

拆除爆破新技术

何广沂 朱忠节 著

中 国 铁 道 出 版 社

1 9 8 8年·北京

拆除爆破新技术

何广沂 朱忠节 著

中 国 铁 道 出 版 社

1 9 8 8年·北京

内 容 提 要

随着城市建设和改造的日益发展,旧建筑物和构筑物全部或局部拆除的工程也随之增多,拆除爆破技术也得到快速发展。本书作者在爆破实践中积累了丰富的经验,并从中总结研究出独特的拆除爆破设计计算方法。这个方法计算简便,在实际应用中获得了满意的结果。本书除介绍了各种情况下的设计计算方法外,又通过较多的工程实例加以说明。因此,本书具有较高的实用价值,可供现场工程技术人员、管理人员、工人,参照应用。

拆除爆破新技术

何广沂 朱忠节 著

中国铁道出版社出版

责任编辑 安鸿逵 封面设计 王毓平

新华书店总店科技发行所发行

各地新华书店经售

河北省阜城县印刷厂印

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 8 字数: 181 千

1988年7月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—06,000册 定价: 2.00 元

序

以往人们广泛地把爆破技术应用于铁路、公路、水利等工程和矿山开采，爆破工程大部分是“野外”作业。70年代以来，城市建设和改造日益发展，工矿技术设备的更新扩建，旧的建筑物和构筑物全部或局部拆除的工作也随之增多。凡此种种，促使爆破技术服务于城市建设，于是一门新的爆破技术即“拆除爆破”或曰“控制爆破”迅速地发展起来并已取得了许多成熟经验。

实践表明，爆破拆除同一般的拆除手段相比，具有施工速度快、费用低、安全和省工省力等优点。我国许多单位和爆破科技人员在拆除爆破方面已经做出了很大的成绩，积累了丰富的经验。为了使这门“拆除爆破”新技术更广泛地应用于城市建设，发挥更大的作用，作者愿把自己的技术研究成果以及在实践中积累的独特经验，写成《拆除爆破新技术》一书，提供给读者参考和借鉴。

拆除爆破，除基本原理外，设计方法和药量计算至关重要，我们在吸取国外先进经验的基础上，为了从理论上提高拆除爆破技术水平，总结了上百次爆破实践经验，试验研究出新的药量计算公式。该公式有充足的理论依据，设计十分简便，实际应用获得令人满意的效果，具有普遍的应用意义。

我们对爆破拆除高大的建筑物，设计的特点是采取“大孔网参数”，减少了炮眼数量，缩短了钻孔时间，在此基础上又进一步研究了城市拆除爆破新的布孔方法，以尽量减少

目 录

第一章 拆除爆破的基本原理	1
第一节 爆破对固体介质的破坏机理.....	1
第二节 爆破振动.....	4
第二章 设计方法	13
第一节 合理的设计方案.....	13
第二节 炮眼布置要素.....	20
第三章 药量计算	35
第一节 松动爆破装药量计算公式.....	35
第二节 拆除爆破装药量计算公式.....	37
第三节 计算实例.....	44
第四章 电起爆与非电起爆	47
第一节 电起爆法.....	47
第二节 塑料导爆管起爆系统.....	56
第五章 基础爆破	70
第一节 概 述.....	70
第二节 宽孔距爆破新技术.....	73
第三节 预裂爆破与光面爆破.....	77
第四节 浆砌片石基础爆破.....	87
第五节 沟槽爆破.....	91
第六节 水盖爆破.....	95
第六章 烟囱水塔定向爆破拆除	97
第一节 定向倒塌爆破的设计原则.....	97

第二节	烟囱定向爆破拆除实例	101
第三节	水塔定向爆破拆除实例	104
第四节	钢筋混凝土框架塔定向爆破拆除实例	108
第五节	几点结论	112
第七章	楼房厂房爆破拆除	114
第一节	楼房厂房爆破拆除方案	114
第二节	爆破设计原则和炮眼布置	118
第三节	楼房爆破拆除实例	121
第八章	楼房拆除新的布眼方法	138
第一节	新的布眼方法	138
第二节	工程实例	143
第三节	新的布眼方法的优点	159
第九章	水压爆破	162
第一节	水压爆破的原理	162
第二节	药量计算经验公式及其应用	164
第三节	药量计算的理论公式	169
第四节	理论公式的简化与水压爆破的设计	175
第五节	工程实例	182
第十章	集团装药拆除爆破	199
第一节	集团装药爆破的设计特点	199
第二节	工程实例	205
附录	洞室石方控制爆破	214
一、概述		214
二、计算公式和参数选择		216
三、药量控制和起爆技术		222
四、设计计算和药包布置步骤		226
五、工程实例		229

第一章 拆除爆破的基本原理

拆除爆破既要达到预定的拆除目的，又必须有效地控制爆破振动影响、飞石抛散距离和破坏范围，以保障周围环境的安全。为此，必须明了拆除爆破的基本原理。其一是运用爆破作用对固体介质的破坏机理，确定合理的炮眼位置、炮眼间距、每个炮眼的装药量和装药分布，做到既控制爆破作用的范围，又控制飞石抛散距离；其二是确定每次爆破炸药量的规模，以便控制爆破振动可能引起的破坏影响；其三是根据不同的爆破对象的特点，通过力学或结构力学的分析，确定科学的切实可行的爆破设计方案。

第一节 爆破对固体介质的破坏机理

拆除爆破对固体介质的破坏作用，类似于其他爆破，只是破坏程度有所不同罢了。当炸药药包在均质的岩石、混凝土、钢筋混凝土或砖砌体等固体介质的炮眼中爆炸时，部分能量用于对介质的破碎、切割和移动，其余能量转变为高热、振动、音响以及抛掷介质碎块。对于拆除爆破来说，就是设法充分利用使介质裂缝形成与发展所需的那部分能量，而相对地减少用于振动、音响和抛掷所消耗的大量能量，做到既拆除了应该拆除的建筑物，又不损坏周围须保留的建筑物和设备。

炼药药包在固体介质的炮眼中爆炸直至介质破碎，其过程可分三个阶段。

第一阶段。炸药在炮眼中起爆后，瞬间形成爆轰的高温

高压气体，其温度可达 $2000\sim 3000^{\circ}\text{C}$ ，压力可达 $7\sim 10$ 万 at（大气压）。高温高压的气体产物作用于炮眼孔壁周围，在介质中产生应力波，当应力波强度超过介质的极限抗压强度时，孔壁周围的介质被压缩以致粉碎，粉碎区的厚度约等于药包的半径。与此同时，在沿径向向外传播的冲击波的作用下，介质切向受拉，形成切向拉应力，当切向拉应变超过介质的极限拉伸应变时，就产生径向裂缝。见图 1—1。

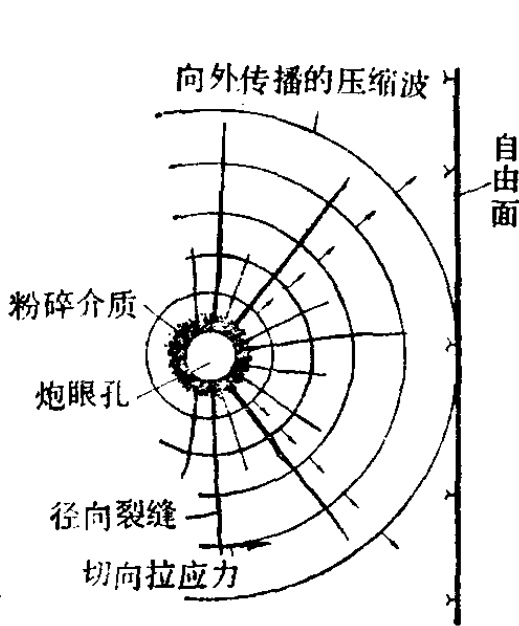


图 1—1 第一阶段

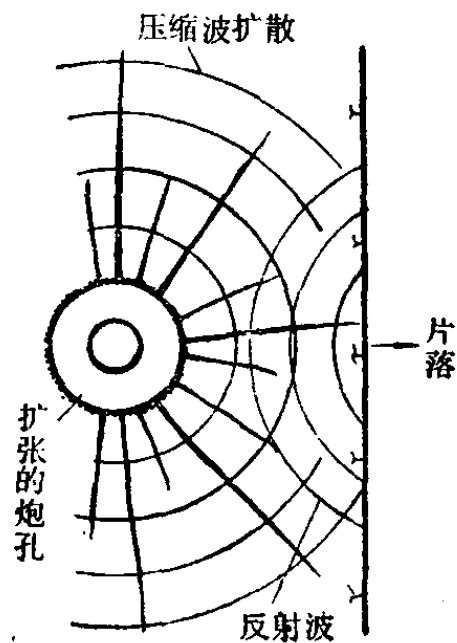


图 1—2 第二阶段

第二阶段。当冲击波到达自由面时，入射的压缩波将反射成为拉力波。拉力波折回介质体内，与后续向前传播的压缩波相叠加，产生纯拉力波。由于一些脆性固体介质如岩石、混凝土、砖石砌体等的抗拉强度远低于抗压强度，因而在纯拉力波的作用下，易于形成片落，脱离本体。见图 1—2。同时，由于波的弯曲形状而使抵抗线内大部分的介质体在不同程度上都受到反射拉力波的作用，抵抗线内的几乎全部介质体都可认为处于拉应变状态，这更有利于上述径向裂缝的发展与扩张。由于有自由面这一有利条件，不仅导致介质

形成平行自由面的片落与裂缝，而且促使那些与自由面成一定交角的径向裂缝迅速发展成某些长裂缝和裂缝网。

最后阶段。在高压爆炸气体的渗进裂缝作用影响下，径向裂缝由于高压气体的径向压缩和楔形劈开作用和所产生的拉应力的综合效应，以及反射拉力波的缘故，形成的长短不一的裂缝网迅速扩展。当炮眼前面的介质体受到破坏并向前移动后，介质中的高压应力被卸载，介质体中引起很高的拉应力，使介质彻底破碎，见图 1—3。

从上述爆破作用对固体介质破坏过程的分析来看，对于拆除爆破，应着重注意以下几个方面。

1. 根据固体介质的性质，找出介质破裂的最低装药量，使得所产生的高压气体和压缩波，足以使裂缝形成并扩展到自由面，而无多余能量用于抛掷碎块。

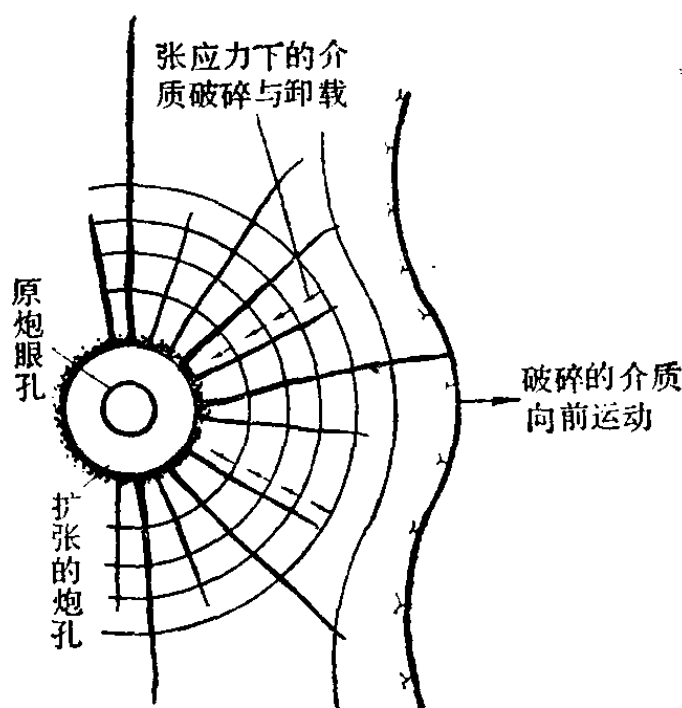


图 1—3 最后阶段

2. 自由面的存在很重要，多个自由面可以同时的几个方向起作用。炮眼应设置在多面临空的位置，使得产生的反射拉力波重叠作用大，也有利于发挥爆破最后阶段高压应力波的卸载作用。计算装药量时应考虑临空自由面的多少及其具体条件。

3. 最小抵抗线（由炮眼中心至自由面的距离。简称抵抗线）是爆破设计的重要参数，它不但是决定计算药量大小的因素，也是决定炮眼深度、介质破裂剪切拉断所需能量多

少的因素。抵抗线的方向，也是介质破碎坍塌或移动的主要方向。

4. 在破碎裂缝形成过程中，长裂缝是重要因素。相邻炮眼的共同作用，可以促使长裂缝连通，对拆除爆破更有重要意义。试验表明，间距适宜的空眼，可以起到裂缝导向的作用。在炮眼成排布置的条件下，炮眼间距定得合适时，各炮眼同时起爆后产生的径向裂缝，会自然地沿炮眼一线贯通。

拆除爆破一般都是小直径浅眼爆破，采用 $\phi 32 \sim 45\text{mm}$ 的钻头钻眼。从实际观测得知，在极限装药的条件下，岩石、混凝土、砖石砌体中，炮眼周围径向裂缝的延伸长度为其药包直径的15~20倍。因此，为确保爆破体的破裂，应选择合适的炮眼间距，发挥相邻炮眼的共同作用。

5. 高压气体产物是促使介质破碎过程中最后阶段微裂隙开裂和裂缝“尖劈”发展的重要因素，也是介质膨胀破坏和碎块位移的推力。因此，拆除爆破选用的炸药品种，要注意这个特点，一般应选用爆速低的缓性炸药，它的反应气体生成量大，对于促使爆破体破裂，促进爆破的切割和破碎作用，降低爆破振动和噪音，控制飞石抛散距离等方面，要比那些烈性炸药更为有利。

第二节 爆 破 振 动

拆除爆破除了必须有效地控制飞石和冲击波外，还必须严格控制爆破振动，避免周围建筑物和设备遭受破坏。实践证明，爆破振动对建筑物造成的破坏，其影响因素是很复杂的，它与药量、距离、地质条件以及建筑结构的动力特征等有关。在距爆源的距离、地质条件和建筑物结构的动力特征一定时，爆破振动强度主要与一次起爆的炸药量有关，装药量越大，转化为爆破地震波的能量越多，振动强度就越大。

因此,为了确保爆破工点附近建筑物与设备的安全,在进行拆除爆破设计前,必须先了解爆破区附近的地面和地下建筑物的具体情况,诸如建筑物距爆破点的距离、基础地质情况、建筑物结构的动力特征等,都须调查清楚,据以确定爆破的规模,即一次起爆允许的最大炸药量(也称为安全用药量)。

一、爆破地震与天然地震的差异

爆破地震与天然地震在震动传播理论、震源、振动参数的分析等方面有相似之处,但从观测结果的分析看,也有显著的差异,主要是:

1. 爆破地震的振幅值大,衰减快。目前世界上记录到的天然地震加速度最大值为 $1.3g$ (重力加速度),而大爆破在近距离上我国曾测得的加速度高达 $25.3g$ 。但爆破地震振动衰减很快,破坏范围很小。

2. 爆破地震的振动频率高。由测量得知,天然地震的振动主频率大都在 $2\sim 5\text{Hz}$,很少超过 10Hz ,接近普通工程结构的自振频率;而爆破地震的主频率大都在 $10\sim 30\text{Hz}$,甚至超过 50Hz ,比普通工程结构的自振频率高得多。

3. 爆破地震的持续时间短,其主震段持续时间短的只有 0.1s ,一般不超过 0.5s ;而天然地震持续时间却要长得多,一般十几秒至几十秒。

因此,天然地震加速度平均值为 $0.1g$ 时,相当于地震烈度七度,一般会造成房屋的一定程度破坏。而爆破地震加速度平均值为 $1g$ 时,才会引起房屋的轻微破坏,这与爆破地震的频率高、持续时间短、振幅值衰减快等特点有密切关系。对于爆破振动引起的破坏,不能按天然地震的烈度概念来分析处理,这是必须明确的。

二、爆破振动速度

早在本世纪40年代，为了估计爆破地震对建筑物的破坏，国外广泛研究和测定爆破地震的振动速度和加速度，提出了装药量与地层振动强度之间的理论关系式。近年来各国研究者均认为将地层振动速度值作为判断建筑物安全程度的一个标准，有突出的实用价值。

根据对爆破振动观测资料的分析知道，假定爆破地震波在均匀介质中传播时，近似于简谐运动的正弦波，如图1—4和图1—5所示。

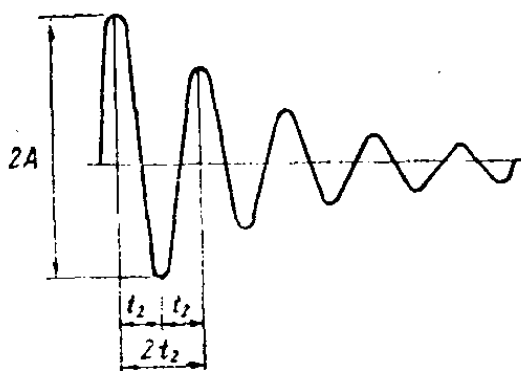


图1—4 简谐振动波形
A——振幅； t_2 ——半波长。

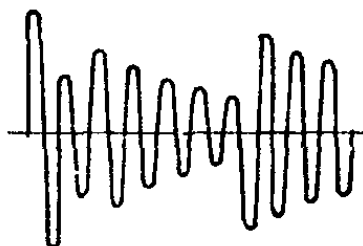


图1—5 高频振动波形

有了地震仪器所记录下来的振动曲线，可以计算地层振动速度：

$$v = 2\pi f A \quad (1-1)$$

式中 v ——地层振动速度 (mm/s)；

f ——振动频率 (Hz)；

A ——振幅 (mm)。

例如，一台复合示振器，放大五倍记录曲线，记录器12秒钟转一周，即每分钟转5周。仪器的记录圆纸盘直径为70mm，用一个220V，50Hz的小同步电动机带动。从放大镜中读出记录曲线的半个波长为0.2mm，双振幅 $2A$ 为0.2mm。求实际的振幅 A 、振动频率 f 和振动速度 v 值。则有：

$$\text{实际振幅} \quad A_{\text{实际}} = \frac{\text{双振幅的读数} 2A}{2 \times \text{放大的倍数}}$$

此处双振幅读数 $2A = 0.2\text{mm}$ ，放大 5 倍，故

$$A_{\text{实际}} = \frac{0.2}{2 \times 5} = 0.02\text{mm}。$$

$$\text{频率} \quad f = \frac{\pi d}{12 \times 2t_2}$$

此处 d 为记录器圆周直径 70mm ，12 为记录一周所用的时间， t_2 为半个波长即 0.2mm ，故

$$f = \frac{70\pi}{12 \times 2 \times 0.2} = 45\text{Hz}。$$

按公式 (1—1) 可以计算振动速度 v ，即

$$v = 2\pi f A = 2\pi \times 0.02 \times 45 = 5.65\text{mm/s}$$

从记录的振动曲线也可以计算地层振动加速度值；

$$a = 4\pi^2 f^2 A \quad (1-2)$$

式中 a —— 加速度 (g)， $1g = 9.81\text{m/s}^2 = 9810\text{mm/s}^2$ ；

f —— 振动频率 (Hz)；

A —— 振幅 (mm)。

例如上述复合示振器记录到的振动曲线，已经计算出其实际振幅 $A = 0.02\text{mm}$ ，频率 $f = 45\text{Hz}$ ，按公式 (1—2) 以单位 $1g = 9810\text{mm/s}^2$ 计算；

$$a = \frac{4\pi^2 f^2 A}{9810} = \frac{4\pi^2 \times 45^2 \times 0.02}{9810} = 0.163g$$

三、爆破振动速度计算公式

爆破引起的地层振动强度主要与一次同时起爆的装药量 Q 、自爆源至观测点的距离 R 、地质地形等条件有关。因为，装药量越大，转化成地震效应的能量也越多；地层岩体性质不同，转化为地震波的比例也不同；随着距爆源的距离

增大，地震强度衰减也愈快。

综合各国爆破地震振动速度的计算公式，其基本形式是一样的，只是待定指数 m 、 n 、 α 不同：

$$v = k \left(\frac{Q^m}{R^n} \right)^a \quad (1-3)$$

式中 v ——地层振动速度 (cm/s)；

Q ——装药量 (kg)；

R ——计算点至爆源的距离 (m)；

k ——与地层地质有关的系数；

m 、 n 、 α ——待定指数。

地层质点的振动矢量是互相垂直的三个分量（即垂直向、水平径向、水平切向）的矢量和。因为在爆破近区垂直向振动较为显著，所以国外爆破科技人员和安全执行机关多用地层质点的垂直向振动速度作为安全的判定数据。我国亦不例外，也采用地层质点的垂直振动速度作为评价安全的标准。

我国从五十年代起，多采用萨道夫斯基公式计算垂直振动速度。三十多年来，由于我国爆破地震测试技术的不断进步，从大量的观测数据中推导出如下的计算公式：

$$v = k \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^a = k \rho^a \quad (1-4)$$

式中 v ——地层质点垂直振动速度 (cm/s)；

Q ——一次同时起爆的炸药量 (kg)；

R ——爆源至计算点的距离 (m)；

α ——衰减指数，为 $1 \sim 2$ 。一般，近距离用 2 。据我国观测资料分析，按地层地质情况的不同可取 $1.3 \sim 2.2$ ；

k ——与爆破点地质条件有关的系数。其值取决于爆

破地震波传播途径的地层或介质的性质：土壤为200，坚硬致密的石灰岩、花岗岩、片麻岩、石英砂岩、闪长岩等为50~120，一般石灰岩、砂岩、砂页岩和板岩等沉积岩为120~150，中硬或软弱岩石为150~350；

ρ ——折合药量。

我国爆破振动的一系列观测报告表明，露天爆破采用微差爆破时，其垂直振动速度可降低约50%。

四、爆破地震安全距离的计算

我国爆破安全规程附录 B 规定，一般建筑物的爆破地震安全性应满足安全震动速度 v 的要求。

被保护建筑物的爆破地震安全距离 R 可从公式(1—4)中导出，即

$$R = \left(\frac{k}{v} \right)^{\frac{1}{\alpha}} Q^{\frac{1}{3}} \quad (1-5)$$

式中 R ——爆破地震安全距离 (m)；

Q ——炸药量 (kg)。齐发爆破取总装药量，微差爆破或秒差爆破取最大一段装药量；

k, α ——与爆破点地形、地质等条件有关的系数和衰减指数，可参照表 1—1 选取，也可由工地实爆试验确定；

v ——地震安全振动速度 (cm/s)，其值下面给出。

爆破区不同岩性的 k, α 值 表 1—1

岩石特性	k	α
坚硬岩石	50~150	1.3~1.5
中硬岩石	150~250	1.5~2.0
软弱岩石	250~350	2.0~2.2

五、地面建筑物的安全振动速度

关于判断地面建筑物安全的爆破振动速度临界值，目前我国尚未制定统一的标准。

《铁路工程爆破安全规则》规定：

$v \leq 5\text{cm/s}$ ，建筑物安全；

$v = 12\text{cm/s}$ 时，房屋墙壁抹灰开裂甚至掉落；

$v = 20\text{cm/s}$ 时，斜坡陡岩上的大石滚落，地表出现细小裂缝，一般房屋遭到破坏；

$v = 50\text{cm/s}$ 时，松软的岩石表面出现裂缝，干砌片石移动，建筑物严重破裂；

$v = 150\text{cm/s}$ 时，岩石崩裂，地形有明显变化，建筑物全部遭到破坏。

中国科学院地球物理研究所的资料指出：

$v = 10 \sim 15\text{cm/s}$ ，普通平房轻微破坏；

$v = 30\text{cm/s}$ ，建筑物一般有破坏；

$v > 60 \sim 70\text{cm/s}$ ，建筑物严重破坏，基岩露头出现裂缝。

不同结构的建筑物，有着不同的抗震强度，应当区别对待。地面建筑物允许的垂直振动速度，根据我们的爆破实践经验，特提出如下的安全值：

1. $v \leq 3.5\text{cm/s}$ 为装有电子设备的电视台及装有精密电子仪器的处所的安全校核值；

2. $v \leq 5\text{cm/s}$ 为特别重要的工业建筑物、宫殿、吊桥、特大桥梁、水工建筑物和重要文物的安全校核值，质量较差的旧砖石房屋、旧砖石建筑物，也以不超过上值为宜；

3. $v \leq 7\text{cm/s}$ ，高度不大于三层楼房的工业和服务业建筑物、机械厂房、压气机房、一般的居民区、住宅区、商

店、办公室等高度在六层以下的楼房建筑物、质量较好的砖石建筑物，应用此值校核；

4. $v \leq 10\text{cm/s}$ ，质量好而坚固的砖石房屋，高度在三层以下的一般民用建筑及仓库，可用此值校核；

5. 坚固的混凝土和钢筋混凝土结构，可承受 $U \leq 20\text{cm/s}$ 而不致破坏。

六、地下建筑物的安全振动速度

从爆破地震观测资料的分析表明，地下建筑物承受的垂直振动速度值仍可按公式（1—4）计算，其安全距离也可按公式（1—5）计算。

爆破实践表明，在同等距离上，同样的等效炸药量，地面的振动强度比地下的大。由观测资料的分析看出，同一爆源在同等距离上，地面的振动速度要比地下振动速度大41~65%。因此，地下建筑物能承受的爆破安全振动速度远比地面建筑物大。

综合许多文献资料，对地下建筑物的垂直振动速度，我们提出如下的安全值：

1. $v \leq 15\text{cm/s}$ 时，巷道、导坑、隧道等地下建筑物，除已经松动的小石块掉落外，安全无破坏，在完整坚硬的岩石中，更无破坏迹象。松软岩层中的巷道、导坑或隧洞，需加以支护。

2. $v \leq 25\text{cm/s}$ 时，不稳固岩层中的巷道、导坑，岩石出现裂缝，节理张开，有局部塌方落石现象。因此，对这类不稳固岩层中的巷道、隧洞，有支护加固时，应控制 $v \leq 20\text{cm/s}$ 。

3. 中等稳固岩石的巷道、导坑和隧洞等应控制 $v \leq 30\text{cm/s}$ 。