

建筑物拆除爆破设计原理和方法

金骥良 王中黔
(铁道部科学研究院)

摘要 本文根据建筑物拆除爆破的破坏机理,运用结构力学推导了砖混结构建筑物爆破失稳倾倒的基本条件,并由工程实践中摸索出承重墙布孔设计的新方法,这对城市拆除爆破工程具有现实的指导意义。

关键词 工程爆破; 建筑物拆除。

1. 前言

建筑物拆除爆破的基本原理是利用炸药爆炸产生的能量,破坏建筑物主要承重构件的强度(刚度),使之失去承载能力,在结构自重作用下失稳倾倒,并在与地面撞击过程中进一步解体破碎。

拆除爆破设计主要根据上述这一原理,关键要抓住两个问题:一是整个建筑物失稳倾倒的条件;二是破坏承重构件的方法。一般来说,只有掌握了失稳倾倒的条件,才能确定承重构件破坏的范围和方法。

本文就这两个方面,结合工程实践经验,作初步的分析探讨。

2. 建筑物爆破倾倒的基本条件

拆除爆破方案通常采用以下三种倒塌方式:原地坍塌、定向倒塌和折叠坍塌。分析这三种方式可知,最基本的是侧向倾倒。下面就最简单的单层单跨房屋的倾倒做一些分析。

由建筑物爆破倾倒的实际过程分析,整体性较好的砖混结构房屋,爆破后,首先是承重墙爆破部位产生一条连续缺口带,上部结构在重力作用下座落,当缺口上部墙体触地后,由于两侧墙体爆破缺口高度的差异,墙体以地面为支点,整个房屋在重力矩作用下,向着爆高大的墙体一侧转动倾倒坍塌。这一过程可简化如图1所示

由图1可见,如果两承重墙的相对爆破缺口高度差 $h=h_2-h_1$ 越大,倾角 α 亦大,建筑物越易倾塌。若相对爆高很小或两墙爆高相等,即 $h \rightarrow 0$,从理论上讲,就不能产生倾覆力矩,这对于整体性较好、墙体强度较大的房屋,就难以充分倒塌。工程实践中这样的例子也确实存在,有时一座三层楼爆后变成两层楼。但是,如果使相对爆高过大,楼房果然易倒,却加大了钻爆工作量,造成不必要的浪费。因此,合理地设计承重构件的爆破缺口高度,不仅是建筑物失稳倾倒的必要条件,也是涉及爆破工程经济技术效益的重要问题。

现就承重墙结构的爆破缺口高度计算问题做简单的力学分析。如图1中的简化模型,设屋盖荷载为 p ,两侧承重墙自重分别为 p_1 、 p_2 ,其墙厚为 B ,墙高为 H ,墙间距(跨度)为 L 。两墙的爆高分别为 h_1 、 h_2 ,假定建筑物墙体强度较大,不考虑上部结构与地撞击振动的影

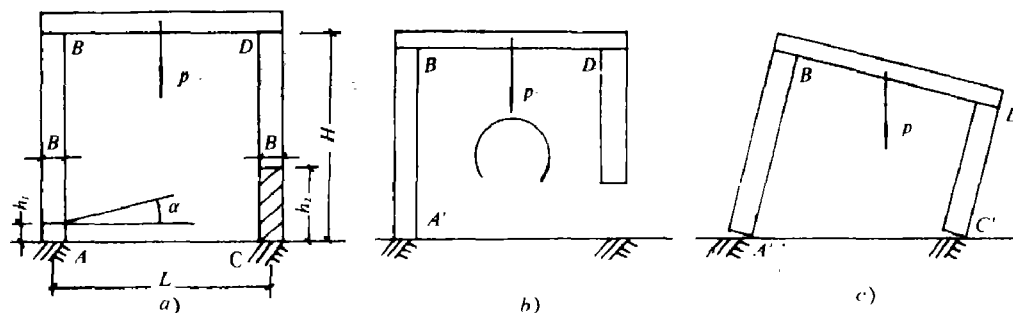


图 1 建筑物倾倒过程简化示意

响, 且倾倒瞬间如图 1 c 所示, A' 、 C' 分别为两墙倾倒瞬间地面支点, 并且其间距 L 在倾倒前保持不变。为简单起见, 取 $\overline{AB}$ 墙的爆高 h_1 为零, 如图 2 对倾倒瞬间各构件受力进行分解。

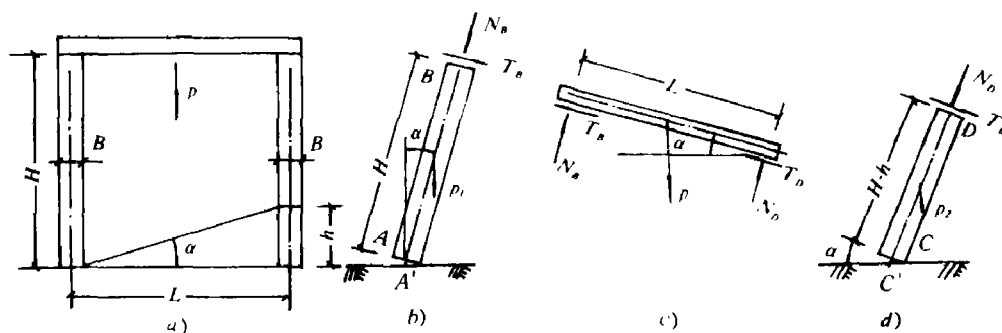


图 2 倾倒瞬间力的分解

由几何分析可知, 相对爆高 h 与倾角 α 、间距 L 有以下关系

$$h = L \cdot \tan \alpha \quad (1)$$

由图 2 c 中屋盖受力的瞬间平衡条件 (由于 h_1 不大, 故忽略惯性力), 得到以下方程

$$N_B + N_D = p \cdot \cos \alpha \quad (2)$$

$$T_B + T_D = p \cdot \sin \alpha \quad (3)$$

$$N_B \cdot L = \frac{1}{2} L \cdot p \cdot \cos \alpha \quad (4)$$

$$\text{由此解得} \quad N_B = N_D = \frac{1}{2} p \cdot \cos \alpha \quad (5)$$

式中 N 为支承墙反力, T 为屋盖与墙接合面上剪力。

由 $\overline{AB}$ 墙以 A' 点取矩, 假定各支点都是铰链联接, 并不考虑屋盖和支撑墙间产生滑动的情况, 得到瞬间力矩平衡方程为

$$T_B \cdot H + (H/2) \cdot p_1 \cdot \sin \alpha = (N_B + p_1 \cdot \cos \alpha) \cdot B/2 \quad (6)$$

将(5)式代入(6)式得到接合面B处剪力为

$$T_B = \frac{B}{2H} \cdot \cos\alpha \cdot \left(\frac{p}{2} + p_1\right) - \frac{1}{2}p_1 \sin\alpha \quad (7)$$

又由(3)式代入(7)式, 得接合面D上剪力为

$$T_D = \left(p + \frac{p_1}{2}\right) \cdot \sin\alpha - \frac{B}{2H} \left(\frac{p}{2} + p_1\right) \cos\alpha \quad (8)$$

同理, $\overline{CD}$ 墙以C'点取矩可得平衡方程式为

$$T_D(H-h) + \frac{H-h}{2} \cdot p_2 \cdot \sin\alpha = (N_D + p_2 \cos\alpha) \cdot \frac{B}{2} \quad (9)$$

两墙倾倒瞬间应同时满足方程式(8)和(9), 因此, 可得到以下关系式

$$\tan\alpha = \frac{B}{H} \cdot \frac{\frac{p}{2} \cdot \left(1 + \frac{p_1}{p_2}\right) + 2p_1}{2p + p_1 + p_2} \quad (10)$$

令 $K_{min} = \frac{\frac{p}{2} \cdot \left(1 + \frac{p_1}{p_2}\right) + 2p_1}{2p + p_1 + p_2}$, 并设倾倒瞬间的倾角 $\alpha = \alpha_{min}$, 则有

$$\tan\alpha_{min} = K_{min} \cdot \frac{B}{H} \quad (11)$$

此式即为倾倒瞬间的平衡条件, 也可视为倾倒极限条件。

对于建筑物的倾倒, 其倾角必须满足 $\alpha \geq \alpha_{min}$ 条件, 又由关系式(1), 所以应有

$$h = L \cdot \tan\alpha \geq L \cdot \tan\alpha_{min} = L \cdot K_{min} \cdot \frac{B}{H} \quad (12)$$

由于系数 K_{min} 与荷载 p 、 p_1 和 p_2 有关, 为便于工程应用, 可做以下简化:

(1) 假定上部荷载 p 很重, 与承重墙自重相比, 能近似为 p_1/p 与 $p_2/p \rightarrow 0$, 则可得 $K_{min} = 0.5$ 。

(2) 如果上部荷载 p 较轻, 与承重墙自重相比, 可近似为 p/p_1 与 $p/p_2 \rightarrow 0$, 则可得 $K_{min} = 1.0$ 。这样, 就可以得到建筑物爆破倾倒时系数 K_{min} 的值。

将公式(12)一般化, 写为

$$h = K \cdot \frac{L \cdot B}{H} \quad (13)$$

式中 K 定为倾倒系数, 对于轻型建筑物可取 $K \geq 1.0$; 对于重型荷载建筑可取 $K \geq 0.5$ 。至于 K 的上限, 可以任取, 但根据我们的实际经验, 一般取 1.5 足够了。

公式(13)即为建筑物爆破倾倒的基本条件, 根据此式, 就可以按照爆破倒塌方案的要求, 设计计算有关承重构件的爆破缺口高度, 布置相应的炮孔排数和药包。

这里举一个工程实例。图3是厦门宾馆五号楼拆除爆破倾倒示意图。根据环境特点和东部保留区的安全要求, 爆破方案确定: 西外墙应向东倾倒; 东部三楼山墙应向西翻倒; 而中区则应略向南倾塌。按照此方案在爆破设计时按照公式(11)进行计算。由楼房结构荷重情况取坍塌系数 $K = 0.9$ 。对于西区, 为使西外墙东倒, 由墙厚 $B = 0.28\text{m}$, 墙高 $H = 4.2\text{m}$, 相邻之西内墙相距 $L = 8\text{m}$, 计算得到相对爆高 $h = 0.48\text{m}$ 。西外墙布孔三排, 爆高 $h_i = 0.5\text{m}$,

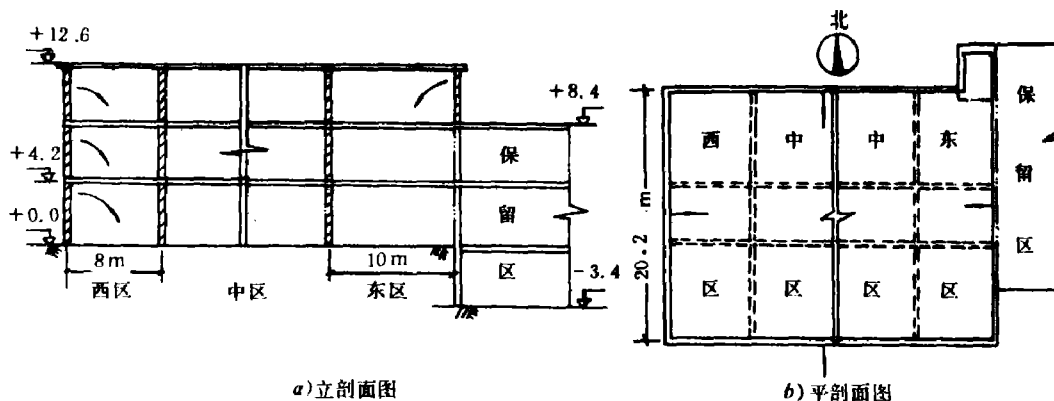


图 3 厦门宾馆五号楼爆破倾倒示意

由此可得西内墙的爆高 $h_2 = h_1 + h = 0.98 \text{ m}$ ，取排距 $b = 0.25 \text{ m}$ ，因此设计五排孔。对于东区，为使交界处上层的东山墙向西拉倒，设计时取东区底层大厅为计算单元，大厅东墙处在保留区，不布炮孔。大厅西墙厚 0.28 m ，墙高 4.2 m ，大厅跨长 $L = 10 \text{ m}$ 。按公式 (11) 求得相对爆高 $h = 0.7 \text{ m}$ 。因此大厅西墙的设计爆高为 $h_2 = h = 0.7 \text{ m}$ ，布设四排孔。对于中区，应略向南倾，由南北外墙相距 $L = 20 \text{ m}$ ，墙厚 $B = 0.28 \text{ m}$ ，墙高 $H = 4.2 \text{ m}$ ，计算得到 $h = 1.2 \text{ m}$ ，北外墙设计爆高 $h_1 = 0.5 \text{ m}$ ，因此南外墙的爆高 $h = 1.7 \text{ m}$ ，按分离式布孔法（看第二节）设计六排炮孔。中区其余南北向内墙均按此规律，爆破缺口高度由此向南递增。爆破后，楼房按方案设想倾倒坍塌，效果很好。

在北京新侨饭店原礼堂、中餐厅，水电部招待所南楼，上棉廿五厂前纺车间等许多建筑物拆除爆破工程中都运用了上述条件进行设计，取得了较好的坍塌效果。

这里应予说明的是上述公式是在假定墙体强度较强、整体性很好的情况下导出的，因此上述条件对于框架结构和排架结构的建筑物亦可以应用。但是对于某些墙体强度很差，高跨比很小的建筑物，即使采用平切口或相对爆高很小，在爆破振动与落地撞击作用下也会坍塌。

3. 承重砖墙的布孔设计

为了使建筑物能够充分倾倒坍塌，由上节分析可知，必须在承重构件上产生一定高度的爆破缺口。对于砖混结构，应在承重砖墙上设置多排炮孔以产生具有一定高度的连续爆破缺口带。有的建筑物，按照倒塌要求，可能需要设计较高的爆破缺口，这就要布置较多的炮孔排数，因此钻爆工作量就大，费用也高。能否找到一种新的布孔方法，来适应高缺口的要求，我们在工程实践中进行了摸索试验，创造了一套承重砖墙布孔设计新方法——分离式布孔法。

分离式布孔法是在承重砖墙上布设两条连续的爆破缺口带，在这两条连续缺口带中间保留一段未被完全破坏的墙体，称之为隔离体，如图 4 所示。这种方法的原理是在承重砖墙上两个连续缺口带中间保留的墙体，好象一个瞬时的不稳定的支撑内核，它使上部建筑物以此作为支点，随着隔离墙体的失稳翻转一起倾倒坍塌，从而起到增大倾覆力矩和加大爆破缺口高度的作用。

图 4 a、b、c 是常规的四、五、六排布孔法，它的特点是产生一条连续的高缺口带。d、e、f 为分离式布孔法，它产生上下两条分隔开的爆破缺口带。分离式布孔法有以下两种形式

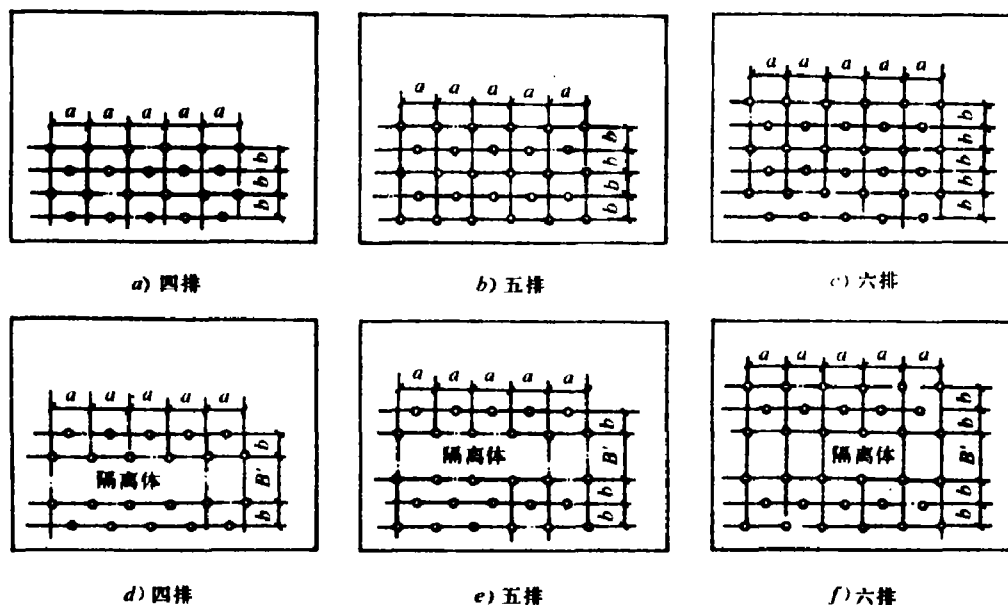


图4 常规布孔与分离式布孔法

(1) 条式布孔法 如图5所示, 这种方法是在以两排或三排炮孔为一组的两爆破缺口带中间, 留下一条宽度至少为两倍炮孔排距的隔离墙体。据根工程实践, 隔离体的宽度应视墙体强度、厚度和钻孔施工条件而定。一般可使宽度

$$B = 2b \sim 2B \quad (14)$$

式中 b ——排距; B ——墙体厚度。

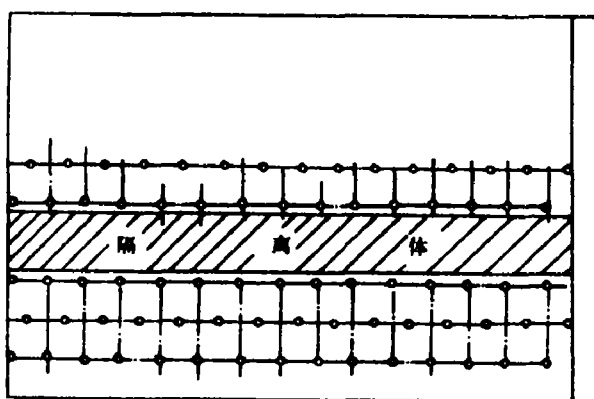


图5 条式分离布孔法

(2) 岛式布孔法 如图6所示, 这种方法是在条式法基础上, 将中间的隔离体分割成若干孤立的大块, 如岛屿一样, 故称之为岛式布孔法。对于一般住宅楼的房间, 在一面墙上只需要如图6一样分割成两块大的隔离体即可, 或只在拐角墙处布置竖直连续缺口, 成一带

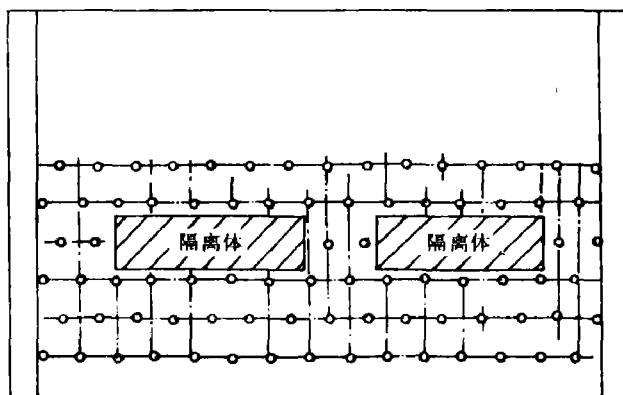


图 6 岛式分离布孔法

式“孤岛”亦可。

分离式布孔新方法在北京医院旧门诊楼、厦门宾馆五号楼、北京金属结构厂十几幢厂房以及北京新侨饭店原礼堂、中餐厅等爆破拆除工程中都进行了实际应用,获得了很好的效果。

这种新的布孔设计方法所带来的经济、技术效果是十分显著的。如厦门宾馆五号楼的南外墙,设计爆高 $h=1.7\text{m}$,墙厚 $B=0.28\text{cm}$,选取排距 $b=0.25\text{m}$,用常规法布孔要设八排孔,改用分离式布孔,仅需六排孔就可达到设计爆高,减少了两排孔,这样计算就可降低钻爆成本25%。这是从经济上分析,从技术上看,这种新方法能大大减少总药量,这对降低爆破振动效应、控制冲击波、防止个别飞石等安全方面,有着更大的意义。

4. 直交砖墙炮孔的特殊设计

在砖混结构的办公楼、住宅楼等建筑物中,每层都有很多房间,大量的砖墙相互直交、纵横交错,成丁字形或十字形等如图7。

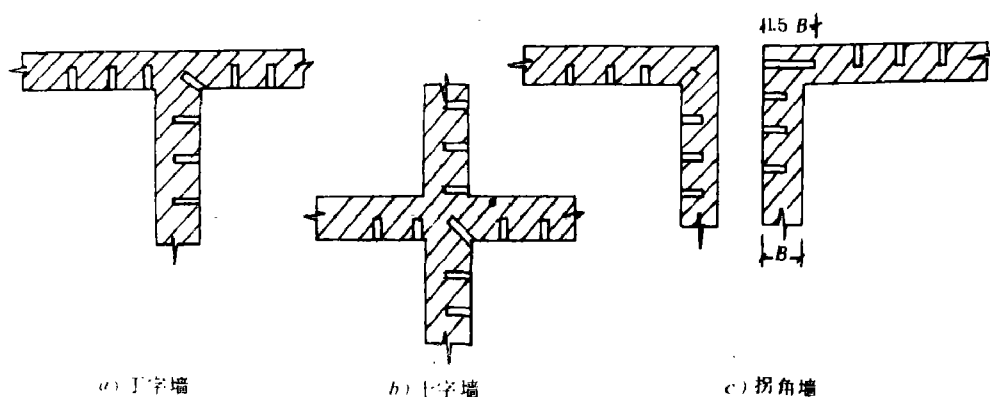


图 7 直交砖墙的布孔方法

直交砖墙对结构稳定起着重要作用,交叉处的砖墙具有两个以上成 90° 的方向,无论建筑物向哪个方向倾倒都会产生较大的抗矩。如果在爆破设计时忽视了这个问题,或者该处未能完全破坏,则直交砖墙就有可能仍然起到支承作用,使建筑物不能充分坍塌。因此在以往楼

房拆除爆破中, 出现爆后下塌或部分未塌的现象, 除了相对爆高过小的原因外, 就是对直交砖墙没有处理好。

直交砖墙的布孔方法如图7所示, 一般有两种方法

(1) 对角线布孔 如图7c左图所示炮孔沿着直交墙的对角线方向(与墙面成 45° 角)布孔。这种方法一般在房间内部钻孔时使用。其孔深应取对角线长度的三分之一, 单孔药量应较一般墙孔增加20%。总结工程实践经验, 对于不同厚度的砖墙直交时, 设计时可采用下表1所示的孔网参数。

(2) 加长炮孔 如图7c右图所示, 沿直交砖墙的某一方向, 在中心线上钻加长的炮孔, 炮孔深度一般取 $1.5B$, 可布设两个药包, 单孔药量为一般孔的两倍。这种炮孔一般可用在室外钻孔。

对于直交砖墙也可用人工拆除方法, 化直交墙为单面墙。但这时应对结构承重情况进行仔细分析, 对于非承重墙可以拆除; 对于承重内墙, 则应在保证结构稳定的前提下部分拆除。

表1 直交砖墙孔网参数

直交墙厚度	孔距 (cm)	孔深 (cm)	单孔药量 (g)	备 注
24"与24"	25	12	18	
37"与24"	30	15	25	37"是外墙
37"与37"	30	18	30	
50"与37"	40	22	40	50"是外墙

DESIGN PRINCIPLES AND METHODS OF BLASTING FOR DEMOLISHING STRUCTURES

Jin Jiliang Wang Zhongqian

(China Academy of railway Sciences)

ABSTRACT Based up on the destruction mechanism of blasting for demolishing structures, some basic conditions of destabilization and collapse of masonry composite construction by blasting have been derived by applying structure mechanics. Moreover, some new methods of bore-hole distribution design on load bearing brick wall have been developed through blasting engineering practice in the present paper. It has a practical and guiding significance in blasting engineering for demolishing structures in the city.

KEY WORDS blasting engineering, demolishing structure.