文章编号: 1674-8085(2019)03-0076-06

跨水域大桥桩基础施工质量评价-案例分析

*邸云菲¹, 袁枫斌², 陈佳伟³, 陈俊雯¹, 杜乃德⁴

(1. 滁州学院地理信息与旅游学院,安徽,滁州 239000; 2. 中咨华科交通建设技术有限公司,北京 100195;

3. 安徽省建筑工程质量监督检测站,安徽,合肥 230088; 4. 滁州四维测绘有限公司,安徽,滁州 239000)

摘 要:采用超声波法及取芯法对国内某跨海大桥桩基础施工质量进行评价。超声波法检测时发现波幅及波速存 在异常点,进而利用取芯法对取出的芯样进行外观描述及抗压试验,试验结果表明:波幅及波速异常点处的芯样 侧面存在微麻面,且抗压强度较低,并判定桩身局部存在离析现象,桩身结构完整性为II类。超声波法为实体工 程中桩身质量的检测提供了便捷,但其精准性不足,需借助取芯法进行验证。

关键词: 桩基础质量检测; 桩身缺陷; 取芯法; 超声波法

中图分类号: U445 文献标识码: A DOI:10.3969/j.issn.1674-8085.2019.03.014

CONSTRUCTION QUALITY EVALUATION OF THE PILE FOUNDATION FOR ACROSS WATER BRIDGE -CASEANALYSIS

^{*}DI Yun-fei¹, YUAN Feng-bin², CHEN Jia-wei³, CHEN Jun-wen¹, DU Nai-de⁴

(1. School of Geographic Information and Tourism, Chuzhou University, Chuzhou, Anhui 239000, China; 2. Zhong Zi Hua Ke Transportation Construction
 Technology Co. LTD, Beijing 100195, China: 3. Anhui Construction Engineering Quality Supervision and Inspection Station, Hefei, Anhui 230088, China;
 4. Chuahou Siwei Surveying and Mapping Co. LTD, Chuzhou, Anhui 239000, China)

Abstract: The ultrasonic wave method and coring method were used to evaluate the construction quality of pile foundation of a sea-crossing bridge. The ultrasonic wave method found abnormal points in the wave amplitude and wave velocity, and then used the coring method to carry out appearance description and compression test on the core sample taken out. The test results showed that there were micro pits on the side of the core sample at the abnormal points of wave amplitude and wave velocity, and the compression strength was low. It was also determined that there was segregation phenomenon in the local part of the pile body, and the structural integrity of the pile body was class II. The ultrasonic wave method provides convenience for the quality inspection of pile body in solid engineering, but its accuracy is insufficient and needs to be verified by coring method.

Key words: pile foundation quality inspection; pile defects; coring method; ultrasonic wave method

0 引言

桥梁桩基础施工质量直接决定桥梁运营安全, 因此,桩身施工质量在工程质量检测中占据重要地 位^[1]。桩基础施工过程中的桩身缺陷主要有离析、 缩颈、桩身空洞及夹泥等^[2],缺陷的存在直接影响 桩基础的承载力,从而影响上部结构的安全。桩基 础属于地下隐蔽工程,已建成的桩基础无法通过表

收稿日期: 2018-12-26; 修改日期: 2019-01-10

基金项目: 安徽省高校自然科学研究一般项目(KJ2017B01)

作者简介: *邸云菲(1991-), 女, 安徽滁州人, 助教, 硕士, 主要从事结构工程、基础工程研究(E-mail:1455674314@qq.com);

袁枫斌(1991-),男,宁夏人,助理工程师,硕士,主要从事隧道设计、基础工程研究(E-mail:906704919@qq.com);

陈佳伟(1991-),男,安徽合肥人,助教,主要从事桩基检测工作(E-mail:1509806075@qq.com);

陈俊雯(1991-),女,安徽亳州人,滁州学院地理信息与旅游学院本科生(E-mail:793482300@qq.com);

杜乃德(1991-), 男, 安徽滁州人, 主要从事工程测绘工作(E-mail:1942028151@qq.com);

观现象判断其施工质量。在国内外的质量评价的发展中,人们一直不断探索。20世纪30年代打桩分析中加入了应力波理论;60年代波动方程的差分数 值解法也被应用到桩基中^[3];70年代中后期,美国 采取了一种新的桩身质量分析方法,即记录桩顶应 变与加速度所得的时域波形对桩身进行实时分析^[4], 我国在20世纪70年代也开始了桩动力检测理论的 研究,而后又产生了动力参数测桩法、锤击贯入高 应变法、波形拟合法。时至今日,建筑行业常采用 的几种检测方法都有了较高的可靠度,主要有静载 荷试验法、振动检测法、射线法、超声波检测法、 取芯法等。

在实体工程中,桩基础检测一般先运用无损检测(超声波法、低应变法、高应变法),初步判定 桩身完整性,当发现信号引号时,需借助取芯法进 一步验证^[5]。 本研究以国内某跨海大桥实体工程为案例。跨 海大桥深水区全部采用钢管桩作为桩基础,采用打 入钢管桩方案,浅水区采用钻孔灌注桩基础,利用 栈桥进行施工,其中引桥基础中有1.5m桩径10根。 运用超声波法及取芯法评价桥梁桩身的完整性。

1 超声波法



Fig.1 Acoustic method steps

选取跨海大桥 10 钻孔灌注桩开展超声波检测, 检测结果为:9 根为 I 类桩,1 根为 II 类桩,本次 检测未发现III、IV类桩,测得结果见表1。

序号	墩桩号	桩径 (mm)	桩长 (m)	检测方法	桩身类型	桩身结构完整性描述	完整性评价
1	32-1	1500	48	声波法	摩擦桩	桩身完整	Ι
2	32-2	1500	48	吉波洋	麻坂杧	距桩顶设计标高 43m	П
2	52-2	1500	40	产权亿	/手1尔/江	处声学信号异常	11
3	35-5	1500	53	声波法	摩擦桩	桩身完整	Ι
4	35-6	1500	53	声波法	摩擦桩	桩身完整	Ι
5	37-5	1500	53	声波法	摩擦桩	桩身完整	Ι
6	37-6	1500	53	声波法	摩擦桩	桩身完整	Ι
7	38-1	1500	53	声波法	摩擦桩	桩身完整	Ι
8	38-2	1500	53	声波法	摩擦桩	桩身完整	Ι
9	39-3	1500	53	声波法	摩擦桩	桩身完整	Ι
10	39-4	1500	53	声波法	摩擦桩	桩身完整	Ι

表 1 基桩完整性检测现场临时结果 Table 1 Temporary on-site results of foundation pile integrity test

由表1所示,32-2号桩在距桩顶43m处出现 了信号异常,现选取32-2号桩为例进行分析,该 桩桩长48m,桩径1.5m。依据规定,当桩径不超 过1000mm时,安装声测管不得少于两根,一条 测线;当桩径介于1000mm至1500mm时,布置 声测管不得少于3根,三条测线;当桩径超过1500 mm时,布置声测管不得少于4根,六条测线;当 桩径超过2500mm时应当增加声测管^[6]。本工程 测量布置四根声测管,其声测管平面布置图如图2 所示。





声测管布置编号为:A、B、C、D,检测剖面 共6个剖面,分别为A-B、B-C、C-D、A-D、A-C、 B-D。

检测到的声学数据首先要计算声时值、声速 值,再进行分析与判定,判据分为声速判据、波幅 判据和 PSD 判据^[7]。声时值、声速值计算方法如下:

$$t' = \frac{D - d}{v_{t}} + \frac{d - d'}{v_{w}}$$
(1)

$$t = t_i - t_0 - t' \tag{2}$$

$$v_i = \frac{l}{t} \tag{3}$$

$$v_m = \sum_{i=1}^n \frac{v_i}{n} \tag{4}$$

该桩典型断面的声学参数测试结果见表 2-表 4。

表 2 AB 剖面、BC 剖面超声波透射法检测结果

Table 2 Ultrasonic	transmission test	results of Ab	section and BC section
ruore 2 Ortrubonne	tranoninoonon teot	results of the	beetion and be beetion

AB 剖面	声速 (km/s)	波幅 (dB)	声时(μs)	PSD(µs/cm)	BC 剖面	声速 (km/s)	波幅 (dB)	声时(μs)	$PSD(\mu s/cm)$
最大值	8.268	112.29	191	131.9	最大值	9.245	115.1	216.6	186.6
最小值	4.45	98.91	102.8	0	最小值	4.524	59.83	106	0
平均值	4.864	107.4	174.2	2.7	平均值	5.487	107.27	178.7	1.9
判定值	3.8	101.4	188.4		判定值	3.8	101.27	191.4	
标准差	0.151	2.94	6.3		标准差	0.17	5.78	5.7	
离差	3.10%	2.70%	3.60%		离差	3.10%	5.40%	3.20%	

表 3 CD 剖面、AD 剖面超声波透射法检测结果

Table 3 Ultrasonic transmission test results of CD section and AD section

CD 剖面	声速 (km/s)	波幅(dB)	声时 (μs)	PSD(µs/cm)	AD 剖面	声速 (km/s)	波幅 (dB)	声时 (μs)	$PSD(\mu s/cm)$
最大值	3.989	94.15	314.2	72.5	最大值	5.239	114.79	200.8	22.6
最小值	2.673	69.37	210.6	0	最小值	4.034	90.95	154.6	0
平均值	2.981	88.02	281.9	1.8	平均值	4.64	104.7	172.2	0.7
判定值	3.8	82.02	318.3		判定值	4.39	98.7	187.5	
标准差	0.154	3.96	16.1		标准差	0.12	3.74	7	
离差	3.10%	5.40%	3.20%		离差	2.60%	3.60%	4.10%	

表 4 AC 剖面、BD 剖面超声波透射法检测结果

	Table 4 Offasonic transmission test results of AC section and BD section								
AC 剖面	声速 (km/s)	波幅 (dB)	声时 (μs)	PSD(µs/cm)	BD 剖面	声速 (km/s)	波幅 (dB)	声时 (μs)	PSD(µs/cm)
最大值	7.125	114.48	297.2	59.6	最大值	7.168	115.95	273.8	150.7
最小值	3.869	70.71	161.4	0	最小值	4.383	80.66	167.4	0
平均值	4.629	98.6	247.4	1.5	平均值	4.778	101.53	248.9	5.9
判定值	4.362	92.6	266.5		判定值	3.8	95.53	271.9	
标准差	0.124	5.5	8.6		标准差	0.094	4.71	10.1	
离差	2.70%	5.60%	3.50%		离差	2.00%	4.60%	4.10%	

. He CAC T 1 1 4 T TL 1 DD

由表 2-表 4 可见,不同剖面中的声速、波幅及 声时变化较大,其中 CD 剖面的声速较小,波幅较 大且声时较大。因此, CD 剖面混凝土疑似有质量 缺陷。

关于声时判据, 若临界值的声速值比实测混凝 土高,则相应区域判为缺陷可疑区域;关于波幅判 据, 若临界值的波幅比实测混凝土高, 相应区域判 为缺陷可疑区域;对于 PSD 判据,当测量的某区域 PSD 值变化显著,判断该区域为可疑区域。针对 CD 剖面分析, AC 剖面的声速、波幅、PSD 观测图 像见图 3-图 5。



图 3 声时、PSD-深度曲线 Fig. 3 Sonic time, PSD-depth curve



Fig.4 Velocity, amplitude -depth curve

从图 4 中可以看出, 声速深度曲线在深度为 43 m 左右位置处发生下降, 这表明该桩在 43 m 左右位 置处存在缺陷;观察图 3,图 4 可知,波幅曲线在 该处也低于其临界值, PSD 曲线在该处存在突变现 象。

通过观察该桩桩身波列图图 5,依据图像显示可 以观察到深度 43 m 左右波列图出现异常, 故综合考 虑可以判定,该桩在43 m位置处存在离析或夹泥现

象,导致该位置的波速及波幅降低、PSD曲线突变。

36.00m		36.00m	
36.50m		36.50m	
37.00m		37.00m —	
37.50m		37.50m	/VVVVV
38.00m	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	38.00m	
38.50m	+^///////	38.50m —	-+/////////////////////////////////////
39.00m	+	39.00m	-+
39.50m		39.50m	
40.00m	+-vvvvv	40.00m	
40.50m		40.50m	-+
41.00m	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	41.00m	-+
41.50m	~	41.50m	-+^^///////////////////////////////////
42.00m		42.00m	
42.50m		42.50m	
43.00m		43.00m	-+
43.50m		43.50m	
44.00m		44.00m	
44.50m	$\rightarrow \gamma \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda$	44.50m	
45.00m	$-+ 1 \eta \eta \eta \eta \dot{\eta} \dot{\eta} \dot{\eta} \dot{\eta} \dot{\eta} \dot{\eta} \dot$	45.00m	
45.50m	-+ 1 M M - 1	45 50m	-
46.00m		46.00m	-
46.50m	-1000000000000000000000000000000000000	46 50m -	
	(1) BD		(2) AD
	36.00m	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	~~~~
	36.50m	$\sim \sim $	~~~~
	37.00m	$\sim \sim $	~~~~~
	37.50m	~~~~~	~~~~
	38.00m	~~~~	~~~~
	38.50m		
	39.00m	~~~~~	~~~~
	40.00m	$\sim \sim $	~~~~
	40.50m	~~~~~	~~~~
	41.00m	~~~~~	~~~~~
	41.50m	~~~~~	~~~~
	42.00m		
	42.50m		
	43.00m		
	43.50m		
	44.00m		
	44.50m	$\sqrt{\sqrt{\sqrt{\sqrt{\sqrt{\sqrt{\sqrt{\sqrt{\sqrt{\sqrt{\sqrt{\sqrt{\sqrt{\sqrt{\sqrt{\sqrt{\sqrt{\sqrt{$	\sim
	45.50m	hhh	~~~~
	46.00m	hhn~~	V
	46.50m	MM	$\sim \sim \sim$
	(3) AC	
	图 5 BD、AD、	AC 剖	面波形图

Fig.5 BD, AD, AC section oscillogram

通过超声波法发现 32-2 桩在距桩顶 43 m 处波 速及波幅降低、PSD 曲线突变,初步判定桩身存在 离析或夹泥现象,但不排除声测管是否上锈等因素 影响,因此,需借助取芯法开展桩身完整性判定。

2 取芯法

按照取芯法操作流程进行取芯法测量,需要进 行以下步骤(见图 6):



Fig.6 Coring procedure

在桩基础取芯过程中,除了要注意仪器的操作 规范之外,还需根据现场情况,在取芯之前充分地 弄清桩基础中的钢筋位置,防止在取芯过程中钻到 钢筋。

桩径不大于 1.2 m 时,要保持一定的连续性, 避免过多的断开,且断开口处应能吻合,钻孔数为 1,钻孔位置应布置在桩中心 10~15 cm 处;桩径介 于 1.2 m 至 1.6 m之间,钻孔数为 2,钻孔位置应在 距桩中心 0.15~0.25 D (D 为桩径)的范围内均匀对 称布置;桩径不小于 1.6 m,钻孔数应为 3。该桩直 径 1500 mm,故本工程采用两孔抽芯。依据规范, 应当选用直径为 100 mm 且不宜小于最大粒径 3 倍 的抗压芯样试件;若采用小直径芯样试件,其最小直 径应为 70~75 mm,至少为骨料最大粒径的 2 倍^[8]。



图 7 芯样 Fig.7 Core samples

芯样试件混凝土强度的检测结果:

$$f_{cu}^c = \alpha \, \frac{4F}{\pi d^2} \tag{5}$$

换算成相应于测试龄期的 150 mm×150 mm× 150 mm 的立方体试块的抗压强度值。式子中, *f^c_{cu}* 为试件混凝土强度换算值, 单位 MPa; F 为芯样 抗压试验测出的最大压力, 单位 N; d 为芯样的平 均直径, 单位 mm; α 为不同高径比的芯样试件混 凝土强度换算系数^[9], 应按表 5 列举的系数选用。

表 5 芯样强度换算系数表(

Table 5 Core strength conversion coefficient table

高径比	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
系数	1.00	1.04	1.07	1.10	1.13	1.15	1.17	1.19	121	122	124

测试结果需要根据规范要求判断是否需要进行修正,当选用对应测区修正系数时,标准芯样试件不得少于6个,小直径芯样的数量应适当增加。修正系数计算:

$$\eta = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} \left(f_{cor,i}^{\varepsilon} / f_{cu,i}^{\varepsilon} \right)$$
(6)

修正计算:

$$f_{cu,i0}^{\varepsilon} = \eta \times f_{cu,i1}^{\varepsilon} \tag{7}$$

46.3

式中η为对应测区修正系数,m为试件数量,f^e_{cor,i}为 试件的混凝土立方体抗压强度换算值,f^e_{cu,i}为选用 测试方法得到的与芯样对应测区的混凝土立方体 抗压强度换算值^[10]。将测试数据计算整理,测得试 样平均抗压强度,所测结果见表6。

表 6 芯样强度检测结果 Table 6 Core strength test results

				-			
样品编号	取芯部位(m)	试样直径 (mm)	试样高度 (mm)	试样高径 比	修正系数	极限荷载 (KN)	抗压强度(MPa)
1-42	42.5~43.0	74	111			164.30	48.1
1-43	43.0~43.5	74	111		1.1.5	202.20	12.9
2-42	42.5~43.0	74	111	1.5	1.15	164.50	47.2

111

表 6 所示,本工程检测中发现其中一孔检测 出在桩身 43.00 m 处的混凝土颜色产生变化,其 侧面检测出轻微麻面现象,测得抗压强度值为 12.9 MPa,另一孔测得抽芯强度值为 46.3 MPa,取

43.0~43.5

2-43

74

平均值得强度为 29.6 MPa,不符合强度设计要求。对此桩需要进行加孔检测,测得强度结果为 51.2 MPa,平均计算出三孔深度芯样强度,桩强度 满足要求。

179.30

由三孔所测出数据及现场图片发现, 混凝土 芯样连续、完整、胶结较好,芯样侧表面较光滑、 骨料分布基本均匀,芯样呈柱状、断口基本吻合, 但发现在 1-43 处出现一定的麻面,但在 2 号钻孔和 3 号钻孔未发现该现象。3 个钻孔中未在同一位置 处出现缺陷,且该处长度小于 10 cm。根据《建筑 基桩检测技术规范》,判断该桩为 II 类。最后分析 得出:这是由于缺陷处水泥存在质量问题,使得胶 结力弱,强度降低。

3 结论

本文以国内某跨海大桥为案例,利用超声波和 取芯法开展桩身完整性检测,得出如下结论:

 1)超声波检测中发现波速及波幅降低、PSD 曲线突变,但变化幅度不大,主要是由于声波传播 过程中出现了介质变化,初步判定为离析或夹泥现 象。通过取芯法直接对芯样表观现象进行观察,并 结合芯样抗压试验、外观现象及不同钻孔之间的对 比,判定桩基础质量的类别。

2)超声波法在不破坏基础前提下快速、有效 地判断出桩身结构是否完整,但不能精确分析出缺 陷类型,需借助取芯法等破坏试验进一步地分析, 需要一定的工期及费用,具有一定的局限性。因此, 在实体工程中,先利用超声波检测桩身的完整性, 若发现声速、波幅、声时及 PSD 出现异常时,可根据取芯法进行佐证。

参考文献:

- [1] 孙国,顾元宪. 基于结构动力修改的桩基检测方法[J]. 计算力学报,2004,21(6):688-692.
- [2] 张宏,鲍树峰,马晔. 大直径超长桩桩身缺陷的超声波透射法检测研究[J].公路,2007(3):69-72.
- [3] Smith E A. Pile driving analysis by the wave equation[J]. Journal of the Soil Mechanics & Foundations Division, 1960(86):35-64.
- [4] Edde R D. Case pile wave equation analysis : CAPWAPC, evaluation of driven piles[D].Ottawa:University of Ottawa, 1991:3-4.
- [5] 董承全,张佰战,胡在良,等. 桩身完整性不同检测方法 的对比试验[J].铁道建筑,2009(12):75-77.
- [6] 黄克超,陶建伟. 用波形拟合方法检测桩基质量[J].地 球物理学报,1996(S1):326-332.
- [7] 广东省第1座跨海大桥——南澳大桥正式通车[J].施工 技术,2015,44(2):122.
- [8] 黄燕. 超声波法检测基桩完整性缺陷综合判断方法的 细化[J].才智,2010(23):30-31.
- [9] 李建华. 钻孔取芯法在桥梁桩基础质量检测中的应 用[J].城市建筑,2017(3):261-262.
- [10] 乔映旭. 砼标准试件强度与芯样强度关系对照分析[J]. 甘肃科技,2017(17):99-100.

(上接第66页)

- [7] Fu A, Qin N, Wang Y, et al. Nframe: A privacypreserving with non-frameability handover authentication protocol based on (t, n) secret sharing for LTE/LTE-A networks[J]. Wireless Networks, 2017, 23(7):2165-2176.
- [8] Shgluof I, Ismail M, Nordin R. An Enhanced System Information Acquisition Scheme for CSG Femtocells in 3GPP LTE/LTE A Systems[J]. Wireless Personal Communications, 2017, 96(3): 3995-4011.
- [9] Kuo F C, Ting K C, Wang H C, et al. On Demand Resource Allocation for LTE Uplink Transmission Based on Logical Channel Groups[J]. Mobile Networks & Applications, 2017,22(5):868-879.
- [10] Hamid M, Björsell N, Slimane B. Empirical Statistical Model for LTE Downlink Channel Occupancy[J].
 Wireless Personal Communications, 2017, 96(1):

855-866.

- [11] Ansari S, Boutaleb T, Gamio I, et al. MHAV: Multitier Heterogeneous Adaptive Vehicular Network with LTE and DSRC[J]. ICT Express,2017,3(4):199-203.
- [12] Abdel K A. Performance Bounds of Different Channel Access Priority Classes in Future Licensed Assisted Access (LAA) LTE Networks[J]. Physical Communication, 2017, 25(7): 110-127.
- [13] Pranav S, Harjit S. Optimization of LTE System with Open and Closed-Loop Spatial Multiplexing Transmission Modes[J]. Australian Journal of Electrical and Electronics Engineering, 2017, 14(4): 88-92.
- [14] Radu C, Titus B. An Analysis of the Video Capabilities of Multiple Antenna LTE Networks[J]. MACRo 2015, 2017, 2(1): 87-95.