

锚杆长度无损检测的影响因素分析

訾建峰¹, 杨森²

(1. 天津市市政公路工程质量监督站, 天津 300000; 2. 四川升拓检测技术有限责任公司, 成都 610045)

摘要:用于锚杆长度检测的主要方法为声波反射法,而该方法测试精度会受到一些外在因素的影响。通过模拟某工程隧道锚杆设计方案,设置不同长度锚杆,采用弹性波无损检测方法,分析锚杆无损检测中的影响因素。结果表明,在锚杆无损检测中,对于锚杆底端反射波的准确识别和有效判定以及激振频率的合理选取及合适的传感器与锚杆杆体间的耦合方式对测试精度有着直接的影响。

关键词:锚杆长度检测;弹性波无损检测;激振频率;耦合方式

中图分类号:TU132

文献标志码:A

引言

对于锚杆长度的检测,目前国内通常采用弹性波(也称为声波)作为测试媒介,而最常用的方法即为声波反射法^[1-2]。声波反射法为动态无损检测方法,其基本实施方案是在锚杆顶端施加单冲式瞬态冲击力,激励产生弹性波信号,弹性波在杆体(或杆系)中传播并产生反射,安设在锚杆顶端附近的传感器接受反射信号,通过对反射波信号进行时域、频域分析,获得锚杆有效长度及锚固质量等工作参数^[3]。声波反射法作为一种无损检测方法,对锚杆、杆系及周围岩体不会产生破坏作用,适宜进行大面积的检测应用。

但声波反射法在实际操作中,难免会受各种环境条件因素、信号激励因素等影响,导致锚杆长度测试精度达不到要求,甚至出现长度测试误判的现象。为此,本文从锚杆长度检测基本原理出发,依据某工程边坡锚杆设计方案,采用声波(弹性波)无损检测方法,通过建立模型锚杆标准数据档案,对锚杆长度检测误差及其规律进行研究、分析^[4-6],明确锚杆长度无损检测的影响因素,为锚杆长度实际检测提供参考。

1 基本原理

锚杆长度无损检测方法的基本理论依据为一维杆件的声波反射理论。在锚杆顶部激发弹性应力波,当弹性应力波传播到锚杆底部时由于锚杆和锚杆底部的岩体存在波阻抗差异,将产生反射波回到锚杆顶部,从而根据反射波的走时和锚杆中的应力波传播速度就可以采用时域或频域分析方法确定出锚杆长度^[1]。

$$L = \frac{C_m}{2} \cdot \Delta t_e \quad (1)$$

式中: C_m ——同类锚杆的波速平均值;

Δt_e ——杆底反射波传播时间。

当锚杆较短,杆底反射信号的起始点不易分辨时,可以采用频谱分析的方法。

$$L = \frac{C_m}{2\Delta f} \quad (2)$$

式中: C_m ——同类锚杆的波速平均值;

Δf ——幅频曲线上相邻谐振峰之间的频差。

由锚杆检测基本原理知,锚杆长度测试的关键在于锚杆(杆系)波速确定和时域或频差确定。波速与锚杆材质及其所处环境状态相关,可以通过模拟实验或现场

标定得到,而时域和频域的影响因素则更为复杂。

2 检测成果与影响因素分析

2.1 反射信号的影响

2.1.1 检测试验

在锚杆长度检测中,反射信号的识别是确定时域的关键。根据弹性波传播理论,在均质体或无阻抗差异结构中,不会产生反射,对于存在阻抗差异的结构界面均会产生反射^[7-8]。

试验中,分别对两根焊接锚杆做不同的预处理^[9](表1)。

表1 锚杆预处理情况

锚杆编号	预处理情况
mg-1	采用长度为1.5 m和2 m的两根锚杆焊接成总长为3.5 m的锚杆,按2 m端朝里打入土体中,并正常灌浆,锚杆外露长度0.1 m。
mg-2	采用长度为1.5 m和2 m的两根锚杆焊接成总长为3.5 m的锚杆,按1.5 m端朝里埋入岩体中,底部为坚硬岩石,并做浇筑处理,焊接点下端预设灌浆缺陷,其余正常灌浆,锚杆外露长度0.5 m。

对mg-1锚杆采集波形如图1所示。

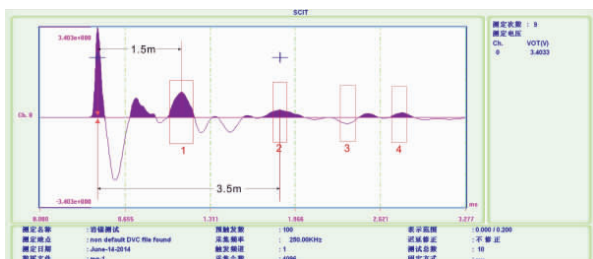


图1 锚杆mg-1采集波形

由图1可知,mg-1波形存在多次明显反射。其中,根据对波形计算可知,1号点反射所对应的锚杆长度为1.5 m,而2号点反射所对应的锚杆长度则为3.5 m,同时结合设计及施工资料显示:1号点的同向反射属于焊接处的反射;2号点的同向反射则是锚杆底部的正常反射;3号和4号点的反射属于设计值范围之外的反射,也可能是重复反射。

mg-2锚杆的采集波形如图2所示。

图2mg-2波形显示仍然存在多次明显反射。同理,根据计算可知,1、2、3号反射位于设计值范围之内,1号点为同相反射,2、3号点为反相反射,而3号点则是设计值范围之外的同相反射。

根据试验设计可知,1号点对应的长度为2.0 m,为焊接点反射;2号点对应的长度为2.5 m,为预设的缺陷

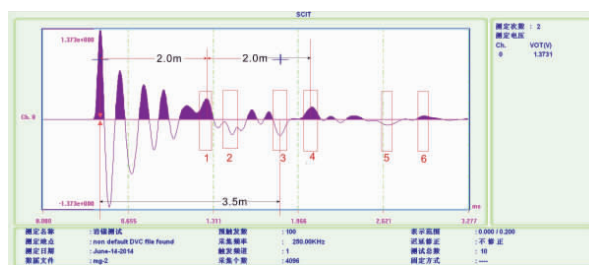


图2 锚杆mg-2采集波形

反射;3号点对应的长度为3.5 m,为底部反射(因底部为坚硬岩石,产生了反相反射);4号点对应的长度为4.0 m,为焊接点的二次反射;而5号和6号是设计外的长度值,疑为受锚杆周围的灌浆质量或岩体的影响。

同时,综合mg-1、mg-2的波形图对比可知:两者的波形均收敛较好,但相比mg-1,mg-2的波形前端的振动信号较强,结合现场情况得出,mg-2的外露长度较长,激振时引起的外露端的自由振动混入了原始信号中,从而出现相对较强的振动信号^[10]。

2.1.2 反射信号影响因素分析

在均质杆体中,阻抗相同不产生反射,对于杆底或焊接点由于存在阻抗差异,因此会产生反射,如mg-1、mg-2波形中的1号反射点^[11]。

在土质或软弱岩体材料中,由于土体材料的阻抗较低,则反射信号的相位与入射信号相同,如mg-1波形中的2号反射点;而杆体底部在坚硬岩石或高强混凝土时,由于阻抗增加,则反射信号的相位与入射信号相反,如mg-2波形中的3号反射点。

在实际锚杆长度检测过程中,由于岩体环境条件复杂、注浆质量各异,在实际测试信号中反射信息不是唯一的,反射信号强弱也各异^[12]。因此,明确反射信号如何识别,对锚杆长度检测精度的提高就显得尤为重要。

2.2 激振频率的影响

2.2.1 检测试验

在锚杆长度实际检测过程中,除了存在上述反射信号的影响因素外,其激振频率也会对锚杆长度检测精度产生一定的影响^[13-14]。

试验采用七种不同长度的模型锚杆,并分别采用直径为Φ10、Φ17、Φ30的激振锤以及激振锥作为激振源进行数据采集。其测试结果见表2。

2.2.2 影响因素分析

由表2可知,不同的激振频率对于不同长度的锚杆测试精度影响不同。

表 2 锚杆长度实际值与测试值对比

编号	实际长度/m	测试长度/m			
		Φ10 锤	Φ17 锤	Φ30 锤	激振锥
1	0.59	0.58	0.61	1.10	0
2	0.80	0.79	0.79	0.83	0
3	1.30	1.25	1.30	1.37	2.80
4	1.50	1.50	1.50	1.53	2.30
5	1.90	1.62	1.88	1.89	2.50
6	2.50	2.38	2.49	2.50	2.56
7	3.00	2.80	2.91	2.99	3.06
8	3.50	3.10	3.40	3.43	3.51
9	4.00	3.30	3.87	4.11	4.03

激振频率较高(如 Φ10)的激振源,对于测试短杆有着较高的精度,但随着锚杆长度的增加,频率较高的激振却会对长度测试结果产生一定的影响。

激振频率较低(如激振锥)的激振源,对较短的锚杆长度检测会产生影响,要么不能识别到反射波,要么会比实际长度偏长;但随着长度的增加,频率较低的激振却有着较高的精度。

在实际的检测过程中,因检测人员对于锚杆长度的客观认识是设计长度,但是,在实际施工过程中,锚杆长度可能低于设计长度,如有些锚杆的长度仅有 0.5 m,甚至仅有 0.2 m。

锚杆长度的检测主要是基于锚杆底部的反射波来判定,同时根据反射理论,激振波长与反射信号间存在表 3 的关系。

表 3 激振波长与反射信号的关系

激振波长	激振信号与反射信号之间的关系		对测试结果的影响
	时域	频域	
	<2 倍杆长	可分离	
=2 倍杆长	重合	一致	精度最高
(2~4) 倍杆长	重合	不易分离	测试结果偏长
>4 倍杆长	重合	不易分离	测试结果严重偏长

由表 3 可知,不同的激振波长对于不同长度锚杆的测试精度有着不同的影响。

不同的激振波长意味着不同的激振频率,如测试实心锚杆(波速取 5.2 km/s),可以得到不同激振方式可以测试的最短锚杆(实心)的长度见表 4

表 4 激振方式与最短测试长度的近似关系

激振方式	D10 锤	D17 锤	D30 锤	激振锥
激振频率/KHz	12	12	12	12
激振波长/m	0.44	0.52	0.86	3.45
最短杆长/m	0.22	0.26	0.43	1.72

因此,对于 2 m 以下的锚杆,建议采用 Φ30 以下的激振锤,而激振锥则适用于 3 m 以上的锚杆。另一方面,频率越高的激振信号,其衰减也越快,从而不利于测

试较长的锚杆。

综上所述,在进行锚杆长度检测时,首先,对于激振频率的选择要合适,可根据设计长度同时选择两种或两种以上不同频率的激振源;其次,激振时,激振源要平行于锚杆,以免产生其他成份的波,从而影响对锚杆底部反射信号的判别;最后,在激振时应该干脆,避免产生二次敲击,且敲击力度要适中。

2.3 传感器耦合方式的影响

2.3.1 检测试验

传感器采用不同的固定及耦合方式,则采集的振动信号会有较大的区别,从而对检测人员的分析产生较大的影响。

按照传感器的固定位置,可以分为杆顶和杆侧两种固定方式,两种传感器固定方式对测试信号的影响及优缺点见表 5。

表 5 传感器杆顶固定和杆侧固定对比表

项目	杆顶固定	杆侧固定
优点	传感器固定紧密,拾取信号强	不占用激振空间;激振力度的影响相对较小
缺点	占用激振空间;激振力度的影响相对较大	传感器固定稍差,拾取信号较弱

在相关规程中均建议采用杆顶固定的方式。但无论杆顶还是杆侧固定,其采用的耦合方式都会对信号的采集产生较大的影响。

关于传感器与锚杆间的连接耦合的具体方式,一般有磁性、粘接剂(热熔胶、两面胶)、耦合剂(黄油、凡士林等)和压着等方式。尽管在相关规程中,建议采用磁性卡座的耦合方式,但本次试验还是对耦合方式进行了研究。

不同耦合剂的粘度、刚性以及温度特性对采集的信号都有较大的影响,且有不同的缩频作用,经过反复试验,并研制了专用的耦合剂。该耦合剂具有良好的耦合性、温感小、无毒、不粘手、涂抹方便且对激振信号的自由振动部分有很好的衰减作用的特点。因此,本次试验结合锚杆现场检测的实际情况对传感器与杆体的耦合方式分为三种:手按、磁性卡座、特制耦合剂。采用这三种耦合方式分别对 2.2 试验中所用的 7 根不同长度的锚杆进行检测,其典型波形对比如图 3~图 5 所示。

2.3.2 影响因素分析

由图 3、图 4 和图 5 可以明显看出:采用特制耦合剂对传感器与杆体进行耦合时,所采集的波形是最为理想

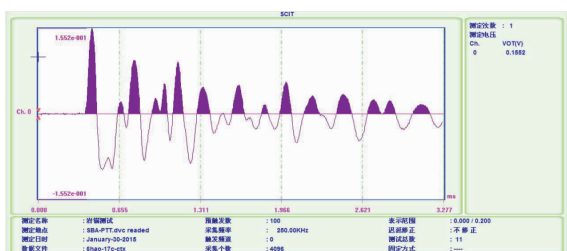


图3 传感器手按方式采集波形

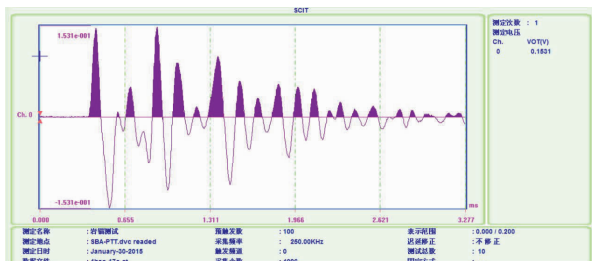


图4 传感器磁性卡座方式采集波形

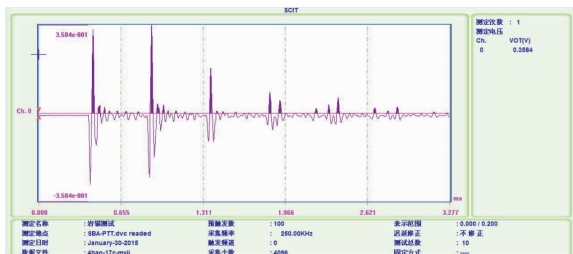


图5 传感器特制耦合剂方式采集波形

的,其杆底反射明显,且波形收敛较好。

在试验过程中发现,采用人工手按的方式时,其压着力度的大小也会对波形产生很大影响,且在现场不宜保持静止,传感器与杆体接触不好,从而造成所采集的波形品质不好。

采用磁性卡座的固定方式,其粘性阻尼小,在冲击型激振荷载作用下,其自由振动衰减慢,持续时间长,因此,磁性卡座方式宜用于杆侧固定。

采用特制耦合剂,具有较好的弹性、阻尼比刚性及温度特性,对激振信号的自由振动部分起到了很好的衰减作用,提升了测试信号的品质。

为此,在理论和试验分析的基础上,现场检测时建议采用:杆顶:传感器+耦合剂,杆侧:传感器+磁性卡的固定方式组合较为理想。

3 结论

综上所述,无损检测方法可以作为一种锚杆长度检测的手段,同时,在利用无损检测方法对锚杆长度进行

实际检测中,影响检测效果的因素较多,检测工作应着重注意以下3点:

(1) 锚杆底部反射要准确判定

不同地质情况条件下,锚杆长度检测的波形不同,在判定锚杆底部反射信号时,应充分结合综合情况:如锚杆的岩体质量、现场施工情况(如有无焊接、灌浆质量、锚杆外露端长度等)等,以便准确判定锚杆的底部反射信号。

(2) 锚杆长度实际检测中,对于激振频率的选择要合适

不同长度的锚杆在不同锤激振的条件下,波形表现为不同特征。激振源的激振频率越高,产生干扰信号越强,小锤(频率较高)激振源的测试长度会十分有限;相反激振源的激振频率越低,其测试长度越长,同时其测试短锚杆的能力降低。因此,对于不同的锚杆,可根据设计长度同时选择两种或两种以上不同频率的激振源。且激振时,激振源要平行于锚杆,激振干脆且力度适中,以免产生二次激振或其他成份的波,从而影响对锚杆底部反射信号的判别。

(3) 采用合适的传感耦合方式

考虑到对测试信号品质及现场实际情况,不同固定方式,可采用不同的耦合方式:在杆顶固定传感器时,可用具有合适的温度特性、阻尼比和刚性的耦合剂;而在杆侧固定时,可采用磁性卡座。通过两种方式的有机结合,可以进一步提高检测结果的信赖程度及检测精度。

在明确了锚杆长度无损检测的影响因素后,对锚杆长度检测能比较准确的加以判定。因而它可以为隐蔽工程、重点工程质量监理控制工作快速提供第一手质量检测资料,辅助监理工作的顺利进行,也为施工单位寻找产生质量问题的原因和采取改进措施提供依据。

参考文献:

[1] JGJT 182-2009,锚杆锚固质量无损检测技术规程[S].

[2] DLT 5424-2009,水电水利工程锚杆无损检测规程[S].

[3] 鲍先凯,刘欢欢.基于应力波法的锚杆无损检测[J].露天采矿技术,2015(1):58-61.

[4] 张小波,吴银成,孙志飞,等.一种矿用锚杆(索)长度

- 无损测量方法[J].工矿自动化,2015(1):76-79.
- [5] 孙冰,郭闪闪,曾晟,等.锚杆锚固质量检测技术研究现状[J].金属矿山,2014(12):8-12.
- [6] 张胜利,张昌锁,王银涛.锚杆锚固质量无损检测方法分析[J].煤矿安全,2014(5):212-215.
- [7] 刘涛,叶义成,王文杰,等.玻璃钢锚杆锚固质量声波检测技术[J].金属矿山,2014(3):36-39.
- [8] 彭璞.高速公路锚杆锚固质量无损检测技术[J].科技传播,2013(6):182-183.
- [9] 王猛,李义,董嘉.应力波法锚杆锚固质量无损检测现场实验研究[J].煤炭技术,2013(1):203-204.
- [10] 郭世明,高才坤.弹性应力波法锚杆质量检测初探[J].西部探矿工程,1999,16(1):46-49.
- [11] 孙冰,曾晟,丁德馨,等.锚固系统与锚固介质材料中应力波波速的关系[J].防灾减灾工程学报,2013(3):305-310.
- [12] 刘东辉,米博,赵东松,等.基于HHT的锚杆锚固质量声波无损检测[J].河北科技大学学报,2013(3):208-212.
- [13] 杨湖,王成.弹性波在锚杆锚固体中传播规律的研究[J].测试技术学报,2003,17(2):145-149.
- [14] 张昌锁,李义,赵阳升,等.锚杆锚固质量无损检测中的激发波研究[J].岩石力学与工程学报,2006,25(6):124-125.

Influencing Factors Analysis of the Nondestructive Detection of Bolt Length

ZI Jianfeng¹, YANG Sen²

(1. Tianjin Municipal Road Engineering Quality Surveillance Station, Tianjin 300000, China;

2. Sichuan Central Inspection Technology Co., Ltd., Chengdu 610045, China)

Abstract: At present, the main method used to detect anchor length is acoustic reflection method, and the test accuracy of this method tends to be affected by some external factors. By simulating a tunnel engineering anchor design, setting bolts of different length, the influencing factors of bolt nondestructive testing are analyzed through the NDT methods with elastic waves. The results show that, in the bolt nondestructive testing, the accurate identification and effective judgment of reflected wave at the bottom of bolt, the reasonable selection of excitation frequency, and the suitable coupling way of sensor and anchor rod body have a direct impact on test accuracy.

Key words: bolt length detection; elastic wave nondestructive testing; excitation frequency; coupling way