

**UDC**

广东省市政行业协会团体标准

**P**



**T/GDSZXH** **0xx-202x**

市政桥梁既有桩基检测技术规程

Technical specification for inspection of municipal bridges existing pile foundation

(公开征求意见稿)

**2022**— × ×— × ×发布 **2022**— × ×— × ×实施

广东省市政行业协会团体标准

市政桥梁既有桩基检测技术规程

**Technical** **specification** **for** **inspection** **of** **municipal** **bridges**

**existing** **pile** **foundation**

**T/GDSZXH** **0xx-202x**

批准部门： ……

施行日期：202x 年××月×× 日

**xxx** 出版社

202x xx

广东省市政行业协会关于发布团体标准

《市政桥梁既有桩基检测技术规程》的公告

粤市协公告【**202X**】**XX** 号

经组织专家委员会审查，现批准《市政桥梁既有桩基检测技术规程》为 广东省市政行业协会团体标准，编号为 T/GDSZXH 0xx-202x 。本标准自 202×年×月× 日起施行。

本规程由广东省市政行业协会负责管理，由主编单位广州市市政工程试 验检测有限公司负责具体技术内容的解释，并在广东省市政行业协会官网 (<https://www.gdszxh.com/>) 公开。

广东省市政行业协会

202×年××月× × 日

前 言

根据《广东省市政行业协会 2022 年团体标准制修订征集的通知》 (建市协 [2022]31 号) 的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，结合我 国实际情况，参考有关国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规 程。

本规程的主要技术内容包括：总则、术语和符号、基本规定、旁孔透射波法、 磁测井法、钻孔低应变法、双速度法、桩身散射成像法、动刚度法、管波探测法、 钻芯检测法、桩基变形监测、周边环境影响监测等。

本规程由广东省市政行业协会归口管理，由广州市市政工程试验检测有限公 司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送广州市市政工 程试验检测有限公司 (地址：广州市天河区天源路 1111 号育龙居 B 栋首层市政 检测公司，邮政编码：510520) 。

本 规 程 主 编 单 位 ： 广州市市政工程试验检测有限公司

本 规 程 参 编 单 位 ：

本规程主要起草人员：

本规程主要审查人员：

目 次

[1 总则 9](#_bookmark1)

[2 术语和符号 10](#_bookmark2)

[2.1 术语 10](#_bookmark3)

[2.2 符号 11](#_bookmark4)

[3 基本规定 13](#_bookmark5)

[3.1 总体规定 13](#_bookmark6)

[3.2 检测工作程序 14](#_bookmark7)

[3.3 检测工作方案 14](#_bookmark8)

[3.4 检测报告 15](#_bookmark9)

[4 旁孔透射波法 17](#_bookmark10)

[4.1 一般规定 17](#_bookmark11)

[4.2 仪器设备要求 17](#_bookmark12)

[4.3 现场检测 17](#_bookmark13)

[4.4 结果分析与评定 18](#_bookmark14)

[5 磁测井法 20](#_bookmark15)

[5.1 一般规定 20](#_bookmark16)

[5.2 仪器设备要求 20](#_bookmark17)

[5.3 现场检测 20](#_bookmark18)

[5.4 结果分析与评定 21](#_bookmark19)

[6 钻孔低应变法 23](#_bookmark20)

[6.1 一般规定 23](#_bookmark21)

[6.2 仪器设备要求 23](#_bookmark22)

[6.3 现场检测 23](#_bookmark23)

[6.4 结果分析与评定 24](#_bookmark24)

[7 双速度法 26](#_bookmark25)

[7.1 一般规定 26](#_bookmark26)

[7.2 仪器设备要求 26](#_bookmark27)

[7.3 现场检测 26](#_bookmark28)

[7.4 结果分析与评定 27](#_bookmark29)

[8 桩身散射成像法 28](#_bookmark30)

[8.1 一般规定 28](#_bookmark31)

[8.2 仪器设备要求 28](#_bookmark32)

[8.3 现场检测 28](#_bookmark33)

[8.4 结果分析与评定 29](#_bookmark34)

[9 动刚度法 31](#_bookmark35)

[9.1 一般规定 31](#_bookmark36)

[9.2 仪器设备要求 31](#_bookmark37)

[8.3 现场检测 32](#_bookmark38)

[9.4 结果分析与评定 33](#_bookmark39)

[10 管波探测法 34](#_bookmark40)

[10.1 一般规定 34](#_bookmark41)

[10.2 仪器设备要求 34](#_bookmark42)

[10.3 现场检测 34](#_bookmark43)

[10.4 结果分析与评定 36](#_bookmark44)

[11 钻芯检测法 40](#_bookmark45)

[11.1 一般规定 40](#_bookmark46)

[11.2 仪器设备要求 40](#_bookmark47)

[11.3 现场检测 40](#_bookmark48)

[11.4 结果分析与评定 41](#_bookmark49)

[12 桩基变形监测 43](#_bookmark50)

[12.1 一般规定 43](#_bookmark51)

[12.2 沉降监测 43](#_bookmark52)

[12.3 水平位移监测 44](#_bookmark53)

[12.4 裂缝监测 45](#_bookmark54)

[13 周边环境影响监测 47](#_bookmark55)

[13.1 一般规定 47](#_bookmark56)

[13.2 深层水平位移监测 47](#_bookmark57)

[13.3 土体分层沉降监测 48](#_bookmark58)

[13.4 地下水位监测 48](#_bookmark59)

[13.5 施工振动监测 49](#_bookmark60)

[本标准用词说明 51](#_bookmark61)

[引用标准名录 52](#_bookmark62)

[条文说明 53](#_bookmark63)

**Contents**

[1 General Provisions 9](#_bookmark64)

[2 Terms and Symbols 10](#_bookmark65)

[2.1 Terms 10](#_bookmark66)

[2.2 Symbols 11](#_bookmark67)

[3 Basic Requirements 13](#_bookmark68)

[3.1 General Requirements 13](#_bookmark69)

[3.2 Testing Procedures 14](#_bookmark70)

[3.3 Testing Programmes 14](#_bookmark71)

[3.4 Testing Reports 15](#_bookmark72)

[4 Parallel Aeismic Wave Method 17](#_bookmark73)

[4.1 General Requirements 17](#_bookmark74)

[4.2 Equipment Requirements 17](#_bookmark75)

[4.3 Filed Test 17](#_bookmark76)

[4.4 Result Analysis and Evaluation 18](#_bookmark77)

[5 Magnetic Logging Method 20](#_bookmark78)

[5.1 General Requirements 20](#_bookmark79)

[5.2 Equipment Requirements 20](#_bookmark80)

[5.3 Filed Test 20](#_bookmark81)

[5.4 Result Analysis and Evaluation 21](#_bookmark82)

[6 Low-strain Integrity Testing in The Hole of Pile Top 23](#_bookmark83)

[6.1 General Requirements 23](#_bookmark84)

[6.2 Equipment Requirements 23](#_bookmark85)

[6.3 Filed Test 23](#_bookmark86)

[6.4 Result Analysis and Evaluation 24](#_bookmark87)

[7 Double-velocity Test Method 26](#_bookmark88)

[7.1 General Requirements 26](#_bookmark89)

[7.2 Equipment Requirements 26](#_bookmark90)

[7.3 Filed Test 26](#_bookmark91)

[7.4 Result Analysis and Evaluation 27](#_bookmark92)

[8 桩身散射成像法 28](#_bookmark93)

[8.1 General Requirements 28](#_bookmark94)

[8.2 Equipment Requirements 28](#_bookmark95)

[8.3 Filed Test 28](#_bookmark96)

[8.4 Result Analysis and Evaluation 29](#_bookmark97)

[9 Dynamic Stiffness Method 31](#_bookmark98)

[9.1 General Requirements 31](#_bookmark99)

[9.2 Equipment Requirements 31](#_bookmark100)

[8.3 Filed Test 32](#_bookmark101)

[9.4 Result Analysis and Evaluation 33](#_bookmark102)

[10 Tube Wave Detection 34](#_bookmark103)

[10.1 General Requirements 34](#_bookmark104)

[10.2 Equipment Requirements 34](#_bookmark105)

[10.3 Filed Test 34](#_bookmark106)

[10.4 Result Analysis and Evaluation 36](#_bookmark107)

[11 Core Drilling Method 40](#_bookmark108)

[11.1 General Requirements 40](#_bookmark109)

[11.2 Equipment Requirements 40](#_bookmark110)

[11.3 Filed Test 40](#_bookmark111)

[11.4 Result Analysis and Evaluation 41](#_bookmark112)

[12 Deformation Monitoring of Pile Foundations 43](#_bookmark113)

[12.1 General Requirements 43](#_bookmark114)

[12.2 Settlement Monitoring 43](#_bookmark115)

[12.3 Horizontal displacement monitoring 44](#_bookmark116)

[12.4 Crack monitoring 45](#_bookmark117)

[13 Surrounding Environmental Impact Monitoring 47](#_bookmark118)

[13.1 General Requirements 47](#_bookmark119)

[13.2 Deephorizontal displacement monitoring 47](#_bookmark120)

[13.3 Soil Layered Settlement Monitoring 48](#_bookmark121)

[13.4 Groundwater Level Monitoring 48](#_bookmark122)

[13.5 Construction Vibration Monitoring 49](#_bookmark123)

[Explanation of Wording in This Specification 51](#_bookmark124)

[List of Quoted Standards 52](#_bookmark125)

[Explanation of Provisions 53](#_bookmark126)

**1** 总则

**1.0.1** 为了在广东省市政桥梁既有桩基检测中贯彻执行国家的技术经济政策，做 到安全适用、技术先进、数据准确、评价正确、保护环境，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于广东省市政桥梁既有桩基的检测与监测。

**1.0.3** 市政桥梁既有桩基检测方法的选择应根据各种检测方法的特点和适用范 围，综合考虑桥梁上部结构类型、桩基础现状、地质条件、周边环境、使用要求 等因素，做到因地制宜、综合确定。

**1.0.4** 市政桥梁既有桩基检测与监测除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和

广东省现行有关标准的规定。

**2** 术语和符号

**2.1** 术语

**2.1.1** 既有桥梁桩基检测 pile foundation inspection of existing bridge

对已实现使用功能的桥梁桩基础承载能力和完整性等进行检查和评估。

**2.1.2** 旁孔透射波法 parallel seismic wave method

在基桩顶部或与基桩相连的刚性结构上激振产生应力波，利用在被测桩旁平 行被测桩的钻孔内放置的检波器，接收从钻孔底向上以一定距离经由桩身或桩底 以下土层传播的应力波，通过分析应力波在激发点和接收点间传播时间的变化，

判定桩长和桩身完整性的检测方法。

**2.1.3** 磁测井法 magnetic logging method

通过在桩中或桩外侧成孔，采用专业仪器测量井壁及其周围介质的磁性参数

来分析和判断桩的钢筋笼长度的检测方法。

**2.1.4** 钻孔低应变法 low-strain integrity testing in the hole of pile top

采用低能量瞬态方式在桩顶承台激振，实测桩顶部钻孔内的速度时程曲线，

通过波动理论的时域分析，对桩身完整性进行判定的检测方法。

**2.1.5** 双速度法 double-velocity method

采用低能量瞬态方式在桩顶承台或墩柱侧壁激振，实测桩身侧面不同位置传 感器接收的速度时程曲线，通过波动理论的时域分析，对桩身完整性进行判定的

检测方法。

**2.1.6** 桩身散射成像法 pile scattering method

通过在桩侧面布置检波器串，在检波器串的正上方激振，根据入射波、反射 波和相速度的变化情况，对桩长和桩身完整性进行判定的检测方法。

**2.1.7** 动刚度法 dynamic stiffness method

通过识别桩顶施加的激振力信号与相应桩顶速度响应信号得到桩基速度导 纳与频率的关系曲线，通过分析导纳曲线得出桩基动刚度值，进而判断桩基缺陷

位置和严重程度。

**2.1.8** 管波探测法 tube wave method

通过在钻孔井液中激发产生管波，接收并记录其经过井液和孔旁混凝土或岩

土介质传播的振动波形，探测孔旁一定范围内的桩身混凝土缺陷、岩溶、洞穴、

软弱夹层及裂隙带发育分布的方法。

**2.1.9** 钻芯检测法 core drilling method

用钻机钻取芯样，对被检测的桩长、桩身缺陷及其位置、桩底沉淀厚度以及 桩身混凝土抗压强度、桩端岩土性状等进行评判的检测方法。

**2.2** 符号

**2.2.1** 抗力和材料性能

*Vm* ——基础介质的纵波波速；

*Vc* ——周土介质的平均纵波波速；

*c*——受检桩的桩身波速；

*cm——*桩身波速的平均值；

*ci——*第 *i* 根受检桩的桩身波速值；

*vpm*——实测桩身评价波速；

*fcu*——芯样试件抗压强度；

*Vf*——钻孔中流体 (井液) 的纵波波速；

*ρf*——钻孔中流体 (井液) 的密度；

*Vs*——钻孔周围固体介质 (岩土层) 的横波波速；

*ρ*——钻孔周围固体介质 (岩土层) 的密度。

**2.2.2** 作用与作用效应

*Kd*——实测动刚度；

*Kdm*——场地平均动刚度值；

*P*——芯样试件抗压试验测得的破坏荷载；

*F*—激振力；

*Z*0——背景磁场值；

*V*——振动速度。

**2.2.3** 几何参数

*H* ——初至时深度曲线拐点对应的深度；

*g*

*L* *h*——测试孔与被测基础之间的水平距离；

*L*——计算桩长；

*h*——钢筋笼长度；

*h*1——检测时桩顶面标高；

*h*0——钢筋笼底面标高；

*x*——*桩*身缺陷至传感器安装点的距离；

*h*1,*i—*通道 1 距离激振点的轴线距离 (m ) ；

*h*2,*i*——通道 2 距离激振点的轴线距离；

*n*——参加波速平均值计算的基桩数量；

*L0*——测量桩长；

*d*——芯样试件的平均直径；

*Nn*——采样点数；

△*t*——采样间隔。

**2.2.4** 计算系数

*N0*——实测导纳值；

*N*——理论导纳值；

*Nom*——导纳实测几何平均值。

**2.2.5** 其他

*△f'*——幅频信号曲线上缺陷相邻谐振峰间的频差；

*△tx*——速度波第一峰与缺陷反射波峰间的时间差；

*t*1,*i*——通道 1 的初至波到达时间；

*t*2,*i*——通道 2 的初至波到达时间；

*△f''*——共振峰频率增量；

*f*max——荷载频率上限；

△*f*——幅频曲线频率间隔；

*f*——频率。

**3** 基本规定

**3.1** 总体规定

**3.1.1** 市政桥梁发生以下情况时，应对桥梁下部既有桩基进行检测、监测及安全

性评定，具体包括：

**1** 桥梁承受荷载或使用功能发生改变；

**2** 桥梁结构发生可能影响桥梁安全和正常使用的沉降、位移、开裂或变形

等；

**3** 周边环境发生变化或工程建设活动可能影响桥梁安全和正常使用；

**4** 桥梁达到设计使用年限后需继续使用基础；

**5** 质量事故分析或为桥梁结构安全性鉴定提供依据。

**3.1.2** 市政桥梁桩基检测前应明确检测目的、要求，进行现场调查，确定检测实

施的可行性，并取得下列资料：

**1** 场地岩土工程勘察资料、桥梁设计文件图纸、桩基础施工资料、检测和 验收资料；

**2** 桥梁现状调查报告、变形监测报告；

**3** 桥梁周边场地环境、施工情况、地下工程和管线分布情况；

**4** 与检测工作相关的其他资料等。

**3.1.3** 市政桥梁既有桩基质量检测应合理选择检测方法。当通过两种或两种以上

检测方法的相互补充、验证，能有效提高既有桩基质量检测结果判定的可靠性时， 应选择两种或两种以上的检测方法。

表 **3.1.3** 检测目的及检测方法

|  |  |
| --- | --- |
| 检测方法 | 检测目的 |
| 旁孔透射波法 | 通过对承台或墩柱等进行激振，分析波列的波速、波幅特征，结合地质条 件、桩型、成桩工艺等资料，判断桩长和桩基完整性是否满足要求。。 |
| 磁测井法 | 通过在桩中或桩外侧成孔，检测桩中心或桩旁岩土介质的磁性参数变化特 征，判断桩身钢筋笼长度或桩长是否满足要求。 |
| 钻孔低应变法 | 通过在桩顶承台表面钻孔、激振和采集反射应力波信号，判断桩长和桩基 完整性是否满足要求，并检查桩顶与承台的连接质量。 |
| 双速度法 | 通过桩侧布置多道测振传感器获取桩基反射波信号，判断桩长和桩基完整 性是否满足要求。 |
| 动刚度法 | 通过采集桩顶激振力信号与桩顶速度响应信号，计算桩基动刚度，判断桩 |

|  |  |
| --- | --- |
|  | 身完整性是否满足要求。 |
| 管波探测法 | 通过在桩身钻孔中激发和接收管波，分析管波波形特征，判断桩身完整性 是否满足要求。 |
| 钻芯检测法 | 通过钻机钻取桩基芯样，判断桩长和桩基完整性是否满足要求，并检查桩 底沉淀厚度、桩端岩土性状。 |
| 桩基变形监测 | 通过人工监测或者远程自动化监测桩基变形，判断桩基变形是否满足要求。 |
| 周边环境影响监测 | 通过人工监测或者远程自动化监测桥址周边环境影响，判断桩基在受到周 边环境影响后是否满足要求。 |

**3.2** 检测工作程序

**3.2.1** 市政桥梁桩基检测与监测工作可按图 3.2. 1 的程序进行。



图 **3.2.1** 市政桥梁既有桩基检测与监测工作程序

**3.3** 检测工作方案

**3.3.1** 检测监测方案应根据调查情况、检测监测目的和要求确定，并应包括下列

内容：

**1** 桥梁概况及现状调查情况；

**2** 检测监测目的及依据；

**3** 检测监测内容、检测数量及抽样方案；

**4** 所需的仪器设备、人员及进度计划；

**5** 试验点开挖、加固、处理措施；

**6** 现场检测及恢复措施；

**7** 安全措施和环境保护措施；

**8** 需委托方配合的条件及要求。

**3.3.2** 检测点位置应综合考虑桥梁结构类型、荷载分布、桩基础类型、场地地质

条件等因素确定。下列位置应设置检测点：

**1** 结构损坏部位；

**2** 荷载突变部位；

**3** 加固改造影响部位；

**4** 场地地质条件复杂部位；

**5** 环境影响异常部位。

**3.3.3** 加固桥梁桩基检测应在满足龄期要求及地基施工后周围土体达到休止稳

定后进行。

**3.3.4** 检测用计量器具必须在计量检定或校准周期的有效期内。仪器设备性能应

符合相应检测方法的技术要求。

**3.3.5** 现场检测工作结束后，应及时对因检测所形成的场地局部缺损部位进行修

复。

**3.3.6** 当市政桥梁进行安全性鉴定时，有条件时应进行变形监测，当变形加快、

或因周边环境发生明显变化可能或者已经引起变形的市政桥梁，应进行变形加密 监测和周边环境检测与监测。

**3.3.7** 当监测过程中发生下列情况之一时，应加密监测或调整监测方案：

**1** 桥梁变形量或变形速率出现异常变化或超出预警值；

**2** 桥梁周边或施工开挖面出现塌陷、滑坡、滑移、侧向变形较大且不收敛

时；

**3** 桥梁出现裂缝、倾斜、扭曲及地表出现裂缝、较大沉降及塌陷等异常。

**3.4** 检测报告

**3.4.1** 检测监测报告应包括下列内容：

**1** 报告编号，委托单位；

**2** 工程名称、地点，建设、勘察、设计、监理和施工单位，桩基础类型、 桥梁结构类型，设计要求，检测目的、检测依据、检测内容、检测数量、检测日 期；

**3** 桥梁上部结构和基础使用现状描述，存在的问题；

**4** 场地主要岩土层结构及其物理力学指标；

**5** 检测点的编号、位置和相关施工记录；

**6** 检测点的标高、场地标高及地基设计标高；

**7** 检测方法、检测仪器设备及检测过程叙述；

**8** 检测数据、实测与计算分析曲线、表格和汇总结果；

**9** 相关图件或试验报告；

**10** 检测结论。

**4** 旁孔透射波法

**4.1** 一般规定

**4.1.1** 旁孔透射波法适用于承台和桩身埋置于岩土体中，桩头隐蔽、桩体无法开

挖、桩周附近可钻孔的桥梁桩基长度和完整性检测。



图 **4.1.1** 旁孔透射波法检测桩身完整性示意图

1—桥墩；2—基桩；3—信号分析仪；4—激振锤；5—试坑壁；6—测管；7—检波器；8—透射波

**4.1.2** 使用旁孔透射波法的工作条件应符合下列规定：

**1** 在桥梁桩基旁土层中设置有钻孔；

**2** 钻孔应安装塑料套管，钻孔深度应超出待测桩基预估桩底以下 5m，待测 桩基与钻孔之间距离不宜大于 1m。

**4.2** 仪器设备要求

**4.2.1** 检测仪器设备应符合下列规定：

**1** 检波器宜采用灵敏度不低于 3000μV/Pa 的多道等距水听器，工作道数不 宜小于 12 道，道间距不应大于 0.5m；

**2** 仪器的 A/D 转换器不应小于 16 位。采样间隔不应大于 25μs ，通频带应 宽于 100Hz~4000Hz；

**3** 宜使用小锤激振，并宜激发出高频振动。

**4.3** 现场检测

**4.3.1** 测试孔布置与孔内套管安装应符合下列规定：

**1** 测试孔宜设置在待测桩基础外侧边缘不大于 1m 处的土中，测试孔中心 线应平行于桩身轴线；

**2** 测试孔宜采用液压操纵的钻机，并采用配置扶正稳定器的钻具，成孔内 径不宜小于 75mm；

**3** 测试孔深度应达到预估桩底标高以下 5m ，垂直度偏差不应大于 0.5%；

**4** 套管内径应大于井中检波器外径；

**5** 套管应下端封闭、上端加盖，管内无异物，套管连接处应光顺过渡，管 口高出地面或水面不应小于 0.5m。

**4.3.2** 现场测试工作应符合下列规定：

**1** 测试前应检查套管内的通畅情况，清除障碍，且应在套管内注满清水； 因套管管径小于钻孔孔径而出现套管外空间时，宜在套管内外注满清水；

**2** 激振点宜布置在与待测基础相连的承台表面；承台浅埋时，宜使用钢钎 打入地下并接触承台顶面，钢钎直径不宜小于 40mm；无承台或承台埋藏较深时， 激振点可在与待测基础相连的柱体底部布置，测试前应清除激振点附近的砂浆批 荡；

**3** 孔中检波器接收排列底端应沉放至管底，向上逐点移动，至接收排列顶 端到达孔口结束；每次移动前激发、接收一次；排列移动间隔宜为检波器间距的 1/2；

**4** 应根据现场情况，设定滤波通带；

**5** 应准确记录激振点与测试钻孔之间空间关系。

**4.4** 结果分析与评定

**4.4.1** 资料处理与解释应符合下列规定：

**1** 应综合利用波速、波幅、频率和钻孔资料；

**2** 资料处理应在记录编辑后拾取初至时间，绘制时深曲线，识别曲线拐点； 孔深大于 30m 时应进行孔斜校正；

**3** 资料解释时，应按任务要求进行入土深度计算、桩身完整性判定等。

**4.4.2** 桩基础入土深度 *H*p 可按下式计算：

 *H*g (*L*h  1*m*)

*HP* =〈|*H*g -  (*L*h＞1*m*) (4.4.2)



式中： *Hg* ——初至时深度曲线拐点对应的深度(m)；

*L*h ——测试孔与被测基础之间的水平距离(m)；

*Vm* ——基础介质的纵波波速(m/s)；

*Vc* ——桩周土的平均纵波波速(m/s) ，宜实测求取。无法求取时，可根据

所对应周土介质按表 4.4.2 选取。

表 **4.4.2** 有关介质纵波波速

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 地层名称 | 水 | 淤泥、淤泥质黏土 | 粉质黏土、黏土 | 粉细砂、砾砂 | 砾石 |
| 纵波波速(m/s ) | 1450~ 1500 | 1300~ 1500 | 1500~ 1800 | 1700~ 1900 | 1800~2200 |

**4.4.3** 桩身完整性类别应根据检测获得波列图的波形特征、波幅特征，结合地质

条件、桩型、成桩工艺等资料，按表 4.4.3 进行综合判定。

表 **4.4.3** 桩身完整性判定特征

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 类别 | 时域波形特征 | 时域波幅特征 |
| Ⅰ | 各测点首波斜率规则，桩底波列拐点明显 | 各测点首波幅值对称规则。幅 值无突变 |
| Ⅱ | 各测点首波波列图斜率基本规则，出现个别测点首波 轻微延时。桩底波列拐点明显 | 各测点波列图首波幅值基本 对称规则，幅值局部轻度变 化，出现个别测点首波幅值略 有降低 |
| Ⅲ | 首波初至时间与波幅有明显异常，其他特征介于Ⅱ类和Ⅳ类之间 |
| Ⅳ | 各测点首波波列图斜率在某处有严重畸变，出现整段 测点首波明显延时，桩底波列拐点不明显 | 测点波列图在某处首波幅值 变化明显，首波幅值存在突变 |

**4.4.4** 探测成果应主要包括受检桩桩底标高及完整性评价、受检桩透射波波形-

深度波列图。

**5** 磁测井法

**5.1** 一般规定

**5.1.1** 磁测井法适用于市政桥梁灌注桩或预制桩内钢筋笼长度检测，当钢筋笼长

度与桩长一致时，可用于判定桩长。

**5.1.2** 磁测井法的有效性应通过现场试验确定，并宜结合其它检测方法相互验

证。

**5.2** 仪器设备要求

**5.2.1** 磁感应检测仪应符合下列规定：

**1** 具有自动采集、存储深度和磁场数据，实时显示接收信号深度-磁场强度

曲线的功能；

**2** 磁场测量范围应为-99999nT~+99999nT ，分辨率宜优于 50nT；

**3** 深度分辨率宜优于 5cm ，深度测试误差宜小于 0.5m；

**4** 数字输出刷新速度宜不小于 5 次/秒；

**5** 工作环境温度宜为 0℃~50℃。

**5.2.2** 磁场传感器应符合下列规定：

**1** 响应时间宜不大于 200ms；

**2** 1.5MPa 水压下不渗水。

**5.3** 现场检测

**5.3.1** 测试孔的布置应符合下列规定：

**1** 测试孔宜布置在距受检桩边缘不大于 0.5m 的土中，并远离相邻桩。桩顶 承台裸露且具备钻芯条件时，灌注桩可利用桩身钻芯孔进行测试。对于管桩，测

试孔宜设置在管桩空心内；

**2** 桩侧成孔的垂直度宜控制在 1%以内；

**3** 测试孔内径宜为 60mm~90mm，测试孔深度宜比预计钢筋笼底端深 5m；

**4** 当测试孔周围存在易塌孔土层时，宜在测试孔中设置 PVC 管护孔，PVC 管内径宜为 60mm~90mm。



(a) 测试孔位于灌注桩桩身内 (b) 测试孔位于灌注桩桩身外 (c) 测试孔位于管桩空心内

图 **5.3.1** 磁测井法检测桩基钢筋笼长度现场布置示意

1—深度记录器；2—磁感应检测仪；3— 电缆线；4—三脚架； 5—测试孔；6—灌注桩钢筋笼；7—磁场传感器；8—管桩

**5.3.2** 检测前，应检查测试孔或 PVC 管的畅通情况，磁场传感器应能在测试深

度内升降顺畅。

**5.3.3** 现场检测应符合下列规定：

**1** 将磁场传感器放入测试孔中，从下往上进行磁场垂直分量 (*Z*) 强度的测

量，测点间距宜为 100mm~200mm；

**2** 人工拉线应保证传感器缓慢匀速上升，移动速率不宜大于 10m/min；

**3** 根据实时记录和显示的深度—垂直分量 (*H*-*Z*) 曲线，观察钢筋笼底部 以下段实测背景磁场值 *Z*0 是否平滑稳定，钢筋笼底部处反应是否明显，并初步 判断测试信号是否正常；

**4** 每根受检桩记录的有效实测曲线不应少于 2 条。多次实测的曲线一致性 较差时，应分析原因，增加检测次数。

**5.4** 结果分析与评定

**5.4.1** 钢筋笼底端位置按下列方法判定：

**1** 根据实测深度—垂直分量 (*H*-*Z*) 曲线下端平滑稳定的 *Z* 值判定测区垂 直分量背景值 *Z*0 。当垂直分量 (*Z*) 值相对背景场值 *Z*0 明显变化时可判定有钢筋

笼存在；

**2** 根据深度—垂直分量 (*H*-*Z*) 曲线和深度-磁场垂直分量梯度 (*H*-d*Z*/d*h*) 曲线综合判定钢筋笼底端位置。取 *H*-*Z* 曲线底部垂直分量由小于背景场的极小 值转成大于背景场的拐点(或 *H*-d*Z*/d*h* 曲线底部最深的极值点)对应的深度位置。

**5.4.2** 桩身钢筋笼长度按下式计算：

*h* = *h*1  *h*0 (5.4.2)

式中：*h—*钢筋笼长度 (m ) ；

*h*1*—*检测时桩顶面标高 (m ) ；

*h*0*—*钢筋笼底面标高 (m ) 。

**6** 钻孔低应变法

**6.1** 一般规定

**6.1.1** 钻孔低应变法适用于检测桩顶具备钻孔条件的既有桥梁混凝土灌注桩基

的桩身完整性，判定桩身缺陷的程度及位置，并检查桩顶与承台的连接质量。

**6.1.2** 钻孔低应变法的有效性应通过现场试验确定，并宜结合其它检测方法相互

验证。

**6.2.1** 检测仪器设备应符合现行行业标准《基桩动测仪》JG/T 518 的有关规定。

**6.2** 仪器设备要求

**6.2.2** 激振设备应包括能激发宽脉冲和窄脉冲的力锤和锤垫。

**6.3** 现场检测

**6.3.1** 受检桩应符合下列规定：

**1** 桩身混凝土强度不应低于设计强度的 70% ，且不应低于 15MPa；

**2** 桩头的材质、强度应与桩身相同，桩头的截面尺寸不宜与桩身有明显差

异；

**3** 钻孔测试面应平整、密实，并与桩轴线垂直。

**6.3.2** 测试参数设定，应符合下列规定：

**1** 时域信号记录的时间段长度应在 2*L*/*c* 时刻后延续不少于 5ms；幅频信号 分析的频率范围上限不应小于 2000Hz；

**2** 设定桩长应为测点至桩底的施工桩长，设定桩身截面积应为施工截面积；

**3** 桩身波速可根据本地区同类型桩的测试值初步设定；

**4** 采样时间间隔或采样频率应根据桩长、桩身波速和频域分辨率合理选择； 时域信号采样点数不宜少于 1024 点；

**5** 传感器的设定值应按计量检定或校准结果设定。

**6.3.3** 测量传感器安装和激振操作，应符合下列规定：

**1** 测试孔深度宜为桩顶以下 50cm~100cm ，安装传感器部位的混凝土应平

整；

**2** 测试孔底部宜用快硬砂浆找平，砂浆凝固后在顶部设置测振传感器；

**3** 传感器用耦合剂粘结时，应具有足够的粘结强度；

**4** 激振方向应沿桩轴线方向；

**5** 应通过现场敲击试验选择合适重量的激振力锤和软硬适宜的锤垫；宜用 宽脉冲获取桩底或桩身下部缺陷反射信号，宜用窄脉冲获取桩身上部缺陷反射信 号。



图 **6.3.1** 钻孔低应变法实施示意

1—激振设备；2—传感器；3—砂浆层；4—基桩；5—承台；6—墩柱

**6.3.4** 信号采集和筛选，应符合下列规定：

**1** 激振位置位于承台顶面，且激振点应尽量选择桩心位置；

**2** 多次实测时域信号一致性较差时，应分析原因，增加检测点数量；

**3** 信号不应失真和产生零漂，信号幅值不应大于测量系统的量程；

**4** 每个检测点记录的有效信号数不宜少于 3 个；

**5** 应根据实测信号反映的桩身完整性情况，确定采取变换激振点位置和增 加检测点数量的方式再次测试，或结束测试。

**6.4** 结果分析与评定

**6.4.1** 桩身波速平均值应采用桩身混凝土芯样的波速测量值作为其代表值，也可

根据本地区相同桩型及成桩工艺的其他桩基工程的实测值，结合桩身混凝土的骨 料品种和强度等级综合确定。

**6.4.2** 桩身缺陷位置应按下列公式计算：

*x* = 1 Δ*t* . *c*

2000 x

*x* =  . 

(6.4.2- 1)

(6.4.2-2)

式中：*x*——桩身缺陷至传感器安装点的距离 (m ) ；

△*t*x——速度波第一峰与缺陷反射波峰间的时间差 (ms ) ；

*c*——受检桩的桩身波速 (m/s ) ，无法确定时可用桩身波速的平均值替代；

△*f'*——幅频信号曲线上缺陷相邻谐振峰间的频差 (Hz) 。

**6.4.3** 桩身完整性类别应结合缺陷出现的深度、测试信号衰减特性以及设计桩

型、成桩工艺、地基条件、施工情况，按本规程表 6.4.3- 1 和表 6.4.3-2 进行综合

分析判定。

表 **6.4.3-1** 桩身完整性判定

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 类别 | 时域信号特征 | 幅频信号特征 |
| I | 2*L*/*c* 时刻前无缺陷反射波，有桩底反 射波 | 桩底谐振峰排列基本等间距，其相邻频差 △*f*≈ *c*/2*L* |
| II | 2*L*/*c* 时刻前出现轻微缺陷反射波，有 桩底反射波 | 桩底谐振峰排列基本等间距，其相邻频差 △*f*≈ *c*/2*L* ，轻微缺陷产生的谐振峰与桩底 谐振峰之间的频差△*f'* > *c*/2*L* |
| III | 有明显缺陷反射波，其他特征介于Ⅱ类和Ⅳ类之间 |
| IV | 2*L*/*c* 时刻前出现严重缺陷反射波或 周期性反射波，无桩底反射波；或因桩身浅部严重缺陷使波形呈现 低频大振幅衰减振动，无桩底反射波 | 缺陷谐振峰排列基本等间距，相邻频差 △*f'* > *c*/2*L* ，无桩底谐振峰；或因桩身浅部严重缺陷只出现单一谐振 峰，无桩底谐振峰 |

注：对同一场地、地基条件相近、桩型和成桩工艺相同的桥梁基桩，因桩端部分桩身阻抗与 持力层阻抗相匹配导致实测信号无桩底反射波时，可按本场地同条件下有桩底反射波的其他 桩实测信号判定桩身完整性类别；*L* 为计算桩长，应从传感器安装面开始起算。

表 **6.4.3-2** 桩身完整性分类表

|  |  |
| --- | --- |
| 类别 | 时域信号特征 |
| I 类桩 | 桩身完整 |
| II 类桩 | 桩身有轻微缺陷，不会影响桩身结构承载力的正常发挥 |
| III 类桩 | 桩身有明显缺陷，对桩身结构承载力有影响 |
| IV 类桩 | 桩身存在严重缺陷 |

**6.4.4** 桩顶与承台连接质量应根据承台钻芯质量和孔内电视法检测结果进行综

合评价。

**7** 双速度法

**7.1** 一般规定

**7.1.1** 双速度法适用于检测浅部桩身具备局部开挖条件的桥梁桩基完整性检测，

判定桩身缺陷情况。

**7.1.2** 双速度法的有效性应通过现场试验确定，并宜结合其它检测方法相互验

证。

**7.2** 仪器设备要求

**7.2.1** 检测仪器设备应符合现行行业标准《基桩动测仪》JG/T 518 的有关规定。

**7.2.2** 检测主机的测试通道数至少为 2 个。

**7.3** 现场检测

**7.3.1** 双速度法检测的测点宜选择布置在桩侧。

**7.3.2** 测点布置在桩侧时应符合下列规定：

**1** 在基础外侧开挖试验坑，桩侧面轴向裸露长度以便于安装传感器为宜， 桩体有护壁时应凿除；

**2** 在桩的同一侧间隔不小于 1.0m 的不同高度处安装两只传感器，用膨胀螺 栓将传感器沿桩轴线垂直向下固定好；

**3** 采用重锤敲击桩轴线对应的承台结构顶面，当不满足上述条件时，敲击 尽量靠近此位置的桥梁墩柱边沿，或者在桩侧开凿敲击面。



图 **7.3.2** 桩侧双传感器布置示意图

1—桥梁墩柱与承台；2— 受检桩基；3—加速度传感器；4—试坑壁

**7.3.3** 双速度法测试参数设定和信号的采集除应按《建筑基桩检测技术规范》JGJ

106 的规定执行外，尚应符合下列规定：

**1** 传感器安装于非桩顶面时，计算桩长应从传感器安装面开始起算。

**2** 桩身波速可按双传感器测取的平均波速设定。

**7.4** 结果分析与评定

**7.4.1** 桩身波速平均值可按下列公式计算：

*cm* = *ci*

1 *n*

*n* *i* =1

1000 (*h*2 ,*i*  *h*1,*i* )

*ci* = (*t*2 ,*i*  *t*1,*i* )

式中：*cm——*桩身波速的平均值 (m/s ) ；

(7.4. 1- 1)

(7.4. 1-2)

*ci——*第 *i* 根受检桩的桩身波速值 (m/s ) ；

*h*1,*i* *、h*2,*i——*通道 1 、2 距离激振点的轴线距离 (m ) ，二者距离差宜大于 1 倍桩径；

*t*1,*i* 、*t*2,*i——*通道 1 、2 的初至波到达时间 (ms) ；

*n——*参加波速平均值计算的基桩数量(*n*≥3)。

**7.4.2** 双速度法数据分析与判定同本规程第 6.4 条规定，且应符合《建筑基桩检

测技术规范》JGJ 106 的规定。

**7.4.3** 当该方法实测波形复杂、无规律，无法对桩身结构完整性进行准确评价时，

宜改用其它方法进行检测。

**8** 桩身散射成像法

**8.1** 一般规定

**8.1.1** 桩身散射成像法适用于检测桥梁桩基的桩长及桩身完整性。

**8.1.2** 桩身散射成像法的有效性应通过现场试验确定，并宜结合其它检测方法相 互验证。

**8.2** 仪器设备要求

**8.2.1** 检测仪器设备包括测试主机、检波器串和应力波激振源。

**8.2.2** 测试主机应符合下列规定：

**1** 实时显示和记录接收信号；

**2** 最小采样时间间隔应不小于 0.002ms ，A/D 转换器不应小于 16bit；

**3** 仪器通道数不宜少于 16 通道；

**4** 具有能够被激振源触发的能力。

**8.2.3** 检波器串应符合下列规定：

**1** 频率响应范围宜采用 20Hz~5kHz；

**2** 检波器串通道数宜采用 16 通道；

**3** 检波器的道间距宜采用 10cm；

**4** 检波器应能在水深 2m 内正常工作；

**5**. 检测位置的水深大于 2m 时宜换用水听器。

**8.2.4** 应力波激振源应符合下列规定：

**1** 激发的弹性波频率应在 20Hz~10kHz 范围内；

**2** 激发的冲击力不宜小于 500N。

**8.3** 现场检测

**8.3.1** 正式检测前，应在受检桩基桩身或墩柱侧面 1.2m~1.6m 范围内均匀布置检

波器串。

**8.3.2** 桩身散射成像法现场检测工作应符合下列规定：

**1** 排列中激发点与接收点应呈垂直布置，并与桩长方向平行；

**2** 排列布设中检波器道间距宜为 0. 1m ，偏移距宜为 1m；

**3** 被检桩宜在桩侧按间隔 90°方向分别布设 A、B 、C、D 共 4 个排列，每 个排列采集存储不少于 5 组有效信号，所采集的波形要求初至清晰、波形正常。

2

3

1

A

4

5

(a) 立面图

C

D

B

1

A

(b) 平面图

图 **8.3.2** 桩身散射成像法测点布置示意图

1—桥梁墩柱或桩基；2—桥梁墩柱或桩基上部结构物；3—激发点；4—接收点；5—可选激发点

**8.3.3** 采集器的采样率宜为 500kHz ，采样时长 100ms。

**8.3.4** 检波器串的布设应符合下列规定：

**1** 检波器应与混凝土表面保持紧密贴合；

**2** 检测部位混凝土表面应清洁、平整；

**3** 应避开声波和过往车辆造成的环境振动干扰。

**8.4** 结果分析与评定

**8.4.1** 反射界面的颜色，宜用红色表示波阻抗从低到高，蓝色表示波阻抗从高到

。

低

**8.4.2** 偏移图像中桩底界面位置判定应符合下列规定：

**1** 偏移图像中代表桩底界面的反射条纹清晰，能量较强；

**2** 在同一根桩在不同方向排列的偏移图像中，桩底界面的标定位置应比较

接近；

**3** 桩底界面位置应与设计资料接近。

**8.4.3** 偏移图像中系梁位置判定应符合下列规定：

**1** 偏移图像中代表系梁的反射条纹清晰，能量比桩底反射强；

**2** 在同一根桩在不同排列的偏移图像中，系梁的标定位置应一致；

**3** 在同一系梁相关桩的偏移图像中，系梁的标定位置应一致；

**4** 系梁标定位置应与设计资料接近。

**8.4.4** 偏移图像中结构损伤与缺陷判定应符合下列规定：

**1** 在桩底与系梁标定位置之间出现反射能量较强的条纹，且能量强于桩底 反射；

**2** 在同一根桩的检测成果图中，至少有两个相邻排列的偏移图像中出现相

同的反射条纹，其标定位置和能量基本一致；

**3** 大于 2/3 的测试剖面出现反射界面，可判定为严重缺陷。

**4** 位置接近的桥桩在相同埋深位置可见能量相近的反射条纹，该位置结果 判别应结合地勘资料进行。

**8.4.5** 桩身完整性类别判定可按表 8.4.5 进行。

表 **8.4.5** 桩身完整性分类表

|  |  |
| --- | --- |
| 桩身完整性类别 | 分类原则 |
| Ⅰ类 | 桩身完整 |
| Ⅱ类 | 桩身有轻微缺陷，不会影响桩身结构承载力的正常发挥 |
| Ⅲ类 | 桩身有明显缺陷，对桩身结构承载力有影响 |
| Ⅳ类 | 桩身存在严重缺陷 |

**9** 动刚度法

**9.1** 一般规定

**9.1.1** 动刚度法适用于桥梁桩基完整性普查，判定桩身缺陷的程度及位置。

**9.1.2** 本方法有稳态激振和瞬态激振两种方式。

**9.2** 仪器设备要求

**9.2.1** 动刚度法检测设备包括激振装置、力传感器、测量响应的传感器、测试与

分析装置。

**9.2.2** 力传感器应符合下列规定：

**1** 频率响应宜为：5~1500Hz ，其幅度畸变应小于 1dB；

**2** 灵敏度不应小于 1.0pC/N；

**3** 量程：当稳态激振时，按激振力的最大值确定；当瞬态冲击时，按冲击 力最大值确定。

**9.2.3** 测量响应的传感器应符合下列规定：

**1** 频率响应：宜为 5~1500Hz；

**2** 灵敏度：速度传感器的灵敏度应大于 800mV/cm/s，加速度传感器的灵敏 度应大于 2000pC/g；

**3** 横向灵敏度不应大于 5%；

**4** 加速度传感器的量程：当稳态激振时，应小于 5g 。当瞬态激振时，不应 小于 20g。

**9.2.4** 力传感器、测量响应的传感器灵敏度应每年标定一次。力传感器可采用振 动台进行相对标定，或采用压力试验机作准静态标定。测量响应的传感器可采用 振动台进行相对标定。

**9.2.5** 测试设备可采用专用的机械阻抗测试仪器，也可采用通用测试仪器组成的 测试装置。

**9.2.6** 在瞬态测试中分析仪器的选择，应具有频域平均和计算相干函数的功能。

**9.2.7** 稳态激振应采用电磁激振器，并宜选择永磁式激振器。

**9.2.8** 瞬态激振应通过试验选择不同材质的锤头进行冲击，使可用于计算的谱宽 度大于 1500Hz 。在冲击桩头时，冲击锤应保持为自由落体。

**9.3** 现场检测

**9.3.1** 桥梁桩基的振动响应测试点应按下列原则布置：

**1** 桩径小于 1.5m 时，应布置2~3个测点；桩径大于或等于 1.5m 时，应在 互相垂直的两个径向布置 4 个测点。

**2** 在桥梁桩基础测试中，当只布置 2 个测点时，其测点应位于横桥向的两

侧，当布置 4 个测点时，应在横桥向两侧和顺桥纵轴方向两侧各布置 2 个测点。

5

4

3

3

1

2

2

3 3 1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 2 | 4 (a) 桩径≤1.5m | 2 |

3 3 1

3 

4

|  |
| --- |
|  |

 2

 2

(b) 桩径＞1.5m

3

图 **9.3.1** 动刚度法传感器布置示意图

1—承台；2— 受检桩基；3—拾振传感器；4—激振点；5—墩柱

**9.3.2** 激振力宜作用于桩头顶面正中位置，激振点与拾振传感器安装位置间距不 宜超过桩径的 1/3。

**9.3.3** 动刚度法现场测试应按下列步骤进行：

**1** 安装全部测试设备，并应确认各项仪器装置处于正常工作状态。

**2** 在测试前应正确选定仪器系统的各项工作参数，使仪器在设定的状态下

进行试验。

**3** 在瞬态激振试验中，重复测试的次数应大于 4 次。

**4** 在测试过程中应观察各设备的工作状态，当全部设备均处于正常状态，

则该次测试为有效。

**5** 在同一场地如当某桩实测的机械导纳曲线幅度明显过大时，应增大扫频 上限，并判定桩的缺陷位置。

**9.4** 结果分析与评定

**9.4.1** 桩身混凝土的完整性应按下列步骤综合判定：

**1** 根据测试的机械导纳曲线，初步确定各单桩的完整桩，并计算波速和各 完整桩的波速平均值。

**2** 计算各单桩的测量桩长、导纳几何平均值、导纳理论值、导纳最大峰幅 值、动刚度等，以及同一场地所测各桩的动刚度平均值和导纳几何实测值的平均 值。

**9.4.2** 根据所计算的参数及导纳曲线形状，按表 9.4.2 的规定判别桩身完整性和

计算缺陷位置。

表 **9.4.2** 既有桩基桩身完整性判别

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 机械导纳 曲线形态 | 实测导纳值 *N*0 | 实测动刚度 *K*d | 测量桩长 *L*0 | 实测桩身评价 波速 *v*pm(m/s) | 结论 |
| 与典型导纳曲线接近 | *N*0 ≈*N* | 高于 | *K*dm | 接近施工 长度 | 3500~4500 | 完整桩 |
| 接近 | 完整桩 |
| 低于 | 桩底有软弱层 |
| 呈调制状 波形 | 高于 | *N* om | 低于 | *K*dm | ＜3500 | 桩身离析 |
| 低于 | 高于 | 3500~4500 | 桩身扩径 |
| 与典型导纳曲线类似，但△*f''*偏大 | 远高于 *N*om | 远低于 | *K*dm | 小于施工 长度 | — | 桩身断裂或夹泥 |
| 远低于 *N*om | 远高于 | 桩身扩径 |
| 不规则 | 变化或较高 | 低于 *K*dm | 无法确定 | — | 桩身可能局部断裂 或混凝土浇筑不良 |

注：*N* 为理论导纳值；△*f''*为共振峰频率增量；*N*om 为导纳实测几何平均值；*K*dm 为场地平均动刚

度值；桩身缺陷位置可由 *vp*/2△*f''*计算获得。

**10** 管波探测法

**10.1** 一般规定

**10.1.1** 管波法适用于市政桥梁灌注桩与承台连接质量、桩身完整性、桩底沉渣

厚度和持力层岩土性状检测，也可用于探测孔旁一定范围内溶洞、破碎带和软弱

夹层的发育和分布情况。

**10.1.2** 管波法可作为其它桩基完整性检测方法的补充或验证方法。

**10.2** 仪器设备要求

**10.2.1** 管波法使用的仪器设备应包括测试主机和孔内换能器。

**10.2.2** 测试主机应符合下列规定：

**1** 实时显示和记录接收信号时程曲线及时间剖面。

**2** 最小采样时间间隔应不小于 0.02ms ，系统通频带宽度应宽于 100Hz~

3000Hz ，A/D 转换器不应小于 16bit。

**3** 信号幅值量程应不小于±5 V ，幅值测量相对误差应小于 10%。

**4** 能自动记录测点深度位置，测量相对误差不应大于 0.5%；

**10.2.3** 孔内换能器应包括发射换能器、接收换能器和井下电缆，并应符合下列

规定：

**1** 发射换能器与接收换能器应距离恒定，其有效中心之间间距应为 0.6m。 深度 0.00 米点应为发射换能器有效中心与接收换能器有效中心连线的中点。

**2** 发射换能器与接收换能器应固定在井下电缆上，最大外直径应小于 45mm 。井下电缆应有深度标志，间隔应为 0. 1m ，深度误差不应大于 0.5%。

**3** 发射换能器应采用低频孔中换能器，单次发射能量应不小于 10J ，发射

的管波峰值频率应处于 500Hz 至 1000Hz 之间；

**4** 接收换能器应采用灵敏度不小于 3000μV/Pa 的水听器；

**5** 发射换能器、接收换能器、井下电缆水密性应满足 1.0MPa 水压条件下 不渗水。

**10.3** 现场检测

**10.3.1** 管波法可利用桩身钻芯孔作为探头下放的通道。钻芯孔内应无异物、无

金属套管，不坍塌、不掉块。如孔内有淤积物，可采用高压水冲洗或钻机洗孔。

**10.3.2** 管波法应在单个钻孔中进行，其应用条件应符合下列规定：

**1** 测试钻孔垂直度偏差不宜超过 0.5%；

**2** 测试孔段应无金属套管，破碎地层的孔段可放置塑料套管，塑料套管内

径应不小于 50mm；

**3** 测试孔段应有孔液，且孔液比重不应大于 1.2g/cm3。

**10.3.3** 管波法用于检测混凝土灌注桩，每根受检桩的管波法检测孔数量、位置

和深度应符合下列规定：

**1** 桩径 *D*≤ 1.6m 的桩，不得少于 1 孔；

**2** 桩径 1.6m＜*D*≤2.4m ，不得少于 2 孔；

**3** 桩径 2.4m＜*D*≤3.2m ，不得少于 3 孔；

**4** 桩径 *D*＞3.2m ，不得少于 4 孔。

**5** 当检测孔数量为 1 个时，宜在距桩中心 10cm~20cm 位置布孔；当检测

孔数量为 2 个~4 个时，检测孔宜在距桩中心 0. 15*D*~0.25*D* 处均匀对称布置； 当检测孔数量为 5 个及以上时，其中一个检测孔应布置在桩轴心附近，其它检测 孔按探测范围均匀布置在周围。



图 **9.3.3** 灌注桩管波检测孔布置示意图

1—基桩；2— 管波检测孔；3—管波法检测范围

**6** 检测孔深度应满足下列规定：

1) 达到设计要求的桩端持力层深度；

2) 达到桩端以下 3 倍桩身设计直径，且不得小于 5m；

3) 在岩溶、断裂破碎带地区，应穿过岩溶和破碎带，进入稳定持力层一定 深度，且应满足本条第 1~2 款的规定。

**10.3.4** 管波法现场检测工作应符合下列规定：

**1** 检测前应先采用外直径大于 45mm 的吊锤检查钻芯孔通畅情况，测量孔

深；

**2** 应采用收发换能器距离恒定、测点间距恒定的自激自收观测系统。测点 间距不应大于 0. 1m 。发现桩身混凝土异常或桩底存在沉渣时，应采用不大于 0.05m 的测点间距对存在桩身混凝土异常或桩底沉渣段再进行加密重复检测；

**3** 应以收发换能器有效中心连线的中点作为记录点，宜自下而上逐点进行 检测；

**4** 检测记录的采样时间间隔不应大于 20μs，记录长度不应小于 25ms。当有 塑料套管时记录长度不应小于 100ms；

**5** 野外数据采集过程中，对采集的管波信号进行实时监控，所采集的波形 要求初至清晰、波形正常，发现波形畸变即进行重复观测，两次观测相对误差小 于 2% 。并做好野外班报填写；

**6** 检测过程中，应及时准确填写外业记录班报表，记录包括工程名称、桩 编号、钻孔编号、测试日期、测试人等参数。并准确记录孔内套管的材质、口径 及起讫深度。

**10.4** 结果分析与评定

**10.4.1** 数据处理应符合下列规定：

**1** 数据处理时不得进行道间振幅平衡处理。可进行去除直流零漂、频率滤 波等处理。频率滤波通频带宜为 300Hz~2000Hz；

**2** 各测点的时程曲线应采用相同的显示增益，宜采用伪彩色形式显示成时 间剖面；

**3** 同一孔的多次检测时间剖面应绘制在同一成果图件中。

**10.4.2** 数据分析与判定应先确定分层界面，再对分层进行判定。

**10.4.3** 应选取直达管波的能量突变点、波速突变点或反射管波的出发点深度作

为分层界面。

**10.4.4** 分层判定宜根据直达管波的能量、频率，反射管波的能量、频率、波速、

相位等管波特征综合判定分层界面之间桩身混凝土的完整性类别、桩底沉渣厚 度、桩端持力层岩土性状。

**10.4.5** 桩身混凝土完整性类别按表 10.4.5- 1 进行判定，桩端持力层岩土性状分

类按表 10.4.5-2 进行判定。

表 **10.4.5-1** 灌注桩桩身混凝土完整性判定

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 类别 | 桩身混凝土完整性 | 管波特征 |
| 1 | 完整混凝土 | ① 直达管波波速高，能量不低于最大能量值的 75%；② 段内无反射界面；③ 有顶底界面反射波组时， 向内的一支能量强、波速高，在段内无能量 消散现象。 |
| 2 | 轻微缺陷混凝土 | ① 直达管波波速较高，能量为完整混凝土的 50%至 75%之间；② 有顶底界面反射波组时，向内的一支能量较弱、波速较高；③ 顶底界面以外出现的反射波组穿过本段顶底界面进入本段后，能量、 频率、波速稍微变低；④ 段外为完整混凝土时，界面处出现向外的反射波组，能量较弱。 |
| 3 | 明显缺陷混凝土 | ① 直达管波波速较低，能量为完整混凝土的 25%至 50%之间；② 有顶底界面反射波组时，向内的一支能量弱、波速较低；③ 顶底界面以外出现的反射波组穿过本段顶底界面进入本段后，能量、 频率、波速显著变低；④ 段外为完整混凝土时，界面处出现向外的反射波组，能量较强。 |
| 4 | 严重缺陷混凝土 | ① 直达管波波速低，能量为完整混凝土的 25%以下；② 有顶底界面反射波组时，向内的一支能量很弱、波速低；③ 顶底界面以外出现的反射波组穿过本段顶底界面进入本段后，能量、 频率、速度突然变低，甚至消失；④ 段外为完整混凝土时，界面处出现向外的反射波组，能量强。 |

表 **10.4.5-2** 桩端持力层岩土性状判定

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 桩端持力层 岩土性状分类 | 管波特征 |
| 1 | 完整基岩 | ① 直达管波波速高，能量不低于最大能量值的 75%。② 段内无反射界面；③ 有顶底界面反射波组时，向内的一支能量强、波速高，在段内无能量 消散现象。 |
| 2 | 较完整基岩 (节理裂隙发育) | ① 直达管波波速较高，能量为完整基岩段的 50%至 75%之间；② 有顶底界面反射波组时，向内的一支能量较弱、波速较高；③ 顶底界面以外出现的反射波组穿过本段顶底界面进入本段后，能量、 频率、波速稍微变低；④ 段外为完整基岩时，界面处出现向外的反射波组，能量较弱。 |
| 3 | 较破碎基岩 (溶蚀裂隙发育) | ① 直达管波波速较低，能量为完整基岩段的 25%至 50%之间；② 有顶底界面反射波组时，向内的一支能量弱、波速较低；③ 顶底界面以外出现的反射波组穿过本段顶底界面进入本段后，能量、 频率、波速显著变低；④ 段外为完整基岩时，界面处出现向外的反射波组，能量较强。 |
| 4 | 破碎、极破碎基岩(软弱夹层) | ① 直达管管波波速低，能量为完整混凝土的 25%以下；② 有顶底界面反射波组时，向内的一支能量很弱、波速很低；③ 顶底界面以外出现的反射波组穿过本段顶底界面进入本段后，能量、 频率、速度突然变低，甚至消失；④ 段外为完整基岩时，界面处出现向外的反射波组，能量强。 |
| 5 | 岩溶发育段 | ① 基岩为可溶岩；② 直达管波波速低，能量为完整基岩段的 25%以下，甚至不可见；③ 段内无顶底界面反射波组；④ 顶底界面以外出现的反射波组穿过本段顶底界面进入本段后，能量、 频率、速度突然变低，甚至消失；⑤ 段外为完整基岩时，界面处出现向外的反射波组，能量强。 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 6 | 土层 | ① 直达管波波速低，能量为完整基岩段的 25%以下，甚至不可见；② 反射波组在段内能量弱、波速很低；③ 底界面以外出现的反射波组穿过本段顶底界面进入本段后，能量、频 率、速度突然变低，甚至消失；④ 段下为完整基岩时，界面处出现向外的反射波组，能量强。 |

**10.4.6** 桩身完整性类别判定应按表 10.4.6 进行，并应符合下列规定：

**1** 桩身完整性类别按混凝土缺陷最不利类别确定；

**2** 当桩身多处存在 2 类或 3 类缺陷时，桩身完整性类别可提高一个级别；

**3** 桩身混凝土存在缺陷时，应给出缺陷深度位置。

**4** 当同一受检桩的管波法检测孔为两个或两个以上时，桩身完整性类别宜

按加权平均的计算方法确定。

表 **10.4.6** 桩身完整性分类表

|  |  |
| --- | --- |
| 桩身完整性类别 | 分类原则 |
| Ⅰ类桩 | 桩身完整 |
| Ⅱ类桩 | 桩身有轻微缺陷，不会影响桩身结构承载力的正常发挥 |
| Ⅲ类桩 | 桩身有明显缺陷，对桩身结构承载力有影响 |
| Ⅳ类桩 | 桩身存在严重缺陷 |

注：1 应进一步确定Ⅲ类桩桩身缺陷对桩身结构承载力的影响程度；

2 Ⅳ类桩不满足验收要求，应进行工程处理。

**10.4.7** 桩底沉渣厚度应满足设计或规范要求。当同一受检桩的管波法检测孔为

两个或两个以上时，桩底沉渣厚度宜按加权平均的计算方法确定。

**10.4.8** 桩端持力层岩土性状分类应按表 10.4.5-2 进行，桩端持力层完整性判定

应符合表 10.4.8 的规定。

表 **10.4.8** 桩端持力层岩土性状分类表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 桩端持力层岩土性状分类 | 桩端持力层完整性 |
| 1 | 完整基岩 | 基岩完整，岩质坚硬，裂隙不发育，无溶洞。为良好的桩端 持力层。 |
| 2 | 较完整基岩(节理裂隙发育) | 基岩较完整，岩质较硬，裂隙发育，无大溶洞。在厚度和抗 压强度达到设计要求时，可作为端承桩持力层。 |
| 3 | 较破碎基岩(溶蚀裂隙发育) | 总体上表现为基岩，存在溶蚀现象及小溶洞、裂隙发育，部 分包含层厚较小的完整基岩或局部夹有岩状强风化岩。不宜 作为端承桩的桩端持力层。 |
| 4 | 破碎、极破碎基岩(软弱夹层) | 总体上表现为基岩，风化程度强，岩体破碎，岩质较软。 不应作为端承桩的桩端持力层。 |
| 5 | 岩溶发育段 | 总体上表现为岩溶、溶蚀裂隙发育，局部包含较薄的岩层。 不应作为端承桩的桩端持力层。 |
| 6 | 土层 | 第四系土层、全风化、强风化岩的统称，不应作为端承桩的 桩端持力层。 |

**10.4.9** 成桩质量评价应按单根受检桩进行。当出现下列情况之一时，应判定该

受检桩不满足设计要求：

**1** 桩身完整性为Ⅳ类；

**2** 桩底沉渣厚度不满足设计或规范要求；

**3** 桩端持力层岩土性状不满足设计要求。

**10.4.10** 当受检测桩桩长与施工记录明显不符时，应在检测报告中予以注明。

**11** 钻芯检测法

**11.1** 一般规定

**11.1.1** 钻芯检测法适用于桥梁混凝土灌注桩桩长、桩身混凝土强度、桩身完整

性、桩底沉渣检测，判定或鉴别桩底持力层岩土性状。

**11.1.2** 设置有桩靴的桥梁预应力管桩可在桩孔内钻穿桩靴检测桩长。

**11.1.3** 钻芯检测法检测前应探明基桩位置，当桩顶正上方连接桥梁墩柱等结构

时，应改用其他检测方法。

**11.2** 仪器设备要求

**11.2.1** 钻芯检测法检测所使用设备应符合《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106

的相关规定。

**11.3** 现场检测

**11.3.1** 当桥梁既有桩基顶部具备钻芯条件时，每根受检桩的钻芯孔数和钻探深

度应符合下列规定：

**1** 直径 1.5m 及以上灌注桩的钻芯孔数不宜少于 2 孔，当钻芯法操作空间受 限时，可在靠近桩心位置钻取 1 孔；桩径小于 1.5m 的灌注桩，钻芯孔数不得少 于 1 孔。

**2** 采用钻芯检测法结合其它检测方法对桩身完整性进行综合评价时，钻芯 孔数可为 1 孔。

**3** 对桩底持力层的钻探，每根受检桩不得少于 1 孔，其钻探深度应满足设 计要求；当设计无明确要求时，桩底持力层的钻探深度不应小于 3 倍桩径，且不 应少于 5m；其他钻芯孔不宜少于 1.0m ，但对于桩底持力层有夹层或岩溶发育区 域的工程，每孔钻探深度均应满足前述规定。

**11.3.2** 截取混凝土抗压芯样试件应符合下列规定：

**1** 确定受检桩混凝土芯样试件抗压强度代表值时，芯样宜在表观质量较好 的部位截取。

**2** 当桩长小于 10m 时，每孔应截取 2 组芯样；当桩长为 10~30m 时，每孔 应截取 3 组芯样；当桩长大于 30m 时，每孔应截取不少于 4 组芯样。

**3** 上部芯样位置距桩顶设计标高不宜大于 1 倍桩径或 2m，下部芯样位置距 桩底不宜大于 1 倍桩径或 2m ，中间芯样等间距截取。

**4** 当需要结合混凝土强度判断桩身完整性时，应在缺陷位置和其相邻钻芯 孔同一深度部位截取一组芯样进行混凝土抗压试验。

**11.3.3** 当桩端持力层为中、微风化岩层且岩芯可制作成试件时，应在接近桩底

部位 1m 内截取岩石芯样；遇分层岩性时，宜在各分层岩面取样。

**11.3.4** 芯样试件的加工和测量应符合《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的相关

规定。

**11.4** 结果分析与评定

**11.4.1** 混凝土芯样试件的抗压强度应按《普通混凝土力学性能试验方法标准》

GB/T 50081 执行。

**11.4.2** 混凝土芯样试件抗压强度应按下式计算：

*fcu* =  (11.4.2)

式中：*fcu*——芯样试件抗压强度 (MPa) ，精确至 0. 1MPa；

*P*——芯样试件抗压试验测得的破坏荷载 (N) ；

*d*——芯样试件的平均直径 (mm) 。

**11.4.3** 混凝土芯样试件抗压强度试验后，若发现试件内混凝土粗骨料最大粒径

大于芯样试件平均直径的 0.5 倍，且强度值比同组其它试件低 30%以上时，该试 件的强度值无效。

**11.4.4** 桩底岩芯试件单轴抗压强度试验按《工程岩体试验方法标准》GB/T50266

执行。岩石单轴抗压强度代表值取一组三个试件的强度平均值。

**11.4.5** 受检桩混凝土芯样试件抗压强度代表值的确定应符合下列规定：

**1** 取一组 3 块试件强度值的平均值为该组混凝土芯样试件抗压强度代表

值；当一组芯样试件，仅有两个有效强度值时，可取其平均值为该组混凝土芯样 试件抗压强度代表值；

**2** 同一受检桩同一深度部位有两组或两组以上混凝土芯样试件抗压强度代 表值时，取其平均值作为该桩该深度处混凝土芯样试件抗压强度代表值；

**3** 取同一受检桩不同深度位置的混凝土芯样试件抗压强度代表值中的最小

值，作为该桩混凝土芯样试件抗压强度代表值。

**11.4.6** 桩底持力层岩土性状应根据持力层芯样特征和钻芯记录，并结合岩石芯

样单轴抗压强度值、圆锥动力触探或标准贯入试验的试验结果，进行综合判定或 鉴别。

**11.4.7** 每根受检桩的桩身完整性类别应结合钻芯孔数、现场混凝土芯样特征、

芯样试件抗压强度试验结果，按《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的相关规定 判定。

**11.4.8** 成桩质量评价应按单根受检桩进行。当出现下列情况之一时，应判定该

受检桩不满足设计要求：

**1** 桩身完整性类别为Ⅳ类；

**2** 受检桩混凝土芯样试件抗压强度代表值小于混凝土设计强度等级；

**3** 桩底沉渣厚度不满足设计或规范要求；

**4** 桩端持力层岩土性状不满足设计要求。

**11.4.9** 当受检桩桩长与施工记录明显不符时，应在检测报告中予以说明。

**12** 桩基变形监测

**12.1** 一般规定

**12.1.1** 应根据桥梁类型、岩土工程勘察报告、桩基础和桥梁结构现状以及周边

环境变化特点选择监测项目和监测方法。当人工监测有难度或者有较大风险时， 宜采用远程自动化监测。

**12.1.2** 监测点布置除应符合本规程第 3.3.2 条的规定外，尚应符合《建筑变形测

量规范》JGJ 8 的规定。

**12.1.3** 监测等级、精度、基准网、仪器设备应符合《建筑变形测量规范》JGJ 8 的规定。

**12.1.4** 监测频率应根据变形速率，并依据《建筑变形测量规范》JGJ 8 的相关规

定确定。

**12.2** 沉降监测

**12.2.1** 沉降监测可测定市政桥梁墩柱等上部结构的沉降量、沉降差和沉降速率。

**12.2.2** 沉降监测宜采用水准测量的方法进行，也可采用静力水准测量的方法进

行。

**12.2.3** 水准测量应符合下列要求：

**1** 应在标尺分划线成像清晰和稳定的条件下进行观测。

**2** 观测前应将仪器置于露天阴影下，使仪器与外界气温趋于一致，并应在 规定的温度范围内工作。

**3** 观测时，仪器应避免安置在有空压机、搅拌机、卷扬机等振动影响的范 围内。

**4** 在观测工作间歇时，宜结束在固定的水准点上，否则应选择两个稳定可 靠的固定点作为间歇点。间歇后，应对两个间歇点的高差进行检测，检测结果符 合要求后从间歇点起测。

**12.2.4** 静力水准测量符合下列要求：

**1** 安装在室外的静力水准系统，应采取措施保证全部连通管管路温度均匀， 避免阳光直射。

**2** 多组串联组成静力水准观测路线时，应先按测段进行闭合差分配后计算 各组参考点的高程，再根据参考点计算各监测点的高程。

**3** 静力水准测量系统应与水准测量互校。使用期间应定期维护，发现性能 异常时应及时修复或更换。

**12.2.5** 水准测量每周期观测后，应及时对观测资料进行整理，计算观测点的沉

降量、沉降差以及本周期平均沉降量、沉降速率和累计沉降量。

**12.2.6** 桥墩沉降与不均匀沉降差值应满足结构的受力要求，桥墩沉降超限阈值

设定可参照《公路桥梁结构监测技术规范》JT/T 1037 的相关规定执行。

**12.2.7** 当桥梁墩柱最后 100d 的最大沉降速率小于 0.01mm/d~0.04mm/d 时，可

认为桥梁桩基沉降已达到稳定状态。

**12.2.8** 沉降监测应提交下列成果资料：

**1** 监测点位分布图。

**2** 监测成果表。

**3** 时间—荷载—沉降量曲线图。

**4** 等沉降曲线图。

**5** 分析结论与建议。

**12.3** 水平位移监测

**12.3.1** 水平位移监测应根据现场作业条件选用全站仪测量、卫星导航定位系统

测量、激光测量或近景摄影测量等方法。

**12.3.2** 水平位移监测点的位置宜选取盖梁、墩柱及桩顶系梁或承台等部位。

**12.3.3** 采用视准线法、测小角法、激光准直法等测量地面监测点在特定方向的

位移应符合下列规定：

**1** 使用视准线法，宜在视准线两端各自向外的延长线上埋设检核点。在观 测成果的处理中，应考虑视准线端点的偏差改正。

**2** 采用测小角法，应平行于待测桥梁边线布置视准线，观测点偏离视准线 的偏角不应超过 30ʺ。

**3** 采用激光准直法，激光仪器在使用前必须进行检核，仪器射出的激光束 轴线、发射系统轴线和望远镜照准轴应三者重合，观测目标应与最小激光斑重合。

**12.3.4** 测量监测点任意方向位移时，可根据观测点的分布情况，采用前方交汇、

方向差交汇、极坐标等方法；或采用直接量测位移分量的方向线法，在桥梁纵、 横轴线的相邻延长线上设置固定方向线，定期量测桩基 (与墩柱) 的纵向和横向 位移。

**12.3.5** 采用卫星导航定位系统测量、激光测量或近景摄影测量等方法时应符合

《建筑变形测量规范》JGJ 8 的规定。

**12.3.6** 临近基坑或地铁施工的桥梁位移报警值应依据基坑安全等级、桥梁技术

状况等级而定，并应考虑桥梁在前期已发生的沉降和侧移。

**12.3.7** 水平位移监测应提交下列成果资料：

**1** 水平位移监测点位布置图。

**2** 水平位移监测成果表。

**3** 水平位移曲线图。

**4** 分析结论与建议。

**12.4** 裂缝监测

**12.4.1** 桩基础出露段桩身结构裂缝应进行监测，宜同步对上部墩柱、盖梁等结

构中的明显裂缝进行监测。

**12.4.2** 裂缝可采用比例尺、小钢尺、游标卡尺、坐标方格网板定期量测宽度，

也可采用百分表、测缝计或传感器自动测记裂缝的变化。

**12.4.3** 采用比例尺、小钢尺、游标卡尺定期量测裂缝宽度时应在裂缝最宽处和

裂缝末端镶嵌或埋入固定标志；采用裂缝宽度动态监测法监测裂缝宽度时，应将 裂缝宽度动态监测仪直接安装在被测裂缝处。

**12.4.4** 裂缝的监测部位应清洁、平整，量测精确不应大于 0. 1mm。

**12.4.5** 对于数量较少、量测方便的裂缝，可通过采用比例尺、小钢尺、游标卡

尺、等工具定期量测出的预埋固定标志间距离监测裂缝的变化，也可通过坐标方 格网板定期读取的坐标差监测裂缝的变化，亦可通过百分表裂缝宽度动态监测仪 上百分表的读数监测裂缝的变化；对于面积较大、不方便量测的众多裂缝可采用 测缝计或传感器自动测记裂缝的变化。

**12.4.6** 裂缝监测的周期应根据裂缝的变化速度确定，裂缝增速大时，应及时增

加观测次数。

**12.4.7** 每次监测应绘出裂缝的位置、形态和尺寸，注明日期，并拍摄裂缝照片。

**12.4.8** 裂缝深度的测量，可采用超声波法，并应符合下列规定：

**1** 当监测部位只有一个可测表面，估计的裂缝深度不大于桩基承台等结构 厚度的一半且不大于 500mm 时，可采用单面平测法。

**2** 当监测部位有两个相互平行的测试表面时，可采用双面穿透斜测法。

**12.4.9** 桥梁裂缝宽度限值按《城市桥梁检测与评定技术规范》CJJ/T 233的相关

规定取值。

**12.4.10** 裂缝监测应提交以下成果资料：

**1** 裂缝位置分布图。

**2** 裂缝监测成果表。

**3** 裂缝变化时间曲线图。

**4** 分析结论与建设。

**13** 周边环境影响监测

**13.1** 一般规定

**13.1.1** 应根据桥梁类型、岩土工程勘察报告、桩基础和桥梁结构现状以及周边

环境变化特点选择监测项目和监测方法。当人工监测有难度或者有较大风险时， 宜采用远程自动化监测。

**13.1.2** 监测点布置除应符合本规程第 3.3.2 条的规定外，尚应符合《建筑变形测

量规范》JGJ 8 的规定。

**13.1.3** 监测等级、精度、基准网、仪器设备应符合《建筑变形测量规范》JGJ 8 的规定。

**13.1.4** 监测频率应根据变形速率，并依据《建筑变形测量规范》JGJ 8 的相关规

定确定。

**13.2** 深层水平位移监测

**13.2.1** 市政桥梁周边开挖基坑、施工降水、大面积堆载、开挖地下空间、地铁

盾构开挖和桩基施工时，应监测土体深层水平位移。宜预埋测斜管，采用测斜仪 观测各深度处水平位移。

**13.2.2** 测斜管的布置应符合下列规定：

**1** 应布置在市政桥梁靠近环境变化一侧，紧临桥梁桩基础；

**2** 水平间距宜为 10m~20m。

**13.2.3** 测斜管的埋设应符合以下规定：

**1** 埋设前应检查测斜管质量，测斜管连接时应保证上、下管段的导槽相互

对准、顺畅，各接头及管底应保证密封。

**2** 埋设钻孔可用地质钻机钻成孔，垂直度偏差应在 2%以内；钻孔应钻入稳 定土层不应少于 5m，且应超过基础深度 1.0 m，测斜管和钻孔之间的孔隙应注浆 填充密实。

**3** 测斜管埋设时应保持竖直，不得发生上浮、断裂、扭转；应有一对导槽 的方向与所需测量的位移方向保持一致。

**13.2.4** 实测时测斜仪探头置入测斜管底后，应待探头接近管内温度时再量测。

每个监测点均应进行正、反两次测量。当以上部管口作为深层水平位移的起算点 时，每次监测均应测定管口坐标的变化并修正。

**13.2.5** 深层水平位移的报警值可按照《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497

中的规定取值。

**13.2.6** 深层水平位移监测应提交以下成果资料：

**1** 深层水平位移位置平面分布图、各点位的剖面图。

**2** 深层水平位移监测成果表。

**3** 深层水平位移变化曲线图。

**4** 分析结论与建议。

**13.3** 土体分层沉降监测

**13.3.1** 市政桥梁周边开挖基坑、施工降水、大面积堆载、开挖地下空间、地铁

盾构开挖和桩基施工时，应监测土体沉降。宜埋设磁环式分层沉降标采用分层沉 降仪量测。

**13.3.2** 沉降管应布置在市政桥梁靠近环境变化一侧，并尽可能靠近桥梁桩基础。

沉降管的间距宜为 10m~20m ，数量不宜小于 3 个。

**13.3.3** 分层沉降环的埋设应符合下列规定：

**1** 分层沉降环宜套在沉降管外，测斜管可兼作沉降管。

**2** 埋设沉降管的钻孔垂直度允许偏差应在 2%以内。

**3** 每个土层至少埋设一个沉降环。

**13.3.4** 采用分层沉降仪每次应应重复两次取均值。分层沉降监测宜以管口作为

基准点，每次监测均应校准管口的高程。

**13.3.5** 监测应提交以下成果资料：

**1** 监测点布置图。

**2** 监测成果表。

**3** 沉降-深度曲线。

**4** 分析结论与建议。

**13.4** 地下水位监测

**13.4.1** 市政桥梁周边开挖基坑、施工降水、开挖地下空间等使地下水位明显变

化时，应监测地下水位。宜通过孔内设置水位管采用水位计进行量测。

**13.4.2** 监测点宜紧邻桥梁，沿桥梁外围布置，布设间距宜为 10m~30m。

**13.4.3** 地下水位观测管的管底埋置深度应在最低设计水位或最低允许地下水位

之下 3m~5m。水位管底部应预留 0.5m~1.0m 的沉淀段，孔壁周围应设置滤水孔。 承压水水位监测管的滤管应埋置在所测的承压含水层中，且应采取有效的隔水措 施封堵承压水含水层顶部的管外缝隙，承压水层以上不得设滤水孔。

**13.4.4** 水位量测应符合下列规定：

**1** 宜以水位管管口作为基准点，基准点高程应校核。

**2** 监测一段时间后，应对水位孔逐个进行抽水或灌水试验，根据其恢复至 原来水位的时间，判断监测工作的可靠性。

**13.4.5** 监测应提交以下成果资料：

**1** 监测点布置图。

**2** 监测成果表。

**3** 变化曲线图。

**4** 分析结论与建议。

**13.5** 施工振动监测

**13.5.1** 市政桥梁周边进行打桩、强夯、压实、爆破等施工时，应实施振动监测。

**13.5.2** 施工振动影响检测前，资料收集除应满足本标准相关要求外，尚应包括

下列内容：

**1** 施工震源的类型、频率范围、分布情况。

**2** 振源与市政桥梁桩基的相对位置关系。

**13.5.3** 振动测量仪器和数据处理方法中的参数应根据振源特性、频率范围、幅

值、动态范围、持续时间等选择。测量仪器性能应符合《城市区域环境振动测量 方法》GB 10071 的有关规定。

**13.5.4** 施工振动检测时，桩基础检测点应结合上部结构统一布置，并应符合下

列规定：

**1** 应在测量时间上避开公路、铁路、工厂等非被测振动源的干扰。

**2** 应在桥梁墩柱的底部设置监测点；周围振动敏感处的地面上应设置检测

。

点

**3** 检测施工振动对市政桥梁的影响时，振动检测点不应少于 3 个，近点应 布设在距离振源最近一侧的桥梁结构外，远点应布设在距离振源最远一侧的桥梁 外，近点和远点之间也应布置检测点。

**13.5.5** 振动传感器的安装应符合下列规定。

**1** 灵敏度主轴方向应与检测方向一致。

**2** 传感器附近应防止磁场干扰和局部振动。

**3** 地面振动测量传感器应稳固安装在地面上。

**13.5.6** 市政桥梁基础的参数响应宜采用现场测试法确定，当条件具备时，可采

用计算法和现场测试法综合确定。

**13.5.7** 每个测点应同时检测径向、切向、垂向三个方向分量的振动参数，每个

分量的振动参数应记录一个时段施工振动全过程中测点质点振动速度时程信号。

**13.5.8** 应根据检测项目、 目的、地基基础现状、场地条件和施工振动的速度综

合确定检测数量、位置及测量仪器参数。

**13.5.9** 施工振动的数据分析应符合下列规定：

**1** 施工振动对市政桥梁基础的影响应分别选取每个分量的最大质点速度作 为一个时段施工振动全过程中的三个方向的质点极值速度，并连续检测 3 个阶段 施工振动的施工过程，取其质点极值速度平均值作为本次测试振动速度值。

**2** 市政桥梁基础的容许振动应以基础上最大动应力为控制标准，计算容许 振动速度峰值。

**3** 市政桥梁基础的振动速度时域信号测试应取一个竖向和两个水平主轴方

向，评价指标应取三者峰值的最大值及其对应的振动频率。

**13.5.10** 爆破振动的安全允许基础质点振动速度峰值和主振频率可按《爆破安全

规程》GB 6722 的相关规定确定。施工振动对桥梁的影响范围可依据检测结果确 定。

**13.5.11** 监测应提交以下成果资料：

**1** 监测点布置图。

**2** 监测成果表。

**3** 各个方向的振动加速度、振速和振频与时间关系曲线。

**4** 分析结论与建议。

本标准用词说明

**1** 为了便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如 下：

**1** 表示很严格，非这样做不可的：正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。

**2** 表示严格，在正常情况下均应这样做的：正面词采用“应”；反面词采用“不 应”或“不得”。

**3** 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：正面词采用 “宜”；反面词采用“不宜”。表示允许有选择，在一定条件下可以这样做，采用“可”。 **2** 条文中必须按指定的标准、规范或其他有关规定执行时，其写法为“应按 … … 执行”或“应符合 … …要求”。

引用标准名录

1 《岩土工程勘察规范》GB 50021

2 《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497

3 《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784

4 《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344

5 《城市区域环境振动测量方法》GB/T 10071

6 《爆破安全规程》GB 6722

7 《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497

8 《土工试验方法标准》GB/T 50123

9 《混凝土中钢筋检测技术规程》JGJ/T 152

10 《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081

11 《工程岩体试验方法标准》GB/T50266

12 《基桩动测仪》JG/T 518

13 《建筑变形测量规范》JGJ [8](#_bookmark127)

14 《建筑桩基技术规范》JGJ 94

15 《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106

16 《既有建筑地基基础检测技术标准》JGJ/T 422

17 《城市工程地球物理探测标准》CJJ/T 7

18 《既有建筑地基基础检测鉴定技术规范》DBJ/T 15- 191

广东省市政行业协会团体标准

市政桥梁既有桩基检测技术规程

**T/GDSZXH** **0xx-202x**

条文说明

制订说明

《市政桥梁既有桩基检测技术规程》 T/GDSZXH 0xx-202x ，经广东省市 政行业协会 20XX 年 XX 月 XX 日以公告 ﹝ 202× ﹞ ×号批准发布。

本规程编制过程中，编制组进行了广泛地调查研究，总结了我国工程建设中 的实践经验，同时参考了国内外先进技术法规、技术标准，通过工程实例，取得 了市政桥梁既有桩基检测技术的重要技术参数。

为便于广大设计、施工、检测、科研、学校等单位有关人员在使用本规程时 能正确理解和执行条文规定，《市政桥梁既有桩基检测技术规程》编制组按章、 节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注 意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规程正文同等的法律效力，

仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

**3** 基本规定

**3.3.6** 桥梁变形分为沉降和位移两大类。位移包括水平位移、倾斜、挠度、裂缝 等。市政桥梁可通过对桩基与地基基础现状调查，如查阅勘察、设计、施工资料， 实际使用荷载、沉降量和沉降稳定情况、沉降差初步判断桩基与地基变形情况， 必要时可辅以桥梁上部结构的调查，如倾斜、扭曲、裂缝等。桥梁上部结构的各 种变形监测可按现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 、《公路桥梁结构监 测技术规范》JT/T 1037 的相关规定执行。所述周边环境明显变化的因素有开挖 基坑、降水、大面积堆载、地下空间开挖、桩基施工、施工振动等。压缩性大的 场地对其周边环境变化尤为敏感。周边环境变化对市政桥梁影响的监测宜在环境 变化前就组织实施，比如周边新建工程的基坑施工、地下空间开发、地铁隧道施 工、桩基施工等新建的情况下，可在工程施工前制定针对市政桥梁的专项监测方 案，宜和新建工程的监测方案相互补充。除此之外，当市政桥梁出现裂缝、不均

匀沉降时应立即实施变形监测和安全评估。

**4** 旁孔透射波法

在实际工程中常会产生由于工程管理的原因未能及时进行单桩完整性检测 而灌注了承台或墩柱的情况，在无法直接在桩顶激振的条件下，利用与桩顶相连 的混凝土承台激发应力波，利用承台与桩产生的纵波透射于桩侧，被旁侧孔中逐 点向下移动的传感器接收，实现既有桥梁下基桩桩身长度的检测，并可根据旁孔 中检测到的透射波波速异常对桩身缺陷部位和性质作出判断和描述，即旁孔透射 波法，也称为单孔地震波法或平行地震波法。其工作原理如图 4.0. 1 所示。

旁孔透射波法测试系统除了井中三分量传感器和悬挂传感器的电缆线外，对 其置于深层水中传感器的抗水压和电缆线的抗拉强度都有明确要求，而仪器所接 收的从混凝土桩向地层土所透射的应力波，因此对仪器的要求比单道接收桩身反 射波均有所不同和提高，对增益要求、A/D 转换等要求、孔中传感器要求、最小 采样间隔要求，都是为了提高信噪比，提高观测精度，对激发能量的要求是为了 保证测试成果可靠。要求的实时显示功能主要是为了了解现场检测情况。目前许 多探测单位均采用地震仪来完成此项工作。

小锤

墩柱

承台

时间-深度曲线



桩基



曲线拐点

钻孔

多道接收探头

图 **4.0.1** 旁孔透射波法工作原理示意图

本方法是采用在桩顶、桩顶承台或墩柱激震产生的应力波在桩身的传播，在 传播过程中波向桩侧土的透射原理，从各测点所测得的首波来解释桩身完整性， 因此力求要做到桩身与测试管的距离尽量靠近以减少波在透射到土层中所产生

的误差，同时又要求桩与测试管平行，而且当测试管埋没完成后往往出现因套管 管径较小，而钻孔直径较大，此时套管会与钻孔孔壁有较大的间隙，这对透射波 向地层中传播的时间带来影响，导致透射波初至时间的读取误差较大，因此当测 试管放置完毕后，条件具备时可以采取套管内外注满清水方式，实现传感器与地 层的耦合，也可以采用填料法将其与钻孔间填实再过几天休止期后进行测试，这 样改善接收条件可以很大程度减少测试时间的误差。在我国南方地区地下水位较 高时，观测条件会好些，而在北方地区地下水位一般较低，更需要注意。

从探测目的角度是要求桩侧钻孔平行距离进行成孔，这是为尽量减少计算实 际桩长的误差角度出发，因此要求钻孔单位严格控制钻孔的垂直度，但是往往在 实际钻进过程中很难保证钻孔的垂直度达到规程要求，为此在计算桩长时造成一 定的解释误差，因而一般检测孔采用测斜管。

在成孔或下测试管后可能因水压和其他人为因素而造成测试孔破裂和堵管， 故要求测试前采用直径大于 50mm 吊锤量测测试管的深度和畅通性，如出现吊锤 不能放至设计测试孔深，或发生测试管脱节断裂等情况，应重新安装成孔。

现场检测是旁孔透射波法的关键一步，是使它的信号真实可靠，它直接关系 到成果的判断，因此首先要有效激发应力波，现场往往没有较好的条件，如桩头 与桩身在接近地表承台处，那就要有目的地选择激振最佳点，如开挖表土，在承 台顶部或在主柱以及梁板桩顶中心投影点等。在测试过程中，正常的完整桩波形 初始斜率规律性好，因此对长桩可放宽到 0.5m~1.0m 一个测点，而对短桩或者发 现有异常的部位，特别是在测试嵌岩桩的桩端沉渣处应加密采样，减小采样间距， 一般把测点加密到 200mm~300mm，而实时显示是为了现场可以对测试数据质量 和检测结果进行初步评判。初步测量如发现基桩桩身长度与设计长度不符时，应 分析原因，进行复测，主要是确认所测结果是客观、真实、可靠的，消除人为疏 忽或仪器设备工作状态有问题造成的不真实数据。只有测量数据是可靠的，分析 结果才能正确。

由于本方法是通过桩头上方结构体的激振产生的应力波在桩身中传播，并在 桩身外侧的平行检测孔中的传感器自下而上逐点检测桩的透射波，因此每个测点 均可计算其该点距激振点的混凝土波速或深度，但当桩底部由于测试孔与桩身偏 距较大，就应该将透射波在土层中的波速计算在内并加以校正，由此所得出的桩

长更接近实际桩长。

(c ) 3 号桩

资料解释在利用本方法判别桩身完整性类别时，主要根据各点的首波和深度 波列图的斜率的规律性，分析相邻两测点的首波时间差以及桩身各测点首波的斜 率的一致性：

当波列图上桩底拐点明显，拐点对应桩长与设计桩长相符，拐点以上深度各 采样点首波初至时间一深度曲线上各相邻点斜率相同、波幅相近，拐点后相邻点 首波斜率变缓且波幅变小属完好桩。当波列图各采样点中多个相邻点斜率明显变 缓、脱节或某采样点开始整段斜率有规律变缓属缺陷桩。嵌岩良好的端承桩的桩 底以后相邻点斜率变陡且波幅基本不变，反之在拐点后存在连续多点首波后移且 波幅变小为柱底沉渣反映。

**4.1** 一般规定

**4.1.1** 旁孔透射波法是目前较为成熟的既有桩基础探测方法。当既有基础为摩擦

桩时，测定基桩入土深度具有较高的准确度。当测定桩身质量、桩底与持力层结 合状况、基桩类型时，具有一定的准确度。

**4.1.2** 本条主要规定了应用旁孔透射波法的条件。对钻孔深度的规定是为了保证

可探测到基桩的底部。规程编制组开展了带缺陷桩基足尺模型试验和现场原位测 试，发现桩间距大小对桩长和桩身完整性判定具有较大影响。试验数据结果表明， 当探测孔紧邻受检桩 (要求桩间距不超过 0.5m) 时，旁孔透射波法能够对桩基 完整性进行有效探测和分析。当桩-孔测试距离大于 1.0m 后，初至波形状和桩身 视波速主要反映桩周土层分布的均匀性，桩长和桩身缺陷特征受到显著削弱。不

同测试间距时的初至波典型曲线见图 4. 1.2。



(a ) 1 号桩

图 **4.1.2**

(b) 2 号桩

不同测试间距时的初至地震波典型拟合曲线

**4.2** 仪器设备要求

**4.2.1** 本条主要规定了用于旁孔透射波法的仪器设备的特殊要求。激发高频振动

利于提高探测精度，使用小锤激振利于激发出高频振动。

**4.3** 数据采集

**4.3.2** 本条主要规定了现场工作要求。主要强调激振点应与基础底部、桩基相连。

激振点附近有砂浆批荡不利于激发高频振动。当单次激发能量不足时，可采用垂 直叠加。测试时宜选用 140Hz 的高通滤波。

**4.4** 结果分析与评定

**4.4.1** 本条主要规定了资料处理、解释工作的要求。基桩入土深度计算公式根据

探测原理推导。对于嵌岩桩，桩身与持力层波速差异不大，一般仅可判断基桩嵌 入或未嵌入基岩。

**4.4.3** 桩身波速一般比较高，沿桩身旅行波组最先到达，其视速度等于桩身纵波

波速。当初至波组的视速度与同深度岩土层纵波波速相当时，则无沿着桩身混凝 土旅行的波组，可判定为浅基础即非桩基础。浅基础的典型记录见图 4.4.3- 1 ，图 中初至波组的视速度 1730m/s ，与同深度岩土层纵波波速相当。下部视速度为 505m/s 的波组为管波。初至波组与管波的交点深度即为浅基础的入土深度，图

中标示约为 2.75m ，结果经过开挖验证符合实际。



图 **4.4.3-1** 浅基础的旁孔透射波法典型记录

摩擦桩基础的典型记录见图 4.4.3-2，图中深度 2.5m~10m 之间初至波组的视 速度为 4950m/s，视速度拐点深度 10.5m，拐点下深度 12.5m~15m 之间初至波组 的视速度为 1670m/s ，第二组明显的波组视速度为 1750m/s ，为沿桩侧土层旅行

的直达波组。



图 **4.4.3-2** 桩基础的旁孔透射波法典型记录

基桩类型主要根据桩身波速推断，推断时可参考钻孔岩十分层及标贯击数等 地质资料。基桩桩身完整性主要根据实测记录中的波组形态推断。桩底与桩底持 力层的结合情况主要根据实测记录中的波组形态推断。对于嵌岩桩，当桩端出现 明显上行波组时，可判定桩底与持力层的结合存在缺陷。

桩身断裂的桩基础典型记录见图 4.4.3-3 。在埋深 11.7~ 12.6 m 处，初至波组 斜率发生陡降 (视速度降至 1200 m/s ) ，但首波振幅未见明显衰减。下部桩段视 速度部分得到恢复，但较上部正常桩段下降约 30% ，桩身断裂对桩-土体系中应 力波传递产生显著影响，初至波拟合直线出现较明显的三折线形态。



图 **4.4.3-3** 桩身断裂的桩基础旁孔透射波法典型记录

桩身夹泥、桩底沉渣的嵌岩桩基础典型记录见图 4.4.3-4 。在埋深 3.2~4.4 m (桩身截面夹泥) 缺陷段附近，应力波均可见较明显的首波延时和振幅下降。埋 深 14.0 m 附近桩身混凝土存在轻微缺陷，首波振幅略微下降，但延时不明显。 在桩端埋深部位，桩身初至波组可见直线斜率突变，视波速由 4100 m/s (桩体段) 陡降至 1250 m/s ，之后增大至 3700 m/s (岩体段) 。桩底沉渣使桩端初至波拟合 直线斜率出现间断，根据该位置波形特征可对嵌岩桩桩端施工质量和桩长进行判

。

别



图 **4.4.3-4** 带缺陷的嵌岩桩基础旁孔透射波法典型记录

**5** 磁测井法

**5.1** 一般规定

**5.1.1** 地球周围空间分布有天然的大地磁场，地磁北 (N) 极处于地理南极附近，

地磁南 (S) 极处于地理北极附近。通常情况下，在工程检测所涉及的局部区域 内可以近似认为天然地磁场为均匀分布的背景场，当周围空间中存在磁性物质 时，则会引起地磁场的局部变化。钢筋属于铁磁性物质，磁化率很大且磁性很强， 当钢筋笼被地磁场磁化后会在其周围形成很强的局部磁异常。磁测井法就是利用 了这种磁性差异，通过研究磁性体周围磁场变化的空间分布特征和分布规律，对 磁性物体空间分布作出解释，进而可以分析桩中钢筋笼的分布情况。

**5.3** 现场检测

**5.3.1** 根据磁感应理论，钢筋笼主筋磁感应强度与测点至主筋垂直距离的平方成

反比。因此，为了获得较清晰的钢筋笼磁异常信号，测点应充分靠近钢筋笼。根 据实践经验，当测点与钢筋笼距离超过 1.5m 后，钢筋笼的磁异常信号将非常微 弱，甚至无法判断钢筋笼的存在与否。考虑的桩的垂直度本身有一定的偏差，为 了确保钢筋笼磁异常信号清晰可辩，这里规定测试孔宜布置在距受检桩边缘不大

于 0.5m 以及桩侧成孔的垂直度宜控制在 1%以内。

**5.3.3** 磁场传感器获得稳定的测试数据需要一定的响应时间，人工拉线移动速度

过快将会导致测试的磁异常数据不正确。

**6** 钻孔低应变法

**6.3.1** 时间段长度的规定主要是为了保证顺利采集到预估的桩底反射信号，*L* 为

预估桩长，*c* 为桩身平均波速。

**6.4.3** 低应变反射波法是建立在一维波动理论基础上，将桩假设为一维弹性连续

杆，在桩身顶部进行竖向激振产生弹性波，弹性波沿着桩身向下传播，当桩身存 在明显差异的界面 (如桩底、断桩和严重离析等) 或桩身截面积变化 (如缩径或 扩径) 部位，波阻抗将发生变化，产生反射波，通过安装在桩顶的传感器接收反 射信号，对接收的反射信号进行放大、滤波和数据处理，可以识别来自桩身不同 部位的反射信息。利用波在桩体内传播时纵波波速、桩长与反射时间之间的对应 关系，通过对反射信息的分析计算，判断桩身混凝土的完整性及根据平均波速校 核桩的实际长度，判定桩身缺陷程度及位置。

鉴于传统的低应变法在检测既有桩基工作状况时的局限性，结合工程实践试

验，规程编制组提出钻孔低应变检测方法，即在基桩中心对应的承台顶部钻孔， 将测振传感器安装在被测桩基础的顶面，在承台顶面上进行激振，通过传感器接 收桩身反射信号，据此分析基桩的完整性。该检测方法的有效性已通过多个实际 桥梁既有桩基检测项目得到验证。图 6.4.3- 1 为实际项目中通过钻孔低应变法获 得的不同缺陷类型桩基典型应力波时程曲线，基桩完整性评判结果已得到钻芯法

验证 (图 6.4.3-2) 。



(a)



(b)



(c)



(d)

图 **6.4.3-1** 既有桩基钻孔低应变法检测曲线



(a) 桩头混凝土离析、取芯有渗水 (b) 桩头混凝土严重离析、蜂窝沟槽



(c) 桩头混凝土离析，取芯有渗水

图 **6.4.3-2** 钻孔低应变法检测结果取芯验证

**7** 双速度法

**7.1** 一般规定

**7.1.1** 与在建桥梁工程的基桩低应变法检测不同，市政桥梁上部结构的存在不但

增加了低应变法现场测试的难度，而且也会存在很多种不利于桩身完整性判断的 干扰信号，如承台或筏板底面的反射信号、筏板或墩柱本身缺陷的反射信号，极 大地增加了分析判断难度，可能无法对桩身的完整性做出正确判断。因此，用低 应变法检测市政桥梁的基桩桩身完整性时应通过现场试验、综合其他方法的测试 结果确定其有效性，在可能的情况下通过基桩钻芯方法进行验证。

**7.2** 仪器设备要求

**7.2.1** 对于市政桥梁的检测，往往现场条件困难，不可能测试太多的桩，或原设

计、施工资料缺失，都无法按照现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定来确定桩体的波速，故可布置双传感器来确定桩体的波速。显然当使 用双传感器来测试波速时需要测试主机具有的通道数不得少于两个。

**7.3** 现场检测

**7.3.2** 由于现场条件的限制，市政桥梁的基桩测试往往比较复杂。因此，测试前 应充分考虑现场条件，结合其他测试或调查取得的资料，通过不同的安装方式及 锤击参数的测试结果比较分析，来确定适合本工程的低应变测试安装方式及锤击 参数。

本条规定了现场不同条件情况下传感器的安装位置及方式。由于桩顶受巳建

桥梁构件的影响，使得低应变法在测试市政桥梁的基桩时变得更加困难。因此， 双速度法桩侧安装传感器时应尽量远离桩上部的结构底面以减少对测试信号的 影响。当采用双传感器确定波速时，上下传感器必须与桩轴线保持在同一方向上， 由于受桥梁结构构件的影响以及测试精度等问题，距离过小得到的可能非真正桩 身的波速，因此两者之间的距离应在可能的情况下尽量增大。

**7.4** 结果分析与评定

**7.4.1** 双速度法假定所测桩的材料相同，才有可能用上部桩段得到的波速代替整

桩的波速。如果桩身是由不同的材料分段组成的或者虽然是同一材料组成但由于 离析、夹泥等缺陷造成上下段的材料特性差别较大，那么这种方法也不可能得到 很准确的整桩波速。这种方法测试时，两个传感器之间的距离相当于是一个用来 标定波速的标定距离，也可以把双速度法称作“标距低应变法”。当测试曲线复杂、 毫无规律、根本无法判断桩身完整性时，意味着该检测方法失败，报告中应明确 给出双速度法无法判断的结论，并给出采用其他检测方法补充检测的建议，报告 中严禁根据设计图纸、施工记录等材料推断、臆测桩身完整性情况。报告应附有

与检测结论相一致的测试曲线。

**8** 桩身散射成像法

**8.1** 一般规定

**8.1.1** 桩身散射成像法(PST 法)是基于声波散射的既有桥梁桩基无损检测技术，

主要用于检测桩基结构完整性，评价桩体质量和损伤程度。桩身散射成像法检测 是沿桩侧面布置检波器串，记录波场中的上行波和下行波，并进行波场分离和偏 移成像。

根据弹性波阻抗传递原理，桩身缺陷与结构改变均会导致弹性波阻抗变化。

当受到外界激励时，弹性波阻抗异常位置将产生反射波。反射波强度与弹性波阻 抗异常程度、激发强度成正比。盖梁、系梁、桩底、地层和缺陷均可产生反射，

追踪反射波即可确认其位置。



图 **8.1.1-1** 桩身散射成像法原理示意图

桩基有三种类型的振动，轴对称压缩振动、剪切弯曲振动和剪切扭转振动。 前一种以纵波方式传播，后两种以横波方式传播。哪种类型的振动能量占优，取 决于激震方式与激震位置。常规低应变法在桩顶激发，主要产生纵波。桩身散射 成像法在桩身侧面激发，以剪切弯曲振动 (横波) 为主，轴对称压缩振动 (纵波) 为辅，如图 8. 1. 1-2 所示。当桩直径大于数倍波长时，导波模态比较稳定，转换 为面波，即瑞利波和勒夫波。导波有频散，速度与频率、模态有关，导波模态与 激震条件有关，力度、角度、作用时间的差异，均会导致模态变化。



图 **8.1.1-2** 激振后在桩内产生的波的类型

通过传播方向将在桩基内传播的弹性波分为向上传播的上行波和向下传播 的下行波，记录中的波场如图 8. 1. 1-3 所示。



图 **8.1.1-3** 波场示意图

如图 8. 1. 1-4 所示，下行波包括：激发形成的直达波 a1 ，盖梁底界面反射波

a2 ，以及盖梁顶面反射波 a3；上行波包括：a1 、a2 、a3 的反射波 b 1 、b2 、b3 。 上行波与下行波分别由三个震相组成，且第一、第二震相波速差异大，第三震相 与第二震相波速接近。且当桩身较短时，多次反射尤为明显。



图 **8.1.1-4** 波在桩基内传播与波场示意

既有桩基的波场分为上行波与下行波。为了分离上、下行波场，以及获取相

速度，不能使用 1 个或 2 个检波器，而需要使用多道检波器串来记录桩体中的导 波，这是因为记录中道数越多越容易追踪同相轴，进而易于分离波场，也可保证 排列长度大于 1/4 波长，防止出现假频。通常使用 16 道检波器串，间距取 10 cm， 组成一个排列。将检波器串固定或粘贴在桩身侧面。

**8.2** 仪器设备要求

**8.2.1** 本条规定了桩身散射成像法对仪器设备的要求，主要为满足以下测试要

求：

**1** 采用高采样率的采集器，获得高保真的原始信号；

**2** 为满足波场分离的要求，检波器串上的检波器数量不宜低于 16 个，采 集仪通道上不宜少于 16 道；

**3** 激发源激发的子波频率及检波器串的中心频率应覆盖声波范围；

**4** 激发源应具有足够的能量，入射波的能量与散射波、反射波的能量成 正比；

**5** 不涉水或少量涉水的既有桥梁桩基检测可采用普通检波器串，水压较 大环境中宜采用专业水听器。

**8.3** 现场检测

**8.3.1** 本条主要规定了应用桩身散射成像法的条件，要求桩侧应与检波器串直接 接触。

**8.3.2** 本条主要规定了桩身散射成像法的数据采集要点。现场检测时，检波器串 应贴紧桩身混凝土。在完成第一次敲击后，敲击点维持不变，重复敲击和采集 5 次，以便于后期数据处理。每根桩在四个方向上等间隔分别排列进行检测，并综 合各方向的检测数据进行判断。

**8.3.4** 本条主要规定了检波器串的使用要求， 目的是得到高信噪比的原始数据。

**8.4** 结果分析与评定

**8.4.2** 本条规定了桩长的解释要领，即桩身材质与地层性质具有较大的波阻抗差

异。

**8.4.4** 桩身散射成像法属于物探方法的一种，桩体缺陷和截面改变均为波阻抗变 化部位，外界激励时，该部位相当于二次震源，可发生反射和散射。截面变化越

大、缺陷越大，反射和散射能量越强、频率越低。反射和散射波的走时与缺陷位 置有关，距离越远，走时越长。强度、频率和走时是缺陷解释的主要依据，可用 于判断缺陷体的位置。桩身散射成像法检测最重要的成果是偏移图像。图像的纵 坐标是深度，红蓝条纹表示反射界面的位置，线条的宽度表示反射能量的大小。

检测结果的解释是以偏移图像为依据。

**9** 动刚度法

**9.1** 一般规定

**9.1.1** 由于不同地区地质条件变化较大，基桩特征千差万别，既便是同类桩基础

在相同地质条件下动刚度值明显偏小 (基桩完整性不足) 的现象也时有发生。加 上早期振动测试设备的数据采集与分析性能较弱，利用动刚度推算基桩完整性未 能够得到大面积推广和应用。基于这一特点，检测人员可通过同一桥梁一批基桩 的动刚度测试结果筛选出其中完整性不足的基桩，并结合取芯法验证既有桩基质 量，进而可评估既有桩基的使用状态。

**9.2** 仪器设备要求

**9.2.8** 在动刚度测试过程中，冲击力的频谱主要取决于桩头振动的持续时间。冲 击持续时间的长短可以通过锤垫的刚度和力锤的重量调节。力锤与桩顶作用时间 越短，激振荷载的频谱就越宽，这样能够提高速度响应的测量精度，但若作用时 间过短，激振力的频谱曲线过宽，会导致平均能量过小。为保证一定的信噪比， 必须加大力锤的重量，这就带来现场操作的困难，因此锤垫与力锤的重量必须保

持在一个适当的范围。

在对激振力信号采集过程中，设采样间隔为△*t*，采样点数为 *Nn* 个，则由采样 定理可知，采样后获取的荷载频率上限*f*max 和经过 FFT 变换后得到的幅频曲线频

率间隔△*f*分别为：

*f*max = *t*

(9.2.8- 1)

*f* =  (9.2.8-2)

动刚度的信号分析方法主要基于传递函数的原理，即零初始条件下，系统的 输出响应的 FFT 变换与输入信号 (激励) 的 FFT 变换之比，得到导纳与频率的关 系，进而推算桩-土系统的动刚度。

需要注意的是，传统的动刚度及类似的低应变检测中，通常直接选用全时域 的速度测试结果进行频谱分析，受限于激振时间短、外界噪声大等影响，实际上 获取的低频段动刚度曲线较为杂乱，如图 9.2.8-2 所示。为获取更准确的动刚度测

试结果，在采集实测信号时采用设置统一瞬态窗的方法，如图 9.2.8- 1 所示，能够 大幅度降低噪声等因素对测试结果的影响，设置瞬态窗后的动刚度测试结果见下 图 9.2.8-3 所示。



图 **9.2.8-1** 动刚度数据采集示意图



图 **9.2.8-2** 全时域信号下动刚度测试结果



图 **9.2.8-3** 设置瞬态窗后动刚度测试结果

**9.4** 资料处理与结果评定

**9.4.1** 任何线性结构系统在确定的动态力(输入)作用下，必定显示确定的动态响

应 (输出) ，瞬态导纳函数确定了输入和输出之间的函数关系，导纳函数表征了

所测体系的动态特性，这是研究结构动力特性的重要方法之一。

大多数情况下基桩长细比较小(＜40) ，桩周土刚度往往远小于基桩本身的刚

度，以摩擦为主和桩尖支承共同作用的端承摩擦桩就是此类情况，这时桩周土体 的支承作用包括桩底的压缩支承(桩底反力) 、桩侧土的剪切支承(侧摩阻力)和阻 尼作用，这些作用可简化用桩底弹簧和阻尼器来表示。当桩顶受到低频脉冲激励 时，所测桩头动力响应就是桩土体系的支撑反力、侧摩阻力以及桩的几何特性的 综合反映。通过测试软件进行分析计算，绘制出导纳(*V*/*F*)随频率*f*的变化曲线— —导纳函数曲线。该曲线的低频段为一近似直线段，低频直线段斜率的倒数为桩

土体系的综合动刚度。

**10** 管波探测法

**10.1** 一般规定

**10.1.1** 管波探测法是在钻孔中利用“管波”这种特殊的弹性波，探测孔旁一定范

围内地质体的孔中物探方法，在解决桩位岩溶探测方面，效果独特。经过国内几 十余家勘察设计单位，近十多年来在高速公路、高速铁路、高层建筑、城市轨道 交通等领域数百项工程，超过数万例桩位岩溶勘察的实施验证，管波探测法已是 一种同行业专家、学者公认的理论成熟、依据充分、勘探效果显著的孔中物探方 法。近几年，国内十余家勘察、设计、施工、检测单位，将管波探测法应用于桩 基质量检测、水文孔含水层位置确定、钻孔分层资料核准等，应用超万例，并取 得丰富的经验和成果。

管波是一种在钻孔及其附近沿钻孔轴向传播的特殊弹性波。其绝大部分能量 集中在以钻孔为中心、半径为半波长的圆柱形范围内，传播过程能量衰减慢、频 率变化小。前人对管波做过大量的研究与试验，Biot (1952) 和 Write (1956) 曾给出零频率时管波的波速 *Vt* 为：

*Vt* = 

 1 + *ρf* *Vf*

 (10. 1. 1)

 *ρVs*2

式中：*Vf*——钻孔中流体 (井液) 的纵波波速 (cm/s ) ；

*ρf*——钻孔中流体 (井液) 的密度 (g/cm3 ) ；

*Vs*——钻孔周围固体介质 (岩土层) 的横波波速 (m/s ) ；

*ρ*——钻孔周围固体介质 (岩土层) 的密度 (g/cm3 ) 。

现有管波探测法设备激发的管波，其中心频率在 700Hz 左右，实测的管波 波速与式 (10. 1. 1) 计算结果一致。如钻孔内孔液为清水、周围固体介质为微风 化石灰岩时，测得的管波波速约为 1350m/s~1420m/s 之间，约为清水纵波波速 1480m/s 的 0.90 倍~0.95 倍；如钻孔内孔液为清水、周围固体介质为黏土层时， 测得的管波波速约为 250m/s ，与黏土层的横波波速相当。

管波探测法实测资料证明，管波的能量与钻孔周围固体介质的横波波速呈现 正相关关系，横波波速高则管波的能呈强，横波波速低则管波的能盘弱。当激发

或接收探头处于溶洞附近时，直达管波能量几乎为零。当激发或接收探头处于软 弱岩层、土层中时，直达管波的能量、波速显著降低。管波的能量由直达管波和 反射管波的波幅确定。

在管波传播范围内的波阻抗差异界面处，管波产生反射。采用收发换能器距 离恒定、测点间距恒定的自激自收观测系统进行测试，垂直时间剖面中所有的反 射管波以倾斜波组形式呈现，倾斜波组斜率的倒数的 1/2 等于管波的波速，具体 可见图 10. 1. 1- 1。



图 **10.1.1-1** 管波探测法观测到的波组示意图

管波探测法应用于岩溶地区嵌岩桩桩位岩溶探测，一般在桩位超前钻探或详 细勘察阶段与钻探工作同期进行。它利用桩位中心的个钻孔，通过在孔液中激发 管波，接收并记录其经过孔液和孔旁岩土体传播的振动波形，来探测孔旁一定范 围内的岩溶、软弱岩层及裂隙发育带的发育和分布情况，可快速查明桩位范围内 的地质情况、评价基桩持力层的完整性，指导基桩设计和施工，实测时间剖面与 地质解释实例见图 10. 1. 1-2 。其有效探测直径大于 2m ，可分辨大于 0.3m 的孔旁 岩溶、软弱岩层及裂隙发育带，定位误差小于 0.3m 。管波探测法具有可靠性高、 异常明显、分辨能力强、精度高、工期短、易于解释、仪器设备投资少、探测费 用低等优点。

近几年来，管波探测法也应用于基桩检测等。一般在灌注桩钻芯检测法检测 孔和灌注桩预埋塑料检测管中进行，探测桩身混凝土中空洞、夹泥、离析、裂隙 等缺陷的位置与程度，评价桩身混凝土浇筑质呈、桩底沉渣厚度、桩身与待力层 结合情况。也可在预应力管桩的中心孔中进行，探测桩身缺陷的位置与程度，评

价桩身质量。



图 **10.1.1-2** 管波探测法实测时间剖面与地质解释实例

**10.2** 仪器设备要求

**10.2.3** 本条规定了用于管波探测法的仪器设备的要求。本条主要强调如下要求：

**1** 采用低频发射换能器以激发低频管波，保证有足够的波长，现有发射 换能器激发的管波中心频率约为 700Hz左右；

**2** 规定发射换能器单次发射能量，以保证有足够的能量穿透到孔旁岩土 中；

**3** 规定记录仪器的通频带，以保证覆盖管波的频率范阶。

**10.3** 现场检测

**10.3.2** 本条主要规定了应用管波探测法的钻孔条件。本条主要强调如下条件：

**1** 金属套管对管波等弹性波均存在屏蔽作用，故要求测试段无金属套管；

**2** 管波探测法需要井液耦合。井液浓度过大将导致管波能量下降、波速降

低，影响探测效果。

**10.3.4** 本条规定了现场施测时的要求。本条主要强调如下要求：

**1** 采用收发换能器距离恒定、测点间距恒定的自激自收观测系统采集的 垂直时间剖面易于解释。收发换能器距离一般为 600mm ，测点间距的规定主要 与分辨能力与空间采样率有关。

**2** 厚度大于 3m 的中、微风化岩层依然有桩基抗拔、桩侧摩阻力方面的利 用价值，需要拔除金属套管后补测。

**10.4** 结果分析与评定

**10.4.1** 本条规定了资料处理与解释工作的要求。本条主要强调如下要求：

**1** 管波探测法的重要异常特征之一是管波能量差异，不能进行道间振幅平衡 处理，否则将导致异常特征灭失。

**2** 各测点测试曲线采用相同的显示增益，突出显示吁波能量差异这一政要异 常特征。采用伪彩色剖面显示可更加清晰、完整显示各种波组。

**3** 同一钻孔往往存在多次测试，其时间剖面应绘制在同一成果图件中。 **10.4.2** 确定分层界面过程中，反射管波初至同相轴与直达管波初至同相轴的交 点即为其出发点，该点一般也为直达管波和反射管波的能址、波速突变点；当反 射管波的出发点不明确时，直达管波和反射管波的能扭、波速突变点即为分层点。 反射管波为倾斜波组；直达管波为水平波组，平行于井轴方向 (时间为 0 处) 。

对管波的分层进行地质解释，就是根据层内管波的能量、波速确定分层界面 之间岩土层的类别及工程性质。桩位岩溶勘察应用中，孔旁岩土类别划分见表 10.4. 1- 1 ，灌注桩检测的桩身混凝土分类见表 10.4. 1-2 ，桩底持力层划分参见表

10.4. 1- 1。

表 **10.4.1-1** 岩溶区管波探测法孔旁岩土分类的地球物理特征表

|  |  |
| --- | --- |
| 孔旁岩土分类 | 管波异常特征 |
| 土层 | 1. 直达波速度低，波组到达时间长、能量微弱；2. 无反射管波同相轴穿过。 |
| 岩溶发育类 | 1. 直达波能量很弱或不可见；2. 顶底界面反射波组能量强、频率低，在本段以外发育；3. 顶底界面以外的反射波组穿过本段顶底界面进入本段后，能量突然消散 |
| 软弱岩层 | 1. 直达波速度变低、波组向下弯曲，能量很弱或不可见；2. 顶底界面反射波组向外的一支能量强、频率低，向内的一支能、频率低、 速度低；3. 顶底界面以外的反射波组穿过本段顶底界面进入本段后，能量突然变 低、频率低、速度变低。 |
| 溶蚀裂隙发育 | 1. 直达波速度稍低、波组向下弯曲，能量变弱；2. 顶底界面反射波组能量低、频率较高、反射密集分布；3. 顶底界面以外的反射波组穿过本段顶底界面进入本段后，反射能量突然 变低。 |
| 节理裂隙发育 | 1. 直达波速度高、能量较强；2. 顶底界面反射波组在层内可见，能屋强、速度高，并可能有多次反射；3. 段内存在多组呈“八”字形的层内反射，层内反射能量低、频率高 |
| 完整基岩 | 1. 直达波速度高，能量强；2. 顶底界面反射波组在层内能量强、速度高，并有多次反射；顶底界面反 射无能量消散现象；3. 段内无反射界面。 |

表 **10.4.1-2** 管波探测法桩身混凝土分类的异常特征表

|  |  |
| --- | --- |
| 桩身混凝土分类 | 管波异常特征 |
| 严重缺陷混凝土 | 1. 直达波速度变低、波组向下弯曲，能量为完整混凝土的 25% 以下；2. 顶底界面反射波组向外的一支能量强、频率低，向内的一支 能量弱、频率低、速度低；3. 顶底界面以外的反射波组穿过本段顶底界面进入本段后，能 量突然变低、频率低、速度变低 |
| 一般缺陷混凝土 | 1. 直达波速度稍低、波组向下弯曲，能量为完整混凝土的 25%~ 50%；2. 顶底界而反射波组能量低、频率较高，反射密集分布；3. 顶底界而以外的反射波组穿过本段顶底界面进入本段后，反 射能量突然变低 |
| 轻微缺陷混凝土 | 1. 直达波速度高、能量为完整混凝土的 75%以上；2. 顶底界面反射波组在层内可见，能量强、速度高，并可能有 · 多 次反射；3. 段内存 4 多组呈“八”字形的层内反射，层内反射能量低、频 率高 |
| 完整混凝土 | 1. 直达波速度高、能量强；2. 顶底界面反射波组在层内能量强、速度高，并有多次反射；， 顶底界面反射无能量消散现象；3. 段内无反射界面 |

**10.4.4** 图 10.4.4 为带缺陷灌注桩的管波法检测波形曲线，评判结果的准确性已

得到钻芯法验证。



a) 管波法探测解释成果图 b) 钻芯法综合柱状图



c) 基桩芯样照片

(a) 缺陷描述：承台、桩-承台结合部位轻微缺陷，桩身完整



a) 管波法探测解释成果图 b) 钻芯法综合柱状图



c) 基桩芯样照片

(b) 缺陷描述：承台、桩-承台结合部位严重缺陷，桩身完整



a) 管波法探测解释成果图 b) 钻芯法综合柱状图



c) 基桩芯样照片

(c) 缺陷描述：承台、桩身、桩-承台结合部位轻微缺陷



a) 管波法探测解释成果图 b) 钻芯法综合柱状图



c) 基桩芯样照片

(d) 缺陷描述：承台、桩-承台结合部位完整，桩底严重缺陷

图 **10.4.2** 典型缺陷灌注桩管波法检测图例

**11** 钻芯检测法

**11.1** 一般规定

**11.1.1** 在市政桥梁基桩检测鉴定中，查明桩长及桩周岩土层情况是鉴定基桩承

载力的关键。

**11.1.2** 采用钻芯检测法根据桩靴深度位置判定预制管桩桩长直观可靠，是检测

预制管桩桩长的首选方法。

**11.1.3** 当桩顶正上方无墩柱或其他结构阻挡时，应沿铅垂方向钻进；当桩顶正

上方有墩柱等结构阻挡时，为确保完成全桩长钻芯，钻进角度的选择应尽量使钻 孔从桩底中心点附近通过，当桩长不明时，可结合工程情况及场地地质条件预估， 或根据前面已有检测情况调整。当出现钻芯孔偏离桩身时，应立即停机，并查找 原因。重新确定钻孔位置，确保钻芯孔从桩底穿过。

**11.2** 仪器设备要求

**11.2.1** 桩端持力层岩土性状的准确判断直接关系到受检桩的使用安全。《建筑

地基基础设计规范》GB50007 规定：嵌岩灌注桩要求按端承桩设计，桩端以下 三倍桩径且不小于 5m 范围内应无软弱夹层、断裂破碎带和洞穴分布，在桩底应 力扩散范围内无岩体临空面。虽然施工前已进行岩土工程勘察，但钻孔数量有限， 对较复杂的地质条件，很难全面弄清岩石、土层的分布情况。因此，应对桩底持 力层进行足够深度的钻探。若岩土勘察资料表明桩端持力层稳定、满足设计要求， 制定检测方案时，每根受检桩可选择一个钻芯孔来探明桩端持力层性状；否则， 每个钻芯孔均应钻进足够深度，以便查明探明桩端持力层性状。当受检桩有两个 以上钻芯孔，且某一钻芯孔揭示桩端持力层存在夹层等问题而不满足设计要求， 则其它钻芯孔也应钻进足够深度，以便查明探明桩端持力层性状。

**11.4** 结果分析与评定

**11.4.6** 通过芯样特征对桩身完整性分类，有比低应变法更直观的一面，也有“一

孔之见”代表性差的一面。桩身完整性类别主要根据芯样特征判定，有孔内摄像 法时还应结合孔内摄像法检测结果判别。

**11.4.8** 本条规定判定Ⅳ类桩不满足设计要求，并不意味Ⅲ类桩满足设计要求。

现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 第 6.3.9 条要求：钻孔达到设计深度， 灌注混凝土之前，孔底沉渣厚度指标应符合下列规定：对端承型桩，不应大于

50mm；对摩擦型桩，不应大于 100mm；对抗拔、抗水平力桩，不应大于 200mm。

**12** 桩基变形监测

**12.1** 一般规定

**12.1.4** 监测项目数据分析应结合其他相关项目的监测数据和环境条件及以往数

据进行，并对其发展趋势作出预测，宜对监测项目给出控制值、预警值。

**12.2** 沉降监测

**12.2.4** 使用静力水准测量时，应根据变形监测的等级和所用设备的性能，制定

相应的作业方案。作业过程中，应定期对设备性能进行检校。观测标志的形式及 其埋设，应根据采用的静力水准仪的型号、结构、读数方式以及现场条件确定。 标志的规格尺寸设计，应符合仪器安置的要求。

**12.3** 水平位移监测

**12.3.6** 由于既有桥梁和邻近基坑、地铁隧道等之间的相对位置关系、岩土性状

等不同，既有桥梁桩基础一侧的水平位移报警值还应结合上部结构的变形情况综 合分析制定。当既有桥梁的结构部分、周边地面出现较严重的突发裂缝或危害结 构的变形裂缝，且变形速率较大时，必须立即报警，并采取应急措施。

**13** 周边环境影响监测

**13.2** 深层水平位移监测

**13.2.2** 在市政桥梁桩基临近有环境改变的一侧布置测斜管，测斜管宜贴近桥墩

桩基础。测斜管间距应考虑桥墩桩基础布置形式和相邻墩柱间距，宜布置在桩基 础的侧面。

**13.2.3** 测斜管的埋深超过桩基础深度 1.0m，是需要观测桩基持力层是否受到影

响。埋设测斜管时，应保证测斜管的一对凹槽与被测方向一致。当方向不一致时， 应测量凹槽与被测方向的夹角。通过测量两对凹槽方向的深层水平位移数据，并 结合夹角角度对数据进行修正。求出被测方向的深层水平位移数据。

**13.2.5** 国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 针对不同安全等级、

不同支护结构形式给出了深层水平位移报警值，绝对值范围为 30mm~100mm 、 相对基坑深度的相对控制值为 0.3%~ 1.0%，变化速率范围为 2mm/d~20mm/d。深 层水平位移是既有桥梁产生侧向变形的原因之一，该报警值还应结合桥梁结构的 沉降、差异沉降和位移综合确定。

**13.3** 土体分层沉降监测

**13.3.2** 沉降管的间距应考虑墩柱间距和桩数，数量不宜小于 3 个是为了反映沿

桥梁纵向轴线的差异沉降变化。

**12.4** 地下水位监测

**13.4.1** 若施工降水井距离既有桥梁不远，也可利用降水井监测地下水位。