

施工扬尘空间扩散规律研究

田刚, 李钢, 闫宝林, 黄玉虎*, 秦建平

(北京市环境保护科学研究院, 北京 100037)

摘要:通过检测建筑工地边界附近同一平面坐标 1.5~4.1 m 范围内不同高度处的降尘浓度变化,研究了建筑工地边界施工扬尘垂直扩散规律;通过监测建筑工地外同方向 0~210 m 范围内不同距离、相同高度(3 m)处的降尘浓度变化,研究了建筑工地施工扬尘水平扩散规律,通过数据回归分别得出了施工扬尘垂直、水平的扩散模型。结果表明,建筑工地边界同一平面坐标上方的施工降尘浓度与高度的 2 次方成反比关系,边界外部同一高度、同一方向的施工降尘浓度与监测点距工地中心距离的 2 次方成反比关系,施工活动和自然条件等因素主要影响垂直和水平扩散常数的大小。

关键词:施工扬尘;降尘;扩散模型

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2008)01-0259-04

Spatial Dispersion Laws of Fugitive Dust from Construction Sites

TIAN Gang, LI Gang, YAN Bao-lin, HUANG Yu-hu, QIN Jian-ping

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

Abstract: Dust fall was selected as a monitored index of fugitive dust from construction sites. The vertical dispersion law of fugitive dust was studied nearby construction site's boundary by monitoring the concentration variation of dust fall at different heights from 1.5 meters to 4.1 meters. The horizontal dispersion law of fugitive dust was studied along different distance between monitoring points and construction site from 0 meters to 210 meters. We gained the vertical and horizontal dispersion models of fugitive dust by regressing measurement date. The results showed that the concentration of relative dust fall from construction site was proportional to second power of monitoring height, and relative dust fall at uniform height and direction was also proportional to second power of level distance between monitoring points and construction site. The vertical and horizontal dispersion constants are mainly affected by construction activity and natural condition.

Key words: construction fugitive dust; dust fall; dispersion model

施工扬尘是发展中城市大气可吸入颗粒物(PM_{10})的主要来源之一,工地扬尘排放量和施工规模、作业方式、气候、地质条件、扬尘控制措施等因素有关。施工扬尘属于典型的无组织排放源,具有污染过程复杂、排放随机性大、难以量化等特点。

了解施工扬尘空间扩散规律,对于计算施工扬尘排放量和制定扬尘控制措施具有重要的意义。目前,未见国内外相关报道。

本文以北京市 2 个建筑工地为实验场地,以降尘(DF)为一次性监测指标,经过 2 a 的研究,探索了建筑工地边界上方和边界外部的扬尘空间分布规律。结果表明,建筑工地边界同一平面坐标上方的施工降尘浓度与高度的 2 次方成反比,边界外部同一高度、同一方向的施工降尘浓度与监测点距工地中心距离的 2 次方也成反比关系。

1 材料与方法

1.1 检测设备与分析

DF 检测:集尘缸尺寸、降尘采样与分析均执行《环境空气-降尘的测定-重量法》(GB/T 15265-1994)

规定,集尘缸材质为 95 号玻璃。

1.2 试验

1.2.1 检测指标选择依据

本研究选择降尘而不是通常采用的 TSP 或 PM_{10} 作为分析扬尘扩散规律的检测指标,其理由主要为:降尘检测方法简单、成本较低,不需要电源;降尘在空间迁移时浓度削减速率快,不易受外界扬尘的干扰;降尘连续采样,描述了一个长时间的扬尘过程,可以较好地消除因时、空的不确定性造成的取样误差;工地边界的降尘与 TSP(PM_{10})有很好的正相关性^[1]。图 1 是本研究实验装置的示意图(实际实验是在不同的 2 个现场完成的)。

1.2.2 施工扬尘垂直扩散实验

在“西城区五栋大楼”建筑工地边界处,设置 1.50~4.13 m 不同高度的集尘缸 8 个,在附近官园大气监测子站内设置 3 m 高的背景降尘监测点

收稿日期: 2006-11-01; 修订日期: 2007-04-20

基金项目: 北京市科技计划项目(H030630540430)

作者简介: 田刚(1954~),男,博士,研究员,主要研究方向为无组织扬尘控制技术、工业废水控制技术。

* 通讯联系人, E-mail: huangyuhu@sina.com

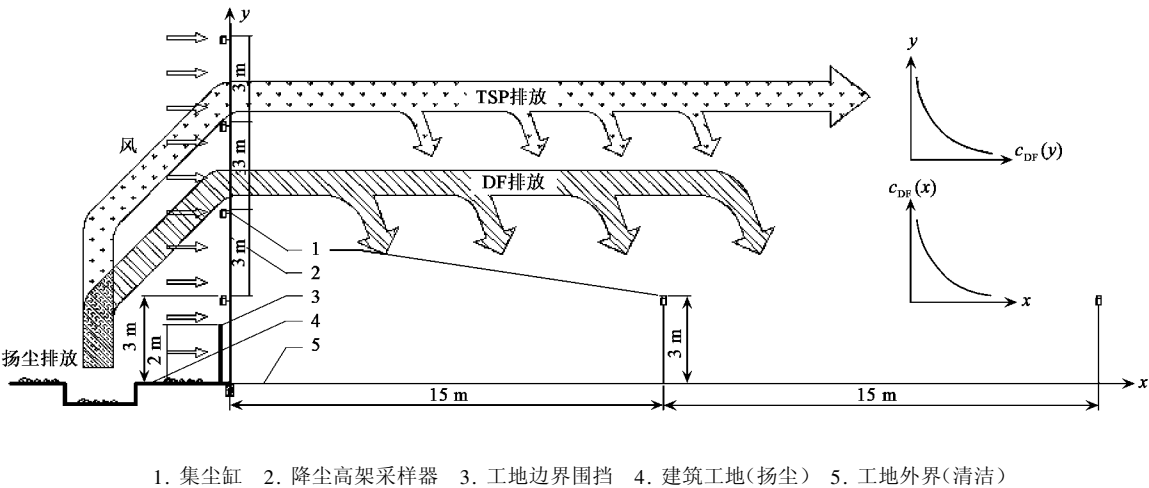


图1 施工扬尘扩散规律实验装置示意

Fig.1 Schematic diagram of experimental equipment for studying dispersion laws of fugitive dust from construction sites

1个.9个监测点同时取样分析,每月取样1次,连续监测1a.

1.2.3 施工扬尘水平扩散实验

在国家游泳中心建筑工地东围挡外沿正东西方向从围挡边界开始,每隔15m设置1个共14个3m高集尘缸,在附近的奥体公园监测子站内设置3m高的背景降尘监测点1个.15个监测点同时取样分析,每月取样1次,连续监测7个月.国家游泳中心工地东边为国家体育场工地,实验期间该实验点是大范围长满蒿草的空旷裸地,人为干扰极小,从而保证了数据的可信度.

2 结果与分析

2.1 施工降尘垂直扩散规律

2.1.1 基本规律

工地边界降尘(c_{DF})垂直扩散监测结果见图2.如图2所示,由于围挡的阻拦,工地边界外部低于围挡高度范围(1.5~2.5m)的降尘浓度变化范围不大;围挡上部降尘浓度随高度增加迅速衰减,到达4m处时已经基本接近平衡点.

2.1.2 垂直扩散数学模型

围挡以上高度测定的降尘浓度(c_{DF})是环境背景降尘浓度(c_{DF}^0)与施工降尘浓度(Δc_{DF})(工地自身产生的1次降尘)叠加引起的,且有:

$$\Delta c_{DF} = c_{DF} - c_{DF}^0 \quad (1)$$

从图3可以看出,围挡以上 Δc_{DF} 与高度的变化符合双曲线趋势,按照垂直扩散基本方程式(2),对监测数据进行回归分析.

$$\Delta c_{DF} = \frac{M}{(h + h_0)^n} \quad (2)$$

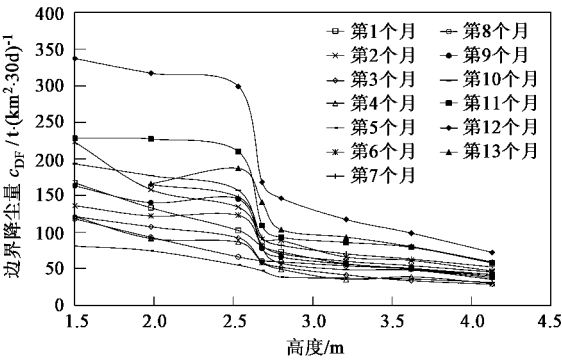


图2 边界降尘量在1.5~4.1m的垂直扩散

Fig.2 Vertical dispersion of absolute dust fall from construction site at 1.5 ~ 4.1 meters

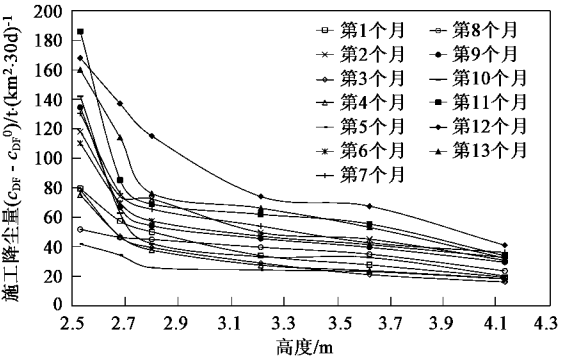


图3 施工降尘量在2.5~4.1m的垂直扩散

Fig.3 Vertical dispersion of relative dust fall from construction site at 2.5 ~ 4.1 meters

式中, Δc_{DF} 为高于围挡正上方 h m 的某一点施工降尘浓度 [$t \cdot (\text{km}^2 \cdot 30 \text{ d})^{-1}$], M 为垂直扩散常数 ($t/30 \text{ d}$), h 为该点距离围挡上沿的距离 (m), h_0 为围挡高度 (m), n 为扩散指数.

对公式(2)两边取自然对数, 转换为:

$$\ln(\Delta c_{DF}) = -n \times \ln(h + h_0) + \ln M \quad (3)$$

将每个月随高度变化的施工降尘浓度监测数据代入公式(3)进行回归, 回归之后得出的各垂直扩散方程式中的 M 和 n 的值, 见表 1.

表 1 建筑工地围挡处施工降尘垂直扩散方程式

Table 1 Vertical dispersion equation of relative dust fall at construction site's boundary

监测时间/年-月	$M/t \cdot (30 \text{ d})^{-1}$	n	相关系数
2004-05	641	2.48	0.99
2004-06	555	2.02	0.99
2004-07	506	2.45	0.99
2004-08	325	2.05	0.98
2004-09	139	1.46	0.92
2004-10	603	2.10	0.93
2004-11	792	2.25	0.93
2004-12	199	1.43	0.97
2005-01	338	1.71	0.99
2005-02	462	2.18	0.94
2005-03	503	1.83	0.95
2005-04	2 006	2.73	0.99
2005-05	1 217	2.52	0.96
平均	—	2.09	0.96

从表 1 的数据可以看出, 各回归方程的相关性均较好, 因此可以用公式(2)来量化描述施工扬尘的垂直扩散规律. 各回归方程式中扩散指数 n 变化不大, 最大值为最小值 1.9 倍, 算术平均值为 2.09. 为了更加直观地描述施工扬尘垂直分布, 可将扩散指数简化成一个和施工扬尘过程无关的常数, 即 $n = 2$. 各方程式中的垂直扩散常数 M 相差较大, 最大值与最小值相差 10 倍之多, 显然 M 与施工扬尘污染强度有关, 污染强度越大, M 值也越大. 因此, 建筑工地边界施工降尘垂直扩散方程式可用下式表示.

$$\Delta c_{DF} = \frac{M}{(h + h_0)^2} \quad (4)$$

公式(4)还可以表示为:

$$c_{DF} = \frac{M}{(h + h_0)^2} + c_{DF}^0 \quad (5)$$

式中, c_{DF} 为不同高度对应的边界降尘测定浓度 [$t \cdot (\text{km}^2 \cdot 30 \text{ d})^{-1}$], c_{DF}^0 为自然背景点降尘测定浓度 [$t \cdot (\text{km}^2 \cdot 30 \text{ d})^{-1}$].

本实验过程中, 该工地经历了挖槽、结构等不同

施工阶段, 不同月份的施工强度、降雨量等影响扬尘排放的重要因素也相差很大, 但是这些差别主要是影响垂直扩散常数 M , 对扩散指数 n 影响不大.

2.2 施工降尘水平扩散规律

2.2.1 基本规律

施工降尘水平扩散监测结果见图 4. 如图 4 所示, 工地围挡边界外延的最初 15 m 内降尘浓度变化不明显, 其原因待于进一步研究; 工地 15 m 以外范围内降尘浓度衰减较快, 约在 100 m 处达到平衡点.

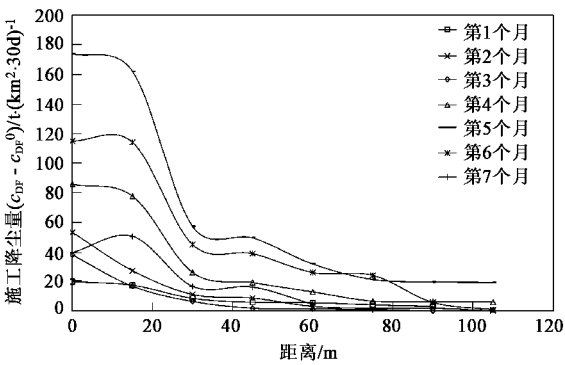


图 4 施工降尘量水平扩散曲线

Fig. 4 Horizontal dispersion curve of relative dust fall from construction site

2.2.2 水平扩散数学模型

同垂直扩散一样, 围挡外一定范围内测定的降尘浓度 c_{DF} 是环境背景降尘浓度 c_{DF}^0 与施工降尘浓度 Δc_{DF} 叠加引起的, 其相互关系也符合公式(1).

从图 4 可以看出, Δc_{DF} 随距离 (15 ~ 100 m) 变化的趋势也符合双曲线的变化关系, 为了和垂直扩散方程统一且经过初步回归分析, 水平扩散指数 n 仍然可以取 2, 得水平扩散方程式如下:

$$\Delta c_{DF} = \frac{N}{(l + l_0)^2} \quad (6)$$

式中, Δc_{DF} 为围挡外某点 3 m 高处的施工降尘量 [$t \cdot (\text{km}^2 \cdot 30 \text{ d})^{-1}$], N 为水平扩散常数 ($t/30 \text{ d}$), l 为围挡外降尘监测点与围挡的距离 (m), l_0 为等效逸散初始距离, 可以理解为等效扬尘源原点 (按点污染源对待) 与围挡的距离 (m).

对公式(6)两边开根号并取倒数, 转换为:

$$\frac{1}{\sqrt{\Delta c_{DF}}} = \frac{l_0}{\sqrt{N}} + \frac{l}{\sqrt{N}} \quad (7)$$

将 Δc_{DF} 每个月随距离变化的降尘数据代入公式(7)进行回归, 得出不同月份降尘水平扩散方程式中 N 和 l_0 值, 见表 2.

表 2 建设工地围挡外施工降尘水平扩散回归方程式

Table 2 Horizontal dispersion equation of relative dust fall from construction site

监测时间/年-月	$N/t \cdot (30\text{ d})^{-1}$	l_0/m	相关系数
2004-11	77 000	60.1	0.98
2004-12	45 000	28.7	0.98
2005-01	11 100	59.9	0.95
2005-02	11 100	31.7	0.99
2005-03	309 000	37.4	0.98
2005-04	346 000	51.4	0.97
2005-05	160 000	56.9	0.85
平均	—	46.6	0.96

从表 2 的数据可以看出,各回归方程的相关性均较好,因此可以用公式(6)来量化描述施工扬尘的水平扩散规律.各回归方程式中等效逸散初始距离 l_0 变化不大,最大值为最小值 2.1 倍,算术平均值为 46.6. 本研究中, l_0 的平均值约为该工地东西方向一半,因此可以认为 l_0 是和工地扩散方向长度有关的参数,工地越大, l_0 值越大,但对于具体工地来讲, l_0 应该是一个常数.各方程式中的垂直扩散常数 N 相差较大,最大值与最小值相差 30 多倍,可见 N 与施工扬尘污染强度有关,污染强度越大, N 值也越大. 公式(6)还可以表示为:

$$c_{\text{DF}} = \frac{N}{(l + l_0)^2} + c_{\text{DF}}^0 \tag{8}$$

式中, c_{DF} 为围挡外不同距离处对应的降尘浓度 [$t \cdot (\text{km}^2 \cdot 30\text{ d})^{-1}$], l_0 为等效逸散初始距离(m),可

取被监测工地扩散方向长度的一半, c_{DF}^0 为自然背景点降尘浓度 [$t \cdot (\text{km}^2 \cdot 30\text{ d})^{-1}$].

同垂直扩散实验相似,该工地各类影响扬尘排放的重要因素也相差很大,但是这些差别也仅对扩散常数 N 影响较大,对等效逸散初始距离 l_0 影响不大.

通过比较可知,垂直扩散方程与水平扩散方程在形式上非常相近,均符合球面扩散规律,与文献[2]介绍的沙尘传输方程也有近似之处.

3 结论

- (1)建筑工地边界同一平面坐标上方的施工降尘浓度与高度的相关性较好,降尘浓度随高度的增加而递减,前者与后者的 2 次方成反比关系.
- (2)建筑工地边界外部同一高度、同一方向的施工降尘浓度与监测点距工地中心的距离相关性较好,降尘浓度随距离的增加而递减,前者与后者的 2 次方成反比关系.
- (3)施工活动和自然条件等影响扬尘排放的因素,主要影响垂直和水平扩散常数,对其他参数影响较小.

参考文献:

[1] 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.

[2] 陈广庭. 沙害防治技术[M]. 北京:化学工业出版社,2004. 53-54.