

车辆限行对道路和施工扬尘排放的影响

田刚, 李钢, 秦建平, 樊守彬*, 黄玉虎, 聂磊

(北京市环境保护科学研究院, 北京 100037)

摘要:采用降尘法对道路和施工扬尘排放进行连续监测, 通过限行之前和限行期间数据分析, 研究了“好运北京”体育赛事期间机动车交通限行措施对道路和施工扬尘的消减情况、道路和施工扬尘对北京大气环境颗粒物的贡献率、道路和施工扬尘源占本地颗粒物排放总量的比重。结果表明, 车辆限行措施对降低道路和施工扬尘的效果明显; 环路限行期间降尘量平均值为 $0.27 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, 限行之前 1 个月和限行之前 7d 降尘量平均值为 0.81 和 $0.59 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, 主干道和次干道限行期间降尘量平均值为 $0.21 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, 限行之前 1 个月和限行之前 7d 降尘量平均值为 0.54 和 $0.58 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, 道路降尘量下降了 60% ~ 70%; 限行期间民用建筑施工降尘量平均值为 $0.27 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, 限行之前 20 d 为 $1.15 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, 限行期间公用建筑施工降尘量平均值为 $1.06 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, 限行之前 20 d 为 $1.55 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, 施工降尘下降 30% ~ 47%; 道路和施工扬尘是北京市颗粒物污染的主要来源, 其对环境 PM_{10} 的贡献率为 21% ~ 36%; 当本地污染源 PM_{10} 排放量占环境总量的 50% 和 70% 时, 道路和施工扬尘 PM_{10} 排放量分别占本地污染源的 42% ~ 72% 和 30% ~ 51%。

关键词: 道路扬尘; 施工扬尘; 降尘; PM_{10}

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2009)05-1528-05

Influence of Traffic Restriction on Road and Construction Fugitive Dust

TIAN Gang, LI Gang, QIN Jian-ping, FAN Shou-bin, HUANG Yu-hu, NIE Lei

(Beijing Municipal Research Academy of Environmental Protection, Beijing 100037, China)

Abstract: By monitoring the road and construction dust fall continuously during the “Good Luck Beijing” sport events, the reduction of road and construction dust fall caused by traffic restriction was studied. The contribution rate of road and construction dust to particulate matter of Beijing atmosphere environment, and the emission ratio of it to total local PM_{10} emission were analyzed. The results show that the traffic restriction reduces road and construction dust fall significantly. The dust fall average value of ring roads was $0.27 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ in the “traffic restriction” period, and the values were 0.81 and $0.59 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ 1 month and 7 days before. The dust fall average value of major arterial and minor arterial was $0.21 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ in the “traffic restriction” period, and the values were 0.54 and $0.58 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ 1 month and 7 days before. The roads emission reduced 60%-70% compared with before traffic restriction. The dust fall average values of civil architecture and utility architecture were 0.61 and $1.06 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ in the “traffic restriction” period, and the values were 1.15 and $1.55 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ 20 days before. The construction dust reduced 30%-47% compared with 20 days before traffic restriction. Road and construction dust emission are the main source of atmosphere particulate matter in Beijing, and its contribution to ambient PM_{10} concentration is 21%-36%. PM_{10} emitted from roads and constructions account for 42%-72% and 30%-51% of local emission while the local PM_{10} account for 50% and 70% of the total emission.

Key words: road fugitive dust; construction fugitive dust; dust fall; PM_{10}

扬尘是我国许多城市大气颗粒物主要来源, 施工和道路扬尘是最主要的扬尘污染源^[1,2], 因此控制道路和施工扬尘是改善城市大气环境的重要手段。近年来一些学者研究了道路和施工扬尘部分控制措施的效果。Kuhns 等^[3]基于 TRAKER 方法研究了洒水、撒防滑剂和道路清扫对道路扬尘排放的影响, Etyemezian 等^[4]研究了车速和车流量等对道路扬尘排放的影响, Chang 等^[5]通过环境监测的方法研究了我国台湾道路清扫和清洗对环境 TSP 浓度的影响, Muleski 等^[6]分析了建筑工地带出的泥土对道路扬尘排放的影响。

鼓励市民乘坐公共交通, 减少道路车流量是改善城市交通环境和空气质量的重要措施之一, 但是

由于客观条件和测试手段的限制, 目前还没有相关研究对车辆限行措施对道路和施工扬尘的影响做出定量分析。

为达到 2008 年奥运会北京城市大气质量的要求, 量化车辆限行对城区大气质量的改善程度, 北京市政府在“好运北京”系列赛事过程中实施了车辆限行措施, 并启动了全方位的环境监测。限行时间为 2007-08-17 ~ 2007-08-20, 限行手段主要为车辆分单

收稿日期: 2008-05-31; 修订日期: 2008-07-11

基金项目: 国家环保公益性行业科研专项(200709030); 北京市环境保护科技计划项目

作者简介: 田刚(1954 ~), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为扬尘控制技术 and 工业废水控制技术, E-mail: tg-icp@vip.163.com

* 通讯联系人, E-mail: fanshoubin@163.com

双号行驶、全天禁止渣土运输车辆通行等,为考察上述限行措施对本市道路及施工扬尘的控制效果,本研究以降尘为指标对城八区内 40 条道路和 12 个建筑工地在此期间的降尘量进行了专项监测,将所得数据与该点限行前几天以及其他历史数据进行了比较.通过监测数据可以看出,限行期间城区道路边的道路扬尘及工地边界施工扬尘均有明显降低.对照同期环境质量改善数据,可以看出北京市道路及施工扬尘对大气环境颗粒物的贡献率很高.

1 材料与方法

1.1 监测设备

降尘集尘缸尺寸执行《环境空气-降尘的测定-重量法》(GB/T 15265-1994)规定,材质为 95 号玻璃,集尘缸采样高度为 3 m.

1.2 监测和分析

按照《环境空气-降尘的测定-重量法》进行降尘数据分析,降尘单位取 $g \cdot (m^2 \cdot d)^{-1}$.

1.3 试验

(1)监测指标选择依据 道路及施工扬尘污染源所排放的扬尘,颗粒较大的部分落在污染源附近形成降尘,颗粒较小的部分可以随气流扩散到更远的地方^[7].研究表明,扬尘污染源附近空间的降尘和 TSP 有较好的正线性关系^[8],道路和施工扬尘排放的 TSP 与 PM_{10} 有较好的正线性关系^[9],因此利用降尘数据分析扬尘污染源的排放规律不仅方法简单,而且结果可靠.

(2)道路扬尘 以北京城八区内 40 条长年进行降尘监测的道路为研究对象,每条道路选择 2 个监测点,共计 80 个监测点.监测点设置在主路与辅路之间,避开大树、公交车站、交叉路口和施工工地等可能干扰数据代表性的地点,对照点为各所在区的空气监测子站内部监测点,高度均为 3 m.

(3)施工扬尘 在已有设置降尘监测的建筑工地中选择 6 个民用建筑和 6 个公用建筑的工地为研究对象,一般工地设 4 个监测点,较大工地设 8 个,共设置 56 个监测点.监测点集尘缸设置在工地围挡边 ± 1 m 处,对照点为各所在区的空气监测子站内部监测点,高度均为 3 m.

(4)取样及分析 8 月 16 日 20:00 至次日凌晨期间统一更换集尘缸,8 月 20 日下午至深夜统一取样,按照实际设样周期(精确到 min)计算降尘量.同一条道路或同一个工地不同监测点的平均数据,减去对照点的差值作为道路和工地监测点降尘增量 ΔDF .

2 结果与分析

2.1 道路扬尘消减效果

表 1 和表 2 为各有关监测路段不同时段의降尘量 ΔDF ,其中限行之前 1 个月、限行之前 7 d 和限行期间降尘量,分别指 2007-07-10 ~ 2007-08-09、2007-08-10 ~ 2007-08-16,以及相同采样周期内的道路降尘量日均值.下降率包括限行期间相对限行之前 1 个月和限行之前 7 d 的下降率.

表 1 环路道路降尘消减情况
Table 1 Dust fall reduction of ring road

区域	道路	限行期间降尘量	限行之前 1 个月		限行之前 7 d	
		$/g \cdot (m^2 \cdot d)^{-1}$	降尘量/ $g \cdot (m^2 \cdot d)^{-1}$	下降率/%	降尘量/ $g \cdot (m^2 \cdot d)^{-1}$	下降率/%
东城	东二环	0.24	0.83	71	0.79	70
西城	西二环	0.37	1.05	70	—	—
崇文	南二环	0.15	0.58	74	0.37	59
宣武	西南二环	0.37	0.69	46	—	—
朝阳	东三环	0.12	0.61	80	0.62	80
海淀	西三环	0.33	0.84	61	—	—
丰台	西南三环	0.33	1.04	68	—	—
平均		0.27	0.81	67	0.59	70

从表 1 和表 2 中的数据可以看出,相对于之前 1 个月、之前 7 d 的数据,限行期间环路降尘量分别下降了约 67%、70%,干道及次干道降尘量分别下降了约 60%、70%,效果均非常明显.车流量与路面尘负荷是影响道路扬尘的 2 个关键参数^[10],道路扬尘排放量与车流量和路面尘负荷呈正相关性.通过车

辆单双号行驶,降低了车流量,通过禁止渣土运输车辆通行,降低了路面尘负荷,2 项措施均促成道路扬尘降低.

从表 1、2 中的数据还可以看出,环路降尘消减率略高于干道,初步分析是因为环路车流量大,正常时段环路降尘量明显大于干道,因此限行后降尘削

表 2 干道及次干道道路降尘消减情况

Table 2 Dust fall reduction of major arterial and minor arterial						
区域	道路	限行期间降尘量	限行之前 1 个月		限行之前 7 d	
		/g·(m ² ·d) ⁻¹	降尘量/g·(m ² ·d) ⁻¹	下降率/%	降尘量/g·(m ² ·d) ⁻¹	下降率/%
东城	东四十条大街	0.15	0.95	84	0.73	79
西城	展览路	0.38	0.60	37	—	—
崇文	两广路	0.20	0.53	62	0.66	70
崇文	体育馆路	0.18	0.53	66	0.30	40
崇文	培新街	0.09	0.16	44	0.77	88
宣武	两广路	0.23	0.51	55	—	—
宣武	菜市口南大街	0.18	0.31	42	—	—
宣武	白纸坊西街	0.10	0.20	50	—	—
朝阳	农展南路	0.03	0.39	92	0.28	89
朝阳	南三里屯路	0.32	0.49	35	0.72	56
海淀	车公庄西路	0.09	0.75	88	—	—
海淀	首体南路	0.03	0.28	89	—	—
丰台	丽泽路	0.83	1.10	25	—	—
丰台	万丰路	0.26	0.51	49	—	—
丰台	北大街	0.21	0.35	40	—	—
石景山	石景山路	0.17	0.58	71	—	—
石景山	古城大街	0.10	0.41	76	—	—
石景山	鲁谷路	0.22	0.55	60	—	—
石景山	鲁谷西街	0.25	1.09	77	—	—
平均		0.21	0.54	60	0.58	70

减效果更为明显. 限行之前 7 d 降尘量高于之前 1 个月,可能和天气情况有关.

2.2 施工扬尘消减效果

表 3 和表 4 分别为各有关工地不同时段的降尘量 ΔDF, 其中限行之前 20 d、限行期间降尘量, 分别指 2007-07-27 ~ 2007-08-16、2007-08-17 ~ 2007-08-20 采样周期内各工地降尘量日均值.

表 3 民用建筑施工降尘消减情况

Table 3 Dust fall reduction of civil architecture				
区域	工地 编号	限行之前 20 d 降尘量	限行期间降尘量	下降率
		/g·(m ² ·d) ⁻¹	/g·(m ² ·d) ⁻¹	/%
东城	民建 1	1.02	0.42	59
西城	民建 2	1.50	0.71	53
崇文	民建 3	0.90	0.49	46
宣武	民建 4	0.59	0.37	37
朝阳	民建 5	1.51	1.24	18
石景山	民建 6	1.36	0.45	67
平均		1.15	0.61	47

表 4 公用建筑施工降尘消减情况

Table 4 Dust fall reduction of utility architecture				
区域	工地 编号	限行之前 20 d 降尘量	限行期间降尘量	下降率
		/g·(m ² ·d) ⁻¹	/g·(m ² ·d) ⁻¹	/%
朝阳	公建 1	2.02	1.46	28
朝阳	公建 2	1.48	1.09	26
朝阳	公建 3	1.23	0.78	37
朝阳	公建 4	2.21	1.52	31
海淀	公建 5	1.38	1.08	22
丰台	公建 6	0.98	0.45	37
平均		1.55	1.06	30

从表 3 和表 4 中的数据可以看出, 相对于限行之前 20 d 的数据, 限行期间民建施工降尘下降了约 47%, 公建施工降尘下降约 30%, 效果均较为明显. 施工现场内部道路扬尘是施工扬尘的重要组成部分^[11], 通过车辆限行和对渣土运输禁行, 一方面降低了施工内部道路扬尘的排放, 另一方面因工程材料进场受到了限制, 而造成施工强度降低, 施工扬尘也相应减少.

公用建筑降尘消减率低于民用建筑, 主要是因为工期紧迫, 政府管理部门对公建工地的限制力度小于民建工地.

2.3 道路和施工扬尘对城市大气环境的贡献率

细化和量化不同污染源对大气环境颗粒物的贡献率是研究者和管理者都非常感兴趣的重要课题, 也是一个较为复杂的问题, 车辆限行使本研究获得了计算其结果的极佳机会. 本次限行活动对颗粒物排放有明显影响的部位主要是道路和施工工地, 因此通过对照大气环境同时期的减排效率, 可以较为直接地计算出道路扬尘和施工扬尘对大气环境颗粒物的贡献率.

根据北京市政府公布的数据, 车辆限行使北京大气环境中 PM₁₀ 等污染物的浓度降低了 15% ~ 20%^[12]. 为了简化计算, 在借用历史数据同时提出以下设定: ①除道路扬尘、汽车尾气、和施工扬尘外,

车辆限行对其他 PM_{10} 污染源的排放没有影响；②汽车尾气与道路扬尘 PM_{10} 排放量的比值为 $0.19:1^{[1]}$ ；③车辆限行减少了 50% 的车流量，汽车尾气的排放量也相应减少了 50%，汽车尾气排放消减对路边降尘的影响忽略不计；④北京施工扬尘和道路扬尘 PM_{10} 排放量的比值为 $0.43:1^{[1]}$ ；⑤污染源附近的降尘量与 PM_{10} 呈线性关系^[8]；⑥在短时期内气象条件变化不大的情况下，污染源 PM_{10} 排放浓度与排放量呈线性关系，大气环境 PM_{10} 浓度与总排放量呈线性关系，可得公式(1)：

$$Q_1 \times \eta_1 + Q_1 \times 0.19 \times 0.5 + Q_1 \times 0.43 \times \eta_2 = Q_0 \times \eta_0$$

(1)

式中， Q_1 为正常时间内因道路扬尘排放产生的 PM_{10} 量，(质量)·(容积)⁻¹； Q_0 为正常时间内大气环境中的 PM_{10} 量，(质量)·(容积)⁻¹； η_1 、 η_2 、 η_0 分别为限行期间道路扬尘排放浓度消减率、施工扬尘排放浓度消减率、大气环境浓度的消减率，通过整理可得公式(2)：

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \frac{\eta_0}{(\eta_1 + 0.095 + 0.43 \times \eta_2)}$$

(2)

显然公式(2)左边部分 Q_1/Q_0 是道路扬尘对环境颗粒物贡献率，以 λ_1 表示(无因子量)。根据设定④，可得道路和施工 2 项扬尘对环境颗粒物的贡献率，如公式(3)：

$$\lambda = \frac{Q_1 + 0.43 \times Q_1}{Q_0} = 1.43\lambda_1$$

(3)

式中， λ 为道路和施工扬尘对环境颗粒物贡献率，无因子量。

根据公式(2)可知， η_1 、 η_2 越大，或 η_0 越小，道路和施工扬尘的贡献率越小，反之亦然。 η_0 取较小值 15%， η_1 、 η_2 分别取较大值 70% (相对限行之前 7 d 的道路扬尘消减率)、47% (民建施工扬尘消减率)，带入公式(2)、(3)，可得 $\lambda_{\min} = 21\%$ ； η_0 取较大值 20%， η_1 、 η_2 分别取较小值 59.5% (相对限行前 1 个月的道路扬尘消减率)、30% (公建施工扬尘消减率)，带入公式(2)、(3)，可得 $\lambda_{\max} = 36\%$ 。根据以上计算，北京道路扬尘和施工扬尘对环境 PM_{10} 的贡献率为 21% ~ 36%。

λ 是道路和施工扬尘对大气环境中 PM_{10} 总量的贡献率，扣除外来污染物(本底值)，就可以算出道路和施工扬尘对本地 PM_{10} 排放总量的贡献率 φ 。设 δ 为大气环境中本地排放的 PM_{10} 占环境总量的比率，

则有公式(4)：

$$\varphi = \frac{Q_1}{Q_3} = \frac{Q_1}{Q_0 \times \delta} = \frac{\lambda}{\delta}$$

(4)

式中 Q_3 为正常时间内本底污染源在大气环境中产生的 PM_{10} 量，(质量)·(容积)⁻¹。显然， δ 值越小，则 φ 值越大。表 5 为是不同情境下 φ 的数值。

表 5 不同情境下的 φ 值/%

Table 5 Values of φ in different scene/%

项目	$\delta / \%$		
	50	60	70
$\varphi_{\min}$	42	35	30
$\varphi_{\max}$	72	60	51

从表 5 中的数据可以看出，当本地污染源 PM_{10} 排放量占环境总量的 50%、70% 时，道路和施工扬尘 PM_{10} 排放量分别占本地污染源的 42% ~ 72%、30% ~ 51%，显然道路和施工扬尘是北京大气环境的重大颗粒物污染源。

3 结论

(1)通过车辆单双号行驶，降低了车流量，通过禁止渣土运输车辆通行，降低了路面尘负荷，两项措施促成了北京道路限行期间道路扬尘的大幅度降低。

(2)相对之前 7 d 的数据，限行期间北京环路和干道的路边降尘量均下降了约 70%。

(3)相对之前 20 d 的数据，限行期间北京民建、公建工地边界施工降尘分别下降了约 47%、30%，效果也较明显。

(4)北京道路扬尘和施工扬尘对环境 PM_{10} 的贡献率为 21% ~ 36%。

(5)当本地污染源 PM_{10} 排放量占环境总量的 50%、70% 时，道路和施工扬尘 PM_{10} 排放量分别占本地污染源的 42% ~ 72%、30% ~ 51%。

参考文献：

[1] 田刚,李钢,闫宝林,等.北京大气环境 PM_{10} 污染控制技术应用研究[R].北京:北京市环境保护科学研究院,2005.

[2] 钟宇红,房春生,邱立民,等.典型城市大气颗粒物无机组分源解析[J].东北师大学报(自然科学版),2008,40(1):136-140.

[3] Kuhns H, Etyemezian V, Green M, *et al.* Vehicle-based road dust emission measurement-Part II: Effect of precipitation, wintertime road sanding, and street sweepers on inferred PM_{10} emission potentials from paved and unpaved roads[J]. Atmospheric Environment, 2003, 37(32):4573-4582.

[4] Etyemezian V, Kuhns H, Gillies J, *et al.* Vehicle-based road dust emission measurement(Ⅲ): effect of speed, traffic volume, location,

- and season on PM_{10} road dust emissions in the Treasure Valley, ID [J]. *Atmospheric Environment*, 2003, **37**(32): 4583-4593.
- [5] Chang Y M, Chou C M, Su K T, *et al*. Effectiveness of street sweeping and washing for controlling ambient TSP [J]. *Atmospheric Environment*, 2005, **39**(10): 1891-1902.
- [6] Muleski G, Page A. Characterization of PM_{10} Emissions from Controlled Construction Activities: Mud/Dirt Carryout [R]. Kansas City, Missouri. Midwest Research Institute, 2001.
- [7] 田刚, 李钢, 闫宝林, 等. 施工扬尘空间扩散规律研究[J]. *环境科学*, 2008, **29**(1): 259-261.
- [8] 田刚, 李建民, 李钢, 等. 建筑工地大气降尘与总悬浮颗粒物相关性研究[J]. *环境科学*, 2007, **28**(9): 1941-1943.
- [9] USEPA. Emission factor documentation for AP-42 [R]. Kansas City, MO: Midwest Research Institute, 1993.
- [10] 樊守彬, 田刚, 李钢, 等. 北京铺装道路交通扬尘排放规律研究[J]. *环境科学*, 2007, **28**(10): 2396-2399.
- [11] 黄玉虎, 田刚, 秦建平, 等. 不同施工阶段扬尘污染特征研究[J]. *环境科学*, 2007, **28**(12): 2885-2888.
- [12] 北京市环境保护局. 好运北京体育赛事期间空气质量测试结果及相关情况[R]. 北京: 北京市环境保护局, 2007.