

# 桩基施工质量缺陷（如断桩、缩颈）的成因分析与无损检测技术比较

超 博

大唐内蒙古多伦煤化工有限责任公司 内蒙古锡林郭勒 027300

**摘 要：**桩基础作为工程结构的重要组成部分，其施工质量直接关系到整体工程的安全与稳定。然而，在桩基施工过程中，受地质条件、施工工艺、操作技术等多重因素影响，常出现断桩、缩颈等质量缺陷，严重影响桩基承载力和耐久性。本文旨在系统分析桩基施工中常见质量缺陷（以断桩、缩颈为例）的主要成因，探讨地质勘查不足、成桩工艺选择不当、操作不规范、混凝土质量不稳定等因素如何导致这些缺陷的产生。同时，对目前常用的桩基无损检测技术，如低应变动力检测、声波透射法、高应变动力检测、钻孔取芯法等，进行技术原理、适用范围、优缺点及局限性等方面的比较分析。通过对比不同无损检测方法的特点，为工程实践中根据桩基类型、缺陷特征、场地条件等因素选择最适宜的检测方法提供理论依据和技术参考，以期有效发现和评估桩基施工质量，保障工程质量安全。

**关键词：**桩基；施工质量缺陷；断桩；缩颈；成因分析；无损检测；技术比较

## 引言

随着现代高层建筑、大型桥梁、深基坑支护等工程的快速发展，桩基础因其承载力高、适应性强等优点，在各类土木工程中得到广泛应用，成为地基处理的主要形式之一。桩基工程属于隐蔽工程，其施工过程复杂，受地质条件、水文条件、施工机械、操作工艺以及管理水平等多种因素的综合影响，施工质量难以完全保证。在实际工程中，由于种种原因，桩基在施工完成后常出现各种质量缺陷，如断桩（桩身在不同深度的突然性中断）、缩颈（桩身局部截面直径显著小于设计直径）、夹泥、离析、沉渣过厚等问题。这些缺陷的存在，会严重削弱桩基的竖向承载能力、水平承载能力和抗拔能力，破坏桩身的完整性，缩短桩基的使用寿命，甚至导致上部结构产生不均匀沉降、倾斜、开裂，引发严重的工程事故，带来巨大的经济损失和社会影响。

## 一、桩基工程与质量缺陷概述

### （一）桩基的基本概念与分类

桩基是深入土层或岩层，将上部结构荷载传递至深部稳定地层或利用桩侧摩阻力与桩端阻力的基础形式。它作为隐蔽工程，承担着结构安全的关键角色。桩基主要分为两大类：一是灌注桩，指在施工现场钻孔、挖孔后，向孔内放置钢筋笼并浇筑混凝土形成的桩，如钻孔灌注桩、人工挖孔桩等，其截面形状多为圆形，直径和

长度可灵活调整，适应性强；二是预制桩，指在工厂或场外预先制作完成，然后通过锤击、静压、振动等方式将其沉入土中的桩，如预制钢筋混凝土方桩、预应力管桩、钢桩等，其质量较易控制，施工速度快。此外，根据桩的受力性状，可分为端承桩（主要依靠桩端支承载荷）和摩擦桩（主要依靠桩侧与土的摩擦力承担荷载）；根据成桩过程中对土的排挤作用，可分为挤土桩、部分挤土桩和非挤土桩。桩基的选择需综合考虑地质条件、荷载大小、施工环境及经济性等因素。

### （二）桩基施工质量缺陷的类型与危害

桩基施工质量缺陷是指在桩基建造过程中或完成后，其结构完整性、尺寸精度、材料强度或位置偏差未能达到设计或规范要求，影响桩基正常发挥承载功能的现象。这些缺陷种类繁多，按性质可分为结构完整性缺陷（如断桩、桩身裂缝、蜂窝麻面）、尺寸与形态缺陷（如缩颈、扩径、桩位偏差）、材料缺陷（如混凝土离析、强度不足、夹泥）以及位置缺陷（如桩底沉渣过厚、桩顶标高不符）等。这些缺陷的存在，会直接削弱桩基的竖向承载力、水平承载力和抗拔能力，破坏桩身的完整性，导致应力分布不均，甚至引发应力集中而使桩基提前破坏。其危害性极大，轻则引起建筑物沉降过大、不均匀沉降、倾斜、开裂，影响正常使用和耐久性；重则可能导致结构失稳、倒塌等严重工程事故，造成巨大的经济损失和人员伤亡，带来严重的社会影响。因此，识别、

预防和处理桩基质量缺陷是桩基工程中的核心议题。

## 二、桩基施工质量缺陷的成因分析

### (一) 断桩的成因分析

断桩是指在桩身不同深度的位置出现混凝土连续性中断或严重离析、松散的现象，是桩基施工中危害极大的质量缺陷，直接导致桩基失去承载能力。其成因是多方面因素综合作用的结果。首先，地质条件因素是诱发断桩的潜在诱因，当桩基需要穿越复杂地层时，如遇到坚硬障碍物（漂石、孤石）未被发现或处理不当，或遇到厚层软弱夹层、大型溶洞、流塑状软土等不良地质时，在钻进、挖掘或锤击沉桩过程中，巨大的应力集中或土体剧烈变形可能直接导致桩身结构破坏而断裂。其次，施工工艺因素是断桩发生的直接主要原因。例如，在混凝土浇筑过程中，若因机械故障、供料不及时等原因导致非正常中断时间过长，先期浇筑的混凝土初凝，后续混凝土浇筑时便会在接合面处形成断桩；或者导管提拔速度过快、埋深过浅，导致导管底部脱离混凝土面，泥浆或水进入导管，在混凝土中形成夹层，造成断桩；此外，钢筋笼在吊装或下放过程中发生碰撞或严重偏斜，强行纠偏也可能损伤桩身或导致混凝土浇筑不密实而形成断桩。

### (二) 缩颈的成因分析

缩颈是指桩身局部截面直径小于设计直径的缺陷，多发生在钻孔灌注桩的成孔过程中。其主要成因包括地质条件与施工工艺两方面。地质上，当桩周土层为软塑、流塑状态的饱和粘性土，或粉土、粉砂层时，在钻进扰动、孔内水位不高等情况下，土体易产生侧向挤入或坍塌，导致孔壁失稳而缩颈。施工工艺方面，泥浆护壁性能差或泥浆液柱压力不足，无法有效平衡孔壁土压力；钻进速度过快、提钻过猛或清孔不彻底，引起孔内液面波动或泥浆比重变化，破坏孔壁平衡；钢筋笼吊放时碰撞孔壁或强行下放导致孔壁坍塌；浇筑混凝土时导管埋深不足、拔管速度过快，或混凝土和易性差、坍落度不够，流动性不足，无法有效顶托挤密孔壁土体，都可能使已形成的孔壁土体坍塌或挤压，形成缩颈现象。

### (三) 其他常见质量缺陷成因概述

#### (1) 夹泥与离析的成因

夹泥是指在桩身混凝土内部或桩侧与孔壁之间夹入了泥浆或泥土，而离析则是指混凝土骨料与砂浆分离，导致局部混凝土质量不均。这两种缺陷的成因密切相关，主要源于施工工艺控制不当。在钻孔灌注桩施工中，如

果孔壁稳定性差（如地质条件不良、泥浆性能差或护壁不足）而发生局部坍塌，坍塌的泥土就可能被后续浇筑的混凝土包裹，形成夹泥。同时，如果混凝土浇筑速度过快、导管埋深不足，或提管时动作过猛，也可能将孔壁的泥皮或坍塌土块卷入混凝土中。离析则主要是由混凝土材料性能和浇筑过程操作不当引起。混凝土配合比设计不合理、水灰比过大、搅拌不均匀，或使用的粗骨料粒径过大、针片状含量高等，都可能导致混凝土和易性差，在浇筑和振捣过程中发生离析。此外，导管埋深过浅、混凝土落差过大（超过规范要求），或在浇筑过程中导管未能保持足够埋深，都容易导致粗骨料与砂浆分离，粗骨料集中，砂浆流失，形成强度薄弱的离析区。这些缺陷均会显著降低桩身混凝土的强度和密实度，削弱桩基的承载能力。

#### (2) 桩底沉渣过厚的成因

桩底沉渣是指灌注桩在混凝土浇筑前，位于桩孔底部且未完全清除的土体、砂石或其他杂物形成的沉淀层。过厚的沉渣会严重影响桩基的承载力，特别是对于端承桩或摩擦端承桩，它如同在桩尖设置了一个软垫，大大降低了桩端将荷载传递给持力层的效果，可能导致桩基沉降过大甚至失效。其主要成因在于终孔清孔工艺不到位。在钻孔完成后，如果清孔时间不足、清孔方法选择不当（如未采用二次清孔或清孔不彻底）、泥浆性能不佳（如粘度不够、携渣能力差）或清孔过程中孔内泥浆面下降导致孔壁坍塌，都难以将孔底钻渣、泥皮等杂物完全清除。此外，提钻具或下钢筋笼、导管时操作不慎，搅动了孔底沉积的钻渣，也可能导致沉渣厚度增加。最后浇筑混凝土前，如果间隔时间过长，孔底新沉积的细小颗粒也会增加沉渣厚度。因此，严格的清孔作业、合适的泥浆性能以及规范的操作流程对于控制桩底沉渣厚度至关重要。

#### (3) 桩身混凝土强度不足的成因

桩身混凝土强度不足是指实测混凝土强度低于设计要求或规范标准，是桩基质量缺陷中较为常见且危害性较大的一种。其成因涉及材料、配合比、施工及养护等多个环节。材料方面，水泥过期、受潮结块或存放不当导致活性降低；砂石骨料含泥量、有害物质含量超标，或级配不良，都可能影响混凝土强度。配合比方面，水灰比控制不严，现场随意加水；配合比设计本身不合理，未根据原材料变化进行调整。施工方面，混凝土搅拌时间不足或不均匀；运输过程中发生离析或坍落度损失过

大；浇筑时振捣不密实，存在蜂窝、麻面，影响强度；养护措施不到位，如养护开始时间过早或过晚、养护湿度或温度不足、养护时间不够等，都可能导致混凝土强度发展不充分。此外，环境因素如低温施工未采取有效保温措施，也会显著延缓水泥水化反应，降低早期及最终强度。这些因素单独或共同作用，都可能造成桩身混凝土强度不足，影响桩基的承载力和耐久性。

### 三、桩基无损检测技术比较

#### （一）无损检测技术概述

桩基无损检测技术是指在不损害或影响桩基结构完整性及使用功能的前提下，利用特定的物理原理和专用设备，对桩基的完整性、均匀性、材料强度以及承载力等性能进行检测和评估的技术方法。这类技术主要针对桩基作为隐蔽工程的特性而发展，旨在解决因施工复杂性、地质不确定性等因素导致的桩基质量隐患问题。无损检测技术种类繁多，各具特点，广泛应用于桩基施工过程中的质量监控和施工完成后的质量验收环节。其核心价值在于能够及时发现桩身缺陷（如断桩、缩颈、夹泥、离析等）、评估桩身完整性类别、判断桩底沉渣情况，并为桩基质量评定、工程处理决策提供客观依据，是保障桩基工程安全和可靠性的关键技术手段。

#### （二）主要桩基无损检测技术介绍与比较

##### （1）低应变动力检测法（反射波法）

低应变动力检测法，又称反射波法，是利用小锤敲击桩顶产生应力波，应力波沿桩身向下传播，遇到波阻抗变化界面（如缺陷、桩底）时产生反射，通过安装在桩顶的传感器接收反射波信号，分析波的传播时间和幅度变化来判断桩身缺陷的位置和性质。该方法设备简单、操作方便、快速经济，适用于普查桩身完整性，可检测桩身浅部到中深部的断裂、缩颈、离析等缺陷。其局限性在于无法准确量化缺陷大小，对桩底以下持力层情况无法检测，且对桩身截面不规则（如扩径）的识别能力有限。

##### （2）声波透射法

声波透射法是在预埋声测管之间布置发射和接收换能器，通过测量声波在桩身混凝土中传播的时间、波幅、频率等参数的变化，来评估桩身混凝土的连续性和均匀性。该方法可沿桩长进行连续检测，对桩身内部细微缺陷（如夹泥、蜂窝、不密实区）较敏感，检测结果直观，

精度较高。但需在施工时预埋声测管，成本较高，且对桩身截面变化、声测管倾斜或堵塞等因素较为敏感，不适用于已成桩未预埋管道的情况。

##### （3）高应变动力检测法

高应变动力检测法是通过重锤冲击桩顶，使桩身产生接近实际工作状态的应力状态，利用传感器测量桩身应力波响应，通过波动理论或拟静力法分析，不仅可以评估桩身完整性，更能确定单桩竖向抗压承载力。该方法能较好地模拟桩的实际受力情况，结果较为可靠，适用于检测桩身缺陷和评估承载力。但设备笨重、成本高、对场地要求高、测试费用昂贵，且对锤击能量和测试技术要求严格，主要用于重要工程或需验证承载力的桩基检测。

### 结束语

综上所述，桩基施工质量缺陷，特别是断桩和缩颈问题，是影响桩基工程安全性和可靠性的重要因素，其产生往往是地质条件、施工工艺、材料质量、操作管理等多方面不利因素共同作用的结果。因此，在桩基施工前应充分做好地质勘察工作，精心选择和优化施工方案，加强施工过程中的质量监控和规范操作，从源头上预防和减少质量缺陷的发生。同时，采用科学有效的检测手段对已施工桩基进行质量评价也至关重要。通过对低应变动力检测、声波透射法、高应变动力检测、钻孔取芯法等主要无损检测技术的比较分析可以看出，每种方法都有其特定的检测原理、优势、局限性及适用范围。没有一种方法是万能的，实际工程中应根据具体的桩型、桩长、截面形式、地质条件、可能存在的缺陷类型及检测目的，综合选择或组合运用不同的无损检测技术，有时甚至需要多种方法相互验证，以提高检测结果的准确性和可靠性。

### 参考文献

- [1] 朱姿霖. 桩基施工质量控制与检测技术分析[J]. 建材发展导向, 2023, 21(24): 54-56.
- [2] 刘义军. 公路桥梁桩基施工与检测技术分析[J]. 江西建材, 2022(09): 106-107+110.
- [3] 黄灵其. 旋挖灌注桩施工成桩质量控制研究[J]. 福建建筑, 2025, (04): 63-67.