

文章编号:1007-9432(2006)06-0685-03

爆破拆除高大建筑物产生的 震动危害与减震方法

张世平, 阎晋文

(太原理工大学 矿业工程学院, 山西 太原 030024)

摘 要:论述了爆破拆除城市高大建筑物时产生的震动危害及我国目前预测爆破震动对建筑物破坏的安全判据,根据研究资料和几个典型的 A 级定向爆破工程地震动实测结果,总结了爆破拆除城市高大建筑物时地震动的特点:即高大建筑物倒塌触地产生的震动振速高、频率低、作用时间长,其危害大于爆破震动;爆破震动与天然地震的作用特点不同,不能按天然地震的烈度概念来分析处理。并探讨了减小单响爆震、分散释放爆炸能量、分段折叠倒塌、铺垫缓冲层、截波防震等减震方法的减震原理和具体方法。

关键词:高大建筑物;爆破拆除;地震动;减震方法

中图分类号:TD235.4 **文献标识码:**A

控制爆破作为一类特殊施工技术,在拆除城市高大建筑物时具有快速、安全、经济和高效的特点。但是,爆破在完成拆除这一工程目的的同时,会带来爆破震动、飞石、冲击波、噪声、粉尘等负面效应。特别是爆破拆除产生的震动是爆破施工中影响最大的有害效应。一直是爆破界关注和研究的重要课题。

1 爆破高大建筑物产生的震动危害

爆破拆除高大建筑物时引起的震动由两部分组成,首先是炸药爆炸部分能量转化为地震波,地震波从爆源向外传播过程中引起的地面震动,称为爆破震动。二是在高大建筑物整体倒塌冲击触地的瞬间,产生的触地冲击振动,称为触地震动。当产生的震动强烈时,可使一定范围内的地面建筑物和地下设施破坏。其显现出来的危害有以下几点。

- 1) 由于爆破地震波系统的作用,使上、下水管道断裂、电缆线折断;
 - 2) 砌体工程受地震波效应而变形甚至损坏;
 - 3) 房屋基础和上部结构振裂(碎)、房盖落灰、瓦片和外墙瓷砖脱落、灰抹层龟裂、室内装饰物掉落、窗玻璃破坏;
 - 4) 地下水池被振漏水;
 - 5) 强烈的爆破地震还可使心脏病病人惊悸等等。
- 可见,爆破震动是一种不可低估的危害。

2 爆破产生的地震动特点及安全判据

2.1 爆破拆除地震动的特点

表 1^[3-7] 是几个典型的 A 级定向爆破工程地震动实测结果。

表 1 典型爆破工程地震动实测

工程名称	爆破震动			触地震动		
	振动速度/(cm·s ⁻¹)	振动频率/Hz	作用时间/ms	振动速度/(cm·s ⁻¹)	振动频率/Hz	作用时间/ms
80m 高烟囱 ^[4]	0.63	25~30	150	2.03	3.7~9.5	1 125
43.5 m 高厂房 ^[6]	1.31	16~85	500		2.2~10	4 000
100 m 高烟囱 ^[4]	0.83	20.4	<1000	3.83	4.1	>1 000
16 m 框架构件 ^[7]	0.81	20~37		0.91	9.1~10.6	

根据有关研究资料和表 1 的实测结果,爆破拆除高大建筑物产生的地震动具有以下特点:

- 1) 爆破地震和天然地震相比:由爆破引起的震动,振动频率高,天然地震振动频率一般为 2~10

收稿日期:2006-07-08

作者简介:张世平(1959-),男,山西芮城人,副教授,主要从事爆破工程技术研究,(Tel)13803400154,(E-mail)zhangsp1958@sina.com

Hz,很少超过 10 Hz,而爆破地震振动频率大都在 10~50 Hz;持续时间短,爆破地震的主震段持续时间一般不超过 0.5 s,而一般天然地震持续时间在 10 s 以上;振幅衰减快、释放能量小,对周围建筑物危害较小,不能按天然地震的烈度概念来分析处理。

2) 建筑物倒塌触地震动的振速高、频率低,其振动频率接近建筑物的自震频率(3~10 Hz),且作用时间长,对周围被保护建筑物危害较大。

3) 高耸建筑物的倒塌触地震动一般要比其爆破震动大,对周围建筑物的影响也大。

4) 爆破引起的震动通过技术手段容易控制,而建筑物倒塌触地引起的地表面震动控制比较困难。

2.2 爆破拆除地震动的安全判据

为了预测和估计爆破震动对建筑物的破坏,各国研究者均认为将地层振动速度作为判断建筑物安全程度的一个标准。目前,我国也是以地面峰值振动速度为判据,以安全距离作为控制标准指导爆破工程。

2.2.1 爆破震动的安全判据

根据我国 GB6722—2003《爆破安全规程》的规定炸药爆炸产生的爆破震动预测公式:

$$V = K(Q^{1/3}/R) \quad (1)$$

式中: V 为爆破引起地表震动的最大速度,cm/s; R 为爆心距,m; Q 为微差爆破最大一段药量,kg; K 为场地系数。

式(1)主要适应埋于地下集中药包的普通爆破,由于爆破拆除建筑物时,药包位于地表之上,且药包布置分散,单孔装药量小,临空面多,炸药产生的能量,除了破坏构件之外,很大部分的能量由爆生气体带走了,剩下的很小部分能量通过墙基再向外传播,因此产生的爆破振动也小,大量观测数据表明在(1)式中增加修正系数 K_1 作为爆破拆除建筑物时震动预测公式比较符合实际,故爆破拆除建筑物时爆破引起地震动的安全判据公式为:

$$V = KK_1(Q^{1/2}/R) \quad (2)$$

一般取 $K_1 = 0.1 \sim 1.0$ 。

2.2.2 触地震动的安全判据

建筑物冲击地面而引起的振动大小与被爆坍塌物的质量、重心高度和触地点土层的刚度有关。中国科学院工程力学研究所根据工程实测数据提出的触地震动公式:

$$V_z = 0.08(\sqrt[3]{I}/R) \quad (3)$$

式中: V_z 为爆破坍塌物冲击地面而引起触地点某处的地表振动速度,cm/s; R 为离冲击触地点的距离,

m; I 为冲击触地冲量: $I = M(2Hg)^{1/2}$, M 为爆破坍塌建筑物质量,kg; H 为爆破坍塌物的建筑物重心落差,m。

另外,吕淑然用夯锤自由落体冲击土层产生的震动来模拟坍塌物冲击触地产生的震动,并结合量纲分析,提出下述公式:

$$V_z = k(\sqrt[3]{MgHC^2}/R) \quad (4)$$

式中: C 为地层介质纵波速度; M, g, H, R, k , 同上。

爆破拆除建筑物时,只要上述公式计算值小于规程规定的安全值,就认为爆破是安全的,可不采取相关措施。

3 爆破建筑物减震及方法

从减震控制手段讲,控制爆破震动危害的基本方法有两种:一是针对震源的控震;二是从传播路径截断的隔振。第一种方法主要有:采用微差爆破技术,减小单响爆震;采用分段折叠倒塌爆破技术,控制塌落震动;改变倒塌触地点地层性质,减小地震动强度。第二种方法主要为:挖减震沟截断或改变地震波的传播途径。实践证明两种方法联合使用,对于控制爆破震动十分有效。

3.1 采用微差爆破技术,减小单响爆震

由爆破震动预测公式(1)和(2)式知,反映爆破震动强度的各物理量与装药量、爆心距、岩土性质及场地条件等因素有关。式中, Q 反映了装药量或最大一段起爆药量,而且是式中唯一可人为改变的物理量。因此,在满足工程需要的前提下,采用微差爆破技术,减少爆破时的单段起爆药量以控制爆炸能量,从而减轻爆破地震波的强度。一般的具体做法是:以安全质点震动速度来确定单个或最大一段允许起爆的总药量 Q_{\max} 。只要满足这一条件,被保护的目标就不会遭到破坏,其公式是:

$$Q_{\max} = (V_p/K)^{2/3} \cdot R^3 \quad (5)$$

式中, V_p 为被保护物允许的最大振动速度,cm/s。

3.2 选择合理的微差时间,分散释放爆炸能量

地震波具有迭加、干扰、衍射等波的属性,采用微差爆破技术时,每一段可等同一个点爆源。合理的微差时间应使先后两段药包所产生的地震能量在时间和空间上错开,特别是错开两个地震波的主震相,可以大大降低地震强度。减震作用的合理延时间隔时间为^[2]:

$$T = \frac{50d_c}{q} \sqrt{P_c r} - 1.1 \left[\frac{A}{d_c} \right] J_{\min} \quad (5)$$

式中: d_c 为药包直径; P_c 为装药密度; r 为装药作用

半径; q 为单位炸药消耗量; a 为孔间距。

3.3 采用分段折叠倒塌技术,控制塌落震动

高大建筑物整体倒塌时,巨大的重量会产生强烈的触地冲击地震波。如果将建筑物用爆破技术解体分段,各段以不同时间间隔落地,就会降低单体冲击地面的重量,从而减少了触地动能,亦即降低了触地震动。对于高大楼房爆破,可采用从上往下逐层分段折叠倒塌技术,使楼层之间分段下落,这样既可降低触地震动,还可减缓大楼塌落下降速度,加大楼房空中解体的时间,提高爆破效果。对于高大烟囱之类的爆破,也可采用单、双向分段折叠微差起爆技术,使其分段间隔落地。达到减少触地动能,降低触地震动的目的。

另外,可在掌握整体结构受力特性的基础上设计预处理(拆除或切割)部分承重(或非承重)结构,达到降低冲击地面重量的目的。但必须细致校核预处理后整体结构的安全稳定性。该方法还可减少最终起爆药量,减小爆破引起的震动。

3.4 铺垫缓冲层,改善触地介质性状

从公式(4)可看出,参数 M , g , H , R 为拆除建筑物本身的参数,参数 C 为地层介质的纵波速度,如果在倾倒方向地面上铺设土袋和堆砌人工土坝等缓冲材料,即减小地层介质的纵波速度 C ,可减小倒塌触地振动。从公式(4)中还可知 C 为2次方,参数 C 对振动速度的影响明显,再则改变 C 比改变其它参数要容易的多。根据经验在建筑物倒塌范围内铺设0.5~1.0 m厚的缓冲材料,可减小倒塌触地振动30%~50%。另外,在建筑物倒塌触地点铺松土还可防止摔碎的石块反弹和飞溅。

3.5 合理开挖减震沟,截波防震

爆破时,在被保护建筑物附近挖一条一定深度和宽度的沟槽(如图1中A-B),可以有效降低建筑物受到的爆破震动。减震沟对爆破地震波的影

响:由波的特点知,如果地震波在传播过程中遇到象岩石中的层理面、节理面、断层面和自由面,或者在传播过程中介质性质发生了变化时,那么地震波的一部分能量会从交界面反射回来,另一部分则折射过交界面进入第二种介质。并且地震波由波阻抗大的介质进入波阻抗小的介质时,折射波的能量会大大衰减。也就是炸药爆炸所产生的地震波以压缩入射波的形式从爆源中心向外传播,其介质的波阻抗为 $\rho_1 c_1$,由于沟槽中空气介质的波阻抗 $\rho_2 c_2$ 远远小于 $\rho_1 c_1$,所以,通过自由面A进入沟槽的地震波会衰减为空气中的音波,能量大大减小。当减震沟的深度足够深时,只有小部分能量通过沟槽底部介质绕射到沟槽另一侧其波阻抗为 $\rho_3 c_3$ 介质中。这样沟槽就可截断地震波大部分能量向被保护建筑物的传播,即起到截波防震的效果。地震波的传播过程见图1。大量实测资料表明:减震沟的减震效果明显,达到30%以上。

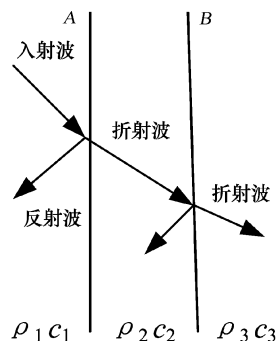


图1 地震波的传播过程图

减振效果与减震沟的宽度和深度有关,能有效降低作用在基础上的地震波强度的沟槽,临界深度为瑞利波波峰深度的34倍。应当指出,当减震沟的深度在拆除体最下部爆破装药的水平面以上时,这种减震沟几乎是无效的。

参考文献:

- [1] 吕淑然,杨军. 高大建筑物定向爆破地震振动效应监测与控制研究[J]. 爆破,2003(3):71-74.
- [2] 吴腾芳,王凯. 微差爆破技术研究现状[J]. 爆破,1997(1):53-57.
- [3] 祝文化,朱瑞康. 复杂环境下的减震保护控制爆破实验研究[J]. 爆破,2001(3):70-72.
- [4] 王文辉. 武钢百米高烟囱拆除爆破振动测试与分析[J]. 爆破,1998(4):58-61.
- [5] 邹奕芳. 预裂缝和减震槽减震效果的爆破试验研究[J]. 爆破,2005(2):96-99.
- [6] 陈志德,丁帮勤. 43.5 m高厂房定向爆破拆除[J]. 爆破,2003(1):39-42.
- [7] 屈百经,王军. 石油化工企业技术改造中的控制爆破[J]. 爆破,2005(3):120-124.
- [8] 刘满堂,陈庆寿. 建筑结构对爆破地震的动力响应特性研究[J]. 爆破,2005(4):22-27.

(下转第702页)

Benefits Analysis of the Energy Storage System in Taiyuan Daily Building

FAN Jiang , GUO Jian-lan

(College of Electrical & Power Engineering of TUT, Taiyuan 030024, China)

Abstract : The heat source of heating system in the building of Taiyuan Daily is electric boiler with thermal storage. It works every day only night in order to shun the peak of using electric and to decrease the cost of working. But four water tanks of thermal storage don't store cold in the summer. In view of this situation, we put forward a reform projects of cold storage and analyzed the benefits that cold storage air condition system brings.

Key words : water cold storage; electricity-balancing; benefit

(编辑:张红霞)

(上接第 687 页)

Harm of the Seism Vibration In the High-building Blasting Demolition and Method of Damping Vibration

ZHANG Shi-ping, YAN Jin-wen

(College of Mining Engineering of TUT, Taiyuan 030024, China)

Abstract : Harm of blasting vibration in tower building demolition in city and safety criteria predicting building destruction by blasting vibration have been discussed. On the basic of the data studying blasting vibration and the results of the vibration measured in the demolition of A level building, feature of seism vibration have been summed up. The vibration harm that is produced by tower building pushing ground is more serious than that being produced by blasting. That is, its velocity is higher, its frequency is lower and its acting time is longer. The characteristics of blasting vibration is different from that of natural shock. The effect of blasting vibration can't be treated like natural shock. Relatively the principles and methods of reducing vibration are discussed, such as reducing single-shot firing dose, dispersing charge to reduce hypocentral energy, making building collapse with segmented and folded ways, covering the cushions and intercepting vibration-wave for shock-proof.

Key words : high-building; demolition blasting; seism vibration; method of damping vibration;

(编辑:张爱绒)