

文章编号: 1671-6612 (2019) 03-332-05

# 西安市夜间土方工程施工扬尘排放特征分析

刘嘉明<sup>1</sup> 狄育慧<sup>1</sup> 梅源<sup>2</sup> 王雪艳<sup>1</sup>

(1. 西安工程大学城市规划与市政工程学院 西安 710048;

2. 西安建筑科技大学土木工程学院 西安 710055)

**【摘要】** 为探究土方工程施工扬尘排放特征, 基于土方作业现场采集与检测所得扬尘浓度数值和扬尘颗粒物粒径值以及工地气象因子参数, 对施工现场扬尘浓度变化趋势、气象因子对扬尘排放的影响以及土方施工扬尘的粒径分布特征予以解析。结果表明, 测试期间 TSP 浓度和 PM10 浓度值变化较大, 并出现短时间浓度峰值, 施工现场土方施工扬尘既受具体施工活动的影响又与气象因子有关。施工现场土方施工作业时 PM2.5、PM10 和 TSP 浓度与温度和湿度呈正相关, 与风速和风向呈负相关。土方施工时粒径较大的颗粒物所占比例高于施工现场大气和背景值, 粒径不小于 10 $\mu\text{m}$  的颗粒物占比 61.24%, 土方施工扬尘是西安市环境大气 PM10 和 TSP 的来源之一, 工地内运输车辆及土方施工活动均为重要扬尘源。土方作业时 PM2.5:PM10:TSP=0.01:0.55:1, 夜间土方工程施工扬尘对西安市环境大气 PM2.5 的贡献能力有限。

**【关键词】** 土方工程; 施工扬尘; 气象因子; 相关性; 粒径分布

中图分类号 X706 文献标识码 A

## Analysis on the Characteristics of Dust Emission from Earthwork Construction at Night in Xi'an

Liu Jiaming<sup>1</sup> Di Yuhui<sup>1</sup> Mei Yuan<sup>2</sup> Wang Xueyan<sup>1</sup>

(1. Xi'an Polytechnic University, College of chemistry and environmental engineering, Xi'an 710048;

2. Xi'an University of Architecture and Technology, Civil Engineering Institute, Xi'an, 710055)

**【Abstract】** In order to explore the dust emission characteristics of earthwork construction, based on the values of dust concentration and particle size of dust collected and detected at the site of earthwork, the change of dust concentration at construction site, the influence of meteorological factors on dust emission and earthwork construction Dust particle size distribution characteristics be resolved. The results showed that during the test period, the TSP concentration and PM10 concentration changed greatly, and the short-time concentration peak appeared. The dust of earthwork construction on the construction site was affected not only by the concrete construction activities but also with the meteorological factors. The concentration of PM2.5, PM10 and TSP at earthwork construction site at construction site was positively correlated with temperature and humidity, negatively correlated with wind speed and wind direction. The proportion of particles with larger particle size in earthwork construction is higher than the atmosphere and background value in construction site, and the proportion of particulates with particle size not less than 10 $\mu\text{m}$  accounts for 61.24%. The earthwork construction dust is one of the sources of PM10 and TSP in Xi'an, Internal transport vehicles and earthwork construction activities are all important dust sources. PM2.5:PM10:TSP=0.01:0.55:1 for earthwork

基金项目: 陕西省教育厅产业化项目资助 (项目编号: 15JF017);

西安市科技局高校院所人才服务企业工程项目资助 (项目编号: 2017074CG/RC037(XAGC012))

作者简介: 刘嘉明 (1993.10-), 男, 在读研究生, E-mail: 1318165612@qq.com

通讯作者: 狄育慧 (1964.02-), 女, 博士, 教授, E-mail: 470836165@qq.com

收稿日期: 2018-06-13

operation, and the contribution of construction dust from earthwork at night to PM<sub>2.5</sub> in Xi'an's ambient atmosphere is limited.

【Keywords】 Earthwork; construction dust; meteorological factors; correlation; particle size distribution

## 0 引言

施工扬尘已成为影响我国南北方大部分城镇地区环境空气质量的主要污染源同时也是空气中可吸入颗粒物的重要来源之一<sup>[1]</sup>,施工扬尘排放特征与施工阶段及操作密切相关,在众多施工过程中土方施工阶段扬尘污染甚为严重<sup>[2]</sup>。

据资料报道,城市高层建筑基坑挖掘过程排放的PM<sub>10</sub>占挖掘过程总排放量的23%;土方清运过程PM<sub>10</sub>排放量占该阶段总排放量的89%<sup>[3]</sup>。土方施工阶段施工区域内扬尘浓度较其他区域扬尘浓度明显偏高,不同区域扬尘污染情况差异显著<sup>[4]</sup>。成都市一处典型土方施工项目,其基坑挖掘与回填施工阶段扬尘产尘量占施工项目总扬尘量的32%<sup>[5]</sup>。田刚计算得到北京市近郊40余处施工工地的TSP排放因子是AP-42推荐计算排放因子的1.83倍<sup>[6]</sup>。

土方施工阶段产尘量较多且强度波动较大<sup>[7]</sup>,目前土方工程施工多集中于夜间进行,粒径分布特征也与昼间不完全相同<sup>[8]</sup>。昼间切割与焊接工序排放的细颗粒物居多,夜间钻井与挖掘过程粗颗粒物的排放占多数<sup>[9]</sup>。以呼和浩特某典型施工场地为例,场地内部扬尘粒径分布呈双峰型,峰值粒径范围在3.2~5.6 $\mu\text{m}$ 和10~18 $\mu\text{m}$ <sup>[10]</sup>。在风场的卷扬作用下,扬尘颗粒进入大气环境,且这类颗粒的粒径不大于10 $\mu\text{m}$ <sup>[11]</sup>。大粒径颗粒物卷扬后沉降速度较快影响范围有限<sup>[12]</sup>,其浓度受气象因子的影响较明显,小粒径扬尘颗粒浓度受气象因子的影响不明显<sup>[13]</sup>。郭翔翔<sup>[14]</sup>等在其研究中指出PM<sub>10</sub>浓度与相对湿度呈负相关但这也与文献[13]的研究结论存在差异。针对不同研究区域<sup>[15]</sup>,气象因子与扬尘浓度之间的相关性也不尽相同。

西安地处西北,是典型黄土地区代表城市,黄土土质施工时易于扬尘,并且西安市缺乏相应的土方扬尘研究资料。有关部门对土方施工扬尘的排放控制与扬尘治理并未提出合理的对策,同时也缺乏依据。因此探讨该领域的研究方向及拟解决的关键问题具有重要的理论价值和现实意义。

本文选取西安市典型土方工程施工项目实例,通过现场夜间监测采样得到的土方工程施工扬尘及气象参数等数据,旨在研究夜间施工现场内土方

施工扬尘排放特征。对施工现场扬尘浓度变化趋势、气象因子对扬尘排放的影响以及土方施工扬尘的粒径分布进行分析,以期对土方施工扬尘的污染控制提供理论基础。

## 1 试验方法

选择西安市内人口密集区典型黄土土方工程施工现场为本次研究测试地点,针对施工现场的中部和南侧地区展开监测。其主要施工活动为基坑挖掘和土方清运,施工现场中部区域为基坑挖掘施工作业区,测试点北侧为工地内部硬化道路,渣土车从北侧道路进入基坑和南侧土方清运区域,车辆满载后从测试点西侧硬化道路驶出。挖掘机械施工时和车辆通过时有明显可见的扬尘起扬。测试仪器包括美国AEROCET-831四通道PM浓度值检测仪一台、德国Welas-2000气溶胶粒径谱仪一台和便携式自动气象站一台等。

AEROCET-831四通道PM浓度值检测仪,可同时测量和记录4种空气中可吸入颗粒物浓度值,亦可测量环境空气中总悬浮颗粒物TSP的浓度值。便携式自动气象站可实时连续测量监测区域内温度、相对湿度、风速及风向等参数数据。

Welas-2000气溶胶粒径谱仪,采用白光光源投射土方施工扬尘颗粒,检测单元在90°散射角处接收扬尘颗粒的散射信号,再由信号处理单元统计汇总得出土方施工扬尘颗粒粒径大小及颗粒数值信息。其特有的T型感应技术能够消除边缘区域测量误差,能够实现重叠计数的检测及校正,且满足高精度测量要求,属于高精度光学粒径谱仪。

使用AEROCET-831PM浓度值检测仪对西安市典型夜间土方工程项目扬尘浓度进行实例监测采样,并对扬尘浓度变化趋势展开分析。使用数据分析软件SPSS对现场监测采样到的PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>和TSP浓度值与温度、相对湿度、风速和风向数据进行相关性分析。使用Welas-2000气溶胶粒径谱仪对土方施工现场扬尘颗粒粒径分布进行测试,本次试验所测土方施工扬尘颗粒粒径范围为0.5~100 $\mu\text{m}$ ,粒径测试范围包含于Welas-2000量程范围内,并将测试结果与未进行土方工程施工时的现场

及环境背景点测试结果进行对比。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 土方工程施工扬尘浓度分析

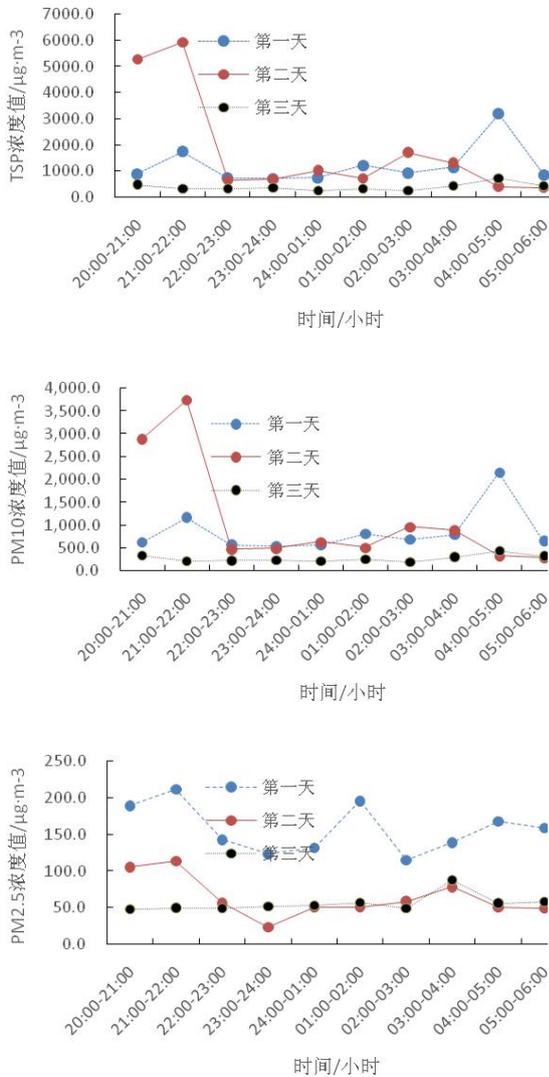


图1 连续三天 TSP、PM10 和 PM2.5 浓度随时间序列的变化

Fig.1 The changes of TSP, PM10 and PM2.5

concentrations with time series over three consecutive days

测试自 2017 年 8 月 1 日 20:00 开始, 至 2017

年 8 月 20 日 06:00 结束, 数据的采集与记录从晚 20:00 开始至次日早 06:00 结束。测试期间受降雨和施工单位施工安排的影响, 选取施工工作内容相同的 3 个连续晴朗夜晚的土方工程施工扬尘浓度数值为典型代表, 此测试区间内 TSP 浓度、PM10 浓度和 PM2.5 浓度随时间序列的变化如图 1 所示。由图可知, 此测试期间内第二天的 TSP 浓度和 PM10 浓度变化较大, 且出现短时间浓度峰值, 浓度峰值与现场施工活动及其剧烈程度有关, 但其 PM2.5 浓度却保持在相对较低水平范围内; 第三天所测 TSP 浓度、PM10 浓度和 PM2.5 浓度变化趋势均趋于平稳, 数值上的变化量相较于第一天和第二天也有明显减少; 第二天 PM10 平均浓度高于第一天 PM10 平均浓度, 但第二天 PM2.5 平均浓度则低于第一天 PM2.5 的平均浓度。导致这一现象的原因在于, 施工现场土方施工扬尘浓度较复杂, 既受施工现场具体施工活动的影响又与气象因子有关。

### 2.2 气象因子对土方工程施工扬尘浓度的影响

对现场监测采样所得 PM2.5 浓度、PM10 浓度和 TSP 浓度以及风速、温度、湿度和风向数据进行相关性分析, 相关性结果见表 1, 由表可知 PM2.5、PM10 和 TSP 浓度与温度和湿度呈正相关, 与风速和风向呈负相关。土方工程施工作业过程中在挖掘机械的外力作用下以及运输车辆行进过程中车轮的卷扬作用下, 颗粒物浓度迅速上升, 此时较大的风速有助于现场土方施工扬尘的稀释和扩散, 缓解土方施工现场降尘压力。PM2.5、PM10 和 TSP 浓度与温度呈正相关, 主要是因为西安市土方工程施工作业要求在夜间进行, 土方施工活动强度随之增大, 环境温度也随夜间时间的流逝而逐步升高。PM2.5、PM10 和 TSP 浓度与湿度呈正相关, 主要是由于湿度较大时不利于土方施工扬尘的扩散。PM2.5、PM10 和 TSP 浓度与风向呈负相关, 主要与城市主导风向和土方工程施工现场测试点的位置以及施工活动的位置有关。

表 1 颗粒物浓度与气象因子间的相关性

Table 1 Correlation between particle concentration and meteorological factors

		TSP 浓度	PM10 浓度	PM2.5 浓度	风速	温度	湿度	风向
TSP 浓度	Pearson Correlation	1	0.971**	0.579**	-0.551*	0.835**	0.440	-0.541*
	Sig. (2-tailed)	.	0.000	0.009	0.014	0.000	0.059	0.017
PM10 浓度	Pearson Correlation	0.971**	1	0.738**	-0.565*	0.766**	0.495*	-0.568*
	Sig. (2-tailed)	0.000	.	0.000	0.012	0.000	0.031	0.011

续表 1 颗粒物浓度与气象因子间的相关性

		TSP 浓度	PM10 浓度	PM2.5 浓度	风速	温度	湿度	风向
TSP 浓度	Pearson Correlation	1	0.971**	0.579**	-0.551*	0.835**	0.440	-0.541*
	Sig. (2-tailed)	.	0.000	0.009	0.014	0.000	0.059	0.017
PM10 浓度	Pearson Correlation	0.971**	1	0.738**	-0.565*	0.766**	0.495*	-.568*
	Sig. (2-tailed)	0.000	.	0.000	0.012	0.000	0.031	0.011
PM2.5 浓度	Pearson Correlation	0.579**	0.738**	1	-0.474*	0.214	0.478*	-0.444
	Sig. (2-tailed)	0.009	0.000	.	0.040	0.378	0.038	0.057
风速	Pearson Correlation	-0.551*	-0.565*	-0.474*	1	-0.385	-0.035	0.200
	Sig. (2-tailed)	0.014	0.012	0.040	.	0.104	0.888	0.412
温度	Pearson Correlation	0.835**	0.766**	0.214	-0.385	1	0.259	-.467*
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	0.378	0.104	.	0.285	0.044
湿度	Pearson Correlation	0.440	0.495*	0.478*	-0.035	0.259	1	0.004
	Sig. (2-tailed)	0.059	0.031	0.038	0.888	0.285	.	0.987
风向	Pearson Correlation	-0.541*	-.568*	0.057	0.200	-.467*	0.004	1
	Sig. (2-tailed)	0.017	0.011	0.200	0.412	0.044	0.987	.

\*\*Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

\*Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

### 2.3 粒径分布特征

考虑到土方工程施工现场环境空气中扬尘颗粒的粒径分布同时受大气环境颗粒物和土方工程施工扬尘的共同影响, 根据土方工程施工时现场测试所得扬尘颗粒粒径值, 并与同一时段内环境背景参考测点及工地未进行土方工程施工作业时的大气颗粒物粒径分布进行对比, 对不同粒径段的扬尘颗粒物数量所占比率作图, 得出施工现场夜间土方施工扬尘粒径分布如图 2 所示。由图可以看出, 施工现场大气与背景监测参考点测试的颗粒物粒径分布基本一致, 施工现场土方工程施工进行过程中粒径较大的颗粒物比例较高, 粒径大于等于 10 $\mu\text{m}$  的颗粒物占比高达 61.24%, 可吸入颗粒物占比达 33.52%。这是因为挖掘机械在行进、挖掘和倾倒过程中由于机械外力排放至大气环境中, 土方清运车辆行驶在基坑内部和未铺装硬化道路上在车轮的带动作用下角扬至环境空气中, 使得土方工程施工扬尘总量增加。表明土方工程施工扬尘是 PM10 和 TSP 的来源之一, 对施工现场及周边环境空气质量和现场施工人员的身体健康产生影响。

施工现场大气颗粒物  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}=0.34$ ,  $\text{PM}_{10}/\text{TSP}=0.83$ ; 土方工程施工过程中  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}=0.02$ ,  $\text{PM}_{10}/\text{TSP}=0.55$ 。两者的

$\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  均低于北京大气环境 0.4~0.6 的比例<sup>[6]</sup>, 这也说明土方工程施工排放的扬尘中大粒径颗粒占多数, 这也符合土方工程扬尘源的排放特性。土方工程施工过程中  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  数值明显低于美国 CARB 建议值 0.21<sup>[17]</sup>, 数值同样也低于香港的 0.11~0.3<sup>[18]</sup>, 由此亦可表明西安市夜间土方工程施工扬尘对西安市环境大气中  $\text{PM}_{2.5}$  的贡献能力有限。

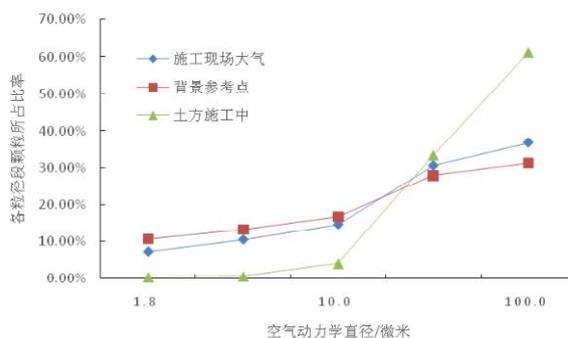


图 2 颗粒物粒径分布比较

Fig.2 Comparison of Particle Size Distribution

### 3 结论

为探究土方工程施工扬尘排放特征, 论文对施工现场扬尘浓度变化趋势、气象因子对扬尘排放的

影响以及土方施工扬尘的粒径分布进行了分析,并得出如下结论。

(1) 土方工程施工过程中施工现场扬尘颗粒物浓度高于未施工状态下施工现场大气颗粒物浓度和背景参考测点颗粒物浓度值,测试期间 TSP 浓度和 PM10 浓度值变化较大,且出现短时间浓度峰值,浓度峰值与现场施工活动及其剧烈程度有关,施工现场土方施工扬尘既受具体施工活动的影响又与气象因子有关。

(2) 施工现场土方施工作业时 PM2.5、PM10 和 TSP 颗粒物浓度与温度和湿度呈正相关,与风速和风向呈负相关。湿度较高时不利于土方施工扬尘的扩散,风速的适宜增大则有助于施工现场扬尘的扩散,有效降低土方施工区域的污染水平。

(3) 未进行土方施工时施工现场环境大气颗粒物粒径与背景参考点颗粒物粒径分布基本一致,土方施工状态下粒径较大的颗粒物所占比例高于前两者,粒径大于等于 10 $\mu\text{m}$  的颗粒物占比高达 61.24%,亦表明土方工程施工扬尘是西安市环境大气 PM10 和 TSP 的来源之一,工地内土方清运车辆及土方施工活动均为重要扬尘源。

(4) 施工现场从事土方作业时 PM2.5:PM10:TSP=0.01:0.55:1,西安市夜间土方工程施工扬尘对西安市环境大气中 PM2.5 的贡献能力有限。

#### 参考文献:

- [1] ZHANG Zhihui, WU Fan. Health impairment due to building construction dust pollution[J]. Journal of Tsinghua University(Science and Technology), 2008,48(6):922-925.
- [2] 赵普生,冯银厂,张裕芬,等.建筑施工扬尘排放因子定量模型研究及应用[J].中国环境科学,2009,29(6):567-573.
- [3] Ketchman K, Bilec M. Quantification of Particulate Matter from Commercial Building Excavation Activities Using Life-Cycle Approach[J]. Journal of Construction Engineering & Management, 2013,139(12):1-11.
- [4] 黄天健,李小冬,苏舒,等.建筑工程土方施工阶段扬尘污染监测与分析[J].安全与环境学报,2014,14(3):317-320.
- [5] YANG Song, YE Zhixiang, YANG Huaijin, et al. Characteristics and sources of fugitive dust pollution from construction site in Chengdu[J]. Environmental Engineering, 2015,(s1):324-329.
- [6] TIAN Gang, HUANG Yuhu, LI Gang. Establishment and Application of Four-dimensional Fluxes Emission Factor Model for Construction Fugitive Dust[J]. Environmental Science, 2009,30(4):1003-1007.
- [7] 李小冬,苏舒,黄天健,等.土方施工阶段施工扬尘监测与对比分析[J].中国安全科学学报,2014,24(5):126-131.
- [8] 余南娇,黄渤,李梅,等.大气细颗粒物扬尘源单颗粒质谱特征[J].中国环境科学,2017,37(4):1262-1268.
- [9] Azarmi F, Kumar P, Mulheron M. The exposure to coarse, fine and ultrafine particle emissions from concrete mixing, drilling and cutting activities[J]. Journal of Hazardous Materials, 2014,279(279):268-279.
- [10] 黄玉虎,蔡煜,毛华云,等.呼和浩特市施工扬尘排放因子和粒径分布[J].内蒙古大学学报(自然版),2011,42(2):230-235.
- [11] Van Pelt R S, Zobeck T M. Chemical constituents of fugitive dust[J]. Environmental Monitoring & Assessment, 2007,130(3):1-3.
- [12] 赵普生,冯银厂,金晶,等.建筑施工扬尘特征与监控指标[J].环境科学学报,2009,29(8):1618-1623.
- [13] 樊守彬,李钢,田刚.施工现场扬尘排放特征分析[J].环境科学与技术,2011,34(12H):209-211.
- [14] 郭翔翔,甘麟雄,丁一,等.南宁市工地基础施工扬尘分布量化分析[J].广西大学学报(自然科学版),2016,41(4):1285-1290.
- [15] 徐媛倩,姜楠,燕启社,等.郑州市裸露地面风蚀扬尘排放清单研究[J].环境污染与防治,2016,38(4):22-27.
- [16] 胡敏,赵云良,何凌燕,等.北京冬、夏季颗粒物及其离子成分质量浓度谱分布[J].环境科学,2005,26(4):1-6.
- [17] Taylor C. Section 7.7 Building Construction Dust[R]. California: CARB, September 2002.1-2.
- [18] Ho K F, Lee S C, Chow J C, et al. Characterization of PM10, and PM2.5, source profiles for fugitive dust in Hong Kong[J]. Atmospheric Environment, 2003,37(8):1023-1032.