

城市爆破拆除的粉尘预测和降尘措施

郑炳旭, 魏晓林

(广东省宏大爆破工程公司, 广州 510400)

[摘要] 提出了正态分布无边界扩散模式粉尘浓度预测法, 介绍了广州体育馆爆破拆除时的降尘措施, 即清理积尘、楼面蓄水、预湿墙体、屋面敷水袋、建筑外设高压管网喷水、搭设防尘排栅和直升机投水弹并产生下向风流等综合防尘技术, 实施后减轻了粉尘危害。

[关键词] 控爆拆除; 粉尘预测和控制; 高压喷水降尘; 环保

[中图分类号] TU834.6⁺2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2002)07-0069-05

1 前言

随着社会的发展, 人们日益关注城市建筑物爆破拆除中粉尘对环境的污染问题。2001年5月, 广东省宏大爆破工程公司, 在地处闹市的广州旧体育馆的爆破拆除中, 首次应用降尘和粉尘预测技术, 取得良好效果。

2 爆破拆除粉尘预测

2.1 尘源量

爆破拆除的粉尘量 Q (g), 来自爆破直接破碎建筑物的粉尘 Q_b 、建筑物倒塌粉碎的粉尘 Q_d 和扬起爆破前堆积在地面、楼面的积尘 Q_w , 即:

$$Q = Q_b + Q_d + Q_w \quad (1)$$

2.1.1 爆破粉尘 爆破直接破碎建筑物粉尘:

$$Q_b = q_b v_b \quad (2)$$

式中: v_b 为爆破结构的体积, m^3 ; q_b 为单位体积结构物产生的粉尘量, g/m^3 。

参照文献 [1]:

$$q_b = 149(a \cdot k_1)^2 \cdot k_2 \quad (3)$$

a 为结构物单位炸药消耗量, kg/m^3 ; k_1 为结构物炸药能量利用系数, 地上砼结构 k_1 应小于土岩,

取 0.95~0.98, 钢筋砼因炸药部分能量要破坏钢筋做功, k_1 取 0.56~0.62, 加密钢筋砼取 0.26~0.32, 砖块间的空隙洩漏了爆生气体, 而减少爆炸对砖砌体的破碎功, 砖砌体取 0.3~0.35; k_2 为材料产尘系数, 砼和钢筋砼取 1, 砖砌体取 1.5~3.0。

2.1.2 坍塌粉尘 建筑物坍塌破坏产生的粉尘:

$$Q_d = q_d v_d \quad (4)$$

式中: v_d 为倒塌建筑构件的体积, m^3 ; q_d 为单位体积建筑构件的产尘量, g/m^3 。

$$q_d = 149(a_d k_1)^2 \cdot k_2 \quad (5)$$

a_d 为单位体积建筑构件落地的冲击功相当的炸药单耗,

$$a_d = w/J \quad (6)$$

w 为建筑构件落地势能, $kg \cdot m$; J 为炸药的爆热, 2号岩石硝铵炸药取 $3655 \text{ kJ/kg} = 373 \times 10^3 \text{ kg} \cdot m / \text{kg}$ 。塌落破坏时用于破碎的能量利用率大于爆破, 对钢筋砼 k_1 提高到 0.95~1.0, 加密钢筋砼提高相同倍数到 $k_1 = 0.45 \sim 0.5$, 对砖砌体 k_1 取 1.5~1.75。

2.1.3 扬尘 积尘飞扬的粉尘量:

$$Q_w = q_w \cdot s_w \quad (7)$$

式中： s_w 为楼面和地面积尘面积， m^2 ； q_w 为单位面积的扬尘量， g/m^2 。

当建筑物坍塌产生的风速 u_w 大于扬尘风速 3~6 m/s 时，将积尘吹起。当建筑物的运动速度小于音速的 1/3 或者建筑物内风速小于 20 m/s，可假设空气为不可压缩流体进行计算， u_w 可以用气流出口局部阻力和沿程阻力计算。广州旧体育馆塌落 2 s 内，在 1.755 s 时风速达最大， u_w 约可达 7.65 m/s，因此，足以将积尘扬起。

2.2 爆破拆除的烟云

拆除时的烟云 V (m^3) 可由建筑周边构件爆破直接产生的烟云 V_s 、建筑物内的尘云 V_{in} 和倒塌时带动的后方气流尘云 V_{ou} 组成。即

$$V = V_s/2 + V_{in} + V_{ou}, \tag{8}$$

式中周边构件爆破烟云体积

$$V_s = 44\ 000A^{1.08[1]}, \tag{9}$$

A 为周边构件爆破的炸药量， 10^3 kg。

当建筑物周边构件爆破时，在建筑物外形成的烟云为爆破烟云体积 V_s 的一半，而另一半则混入建筑物内空间并占用了 V_{in} 中的部分体积；建筑物内爆破的烟云计入建筑物空间体积 V_{in} 之中。一般来说， V_{in} 为建筑物内空间体积， m^3 。而 V_{ou} 由后方气流结构形成，当建筑物塌落运动行程大于运动横截面积 S_u 半径的 6.0 倍时，后方涡流区可充分形成， V_{ou} 为涡流区体积；但建筑物倒塌时往往行程短，涡流区并未充分形成，因而，在建筑物完全破坏时 $V_{ou} + V_{in}$ 可按建筑物行程 h (m) 的 K_s 倍计， $K_s < 6$ ，广州体育馆 K_s 取 3.2，即

$$V_{ou} + V_{in} = S_u \cdot K_s \cdot h. \tag{10}$$

2.3 烟云浓度扩散

烟云的扩散规律可按正态分布无边界扩散模式计算，见文献 [2]。粒径小于 $10\ \mu m$ 的尘粒基本上不沉降，其地面浓度 ($z=0, H=0$)

$$C_1(x, y, z, t, H) = C_1(x, y, 0, t, 0) = \frac{2Q(d_2)\phi_1}{(2\pi)^{1.5}\sigma_x\sigma_y\sigma_z} \cdot \exp\left\{-\frac{(x-ut)^2}{2\sigma_x^2}\right\} \cdot \exp\left\{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right\}, \tag{11}$$

式中： x, y, z 分别为空间坐标点，m； H 为粉尘排放高度，m； t 为粉尘扩散时间，s； $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ 、分别为 x, y, z 方向上的扩散参数， $\sigma_x = \sigma_y \cdot (x + x_0)$ ， $\sigma_y = \sigma_y \cdot (x + x_0)$ ， $\sigma_z = \sigma_z \cdot (x + x_z)$ ， x_0, x_z 为计算初始水平和垂直扩

散参数时，面单元中心到虚拟点源距离，m； $\sigma_x = \sigma_y, \sigma_y, \sigma_z$ 按国家标准《GB3840-83》规定取值计算；

$$\sigma_{y0} = B/4.3^{[2]}, \sigma_{z0} = H_{平均}/2.15^{[2]}, \tag{12}$$

$$x_0 = (\sigma_{y0}/r_1)^{1/a_1}, x_z = (\sigma_{z0}/r_2)^{1/a_2}. \tag{13}$$

r_1, a_1, r_2, a_2 、为扩散系数，见 σ_y, σ_z 计算。 B 为烟云团初始平均宽度，m； $H_{平均}$ 为烟云团初始高度的平均值，m。 Φ_1 为粒径 $10\ \mu m$ 以下尘粒在烟尘 Q 中所占质量比； u 为风速，m/s； $Q(d_2)$ 为最大粒径 d_2 以下的粉尘量，g。

对大于 $10\ \mu m$ 以上尘粒，因有明显的重力沉降，其地面浓度：

$$C_2(x, y, 0, t, 0) = \int_{d_1}^{d_2} CF(d)dd = \int_{d_1}^{d_2} \frac{Q(d_2)\phi(1+\alpha_h)}{(2\pi)^{1.5}\sigma_x\sigma_y\sigma_z} \cdot \exp\left\{-\frac{(x-ut)^2}{2\sigma_x^2}\right\} \cdot \exp\left\{-\frac{(u_s x/u)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \cdot \exp\left\{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right\} dd \tag{14}$$

式中： α_h 为地面的反射系数^[3]，因地面下垫层不是全反射， $0 < \alpha_h < 1$ ； ϕ 为各粒径的尘粒频度， $\phi = d\Phi/dd$ ， Φ 为各粒径以下的尘粒累计重量比例，按高登-安德列耶夫-舒曼粒度特征方程， $\Phi = (d/d_2)^a$ 近似描述， a 为系数，本例取 1.12； d_2 为最大粒径，m； d 为尘粒径，m；

u_s 为粒子沉降速度 (m/s)，按斯托克斯公式：

$$u_s = g(\rho_p - \rho_g)d^2/(18\mu), \tag{15}$$

式中： ρ_p 为尘颗粒物密度，取 $2\ 400\ kg/m^3$ ； ρ_g 为空气密度， $1.25\ kg/m^3$ ； g 为重力加速度， $9.81\ m/s^2$ ； μ 为空气动力粘度， $1.715 \times 10^{-5}\ kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$ ； d_1 为粒径下限取 $0.000\ 01\ m$ ；按 (15) 式计算出 u_s ，以下风向警戒线距爆破拆除中心距离 x_w ，计算 $u \cdot x_w/u_s = H_{平均}$ 确定 d_2 。而 $Q(d_2) = (d_2/d)^a Q$ ， Q 是粒径 d 以下的粉尘量。由 (14)、(15) 式可预计地面粉尘浓度

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \tag{16}$$

式中： C_3 为外围流入爆区粉尘浓度， g/m^3 。

3 降尘措施

广州旧体育馆爆破拆除时，采取了清理残渣积尘、淋湿地面、预湿墙体、屋面敷水袋、楼面蓄水、建筑物外设压力喷水系统、搭设防尘排栅、直升飞机投水弹等综合除尘措施。

3.1 清理残渣积尘和淋湿地面

将预拆除时堆积在楼面、地面的残渣碎块、积尘清理干净，爆破前淋湿地板，尽量减少扬起积尘， $q_w = 8 \times 10^{-3} \text{g/m}^2$ 。

3.2 预湿墙体

在爆破前 5 天，向披挡物、砖墙和砖柱不断淋水，在楼面砌 10~15 cm 高的埂以蓄水，并往下墙滴水，以使其湿透。该措施能降低砖砌体的粉尘量达 75%，体育馆采取本措施的降尘率 $r_2 = 20\%$ 。今后应改进为提前浸水，多用蓄水下漏湿墙。

3.3 馆外压力喷水降尘

在馆外四周离地面 6 m 高挂设 $\phi 75 \text{ mm}$ 水管，沿管每 0.15 m 装喷嘴，以 1.0~1.2 MPa 水压，喷射形成“水雾膜墙”。普通喷雾洒水降尘率可达 50%，由于馆南、东管网，在爆破建筑倒塌时损坏，因此，本馆喷水降尘率取 $r_3 = 20\%$ 。今后改进应提高水压到 10 MPa，水管可埋在地沟从下向上喷水，水也可顺排栅防护网从顶流下形成水膜。

3.4 屋面水袋降尘

比赛馆屋面放置了 3 000 个水袋，当屋面着地后破裂，让水流入构件破碎部位，以减少倒塌后方风流带起的粉尘。本措施降尘率取 $r_4 = 10\%$ 。

3.5 防尘排栅

排栅高 8~12 m，设两层，里层挂防护网，外

层挂三色塑料彩布，可防飞石，也能阻止粉尘向外扩散。本馆爆破时因北、东和西面排栅部分倒塌，因此，阻止粉尘扩散作用减小，计算时忽略。今后改进要防止建筑物倒塌时，后座推倒排栅。

3.6 直升飞机投水弹

本次爆破租用米-171 型直升飞机，装载水约 $2.5 \times 10^3 \text{ kg}$ ，爆破瞬间在馆上空 200 m 高，投放水弹降尘。该措施降尘不明显，降尘率取 $r_6 = 3.4\%$ 。今后改进应水泡沫降尘，增加水的表面积以增大降尘效果。直升机要适当低飞，在不吹倒排栅条件下，以下向风流控制粉尘向上扩散。

4 计算结果

本馆爆破粉尘量计算参数见表 1，建筑周边炸药量 441.8 kg，总炸药量 525.5 kg。

经 (2)，(3)，(4)，(5)，(6) 式计算爆破粉尘量 $Q_{b.c} = 7 048 \text{ g}$ ，砖砌体 $Q_{b.b} = 19 262 \text{ g}$ ；建筑物塌落粉尘 $Q_{d.c} = 1 004 \text{ g}$ ，砖砌体 $Q_{d.b} = 3 630 \text{ g}$ ，爆破时加密钢筋砼 $k_1 = 0.27$ ，钢筋砼 $k_1 = 0.57$ ，砖 $k_1 = 0.315$ ，坍塌时加密钢筋砼 $k_1 = 0.45$ ，钢筋砼 $k_1 = 0.95$ ，砖 $k_1 = 1.62$ ；砖的 $k_2 = 1.58$ ；经 (6) 式计算，地面扬尘 $Q_w = 0.008 \times 7 335 = 58.7 \text{ g}$ ，以上粉尘量为对应粒径 $d_2 = 112 \mu\text{m}$ 以下的粉尘量。

表 1 爆破参数

Table 1 Blasting coefficients

材料及强度	钢筋砼柱 C ₁₄	梁 C ₁₇	加密钢筋砼 C ₂₀	砖 M10	灰浆 M2.5
爆破体积/m ³	29.40	4.30	371.60	92.40	15.50
炸药单耗/kg·m ⁻³	1.36	1.05	1.03	0.938	0.75

采取降尘措施后粉尘量 $Q(d_2) = [(Q_{b.b} + Q_{d.b})(1 - r_2) + (Q_{b.c} + Q_{d.c} + Q_w)](1 - r_3) \cdot (1 - r_4) \cdot (1 - r_6) = 18 374 \text{ g}$ 。

烟云体积计算如下：建筑物周边炸药爆炸烟云体积 $V_s = 4 400 \times 0.441 8^{1.08} = 18 209.40 \text{ m}^3$ ，建筑物内体积 $V_{in} = 85 145.5 \text{ m}^3$ ，建筑物运动后方风流区体积 $V_{ou} = V_{in} \times (3.2 - 1) = 187 320 \text{ m}^3$ ，总计烟云体积 $V = V_s/2 + V_{in} + V_{ou} = 281 570 \text{ m}^3$ ；

排栅面积 $S_w = 7 335 \text{ m}^2$ ，烟云高度 $H_{平均} = V/S_w = 38.4 \text{ m}$ ，与摄像记录烟云高是一致的；排栅面积长宽平均 $B = 104 \text{ m}$ 。

越秀公园 1# 监测点粉尘浓度计算如下；爆破

拆除时风向西偏南 30°，从图 1 中算得 1# 坐标 $x = 151 \text{ m}$ ， $y = 5 \text{ m}$ ；风速 $u = 3.76 \text{ m/s}$ ；阴天间小雨天气稳定度 D 级，查“GB3840-83”标准，得 $\sigma_y = r_1 x_0^{\alpha_1}$ ； $\sigma_z = r_2 x_0^{\alpha_2}$ ； $r_1 = 0.110 726$ ， $\alpha_1 = 0.929 418$ ， $r_2 = 0.104 634$ ， $\alpha_2 = 0.826 212$ ， $x_y = x - ut + x_0 = 151 + [B/(r_1 4.3)]^{1/\alpha_1} - ut$ ； $x_z = 151 + [H_{平均}/(r_2 \times 2.15)]^{1/\alpha_2} - ut$ 。
 $\alpha = 1.12$ ， α_h 取 0.2， $d_2 = 0.000 112 \text{ m}$ ， $d_1 = 0.000 01 \text{ m}$ ，以 (11)、(14) 和 (15) 式计算 C_1 、 C_2 ，当爆后 $t = 30 \text{ s}$ ，1# 测点外区吹入爆区粉尘浓度取 $C_3 = 0.15 \text{ mg/m}^3$ 时，粉尘浓度 $C = 28.25 \text{ mg/m}^3$ ； $t = 600 \text{ s}$ ， $C = 0.15 \text{ mg/m}^3$ ；见图

2。从图2中可见 C 超过 1 mg/m^3 的时间 t 约在第 17~57 s。

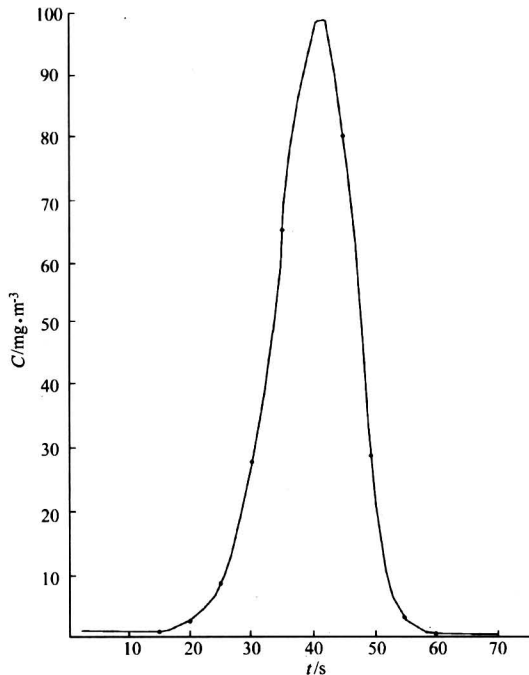


图1 爆区周围环境平面

Fig.1 Environment around sport building

计算平均粉尘浓度 C_c :

爆后 $t = 30 \text{ s}$, 1#测点

$$C_c = C_3 + t^{-1} \cdot \int_0^t C_1(t) dt + t^{-1} \cdot \int_0^t \int_{d1}^{d2} CF(d, t) d d dt = 0.15 + 0.57 + 3.32 = 4.04 \text{ mg};$$

爆后 $t = 600 \text{ s}$

$$C_c(t) = 0.15 + 0.4 + 2.23 = 2.78 \text{ mg/m}^3.$$

均与广州环境监测中心实测数据相同, 可见作者的预测是正确的。

5 结论

1) 爆破拆除的粉尘灾害是可以实施降尘措施来克服的。在降尘措施还不完善情况下, 可以进行粉尘预测预报, 以减轻爆破粉尘的危害。

2) 作者提出的“清理积尘、淋湿地面、预湿墙体, 屋面敷水袋、楼面蓄水、建筑外设高压喷水系统、搭设防尘排栅和直升机投水弹”等综合降尘措施, 经实践证明是有效的, 可行的。

3) 正态分布无边介扩散模式粉尘浓度计算法,

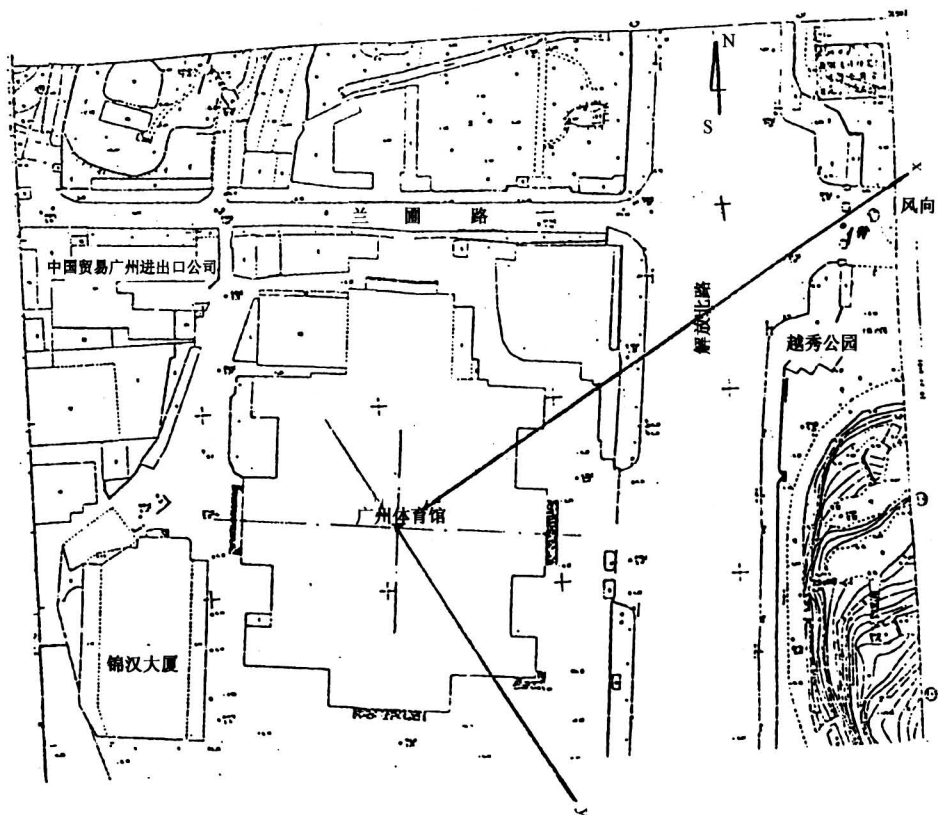


图2 1#测点粉尘全浓度 C

Fig.2 Dust concentration of point 1#

经实测证明理论上是正确的，可以用作爆破拆除的粉尘浓度扩散的预测预报用。

由于粉尘实测数据还少，预算参数的选取还应斟酌，因此本文的具体计算仅是抛砖引玉。

参考文献

[1] 时裕谦. 实用露天矿通风学[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1990

[2] 林肇信. 大气污染控制工程[M]. 北京: 高等教育出版社, 1991

[3] 吴方正. 大气污染概论[M]. 北京: 农业出版社, 1992

Forecast and Measurements for Reduction of Dust in Demolition Blasting

Zheng Bingxu, Wei Xiaolin

(Hongda Blasting Engineering Co. of Guangdong Province, Guangzhou 510400, China)

[Abstract] A series of technical measurements for dust-laying in demolition blasting of building of a sport center in Guangzhou are introduced in this paper. The comprehensive measurements involve clearance of surface dust, storing up water on floors, moistening walls, water bags on roof, high pressure sprinkling water film, smoke controlled by dust barrier and helicopter ventilation. Forecasting dust with diffusion model of normal distribution and non-border was proposed. Harm of dust pollution to urban district has been reduced ever since the application of the model.

[Key words] demolition blasting; dust forecasting; reducing dust; high pressure sprinkling water film; environment protection

第二届表面工程技术产业化交流会

[本刊讯] 由中国机械工程学会热处理分会表面技术专业委员会、材料分会材料表面工程技术专业委员会；中国金属学会耐磨专业委员会、表面工程分会耐磨材料专业委员；中国电工技术学会电子束离子束专业委员会等 5 个单位主办，材料分会材料表面工程技术专业委员会承办的第二届表面工程技术产业化交流会，于 2002 年 7 月 24 日至 26 日在太原理工大学顺利召开。会议重点交流了我国表面工程技术的进步、发展与产业化应用。

中国工程院院士徐滨士、丁传贤，北京师范大学张荟星教授，西南物理研究院陈庆川教授，铁道部科学研究院曾耀新研究员，北京科技大学李成明博士、唐伟忠教授，北京矿业大学陈华辉教授，太原理工大学徐重教授，清华大学崔福斋教授分别做了先进表面工程及其在再制造中的应用、等离子喷涂涂层性能与应用、MEVVA 源技术及其应用、离子注入设备及其工业应用、等离子体化学热处理的进展与应用、超硬膜的研究进展及其产业化、CVD 金刚石薄膜及产业化应用、激光表面强化及其应用、双辉等离子表面冶金技术的新进展、C-N 膜的离子束合成及生物相容性等 10 个专题的特邀报告。