

公路工程超声波检测基桩完整性 三维成像分析*

李维汉¹, 惠冰², 郭庆辉², 崔风仁², 尚勇²

(1. 山东恒建工程监理咨询有限公司, 山东 潍坊 261057; 2. 山东省交通科学研究院, 山东 济南 250031)

摘要: 超声波作为桩身完整性类型判定的动测技术手段, 大多数情况下采用跨孔透射与平测综合方法, 对于基桩测试参数异常区域的可疑部位, 需采用增加声测线或采用扇形扫测、交叉斜测、CT 影像技术等进行复测和加密测试, 确定缺陷体的位置及空间分布范围。而采用超声波检测基桩完整性三维成像技术可实现基桩缺陷体在深度和水平方向的准确定位。文中基于双声波换能器自发自收功能, 通过跨孔透射与平测综合方法开展现场基桩完整性三维成像与试验数据的三维解译。结果表明, 基桩完整性三维成像技术可对基桩声波速度和低速缺陷体进行三维立体成像, 实现基桩完整性类别的客观判定。

关键词: 桥梁; 超声波; 基桩完整性; 三维成像

中图分类号: U446.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)06-0119-04

公路工程中常采用超声波作为桩身完整性判别的动测技术手段。采用超声波判定桩身完整性类型时, 常采用跨孔透射与平测方法进行扫描, 依据检测数据分析声速、波幅及 PSD 曲线判定基桩完整性类别。测点间距要求不大于 250 mm, 现场检测通常设置为 200 mm, 极易造成测试参数异常区域, 对桩身完整性的客观判别带来干扰。为解决该问题, 马滢依据工程案例分析超声波各声学参数的异常特征, 对桩身完整性的合理判定进行探讨, 并对所存在的问题提出合理化建议, 提出了一套超声波桩基检测技术体系; 彭汉杰引入灰色聚类法理论解决人为判定桩基完整性的主观臆断问题; 陈向阳等针对超声波声学参数异常区域误判、错判、漏判等复杂问题, 采用模糊数学法进行基桩完整性客观评价; 惠冰等从基桩动力原理与现场影响因素出发, 对客观敏感性条件进行分析, 提出了现场检测的优化参数。该文采用超声波检测基桩完整性三维成像技术, 实现基桩缺陷体在深度和水平方向的准确定位, 实现桩身完整性的客观判定。

1 超声波检测基桩完整性平测方法

1.1 超声波检测基桩完整性判别原理

目前, 对公路工程中基桩完整性的检测基本采用跨孔透射与平测综合方法。首先将基桩中埋设的

声测管充满水并保持通畅状态, 将发射和接收换能器置于声测管中, 调试仪器处于正常工作状态; 然后依据桩长、桩径、灌注时间、声测管材料参数及声测管间距等物理指标设置超声波测桩仪器试验参数; 最后将试验检测数据传入计算机, 对超声波穿过桩身首波到达时间、接收波幅值、接收脉冲主频率、接收波形及频谱等参数进行综合分析, 实现对基桩完整性的判定。

1.2 跨孔透射与平测结合方法

超声波探头具有自发自收功能, 将探头放入对应声测管中, 保持声测管疏通且处于充满水状态, 调整仪器使探头处于桩身底部和同一深度(见图 1)。设置桩长、桩径、声测管数量、管距等基桩参数和管径、壁厚等声测管参数, 统一提升各探头, 达到桩顶部时数据采集完毕(见图 1)。

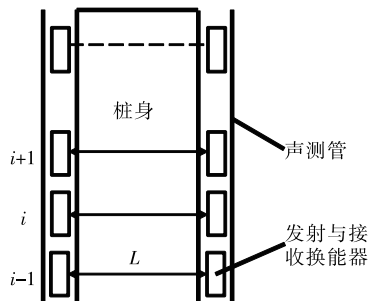


图 1 超声波检测基桩平测示意图

* 基金项目: 山东省交通运输厅科技计划项目(2018B26)

现场检测中应注意桩基灌注时间与检测时间、声测管的畅通及数据采集完整性等影响客观评价的因素。

1.3 超声波检测基桩平测方法现场检测

采用超声波跨孔与平测综合方法对山东省某高

速公路工程项目中 6 根基桩进行现场数据采集,并提取解译后数据的声学参数,获得各基桩的平均声速、声速异常判定值、声速标准值及声速离散系数,按照基桩完整性判定准则实现桩身质量综合评判。各基桩检测结果见表 1、见图 2。

表 1 基桩的超声波检测结果

| 桩号 | 测面 | 平均声速/ ($\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$) | 声速异常判定值/ ($\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$) | 声速标准差/ ($\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$) | 声速离散系数/% | 评判类别 |
|------|-----|--|---|---|----------|------|
| 1-2 | | 5.499 | 5.237 | 0.131 | 2.38 | |
| 4-1# | 1-3 | 4.321 | 3.597 | 0.362 | 8.38 | I |
| | 2-3 | 4.896 | 4.248 | 0.324 | 6.62 | |
| | 1-2 | 4.660 | 3.576 | 0.542 | 11.63 | |
| 4-2# | 1-3 | 4.516 | 4.230 | 0.143 | 3.17 | I |
| | 2-3 | 3.942 | 3.588 | 0.177 | 4.49 | |
| | 1-2 | 4.447 | 3.441 | 0.503 | 11.31 | |
| 4-3# | 1-3 | 3.756 | 2.824 | 0.466 | 12.41 | I |
| | 2-3 | 4.644 | 4.274 | 0.185 | 3.98 | |

| 桩号 | 测面 | 平均声速/ ($\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$) | 声速异常判定值/ ($\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$) | 声速标准差/ ($\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$) | 声速离散系数/% | 评判类别 |
|------|-----|--|---|---|----------|------|
| 1-2 | | 5.165 | 4.289 | 0.438 | 8.48 | |
| 4-4# | 1-3 | 4.721 | 3.879 | 0.421 | 8.92 | I |
| | 2-3 | 4.238 | 3.888 | 0.175 | 4.13 | |
| | 1-2 | 5.029 | 4.203 | 0.413 | 8.21 | |
| 4-5# | 1-3 | 4.620 | 3.706 | 0.457 | 9.89 | I |
| | 2-3 | 4.349 | 4.005 | 0.172 | 3.95 | |
| | 1-2 | 4.505 | 3.449 | 0.528 | 11.72 | |
| 4-6# | 1-3 | 3.182 | 2.202 | 0.490 | 15.40 | I |
| | 2-3 | 4.817 | 4.297 | 0.260 | 5.40 | |

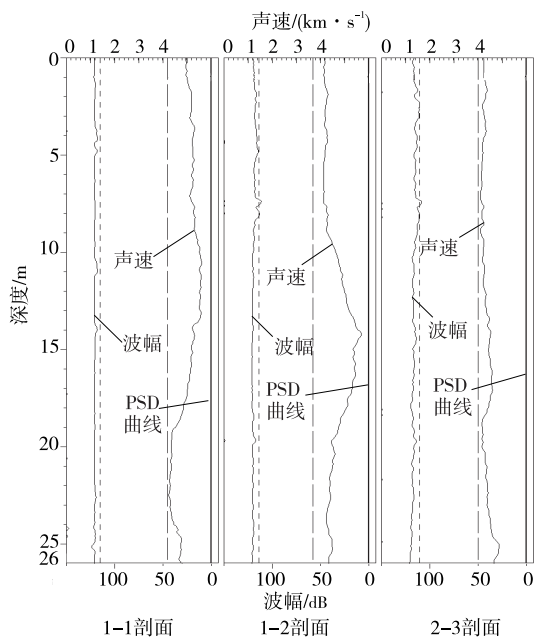


图 2 超声波检测基桩波形图

2 超声波检测基桩完整性三维成像分析

2.1 超声波检测基桩完整性三维成像方法

跨孔透射与平测方法作为公路工程基桩完整性检测常用手段,其应用广泛。但对于桩身质量可疑的声测线附近需采用增加声测线或采用扇形扫测、交叉斜测、CT 影像技术等进行复测和加密测试,确

定缺陷位置和空间分布范围,排除因声测管耦合不良等非桩身缺陷因素导致的异常声测线。针对可疑部位进行复测主要采用跨孔透射与平测、跨孔透射与斜测、跨孔透射与平斜测综合方法,其优缺点对比见表 2。

表 2 不同测试方法对比

| 测试方法 | 优点 | 缺点 |
|----------------------|---|---------------------------|
| 跨孔透射与平测 | 不需数学计算和三维成像,测试速度快,能准确判定缺陷深度 | 不能给出缺陷的水平分布 |
| 跨孔透射与斜测 | 可三维成像,数据量大,成像精度高,可直观判定缺陷体在深度和水平方向的分布 | 需反复提拉,采集时间长,成像速度慢,占计算机内存大 |
| 跨孔透射、平测与斜测综合(三维成像分析) | 野外采集速度快,数据量小,成像速度快,可三维成像,实现基桩内缺陷立体分布(深度和水平方向分布)判定 | 对技术人员要求高,需掌握数学计算和反演专业知识 |

跨孔透射与平斜测综合方法采用的声测管的电缆上有 2 个声波换能器,其既可作为发射换能器也可作为接收换能器;各深度位置的射线路径有 4 条,既有平行射线又有倾斜射线(见图 3),可对每个剖面进行反演成像,给出缺陷的深度和水平方向分布。

其现场采集方法与传统声波测试方法一样,先将声波换能器放到基桩底部,然后同时提拉电缆,一次性采集所有数据,现场测试速度快。现场采集时保持电缆提拉速度较慢且匀速,基桩声波仪器自动进行扫描叠加,以增强声波信号的信噪比。由于4个换能器的相对高差较小,透射声波的振幅衰减较小,采集的声波数据质量高。

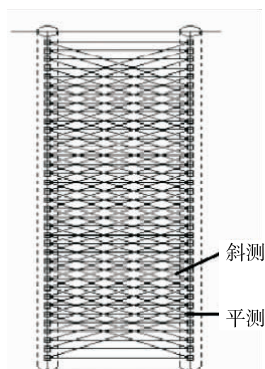


图3 跨孔透射与平斜测综合方法

通过跨孔透射与平斜测综合方法完成野外数据采集,并对基桩声波实现三维成像,对各剖面基桩内速度异常区三维成像,提取三维低速异常体的表面,可直观地看到基桩内缺陷的立体分布。

室内数据解译步骤:1) 输入声波数据;2) 分析数据曲线,包括基桩截面和声测管分布图、射线路径图、时差曲线图、声波速度图等;3) 反演参数设置;4) 反演;5) 查看反演误差下降曲线、CT剖面速度色谱图、CT剖面速度等值线图;6) 显示基桩速度三维立体图;7) 显示基桩内低速缺陷三维立体图。

2.2 超声波检测基桩完整性三维成像现场试验

某高速公路工程桥梁基桩参数如下:桩号1-1#,桩长 L 为30 m,桩径 ϕ 为1 200 mm,砼设计强度C30;声测管直径 ϕ 为45 mm,壁厚 d 为3 mm。浇筑时间为2018年6月12日,基桩完整性检测时间为2018年7月15日。因采用跨孔透射与平测方法判定基桩完整性时存在可疑区域,故采用跨孔透射与平斜测综合方法重新进行判定。基桩1-1#射线路径见图4。

对现场采集试验数据进行分析,提取基桩声波速度三维立体图(见图5)、基桩内低速缺陷三维立体图(见图6)。由图5、图6可知:1-1#基桩在0~20 m范围内存在声速异常区;依据基桩声波三维成像分析,该桩存在缺陷体,并最终判定为Ⅱ类桩。对异常区进行低速缺陷体三维立体成像,可准确地对

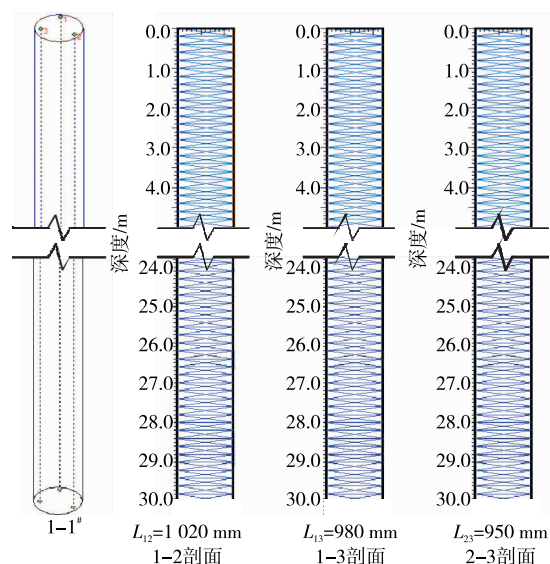


图4 基桩1-1#射线路径图

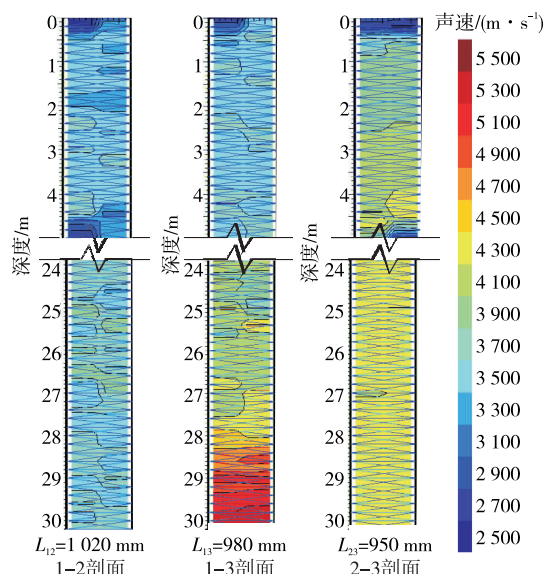


图5 基桩1-1#声速剖面图

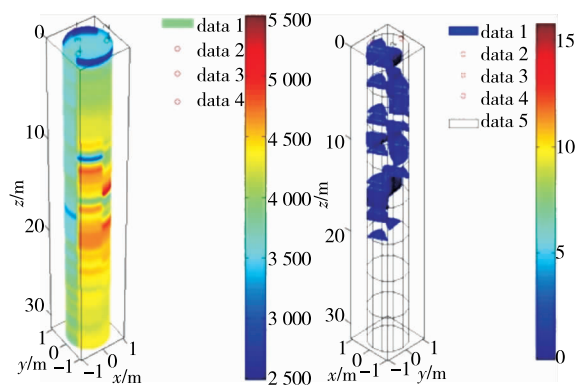


图6 基桩声波速度和低速缺陷三维立体图

基桩缺陷体进行深度和水平部位判别。

3 结语

跨孔透射与平斜测综合方法采用的声测管的电缆上有2个声波换能器,其具有发射和接收双重作用;每个深度位置的射线路径有4条,既有平行射线又有倾斜射线,可实现基桩缺陷体在深度和水平方向的准确定位。采用超声波检测基桩完整性三维成像技术,基于双声波换能器自发自收功能对基桩实行跨孔透射与平斜测综合测试,可对基桩声波速度和低速缺陷体进行三维立体成像,实现基桩缺陷体在深度和水平方向的准确定位,客观判定基桩的完整性。

参考文献:

- [1] JTG/T F81-01-2004,公路工程基桩动测技术规程[S].
- [2] JGJ 106-2014,建筑基桩检测技术规范[S].

- [3] 吴桂林,刘宗明,赵宾.公路工程基桩的声波透射检测应用研究[J].公路,2014(6).
- [4] 邓国文,王齐仁,化得钧,等.声波透射法在基桩检测中的应用[J].工程勘察,2013(6).
- [5] 李廷,徐振华,罗俊.基桩声波透射法检测数据评判体系研究[J].岩土力学,2010,31(10).
- [6] 马深.超声波透射法在桥梁桩基完整性检测中的应用[J].公路与汽运,2014(6).
- [7] 彭汉杰.灰色聚类在基桩超声波检测中的评估研究[J].筑路机械与施工机械化,2016,33(10).
- [8] 陈向阳,王志鑫.模糊数学在超声波检测桩基完整性中的应用[J].公路与汽运,2016(2).
- [9] 苗熹,惠冰,彭汉杰.超声波透射法测桩异常结果的研判[J].山东交通科技,2017(4).
- [10] 惠冰,张立,苗熹.声波透射法检测桩身完整性非缺陷因素的敏感性分析[J].公路,2017(9).

收稿日期:2019-02-17

(上接第62页)

- [7] Prowell B D, Zhang J, Brown E R. Aggregate properties and the performance of superpave-designed hot mix asphalt[R]. NCHRP Report, 2005.
- [8] P K Oduroh, K C Mahboub, R M Anderson. Flat and elongated aggregates in superpave regime[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2000, 12(2).
- [9] 沈小俊,石飞,李铁军,等.沥青路面集料标准化加工技术和工艺探讨[J].公路与汽运,2014(2).
- [10] 卢亮,王端宜,詹小丽.针片状颗粒含量对沥青混合料性能的影响及其降低途径[J].公路,2007(5).
- [11] 何静,宋涛,黄维蓉,等.针片状含量与沥青混合料性能的关系分析[J].公路与汽运,2014(2).
- [12] 程平均,朱建秋.针片状颗粒含量对路面沥青混合料的性能影响研究[J].广东科技,2014(24).
- [13] 贾娟,张肖宁.沥青混合料车辙试验方法的比较分析[J].公路,2004(11).

- [14] 沈佳,王慧.APA车辙试验方法的研究进展[J].中外公路,2016,36(2).
- [15] 李卫勇,张雷,杨建华,等.圆柱形试件用于国标车辙动稳定度试验的可行性分析[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2017,36(12).
- [16] 王慧.使用APA评价场道沥青混合料抗车辙性能[J].中外公路,2013,33(5).
- [17] 陈祥义,吴剑.国外沥青混合料抗车辙性能试验方法评价[J].中外公路,2007,27(1).
- [18] JTG E20-2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [19] 刘占良,郝景贤.粗集料性能对沥青混合料性能的影响[J].公路,2015(7).
- [20] 马士宾,袁文瑞,王清洲,等.集料棱角对沥青混合料性能影响研究[J].中外公路,2015,35(2).

收稿日期:2019-03-11

(上接第118页)

- 阶段初拉索力[J].公路与汽运,2017(6).
- [4] 邵旭东.桥梁工程[M].北京:人民交通出版社,2003.
- [5] 徐达,王定文,王华,等.MIDAS/Civil桥梁结构分析技巧与实例[M].北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [6] 周水兴,王小松,田维锋.桥梁结构电算—有限元分析方法及其在MIDAS/Civil中的应用[M].北京:人民交通出版社,2013.

- [7] 周国玲,丁少凌,顾双春.无应力索长控制法在斜拉桥调索中的应用[J].公路与汽运,2012(4).
- [8] 陈俊城.悬臂现浇拱桥施工索力优化研究[D].成都:西南交通大学,2014.
- [9] 蒋陈陈.无背索斜拉桥成桥索力优化研究[D].西安:长安大学,2012.

收稿日期:2019-02-21