

文章编号: 1001 - 487X(2008)04 - 0020 - 04

新建隧道爆破震动对既有隧道影响的数值分析

冯仲仁, 文 曦

(武汉理工大学土木工程与建筑学院, 武汉 430070)

摘 要: 新建复线隧道与既有隧道的净间距一般都较小, 因此, 复线隧道施工爆破对既有隧道会有较大的影响。采用 MIDAS/GTS 软件对既有隧道受邻近新建隧道爆破震动影响进行了研究。结果表明近距离爆破会对既有隧道衬砌安全性产生很大的影响, 需采用相应的措施来减小爆破振动对既有隧道衬砌的扰动, 最后提出了隧道爆破施工中减轻振动的几种措施。

关键词: 隧道工程; 爆破分析; 有限元; 数值模拟

中图分类号: ID 235.46 **文献标识码:** A

Numerical Simulation of Blasting Vibration from Excavation of a New Tunnel on Existed Tunnel

FENG Zhong-ren, WEN Xi

(School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: In general, as the distance between double line tunnel and existing tunnel is very small, excavating blast in double line tunnel will affect structure safety of existing tunnel. The influence of blasting vibration from excavation of a new tunnel on close-in existed tunnel is studied by use of midas/gts program. The results of study and analysis show that blasting near-by affect structure safety of existing tunnel lining. We must adopt corresponding measures to decrease excavating blast affect to existing tunnel, and measures for reducing the blasting vibration and proposed.

Key words: tunnel engineering; blasting analysis; finite element method; numerical simulation

前 言

我国当前铁路旧线改造和新线建设中的长隧道以及高速公路隧道基本都采用上、下行独立隧道的设计方案。受地形地质条件等的限制, 要求 2 条独立隧道的间距尽可能小, 当间距过小时, 爆破开挖会对邻近隧道造成振动扰动危害, 对邻近隧道的安全造成影响。

因此, 小净距隧道相互影响问题的研究变得尤为突出。鉴于地质条件的复杂多变、理论解析计算

困难以及现场试验、模型试验的费用昂贵, 数值模拟分析不失为一种优选方案。结合在建中的宁波大榭某隧道, 采用 MIDAS/GTS 软件进行数值模拟的方法, 对后修建隧道爆破开挖对既有隧道的振动影响进行了数值分析, 提出合理的爆破减振和安全防护措施。

1 爆破荷载的确定

采用有限元法分析爆破震动影响的一项关键工作是建立爆破加载模型, 这包括确定爆破激振力的大小、作用位置和方向、峰值时刻和持续时间等方面的内容。关于地下洞室爆破冲击荷载的确定, 至今尚无一种完善的方法和理论。一般认为, 岩土介质

收稿日期: 2008 - 05 - 07.

作者简介: 冯仲仁 (1962 -), 男; 武汉: 武汉理工大学土木工程与建筑学院教授, 博士, 博士生导师.

内任意一点的爆炸压缩波多呈三角形荷载形式,其超压在经过峰值以后都急剧衰减,而按卸载波传播,此时,与静载加压的情况不同,原先已被压实的岩土体又将产生回弹膨胀现象。所以将爆炸波简化成三角形波是比较符合实际情况的,对于进行爆破震动的

数值分析,这种方法是比较实用和合理的方法,已被广泛采用^[1]。

根据文献[2]的分析,对于Ⅲ类围岩取 $P_{max} = 10 \text{ MPa}$,以此可以进行线性插值,推算出Ⅱ类和Ⅳ类围岩的初始波峰压力值,如表 1。

表 1 不同围岩的爆破冲击荷载

围岩类型	围岩密度 / ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	纵波波速 / ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	炸药密度 / ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	爆速 / ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	爆压 P_R / MPa	冲击荷载 P_{max} / MPa
	2 400	3 200	1 100	4 000	5 595	6 657
	2 300	2 200	1 100	3 000	2 996	3 564

2 计算参数的选取

2.1 围岩及隧道支护结构计算参数

计算中将围岩和既有隧道衬砌视为紧密相联的

整体,采用共同变形理论。由于爆破施工多在硬岩中进行,所以本次计算主要考虑Ⅱ类和Ⅲ类围岩的情况,围岩力学参数参照《隧规》表 AO4—1 选用,支护结构参数见表 2。

表 2 支护结构参数

隧道	衬砌形式	衬砌厚度 /mm		锚杆直径	混凝土等级
		初衬 (/)	二衬 (/)		
既有隧道	整体式		400/350	ϕ	C25
新建隧道	复合式	100/100	300/250	$\phi 22$ 砂浆	C25

在冲击荷载作用下,混凝土的极限强度和弹性模量将会与静载情况有所不同。20 世纪 50 年代,日本野王等人发现,混凝土材料在冲击荷载作用下,极限抗压强度和弹性模量均随加载时间的缩短而增大,当荷载作用时间从 100 s 减至 0.03 s 时,强度和弹性模量分别提高 30%—56% 和 20%—25%^[3]。因此,本次计算假定:在爆炸荷载下,围岩的弹性模量提高到原来的 5 倍;衬砌的强度和弹性模量分别提高 50% 和 25%,因此混凝土的抗拉动极限强度为 2.67 MPa,弹性模量为 25 MPa。

2.2 阻尼

在对隧道结构进行瞬态动力分析前,必须先确定结构的基本振动特性,即结构的固有频率和振型,从而确定结构的阻尼系数,为进一步进行结构分析提供必要的乘数。

在本模型中采用 1972 年 Lysmer 和 Wass 提议的粘性边界 (Viscous Boundary)。为了定义粘性边界需要计算相应的土体 x, y, z 方向上的阻尼,而计算阻尼的方法通过计算得出的质量因子和刚度因子计算阻尼比矩阵的方法。模态分析结果见表 3。

表 3 模态分析结果 (其中 D 代表隧道的直径,该文按实际情况取 $D = 12 \text{ m}$)

围岩类型	0.5D 阻尼比	1D 阻尼比	1.5D 阻尼比	2D 阻尼比	2.5D 阻尼比
级围岩	0.074 4	0.074 4	0.074 2	0.074 3	0.074 5
级围岩	0.098 5	0.098 6	0.098 4	0.098 3	0.098 6

2.3 隧道质点振速安全控制标准参考值

爆破产生的冲击波常常危及周围建筑物的安全和稳定,隧道衬砌和围岩的安全与否不仅取决于隧道结构的抗振能力,而且与震动波的强度有关。目前,我国的控制标准有多种,采用的是长江水利水电研究院建议的允许爆破振动速度和破坏标准,如表 4 所示。

表 4 允许爆破振动速度和破坏标准

质点振动速度 / ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	地下结构工程
5.0—10.0	未衬砌的松散洞体有小的掉块
20.0—30.0	1. 隧洞有大掉块,有时有小的塌落 2. 岩柱有掉块
30.0—60.0	1. 衬砌混凝土出现裂缝 2. 管道变形 3. 顶板有塌方
60.0—90.0	1. 地下建筑物或衬砌开裂 2. 硬岩体裂缝严重扩张

3 数值分析

3.1 两隧道不同间距振速计算

3.1.1 计算模型

本有限元分析过程是通过 M D A S / G T S 软件实现的,将隧道和围岩体系按三维有限元分析,采用空间六面体单元来划分模型单元,在三角形波荷载作用下进行瞬态动力分析。模型模拟右侧新建隧道在一次全断面爆破开挖 2 m 的情况下,右侧新建隧道对左侧既有隧道衬砌的影响。分析不同围岩类型和不同隧道间距情况下爆破对既有隧道的影响,所以本模型固定隧道埋深保持不变 (28 m);且两隧道在隧道纵向是平行的,分析了隧道净间距为 0.5D, 1D, 1.5D, 2D, 2.5D 5 种情况下衬砌的振动速度,如图 1 (其中 D 代

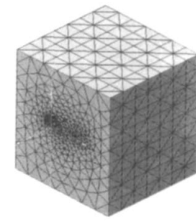


图 1 数值计算模型

3.1.2 计算结果分析

既有隧道衬砌结构计算结果分析:

通过有限元分析,在相同药量爆破的情况下,既有隧道衬砌的最大振动速度见图 2,可以看出其中的一些规律。

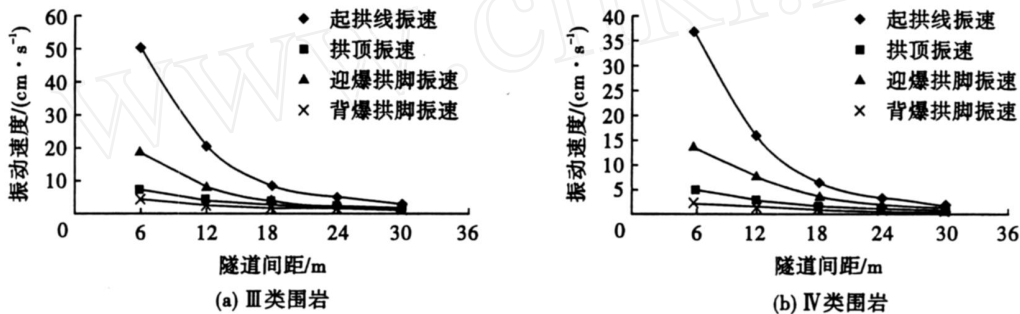


图 2 不同围岩中衬砌最大振速随隧道间距的变化

通过对上述数据、图形的分析,可以得到一下几点结论:

1)新建隧道时,爆破开挖产生的振动对既有隧道衬砌迎爆面的边墙影响最大,迎爆面边墙的振动速度明显高于其他部位,是最危险的部位。

2)既有隧道衬砌的振动速度随着隧道间距的增大而减小,当间距小于 1.5D 时,振动速度随间距的变化比较大,而大于 1.5D 以后,振动速度随间距的变化比较小。所以,当隧道间距比较大时,衬砌振动对距离的敏感度减低,而隧道间距比较小时,衬砌振动对间距变化的敏感度很高,间距较小的变化对衬砌的振动影响却会很大。

3)从 III 类围岩和 IV 类围岩数据的比较可以看出, III 类围岩中既有隧道衬砌的振动明显小于 IV 类围岩,这是因为 III 类围岩的稳定性比 IV 类围岩的高,而且对爆破波的阻尼效应大,减弱了爆破波传到既有隧道衬砌时的能量,从而导致既有隧道衬砌的振动速度降低。

4)以该文引用的允许振动标准来判定,当隧道间距小于 1D 时,既有隧道的衬砌将发生破坏,大于 1D 时,既有隧道衬砌只会在部分地方发生损伤,而

大于 2.5D 以后,爆破振动对既有隧道衬砌的影响是轻微的。既有隧道衬砌最先是在迎爆面的边墙处发生破坏。

3.2 既有隧道沿纵向 4 个衬砌断面比较

3.2.1 计算模型

由于只是对既有隧道衬砌纵向响应进行分析,本模型假设既有隧道和新建隧道的间距为 12 m,在这种情况下,研究新建隧道在爆破开挖情况下,既有隧道沿纵向取 6 m、12 m、18 m、24 m 4 个断面,分析这 4 个断面的振速。断面位置见图 3 所示。每个断面就迎爆侧拱脚、起拱线、拱顶、背爆侧拱脚 4 处进行分析。

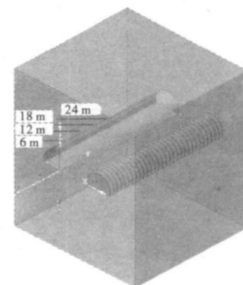
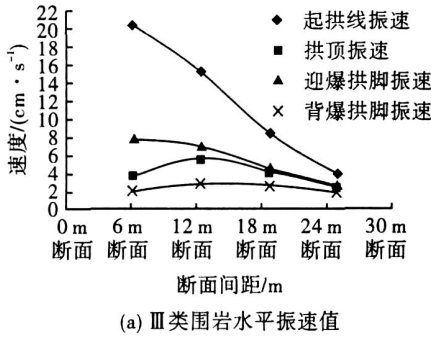


图 3 4 纵向衬砌断面图

3.2.2 计算结果分析

对既有隧道沿隧道纵向 4 衬砌断面振动速度值



见图 4 (a)、图 4 (b)所示,可以看出其中的一些规律。

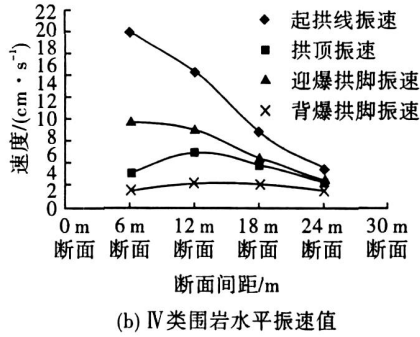


图 4 4 衬砌水平振速图

各断面隧道衬砌的最大垂直地面振动速度,见

图 5 (a)、图 5 (b)所示。

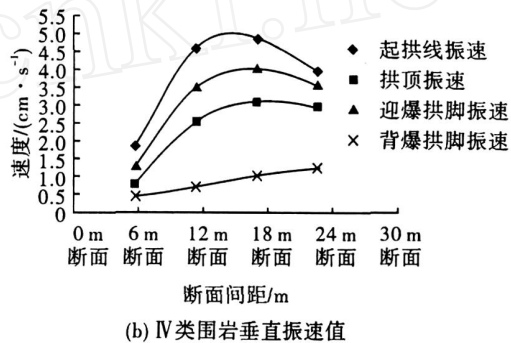
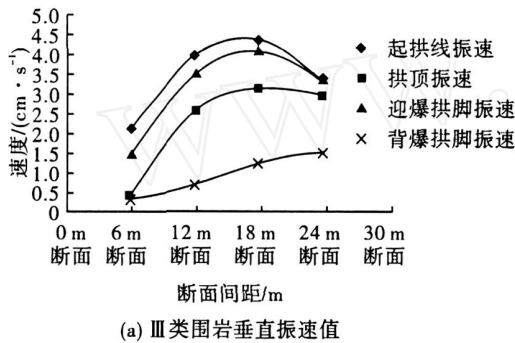


图 5 4 衬砌垂直振速图

由上述数据、图形的分析,可以看出:

所选的 4 个断面在距离上具有一定的代表性,即都位于炸药的侧后方。4 个断面中,均以迎爆侧起拱线处振速最大,其中又以与炸药最近的 6 m 断面振速最大。12 m, 18 m, 24 m 隧道衬砌断面均以起拱线处水平速度最大,其次为迎爆侧拱脚处,再次为拱顶处,较安全的是背爆侧拱脚处;在垂直地面方向上振速以 18 m 断面起拱线振速最大,为 4.82 cm/s,振速的变化是先由小变大。再又由大变小,在图中反映为一个凸的弧线。

4 降低爆破振动的有效措施

通过以上的分析可以看出,近间距隧道爆破对临近隧道迎爆侧边墙至拱顶处影响最大,使得拱顶周边的围岩成为最危险的破坏发生区。因此在相邻隧道爆破施工时应尽量降低爆破振动,而降低爆破扰动的根本途径之一是降低爆破荷载的峰值压力;根据邻近隧道爆破的振动特点,结合施工经验,给出如下几项爆破减振措施:

1)将一次爆破的所有炮孔分成较多段按顺序起爆,段数越多,单段爆破最大药量越少,爆破最大

振速将会明显降低。

2)为避免微差爆破延时时间不够或延时误差造成应力波叠加,从而使振动加强,在选择雷管段数时,应加大相邻段的段位差。这样做,既利于相邻两段振动的主振相分开,避免振动叠加,也利于为后排爆破创造更充分的临空面,减轻爆破夹制作用。

3)在减振要求较高地段,除应适当减小炮孔内线装药密度外,还可采用周边预裂爆破技术阻隔爆破地震波向外传播。

4)若采用空孔直眼掏槽爆破方案,应增加空孔数量或增大空孔直径,以加大临空面,这对减小夹制作用、降低掏槽爆破的振动强度十分有效。

参考文献

[1] 孙 钧,侯学渊. 地下结构 [M]. 北京:科学出版社, 1988: 695-697.
 [2] 潘晓马. 邻近隧道施工对既有隧道的影响 [D]. 成都:西南交通大学, 2002
 [3] 杨善元. 岩石爆破动力学基础 [M]. 北京:煤炭工业出版社, 1993: 60-62