

隧道锚杆锚固质量无损检测技术

黄华林¹, 朱自强¹, 杨天春², 王齐仁³, 鲁光银¹

(1. 中南大学 信息物理工程学院, 湖南长沙 410083; 2. 湖南大学 土木工程学院, 湖南长沙 410082; 3. 湖南科技大学 土木工程学院, 湖南湘潭 411201)

摘要: 采用声波检测仪, 应用声频应力波在不同波阻抗面反射的能量和相位的变化原理, 对隧道的锚杆锚固质量进行了无损检测试验研究, 并对检测技术进行了探讨。结果表明, 作为一种工程质量管理辅助手段, 采用应力波对锚杆锚固质量进行无损检测, 丰富了隧道围岩锚固质量检测方法, 为隧道工程建设提供更好的质量保障。

关键词: 锚杆; 无损检测; 声频应力波; 反射法

中图分类号: P631.4; TU94⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2005)06-0551-03

锚喷支护从最初引进国内到现在, 已在地下结构工程中得到了广泛的应用。特别是在较软弱、破碎的岩体中, 它具有其他支护方式无可比拟的优越性。但隧道围岩的锚固属隐蔽工程, 在施工过程中的管理和监督较为困难, 且影响锚固系统质量的因素极其复杂, 诸多因素如地质条件、施工技术等原因造成部分锚固系统存在不同程度的缺陷。锚固系统稳定性预测一旦失误, 往往给工程带来不可估量的损失, 因而需要检查它是否按设计预定的方式起作用。传统的检测方法“拉拔法”和“钻孔法”只能限于抽查, 而且都是破坏性的、操作麻烦; 而应力波反射法检测锚固系统, 是综合分析和研究接收到的反射波, 来对锚固系统的锚杆长度、注浆饱满度等指标进行综合判定。该方法具有无损、经济、快速等优点, 是一项值得进一步研究完善的检测方法。

与砂浆等界面), 将发生反射、透射或散射。在实际工程中透射波不易测得, 但反射波可在其传至锚杆顶端时, 通过固定在锚杆顶部的传感器(加速度型或速度型)测得, 由于反射波携带锚固系统内的信息, 将其放大、滤波和数据处理, 识别来自不同部位的反射信息^[1]。根据这些反射信息, 结合其他工程资料, 可判断锚固系统不同部位的锚固质量。超声波锚固系统无损检测原理见图 1^[2-3]。

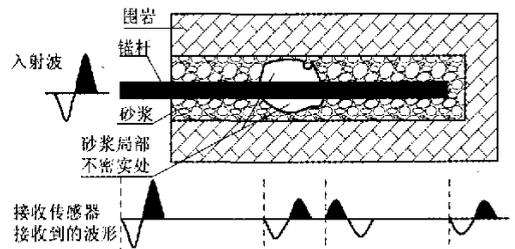


图1 锚固系统无损检测原理示意

1 检测基本原理

1.1 工作原理

在隧道内锚杆、混凝土砂浆和围岩组成的系统中, 密实状态下的锚固剂凝固后, 密实度与锚杆杆体的密实度十分相近, 在锚杆孔中, 其与锚杆杆体紧密握裹, 可近似为一个组合杆体。而锚杆与锚固剂的强度明显大于隧道围岩, 故完全锚固时可把其组合体近似看作是嵌入围岩的一维杆状体, 但实际上有时不能完全锚固, 形成砂浆不连续, 此时锚杆的抗拔力下降, 这是需要检测的内容。

由锚杆端部发射的声频应力波经杆体向锚杆内传播, 当遇到存在波阻抗差异的界面(如空洞、锚杆

1.2 分析原理

应力波法是基于—维杆件的波动理论。根据波在锚杆中传播的一维波动方程及波在上、下界面处质点位移的连续条件和力的平衡条件, 得出

$$T = \frac{2Z_1Z_2}{Z_1 + Z_2}; R = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (1)$$

式中, T 为透射系数; R 为反射系数; ρ_1, c_1, A_1 分别为锚杆与锚固剂组合杆体的密度、波速、横截面; 波阻抗 $Z_1 = \rho_1 c_1 A_1$; ρ_2, c_2, A_2 分别为锚杆杆体的密度、波速、横截面; 波阻抗 $Z_2 = \rho_2 c_2 A_2$ 。

可以看出, 在杆中截面面积或材料性质发生变化时, 入射波将在该截面上发生反射和透射。其反

射波和透射波幅值的大小与截面面积和波阻抗相对变化的程度有关。当锚杆、砂浆和围岩浇灌均匀密实时,由于三者之间的波阻抗差异不大,因此有大部分能量透射出去,只有小部分能量反射回来。当砂浆浇灌不均匀、不密实时,则在砂浆中出现空隙,在空隙处呈现出强的波阻抗差异,反射波能量大大增强。通过分析反射波与入射波之间的能量关系,可以判断出锚杆、锚固系统的密实程度。同时,当应力波遇到锚固缺陷时,原有的振动发生变化,表现为在缺陷处产生了相位突变,因此可以通过分析反射波的相位变化位置判断出锚固缺陷的位置^[4-5]。从式(2)可以看出:当锚固系统沿锚杆轴向某处波阻抗 Z 减小,即 $\rho_1 c_1 A_1 > \rho_2 c_2 A_2$,则 $R > 0$,此时反射波相位与入射波相位相同;当锚固系统沿锚杆轴向某处波阻抗 Z 增大,即 $\rho_1 c_1 A_1 < \rho_2 c_2 A_2$,则 $R < 0$,此时反射波相位与入射波相位相反。

从实测的时域曲线中可以算出锚杆长度或缺陷位置

$$L = Ct/2, \quad (3)$$

式中, C 为纵波在锚杆体系中的平均波速; t 为从激振开始到反射波至锚杆顶所需时间。

2 工程实例分析

2.1 检测仪器

针对隧道锚杆检测工作环境,采用的仪器为武汉岩海的 RS-ST01C 型非金属声波检测仪;震源和接收换能器采用岳阳奥成科技公司的 HX-GMM-S45C 型超磁致声波发射震源及配套的 PZT-45C 接收换能器,该震源性能稳定、重复性好、余震小、发射能量大,且与武汉岩海 RS-ST01C 型数字声波仪兼容性较好。

2.2 不同质量锚固系统测试波形分析

在该段隧道,Ⅲ、Ⅳ类围岩居多。因受多期地质构造影响,岩层大多倒转,产状变化大,褶皱、区域性大断裂及节理裂隙发育,断裂带内糜棱岩化、片岩化强烈。硅质板岩中夹多层炭质板岩软弱层,挤压破碎带岩石风化呈砂土状。

按照技术规程及相关设计和建设方的补充要求,我们对邵阳—怀化高速公路部分隧道的 4 000 多根锚杆进行了锚杆无损检测。检测过程中对发现的问题及时进行了补强,委托方多次检查认为公路隧道的锚杆施工质量稳步提高。以下为几个典型时域波形与分析结果。

2.2.1 自由状态的锚杆

在现场根据已知长度锚杆的测试结果,反算出

万方数据

波速,根据多次测试,自由锚杆中波速值约为 5 200 m/s。对一根锚杆在未知长度情况下进行测试,所测波形如图 2,可看出波形衰减程度很小,多次锚杆底端反射十分明显。测试长度为 3.90 m,和锚杆实际长度 3.87 m 相差甚小,这证明了该方法测试锚杆长度的可靠性。

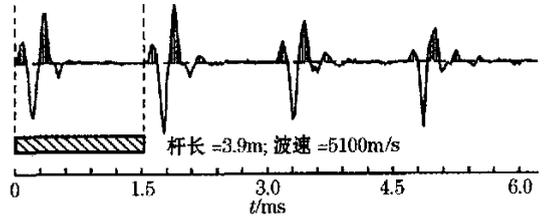


图 2 锚杆的时域波形

2.2.2 锚固质量优的锚杆

测试时根据施工所用材质不同,要重新进行波速测定,在该隧道锚杆中测得的波速约为 5 100 m/s。图 3 是某隧道左墙离地 4 m 高处锚杆所测波形,设计是 2.5 m,测得 2.58 m。从图中可以看出波速在锚固质量优的锚固系统中衰减较快,且锚杆底端反射微弱,波形最后回归基线,说明注浆效果较好。经现场拉拔试验验证,实际长度是 2.53 m,抗拔力为 40 MPa,证明该锚固系统质量为优。

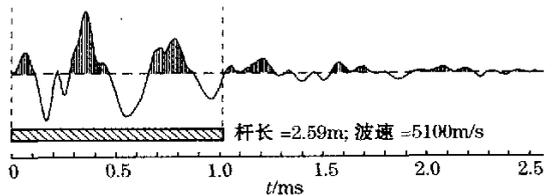


图 3 锚固质量优的锚杆的时域波形

2.2.3 锚固质量中等的锚杆

图 4 是某隧道右墙离地 3m 高处锚杆所测波形,设计是 2 m,测得 1.95 m。从图中可以看出波在锚固质量优的锚固系统中衰减慢,且锚杆底端反射明显,波形最后趋近基线,说明注浆效果一般,在离锚杆外端 0.65 m 和 1.05 m 处可见到反射子波的叠加,可见该两处锚固效果不是很好。经现场拉拔试验验证,抗拔力约为 30 MPa,实际长度是 1.97 m,经综合判定该锚固系统质量为中等。

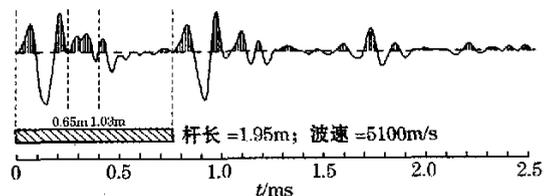


图 4 锚固质量中等的锚杆的时域波形

2.2.4 锚固质量差的锚杆

图5是某隧道右墙3.5 m高处锚杆所测波形,设计是2.5 m,测得2.45 m。可以看出,波在锚固质量差的锚固系统中衰减较慢,锚杆底端反射很明显,波形变化规律和自由锚杆相似。经拉拔试验验证,抗拔力仅为10 MPa,实际长度是2.47 m,测量误差为0.02 m,综合判定该系统锚固质量较差。

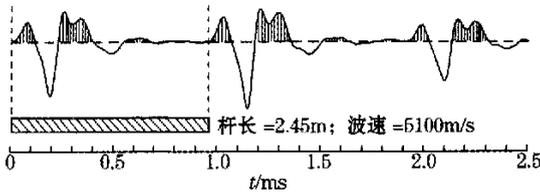


图5 锚固质量差的锚杆的时域波形

3 结束语

经现场拉拔试验验证,本次检测解释结果与实际情况基本吻合,达到了预期的效果,表明该方法检测锚固系统质量具有一定的应用价值。但实际操作中影响效果的因素较多,应注意:

(1)测试前锚杆端头是否清理干净,检测时尽量减少噪声干扰,还有安装传感器的粘接剂不要弹性太好或太厚,以免影响测试信号。

(2)采集信号时选取效果较好的信号保存,所采集的较好信号应该是:多次采集的波形重复性好;波形光滑,不应含毛刺或振荡波形;波形最后趋近于

基线。

(3)仪器和配套软件中对锚杆底部的反射波的判定应尽量准确。

(4)对于锚杆灌浆体内部孔洞、裂隙、蜂窝状等缺陷的探测,可用声时、幅值、波形、频谱等参数综合起来作为判断的依据;把信号的能量特征与相位特征结合起来考虑,可使判断更为可靠,从而对锚杆长度及锚固状态作出综合而准确的判断。

随着高速公路的大量建设,隧道和边坡工程的锚杆质量检测技术迫切需要得到很好的解决。应力波法无损检测作为一种工程质量管理辅助手段,现场操作简单,所需人力少、时间短,不影响工程进度,能为隧道工程建设提供更好的质量保障,相信在以后会得到广泛的应用。但检测的方法和理论还不是十分成熟,在今后工作中需作进一步研究。

参考文献:

- [1] 汪明武,王鹤龄,罗国煜,等.锚杆锚固质量无损检测的研究[J].工程地质学报,1999,7(1):72-76.
- [2] 陈仲侯,王兴泰,杜世汉.工程与环境物探教程[M].北京:地质出版社,1993,175-176.
- [3] 徐攸在.桩的动测新技术(第二版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [4] 王成,辉寿榕.应力波理论在动测锚杆锚固质量中的应用[J].地震工程与工程振动,2001(3).
- [5] 夏代林,吕绍林,肖柏勋.基于小波时频分析的锚固缺陷诊断方法[J].物探与化探,2003,27(4):312-315,319.

A DISCUSSION ON THE NONDESTRUCTIVE DETECTION TECHNIQUE FOR QUALITIES OF ROOFBOLTS AND ANCHORS IN TUNNELS

HUANG Hua-lin¹, ZHU Zi-qiang¹, YANG Tian-chun², WANG Qi-ren³, LU Guang-yin¹

(1. School of Info and Physics Engineering, Central South University, Changsha 410083, China; 2. School of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China; 3. School of Civil Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: Adopting the acoustic wave detection device and applying the principle of reflection energy and phase variation of the audio-frequency stress wave at different wave impedance surfaces, the authors made nondestructive tests for qualities of roofbolts and anchors in tunnels, and investigated the detection technique. The results show that the adoption of the stress wave to the nondestructive detection of roofbolt and anchor qualities has enriched the techniques for detection of anchor qualities in tunnel wall rocks, and can better guarantee the quality of tunnel engineering construction.

Key words: roofbolt quality; nondestructive detection; audio-frequency stress wave; reflection method

作者简介:黄华林(1979-),男,现在中南大学攻读地球探测与信息技术硕士学位,主要从事工程物探检测技术、地质灾害等方面的学习研究,公开发表学术论文数篇。