

施工水患对人工挖孔桩质量的影响及检测方法

周军¹, 吴明山¹, 朱小敏², 夏广新²

(1. 中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司, 湖南长沙 410014;
2. 华能澜沧江水电股份有限公司托巴水电工程建设管理局, 云南迪庆 674608)

摘要:探讨了地表水和潜水层承压水对人工挖孔桩施工质量的影响, 结合施工过程中出现的质量缺陷特征, 分析了低应变法、声波透射法、钻芯法等检测方法的实效性和局限性。通过剖析两个典型的质量事故案例, 提出了在人工挖孔桩检测过程中合理选择检测方法的若干建议。

关键词:人工挖孔桩; 施工水患; 低应变法; 声波透射法; 钻芯法

中图分类号: TU473.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7647(2024)S1-0137-03

Effects of water hazards on quality of manually excavated piles and detection methods//ZHOU Jun¹, WU Mingshan¹, ZHU Xiaomin², XIA Guangxin² (1. POWERCHINA Zhongnan Engineering Corporation Limited, Changsha 410014, China; 2. Tuoba Hydroelectric Engineering Construction Management Bureau of Huaneng Lancang River Hydropower Inc., Diqing 674608, China)

Abstract: The impact of surface water and confined groundwater in aquifers on the construction quality of manually excavated piles was explored. In combination with the characteristics of quality defects that emerged during the construction process, the effectiveness and limitations of detection methods such as the low-strain method, sonic transmission method, and core drilling method, were analyzed. Through analysis of two typical quality accident cases, suggestions for reasonably selecting detection methods during the inspection of manually excavated piles are put forward.

Key words: manually excavated pile; water hazard; low-strain method; sonic transmission method; core drilling method

1 水患对成桩质量的影响

人工挖孔桩因施工工艺简单、单桩承载力高、沉降量小以及场地适应性强等特点, 被广泛应用于高层建筑与荷载较大的建(构)筑物中。尽管人工挖孔桩质量易于控制, 但地下水却是导致其出现质量缺陷的罪魁祸首。

本文中的“水患”特指人工挖孔桩施工过程中对质量产生危害的地下水, 包括地表水及潜水层承压水等。施工水患在安全方面主要表现为坍孔、井涌、淹井等, 在质量方面表现为护壁裂缝、混凝土胶结不良、离析等。长期以来, 基桩施工中的“水患”难题极大地威胁着人工挖孔灌注桩的安全生产和施工质量, 造成的安全质量事故和经济损失屡见不鲜。

地表水主要指桩身混凝土在连续浇筑过程中突然遇到的降雨或地面水源。若截水、排水或堵水措施不到位, 会导致混凝土被稀释, 比重较低的水泥浆液上浮形成低强层, 而骨料下沉形成架空层。这种由水患造成的危害通常表现为混凝土胶结不良、局

部离析。

潜水层承压水是水患问题的关键所在, 其对工程质量的危害尤为突出, 其引发的质量缺陷特征及相应的施工处理措施需予以高度重视。当孔底少量积水时, 应首先排干积水, 随后将部分干拌混凝土混合料(或干水泥)铺入孔底, 然后再进行混凝土的浇注作业。若孔底水量大, 确实无法通过抽水的方法解决, 则桩身混凝土施工需采取水下浇筑工艺。孔壁渗水同样是一个不容忽视的问题。鉴于桩身混凝土的浇筑时间较长, 渗水过多会降低混凝土强度。为解决这一问题, 可以采用防水材料封闭渗漏部位, 或在集中漏水部分嵌入泄水管。若潜水层承压水这种水患处理不当, 容易导致桩身混凝土中的水泥浆液流失, 形成离散混凝土, 致使混凝土强度陡然下降, 最终导致成桩整体报废。

2 检测方法的选择

人工挖孔桩设计绝大部分采取单桩单柱承受荷载的形式。因此, 如何合理选择检测方法以提高检

测精度,并找出存在质量问题的桩,显得尤为重要。导致声测信号的严重衰减,有时甚至检测不到有效信号,从而造成误判。

人工挖孔桩的检测方法很多,包括应力波反射法(低应变法)、高应变法、声波透射法、钻芯法、静载试验及钻孔录像等。从目前的工程实践效果来看,应用最为广泛的主要有低应变法、声波透射法和钻芯法。

低应变法在检验桩身质量完整性方面具有其他检测方法无法比拟的优势,如设备简单、方法快速、费用低廉,成为普查桩身质量的一种重要手段,因此深受建设单位和施工单位的青睐。然而,低应变法也有很多局限性,主要原因在于其理论基础是一维应力波理论。该理论基于一个重要的平截面假设,即假设力和速度仅为深度和时间的函数。但是,当桩顶受到锤击点(点振源)锤击时,会产生向四周传播的应力波,类似半球面波,其中不仅有纵波,还有横波和表面波。在桩顶附近区域,平截面假设并不成立,只有当应力波传播到一定的深度,即 $X>7D$ (D 为直径)时,沿桩身向下传播的应力波波阵面才可近似看作平面,即球面波才可近似看作是平面波,此时一维应力波理论才能成立。因此,对于桩径小于1600 mm且承载力设计值小于20 MN的人工挖孔桩可采用低应变法检测。此外,低应变法对于桩头的要求较苛刻,需要在混凝土达到一定的强度后,进行机械打磨,确保激发接收位置平整光滑。由于桩头清理不到位,致使检测到的波形无法准确反映桩身(尤其是底部)的有效信息,进而导致误判的案例非常普遍。另外,由于低应变法属于表面检测方法,其反射波传播特性决定了在识别缺陷数量上的局限性,特别是对于3处以上的缺陷,多次反射的干扰往往使得分辨变得困难。

声波透射法的理论基础源自固体介质中弹性波的传播理论。该方法通过向混凝土介质发射较高频率的声波,并在一定的空间距离处接收声波信号。然后,通过观测和分析声波在混凝土介质中传播的速度、振幅、频率等声学参数,可以对桩身的完整性进行判别及分析。由于声波透射法采用预埋在桩身内的声测管从桩底部往上逐点进行检测,且使用较高频率的声源信号,因此与属于表面方法的低应变法相比,它在识别内部缺陷方面具有更高的分辨精度,且不受缺陷数量的限制。然而,从工程实践来看,目前声波透射法也受到一些限制,主要是受声测管的影响,包括声测管埋设的垂直度、与周边混凝土的胶结程度等。如果两根声测管不在同一水平面上,且不平行,纠偏工作将变得复杂。此外,当使用非刚性材料的声测管时,由于担心施工时受到破损,往往存在振动盲区,使得声测管外侧与混凝土脱空,

而更多地用于针对性的检测任务,以验证结构缺陷。在那些对承载力有着较高要求的工程上,当静载法因吨位过大而难以实施时,钻芯法可以作为一种替代性的检测手段,它能够对钻取的芯样进行极限抗压强度试验。

此外,随着科技的进步,钻孔电视已经达到了全方位、高清晰度的程度。在钻芯法采取率较低的情况下,钻孔电视可以用来准确判断缺陷的性质。

综合考虑各种检测方法的实效性和局限性,人工挖孔桩的检测一般是先对每根桩进行低应变法的普测,然后按照一定的比例进行声波透射法的抽样检测。最后,结合这两种检测结果来确定需要进行抽芯检测的桩,以确保数量有限的抽芯检测结果具有更高的代表性。对于大口径的挖孔桩,应适当增加声波透射法的检测比例,并谨慎使用低应变法。

3 工程实例

3.1 地表水实例

湖北省淦水某电站的一座连接两岸的交通桥采用桩基础形式,每个承台下布置了两根桩,桩长为14.3~16.6 m,桩径为1500 mm,设计的混凝土强度为C30,采用人工挖孔成桩。鉴于该工程的重要性,对桩身完整性按照100%的比例运用声波透射法进行检测。检测结果显示3号墩中一根桩被判定为Ⅳ类桩。据调查,该桩施工时正值夜间,在混凝土浇筑开始不久,突遇降雨。施工方担心停工后进行再处理费时费力,于是在排水措施不到位的情况下,强行一次性成桩。由于混凝土浇筑时孔内积水较多,导致入仓混凝土被稀释,出现离析现象,骨料分布不均匀。后续采用钻芯法进行验证时,所得结果与声波透射法一致,在孔深9.9~12.7 m的范围内,混凝土存在严重离析(图1),局部芯样呈碎块状,强度严重偏低,缺陷段的平均波速仅为完整混凝土的78.55%。



(a) 孔深小于9.9 m (b) 孔深9.9~12.7 m

图1 质量缺陷芯样

该桩首先采取了抽芯孔灌浆的处理措施,但灌注后检查发现波速提高率仅为4.7%(图2)。在施工单位的强烈要求下,又在桩中心两侧各钻一孔进行

灌浆,但灌后检查波速仅提高了 1.8%,改善效果不明显,桩身总体强度没有达到设计标准,经过处理后的平均波速仍然只有完整混凝土的 83.77%。鉴于该桩主要承受竖向荷载,且作为两桩一柱结构的重要组成部分,其重要性不言而喻,因此按照设计要求,最终决定对该桩进行补桩处理。

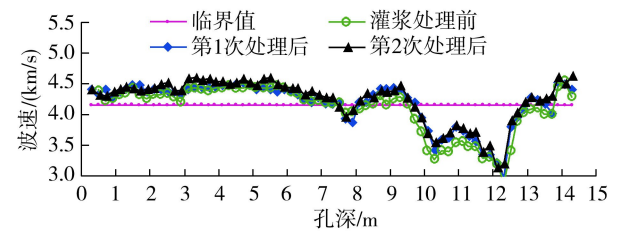


图2 缺陷桩灌浆前后波速曲线

3.2 潜水层承压水实例

在云南省某县城移民点市政工程中,一座桥梁总长 206.04 m,其上部构造为 55+90+55 双薄壁墩刚构形式,下部构造中 0 号台为条形基础,3 号台为肋板式桥台配筋基础,桥墩为双薄壁墩配桩基础。两个桥墩下方各配备 8 根桩,其中 2 号、3 号墩的桩长分别为 20 m 和 30 m,桩径均为 1 500 mm,混凝土设计强度为 C30。采用人工挖孔的方式成桩,基础持力层为侏罗系中统上沙溪庙组的紫红色泥岩夹泥质粉砂岩(J2s-Ms),两个桥墩之间有一条溪流穿过,地下水尤其是潜水层承压水极其丰富。

鉴于工程的重要程度及地质条件的复杂性,该工程按照 100%的比例进行声波透射法检测。结果显示,2 号墩右侧的 4 根桩中有 3 根被判定为Ⅳ类桩。据调查,在施工过程中,孔深约 16 m 处的护壁出现大量渗水,无法实现封闭。经地质工程师分析,认为渗水属于潜水层承压水,且通过裂隙与溪沟连通。由于当时考虑到孔内积水深度仅为 4 m,未严格按照水下混凝土工艺规范进行施工。

由于孔内严重积水,而且是动水,直接导致入仓混凝土被稀释,形成离析现象,水泥浆液被大量带走,骨料堆积于底部,上部以砂和少量水泥为主。后续采用钻芯法进行验证,结果与声波透射法一致:孔深 16.1~19.1 m 范围内的混凝土严重离析,局部芯样呈现散沙状(图 3),由于水泥浆液极少,强度严重偏低。

声波透射法检测发现,缺陷段的平均波速为 3 937 m/s,相当于完整混凝土波速的 84.48%,表明该处混凝土结合相对紧密,在未受扰动时仍然较为密实。钻孔录像也显示孔壁平整光滑,仅从图像上能分辨出骨料极少。但由于水泥浆液流失,一旦桩身受力或遭遇外力扰动,混凝土即呈分散状,强度陡失,成为工程中的最大隐患。



(a) 处理前



(b) 处理后

图3 质量缺陷芯样

鉴于该工程设计对桥梁的平面位置和荷载分配有着严格的要求,对这批存在问题的桩的处理只能采用置换法,即从桩中心凿孔至缺陷位置,将底部的缺陷混凝土掏空,并重新进行灌注。处理完成后,利用原有的声测管进行检测,结果显示波速提高率为 18.4%(图 4),改善效果明显,总体上达到了设计强度。其中,在处理前完全呈分散状态的混凝土孔段,处理后的波速达到了 4 662 m/s;波幅由原来的 66.55 dB 提高到 101.40 dB,提高率为 52.37%;主频由原来的 23.48 kHz 提高到 36.21 kHz,提高率为 45.78%,这些数据表明处理效果显著。

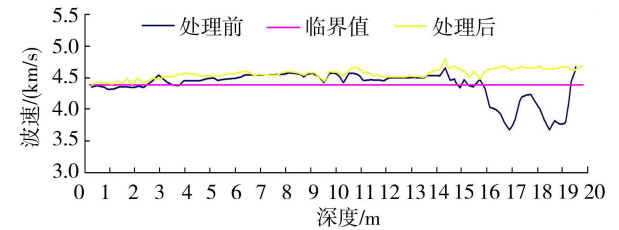


图4 缺陷桩处理前后波速曲线

4 建 议

鉴于施工过程中水患对成桩质量的严重危害性,为合理选择人工挖孔桩的检测方法,切实消除工程隐患,提出如下建议:

a. 当工程地质条件复杂,尤其是地下水丰富,且施工单位缺乏处理类似问题的经验时,制定的检测方案必须具有代表性和针对性。

b. 长径比 $L/D < 7$ (桩径大于 1 600 mm) 的人工挖孔桩(墩)应避免使用低应变法进行检测。

(下转第 168 页)