

DOI: 10.11973/wsje201812015

超声法检测钢管混凝土缺陷的分析与探讨

段师剑^{1,2}, 王远传^{1,2}, 赵 勇^{1,2}

(1. 云南省建筑科学研究院, 昆明 650223; 2. 云南建筑工程质量检验站有限公司, 昆明 650223)

摘 要: 应用钢管混凝土超声检测技术, 结合工程实例, 针对钢管混凝土缺陷检测过程和分析方法进行了探讨, 提出在检测过程中应注意的一些问题, 总结缺陷检测时的超声波波形特征及缺陷分析时的关键问题, 指出通过声时修正的方法可减小钢管壁厚因素对缺陷检测精确性的影响。

关键词: 钢管混凝土; 超声检测; 缺陷分析

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2018)12-0074-05

Analysis and Discussion of Steel Pipe-Encased Concrete Defects by Ultrasonic Inspection

DUAN Shijian^{1,2}, WANG Yuanchuan^{1,2}, ZHAO Yong^{1,2}

(1. Yunnan Institute of Building Research, Kunming 650223, China;

2. Yunnan Quality Inspection Institute of Construction Engineering Co., Ltd., Kunming 650223, China)

Abstract: Combining with case studies on engineering application, the discussion on steel pipe-encased concrete defects during ultrasonic inspection was carried out. Some points to be noted in the ultrasonic testing process were put forward. The waveform characteristics of steel pipe-encased concrete defects and the key problems during defects analysis were summarized. The influence of the pipe wall thickness on the accuracy of defect detection can be reduced by sound time correction.

Key words: steel pipe-encased concrete; ultrasonic testing; defect

钢管混凝土是在钢管中填充混凝土形成共同承受外荷载作用的一种组合结构, 在结构上结合了二者的优点, 即混凝土处于侧向受压状态, 增强了混凝土抗压强度, 同时混凝土的存在提高了钢管的刚度, 从而大大提高了结构的承载能力和稳固性。对新建的钢管混凝土结构, 混凝土密实度是影响结构受力、安全评估的主要因素, 必须依据规范要求对钢管混凝土柱密实度检测, 为工程实体质量提供真实有效的试验数据。

目前钢管混凝土缺陷检测方法主要有敲击法、钻芯法和超声法, 敲击法虽操作便捷但仅能初步判断结合面缺陷, 一般作为辅助检测方法使用; 钻芯法具有直观、准确度高的优点, 但对结构损失

大, 检测后还需进行结构修复而耗时耗力, 一般在工程存在争议时采用。超声法检测钢管混凝土缺陷是现在发展趋势较好的一种无损检测方法, 它可以提供内部缺陷的相关数据, 还能保证结构自身的完整性, 较为经济方便。CECS21:2000《超声法检测混凝土缺陷技术规程》虽对钢管混凝土缺陷检测作了相关规定, 前人在该领域也做了大量研究, 提供了许多有价值的成果, 但对数据的分析和缺陷的判定较为笼统, 而检测中超声数据的准确性对缺陷的分析至关重要, 故笔者结合工程实例对超声波检测钢管混凝土的缺陷分析和数据修正展开探讨。

1 检测原理

超声应用于钢管混凝土缺陷检测时, 采用的是超声透射波法, 其检测原理为: 一端的发射探头发射出的超声波, 经钢管混凝土通过多种路径由另一端

收稿日期: 2018-02-07

作者简介: 段师剑(1987—), 男, 工程师, 主要从事工程质量检测、鉴定及研究工作

通信作者: 段师剑, 286403958@qq.com

接收探头接收;超声波在传播过程中遇到缺陷时,声波会产生反射而衰减掉一部分能量,另一部分将绕过缺陷由另一端的接收探头所接收,检测时根据接收到的超声波声学参数的平均值和标准偏差的统计计算及异常值的判别,参考波形曲线首波、波幅频率的变化趋势,再结合敲击法的结果对缺陷进行判定^[1]。超声法检测钢管混凝土密实度常用的测试方法有对测法、斜测法、钻孔测法,文中工程检测采用对测法采集声学参数,结合敲击法结果进行分析。常规钢管混凝土对测法检测示意如图1所示,采用对测法时方钢管混凝土中的声波传播路径如图2所示。

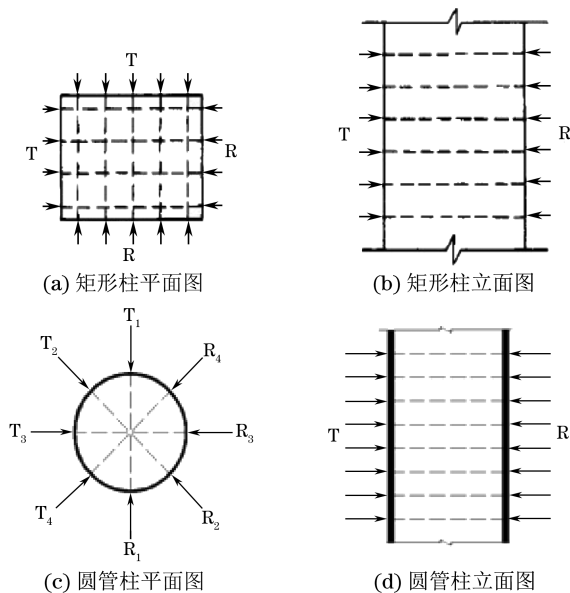


图1 钢管混凝土对测法检测示意

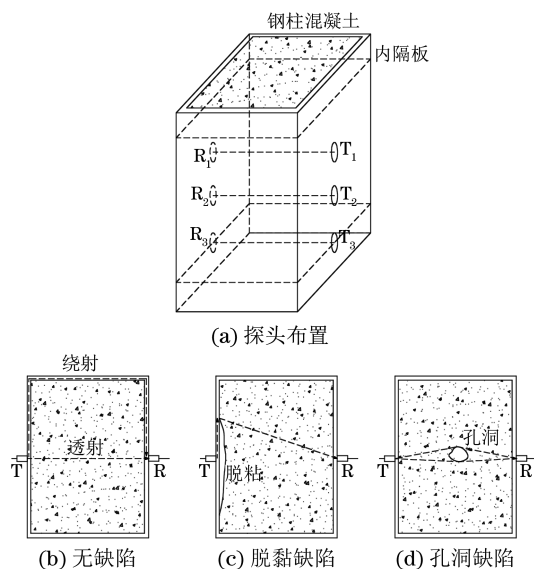


图2 对测法检测方钢管混凝土时的探头布置及声波传播路径示意图

2 工程背景

钢框架高层钢混结构,钢柱为箱型柱,柱结构形式仅端头处有内隔板,牛腿节点部位无横向内隔板(见图3),钢柱内灌注自密实混凝土,实际施工时分段完成浇筑,每段柱为一个浇筑批次,施工在浇筑前将振动棒插入柱子内,边浇筑边振捣。在浇筑完成7 d内进行密实度检测,以降低结合面脱空概率,检测仪器使用ZBL~U510非金属超声仪(见图4)。

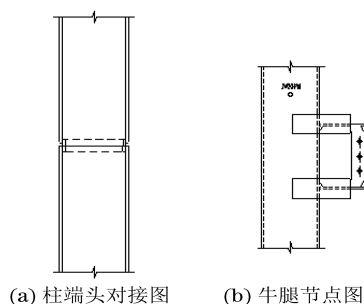


图3 现场柱结构示意图



图4 ZBL~U510 非金属超声仪

3 模拟对比试验

为区分有效波形和脱空现象的无效数据,进行了钢管混凝土无缺陷和脱空时的检测对比试验,作为数据分析时的参照。试验将相同混凝土试块置于两块同规格钢板之间,一组用黄油将混凝土与钢板接触面耦合压紧,使结合面黏结良好;另一组不用耦合剂处理结合面,以模拟脱空。然后分别对两组试件进行密实度检测并采集数据,试验现场如图5所示。

对比试验采集到的波形如图6所示,可见:钢管混凝土密实、无缺陷时采集的波形良好、首波清晰,波幅稳定;而混凝土与钢管壁结合面黏结不良时,存在超声波断路现象,波形杂乱,采集不到有效波形,即脱空现象。

4 检测注意事项

(1) 利用超声法进行钢管混凝土缺陷检测前,

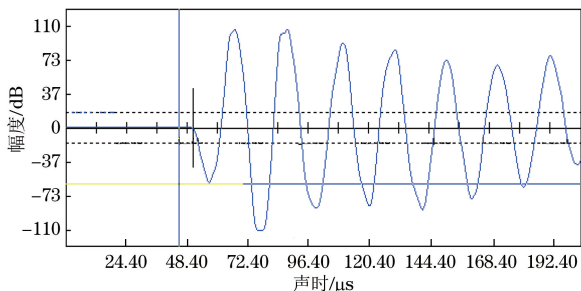


(a) 试件1

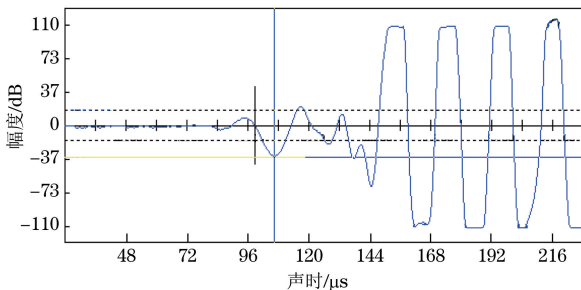


(b) 试件2

图5 对比试验现场



(a) 试件1



(b) 试件2

图6 对比试验采集到的波形

首先应了解混凝土浇筑工艺过程、钢管柱结构形式,这有助于检测时合理布置测点及后续的缺陷分析。

表1 超声法检测钢管混凝土的常规缺陷波形特征

钢管砼缺陷	波形特征
密实钢管砼	首波声时在正常范围,波形表现为等间隔规则周期振动,波幅稳定无畸变
钢隔板区域钢管砼	首波声时短,在隔板中以纵波传播,波速接近 $5\,900\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,波幅低,波幅前部及尾部有衰减
局部微小蜂窝、离析	首波声时长波速低,波幅高,波形杂乱无规律
钢管混凝土胶结不良、脱空	首波声时长,波速较低,波幅稀疏无规律,首波脉冲宽,脱空时无明显首波
钢管混凝土内部孔洞	首波声时长,波速低,首波波幅低,波形后面部分有规律

6 检测数据分析

采用超声数据处理软件,参照标准 CECS21:

(2) 通过敲击法初步判断存在脱空的位置,选择钢管与混凝土胶结良好的部位布置测点,若敲击法有大面积的“空响”,则需进行高压注浆处理,同时应确保钢管外表面光洁、无严重锈蚀。

(3) 应结合构件尺寸和外观质量情况布置测点,一般按钢管实际边长在对侧面用墨线画出等间距的网格,间距宜为 $100\sim 300\text{ mm}$,将网格线交点作为测点并按顺序编号(见图7),测点布设时应避开焊缝、隔板位置。



(a) 现场测点布置



(b) 现场超声数据采集

图7 现场准备及检测工作

(4) 检测前,在各测点均匀涂抹黄油作为耦合剂,使接收、发射探头与钢管柱壁结合面耦合良好,耦合剂不宜过厚也不宜太少,能覆盖探头接触面即可;检测时要压紧探头,使超声波能够较好地传播。

(5) 采集数据时应使探头垂直柱壁并在对侧面保持同一水平位置,即将 T/R 探头按布置好的网格线对称置于相应测点,使探头接触面圆心与网格线交点尽可能重合,再按测点编号逐点采集波形,采集数据时参照模拟对比试验区分有效波形与受到脱空影响的波形,提高数据的准确性。

5 超声法检测钢管混凝土常规缺陷特征

查阅相关研究资料,结合多项工程的钢管混凝土密实度检测实践,总结了超声法检测钢管混凝土的常规缺陷波形特征^[2],如表1所示。

2000 要求对现场采集数据进行分析,分析时应注意超声首波声时的修正。钢管与混凝土两种介质的声阻抗存在较大差异,首波声时修正的目的是将仪器

检测到的声时修正为混凝土中的传播声时,排除不同壁厚传播声时的影响;超声波穿过钢管混凝土的路径分为混凝土和钢管两部分(见图2),超声仪接收到的信号包含两部分声时,超声波在钢管混凝土的传播首波声时,计算公式如下^[3]

$$T = t_c + 2d/C_s \tag{1}$$

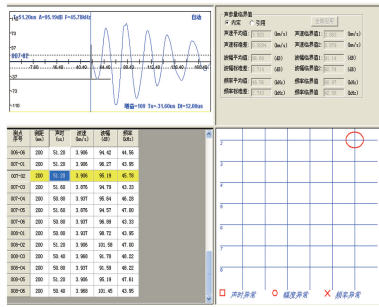
式中: T 为超声波在钢管混凝土中的传播首波声时; t_c 为超声波在混凝土中传播的首波声时; d 为钢管壁厚; C_s 为超声波在钢管中透射传播速度,一般取值为 $5\,900\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

则修正超声在混凝土部分传播的首波声时 $t_c = T - 2d/C_s$ 。

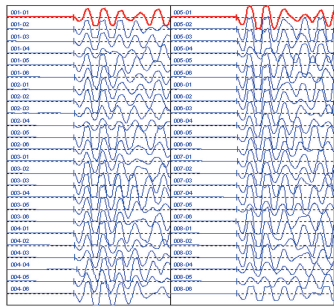
该工程钢管壁厚(δ)规格对应的首波修正分别为: $\delta=8\text{ mm}$ (修正声时 $2.7\text{ }\mu\text{s}$), $\delta=10\text{ mm}$ (修正声时 $3.4\text{ }\mu\text{s}$), $\delta=12\text{ mm}$ (修正声时 $4.0\text{ }\mu\text{s}$), $\delta=14\text{ mm}$ (修正声时 $4.7\text{ }\mu\text{s}$), $\delta=16\text{ mm}$ (修正声时 $5.4\text{ }\mu\text{s}$), $\delta=20\text{ mm}$ (修正声时 $6.8\text{ }\mu\text{s}$)。

如测点采集数据显示测距 200 mm ,所测首波声时为 $51.2\text{ }\mu\text{s}$,钢管壁厚为 8 mm ,修正声时 $2d/C_s = 2.7\text{ }\mu\text{s}$,则超声波在混凝土中传播的首波声时为 $t_c = T - 2d/C_s = 48.5\text{ }\mu\text{s}$,通过修正首波声时可计算超声波在混凝土中传播的理论波速为 $(L - 2d)/t_c = 3\,794\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,其中 L 为探头测距。该测点波形曲线首波清晰,波形表现为等间隔规则周期振动,波幅稳定无畸变,可判定为良好混凝土波形。

通过超声数据处理软件对各构件的采集数据进行分析,可得到声速、波幅、频率平均值及标准偏差(见图8),对显示异常的曲线应结合测点所在位置及现场锤击法记录的数据分析原因。钢管混凝土密实无缺陷时,采集到的波形良好、首波清晰,波幅稳



(a) 波形分析界面一



(b) 波形分析界面二

图8 超声数据处理软件波形分析界面

定,如图6(d)所示。而混凝土与钢管壁结合面黏结不良时,声时长,波速较低,波幅稀疏无规律,首波脉冲宽;当脱空时会产生超声波断路现象,传播介质的声阻抗由强到弱再到强,能量衰减较大,当量级小于或相当于环境干扰波使波形杂乱,无法采集到有效波形,如图6(d)所示;钢管混凝土内部存在空洞缺陷时声时偏大,波幅低,波形后半部分有规律,可依据附录C的空洞尺寸估算方法对空洞缺陷进行估算,因不同类型缺陷对波幅变化影响各异,分析时应以首波声时、声速为主,波幅为辅^[4]。

通过对有效波形的分析,得出所测构件的波速、波幅、频率及相应偏差,如表2所示。

表2 同测距不同壁厚所测声速、波幅、频率及修正声速数据表

构件 编号	测距/ mm	壁厚/ mm	测点数	平均值			标准偏差			修正声速/ ($\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$)
				声速/ ($\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$)	波幅/ dB	频率/ kHz	声速/ ($\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$)	波幅/ dB	频率/ kHz	
1	200	8	48	3.920	96.6	46.6	0.03	2.7	2.7	3.808
2	200	10	32	3.942	60.7	49.9	0.13	2.3	1.4	3.802
3	200	12	36	3.973	71.9	50.0	0.14	6.4	1.3	3.823
4	200	14	20	4.042	64.1	49.0	0.18	7.4	1.4	3.841
5	200	16	32	4.079	64.3	49.5	0.14	5.3	2.3	3.850
6	200	20	32	4.180	55.6	49.2	0.02	5.6	0.6	3.898

对相同测距不同壁厚的钢管混凝土的首波声时进行修正,得出修正后超声波在混凝土中的传播速度为 $3\,800\sim 3\,900\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的,所测首波声速随着壁

厚递增而呈递增趋势,数据显示不同壁厚对超声法检测钢管混凝土缺陷的精确性存在一定影响,通过首波声时修正得出超声波在混凝土中的传播声速,

可一定程度上减小壁厚因素造成的误差,提高对缺陷判定的精确性。

据研究表明,超声波在密实混凝土中的传播速度为 $3\,600\sim 4\,800\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。将工程划分为 9 个检测批,每检测批按 5 根构件共 45 个构件进行检测,所测钢管混凝土超声波有效首波波速均值在 $3\,734\sim 4\,180\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 间,修正声时后混凝土中传播波速均值在 $3\,622\sim 3\,898\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 间,均在有效范围内,且离散性小,测点有效波形首波清晰,波幅稳定,

未发现混凝土不密实缺陷;在这批构件的实际检测中,对波形杂乱,采集的首波声时较大、波速低测点或不能采集有效波形,无明显首波区域的情况,按测点编号对照现场锤击法的检测结果记录区域,发现局部存在钢管壁与混凝土的脱空现象,主要分布在钢柱与楼板面交接区域、后焊接节点区域、焊接端隔板区域(见图 9),以上区域均存在局部受热现象而导致管壁与混凝土脱黏,对脱黏位置应采用钻孔高压注胶处理,然后进行二次超声检测数据采集。

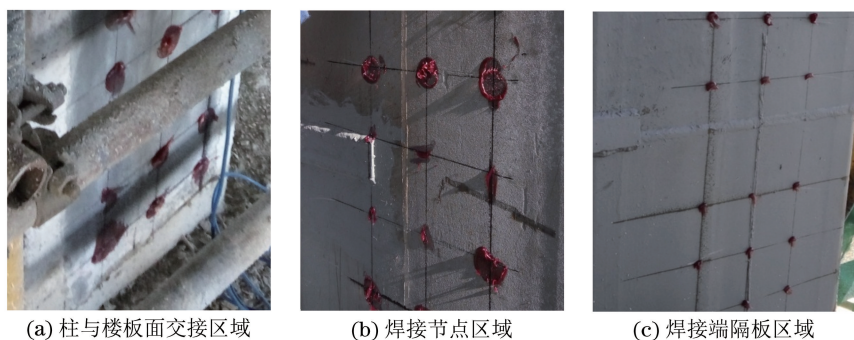


图 9 钢管壁与混凝土的脱空分布区域

7 结语

在超声法检测钢管混凝土密实度缺陷时,应先了解构件结构和混凝土浇筑工艺过程,结合不同结构形式布设测点,在不了解密实与缺陷曲线参数时应进行模拟对比试验,直观地对因胶结不良、脱空采集的参数,有助于实际检测时对有效波的判定;其次脱空处理是检测缺陷的关键,对脱空位置应钻孔高压注入修补胶,使柱壁板与混凝土间耦合密实,确保采集到有效数据;对数据进行分析时应应对首波声时进行修正,计算相应波速并结合波形特征、波幅、频率对缺陷进行综合判别,通过首波声时修正可减

小因管壁厚因素造成的误差,提高对检测缺陷判定的精确性。

参考文献:

- [1] 石世赛,官权.钢管混凝土缺陷定量的超声波检测方法[J].无损检测,2011,33(3):66-67.
- [2] 曾运平,敖卫,薛帆,等.超高层建筑矩形钢管混凝土柱超声波检测技术[J].施工技术,2011,40(22):76-78.
- [3] 蔡奇,陶水忠,王璐,等.超声法检测钢管混凝土缺陷试验研究及工程应用[J].质量检测,2013,31(1):17-20.
- [4] 郭晓光,傅立军.钢管混凝土拱桥拱肋脱空缺陷超声波检测定量评估[J].无损检测,2013,35(2):42-45.

欢迎网上投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告