

# 采石场大气污染物源强分析研究<sup>①</sup>

聂国朝

(襄樊职业技术学院,湖北襄樊 441021)

**摘要** 采石场环境影响评价的关键在于生产过程中产生的大气污染 TSP、PM<sub>10</sub> 的影响,而 TSP、PM<sub>10</sub> 的影响又取决于其产生的源强的大小及扩散模式。以襄樊市襄阳城南岷山两处采石场为例,采用模拟实验、实测法对采石场大气污染物扩散模式、扩散参数及源强的确定进行分析研究。结果表明 在通常气象(平均风速)条件下,各类稳定度的 TSP 小时平均浓度在下风向距离 800 m 以上均较低。基本上与实测值的 TSP 值相吻合。在 D 类稳定度情况下,距离污染源 800 ~ 900 m TSP 最大小时平均浓度为 0.13 ~ 0.11 mg/hm<sup>3</sup>。

**关键词** 采石场 环境影响评价 大气污染 总悬浮颗粒物(TSP) 模拟实验 实测法

**中图分类号** X14

**文献标识码** A

大气中粒径为 0.1 ~ 100  $\mu\text{m}$  的颗粒称作总悬浮颗粒物(TSP) 粒径  $\leq 10\mu\text{m}$  的颗粒,可长期漂浮在空气中,被称作飘尘(PM<sub>10</sub>),因可进入人体呼吸道,故也称可吸入颗粒物(IP)。大量的 IP 进入肺部对局部组织有堵塞作用,使局部支气管的通气功能下降,或使细支气管和肺泡的换气功能丧失。很多有害气体可附着在 IP 上面被带入肺部深处,从而促成多种急慢性疾病的发生,IP 的金属成分具有催化作用,可使其他有害物质的毒性加强<sup>[1-2]</sup>。对植物的危害是抑制植物的生长发育,降低植物对病虫害的抵抗能力,使植物叶片表面产生伤斑,或直接使叶片枯萎脱落。

襄樊市襄城春季空气污染指数为 60 ~ 110,空气质量等级为 II ~ III 级,主要污染物为可吸入颗粒物。考虑到襄樊市春季多风沙,风向以南风为主,所以我们对产生粉尘的两处采石场的源强(指大气污染物的排放速率)作了专门调查。

## 1 采石场基本概况

襄樊市襄阳城南的岷山诸峰历来为襄阳南大门,山上草木茂盛,森林覆盖率达 95% 以上,是襄阳城的天然屏障。然而,自 1958 年筹建襄阳机制水泥厂<sup>[1]</sup>以来,已有大小十几个采石场在此开山炸石,其中痢毒山采石场位于襄樊市襄阳城南岷山北面的痢毒山冲内,离名胜古迹‘岷石洞’不到 50 m,以东 200 m、以北 500 m 为工厂、学校、居民区,采石场距襄樊市中心约 3.5 km,岷山南面的陈家冲采石场离名胜古迹‘蛮王洞’不足 100 m,距市中心约 4.2

① 收稿日期 2003-03-30

作者簡介 聂国朝(1960 ~),男,湖北广水人,副教授,主要从事环境化学教学与研究。



表 1 各种规格产品的年产量

Table 1 The annual production of different products

| 名称 | 规格 (mm) | 产量 (m <sup>3</sup> ) |
|----|---------|----------------------|
| 石渣 | 10 ~ 20 | 6451                 |
| 石渣 | 10 ~ 30 | 110638               |
| 石渣 | 20 ~ 40 | 17819                |
| 石渣 | 20 ~ 50 | 112159               |
| 中石 |         | 11121                |
| 合计 |         | 258188               |

表 2 采石厂石材中部分金属含量

Table 2 The content of some metals in the stone material of the quarry

| 项目        | Pb    | Zn    | Cu    | Cd     |
|-----------|-------|-------|-------|--------|
| 含量 (mg/g) | 0.089 | 0.046 | 0.014 | 0.0014 |

3 粉尘污染源强研究

3.1 实地观察与实验研究

3.1.1 实地观察

采石是露天开采,爆破后下山石利用装卸机铲装到汽车上,运输到离爆破点约 200 ~ 400 m 的破碎机进行破碎,破碎分为二级破碎,破碎后的石渣送到振动筛,把石渣产品按规格 10 ~ 30 mm、20 ~ 40 mm、30 ~ 50 mm 进行分类,合格的产品由几条运输带送到不同的堆类场堆放,超规格的产品返回二次破碎或直接送建筑工地另作它用。从整个工艺看,污染主要来源于爆破、破碎、分筛工序,属体源污染,颗粒物 TSP、PM<sub>10</sub> 单位时间排放量的确定比较困难,笔者就破碎、分筛工序作了相关实验。

3.1.2 模拟实验

模拟主要产生尘源的破碎、分筛工序,分数次进行分筛实验 取 200 kg 破碎后的石渣从 20 m 高处分筛,收集石渣产品,产生的颗粒物(TSP、PM<sub>10</sub>) = 200 kg - 石渣产品,数次实验结果见表 3。

表 3 模拟实验结果

Table 3 The experimental result of simulation

| 序号 | 分筛前 (kg) | 石渣产品 (kg) | 颗粒物 (kg) | %    |
|----|----------|-----------|----------|------|
| 1  | 200      | 199.5     | 0.5      | 0.25 |
| 2  | 200      | 199.4     | 0.6      | 0.3  |
| 3  | 200      | 199.6     | 0.4      | 0.2  |
| 4  | 200      | 166.5     | 0.5      | 0.25 |
| 平均 | 200      | 191.24    | 0.5      | 0.25 |

根据表 3 的模拟实验结果,即产生颗粒物的百分比含量乘以每天的石渣产品产量,可计算出颗粒物单位时间的排放量为 4 620 mg/s。

### 3.2 TSP、PM<sub>10</sub> 扩散模式的确定和验证

#### 3.2.1 扩散模式的选择

据中华人民共和国环境保护行业标准《环境影响评价技术导则—大气环境》(HJ/T2.2-93)的规定,根据项目的工程特征,采石场污染物扩散可采用以下模式进行预测<sup>[4-5]</sup>。

当颗粒物  $d > 15 \mu\text{m}$  时(TSP),其地面浓度  $C_p$  建议按下述倾斜烟羽模式计算<sup>[2]</sup> :

$$C_p = \frac{(1 + \alpha)Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{Y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(V_g \frac{X}{u} - H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right] \quad (1)$$

$C_p$  尘粒子的地面浓度,  $\text{mg}/\text{m}^3$

$Q$  污染物的排放量,  $\text{mg}/\text{s}$

$\alpha$  尘粒子的地面发射系数

$\rho$  密度,白云石  $\rho = 2.8$ ,石灰石  $\rho = 2.7$

$Y$  在水平面上与  $X$  轴垂直的坐标轴

$H_e$  有效源高

$V_g$  尘粒子的沉降速度,  $\text{m}/\text{s}$

$V_g = \frac{d^2 \rho g}{18\mu}$ ,  $\mu$  为空气粘性系数

$d$  尘粒子的直径

$\rho$  尘粒子的密度

$g$  重力加速度,  $\text{m}/\text{s}^2$

$u$  源高处的平均风速,  $\text{m}/\text{s}$

$\sigma_y$  水平横向扩散参数,  $\text{m}$

$\sigma_z$  铅直方向的扩散参数,  $\text{m}$

$X$  沿平均风向的坐标轴(下风距离)

当颗粒物粒径  $d \leq 15 \mu\text{m}$  时(PM<sub>10</sub>),可用气体模式,考虑到采石场的地形,在下风近处用“部分反射”(2)式计算,在下风向远处用“源损耗”(4)式<sup>[5]</sup>计算:

$$C(x, y, 0) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp\left[-\frac{Y^2}{2\sigma_y^2}\right] \cdot [1 + \alpha(x)] \exp\left[-\frac{H_e^2}{2\sigma_z^2}\right] \quad (2)$$

式中,  $\alpha$  值  $\geq 0$ , 而  $\leq 1$ , 其数值可由下式确定:

$$\alpha(x) = 1 - \frac{2V_d}{V_g + V_d + [(u \cdot H_e - V_g x) / \sigma_z] (d\sigma_z / d_x)} \quad (3)$$

式中,  $V_d$  粉尘颗粒物的沉积速度( $\text{m}/\text{s}$ ),一般可取  $0.01 \text{ m}/\text{s}$ 。

$$C(x, y, 0) = \frac{Q(x)}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp\left[-\frac{Y^2}{2\sigma_y^2}\right] \cdot \exp\left[-\frac{H_e^2}{2\sigma_z^2}\right] \quad (4)$$

$$Q(x) = Q \left[ \exp \int_0^x \frac{dx}{\sigma_z \exp\left[\frac{H_e^2}{2\sigma_z^2}\right]} \right]^{[(\frac{2}{\pi})^{1/2} \cdot \frac{V_d}{u}]} \quad (5)$$

式中,  $Q(x)$  随下风向距离  $x$  而递减的剩余排放量( $\text{mg}/\text{s}$ )

3.2.2 横向扩散参数和铅垂直扩散参数的确定

对采石场的烟尘污染源,类似体源式的无组织排放,采用虚拟点源直接修正法,根据源高、宽进行修正,即将点源中的扩散参数由下列方程确定(6)：

$$\sigma_y = \gamma_1 x^{\alpha_1} + \frac{D}{4.3} = \gamma_1 x^{\alpha_1} + 13.0$$

(6)

$$\sigma_z = \gamma_2 x^{\alpha_2} + \frac{H}{4.3} = \gamma_2 x^{\alpha_2} + 6.0$$

(7)

式中  $\gamma_1$  为横向扩散参数系数  
 $\alpha_1$  为横向扩散参数幂指数  
 $\gamma_2$  为铅垂向扩散参数系数  
 $\alpha_2$  为铅垂向扩散参数幂指数

3.2.3 实测验证

在采石场工地,正常生产情况下,收集单位时间单位面积颗粒物的产生量。以采石场破碎、分筛工序为中心,测试主导风向下距离体源中心不同位置,单位面积单位时间产生的粉尘量,见表 4。据此计算出颗粒物单位时间的排放量。

表 4 颗粒物排放量  
Table 4 The discharge of particles

| 序号 | 距离(m) | 采样点(个) | 面积(m <sup>2</sup> ) | 采样时间(分钟) | 尘量(g/m <sup>2</sup> ) |
|----|-------|--------|---------------------|----------|-----------------------|
| 1  | 10    | 3      | 16                  | 30       | 2.25                  |
| 2  | 65    | 3      | 16                  | 30       | 0.6                   |
| 3  | 100   | 2      | 8                   | 30       | 0.3                   |
| 5  | 800   | 3      | 8                   | 30       | 0.003                 |
| 4  | 500   | 2      | 8                   | 30       | 0.15                  |
| 6  | 1500  | 3      | 16                  | 30       | 0.001                 |

由于这几处采石场三面环山,其对环境的影响主要是北面距离采石约 1~5.5 km 的市区。据上面实验结果,把测得的含尘量乘以受尘面积再除以生产时间,可计算出该采石场颗粒物单位时间的排放量为 4 440 mg/s。

3.2.4 TSP、PM<sub>10</sub> 比例分析

确定了采石颗粒物单位时间的排放量,还需进行 TSP、PM<sub>10</sub> 比例分析。因为颗粒物根据其粒径可分为总悬浮颗粒物 TSP(10μm < 粒径 d ≤ 100μm)、吸入颗粒物 PM<sub>10</sub>(d ≤ 10μm)和呼吸性颗粒物 PM<sub>2.5</sub>(d ≤ 2.5μm),依据本项目的特征,预测项目为 TSP 和 PM<sub>10</sub>。即需采用光学方法测试 TSP、PM<sub>10</sub> 粒径,从而确定 TSP、PM<sub>10</sub> 单位时间的排放量,以便选择不同的扩散模式。

由前面的工程分析可知,该项目正常情况下产生的污染主要是来自碎石工序产生的 TSP、PM<sub>10</sub> 污染。根据光学方法进行项目粉尘粒径测定,结果见表 5。距离污染源愈近,总悬浮颗粒物的粒径越大,其中碎石场产生的粉尘中 50% 以上是 TSP。由于两处石料是石灰石、白云石,其尘粒的比重较大,故产生的悬浮粒易沉降。

表 5 采石场粉尘粒度组成测定结果(%)

Table 5 The survey result of the dust from the quarry (%)

| 距离               | 碎石场 |     | 爆破点 |     |
|------------------|-----|-----|-----|-----|
|                  | 10m | 30m | 10m | 30m |
| PM <sub>10</sub> | 31  | 32  | 18  | 28  |
| TSP              | 61  | 57  | 59  | 52  |

从表 5 可看出 以破碎、分筛工序为中心,随着距离的增加,TSP 百分比含量逐渐减少,PM<sub>10</sub> 逐渐增加,此结果符合石灰石、白云石比重大、悬浮颗粒易沉降的特点。

3.3 结果分析

根据以上实验分析结果确定采石污染物的预测模式、扩散参数、源强后,其它参数参照参考文献<sup>[4,7]</sup>进行污染物的环境影响预测,并与项目周围大气环境质量现状进行比较,以检测实验结果的可行性。本文仅以 TSP 为例进行验证(TM<sub>10</sub>的验证将另文讨论)。

3.3.1 TSP 的预测结果

根据风速( $u=0\sim3\text{ m/s}$ )、云量和辐射(太阳高度角)确定不同大气稳定度的 TSP 地面轴线浓度见表 6。

表 6 通常气象条件下 TSP 地面轴线小时平均浓度(mg/hm<sup>3</sup>)

Table 6 TSP's average concentration of ground axis per hour (mg/hm<sup>3</sup>)

| 稳定度<br>距离 | A     | B     | C     | D     | E     | F     |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 100       | 0.195 | 0.203 | 0.162 | 0.090 | 0.043 | 0.023 |
| 200       | 0.120 | 0.183 | 0.254 | 0.274 | 0.216 | 0.169 |
| 300       | 0.067 | 0.121 | 0.211 | 0.328 | 0.372 | 0.412 |
| 400       | 0.035 | 0.093 | 0.159 | 0.300 | 0.433 | 0.512 |
| 500       | 0.022 | 0.058 | 0.119 | 0.251 | 0.421 | 0.534 |
| 600       | 0.015 | 0.042 | 0.092 | 0.205 | 0.375 | 0.490 |
| 700       | 0.009 | 0.033 | 0.072 | 0.166 | 0.322 | 0.413 |
| 800       | 0.006 | 0.029 | 0.058 | 0.135 | 0.270 | 0.293 |
| 900       | 0.004 | 0.020 | 0.047 | 0.111 | 0.223 | 0.260 |
| 1000      | 0.003 | 0.016 | 0.039 | 0.092 | 0.185 | 0.200 |
| 2000      | 0.001 | 0.004 | 0.011 | 0.022 | 0.019 | 0.008 |
| 3000      | 0.000 | 0.002 | 0.005 | 0.007 | 0.003 | 0.000 |
| 4000      | 0.000 | 0.001 | 0.003 | 0.003 | 0.001 | 0.000 |

3.3.2 现状监测结果与评价标准

为了进一步掌握项目附近的大气环境质量状况,我们于 2003 年 3 月 7~9 日,在正常风速下( $0\sim3\text{ m/s}$ ),在采石场附近进行了大气环境质量现状的调查和监测。监测项目为 TSP、TM<sub>10</sub>两项,采样和分析按文献方法[8]和国家有关规定进行<sup>[9~13]</sup>,使用河北先河科技发展有限公司生产的 XH-100 智能 TSP-PM<sub>10</sub> 采样器,评价标准执行 GB3095-1996《环境空气质量标准》规定的三级标准<sup>[11]</sup>。TSP 的监测结果见表 7。

表 7 TSP 现状监测结果 (mg/hm<sup>3</sup>)

Table 7 The monitoring result of TSP current situation (mg/hm<sup>3</sup>)

|       | 3 月 7 日 | 3 月 8 日 | 3 月 9 日 | 平均值  | 标准限值 |
|-------|---------|---------|---------|------|------|
| 仪表元件厂 | 0.12    | 0.18    | 0.13    | 0.14 | 0.3  |
| 微波站   | 0.15    | 0.11    | 0.13    | 0.13 | 0.3  |
| 达标率   | 100%    |         |         |      |      |

注 仪表元件厂位于痢毒山冲采石场的东北,距离污染源约 900 m。微波站位于武铁采石场西北面,距污染源约 800 m。

由表 6 可见,在通常气象(平均风速  $u = 1.6\text{m/s}$ )条件下,各类稳定度的 TSP 小时平均浓度在下风向距离 800 m 以上均较低。基本上与实测值的 TSP 值相吻合。在 D 类稳定度情况下,距离污染源 800 ~ 900 m,TSP 最大小时平均浓度为  $0.13 \sim 0.11\text{ mg/hm}^3$ ,而实际测试结果(见表 7)TSP 最大小时平均浓度为  $0.12 \sim 0.18\text{mg/hm}^3$ ,两者基本吻合。

4 结论

研究结果表明,根据采石场的地理环境和当时的气象条件,采用模拟实验、实实验证的方法确定颗粒物单位时间排放量,两者基本一致。当颗粒物  $d > 15\mu\text{m}$  时(TSP),地面浓度  $C_p$  按倾斜烟羽模式计算;当颗粒物粒径  $d \leq 15\mu\text{m}$  时( $\text{PM}_{10}$ ),可用气体模式计算。考虑到采石场的山谷地形,在下风近处用‘部分反射’式计算,在下风向远处用‘源损耗’预测模式;对采石场的粉尘污染源,因其类似体源式的无组织排放,故采用虚拟点源直接修正法,根据源高、宽,修正后选用适当的扩散参数计算。结果是模拟实验颗粒物排放量为  $4\,620\text{ mg/s}$ ,实测值为  $4\,440\text{ mg/s}$ 。

研究还表明,在近距离,采石场产生的粉尘中 50% 以上是 TSP,以破碎、分筛工序为中心,随着距离的增加,TSP 百分比含量逐渐减少, $\text{PM}_{10}$  逐渐增加。结果表明我们采用的确定源强的方法是可行的,预测结果与采石场生产造成的环境质量现状实测值基本吻合。

襄樊市襄城区同期大气污染指数为 70 ~ 110,空气质量等级为 II ~ III 级,主要污染物为可吸入颗粒物,比我们的研究结果略高,可能是由于其它大气污染源叠加引起的。由于采石厂生产规模到 2003 年年底可能大幅度增加,可以预测,襄樊市大气污染源强将会继续增大。

对城市大气污染影响最大是飘尘( $\text{PM}_{10}$ ),在空气中停留时间长,但预测比较困难,还需要我们进一步研究。

参考文献

[1] 仲来福. 卫生学[M]. 北京:人民卫生出版,2001:42-43.

[2] 陈学敏. 环境卫生学[M]. 北京:人民卫生出版社,2001:71-73.

[3] 襄樊市地名志领导小组. 襄樊市地名志[M]. 襄樊:襄樊日报出版社,1983:139-141.

[4] HJ/T 2.2-93. 环境影响评价技术导则-大气环境[S]. 1993.

[5] 郭英起. 大气环境影响评价实用技术[M]. 北京:气象出版社,1993:299-303.

[6] 国家环境保护局监督司. 中国环境影响评价[M]. 北京:化学工业出版社,2000:120-121.

[7] HYQ 1.1-89. 总悬浮微粒采样器技术要求(暂行)[S]. 1989.

[8] 丁桑岚. 环境评价概论[M]. 北京:化学工业出版社,2001:71-88.

[9] GB/T16157-1996 固定污染物排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法[S]. 1996:13-06.

- [10] HJ/T 76 – 2001. 固定污染源排放烟气连续监测系统技术要求及检测方法[S]. 2001.
- [11] GB 3095 – 1996. 环境空气质量标准[S]. 1996.
- [12] HJ/T 93 – 2003. PM<sub>10</sub> 采样器技术要求及检测方法[S]. 2003.
- [13] GB/T15265 – 94. 环境空气降尘的测定 – 重量法[S]. 1995.

# Analysis on the intense atmosphere contamination sources of the quarry

NIE Guo-chao

(Scientific Research Department Xiangfan Vocational and Technical College,Xiangfan 441021,China)

## Abstract

The TSP and PM<sub>10</sub> produced in process of production are important data in the environment impact assessment of quarry. TSP(total suspended particulates) and PM<sub>10</sub>(particulate matter less than 10μms) were influenced by spreading model and intense atmosphere contamination sources. Taking the quarry in Xiangfan as an example,the atmosphere contamination diffuse model, the diffuse parameter and determination of the intense atmosphere contamination sources of it were analyzed by simulation experiment and measurement on the spot. Under the common meteorological (average wind speed) condition, the average concentration of TSP per hour was relatively lower,more than 800 meters at the distance of lower wind direction,which was in accordance with the TSP ratio of the measurement. In case of steady D type,at 800 ~ 900 meter away from pollution sources,the maximum average concentration TSP per hour was 0.13 ~ 0.11 mg/hm<sup>3</sup>.

**Key Words :**quarry ;environmental impact assessment ;atmosphere pollution ;total suspended particulates ;simulation experiment ;measurement on the spot