

# 基于混凝土水化热的大直径灌注桩完整性检测新技术

高 飞<sup>1,2</sup>

(1. 上海中九工程检测有限公司, 上海 200437; 2. 中国船舶工业第九设计研究院, 上海 200063)

**摘 要:** 现有的大直径灌注桩的完整性检测技术存在一定的不足与缺陷。提出了基于混凝土水化热的大直径灌注桩桩身完整性检测新技术。无论何种桩身缺陷, 同正常混凝土的相比, 在水化、凝结、硬化过程中, 释放热量普遍偏少。桩身夹泥等缺陷体甚至不释放热量。同时, 缺陷体对热量的传导能力普遍较差。可以通过精确测量大直径灌注桩混凝土水化热而产生的温度梯度, 进而判定桩身完整性。通过现场试验验证了该技术的可行性, 值得深入研究与进一步推广应用。

**关键词:** 混凝土水化热; 大直径灌注桩; 完整性检测; 新技术

**中图分类号:** TU473 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4548(2011)S2-0278-04

**作者简介:** 高 飞(1978-), 男, 安徽颍上人, 硕士研究生, 目前从事建设工程的质量检测工作。E-mail: shanghaiyantu@sina.com。

## New testing technology for large-diameter cast-in-situ pile integrity based on temperature measurement of hydration heat of concrete

GAO Fei<sup>1,2</sup>

(1. Shanghai NDRI Engineering Testing Co., Ltd., Shanghai 200437, China; 2. Ninth Design & Research Institute of CSSC, Shanghai 200063, China)

**Abstract:** There is certain lack in the current integrity tests on large-diameter cast-in-situ piles. A new technology is proposed based on the hydration heat of concrete. Compared with the normal concrete, no matter what kind of pile defects, the release of the heat is generally on the low side in the hydration, setting and hardening process. Mud and other pile defects do not even release heat. Meanwhile, the thermal conductivity of pile defects is generally poor. Concrete hydration heat and the resulting temperature gradient of the large-diameter cast-in-situ piles can be measured accurately, and thus the pile integrity is determined. The technical feasibility is demonstrated by field trials, which is worth of application and extension based on next thoroughgoing research.

**Key words:** hydration heat of concrete; large diameter cast-in-situ pile; pile integrity test; new technology

## 0 前 言

大直径灌注桩由于能提供足够的竖向及侧向承载能力, 在桥梁、高层建筑等结构上得到了广泛的应用。但是大直径灌注桩是在现场成孔后浇筑混凝土, 地质条件及施工工艺复杂, 极易产生缺陷。目前常用的检测方法对于大直径灌注桩存在一定的局限性。

(1) 检测周期长、检测条件严格, 影响到施工过程。考虑到混凝土龄期过短、强度过低, 应力波在其中的衰减加剧, 减小了有效检测深度和降低了缺陷的分辨率, 目前常用的声波透射法、低应变法检测一般应在成桩后 14 d 后才能进行, 造成了工期的拖延, 同时也不利于对缺陷基桩的及时处理<sup>[1]</sup>。

(2) 检测评定质量存在局限性, 如广泛使用的低

应变反射波法明显受到地质条件、桩身形状、三维效应等复杂因素的影响, 尤其是超长桩、大直径桩、多缺陷桩, 存在严重的漏判、错判现象。可靠性相对较高、大家比较信赖的声波透射法检测, 实际上只检测了钢筋笼内部的混凝土质量, 无法判断桩周是否有局部缩径等缺陷。事实证明, 许多声波透射法评定的完整桩, 存在严重的露筋现象。通过检测和评价桩身钢筋笼以内的混凝土质量来评价整桩的混凝土施工质量, 误导了人们对桩基施工质量的正确认识, 不利于桩基施工质量的进一步提高, 应引起高度重视。

(3) 无法检测和评价桩身混凝土保护层的施工质

量。大直径灌注桩的桩身混凝土保护层质量，关系到桩基础的水平承载力、抗震能力及耐久性，甚至关系到桩基础的竖向承载力（失去箍筋约束，桩的屈曲荷载降低），但是保护层质量是桩基施工质量控制最为薄弱的地方，很难达到设计要求。

因此，研究和发展新的技术、新的方法与新的设备是检测人员的当务之急，提高桩基检测的技术水平，更好地为生产实践服务。

1 基本原理

众所周知，水泥遇水化合，发生放热反应，在整个水化、凝结、硬化过程中释放出热量。尤其是大体积混凝土浇筑时产生的温度应力对结构非常不利，可能导致产生裂缝。另一方面，过高的温度固化会推迟钙矾石的形成，也不利于混凝土结构的耐久性。

前人以往的研究，一般集中在对大体积混凝土水化热的危害与控制、冻土地区桩周冻土的回冻过程上面<sup>[2-3]</sup>。事实上，通过对大直径灌注桩混凝土浇筑时所产生的水化热的精确测量，可以实现对桩身完整性检测的目的，一定程度上弥补现有检测技术的不足与缺陷<sup>[4]</sup>。

大直径灌注桩的常见缺陷有孔洞、夹泥、缩径、离析、断裂、沉渣过厚等。显而易见，无论何种桩身缺陷，同正常混凝土的相比，在水化、凝结、硬化过程中，释放热量均普遍偏少。桩身夹泥等缺陷体甚至不释放热量。同时，缺陷体的结构、材质、密度、含水率等与正常混凝土不同，对热量的传导能力普遍偏低。试验结果表明：混凝土的导热系数约为 1.054 W/（mK）<sup>[5]</sup>；卵石的导热系数约为 0.348，黄砂的导热系数为 0.296 mK，砂土的导热系数为 0.169 mK<sup>[6]</sup>。因此，可以通过精确测量大直径灌注桩混凝土硬化时产生的水化热而产生的温度梯度来准确评价桩身结构的完整性。

图 1 所示为完整桩示意图。桩身混凝土浇筑时产生水化热，不难理解，温度场分布应如图 2 所示。桩中心温度最高，其次是钢筋笼外侧，再次是桩侧土。

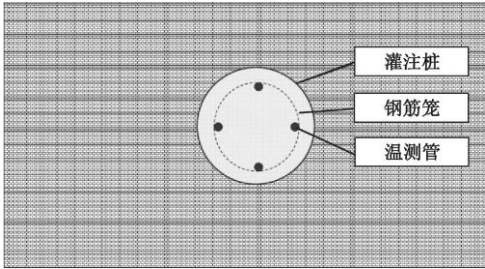


图 1 完整桩示意图  
Fig. 1 Schematic diagram of integrated pile

图 3 所示为缺陷桩示意图。桩身混凝土浇筑时产生水化热，温度场分布见图 4。由图 3，4 可见，在缺陷体附近温度场发生明显变化。

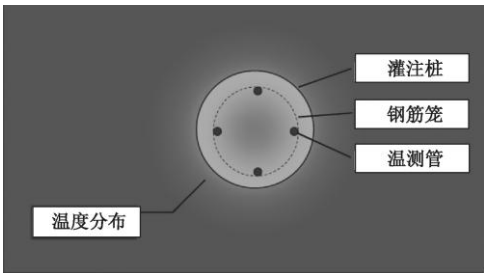


图 2 完整桩的温度场分布  
Fig. 2 Temperature distribution of integrated pile

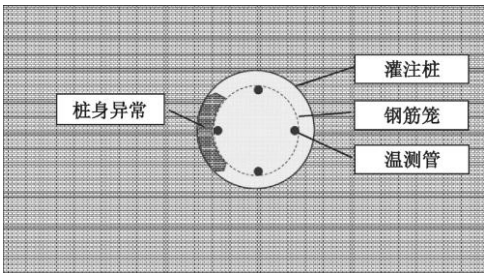


图 3 缺陷桩示意图  
Fig. 3 Schematic diagram of defective pile

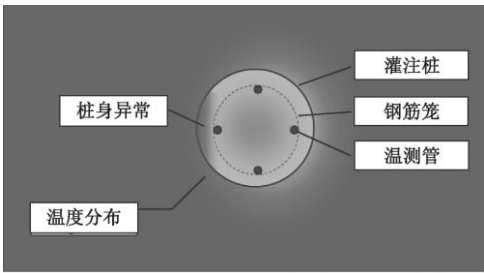


图 4 缺陷桩的温度场分布  
Fig. 4 Temperature distribution of defective pile



断面A  
断面B

图 5 钢筋笼吊装现场

Fig. 5 Photo of reinforcement cage pillar hoisting site

2 试验验证

某钻孔灌注桩，桩径 1.2 m，桩长 25 m，设计强度为水下 C30。绑扎钢筋笼时预先在桩身截面 A、B 设置缺陷，缺陷设置为砂袋。

截面 A 为上部缺陷，不连续分布，位于桩顶下约 8 m；截面 B 为下部缺陷，连续分布，位于桩顶下约 16 m。

为了与声波透射法进行对比，同时埋设 3 根声测管。测温管为 PVC 塑料管，声测管为钢管。6 根测管等间距绑扎在钢筋笼内侧，见图 6 所示。其中编号为 #1，#3，#5 测管为测温管，#2，#4，#6 测管为声测管。

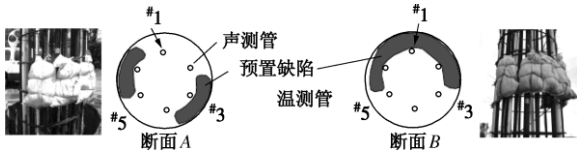


图 6 缺陷埋设断面 A、B

Fig. 6 Buried sections A & B of pile defect

在桩身混凝土浇注完毕后进行 5 次检测（分别在上午 9 时、上午 12 时、下午 3 时、下午 6 时、晚上 9 时进行），每次时间间隔为 3 h。测温管的检测结果如图 7 所示。明显可以看出，在 B 截面处温度发生陡降；在 A 截面处虽然预置缺陷，但是缺陷布置距离管#1 相对较远，对温度分布基本没有影响。

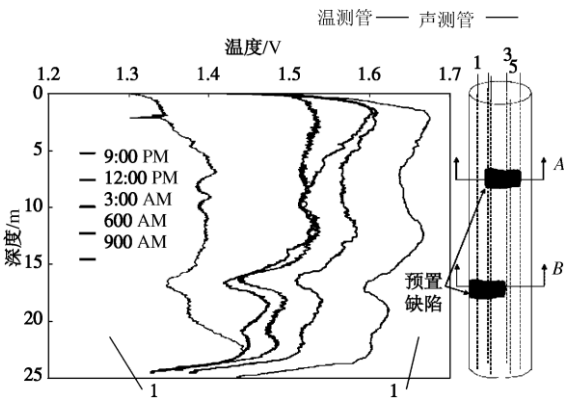


图 7 水化热法试验结果（测温管 1）

Fig. 7 Results of hydration heat of concrete of tube 1

在混凝土龄期为 14 d 时进行跨孔声波透射法试验。试验结果如图 8 所示，可见 3 个剖面（4-6、2-4、2-6）声速 - 深度曲线正常，波速均在 3500 m/s 以上且离散系数较小，几乎无法发现缺陷的存在。

在混凝土龄期为 14 d 时进行反射波法完整性试

验。反射波法完整性试验结果如图 9 所示，可见反射波法只能勉强发现第一个缺陷（A 截面，桩顶向下约 8 m 处），对第二个缺陷无能为力（B 截面，桩顶向下约 16 m 处）。

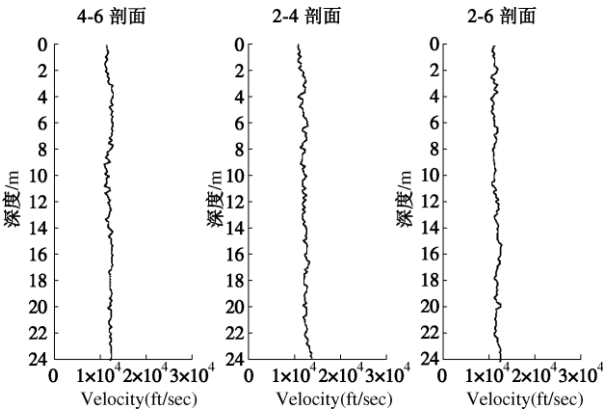


图 8 孔透射波法试验结果

Fig. 8 Results of pile tests with cross-hole sonic logging

虽然只是钢筋笼外部的缺陷，有效的桩身横截面严重缩小，对桩的完整性、承载力、耐久性会带来不利影响，严重危害上部结构安全。但是不管是声波透射法还是反射波法，都没能准确识别，只有本文作者介绍的方法可以发现缺陷的存在。

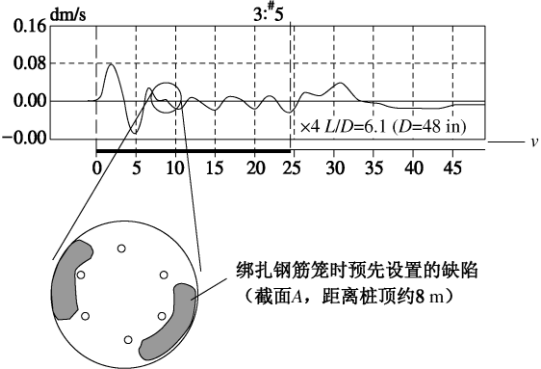


图 9 反射波法试验结果

Fig. 9 Results of pile integrity tests with reflected wave method

3 结论与建议

对于大直径灌注桩，现有基桩检测技术存在诸多局限与不足。不断地研究和开拓新的检测技术、新的检测方法及新的检测设备是检测人员的当务之急。

笔者提出的基于混凝土水化热的大直径灌注桩桩身完整性检测新技术对钢筋笼外侧的缺陷有很强的探测能力，弥补了目前检测技术的不足和空白，具有很强的工程实用价值，值得深入研究与进一步推广。

参考文献：

[1] JGJ 106—2003 建筑基桩检测技术规范[S]. 北京：中国建

- 筑工业出版社, 2003. (JGJ106-2003 Technical code for testing of building foundation piles[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2003. (in Chinese))
- [2] 唐丽云, 杨更社. 桩基施工对冻土地区桩基热影响分析[J]. 岩土工程学报, 2010, **32**(9): 1350 - 1353. (TANG Li-yun, YANG Gen-she. Thermal effects of pile construction on pile foundation in permafrost regions[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, **32**(9): 1350 - 1353. (in Chinese))
- [3] 李敏健, 邵 泉. 广州新电视塔 3.8 m 大直径人工挖孔桩混凝土水化热分析[J]. 广州建筑, 2010, **38**(4): 37 - 40. (LI Jian-min, SHAO Quan. Analyzing heat of hydration in 3.8 meter-wild artificial digged-hole pile of Guangzhou New TV Tower[J]. Guangzhou Architecture, 2010, **38**(4): 37 - 40. (in Chinese))
- [4] 陈建荣, 高 飞. 现代桩基工程试验与检测—新技术·新方法·新设备[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2011. (CHEN Jian-rong, GAO Fei. Modern pile foundation engineering testing & detecting-new technology · new method · new equipment[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2011. (in Chinese))
- [5] 盛 谦. 混凝土导热系数试验研究[J]. 大众科技, 2009(8): 78 - 80. (SHENG Qian. Research on thermal conductivity of concrete[J]. Popular Science, 2009(8): 78 - 80. (in Chinese))
- [6] 肖衡林, 蔡德所, 何 俊. 基于分布式光纤传感技术的岩土体导热系数测定方法[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, **28**(4): 819 - 826. (XIAO Heng-lin, CAI De-su, HE Jun. Measuring method of geomaterial thermal conductivity based on distributed optical fiber sensing technology[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, **28**(4): 819 - 826. (in Chinese))

(本文责编 孙振远)