬尘颗粒物排放因子(见式(2))。

$$E=K \times SL^{0.91} \times W^{1.02} \times (1-P/4N) \quad (2)$$

式中: K 为扬尘颗粒物粒度乘数,g/km; SL 为某一路类型的积尘负荷,g/m²; W 为某一路类型的平均车重,t; P 为基准年内可见降水天数(即降水量大于0.254 mm的天数),d,渭南2018年可见降水天数为89 d。

扬尘颗粒物粒度乘数参考USEPA的推荐值,PM_{2.5}和PM₁₀的粒度乘数分别取0.15、0.62 g/km。

日均交通量通过向当地交管部门收集主要道路卡口视频资料并进行统计分析得到,同时计算车流量系数^{[6]23};平均车重通过对当地机动车检测中心提供的不同车型平均重量、不同车型机动车占比等信息计算得到。渭南主城区各道路类型上的日均交通量和平均车重见表2。

利用ArcGIS 10.2软件的解译功能得到不同道路类型的总长,结果见表3。

2 结果与讨论

2.1 道路积尘负荷特征分析

2.1.1 不同道路类型积尘负荷分布特征

由表4可知,渭南主城区各道路类型平均积尘负荷大小顺序为:支路>次干道>省道>主干道>国道>高速,分别为1.79、1.22、1.08、0.94、0.71、0.05 g/m²。渭南位于西北地区,气候干燥,且易受沙尘

表1 积尘负荷监测道路
Table 1 The monitoring roads for dust loading

道路类型	监测道路
主干道	滨河大道、仓程路、朝阳大街、东风大街、高新西路、华山大街、胜利大街、敬贤大街、乐天大街、渭河大街、渭清路
次干道	崇业路、杜化路、丰庆路、解放路、新盛路、金水路、老城墙、老民生街、民生街、前进路、三贤路、石泉路、渭花路、象山路、新区北街、沈河东路
支路	城北街、东兴街、汉马街、恒通北路、民主路、人和公园北侧道路、人民街、西南京街、西兴街、西岳路、一青里街、玉德路、站北街
省道	107省道、108省道
国道	108国道、310国道
高速	G30高速

表2 渭南主城区不同道路类型日均交通量和平均车重
Table 2 The daily traffic flow and average vehicle weight of different road types in main urban area of Weinan

参数	主干道	次干道	支路	省道	国道	高速
日均交通量/(辆·d ⁻¹)	24 952	10 045	4 609	9 454	8 745	59 088
平均车重/t	1.83	2.15	1.82	2.44	2.56	4.03

表3 渭南主城区不同道路类型的总长
Table 3 Total lengths of different road types in main urban area of Weinan

项目	主干道	次干道	支路	省道	国道	高速
总长/km	251.10	171.66	114.70	71.10	51.47	174.24

表 4 渭南主城区不同道路类型积尘负荷
Table 4 The dust loading of different road types in main urban area of Weinan

道路类型	最小积尘负荷/(g·m ⁻²)	最大积尘负荷/(g·m ⁻²)	监测距离/km	平均积尘负荷/(g·m ⁻²)
主干道	0.35	2.33	58.32	0.94
次干道	0.28	4.16	32.93	1.22
支路	0.62	3.77	18.07	1.79
省道	0.36	2.31	9.42	1.08
国道	0.46	1.34	37.51	0.71
高速	0.03	0.06	2.64	0.05

暴影响,降尘量相对较大^[12]。通过对渭南主城区监测道路的积尘负荷及监测距离加权平均得到积尘负荷的平均值为 1.03 g/m²,比樊守彬等^{[6]22}对北京的研究结果高出约 2 倍,但不同类型道路的积尘负荷分布特征相似。支路积尘负荷大,主要由于支路车流量小而行人活动相对密集,且道路清洁频率较低;高速积尘负荷小,主要由于车流量大、车速快,机动车行驶过程造成的空气扰动使路面积尘扬起,导致路面积尘少。

2.1.2 道路洒水前后的积尘负荷比较

选择不同道路类型的共计 10 条道路比较了洒水前以及洒水 2 h 后路面干燥情况下的积尘负荷,结果如图 1 所示。由图 1 可见,大部分道路均是洒水后的积尘负荷低于洒水前,洒水后积尘负荷相较于洒水前平均下降 11.3%,可见洒水作业对城市道路积尘有较好的去除效果。

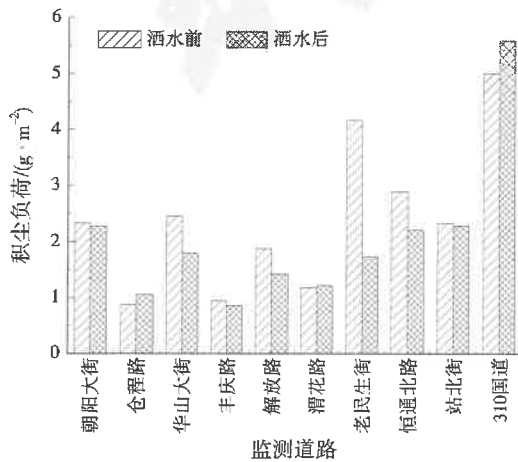


图 1 洒水前后的积尘负荷比较

Fig.1 Comparison of dust loading before and after sprinkling

2.2 道路交通扬尘颗粒物排放因子

2.2.1 不同道路类型的交通扬尘颗粒物排放因子

图 2 显示,各道路类型的交通扬尘 PM_{2.5}、PM₁₀ 排放因子大小顺序均为:支路>省道>次干道>国道>主干道>高速,与不同道路类型积尘负荷分布特征基本一致,这与北京^{[6]23}和珠江三角洲^{[9]2660}的交通扬尘颗粒物排放因子研究结果一致,说明道路积尘负荷是道路交通扬尘颗粒物排放因子的主要影响因素。总体而言,PM₁₀ 的排放因子大于 PM_{2.5}。

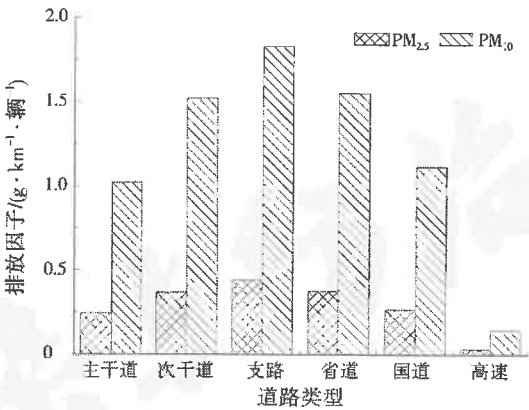


图 2 渭南主城区不同道路类型交通扬尘的排放因子
Fig.2 Fugitive dust emission characteristics of different road types in main urban area of Weinan

2.2.2 不同车型对排放因子的影响

不同道路类型上车型分布不同,对平均车重有重要影响,依据各道路类型上平均车重的相似性将研究的 6 种道路类型合并为城市道路(包括主干道、次干道和支路)、国省道(包括国道和省道)和高速 3 类,用于讨论不同车型对交通扬尘颗粒物排放因子的影响。由图 3 可见,不同道路类型上,不同车型的交通扬尘颗粒物排放因子大小排序规律基本相同,即重型货车>大型客车>中型货车>中型客车>轻型货车>小型客车>摩托车,可以看出车重越大,排放因子越大。

2.3 道路交通扬尘颗粒物排放量

2.3.1 不同道路类型交通扬尘颗粒物年排放量

由表 5 可见,渭南主城区道路交通扬尘的 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 年排放量分别为 1 149.65、4 751.88 t,其中由于主干道车流量大且道路总长最长,其 PM_{2.5}、PM₁₀ 年排放量最大,分别为 565.55、2 337.60 t,而国道最小,分别为 44.42、183.59 t。

2.3.2 不同车型对道路交通扬尘颗粒物排放量的影响

分析表 6 可知,同一路段类型,各车型的 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 年排放量分担率相同。计算不同道路类型上各车型的 PM_{2.5} 或 PM₁₀ 年排放量分担率发现,不同车型在不同道路类型上引起的交通扬尘颗粒物排

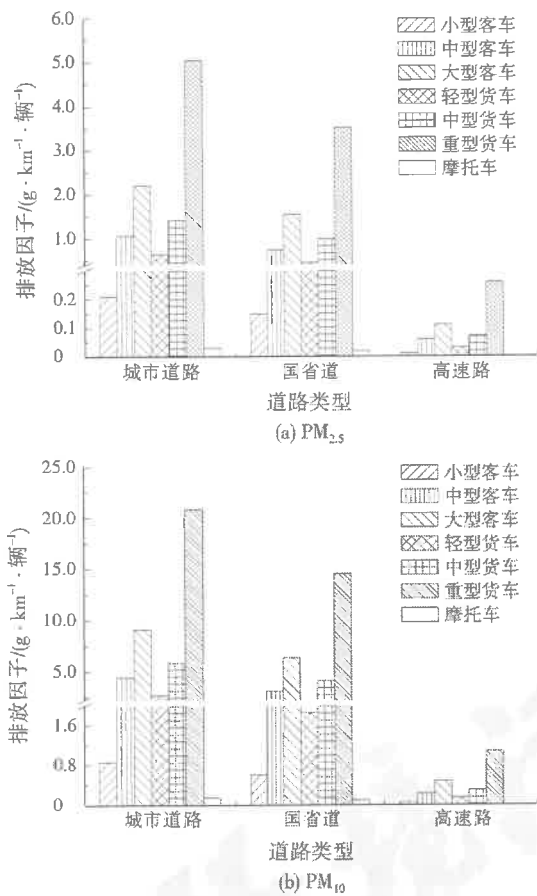


图3 不同车型的排放因子
Fig.3 Emission factors of different vehicle types
表5 渭南主城区2018年不同道路类型交通扬尘颗粒物年排放量

Table 5 Particulate matters annual emissions released by vehicle fugitive dust of different road types in main urban area of Weinan, 2018

项目	PM _{2.5} /t	PM ₁₀ /t
主干道	565.55	2 337.60
次干道	231.72	957.78
支路	85.42	353.07
省道	92.21	381.14
国道	44.42	183.59
高速	130.33	538.70
合计	1 149.65	4 751.88

表6 渭南主城区2018年不同车型的道路交通扬尘颗粒物年排放量
Table 6 Particulate matters annual emissions released by vehicle fugitive dust of different vehicle types in main urban area of Weinan, 2018

车型	城市道路		国省道		高速路	
	PM _{2.5} /t	PM ₁₀ /t	PM _{2.5} /t	PM ₁₀ /t	PM _{2.5} /t	PM ₁₀ /t
小型客车	370.73	1 532.34	49.49	204.58	34.42	142.26
中型客车	2.45	10.11	5.19	21.43	0.33	1.38
大型客车	189.82	784.58	10.98	45.40	4.52	18.66
轻型货车	33.76	139.53	6.67	27.56	3.40	14.04
中型货车	14.94	61.77	2.68	11.07	6.07	25.10
重型货车	10.46	43.24	43.86	181.31	84.25	348.25
摩托车	1.05	4.36	0.49	2.04		

放分担率差别较大。城市道路上交通扬尘颗粒物排放主要来源于小型客车,分担率达到59.49%,其次是大中型客车,分担率为30.46%;国省道上小型客车的交通扬尘颗粒物年排放量分担率为41.46%,重型货车为36.75%;而重型货车在高速上的分担率最大(63.35%)。

2.3.3 道路交通扬尘颗粒物排放日变化特征

由图4可见,渭南主城区城市道路的车流量系数日变化趋势相似,均呈现出明显的双峰分布特征,而国省道和高速由于受早晚高峰的影响较小,双峰日变化特征不如城市道路明显。

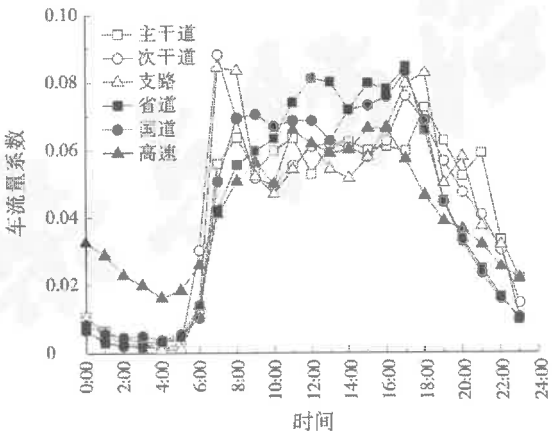
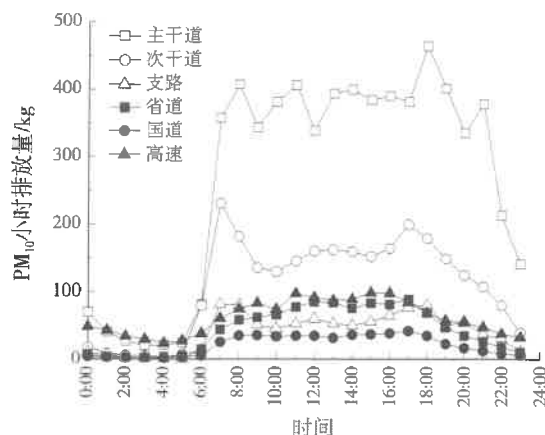


图4 渭南主城区不同道路类型车流量系数日变化特征
Fig.4 Diurnal variation characteristics of traffic flow coefficients of different road types in main urban area of Weinan

由于道路交通扬尘PM_{2.5}和PM₁₀小时排放量的日变化趋势一致,因此以PM₁₀的小时排放量日变化数据为例进行分析(见图5)。PM₁₀小时排放量日变化趋势与各道路类型的车流量系数日变化基本一致,说明车流量是影响道路交通扬尘颗粒物排放量的重要因素。城市道路上,早高峰(7:00—9:00)与晚高峰(17:00—19:00)时道路扬尘PM₁₀小时排放量出现明显的峰值。国省道和高速上由于车流量受早晚高峰的影响较小,其道路扬尘PM₁₀小时排放量



注:小时排放量计算方法参照式(1), N 改为时间,取1 h; V 改为某一路类型上的时均交通量,辆/h;同时假设 E 全年不变。

图5 渭南主城区不同道路类型交通扬尘 PM_{10} 小时排放量日变化特征

Fig.5 Diurnal variation characteristics of PM_{10} hourly emissions of different road types in main urban area of Weinan

的双峰分布不明显,总体上白天排放量明显高于夜间。但是高速上夜间排放量较高,这是因为夜间高速上中重型货车车流量较大。

3 结论

(1) 渭南主城区支路、次干道、省道、主干道、国道和高速积尘负荷分别为1.79、1.22、1.08、0.94、0.71、0.05 g/m²;洒水2 h后积尘负荷较洒水前平均下降11.3%。

(2) 渭南主城区各道路类型的交通扬尘颗粒物排放因子大小顺序均为:支路>省道>次干道>国道>主干道>高速,与不同道路类型积尘负荷分布特征相似;不同车型的交通扬尘颗粒物排放因子与平均车重呈正相关关系,表现为:重型货车>大型客车>中型货车>中型客车>轻型货车>小型客车>摩托车。

(3) 渭南主城区道路交通扬尘 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的年排放量分别为1 149.65、4 751.88 t。城市道路上交通扬尘颗粒物排放主要来源于小型客车,分担率达到59.49%;国省道也主要来源于小型客车,分担率为41.46%;高速主要来源于重型货车,分担率为63.35%。

(4) 不同道路类型交通扬尘 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 小时排放量的日变化趋势与车流量系数一致,城市道路早晚高峰出现明显的双峰日变化特征,而国省道和高速双峰日变化特征不明显。

参考文献:

[1] 冯跃武,陈杰.城市扬尘污染防治初探[J].能源与节能,2011,

38(4):40-41.

- [2] RAASCHOU NIELSEN O, ANDERSEN Z J, BEELEN R, et al. Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for 3 Air Pollution Effects (ESCAPE) [J]. The Lancet Oncology, 2013, 14(9): 813-822.
- [3] VALOTTO G, ZANNONI D, RAMPAZZO G, et al. Characterization and preliminary risk assessment of road dust collected in Venice airport (Italy) [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2018, 190: 142-153.
- [4] BHASKAR V S, SHARMA M. Assessment of fugitive road dust emissions in Kanpur, India: a note [J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2008, 13(6): 400-403.
- [5] AMATO F, FAVEZ O, PANDOLFI M, et al. Traffic induced particle resuspension in Paris: emission factors and source contributions [J]. Atmospheric Environment, 2016, 129: 114-124.
- [6] 樊守彬,张东旭,田灵娣,等.北京市交通扬尘 $PM_{2.5}$ 排放清单及空间分布特征[J].环境科学研究,2016,29(1).
- [7] 许妍,周启星.天津城市交通道路扬尘排放特征及空间分布研究[J].中国环境科学,2012,32(12): 2168-2173.
- [8] 刘永红,詹鹏铭,刘建昌,等.广东佛山交通扬尘排放特征研究[J].环境科学与技术,2014,37(8): 80-86.
- [9] 彭康,杨杨,郑君瑜,等.珠江三角洲地区铺装道路扬尘排放因子与排放清单研究[J].环境科学学报,2013,33(10).
- [10] USEPA. Emission factor documentation for AP-42, Section 13.2.1: paved roads [R]. Kansas: Midwest Research Institute, 2011.
- [11] 北京市环境保护科学研究院.一种道路交通扬尘控制措施效果评估系统:204086081U[P].2015-01-07.
- [12] 王明仕,李晗,王明娅,等.中国大气降尘地域性分布特征研究[J].生态环境学报,2014,23(12): 1933-1937.

编辑:陈锡超 (收稿日期:2019-05-13)

(上接第347页)

- [14] 宁致远,沈欣军,李树然,等.湿式除尘器内部湍流场与粒子轨迹的数值分析[J].浙江大学学报(工学版),2017,51(2): 384-392.
- [15] 叶兴联,杨丁,郭俊,等.SCR脱硝超低排放工程改造流场优化[J].环境工程学报,2018,12(6): 1725-1732.
- [16] 丁倩倩,李珊红,李彩亭,等.滤袋长度对袋式除尘器内流场影响的数值模拟研究[J].环境工程学报,2015,9(11): 5521-5526.
- [17] 王以飞,沈恒根.袋式除尘器在线清灰流场分布的研究[J].环境工程,2010,28(2): 72-77.
- [18] 唐奇,李珊红,李彩亭,等.滤袋数目对翼形上进风袋式除尘器内流场影响的数值模拟研究[J].环境工程学报,2014,8(8): 3349-3354.
- [19] 郭威,李彩亭,李珊红,等.活性焦联合脱硫脱硝脱汞塔入口气流均布与喷氨优化[J].环境工程学报,2017,11(5): 2851-2857.
- [20] 李少华,王坤玉,格日勒,等.袋式除尘器气流分布均匀性的数值模拟[J].电站系统工程,2009,25(2): 17-18.

编辑:黄 菁 (收稿日期:2019-04-25)

