

动力触探技术在复杂地质条件下桩基检测中的应用效果研究

文 / 成文龙 山东和富检测认证有限公司

于克学 山东和富检测认证有限公司

摘要：桩基检测是建筑工程中至关重要的一环，其质量直接关系到建筑物的安全与稳定性。然而，在复杂地质条件下，桩基检测面临着诸多挑战，如地质条件的不确定性、桩基结构的复杂性等。动力触探技术作为一种新兴的桩基检测方法，具有操作简便、成本低廉、检测速度快等优点，近年来在复杂地质条件下桩基检测中得到了广泛应用。本文将探讨动力触探技术在复杂地质条件下桩基检测中的应用效果，分析其优缺点，以期能为工程实践提供参考。

关键词：动力触探技术；复杂地质；桩基检测；应用效果

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.14.026

引言

桩基作为一种重要的基础形式，广泛应用于各类工程建设中，尤其在复杂地质条件下，桩基能够有效将上部结构荷载传递至深层稳定土层，确保建筑物的稳定性与安全性。然而，复杂地质条件如软土地层的高压缩性、砂卵石地层的非均匀性、岩溶地区的溶洞发育等，给桩基的设计与施工带来了极大挑战，同时也对桩基检测技术提出了更高要求。准确评估桩基在复杂地质环境下的承载性能与桩身完整性，对于保障工程质量、避免潜在安全隐患至关重要。动力触探技术作为一种原位测试方法，具有操作简便、快速高效、能反映土体原位力学性质等优点，在复杂地质条件下桩基检测中得到了日益广泛的应用。

一、动力触探技术概述

（一）基本原理

动力触探技术是利用一定质量的重锤，以规定的落距自由落下，将探头打入土中，根据打入土中一定深度所需的锤击数来判断土的性质和状态，进而对桩基相关参数进行评估。其基本原理基于土体的贯入阻力与土的力学性质之间存在密切关系。当探头贯入土中时，土体对探头产生阻力，锤击数越多，表明土体的贯入阻力越大，相应的土体强度、密实度等力学性质也越高^[1]。在桩基检测中，通过在桩周不同位置进行动力触探测试，可获取桩周土体的力学参数分布情况，从而推断桩基的承载能力以及桩身与土体的相互作用状态。

（二）类型及特点

1. 轻型动力触探

轻型动力触探设备主要由圆锥探头、触探杆和穿心锤组成。穿心锤质量为10kg，落距为50cm。其特点是设备轻便、操作简单，适用于浅层土体（一般深度小于4m）的检测，如粘性土、粉土、砂土等。在桩基检测初期，可用于快速初步了解桩周浅层土体的性质，为后续检测方案制定提供参考。

2. 重型动力触探

重型动力触探穿心锤质量为63.5kg，落距为76cm。

相较于轻型动力触探，重型动力触探能穿透更深、更密实的土层，适用于中、粗砂，砾砂，圆砾、卵石等土层的检测，检测深度可达10-20m^[2]。在复杂地质条件下，对于判断深层土体的力学性质以及桩基深部与土体的相互作用情况具有重要作用，可有效评估桩基的深部承载性能。

3. 超重型动力触探

超重型动力触探穿心锤质量为120kg，落距为100cm。该类型动力触探设备具有强大的贯入能力，可用于密实卵石层、漂石层等极坚硬土层的检测，检测深度可达数十米。在岩溶地区、深厚砂卵石地层等复杂地质条件下，超重型动力触探能够深入探测深部地层情况，为桩基设计与施工提供关键的深部地层参数，见图1。

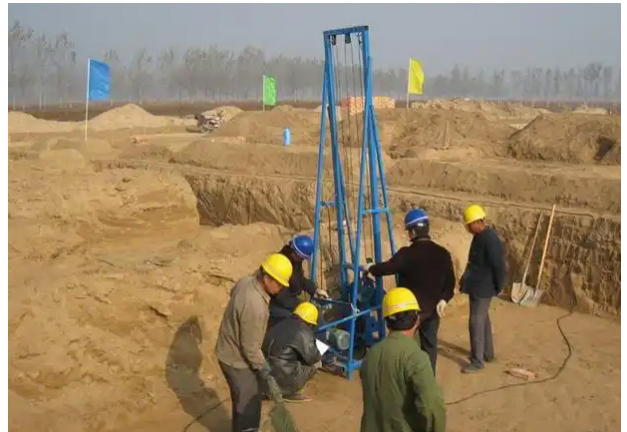


图1 超重型动力触探现场

二、复杂地质条件对桩基的影响及检测难点

（一）软土地层

软土地层具有高含水量、高压缩性、低强度、低渗透性等特点。在软土地层中进行桩基施工时，桩基容易产生较大的沉降和水平位移。由于软土流变特性，桩基在长期荷载作用下，沉降还会持续发展^[3]。对于桩基检测而言，软土地层的高压缩性使得传统检测方法难以准确确定桩基的真实承载能力，且桩身完整性检测也易受到软土变形的干扰，检测信号往往存在较大误差。

（二）砂卵石地层

砂卵石地层颗粒级配复杂，颗粒间的胶结程度差，具有较大的孔隙率和透水性。在该地层中，桩基施工过程中容易出现塌孔、缩径等问题。由于砂卵石地层的不均匀性，桩基的承载能力离散性较大，难以通过常规的经验公式准确估算。在检测方面，砂卵石的大颗粒特性容易导致检测探头在贯入过程中遇到障碍，影响动力触探测试结果的准确性，同时也增加了桩身完整性检测中信号分析的难度。

（三）岩溶地区

岩溶地区存在大量的溶洞、溶沟、溶槽等岩溶现象。桩基在岩溶地区施工时，可能会遇到桩端落空、桩身穿越溶洞导致局部悬空等严重问题，极大地威胁桩基的稳定性。岩溶地区地质条件的复杂性和隐蔽性，使得常规的桩基检测方法难以全面准确地探测到溶洞的位置、大小和分布情况，无法有效评估桩基与岩溶地质的相互作用关系，给桩基检测工作带来了极大挑战。

三、动力触探技术在复杂地质条件下桩基检测中的应用案例

在某沿海城市，一项高层建筑项目正如火如荼地开展。该项目所处场地地基主要为深厚的淤泥质软土层，地下水位较高，这种复杂地质条件给桩基工程带来极大挑战。项目选用钢筋混凝土灌注桩基础，桩径为800mm，桩长30m，旨在确保建筑稳固。桩基施工完成后，为精准评估桩基质量，决定采用动力触探技术进行检测。具体而言，运用轻型动力触探对桩周浅层（0-3m）土体展开检测，以此明晰桩周土的加固成效以及桩身与浅层土体的结合状况；借助重型动力触探对桩周3-20m深度范围内的土体实施检测，从而评估桩周土体对桩基承载能力的贡献程度。在每个桩位周边，均匀布置3个检测点，保证检测数据的全面性与代表性。在轻型动力触探检测过程中，详细记录每个检测点的锤击数，相关数据整理见表1：

表1

检测点编号	桩周浅层（0-3m）锤击数
1	8
2	7
3	9

从表格数据可知，桩周浅层土体的锤击数普遍较低。依据动力触探技术原理，这清晰表明浅层软土在桩基施工过程中的挤密效果并不理想。重型动力触探检测时，随着深度增加，锤击数呈现出一定变化规律。具体数据如下表2：

表2

检测深度（m）	检测点1锤击数	检测点2锤击数	检测点3锤击数
3	12	13	11
5	15	14	16
8	18	17	19
10	20	21	20

12	17	18	16
15	19	20	18
18	22	23	21
20	25	24	26

从表中数据可见，随着深度增加，锤击数总体呈逐渐增大趋势，但在10-15m深度范围内，锤击数出现明显波动。结合前期地质勘察资料深入分析，确定该深度范围存在一层夹砂层。夹砂层的存在致使土体力学性质不稳定，进而影响了锤击数的变化。根据动力触探检测所得的锤击数结果，运用相关规范公式，对桩基的承载能力进行严谨估算，并将估算值与设计值进行细致对比，结果如下表3：

表3

桩基编号	估算承载能力（kN）	设计承载能力（kN）	差值（kN）	是否满足设计要求
1	1800	2000	-200	否
2	1900	2000	-100	否
3	1850	2000	-150	否

从上表可明显看出，部分桩基的实际承载能力略低于设计要求。基于此检测结果，工程团队迅速制定方案，决定对这些桩基采取相应加固措施，以保障建筑的安全与稳定。通过此案例充分证明，动力触探技术在复杂地质条件下的桩基检测中，能够提供关键数据，精准发现桩基存在的问题，为后续工程决策提供有力支撑。

四、动力触探技术在复杂地质条件下桩基检测中的应用策略

（一）全面细致的前期准备

1. 深入了解地质条件

在开展动力触探检测前，务必收集详尽的地质勘察资料。对于软土地层，要明确其厚度、含水量、压缩性指标以及土层分布的均匀性；针对砂卵石地层，需掌握颗粒级配、密实程度以及地层的变化规律；在岩溶地区，则要精准把握溶洞、溶沟等岩溶现象的分布范围、大小及发育程度。

2. 设备选型与调试

依据不同地质条件和检测深度要求，合理选择动力触探设备类型。在浅层软土地层检测中，轻型动力触探设备足以满足需求；而对于深层砂卵石地层或岩溶地区深部地层探测，超重型动力触探设备更为合适。设备选定后，严格按照操作规程进行调试。确保穿心锤的落距精准无误，如轻型动力触探穿心锤落距为50cm，重型为76cm，超重型为100cm，任何偏差都可能影响检测结果的准确性^[4]。同时，检查触探杆的连接是否牢固，探头是否完好无损，保证设备在检测过程中稳定运行。

（二）精准的检测参数优化

1. 确定合理的检测点间距与深度

检测点的间距和深度设置应综合考虑地质条件和桩基特性。在软土地层，由于土体性质相对均一，检测点间距可适当放宽，但对于可能存在不均匀沉降的区域，

需加密检测点。一般来说，桩周检测点间距可控制在1-2m。检测深度应覆盖桩基影响范围内的主要土层，对于桩长30m的桩基，动力触探检测深度应至少达到桩端以下3-5m。在砂卵石地层，因地层不均匀性强，检测点间距宜控制在0.5-1m，以准确捕捉地层变化。

2. 锤击数修正与数据处理参数优化

动力触探检测得到的锤击数受多种因素影响，需要进行修正。考虑杆长修正，不同长度的触探杆会对锤击能量传递产生影响，需根据相关规范公式进行修正。在数据处理过程中，合理选择统计分析方法。对于大量检测数据，采用数理统计中的均值、标准差等参数来描述数据的集中趋势和离散程度。通过建立锤击数与土体力学参数（如承载力、密实度）的经验关系模型，对检测数据进行深度挖掘，提高检测结果的准确性。

（三）规范严谨的检测流程执行

1. 严格的现场操作规范

现场操作人员应经过专业培训，熟悉动力触探设备的操作流程。在检测过程中，确保锤击垂直落下，避免偏心锤击。每次锤击后，及时记录锤击数和相应的贯入深度。对于每一个检测点，都要按照规定的步骤进行操作，从设备安装、初始调试到正式检测，不得随意简化流程。如在某软土地层桩基检测现场，由于操作人员未严格控制锤击垂直度，导致检测数据出现较大偏差，后经重新检测并规范操作，才得到可靠结果。

2. 数据记录与质量控制

设立专人负责数据记录，确保数据的真实性和完整性。数据记录应包括检测时间、地点、桩号、检测点位置、锤击数、贯入深度等详细信息。同时，建立质量控制机制，定期对检测数据进行抽检和复核。在每完成一定数量的检测点后，对数据进行初步分析，若发现数据异常，及时查找原因并进行重新检测。

（四）多元检测技术融合

1. 与静载试验结合

静载试验是确定桩基承载力的最直接可靠方法，但成本高、周期长。动力触探技术与之结合，可先通过动力触探对桩基进行大面积快速检测，初步筛选出承载力可能不足的桩基。针对这些桩基进行静载试验验证，既能提高检测效率，又能降低检测成本。

2. 与低应变法协同

低应变法主要用于检测桩身完整性，动力触探技术可提供桩周土体信息。两者协同应用，能够全面评估桩基质量。当低应变法检测发现桩身存在异常信号时，通过动力触探检测桩周土体情况，判断异常是否由土体问题引起。在岩溶地区，结合地质雷达对岩溶分布的探测结果，利用动力触探进一步确定桩身穿越岩溶区域时与周边土体的相互作用情况，为桩基质量评估提供更全面的数据支持。

五、动力触探技术在复杂地质条件下桩基检测中的应用效果评估

（一）检测精度分析

通过对多个工程案例的检测数据与其他检测方法（如

静载试验、低应变法等）结果对比分析，发现动力触探技术在复杂地质条件下对桩基承载力和桩身完整性的检测精度具有一定的可靠性。在软土地层中，动力触探锤击数与桩基侧阻力之间具有较好的相关性，通过合理的经验公式换算，能够较为准确地估算桩基承载能力，估算误差一般可控制在15%-20%之间^[5]。在砂卵石地层和岩溶地区，动力触探技术能够有效探测到地层的异常情况，为桩身完整性检测提供重要线索，与其他检测方法相互配合，可提高检测结果的准确性。

（二）检测效率优势

相较于传统的静载试验等检测方法，动力触探技术具有显著的检测效率优势。静载试验需要搭建复杂的加载装置，且试验周期较长，一般单桩检测时间在3-5天。而动力触探技术操作简便，设备轻便，检测速度快，单个检测点的测试时间仅需数分钟，能够在短时间内完成大量检测任务。在复杂地质条件下，多个桩位的检测工作可在较短时间内完成，大大缩短了工程检测周期，为工程建设的顺利推进提供了保障。

（三）局限性分析

尽管动力触探技术在复杂地质条件下桩基检测中具有诸多优势，但也存在一定的局限性。首先，动力触探测试结果受人为主观因素影响较大，如锤击的垂直度、落距控制等，操作过程中的偏差可能导致检测数据出现误差。其次，动力触探技术是一种间接检测方法，其检测结果与土体的物理力学性质之间的关系主要基于经验公式，对于一些特殊地质条件或复杂地层结构，经验公式的适用性可能存在问题，从而影响检测结果的准确性。此外，动力触探技术在检测过程中会对土体造成一定扰动，对于一些对土体扰动敏感的工程场地，需要谨慎使用。

结语

综上所述，动力触探技术凭借其独特的原理和特点，在软土地层、砂卵石地层、岩溶地区等复杂地质条件下的桩基检测中具有重要应用价值。该技术能够快速获取桩周土体的力学参数，有效探测地层异常情况，为桩基承载力估算和桩身完整性检测提供关键数据支持。通过合理选择动力触探类型、优化检测参数以及与其他检测方法相结合，能够提高检测精度与可靠性，同时发挥其检测效率高的优势，为工程建设节约时间和成本。

参考文献

[1] 张聪, 周政, 霍玉龙. 复杂地质条件下钻孔灌注桩桩底沉渣分析处理 [J]. 科学技术创新, 2024, (24): 164-167.
 [2] 张启学. 复杂地质条件下预应力锚索桩板墙施工技术 [J]. 山西建筑, 2021, 47(19): 93-94+103.
 [3] 江辉. 复杂地质条件下大直径嵌岩桩检测分析 [J]. 福建建筑, 2021, (05): 71-74.
 [4] 王少丹. 浅析复杂地质情况下冲孔灌注桩施工质量管理 [J]. 福建建材, 2020, (05): 103-104.
 [5] 巫海波, 韩志文. 沿海复杂地质条件下旋挖灌注桩施工技术 [J]. 广东土木与建筑, 2020, 25(11): 64-66+69.