

土垫层的防护作用

张奇

(西安矿业学院建工系 西安 710054)

摘要 通过分析,探讨烟囱控爆拆除时塌落对地面的冲击过程以及土垫层的防护作用,并给出土垫层的最佳厚度。

关键词 爆破拆除 爆破安全 防护 冲击

中图分类号 TD235.37

1 引言

作者于1994年3月在西北水科所爆破拆除一座旧砖砌烟囱。由于受环境限制,烟囱需倒塌在砼路面上。为了防止路面损坏,在路面上铺设了黄土垫层。因没有设计参考资料和依据,且设计时间紧迫,来不及及深入分析,黄土垫层厚度未达到应有尺寸,致使路面损坏。

烟囱倾倒撞击地面以后,烟囱与地面的破坏情况主要取决于烟囱落地速度、烟囱的尺寸及强度、路面的厚度及强度。

当 $\delta_{\text{烟}}[\tau_{\text{烟}}] < \delta_{\text{路}}[\tau_{\text{路}}]$

式中: $\delta_{\text{烟}}、[\tau_{\text{烟}}]$ 分别是烟囱的壁厚及抗剪强度; $\delta_{\text{路}}、[\tau_{\text{路}}]$ 分别是路面的厚度及抗剪强度。

如果不设黄土垫层,烟囱撞击路面后可能出现两种情况,一是烟囱破坏,路面无损;另一种是烟囱和路面都发生破坏,这时考虑垫土显然可以对路面起保护作用。

当 $\delta_{\text{烟}}[\tau_{\text{烟}}] > \delta_{\text{路}}[\tau_{\text{路}}]$

无论是否铺设垫层,路面破坏的可能性大于烟囱。如果以垫层保护路面,必然出现对烟囱进行二次破碎问题,增加了工作量。但破碎只需要爆破器材和钻孔工具,而修复路面需相应的建筑材料,相对比较繁琐。

文中通过力学分析,探讨烟囱定向倒塌时对地面的冲击过程及土垫层的防护作用。

2 土垫层的防护作用

烟囱倒塌对地面的冲击作用,如果不考虑破碎及其少量回弹,其冲量可表示为

$$\int_0^{\tau} P_c dt = m_c v_0$$

式中: τ 是烟囱撞击地面的作用时间; P_c 是烟囱对地面的冲击力; m_c 是烟囱的质量; v_0 是烟囱撞击地面的初始速度。如果近似把烟囱分成若干直径不同的筒体,则 P_c, τ, m_c, v_0 显然都

是这些不同直径筒体所在位置的函数。如果这些不同直径筒体的所在位置一定, m_c, v_0 都是常数。因此作用时间 τ 越短, 冲击力 P_c 就越大。土垫层的目的就是增大烟囱倒塌撞击地面的作用时间, 从而降低冲击力。

3 烟囱对土垫层和地面的冲击力

根据土力学^[1], 土的变形模量是在有侧限条件(即横向变形 $\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0$)下, 垂直方向(z 方向)压力与应变的比值。它既包括了弹性变形也包括了塑性变形。烟囱撞击地面以后, 土垫层不可能沿烟囱的长度方向发生变形(端部除外)。一般土垫层的铺设宽度相对于烟囱与路面的接触面积的宽度要大得多(原则上接触部分是一直线, 宽度为零)。因此土垫层沿烟囱的横向变形可以忽略。根据土垫层变形模量的定义, 有

$$\sigma_z / \varepsilon_z = E' \quad (1)$$

式中: σ_z, ε_z 分别为土垫层垂直方向的应力与应变; E' 为土垫层的变形模量。

当烟囱倒地与土层接触以后, 如果把烟囱视为若干段不同直径的筒体, 那么对于每个筒体都有

$$m_c a = P - P_c \quad (2)$$

式中: $a = d^2 u / dt^2$ 是烟囱撞击地面时的加速度; u 是烟囱撞击地面的位移; t 是时间; P 和 m_c 是每段单位长度烟囱的重量和质量; P_c 是每段烟囱对土垫层的冲击力。如果忽略重力 P , (2)式变为

$$- m_c a = P_c \quad (3)$$

而冲击力

$$P_c = \iint_S \sigma_z dS$$

式中 S 是烟囱各段筒体与土垫层的水平接触面积。如果把烟囱各段筒体作为单位长度来考虑, 则上式写成

$$P_c = \int_{S_1} \sigma_z dS_1 \quad (4)$$

式中 S_1 是烟囱各段筒体与土垫层的水平接触部分(弦长)。烟囱与土层接触后, 某点的应变为

$$\varepsilon_z = u_a / l \quad (5)$$

式中: u_a 为土垫层与烟囱接触部分中某点的 z 方向位移; l 为土垫层厚度。由图 1 可知 $u_a = u - R(1 - \cos\alpha)$ 。 R 是烟囱(某段筒体)的外半径; α 如图 1 示。 $0 \leq \alpha \leq \cos^{-1}[(R-u)/R]$, 近似取 $u_a \approx u(S_1/2 - y)/(S_1/2)$, 即用直线代替弧线。(5)式可以写成

$$\varepsilon_z \approx \frac{u(S_1 - 2y)}{S_1 l} \quad (6)$$

由(1)、(4)、(6)式得

$$P_c = 2 \int_0^{S_1/2} \frac{u_a}{l} E' dy = \frac{u E' S_1}{2l} \quad (7)$$

由几何关系知

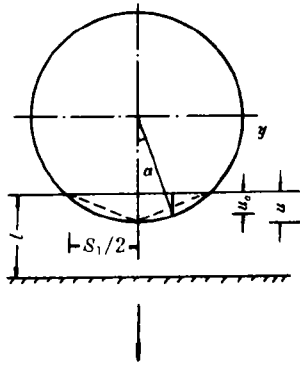


图 1 烟囱撞击土垫层

Fig. 1 Chimney impacting on the soil cushion

$$S_1 = 2\sqrt{2uR} \quad (8)$$

因

$$\frac{d^2u}{dt^2} = v \frac{dv}{du}, \quad \frac{d^2u}{dt^2} = -\frac{P_c}{m_c} + g$$

其中 $v = dv/dt$, 为烟囱撞击地面(土垫层)的瞬时速度。由(2)、(7)、(8)式得

$$v^2 = v_0^2 - \frac{4}{5}Cu^{2.5} - gu \quad (9)$$

式中: $g = 9.8 \text{ m/s}^2$; $C = \sqrt{2RE'} / (lm_c)$ 。

如果忽略重力。则由(3)、(7)、(9)式得

$$v^2 = v_0^2 - \frac{4}{5}Cu^{2.5} \quad (10)$$

式中 v_0 是烟囱撞击土垫层的初始速度。当烟囱撞击土垫层的运动加速度最大时,其冲击力也相应达到最大值。由上述推导可知,加速度最大时,应有 $v = 0$ 。如不计重力,由(10)式得

$$u = [\sqrt{5} v_0 / (2\sqrt{C})]^{0.8} \quad (11)$$

如考虑重力,可由(10)式通过数值计算求出烟囱加速度最大时的位移值 u 。为了便于应用,本文按忽略重力的情况处理。

$$\left| \frac{d^2u}{dt^2} \right|_{\max} = Cu^{1.5} = (\sqrt{5} v_0 / 2)^{1.2} C^{0.4}$$

$$P_{c\max} = \left| \frac{d^2u}{dt^2} \right|_{\max} m_c = (\sqrt{5} v_0 / 2)^{1.2} C^{0.4} m_c \quad (12)$$

将 $C = \sqrt{2RE'} / (lm_c)$ 代入(12)式得

$$P_{c\max} = (\sqrt{5} v_0 / 2)^{1.2} (\sqrt{2RE'} / l)^{0.4} m_c^{0.6} \quad (13)$$

或写成

$$P_{c\max} = 1.31V_0^{1.2} (\sqrt{RE'} / l)^{0.4} m_c^{0.6} \quad (14)$$

4 烟囱冲击土层的初始速度

如果把烟囱的定向倒塌视为定轴转动,则转动的角速度可由下式求出^[2]

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2B(\cos\varphi_0 - \cos\varphi) \quad (15)$$

式中: ω_0 、 ω 为烟囱定轴转动的初始角速度和角速度; φ_0 是烟囱定轴转动的初始转角; $B = hmg / J_0$; h 是烟囱重心至切口的距离; m 是烟囱切口以上部分的质量; $g = 9.8 \text{ m/s}^2$; J_0 是烟囱的转动惯量。根据 J_0 的定义可得

$$J_0 = \pi\rho \left[\frac{H^3}{3} (R_2^2 - R_1^2) - \frac{H^4}{2} \text{tg}\beta (R_2 - R_1) \right]$$

式中: ρ 是烟囱建筑材料的密度; $\pi = 3.14$; H 是烟囱切口以上部分的高度; R_2 、 R_1 是烟囱切口处的外半径和内半径。 $\text{tg}\beta$ 是烟囱外壁的斜度(严格说内外壁的斜度是不同的)。

应指出,在烟囱倾倒过程的支点处存在着力矩。文献[3]指出:“对于钢筋砼烟囱爆前

切断后方钢筋的情况,此力矩很小。”显然对砖砌烟囱,此力矩完全可以略去不计。

初始转角 φ_0 是变化的,很难准确给出。令 $\varphi_0=0$ 会在烟囱根部和倾倒角度较小时造成一定误差^[3]。但本文的目的在于烟囱落地时的冲击过程,因此近似取 $\varphi_0 \approx 0$ 。如果切口设计合理,则 $\omega_0 \approx 0$, (15) 式变为

$$\omega^2 = 2B(1 - \cos\varphi) \quad (16)$$

烟囱倒塌冲击地面时, $\varphi \approx \pi/2$, 因此 $\omega \approx \sqrt{2B}$ 。烟囱冲击土垫层的初始速度

$$v_0 = l_c \omega = l_c \sqrt{2B} \quad (17)$$

式中 l_c 是烟囱某截面至切口的距离。

5 土垫层的最佳厚度

土垫层的最佳厚度是指能够防护路面免遭破坏的最大厚度。由拆除西北水科所烟囱对砼路面的破坏情况来看,路面沿烟囱的长度方向形成一条“辙沟”。而由公路设计资料可知,路面出现“辙沟”,是冲击力产生的剪切破坏^[4]。因此土垫层的最佳厚度可由下式求出

$$P_{\max} \leq 2[\tau]\delta \quad (18)$$

式中: $[\tau]$ 是路面的抗剪强度; δ 是路面的厚度。由 (18) 和 (14) 式得到土垫层的最佳厚度

$$l \geq \frac{1.31^{2.5} r_0^3 \sqrt{R E' m_c^{1.5}}}{(2[\tau]\delta)^{2.5}} \quad (19)$$

或

$$l \geq 0.35 \frac{r_0^3 \sqrt{R E' m_c^{1.5}}}{([\tau]\delta)^{2.5}}$$

6 实例分析

西北水科所旧烟囱控爆拆除,烟囱为砖砌结构。高 $H=26$ m; 烟囱底部外半径 $R_2=1.34$ m; 底部壁厚为 0.5 m; 烟囱底部内半径 $R_1=0.84$ m; 烟囱顶部外半径 $R_{2t}=0.56$ m, 顶部壁厚为 0.24 m, 顶部内半径 $R_{1t}=0.32$ m。爆破切口设在地表以上 0.2 m 处。切口为正梯形,最大切口高度为 0.9 m。

6.1 计算烟囱冲击土垫层的初始速度

烟囱重心高度一般是烟囱高度的 0.42~0.44 倍。取 $h=0.43H$ 。(17) 式中 B :

$$B = hmg/J_0 \quad (20)$$

其中:

$$m = m_2 - m_1; m_1 = \frac{1}{3} \pi \rho H (R_1^2 + R_{1t}^2 + R_1 R_{1t}); m_2 = \frac{1}{3} \pi \rho H (R_2^2 + R_{2t}^2 + R_2 R_{2t}); g = 9.8 \text{ m/s}^2;$$

$$J_0 = \pi \rho H^3 \left[\frac{1}{3} (R_2^2 - R_1^2) - \frac{H}{2} (R_2 - R_1) \text{tg} \beta \right].$$

将上述西北水科所旧烟囱的数据代入 (20) 式得 $B=0.41$, 而 $\omega=0.9(1/s)$ 。此值与文献 [5] 的实测值有一定差别,但文献 [5] 实测的是 60 m 高的钢筋砼烟囱。一般砖砌烟囱倒塌的速度应该更快一些,因此本文结果 (ω) 大于文献 [5] 给出的相应值。结构不同、材料不同、尺寸不同的烟囱,其倒塌过程也肯定是不一样的。

烟囱冲击土垫层的初始速度(m/s):

$$v_0 = l_c \sqrt{2B} = 0.9l_c \quad (21)$$

6.2 土垫层最佳厚度的计算

土垫层的土一般是疏松的,孔隙比较大。土的变形模量应由实验测得。作为工程设计的估算,可以查阅有关资料分析后选取。由文献[6]知,强度最小、孔隙比最大的粘性土,其变形模量 $E' = 8 \text{ MPa}$ 。因土垫层是疏松的,强度很小而孔隙比很大,因此将土垫层视为强度最小、孔隙比最大的粘性土。

砼的抗剪强度一般是抗拉强度的 2.5 倍^[7],城市轻交通砼路面的抗拉强度为 4.0 MPa^[6]。因此抗剪强度 $[\tau] = 10 \text{ MPa}$ 。实例中砼路面厚度 $\delta \approx 0.18 \text{ m}$ 。

(1) 首先计算烟囱顶部落地后,土垫层应具有厚度。在(19)式中, $R = 0.56 \text{ m}$, $\rho = 1900 \text{ kg/m}^3$, 则 $m_c = 1260 \text{ kg}$ 。由 $l_c = 25 \text{ m}$ 和(21)式得 $v_0 = 22.5 \text{ m/s}$, 由(19)式得到土垫层的最佳厚度 $l = 0.250 \text{ m}$ 。

(2) 在烟囱中部, $R = 0.95 \text{ m}$, 壁厚为 0.50 m, 单位长度烟囱质量 $m_c = 4176 \text{ kg}$, 该点冲击路面的初速度 $v_0 = 11.25 \text{ m/s}$ 。由(19)式得到该处土垫层的最佳厚度 $l = 0.234 \text{ m}$ 。

在实例的施工中,按 $l \leq 0.1 \text{ m}$ 厚均布土垫层,显然在烟囱倒塌后不满足安全防护的要求,土层厚度远未达到应有的最佳值。

参 考 文 献

- 1 周汉荣主编. 土力学地基与基础. 武汉: 武汉工业大学出版社, 1988, 48
- 2 张 奇. 工程力学, 1993, 增刊: 734
- 3 许连坡. 爆炸与冲击, 1985, 5(2): 60
- 4 中国土木工程学会. 中国土木工程指南. 北京: 科学出版社, 1993, 622
- 5 庞维泰, 杨人光, 周家汉. 控制爆破拆除建筑物的解体判据问题. 见: 土岩爆破文集, 北京: 冶金工业出版社, 1985, 155
- 6 湖南大学. 土木工程土力手册. 北京: 人民交通出版社, 1991, 1175
- 7 建筑施工手册编写组. 建筑施工手册(中册)(第二版). 北京: 中国建筑工业出版社, 1988, 471

PROTECTION FUNCTION OF SOIL CUSHION

Zhang Qi

(Xi'an Mining Institute, Xi'an, 710054)

ABSTRACT By means of mechanical analysis, the shock process on the surface of ground when the chimney is demolished by controlled blasting and the protection function of the soil cushion on the surface of concrete road are studied in this paper. The formula of calculation the optimum thickness of the soil cushion is given.

KEY WORDS blasting demolishing, blasting safe, protection, shock