

福建省公路钢质护栏立柱埋深无损检测技术规程  
条文说明

## 目 录

1 范围.....	3
2 规范性引用文件.....	3
3 术语与定义.....	3
4 基本规定.....	3
5 检测原理及设备.....	5
5.1 检测原理.....	5
5.2 检测仪器性能.....	6
5.3 传感器安装.....	6
图 3: 传感器安装示意	
5.4 激振装置.....	7
6 现场检测.....	7
7 数据处理与解析.....	8
8 检测报告.....	9
9 检测结果判定.....	9
10 检测数据管理.....	9
附录 B 钢质护栏立柱埋深无损检测现场记录表.....	10

# 福建省公路钢质护栏立柱埋深无损检测技术规程条文说明

## 1 范围

本标准对公路钢质护栏立柱埋深无损检测的检测方式方法、检测过程、结果判定等做了较为详尽的规定。

本标准适用于各等级公路钢质护栏立柱埋深的检测。

## 2 规范性引用文件

本标准在制定过程中，对相关规范性引用文件进行了说明。

## 3 术语与定义

本标准术语与定义以《钢质护栏立柱埋深冲击弹性波检测仪》(GB/T 24967)为依据或参照。

**3.1** 在本标准中推荐使用满足《钢质护栏立柱埋深冲击弹性波检测仪》(GB/T 24967)的设备。对于不满足《钢质护栏立柱埋深冲击弹性波检测仪》(GB/T 24967)要求的设备，应对其测试性能或测试精度进行验证。

**3.2** 冲击弹性波具有能量较大、波长较长（衰减相对较小）、基本参数（波速）稳定等优点，使得其测试深度较深，不仅适合于新设立柱，也能够适合于埋设时间较长的既设立柱。大量资料和项目组试验证明该方法具有较高的测试精度和信赖性。另外，还有电磁感应法和超声波法，前者需要在立柱内钻孔，测试工作量大，对土质也有松动，现在较少使用；后者直接从反射波形上读取反射信号，其测试原理并无特别之处。同时，对于硬质土体或长柱，由于反射信号衰减大，识别困难，从而测试的误差也较大。因此本标准规定采用更适用的冲击弹性波法。

**3.3** 根据简谐振动理论幅值用以作为振动大小的特征量，可以看出：速度幅值 $v_m$ 与位移幅值 $x_m$ 之比等于 $\omega$ （角频率）；加速度幅值 $a_m$ 与位移幅值 $x_m$ 之比为 $\omega^2$ 。所以，当 $\omega$ （角频率）较大时，加速度的幅值较之位移的幅值有很大的增加，有利于信号的检出，而立柱埋深检测中所用弹性波频率往往达到数 KHz，属较高频信号，因此本标准规定加速度传感器作为信号拾取装置。

**3.4、3.5** 立柱埋深检测检测对象立柱为中空薄壁结构，一方面比表面积较大，有效激振能量衰减快，另一方面空腔产生共鸣现象，震荡信号持续时间长。即钢质护栏立柱底部有效反射信号微弱的同时，还有持续的震荡信号干扰，极大地增加了检测难度，激振装置和激振控制器极其重要。

## 4 基本规定

4.1 《公路交通安全设施设计规范》(JTG/T D81), 《公路交通安全设施施工技术规范》(JTG F71) 中对立柱设置、安装、材料等都有明确要求。本标准适用其中的钢质护栏立柱埋深的检测。

4.2 无损检测有别于拔桩测定等破坏性检测, 无损检测技术用于工程交竣工验收时, 应充分考虑无损检测的特殊性, 在尊重“符合设计规定”的验收要求的基础上, 应充分考虑检测方法的测量精度, 并符合《钢质护栏立柱埋深冲击弹性波检测仪》(GB/T 24967) 的性能要求。

下图为现场数百根立柱检测验证结果的正态分布图。特别需要说明的是下面分布图中包含公路钢质护栏立柱埋深无损检测系统早期试验数据。总体而言, 目前现场验证结果非常理想。

- (1) 约 85% 的检测相对误差在  $\pm 4\%$  之内;
- (2) 约 94% 的检测绝对误差在  $\pm 8\text{cm}$  之内;

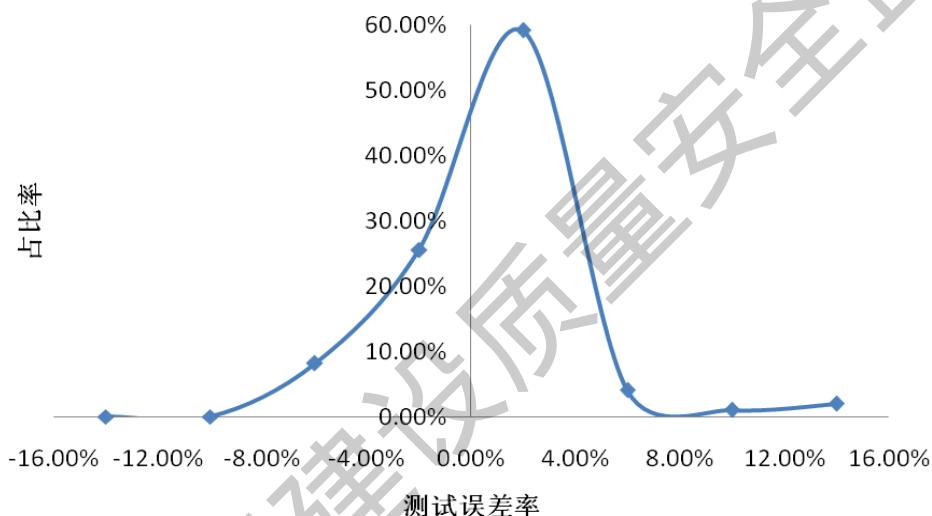


图 1: 现场验证相对误差分布

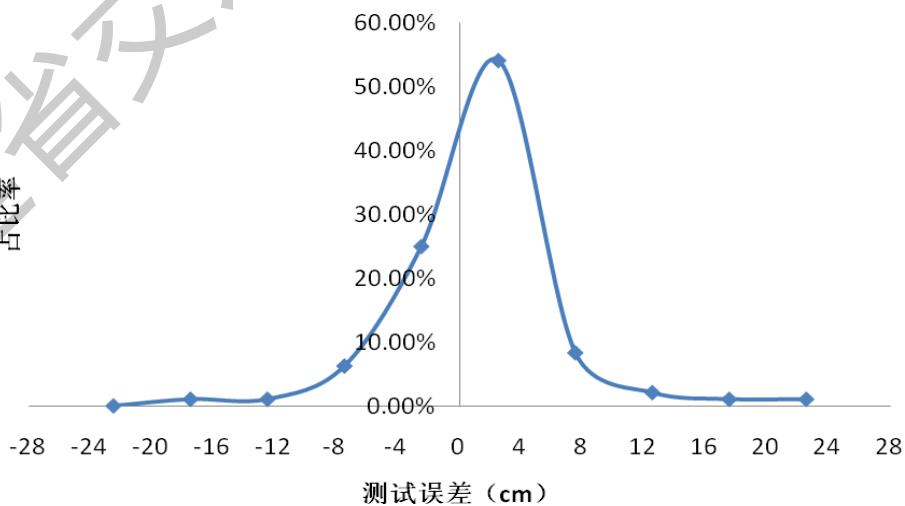


图 2: 现场验证绝对误差分布

4.3 公路钢质护栏立柱埋深无损检测通过测定钢质护栏立柱的长度, 再测量外露长度 (JTG/T D81 构

造和材料要求“护栏从路面到护栏顶部的高度宜为 70-100cm”，高速公路、一级公路不低于 70cm；一般为 75cm 左右），从而计算出钢质护栏立柱埋入深度。

## 5 检测原理及设备

### 5.1 检测原理

基于冲击弹性波的立柱埋深测试的基本原理与基桩的健全性测试相同，即利用弹性波的反射特性，根据标定所得的弹性波波速，并通过立柱底部的反射时刻进而推算立柱的长度及埋深。在实际的测试中，可以利用 1 个频道的重复反射法测试，适合短立柱的测试；也可以利用 2 个频道的单一反射法测试，适合长立柱的测试。

公路钢质护栏立柱埋深无损检测利用公式（1）求解出立柱的测试总长，并减去相应的地面长度，即可得出立柱的埋置深度。

$$L = C \frac{T}{2} \text{ 或 } L = \frac{C}{2f} \dots \dots \dots \text{ 公式 (1)}$$

注： $C$  为标准波速， $T$  为传播时间； $f$  为频率， $f = \frac{1}{T}$ 。

可以看出，计算用  $C$  是测试立柱埋深时非常重要的参数。空置条件下，多种立柱不同材料测试的波速  $C$  如下表。

表 1-空置立柱检测结果一览表

编号	长度(m)	测定波速(km/s)
1	2.150	5.161
2	1.875	5.131
3	1.875	5.125
4	2.020	5.102
5	2.500	5.135
6	2.000	5.083

可见，测定弹性波波速变化较小，大致间于 5.08—5.16 间，而与理论对比如下表。

表 2-理论波速及实测波速(单位：km/s)

弹性模量 $E$	密度 $\rho$	理论 $V_p$ (km/s)	实测范围 $C$ (km/s)
200GPa	7800kg/m <sup>3</sup>	5.06	5.08—5.16
210GPa		5.19	

可以看出，实测值与理论值吻合得很好。但是，在实际的工程中，立柱埋入土、岩石、混

凝土中时，计算用波速的取值会有一定的变化。

表 3-不同条件下波速的取值(单位：km/s)

状况	说明	建议取值
土石材料中打入立柱		5.18
岩石中设置立柱	无灌浆	5.18
	有灌浆	5.10~5.18
混凝土、砂浆中立柱	连续混凝土槽，混凝土块体积大	5.10~5.18
	单独混凝土块，体积较小	4.90~5.10

在大多数情况下，立柱中的弹性波 P 波波速均可取为 5.18km/s。当然，在实测之前，对立柱的波速进行标定也是有益的。特别是岩石钻孔并内外灌浆的立柱，其计算用波速会有一定的降低，此时的标定就显得更加重要。

## 5.2 检测仪器性能

本标准规定检测仪器应符合《钢质护栏立柱埋深冲击弹性波检测仪》(GB/T 24967)，具有产品合格证书，使用之前通过技术标定，具有检定或校准证书。检定或校准证书有效期为 1 年，当检定或校准满 1 年仪器应重新检定或校准才能使用；检测仪器在检定或校准有效期内，进行过系统维修，需要重新检定或校准才能使用；在检定或校准有效期内，使用过程中，出现检测仪器异常，认为需要检定或校准的，宜检定或校准后方可继续使用。本标准要求对非国标产品在测试性能和测试精度进行验证测试，并形成相应的测试验证报告，在第三方认同的情况下可以使用。

## 5.3 传感器安装

公路钢质护栏立柱埋深无损检测宜采用 2 个频道，也可采用 1 个频道。其中采用 1 个频道时，仅采用 1 个传感器，可采用侧壁安装也可以采用顶部安装；而采用 2 个频道，需要 2 个传感器，只能采用侧壁安装，且保持击振点、2 个传感器三点一线，且该测线应避开立柱的螺孔及钢管焊缝。无论 1 个频道还是 2 个频道传感器安装均可采用磁性卡座来固定，固定位置要求干净平整，必要时可以采用耦合剂来提高不同频段信号的测量能力，降低干扰信号，减少能量损失。

2 个频道测试时，当立柱外露长度不足 0.6m 时，接收频道 (CH1) 可以适当向立柱端移动，并做好记录。

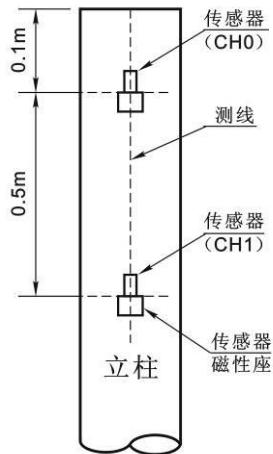


图 3: 传感器安装示意

#### 5.4 激振装置

激振装置安装或激振控制,应以降低或抑制自由振动等干扰信号为目的。一般需要特定的激振器。控制器安装前,应对立柱端面击打位置进行平整打磨,平整范围不应小于击打探针或激振锤的直径大小。

### 6 现场检测

**6.3** 各参数根据检测系统要求,按实际情况输入即可。测试之前均应进行系统噪声标定,以确定测试系统是否正常,测试环境是否满足测试条件。测得波形信号应首波信号明晰可见、有较高的信噪比、较弱的自由振动信号、较明显的反射信号、较清晰的包络线等,正常的测试波形见图 4。

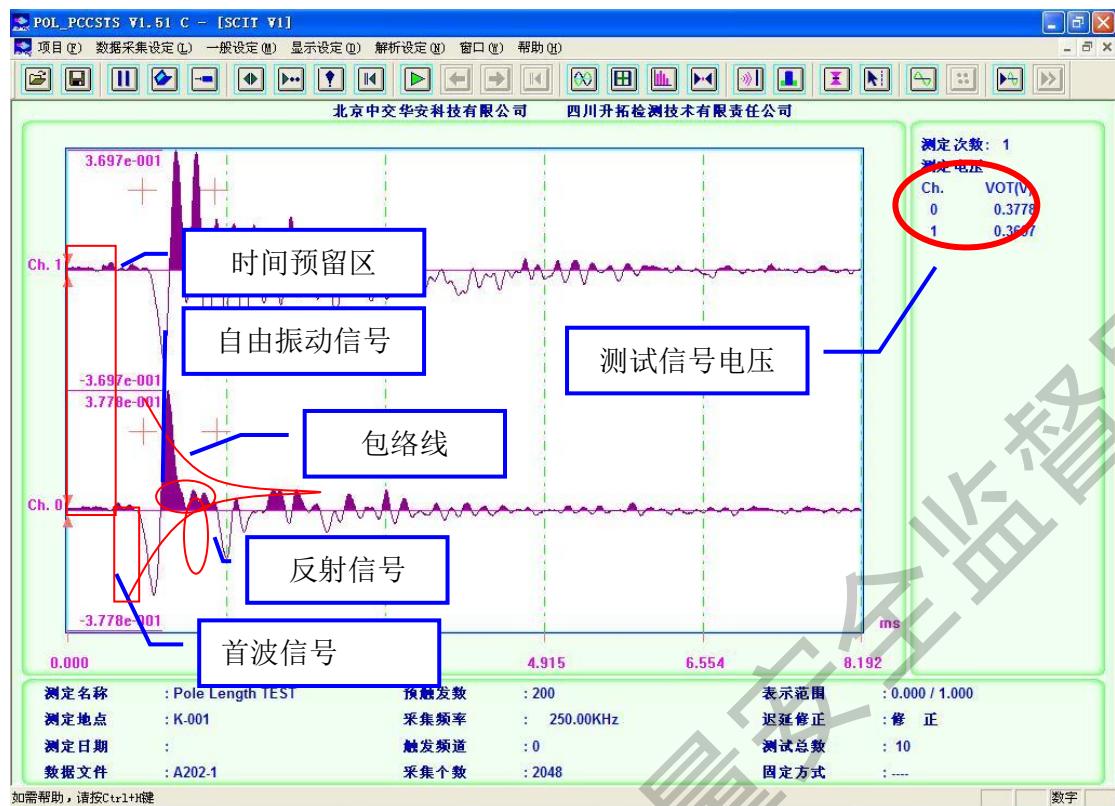


图 4 : 正常的测试波形

当测试波形不正常时，应根据实际情况，进行排查，如系统本身不稳定，外界环境噪音过大，激振力度、激振位置不合理，传感器安装不到位等等。一般要求测试有效的正常波形不少于 5 次，并以所有有效测试数据的综合结果作为最终测定值。

**6.4 测线布设**应避开螺栓孔和焊缝，当测试结果不稳定或测试结果存在争议时，应增加测线，进行复测。

**6.5** 本标准规定了一般的测试流程，原则上应遵照执行，若遇特殊情况不影响检测结果和判定时，可以做适当调整。

#### 6.6 测试数量和比例

本标准规定了测试数量和比例，应根据工程实际情况遵照执行。

#### 6.7 抽样方式

本标准规定了抽样方式，其目的在于全面覆盖，使得抽样具有随机性和广泛的代表性。根据工程实际情况，可以对抽样方式进行调整，但必须保证抽样的覆盖率，及其随机性和代表性。

### 7 数据处理与解析

**7.1** 本标准允许对原始数据处理后进行解析，但仅仅限于数据记录不完整、信号不清晰，信息

标记不准确时，是为提高测试精度而做的必要的信号处理，而不允许对原始数据进行影响测定结果的非法修改操作。

## 7.2 解析相关参数的设置包括以下步骤：

在立柱顶部激振产生的弹性波信号中，主要有两种类型的信号：瞬间冲击产生的脉冲信号和冲击结束后的残留振动信号。而立柱中空薄壁、比表面积较大，冲击产生的脉冲信号衰减很快、持续时间短、反射信号微弱，但是测试中为有用信号；残留振动信号为噪声源，持续时间长，是不确定的干扰信号。因此一方面需要进行信号处理设定包括噪声处理设定、滤波设定、积分处理设定、频道间串信修正设定等等，降低干扰信号的影响；另一方面需要对反射信号增幅设定，增强反射信号的识别能力。

除此之外，钢质护栏立柱有不同形状、不同壁厚、不同的埋设条件和埋设环境，因此，对不同状态下的立柱进行适当的设置也是必需的。

数据的解析包括以下步骤：

- a) 数据的平均处理，无损检测往往存在多种不确定因素，每一次测试结果存在一定的随机性，取多次测试结果平均值是降低随机影响的有效手段。公路钢质护栏立柱埋深无损检测取测试结果综合分析单纯平均、修正平均以及积算平均后得到的最优测试结果，该结果即为最终测试结果。
- b) 数据的解析，在相关设定完成后，逐个获取每个测试数据测定结果的过程。
- c) 解析结果一览，所有有效测试数据分析完后，对结果进行整体查看，一方面检查是否有数据遗漏没有解析，另一方面检查是否有特别异常数据。
- d) 解析结果的保存，解析结果可以保存为图片或表格，以备查阅。

## 8 检测报告

对检测报告的内容进行了基本约定，另外还可增加报告编号、相关声明等等，总之报告应全面准确，科学公正，可回溯等等。

## 9 检测结果判定

本条文结合 JTGF80/1 对立柱埋入深度要求“符合设计规定”，并考虑符合 GB/T 24967 的性能要求检测仪器的测量精度，给出了判定标准。

## 10 检测数据管理

### 10.1-10.4

检测数据应保证真实、可靠；检测记录详细、准确，地理坐标信息宜采用 GPS 或其他智能地理信息系统记录；检测报告科学公正。检测数据、检测记录、检测报告等等信息都应以数据库形式集中

管理。

#### 附录 B 钢质护栏立柱埋深无损检测现场记录表

立柱类型（代号）、立柱规格记录应按设计记录，或按照 GB/T 31439.1 波形梁钢护栏相关要求记录。

埋设时间单位为年，不足 1 年即为新设立柱，超过 1 年向下取整记录。

立柱位置是指在同桩号下，测试的上行路侧，下行路侧，隔离带上行侧，隔离带下行侧等。

埋设介质应记录立柱处在土中、岩体中、混凝土中等。

击打端面特征描述应对端面平整情况、有无切割痕迹、有无卷口等信息进行描述说明。