

文章编号: 1673-0062(2010)01-0098-04

不同围岩级别和锚固介质下锚杆动测波形特征分析

孙冰^{1,2}, 曾晟², 丁德馨^{2*}, 蒋炳炎¹

(1. 南华大学 城市建设学院, 湖南 衡阳 421001; 2. 南华大学 核资源与核燃料工程学院, 湖南 衡阳 421001)

摘要: 基于应力波反射法, 通过不同围岩级别和锚固介质中锚杆的瞬态动力响应实验研究, 对锚杆的加速度响应曲线的波形特征进行分析。结果表明, 随着龄期的增长, 固端反射信号非常强烈, 而底端反射信号越来越微弱, 甚至很难识别; 围岩和锚杆介质均匀密实的锚杆其信号相对平缓一些。

关键词: 岩土工程; 锚杆; 应力波反射法; 波形特征

中图分类号: TD31; TV45 **文献标识码:** A

Waveform Characteristics of Bolts in Different Surrounding Rocks and Anchorage Media

SUN Bing^{1,2}, ZENG Sheng², DING De-xin^{1,2*}, JIANG Bing-yan²

(1 School of Urban Construction, University of South China, Hengyang Hunan 421001, China; 2 School of Nuclear Resources and Nuclear Fuel Engineering, University of South China, Hengyang Hunan 421001, China)

Abstract Based on the stress wave reflection method, an experiment was conducted to study the transient dynamic response of bolts in different surrounding rocks and anchorage media and analyze the waveform characteristic of acceleration response curves for bolts. The results show that the reflection signal of fixed end is very strong and the reflection signal of bottom is increasingly weak with curing and that the signal of bolt in uniform surrounding rock and anchorage medium is gentler.

Key words geotechnical engineering; bolt; stress wave reflection method; waveform characteristics

随着岩土锚固技术的发展, 锚固技术已经广泛的应用于岩土工程的各个领域, 而传统的静态检测方法不仅施力时间长、加载大、检测试验周期

长, 而且是破坏性的, 无法满足工程要求, 无损检测技术日益受到关注。瑞典的 H. F. Thumer 利用超声波检测砂浆锚杆灌注质量, 汪明武等^[1]根据

收稿日期: 2010-01-5

基金项目: 湖南省教育厅基金资助项目 (09C854 08C758); 湖南省建设厅基金资助项目 ([2007]425-29); 衡阳市科技局基金资助项目 (2007KG037)

作者简介: 孙冰 (1979-), 女, 河南平顶山人, 南华大学城市建设学院讲师, 博士研究生。主要研究方向: 采矿与安全工程。* 通讯作者。

声频应力波的反射相位特征和能量衰减变化检测锚杆质量,刘海峰等^[2]进行了锚杆锚固质量的优劣评价、固结波速变化特征和锚杆底端反射显现规律等方面的研究,张永兴等^[3-4]建立了与锚杆力学特性相关的声学特性理论模型.上述研究表明,波速是锚杆锚固系统质量检测中的关键参数,而波速的准确获得依赖于波形特征的准确分析.基于此,本文采用低应变应力波反射法对不同围岩级别和锚固介质中锚杆的波形特征进行研究.

1 应力波的传播规律

当弹性应力波从一种介质传播到另一种波阻抗不同介质,当弹性波垂直到达两种介质的分界面时,对两种介质都引起了一个扰动,分别向两种介质中传播反射扰动应力与透射扰动应力,形成了反射应力波与透射应力波.假设锚杆中存在一个变阻抗面,介质上部的波阻抗为 $Z_1 = \rho_1 C_1 A_1$,下部的波阻抗为 $Z_2 = \rho_2 C_2 A_2$,当锚杆端部受瞬态冲击作用后,引起锚杆端部质点的振动,并以应力波的形式向锚杆底部传播,波传到变阻抗界面时发生反射和透射,根据连续条件和动量守恒定理,可得反射系数 F 和折射系数 T .

$$F = \frac{1-n}{1+n} \quad (1)$$

$$T = \frac{2}{1+n} \quad (2)$$

$$n = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{\rho_1 C_1 A_1}{\rho_2 C_2 A_2} \quad (3)$$

式中, n 为广义波阻抗比; ρ_1 , A_1 , C_1 分别为介质上部的密度、横截面面积和应力波在介质上部中的传播速度; ρ_2 , A_2 , C_2 分别为介质下部的密度、横截面面积和应力波在介质下部中的传播速度.

当 $n < 1$ 时,则 $F > 0$, $T > 1$,波从波阻抗小的介质进入波阻抗大的介质时,无相位差;当 $n > 1$ 时,则 $F < 0$, $T < 1$,波从波阻抗大的介质进入波阻抗小的介质时,有相位差,存在半波损失;当 $n = 1$ 时,则 $F = 0$, $T = 1$,两种介质波阻抗相同,或者称为波阻抗匹配^[5].

2 试验

2.1 测试系统

测试系统由动态测试分析仪 AVANT-10 加速度传感器、力锤、电荷放大器和电脑处理系统组成,采用外端面垂直激振的方式产生瞬态冲击荷载,利用力锤和弹射针作为振源来打击锚杆一端,锚杆端部的加速度传感器接收信号,然后经电荷放大器放大检测到的信号,进入 AVANT-10 动态测试分析仪,进行计算处理,最后将结果绘制和打印出来.

2.2 试件的制作

实验用锚杆试件以围岩和锚固介质的不同为划分标准分为三大类:第 1 类为以混凝土为围岩和锚固介质的锚杆,第 3 类为以砂浆为围岩和锚固介质的锚杆,第 2 类为混凝土为围岩和以砂浆为锚固介质的锚杆.第 1 和 3 类锚杆的模具尺寸为 $600 \text{ mm} \times 600 \text{ mm} \times 2400 \text{ mm}$,第 2 类锚杆的模型试件由直径 200 mm 、长 2400 mm 的 PVC 塑料圆管为模具.混凝土配合比为水:灰:砂:石 = 1:2:4:8,水泥砂浆的配合比为水:灰:砂 = 1:2:4,钢筋为直径 28 mm 的螺纹钢,长度为 2.0 m ,除自由锚杆外均在锚杆端头预留 0.1 m 自由段,其具体的设置做法见表.

3 实验结果及分析

自由锚杆的加速度响应曲线如图 1,锚杆在不同龄期下的加速度响应曲线见图 2~图 4 图中 A、B 分别代表首波信号、杆底反射信号.

3.1 自由锚杆的波形特征

由图 1 可知,自由锚杆的波形十分规则,应力波在自由锚杆的端部有十分明显的反射波,反射波与首波同相位,而在其它部位,波的传播在某一直线上下产生轻微的波动,该波动应该是钢筋的螺纹引起的,若为等截面的圆钢波的传播应为一曲线,由于波阻抗不发生改变的构件当其周围为均匀介质时,不产生反射波.

表 1 模型试验锚杆设计参数简况表

Table 1 Design parameters of bolts

锚杆类别	长度 /m	外露长度 /m	施工工艺	锚固状态
M-1	2.00	0.10	先插杆,后浇混凝土	均匀密实
M-2	2.00	0.10	先插杆,后浇砂浆	均匀密实
M-3	2.00	0.10	提前浇砂浆,再插杆,后浇混凝土	均匀密实

3.2 M-1锚杆的波形特征

由图 2可知,随着龄期的增长,总的来说,固端反射信号非常强烈,而底端反射信号越来越微弱,甚至很难识别.产生上述信号特征的主要原因可能是由于固端反射和应力波的衰减.固端反射的影响体现在如下方面:其一,固端反射信号非常强烈,导致测试信号曲线发生畸变,掩盖了底端反射信号;其二,应力波到达锚固端时发生反射,削弱透射应力波的能量,透射应力波由底端反射到达固端时,又要发生固端反射,进一步削弱应力波的能量,造成底端反射信号就非常微弱.应力波的衰减影响可以主要体现在:应力波在介质中传播时,发生扩散、散射以及吸收等现象,都要消耗应

力波的能量.

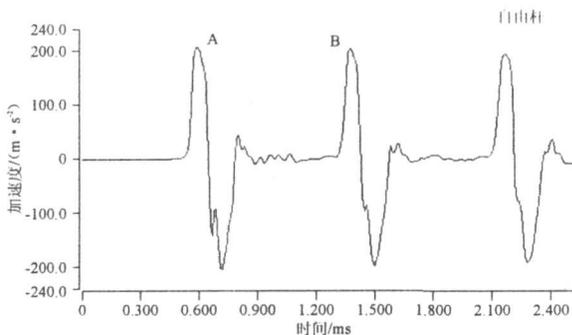


图 1 自由杆的加速度响应曲线

Fig 1 Acceleration response in a free bolt

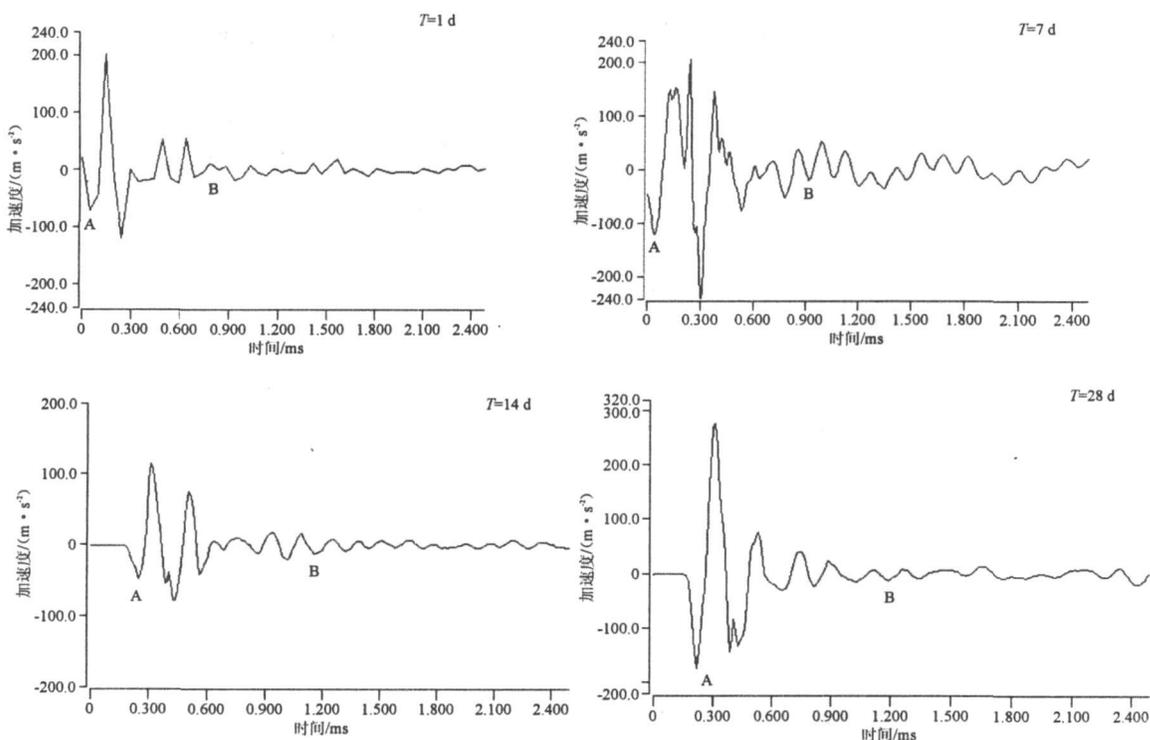


图 2 不同龄期下锚杆 M-1 的加速度响应曲线

Fig 2 Acceleration responses in M-1 bolt at various curing time

3.3 M-2锚杆的波形特征

由图 3可知,锚杆 M-1在不同龄期下的信号变化特征类似于 M-1.但二者也存在一些差别,锚杆 M-2锚固段内的速度响应曲线明显要平缓于锚杆 M-1锚固段内的速度响应曲线.其可能原因是混凝土的粗骨料为碎石,其尺寸相对来说比较大,混凝土在浇筑的过程中,很有可能出现振捣不均匀的现象,这不但影响混凝土材质的均匀性进而影响信号特征,另外也影响混凝土与钢筋之间的粘结从而影响信号特征.

3.4 M-3锚杆的波形特征

由图 4可知,锚杆 M-3在不同龄期下的信号变化特征类似于 M-1和 M-2,但其和 M-1的信号变化特征更为相似.理论上讲由于锚杆 M-3的围岩为混凝土锚固介质为砂浆,其变化特征应该和围岩和锚固介质均为混凝土的 M-1更为相似.分析原因有二:其一,由于锚杆直径较大,而锚固介质砂浆的相对静厚度较小;其二,由于室内试验模型构件尺寸较小围岩对信号产生了影响.

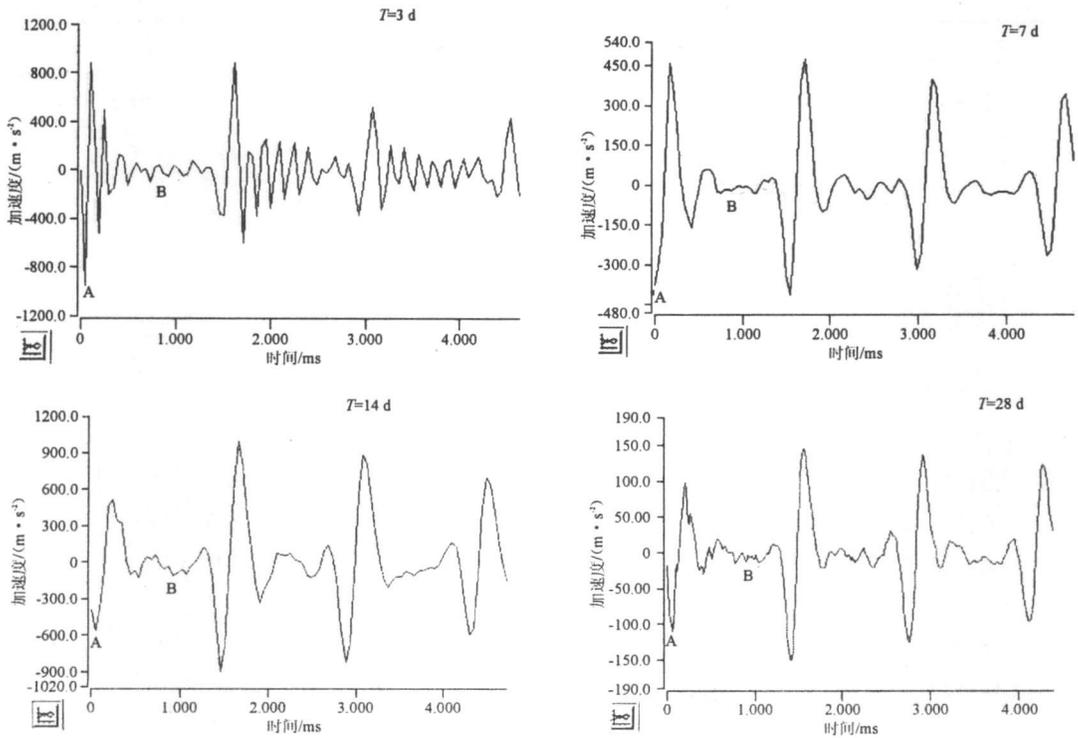


图 3 不同龄期下锚杆 M - 2 的加速度响应曲线

Fig 3 Acceleration responses in M - 2 bolt at various curing time

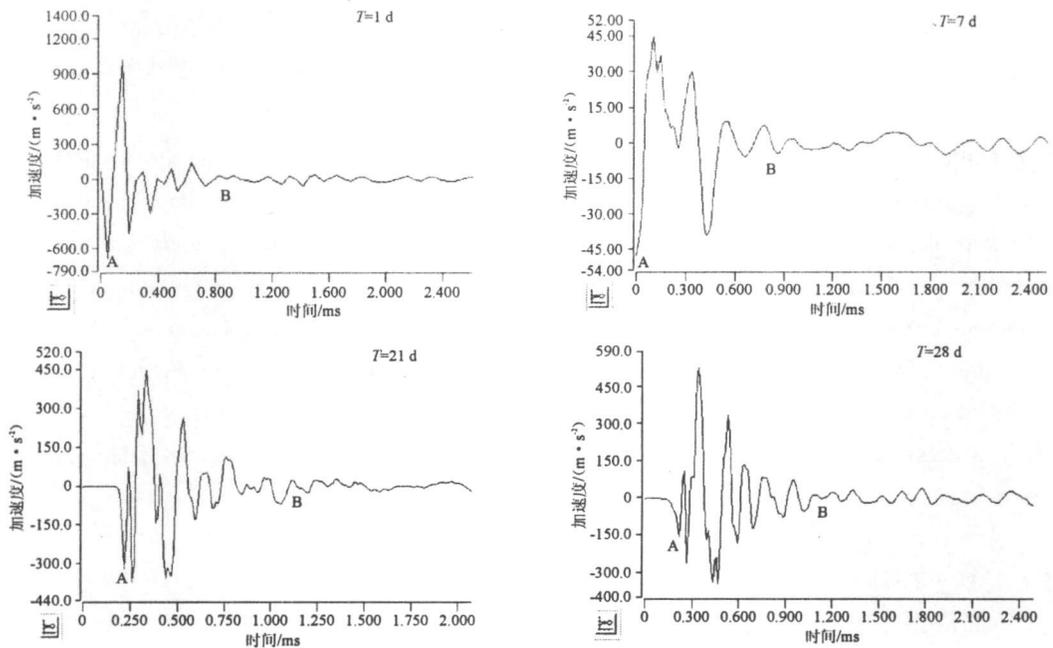


图 4 不同龄期下锚杆 M - 3 的加速度响应曲线

Fig 4 Acceleration responses in M - 3 bolt at various curing time

4 结论

锚杆的信号变化特征分析得出如下结论:

- 1) 随着龄期的增长, 3 类锚杆的信号特征存

通过不同龄期下不同围岩级别和锚固介质中

(下转第 105 页)

3 结论

通过试验测试 15 根自密实钢筋混凝土梁的动态力学性能, 可以看出:

- 1) 不论何种试验梁, 其前四阶固有频率之比, 与理论值较为接近, 说明本测试方法是可行的, 测试数据可靠.
- 2) 各试验梁的阻尼比都有随固有频率的增大而减小.
- 3) 在相同配筋率、不同混凝土强度等级下, 随着自密实混凝土强度的提高, 其阻尼比降低.
- 4) 在相同混凝土强度、不同配筋率下, 随着自密实混凝土梁配筋率的提高, 第一阶固有频率下的阻尼比降低.
- 5) 各自密实钢筋混凝土试验梁的阻尼比基本介于 0.5% ~ 1.0% 之间. 目前, 由于自密实混凝土的性能研究及配合比设计还并不完善, 本试验采用的配合比得出的阻尼比结论只能作为参考, 诸多因素有待进一步研究.

(上接第 101 页)

在共同之处: 固端反射信号非常强烈, 而底端反射信号越来越微弱, 甚至很难识别. 影响原因可能是固端反射和应力波的衰减.

2) 以砂浆为围岩和锚固介质的锚杆, 锚固段的信号相对平缓一些, 其原因可能是砂浆的均一性和密实性优于混凝土. 这可以用来判断锚杆锚固体系的密实程度.

参考文献:

- [1] Wang Mingyu, Wang Heling. Nondestructive testing of grouted bolts system [J]. 岩土工程学报, 2001, 23(1)

参考文献:

- [1] 侯景鹏, 冯敏. 自密实混凝土技术及其工作性能测试方法 [J]. 混凝土, 2009(1): 94-95.
- [2] 王元丰, 李鹏. 材料阻尼对钢筋混凝土框架结构动力响应影响分析 [J]. 土木工程学报, 2008, 41(11): 39-43.
- [3] John A, Blume Kenneth K, et al. Dynamic Characteristic of Reinforced Concrete Building [M]. Symposium on Vibration of Concrete Structures, 1997.
- [4] Filiatrault A, Asce A M, Cherry S, et al. Seismic design spectra for friction-damped structures [J]. Structural Engineering, 1990, 116(5): 1334-1355.
- [5] Pall A, Vezina S, Prouk P, et al. Friction-dampers for seismic control of Canadian space agency headquarters [J]. Earthquake Spectra, 1993, 9(3): 547-557.
- [6] 文捷, 王元丰. 钢筋混凝土悬臂梁材料阻尼值计算 [J]. 土木工程学报, 2008, 41(2): 76-80.
- [7] 左鹤声, 彭玉莹. 振动试验模态分析 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1995.
- [8] 姚振纲, 刘祖华. 建筑结构试验 [M]. 上海: 同济大学出版社, 2008.
- [9] 柯国军, 郭长青, 胡绍全, 等. 混凝土阻尼比研究 [J]. 建筑材料学报, 2004, 7(1): 35-40.

: 109-113.

- [2] 刘海峰, 杨维武, 李义. 全长锚固锚杆早期锚固质量无损检测技术 [J]. 煤炭学报, 2007, 32(10): 1066-1069.
- [3] 许明, 张永兴. 锚杆低应变动测的数值研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(9): 1538-1541.
- [4] 陈建功, 张永兴. 锚杆系统动测信号的特征分析 [J]. 岩土工程学报, 2008, 30(7): 1051-1057.
- [5] 李志辉, 李亮, 李建生. 应力波法锚杆无损检测技术研究 [J]. 测绘科学, 2009, 34(1): 205-206, 151.