

# 锅炉爆炸冲击波危害范围计算

刘盛平 周 晔

(中国地质大学·武汉)

作为工业生产和人民生活中所必需的一种动力和热源,锅炉在现代工业生产(如电力工业、机械工业、炼油、化工、轻工、纺织等)和人民生活中普遍应用。锅炉是工业生产中的常用设备,同时又是一种较容易发生恶性事故的特殊设备。它除了易发生事故外,更主要的是其事故的危害性严重。例如,1986年河南某市靠近濠堂边的一台锅炉发生爆炸,当场死亡30人,重伤6人,轻伤3人。由此可见,锅炉一旦发生事故,特别是破裂爆炸事故,它不仅使其设备本身遭到破坏,而且往往会破坏其周围的建筑物和其它设备,甚至造成人生伤亡等灾难性的事故后果。在锅炉爆炸事故中最主要的危害是因冲击波超压而造成的危害。不同的冲击波超压对周围的人和物的危害不同,在多数情况下,冲击波超压的破坏作用主要与波阵面上的超压大小有关。在其它条件相同的情况下,冲击波超压与离爆源的距离有关,冲击波超压随距离的增大而减小。当冲击波超压小到一定程度时,则其对周围的人和物基本无破坏作用。由此就可确定出锅炉爆炸冲击波超压的危害范围。本文利用计算机技术,通过数学模型定量分析了锅炉爆炸冲击波超压对人的伤害和对建筑物破坏的作用范围,并直观地显示分析结果。

## 1 锅炉爆炸冲击波超压的破坏作用

锅炉破裂爆炸时,爆炸的能量仅一小部分消耗在撕裂锅炉钢板,并将容器或其碎片

以及与锅炉连接的汽水管道、阀门等抛出外,其余大部分能量则在空气中传播产生巨大的冲击波,致使周围的设备、建筑物遭到破坏,并造成人员伤亡。在多数情况下,冲击波的破坏作用主要与波阵面上的超压 $P_f$ 的大小有关,冲击波超压对建筑物的破坏作用和对人的伤害作用分别如表1、表2:

表1 冲击波超压对建筑物的破坏作用

| 超压 $P_f(MPa)$ | 破坏情况           |
|---------------|----------------|
| 0.005~0.006   | 门窗玻璃部分破裂       |
| 0.006~0.01    | 受压面的门窗玻璃大部分破裂  |
| 0.015~0.02    | 门框损坏           |
| 0.02~0.03     | 墙裂缝            |
| 0.04~0.05     | 墙大裂缝,屋瓦掉下      |
| 0.06~0.07     | 木建筑厂房屋柱折断,房架松动 |
| 0.07~0.10     | 砖墙倒塌           |
| 0.10~0.20     | 防震钢筋混凝土破坏,小房倒塌 |
| 0.20~0.30     | 大型钢架结构破坏       |

表2 冲击波超压对人体的伤害作用

| 超压 $P_f(MPa)$ | 伤害作用      |
|---------------|-----------|
| 0.02~0.03     | 轻微伤害      |
| 0.03~0.05     | 听觉器官损伤或骨折 |
| 0.05~0.10     | 内脏严重损伤或死亡 |
| >0.10         | 大部分人员死亡   |

## 2 冲击波作用半径数学模型

贮存有高温高压蒸汽和水的锅炉,在锅

筒破裂时,其内呈饱和状态的蒸汽迅速降压膨胀,同时饱和水也有一部分随即蒸发膨胀,从而释放出很大的能量。所以计算锅炉爆炸能量时,应包括饱和水和饱和蒸汽所释放出的能量总和。

(1) 饱和蒸汽的爆炸能量。按绝热过程考虑,饱和蒸汽的爆炸能量可由下式计算:

$$U_s = (U_{p'} - UI_{L'})V'/V_{p'} \quad (1)$$

式中: $U_s$ ——饱和蒸汽的爆炸能量(kJ);

$U_{p'}$ ——饱和汽在爆炸前(压力为  $P$ )的内能(kJ/kg);

$UI_{L'}$ ——饱和汽在爆后变为大气压下的汽水混合物时的内能(kJ/kg);

$V'$ ——锅筒中饱和蒸汽(压力为  $P$ )的容积( $m^3$ );

$V_{p'}$ ——饱和蒸汽在爆炸前(压力为  $P$ )的比容( $m^3/kg$ );

(2) 饱和水的爆炸能量。按绝热过程考虑,饱和水的爆炸能量可由下式计算:

$$UI = (U_{p''} - UI_{L''})V''/V_{p''} \quad (2)$$

式中: $UI$ ——饱和水的爆炸能量(kJ);

$U_{p''}$ ——饱和水在爆炸前(压力为  $P$ )的内能(kJ/kg);

$UI_{L''}$ ——饱和水在爆后变为大气压下的汽水混合物时的内能(kJ/kg);

$V''$ ——锅筒中饱和水(压力为  $P$ )的容积( $m^3$ );

$V_{p''}$ ——饱和水在爆炸前(压力为  $P$ )的比容( $m^3/kg$ );

锅炉爆炸的总能量  $U$  为:

$$U = U_s + UI(kJ) \quad (3)$$

由于锅炉爆炸时所产生的冲击波情况十分复杂,而且缺乏这方面的系统的试验数据。目前对锅炉破裂爆炸所产生的冲击波超压一般都是根据同能量的梯恩梯(TNT)爆炸的试验数据按相似法则来确定。将所得的锅炉爆炸能量换算成梯恩梯当量  $W_{TNT}$  为:

$$W_{TNT} = 1000U/4.23(kg) \quad (4)$$

然后根据 J. Henrych 的冲击波超压数学模型,锅炉爆炸冲击波超压  $P_f$  为:

$$P_f = 14.0717R' + 5.5397R'^2 - 0.3572R'^3 + 0.00625R'^4 (0.05 \leq R/$$

$$\sqrt[3]{W_{TNT}} \leq 0.3)$$

$$P_f = 6.1938R' - 0.326R'^2 + 2.1324R'^3$$

$$(0.3 \leq R/\sqrt[3]{W_{TNT}} \leq 1)$$

$$P_f = 0.662R' + 4.05R'^2 + 3.283R'^3$$

$$(1 \leq R/\sqrt[3]{W_{TNT}} \leq 10)$$

$$P_f = 0.67R' + 3.01R'^2 + 4.31R'^3$$

$$(10 \leq R/\sqrt[3]{W_{TNT}} \leq 70.9)$$

$$R' = \sqrt[3]{W_{TNT}}/R$$

式中: $P_f$ ——锅炉爆炸冲击波超压( $MP_a$ )

$W_{TNT}$ ——锅炉爆炸能量梯恩梯当量(kg)

$R$ ——离爆源的距离(m)

最后结合冲击波反射、绕射数学模型,并根据表 1、表 2,即可确定出不同压力及饱和水体积情况下,锅炉破裂爆炸产生的冲击波超压而造成的人员受伤害的区域和建筑物被破坏区域。

### 3 爆炸冲击波危害模拟结果

本文采用 Visual Basic 4.0 充分实现了锅炉爆炸冲击波超压的定量分析。Visual Basic 编程环境可方便完成人机交互界面的制作以及计算结果的显示(绘制)。图 1、图 2(图略)分别是一定压力和饱和水体积情况下锅炉爆炸冲击波超压对人和物的影响的评价结果。界面中包括参数输入窗口和结果输出窗口。参数输入窗口用于输入计算所必需的确定性参数(如:表压、锅炉总容积、饱

(下转第 24 页)

面的平整性,降低边坡上部荷载。

(2) 在边坡坡顶和坡底附近区域开挖集水槽、排水沟和导流渠,切断流入新开挖边坡的水流通道,使之通过集水槽、排水沟和导流渠流走。

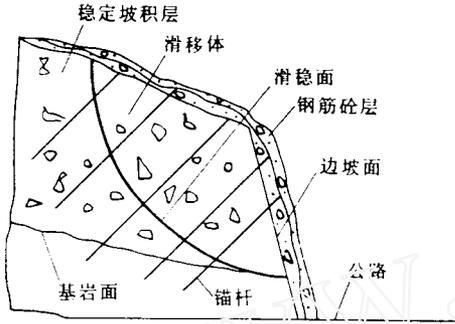


图5 碎石夹土体加固示意图

(3) 对于风化程度小、裂隙少且整体稳定的岩质边坡,采取喷射混凝土的方法对岩土进行封闭,以隔绝岩体与空气的接触,防止岩体的进一步风化。

(4) 对于中等风化、裂隙较发育且局部不稳定的岩质边坡,采取局部打锚杆、整体喷射混凝土的方法进行岩体局部加固和边坡整体维护,并在边坡坡脚处砌强度高的挡

土墙,以加大边坡坡脚处的抵抗力。

(5) 对于严重风化、裂隙发育且整体不稳定的岩土质边坡,首先采用打锚杆、挂钢筋网并喷射混凝土的方法进行加固,然后在边坡坡脚处砌强度高的浆砌石墙。

(6) 对于已发生大量厚层顺层滑移或处于重要且危险地段的岩质边坡,采取预应力锚索和锚杆进行加固或预防性加固。

(7) 对于夹杂碎石的土质高边坡,首先在土质边坡的坡面上敷设钢筋网、喷射混凝土,然后在边坡坡脚处砌强度高的浆砌石墙,必要时采取压力预注浆和化学固结的方法进行土体加固。

(8) 对于已经产生滑动、坍塌、下陷等破坏现象的边坡,首先对边坡上部区域进行清理,并采取打锚杆、挂钢筋网、喷射混凝土的方法对边坡上部区域进行加固,然后对边坡下部区域进行清理,清理完成后采取相同的方法对边坡下部区域进行加固,并在边坡坡脚处砌高强度挡土墙。

以锚喷网为主体的加固方法在许多工程中得到成功的实施,在巴东新城区实施后也已取得令人满意的成果。事实证明,这种加固方法无论从技术方面与经济方面考虑都非常适应在巴东城区地层中实施。

(上接第 26 页)

和水体积等);结果绘制窗口则显示爆炸事故的冲击波超压范围及危害程度与范围,结果绘制以不同的填充颜色来显示出冲击波超压的危害程度与范围,并显示给定距离的冲击波超压值。

## 4 结束语

锅炉破破裂爆炸冲击波超压危害的大小除与爆破能量及离爆源的距离有关外,还与其破裂形式等因素有关。本文在应用数学模型的求解过程中作了相应的假设(如裂孔

尺寸不变等),同时在判断裂口的尺寸时,根据相应的统计资料构造最可能的尺寸。本文对锅炉破裂爆炸冲击波超压及危害半径作了定量分析,并利用计算机技术形象、直观地显示了分析结果,为锅炉的现场安全管理及事故防范措施提供了辅助决策的依据。将其用于教育和培训,有助于更为形象、直观地理解锅炉爆炸冲击波的危害程度及范围。由于事故过程本身固有的复杂性,对事故的定量研究还有许多问题有待于进一步分析和研究。