

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2013.02.008

含缺陷钢管混凝土超声波特性试验研究

汪旭, 邹中权, 王志美

(湖南科技大学 土木工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要: 在分析了超声波检测的基本原理及缺陷判别方法的基础上, 对钢管混凝土质量缺陷的种类进行了模拟试验, 并将所得结果付之于具体实践中, 即利用超声波检测技术对某钢管混凝土拱桥进行缺陷检测, 以验证超声波检测在钢管混凝土缺陷检测中的可行性及模拟试验结果的正确性。对比试验结果, 针对超声波检测所得不良结果处进行抽样钻孔查验。查验结果证明了超声波检测所反映的各类缺陷与样品相符, 从而验证了超声波检测技术在钢管混凝土结构施工质量检测中应用的可行性和实验所得结果的正确性。

关键词: 钢管混凝土; 超声波检测技术; 试验模拟; 缺陷检测

中图分类号: TU377

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2013)02-0034-04

Ultrasonic Testing Research on Defect Concrete Filled Steel Tube

Wang Xu, Zou Zhongquan, Wang Zhimei

(School of Civil Engineering, Hunan University of Science & Technology, Xiangtan Hunan 411201, China)

Abstract: Based on the basic principle of ultrasonic testing and the defect detection method, makes simulated tests on the quality defects of concrete filled steel tube(CFST). Applies the ultrasonic testing technique to detect a CFST arch bridge and proves the feasibility and correctness of the technique in CFST defect detection. Comparing to the trail results, inspects the detecting results by core-drilling method. It shows that the defects detected by ultrasonic testing are in good accordance with the drilling samples, which verifies the adaptability of the ultrasonic detection technique in the construction quality inspection of CFST structures and the correctness of the trail results.

Keywords : concrete filled steel tube ; ultrasonic testing technique ; testing simulation ; defect detection

0 引言

钢管混凝土是一种钢管中充满混凝土的复合型材料。由于其核心混凝土受到了外围钢管的约束, 强度大大提升, 抗压能力及抗震性能优越, 因而近年来在拱桥建造中得到了广泛的应用。

钢管混凝土拱桥的拱肋为主要受压构件, 其截面会产生极大的正应力。所以钢管混凝土的质量对整个拱桥结构的安全性能至关重要, 而钢管混凝土

的力学性能与填充的混凝土质量息息相关。另外, 实际施工过程中, 往往会因为钢管混凝土质量的缺陷给整个施工周期带来巨大阻碍。因此, 开拓一种快速准确的钢管混凝土无损检测方法迫在眉睫。

超声波检测作为普遍应用的无损检测手段之一, 被认为是一种检测钢管混凝土质量中很有前景的技术。然而, 目前利用超声波检测判断钢管混凝土中所产生缺陷类型的依据仍不够完善, 有待深入研究。

收稿日期: 2013-01-28

基金项目: 湖南科技大学研究生创新基金资助项目(S110107)

作者简介: 汪旭(1988-), 男, 湖北荆州人, 湖南科技大学硕士生, 主要研究方向为桥梁抗震,

E-mail: 137740251@qq.com

因此,本研究中,拟先通过在实验室对缺陷类型进行模拟,得到试验结果;然后,应用超声波检测技术对一座钢管混凝土拱桥进行缺陷检测,并通过抽样钻孔对得到的检测结果进行验证,以判别检测结果以及试验研究的正确性,为日后判别超声波检测中的钢管混凝土缺陷类型提供依据。

1 超声波检测的基本原理以及缺陷判别方法

1.1 超声波检测的基本原理

超声波的波长比一般声波要短,具有较好的方向性,而且能透过不透明物质,这一特性已被广泛用于超声波探伤、厚度测量、距离测量、遥控和超声成像技术中。本研究采用超声波对钢管混凝土进行缺陷检测,其基本原理即基于超声波传导的这一特性。

在进行检测时,将超声波探伤仪的换能器(分为发射器和接收器)放置在检测截面的两对侧,超声波由其发射器传导到接受器,期间经过钢管混凝土截面。如果截面上存在缺陷,譬如存在内部空洞、钢管和混凝土之间脱空等,则超声波的波速、波形、幅值以及频率都会发生改变。因此,可以通过分析所得数据来判别钢管混凝土中是否存在缺陷,以及产生的缺陷种类。

1.2 缺陷的判别方法

目前,用于检测和判别钢管混凝土中缺陷的方法主要有首波声时法、波形识别法和首波频率法3种。

1.2.1 首波声时法

利用超声波检测钢管混凝土时,声波可能的传播途径如图1所示^[1-2]。

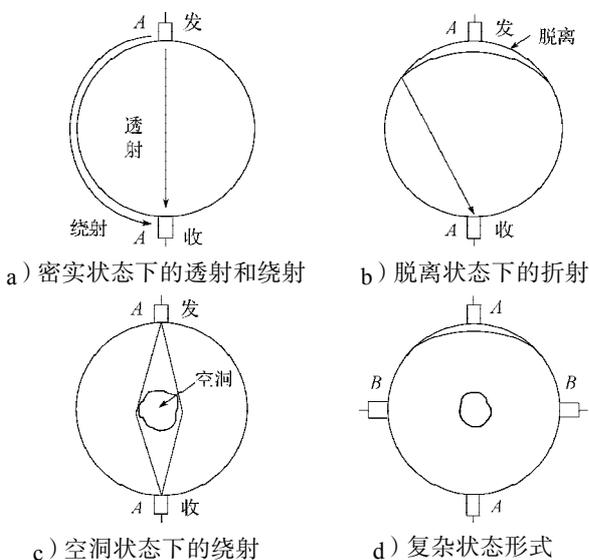


图1 超声波传播路径示意图

Fig. 1 The ultrasonic transmission path

利用首波声时法判定钢管混凝土是否完好,是以超声波在各种传导路径下的时差来作为依据的。如图1中的图a所示,其为完好的钢管混凝土截面,在这种情况下,超声波的传导方向分为直射和绕射2种。超声波在钢管混凝土中直射(径向传播)的时间 t_c 与绕射(绕钢管壁半周长)传播时间 t_{sp} 的关系为

$$t_{sp} = (\pi * V_c * t_c) / 2V_{sp},$$

其中, $t_c = 2R/V_c$, $t_{sp} = (\pi * R) / V_{sp}$ 。

以上各式中: R 为钢管混凝土的半径; V_c 为超声波在钢管混凝土中的传播速度; V_{sp} 为超声波绕钢管壁的传播速度。

一般情况下,超声波在混凝土中的传播速度为3 800~4 900 m/s^[3],在钢材中的传播速度为5 700 m/s。因此 t_c/t_{sp} 为0.740 9~0.954 9。由此可得:在一个良好的钢管截面上,直射的首波肯定优先于绕射的首波到达接收器,从而可以避免绕射波对于直射波的干扰。

而当钢管混凝土内存在缺陷时,直射的首波会受到缺陷的影响,导致其传导方向发生改变,如图b所示脱离状态下的折射、图c所示空洞状态下的绕射等。传导方向的改变,必定会影响其传导时间,因此,可以通过首波声时来判断钢管混凝土截面上是否存在缺陷。

1.2.2 波形识别法

钢管混凝土内部的缺陷也可以通过超声波的波形改变来进行检测。超声波探伤仪的发射器所发射的声波若在传播过程中遇到分界面,特别是在固体与气体的分界面处,会发生反射、绕射现象。当产生的反射波或绕射波与原脉冲波叠加后,会产生波干涉,使波形畸变。因此,可通过分析声波的波形畸变程度来判断钢管混凝土内部是否存在缺陷。

1.2.3 首波频率法

超声波在钢管混凝土内的传播过程中,若混凝土的均匀性差或存在含缺陷的混凝土,则超声波探伤仪的发射器产生的高频率波会出现衰减,到达接收探头的波大多数为较低频率的波;而通过密实的无缺陷的混凝土时,高频率波不会出现衰减,到达接收探头的首波频率相对较高。根据这一现象,可以确定,存在缺陷的混凝土将使高频率声波衰减为较低频率的声波。因此,可根据首波频率判断混凝土的密实性及是否存在缺陷。

2 相关缺陷信号判别

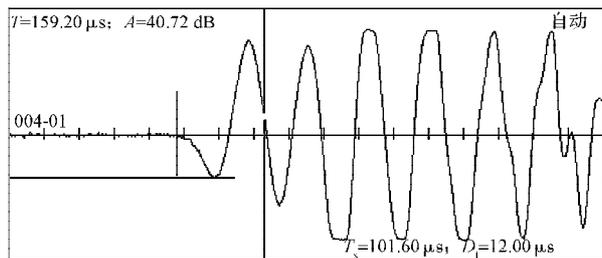
为了能较好地模拟钢管混凝土中“脱空”与“内部空洞”2种常见质量缺陷,本课题组在实验室模拟

试验中采用如下具体操作:

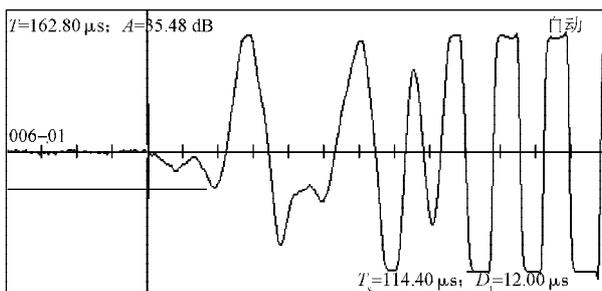
1) 在倒置好混凝土以后,用抹好油的铁皮将混凝土和钢管隔开,待混凝土形成一定的强度后抽离铁皮,以此来模拟“脱空”缺陷;

2) 对于钢管混凝土中的“内部空洞”缺陷,采取在钢管混凝土内部预放一个塑料空管的方式进行模拟。

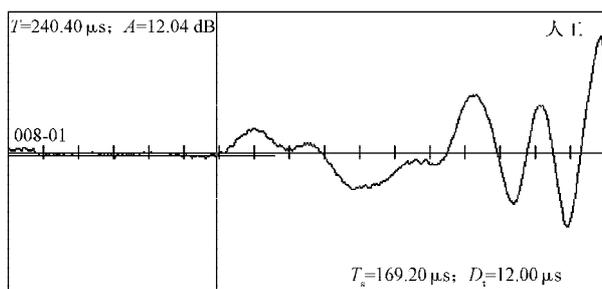
通过对模拟缺陷的钢管混凝土进行超声波检测,并综合实验所得数据,得到了几类典型的波形,如图2所示。



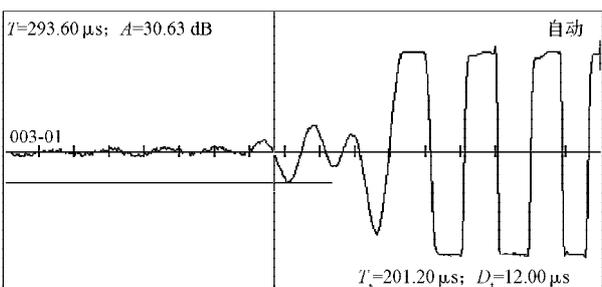
a) 正常波形



b) 首波波形畸变



c) 首波波幅降低、频率降低



d) 首波声时增长、波幅降低

图2 几类典型的波形
Fig. 2 Several typical waveforms

图2中的图a为正常波形,表明钢管混凝土质量良好;图b为首波畸变波形,将其与图a相比,可以看出其波形稍差,这是因为钢管与混凝土胶结不紧密,出现了脱空现象;图c为首波波幅降低波形,相较于图a,可发现其首波波幅降低,频率降低,波形畸变较严重,这表明试验对象存在钢管与混凝土胶结性差或内部空洞等缺陷;图d为首波声时增长波形,相较于图a,可看出其首波声时增长,波幅降低,波形畸变,这表明钢管与混凝土胶结不紧密,存在脱空缺陷。

3 钢管混凝土拱桥的超声波检测

某市一大桥改造工程位于市区内,是连接两埠的重要通道。改造后的大桥采用下承式钢管混凝土拱桥结构,桥全长328 m,主桥桥面宽31.5 m,引桥桥面宽30.5 m,双向六车道行驶,通航孔净空高5 m。

我国对于钢管混凝土柱管内混凝土的施工方法分为人工浇灌和振捣、高位抛落不振捣和泵送顶升法3种^[4]。在本改造桥拱肋的施工中,主要采用泵送顶升法进行钢管混凝土柱管内混凝土施工。为了解钢管内混凝土的泵注质量,以及混凝土与钢管内壁的胶结质量,在管内混凝土养生期满后,对其进行超声波无损检测。由于钢的声速远快于混凝土的声速,如果测点布置不合理或钢管内混凝土声速较低,则仪器接收到的首波信号很可能是沿钢管壁传播的,此时便不能反映钢管内混凝土的质量情况^[5-6],因此,测点的布置较为重要。

根据本工程的特点,一个测区的测点一般按图3所示进行布置,分别采用左右对测、上下对测以及斜测方式进行测量。当为了更加精确地找出缺陷所在时,就需要增加测点数量,此时应按图4所示进行测点布置。测区选在每拱吊杆附近50 cm或100 cm处,如图5所示。

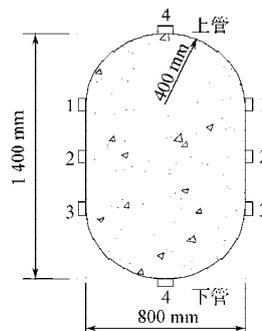


图3 测点布置1
Fig. 3 Test points arrangement 1

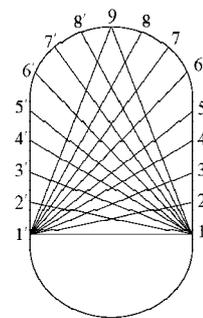


图4 测点布置2
Fig. 4 Test points arrangement 2

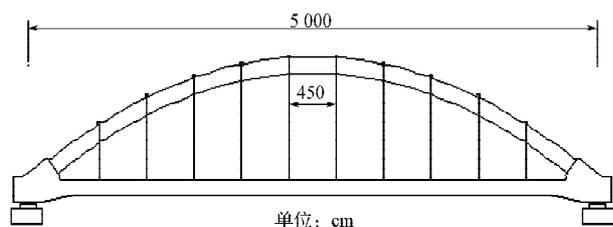


图5 测区布置

Fig. 5 Test area arrangement

实际操作时,可根据现场情况和结构特点对测点和测区作适当调整。每根吊杆布置3个测区(各测区间距15 cm),每个测区布置4个或4个以上的测点。检测部位4反映下管、上管混凝土的密实度;检测部位3,1分别反映下管顶部、上管底部混凝土的密实度;检测部位2反映腹板中部混凝土的密实度;4个检测部位反映了钢管和腹板腔内混凝土的综合密实度。

4 结果论证及处理措施

将超声波检测的实际测试结果与缺陷信号中的波形进行对比,然后针对有类似缺陷的部位进行抽样钻孔核验,以验证超声波检测的有效性。

在该钢管混凝土拱桥的超声波缺陷检测中,共设有108个测区,其中96个测区钢管混凝土质量良好,其余测区存在部分缺陷。经过钻孔检验,缺陷部位中,8个测区有轻微脱空,另外4个测区内部存在缺陷,且缺陷类型与波形变化大体一致。检测结果证明,样品显示出来的缺陷与超声波检测数据相符,从而论证了超声波检测的准确性以及实验室模拟试验所得结果的正确性。

依据检测结果,对缺陷较大的部位去除原有混凝土,采取重新灌入高强度混凝土的措施进行处理;对于缺陷较小的部位则采取压入环氧树脂的措施进行补浆处理,压浆后再将开孔补焊牢固。最后,对于经过处理后的部位再次进行超声波检测,所得波形均为正常波形。

5 结语

本文通过对实际工程中的钢管混凝土进行超声波缺陷检测,验证了超声波检测技术在钢管混凝土缺陷检测中的可行性与适用性。同时,针对不同的内部缺陷,提出所应采取的相应措施。

而对于钢管混凝土内部缺陷(如不密实、漏振疏松、分层离析、“施工缝”等)产生的具体原因,尚需要做更多的对比分析才能确定。另外,混凝土的

龄期和强度等级对超声波检测也有一定的影响,这需要进行进一步的试验确定。

参考文献:

- [1] 邵雁,邓春为,徐宏武.超声波钢管砼检测技术及其在巫山长江大桥检测中的应用[J].矿业安全与环保,2005,32(增刊1):79-80,82.
Shao Yan, Deng Chunwei, Xu Hongwu. Supersonic Sounding Technology for Steel Pipe Concrete and Its Application in Detection of Wushan Changjiang River Bridge [J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2005, 32 (S1), 79-80, 82.
- [2] 张宏,余钱华,吕毅刚.超声透射法检测钢管拱桥拱肋混凝土质量应用研究[J].土木工程学报,2004,37(8):50-53,92.
Zhang Hong, Yu Qianhua, Lü Yigang. Application Study of Quality Testing of the Arch-Rib Concrete of Concrete-Filled Steel Tube Arch Bridge by Ultrasonic Transmission Method [J]. China Civil Engineering Journal, 2004, 37(8): 50-53, 92.
- [3] 梁鸣,刘沐宇,冯仲仁.钢管混凝土超声波检测与评价试验研究[J].武汉理工大学学报,2001,23(12):44-46.
Liang Ming, Liu Muyu, Feng Zhongren. Study of Ultrasonic Detection and Evaluation for the Deficiency Recognition of Concrete-Filled Steel Tube [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2001, 23(12): 44-46.
- [4] 赵士永,付素娟.钢管混凝土结构的加固与施工[J].粉煤灰综合利用,2009(3):49-52.
Zhao Shiyong, Fu Sujuan. Strengthening and Construction of Concrete-Filled Steel Tubular Structure [J]. Fly Ash Comprehensive Utilization, 2009(3): 49-52.
- [5] 陕西省建筑科学研究设计院,上海同济大学. CECS21:2000, 超声法检测混凝土缺陷技术规程[S].北京:中国工程建设标准化协会,2000:25-26.
The Research and Design Institute of Building Science in Shanxi Province, Shanghai Tongji University. CECS21:2000, Technical Specification for Concrete Defects by Ultrasonic Method [S]. Beijing: The China Association for Construction Standardization, 2000: 25-26.
- [6] 周先雁,肖云凤,曹国辉.用超声波法检测钢管混凝土质量的研究[J].铁道科学与工程学报,2006,3(6):50-54.
Zhou Xianyan, Xiao Yunfeng, Cao Guohui. Research on Ultrasonic Detection for Concrete-Filled Steel Tube [J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2006, 3(6): 50-54.

(责任编辑:廖友媛)