

公路护栏立柱埋深检测技术体系

(V1.50)



2011-06-08 初稿

2021-06-21 第 30 次修订

2022-02-11 第 31 次修订

2023-04-18 第 32 次修订

四川升拓检测技术股份有限公司

www.scentralit.com

目 录

第一篇 背景介绍	4
第 1 章 概述	4
第 2 章 公路护栏立柱埋深检测技术的国内外动向	5
第二篇 钢质护栏立柱埋深冲击弹性波检测仪 EDMA-I	6
第 1 章 概述	6
第 2 章 测试原理与构成	7
2.2.1 测试的基本原理	7
2.2.1.1 单一反射法	7
2.2.1.2 重复反射法	8
2.2.1.3 立柱的分类	8
2.2.1.4 波速的取值	8
2.2.2 系统组成概要	8
2.2.2.1 概要	8
2.2.2.2 硬件组成简介	8
2.2.2.3 软件组成简介	8
第 3 章 主要难点与关键技术	9
2.3.1 概述	9
2.3.2 特色及专有技术简介	9
2.3.2.1 残留振动信号的抑制	9
2.3.2.2 传感器的固定	10
2.3.2.3 反射信号抽取技术	10
2.3.2.4 其他关键技术	10
第 4 章 工程实例及精度验证	10
2.4.1 概述	10
2.4.2 实验室试验及验证	10
2.4.2.1 土中立柱的验证	10
2.4.2.2 砂浆中立柱的验证	11
2.4.2.3 混凝土中立柱的验证	11
2.4.3 现场试验及验证	11
2.4.3.1 验证结果	12
2.4.3.2 主要影响因素及典型事例介绍	13
2.4.4 典型现场应用	13
2.4.4.1 沪蓉高速恩施段（湖北，2011.09-12）	13
2.4.4.2 长期服役立柱测试方式优化（成新蒲高速，2019.09）	13
2.4.4.3 在役立柱检测及验证（江苏多地，2020.01）	14
2.4.4.4 在役立柱检测及验证（包茂高速，2021.06）	14
2.4.4.5 在役立柱检测及验证（湖北武荆高速，2021.03）	15
2.4.4.6 在役立柱检测比对及验证（广东南宁，2021.06）	16
2.4.4.7 在役立柱检测及验证（广西柳南高速，2021.06）	17
2.4.4.8 钢质护栏立柱检测（云南昆明呈贡 2022.06.09）	17
第 5 章 提高测试精度的方法	18
2.5.1 主要误差因素及对策	18

2.5.2	提高精度的方法总结	18
2.5.3	与其他检测设备的比较	19
第 6 章	有柱帽立柱的测试方法	19
2.6.1	测试的基本原理	19
2.6.1.1	所用弹性波成分	20
2.6.1.2	计算用弹性波波速	20
2.6.1.3	激振与信号接收方法	20
2.6.2	验证结果	20
2.6.2.1	实验室	20
2.6.2.2	辽宁某公路（2014.10）	20
2.6.3	误差因素及提高精度的方法	21
第 7 章	BQIM 管理机能	21
7.1	BQIM 概述	21
第三篇	相关标准与规范的解读	21
第 1 章	中国国家标准（GB/T24967-2010）的解读	22
3.1.1	检测仪整体要求	22
3.1.1.1	组成（检测仪的结构）	22
3.1.1.2	工作参数（弹性波速）	23
3.1.1.3	计量特性	23
3.1.2	部件及软件技术要求	24
3.1.2.1	部件性能要求	24
3.1.2.2	测试软件性能要求	24
3.1.3	补充说明	25
3.1.3.1	仪器标准与检测规程	25
3.1.3.2	测试对象、条件及精度	25
第 2 章	“非破壊試験による鋼製防護柵の根入れ長測定要領(案)” 的概要解读	25
3.2.1	适用范围	25
3.2.2	测试仪器	26
3.2.3	测试人员	26
3.2.4	立柱合格的判定基准	26
3.2.5	施工管理与测试频度	26
3.2.6	注意事项	26
结语	26
技术支持	27

第一篇 背景介绍

第 1 章 概述

公路的护栏是关系到交通安全的非常重要的设施。其中，护栏立柱是最主要的抗力装置，被称为“最后一道安全屏障”。立柱作为承受车辆驶出路外冲击力的主体，是否按照设计要求有足够的埋入深度，直接影响到其对车辆的防护能力，是极其重要的指标。从已建成的高速公路项目来看，大部分项目质量达到了要求，成为促进经济发展和社会进步的重要基础设施。但因种种原因，部分项目隐蔽工程存在隐患，安全问题令人勘忧。

2006 年底，我国高速公路通车里程已达 4.54 万公里，根据国家高速公路网建设规划，未来 15 年间，我国建成 8.5 万公里国家高速公路网。由于护栏立柱数量庞大，土质条件复杂等客观原因，以及其他主观方面的因素，使得不少护栏立柱未能达到设计埋深，为交通安全带来很大的隐患。在 2004 年 12 月，中央电视台“焦点访谈”节目中，对山西祁临高速公路护栏立柱埋入深度严重不足的问题作了专题报道后，引起了道路使用者、交通行业乃至全社会的广泛关注。



设计为 1.97m 的立柱，实际长度仅为 1.19m

摘自 2004 年 12 月 23 日的“焦点访谈”

近年来，随着高速公路数量的日益增加，由于立柱埋入深度不达标造成的交通事故越发增多。据统计，每 3 人死亡事故中，就有 1 人死于车辆驶离道路的事故。对于普通公路特别是二级以下公路所发生的重特大交通事故中，车辆冲出路外的比例高达 70%，福建省 2009 年上半年全省道路交通事故情况通报：无路侧防护设施路段发生事故造成

死亡 932 人，占总数的 70.87%。即使完善了必要的安全防护设施，如果立柱等施工质量不过关，同样难以保证行车安全。

这些立柱埋深对设施结构强度和可靠性有着重要影响，因此很有必要对立柱的埋深进行检测。传统的方式是采取现场拔柱，即将立柱拔出后检测。该方法尽管精度最高，但费工费力，特别是容易破坏边坡和路基的完整性。根据《公路交通安全设施设计规范》(JTG D81-2006)要求，拔柱后需要对路基重新夯实后方可再次打入，因此现场拔柱法无法作为日常检测手段。所以，工程界殷切期待着有效可靠的无损检测技术和设备。

为此，研究工作者们作了不懈的努力。然而，立柱属于空心薄壁结构，给无损检测带来了许多困难，通常的 PIT (Pile Integrity Test) 方法难以适用。因此，长期以来缺乏可供实用的埋深无损检测技术和设备。

近年来，随着电子技术的飞速发展和交通安全的迫切需要，国内外对此进行了更加积极的研究和开发，并取得了突破性的进展。日本的国土交通省于 2010 年 3 月颁布了“非破壊試験による鋼製防護柵の根入れ長測定要領(案)”（中文译名：钢质护栏埋深无损检测规范），而我国于 2010 年 8 月正式颁布了国家标准“钢质护栏立柱埋深冲击弹性波检测仪 (GB/T 24967-2010)”，更是标志着钢质护栏立柱埋深的无损检测技术进入了实用化阶段。

钢质护栏立柱冲击弹性波检测仪的研发成功和推广使用，既可以满足当前已建工程验收检测的需要，更是对未来 4 万公里高速公路工程及部分城市道路建设质量的重要保障，同时将填补交通工程检测标准的空白，解决目前护栏立柱埋深等部分隐蔽工程无法按标准进行检测的难题。它可以显著改善高速公路安全设施施工质量，推动公路行业技术进步。此外，对于采用钢材质（钢管、钢桩等）材料直接埋入基础作为支撑立柱的其他公共设施的竣工后埋深检测也具有参考作用，对提高公路交通的安全性具有重要的现实意义。

第 2 章 公路护栏立柱埋深检测技术的国内外动向

近年来，通过国内外研究者的不懈努力，公路护栏立柱埋深检测技术得到了长足的发展。日本的国土交通省于 2010 年 3 月颁布了“非破壊試験による鋼製防護柵の根入れ長測定要領(案)”（中文译名：钢质护栏埋深无损检测规范）明确规定了要对设置立柱进行无损检测，而且抽样比率要达到力主总数的 10% 以上。而我国在 2010 年 8 月颁布的国家标准：“钢质护栏立柱埋深冲击弹性波检测仪 (GB/T 24967-2010)”中，则对测试设备的原理、构成以及精度等方面提出了明确的要求。

从测试方法来看，大致可以分为三类：电磁感应法；超声波法；冲击弹性波法。

根据工程相关人员的实际使用情况及研究表明,冲击弹性波“法设备简单,测试精度较高,可以作为目前检测设备的首选。”^[11]

第二篇 钢质护栏立柱埋深冲击弹波检测仪 EDMA-I

第 1 章 概述

本技术及设备的研究开发直接来源于公路建设市场的紧迫需求。

从已建成的高速公路项目来看,大部分项目质量达到了规范要求,成为促进经济发展和社会进步的重要基础设施。但由于技术手段有限,部分项目隐蔽工程存在隐患,安全问题令人担忧。2004年12月,中央电视台焦点访谈所报道的曝光了山西祁县到临汾的祁临高速公路护栏立柱埋入深度严重不足的问题后,更是引起了道路使用者、交通行业乃至全社会的高度关注。

高速公路的中外侧护栏被称为“驾驶员的最后一条安全带”,起着有效降低车辆冲击力、减缓车速、防止车辆冲出路基的作用。因此,护栏、立柱甚至使用的螺丝、螺栓在设计规范中都有严格的设计要求。其中高速公路波形梁护栏和缆索护栏是应用最广泛的安全防护设施。但是,焦点访谈记者调查发现,山西祁临高速公路第六标段的护栏存在质量隐患。从山西祁县到临汾的祁临高速公路经预验收后,已经通车近两年时间。按照施工要求,道路外侧护栏立柱总长应为1.97米,埋入地下部分应达到1.25米。记者在现场随机选定一个有护栏的位置起出四根立柱,发现地下埋入部分短的仅有30厘米,最长的也只有60厘米左右。虽然记者无法严格按照业内抽样标准进行检查,但拔出的四根立柱确实与设计要求相差太远。该标段承包商承认,整个标段都不同程度地存在立柱长度不够的现象。

该焦点访谈节目播出后,在社会上反响很大,交通行业也承受了很大的压力。交通部主管领导曾多次在会议上强调科研机构 and 检测部门要下工夫研发隐蔽工程质量无损检测技术和设备,解决现已存在的问题并对新建的工程项目增加检测项目。

2006年交通部西部项目设立了公路交通安全研究项目,交通部公路科学研究院根据项目安排和自身优势,承担了“护栏立柱埋深冲击弹性波测试技术”课题,其中交通部公路科学研究院做为承担单位、四川升拓检测技术股份有限公司做为参加单位,组成联合课题组共同开展研发工作。

本课题的研究周期为2006年7月至2010年3月,历时近4年。其间,申请了3项国家发明专利,其中3项已获得授权。在完善了测试理论的基础上,开发了钢质护栏立柱

埋深专用测试设备钢质护栏立柱埋深冲击弹性波检测仪 EDMA (Impact Elastic Wave-Based Embedding Depth Measurement Apparatus for Steel Guard Rail Post)。经过 3 年多在北京、江苏、浙江、山东、安徽、云南、四川等 10 多条高速公路的实际验证,以及在交通部公路科学研究院、四川理工学院等试验场的测试验证,证明了该设备的测试精度和可靠性。

以 EDMA 为基础编写的国家标准《钢质护栏立柱埋深冲击弹性波检测仪》于 2008 年 11 月通过全国交通工程设施(公路)标准化技术委员会审核,并在 2010 年 8 月正式颁布(编号:GB/T 24967—2010),2010 年 12 月 1 日起正式实施。



EDMA-I 型钢质护栏立柱埋深冲击弹性波检测仪

第 2 章 测试原理与构成

2.2.1 测试的基本原理

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。EDMA 中将这 2 种测试方法合并,采用的是 2 个通道的测试方法,只是在数据处理方式上加以区分。

利用自动激振装置在柱头截面上发出一个脉冲信号,该脉冲信号在立柱的端面发生反射。通过对发射信号及反射信号的抽出,从而可以计算立柱长度及埋深。

2.2.1.1 单一反射法

利用首次反射信号,根据其传播时间按下式即可计算出立柱长度和埋深。

2.2.1.2 重复反射法

在立柱较短，弹性波衰减较小时，发振的弹性波会在立柱内重复反射。

2.2.1.3 立柱的分类

根据立柱的埋入条件、形状以及设置时间等，可以将立柱分为以下几类：土中立柱、岩石放入立柱、岩石灌浆立柱、混凝土中立柱、砂浆中立柱。

2.2.1.4 波速的取值

可以看出，计算用 V 是测试立柱埋深时非常重要的参数。我们对多种立柱材料的 V 进行了测试。测试时采用空置方式以提高测试精度，其结果如下表所示，可以看出，不同材料之间的P波波速变化较小。同时，我们也用理论值进行了对比。

可以得出，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些的变化。

2.2.2 系统组成概要

2.2.2.1 概要

在EDMA系统中，包括硬件和软件2大部分。

2.2.2.2 硬件组成简介

- 1) 仪器主机：仪器主机的主要功能为信号放大和A/D转换的功能。
- 2) 加速度传感器：传感器选用轻量(<3g)的压电式传感器，利用特制的磁性卡座固定在立柱的侧壁。
- 3) 激振系统：本部分主要是利用自动激振系统激励产生冲击弹性波信号，具有抑制打击声在立柱内部产生共鸣，保证激振信号均一性的特点。该装置由自动激振控制器及激振器两部分组成。

2.2.2.3 软件组成简介

EDMA的软件包括两个，即POL_PCCSTS和POL_SANTS。其中，POL_PCCSTS用于现场测试和解析，具备数据采集、分析、保存等功能。POL_SANTS则用于对测试数据的解析。

POL_PCCSTS和POL_SANTS具有相同的解析机能，所不同的是POL_PCCSTS只能用于安装有AD卡驱动软件的计算机上，并需要有加密狗才可运行。而POL_SANTS则可以运行在任何装有Windows操作系统的计算机上。

第 3 章 主要难点与关键技术

2.3.1 概述

如前文所述，立柱埋深测试的原理比较简单，与 PIT（基桩的完整性检测）的基本原理相同。然而，PIT 技术自 1980 年代以来，已经发展的非常成熟。而立柱埋深的无损检测方法直到最近才得到确立，其原因就在于与 PIT 相比，立柱埋深的测试有着非常困难的地方。这些困难主要由于测试对象的形状的不同，使得在利用弹性波测试信号有很大的区别，使得对立柱测试的难度超过了 PIT 测试。

1) 激振信号

对于断面密实的现地浇筑桩，激振产生的波形衰减较快，而对于立柱这样的中空圆柱，不仅振动残留的时间长，而且打击产生的声响会与空腔产生共鸣，使得激振信号衰减更慢。

2) 反射信号的识别

基于以下原因，使得对立柱底部反射信号的识别变得十分困难：

(1) 在立柱中传播的能量衰减速度快。

(2) 立柱一般不长，在激振信号尚未完全收敛之前，反射信号既已经到来。在理想的脉冲发振信号中，反射信号容易被识别。

所以，根据美国标准 ASTM-D-5882-00（Standard Test Method for Low Strain Integrity Testing of Piles），明确规定了测试基桩的 PIT 技术不适合中空桩/柱。

因此，尽管对实心桩体的无损检测技术在 20 多年前就较为成熟，但对于立柱埋深，直到今日才开发出可行的测试方法的重要原因。

2.3.2 特色及专有技术简介

为了提高对立柱底部反射信号的识别能力和解析精度，我们开发了一系列相关技术。

详细可参考“SCIT-1-TEC-00-2012-冲击弹性波检测技术基本原理”。

2.3.2.1 残留振动信号的抑制

如前所述，为了提高对立柱底部反射信号的识别能力，削减激振信号的残余振动时间是非常有效的。为此，我们开发了自动激振技术和相应的设备，包括激振控制器、激振头，以及专用的耦合剂。

2.3.2.2 传感器的固定

根据按照传感器的固定位置，可以分为柱顶固定方式和柱侧固定方式。

关于传感器与立柱的连结，可采用磁性、粘接剂（热熔胶、两面胶）、耦合剂（黄油、凡士林等）、压着等方式。其中，采用磁性卡座方式结合最为紧固和方便。

2.3.2.3 反射信号抽取技术

立柱的埋设深度的测试精度很大程度取决于对柱底反射信号的抽取精度。为了提高抽取能力和精度，在 EDMA 中植入了对测试信号进行分析的频谱分析技术（FFT、MEM）与信号匹配（Matching）分析技术来对信号进行处理。其中频谱分析的重点为立柱长度约为 0.95m~1.65m 的较短立柱，而信号匹配技术则主要是针对长度为 1.65m 以上的立柱。

2.3.2.4 其他关键技术

为了进一步提高信噪比（S/N）和测试精度，我们还开发了半波移动技术和智能分析机能。其中智能分析机能主要包括：

- (1) 从多次测试结果中，利用数理统计，给出最优化测试结果；
- (2) 根据不同的预测柱长，选用最合适的解析方法；
- (3) 为防止在自动解析过程中产生明显的误判情形，在系统中具有多重校核机能。在测试的同时，可自动判断各种方法的离散程度。当离散程度较大时，自动给出警告提示。为现场激振以及数据的取舍提供客观的判断依据。

第 4 章 工程实例及精度验证

2.4.1 概述

在这里，我们对 EDMA 的测试精度，以及误差和离散的原因，结合实验室试验、现场试验加以验证、分析和说明。

2.4.2 实验室试验及验证

2.4.2.1 土中立柱的验证

我们在交通部公路科学研究院、杭州交通质量监督局、四川理工学院、四川升拓检测技术有限公司 3 个地点设置了 15 根不同类型的立柱。

立柱的长度、直径、埋设方式、埋入深度以及测试结果所采用的 P 波波速均为 5.18km/s。总体而言，实验室的测试结果是非常令人满意的。

2.4.3.2 砂浆中立柱的验证

我们在广东开阳高速对 6 根立柱模型（其为埋入式立柱且周边浇筑砂浆）进行了验证。该类型立柱尽管在实际工程中非常少见，但代表一种特定的类型（如钻入灌浆）。

砂浆模型的试验验证表明：

- (1) 测试信号及结果的离散程度均不及直接打入土中立柱；
- (2) 6 根立柱的平均值较实际值偏长约 2cm (0.96%)，说明测试方法针对砂浆灌注立柱不存在系统误差；
- (3) 部分立柱的测试结果偏长较多，最大偏长约 12cm；

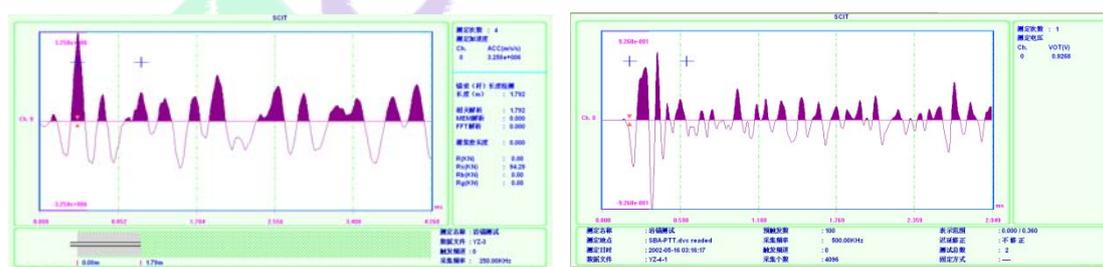
2.4.3.3 混凝土中立柱的验证

我们在与四川交通职业技术学院的无损检测联合试验基地中，设置了安装在混凝土中的标准圆柱形立柱。

由于混凝土中的立柱信号衰减更快，我们采用侧壁和端部两种接收信号的方式。结果表明，对于混凝土中的立柱，采用端部安装传感器（特制耦合剂耦合）+特制激振锥激振的方式，可以得到较好的效果。

但是，从下图中也可以看出，波形的品质较土中立柱有明显的劣化。

【注】由于这些立柱将来要作为盲测使用，因此在此不作精度对比。



混凝土中设置立柱

2.4.3 现场试验及验证

自 2007 年以来，我们在十余个省市自治区的数十条高速公路上的上千根立柱进行了现场测试验证。其中，根据验证情况，可以分为 3 类：

- (1) 进行了拔柱验证（约有 110 余根）；
- (2) 虽未进行拔柱验证，但有监理证明或有其它方式可以确认柱长的：



A 云南 SX 高速



B 四川 QM 高速



C 云南 AP 高速



D 天津某公路



E 福建某高速



F 陕西某高速

2.4.3.1 验证结果

从本仪器的使用目的而言，主要有两方面：

- (1) 确认立柱是否达到设计要求，有无偷工减料的行为；
- (2) 测试立柱的实际长度；

因此，我们在现场验证中，也着重从这两个方面入手，对 EDMA 的测试精度、实用

性进行验证。值得说明的是，在大多数时候，测试人员事先并不知道立柱的实际长度，而是在测试后经拔柱或其他方法（如监理记录）加以验证。

2.4.3.2 主要影响因素及典型事例介绍

总结在实际测试过程中遇到的问题，通常可以归纳如下：在恶劣天气下的测试、立柱先端被打卷的情况、长期使用公路的立柱测试、岩石内钻孔安装立柱的测试、立柱周围灌浆、混凝土中立柱、立柱涂层的影响、环境影响等。

2.4.4 典型现场应用

自该设备进入市场以来，在许多工程中得到了良好的应用。

2.4.4.1 沪蓉高速恩施段（湖北，2011.09-12）

北京新桥公司利用该设备 2 台，历时 3 个月，对数千根立柱进行了检测，得到了各方的好评。



检测情景

2.4.4.2 长期服役立柱测试方式优化（成新蒲高速，2019.09）

成都绕城高速建成已近 18 年，立柱表面的镀锌层已有一定程度的锈蚀（灰色）。对此，我们采用不同的激振装置和传感器固定方式进行了对比试验。

试验采用自动激振装置、自动激振装置（尼龙头）、尼龙锤三种激振方式，在信号接收方面采用侧壁接收及顶部接收两种方式分别进行测试。

通过比较测试，可以得到：

- 1) 对于埋置时间较长的立柱（镀锌层部分锈蚀，影响磁性卡座与立柱的贴合（与喷塑立柱类似）），传感器置于柱顶接收到的反射信号更好；
- 2) 采用尼龙材质作为激振头得到的反射信号更加明显。

2.4.4.3 在役立柱检测及验证（江苏多地，2020.01）

受江苏高速养护公司委托，分别在江苏盐城某高速、泗阳某高速、淮安某高速使用钢制护栏立柱埋深检测仪对运营中公路护栏立柱进行了长度检测。



现场测试场景（从左至右：盐城、泗阳、淮安某高速）

由于公路已运营数年，立柱均有不同程度的锈蚀，因此我们根据拔柱成果，对波速进行了反算。

测试结果表明：

- （1） 采用立柱埋深检测仪适用于运营中的立柱埋深检测；
- （2） 运营中的立柱波速普遍有所降低，与新设立柱的波速（5.18km/s）相比，降低约5~10%，略大于理论推算值（5~9%）

2.4.4.4 在役立柱检测及验证（包茂高速，2021.06）

受某检测单位邀请，在G65包茂高速某路段进行钢制护栏立柱长度和埋置深度进行现场演示。该路段服役时间超过10年，且缺乏设计资料，对立柱设计长度、是否存在混凝土加固等，无资料可查。本次演示共计测试并现场拔出验证3根。验证情况如下表。

测试结果一览表

编号	现场测试结果	拔出验证结果	偏差	备注
1	2.153m	2.15m	0.003m/0.14%	完整立柱
2	1.72m 或 2.009m	1.75m	-0.03m/-1.71% 或 0.259m/14.8%	端头切割，桩底严重打卷
3	1.756m 或 1.583m	1.75m	0.006m/0.34% 或-0.167m/-9.54%	端头切割，桩底严重打卷



图 2-4-22 左：端头切割痕迹，右：桩底打卷状况

由此可见：

- (1) 对于标准埋入的在役立柱，采用 4.7km/s 的波速测试效果很好；
- (2) 端头切割，桩底打卷立柱，测试易产生误判，本次演示两根切割立柱（桩底打卷）均存在两种明显的波形。

2.4.4.5 在役立柱检测及验证（湖北武荆高速，2021.03）

受山东某检测有限公司委托，我公司对湖北武荆高速公路进行钢质护栏立柱埋深进行检测。基于年前的检测结果，进行现场随机复测及现拔桩验证，根据提供的资料，设计长度 2270mm，通过标定，波速约为 4.6km/s。

该公路已通车十余年，立柱表面存在涂层剥落和立柱柱体锈蚀的情况，根据要求，现场分批次随机选取 4 根立柱进行现场检测，1 根作为标定，另外 3 根作为长度检测，现检现出结果并现场拔桩验证。



现场验证图（左：现场拔桩 右：实际量测）

通过标定及检测，测试结果与拔桩检测结果偏差小于 $\pm 1\%$ ，检测精度较高；检测结果得到相关单位的高度认可。

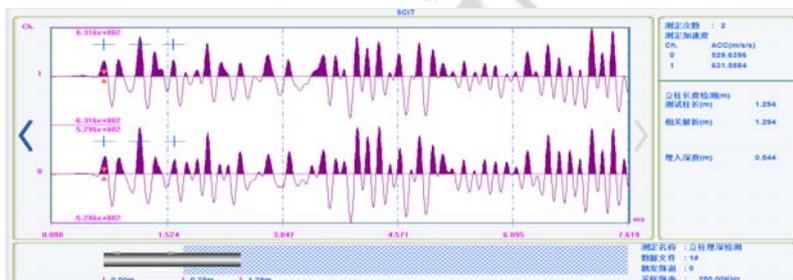
2.4.4.6 在役立柱检测比对及验证（广东南宁、2021.06）

应东莞科艺建设工程质量检测鉴定有限公司邀请，我司与武汉某Z岩进行了立柱埋深检测设备的现场比对验证，本次主要为演示设备的操作检测流程及精度对比，也为客户对我司设备的进一步了解掌握。



立柱现场测试及验证

本次现场采用盲测，测试方式采取顶发侧收，现场测试波形如下：



现场测试波形

为对比两家设备的检测精度，现场对实测同位置不远处的立柱进行了拔出并验证，现场验证图如下：



现场立柱验证

两家单位结果及现场验证情况结果如下：

表 2-4-3 测试结果一览表

序号	外露长度	验证柱长	升拓结果		某 Z 岩结果		备注
			检测总长	总长偏差	检测总长	总长偏差	
1#	0.750m	1.300m	1.291m	-0.009m	1.550m	+0.250m	/

根据《钢质护栏立柱埋深冲击弹性波检测仪》（GBT 24967-2010），仪器规定 2m 以内立柱误差为 $\pm 8\text{cm}$ ，2m 以上立柱误差为 $\pm 4\%$ ，可见仅升拓结果在误差允许范围以内。

2.4.4.7 在役立柱检测及验证（广西柳南高速、2021.06）

受长沙理工大检测有限公司邀请，我公司技术人员对广西柳南高速进行了钢质护栏立柱的总长度及埋入深度检测，期间通过与打入的立柱及已知长度的结果进行了验证对比（现场照见下图）。



现场测试照片

现场检测分别采集了道路中间分隔带端头处、涵洞上方处、道路两侧及中央分隔带等地的立柱信号。

通过本次演示对比，针对道路中间分隔带端头处、涵洞上方处、道路两侧及中央分隔带等地的各类不同立柱，采用我司的设备技术均能较好的测试立柱埋深，且测试结果与现场验证的精度得到了现场人员的高度认可。

2.4.4.8 钢质护栏立柱检测（云南昆明呈贡 2022.06.09）

受云南联禾工程检测有限公司委托，我公司对昆明呈贡某乡道钢质护栏立柱埋深进行检测。本次检测使用钢质护栏立柱埋深检测仪 P 型。



现场测试照片

由于随机选取该单位附近乡道立柱测试，其设计长度未知，根据施工经验，预估立柱长度范围 2-2.2m。测试现场不具备波速标定条件，根据立柱打入土中埋置时间较短，我们初步采取经验波速 5.01Km/s。现场共测试两根立柱，立柱 1 外露 0.72m, 内漏 1m；立柱 2 外露 0.7m, 内漏 0.9m。

从两根钢质护栏立柱的测试波形分析，底部反射点明显，测试波形均一性高，测试结果分别为 2.035m、2.015m。从结果来看，立柱 P 型设备对在役立柱的长度检测的可靠性高。

第 5 章 提高测试精度的方法

在实际测试过程中，对同一立柱，不同的测点之间、或者同一测点不同的激振力度之间的测试结果都会有有一定的偏差。如对一根 2.65m 的立柱，两个测点得到的长度分别是 2.56 和 2.71m，两者之间相差 0.15m。在同一条件下不同的测试次之间，部分数据之间有一定的偏差。如对 2.65m 的立柱的测试中，最小值为 2.58m，最大值为 2.77m，相差将近 0.2m。因此，明确误差的原因，了解其处理方法，无疑对提高测试精度有重要的意义。

2.5.1 主要误差因素及对策

误差就其性质而言，分为系统误差、随机误差（或称偶然误差）、过失误差以及分析误差。

2.5.2 提高精度的方法总结

综上所述，提高测试精度的方法有很多，其中最重要的有以下几点：

- (1) 立柱上端激振面要求光滑、水平、无异物（可采用打磨方式）；

- (2) 激振头安装要求垂直，并击打在护栏柱壁的轴线上；
- (3) 适当调节激振力度。一般来说，在信号水平能够满足分辨要求的前提下，降低打击力度对测试精度的提高有所帮助。一般来说，在放大器的缺省设置的条件下，CH0 的测试电压在 0.5V 左右是比较理想的；
- (4) 增加测线，即在水平方向采用 2 个以上测线。

2.5.3 与其他检测设备的比较

最近，随着立柱埋深问题的日益引起重视，国内外一些厂商和研究机构也研究开发了相应的技术或设备。表-1 比较了 EDMA 与目前有代表性的技术/设备的特点。

表 2-5-1 EDMA 与其他检测设备/技术的比较

	EDMA	A 公司	B 大学	C 公司（日本）
测试媒介	弹性波 P 波	弹性波 P 波	超声波 P 波	超声波 SH 波
传感器频道数	2	1	多个(8 个以上)	1
理论及技术基础	专门开发的一系列技术	小应变基桩测试方法	导波理论	强指向性 SH 波传感器
测试波速	5.18km/s 变化幅度<1%	波速变化幅度超过 20%，受壁厚、埋设条件影响		
现场标定	可不标定	需现场标定		
柱长判断	全自动	人工		
长期埋深立柱	适用	不详	不详	不适用
混凝土中立柱	适用	不详	不详	不适用

可以看出，较其他方法和设备，EDMA 具有非常明显的优势。

第 6 章 有柱帽立柱的测试方法

在前述的立柱检测技术中，要求在立柱的顶端激振并产生脉冲信号。该方法测试结果稳定，精度高，是优选方法。然而，实际的立柱中，部分立柱有柱帽而且无法取出，无法采用前述的检测方法。对此，我们开发了针对此类立柱的测试方法。该方法通过在立柱的侧壁激振、接受，从而无需摘除柱帽。

2.6.1 测试的基本原理

在侧壁激振、接收从而测试有柱帽立柱的基本原理与无柱帽立柱相同，同样分为单

一反射法和重复反射法。

2.6.1.1 所用弹性波成分

对于有柱帽立柱，只能在侧壁激振。考虑到信号的品质，激发 P 波具有较大的困难。所以，我们采用了横向激振，激发管波的方法。对于钢质立柱，由于壁很薄，内外径比在 0.90 以上，因此其反应接近于 Lamé 波（也称板波）^[8]。

2.6.1.2 计算用弹性波波速

在实际的测试中，弹性波的波速与图 2-6-2 的理论值之间有一定的区别，但基本规律是一致的。为此，我们将波速 $V_c \sim$ 频厚（ fh ）的关系近似为双曲线关系：

2.6.1.3 激振与信号接收方法

显然，为了能够准确地进行测试，选择合适的激振和信号接收方式是必要的。经过我们的反复试验和理论分析，确定

- 1) 激振：对激振的要求与前述的立柱顶端激振相似，同时要求激振的频率应在 1.5KHz 及以上。经过试验，采用 D10 的激振锤、自动激振装置较为理想；
- 2) 接收：考虑到横向激振也会激发 P 波，但通过改变传感器的方向（使之垂直于立柱侧壁），可以使得接受的 P 波成分大幅消减从而可忽略不计。因此，传感器通过磁性卡座横向固定在立柱侧壁上；
- 3) 激振可位于柱顶的侧壁，接收传感器距激振点的距离与前述的柱顶激振相同，分别为 0.1/0.2m 和 0.6/0.7m；

2.6.2 验证结果

2.6.2.1 实验室

显然，为了能够准确地进行测试，选择合适的激振和信号接收方式是必要的。经过我们的反复试验和理论分析，确定

采用 D10 的激振锤，对 1.5m 和 1.97m 的土中的立柱对测试精度进行了验证。

测试波形和结果表明：

- 1) 总体来讲，波形收束，反射信号明显；
- 2) 采用上述方法确定波速是合理的。

2.6.2.2 辽宁某公路（2014.10）

对有盖的方形护栏立柱及有盖和无盖的圆形护栏立柱进行了对比检测验证。

激振采用自动激振装置。由于缺乏标定条件，我们根据经验选取 V_c 为2.80km/s。

测试结果表明：

- 1) 在缺乏标定的条件下，取经验值2.80km/s基本可行；
- 2) 对于有盖的立柱，由于激振信号以及管波的影响，其测试离散性较柱顶激振有一定的增大。从测试误差而言，一般可控制在5~10%之内；
- 3) 对于圆形立柱，测试的精度和稳定性要高于方形立柱。

2.6.3 误差因素及提高精度的方法

有柱帽的立柱的长度检测要比无柱帽立柱的测试要困难，精度也会相应降低。主要的误差因素除了前述的柱顶激振时的各种误差以外，还有两个主要的误差要因：

- 1) 波速：由于在侧壁激振所采用的弹性波波速是个变量，其不仅与壁厚有关，而且与激振信号频率、乃至埋设条件等也有关系，是整个测试中最为重要的因素。
- 2) 干扰信号：在0.5~0.6ms左右，很多测试信号中均有明显的干扰信号。其原因尚未完全明确。

第7章 BQIM 管理机能

7.1 BQIM 概述

为了更有效地对检测信息加以管理，也对检测工作加以监督，我们开发了升拓检测数据库系统CI-DBS (Central Inspection Data Base System) 以及建筑质量及健康信息模型系统(BQIM)。该系统具有如下机能：GPS 机能、远程无线传送、数据库机能、检测信息可视化机能。

详细资料可参阅“SCIT-1-TEC-12-2017-工程质量及健康信息模型系统(BQIM)”。

数据库网站网址：www.scitdbc.com

第三篇 相关标准与规范的解读

在本篇中，主要针对 2010 年 8 月颁布的我国的国家标准（GB/T24967-2010，“钢制护栏立柱埋深冲击弹性波测试仪”）和日本国土交通省在 2010 年 3 月颁布的：“非破壊試験による鋼製防護柵の根入れ長測定要領(案)”，对其中的测试对象、性能要求、参数选取等方面做了多方位的解读。

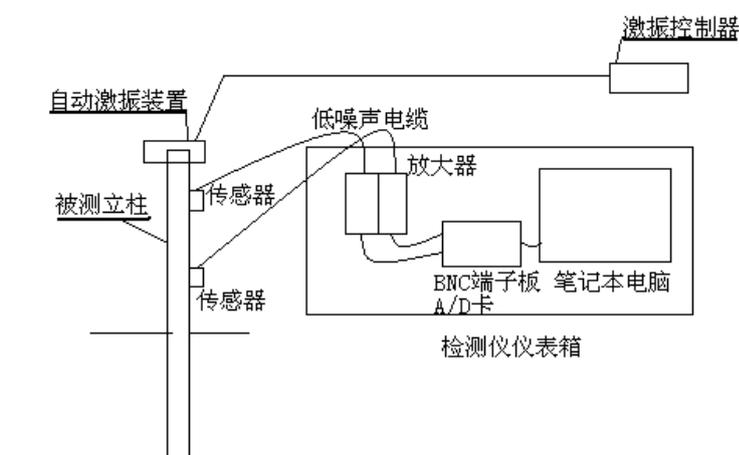
此外，对于 GB/T24967-2010，“钢制护栏立柱埋深冲击弹性波测试仪”的编写说明中已有的部分，在本书中就不做赘述，希望读者结合编写说明阅读本书会有更大的收获。

第 1 章 中国国家标准（GB/T24967-2010）的解读

3.1.1 检测仪整体要求

3.1.1.1 组成（检测仪的结构）

原文：检测仪的结构见图 1。



检测仪系统结构图

解读：在此结构图中，突出的特点有两点，即：

- (1) 双通道测试：即采用两个传感器和频道进行测试；
- (2) 传感器固定在立柱的侧壁。

较之一般的基桩动测仪、岩锚测试仪，这两点对仪器的性能提出了更高的要求。而这恰恰对于提高测试精度和测试可靠性是非常有益的。

3.1.1.2 工作参数（弹性波速）

原文：钢质立柱的弹性波速可通过实测标定。实测标定应当采用与柱长测试相同的测试方法。测试方法参照附录 A（公路护栏立柱埋深检测仪精度试验方法）。

在无法进行实测标定时，弹性波中的 P 波波速可以取为 5.18km/s。

解读：P 波波速的取值直接影响到测试精度，是非常重要的一个环节。

影响立柱 P 波波速的主要因素在于立柱的材质，由于材质的不同所造成的波速会有 2% 左右的变化，其次是埋入条件略有影响。因此，当材质发生变化时，标准中建议采用利用与实际埋入立柱相同的测试方法进行标定。

此外，我们在 10 多个省份的数十条高速公路的实际检测中，发现采用 5.18km/s 的 P 波波速不会带来明显的误差。

3.1.1.3 计量特性

检测范围：0.7m ~ 5.0m。

解读：在高速公路中，其立柱的设计长度大多在 1.6-2.5 米，地面长度一般在 0.75 米左右。因此，对测试范围的下限限制在 0.7 米。另一方面，考虑到有些特殊结构，要求立柱的较大的埋深，因此对测试范围的上限作了一定的提高。

测量精确度如下：

原文：a) 在钢质护栏立柱的弹性波波速经过事先标定的前提下，检测仪对未埋入地下的护栏立柱长度测试时，平均测量误差优于 $\pm 1\%$ 或不大于 $\pm 2\text{cm}$ ；

b) 在钢质护栏立柱的弹性波波速经过事先标定的前提下，检测仪对已埋入地下的护栏立柱埋深测试时，平均测量误差优于 $\pm 4\%$ 或不大于 $\pm 8\text{cm}$ 。

解读：在编制说明中，对测试精度已做了说明。需要补充的有以下几点：

- (1) “平均测量误差”：是指对同一立柱，采用多个测线、多次激振后的平均值与实际长度间的误差；
- (2) 对埋入地下立柱的精度要求远低于对空置立柱，是因为埋入立柱时的反射信号要比空置立柱微弱得多，因而测试精度也会有所降低；
- (3) 精度要求：在此标准中，取了两个指标，即百分比和绝对值。也就是说，对 2m 以下立柱可取绝对值，2m 以上立柱可取百分比；
- (4) 埋入条件：在标准中未明确规定埋入条件。但根据标准正文及条文解读中的

相关说明，应该认为对象是指符合压实度要求的土质材料。而岩石材料、混凝土材料则不在该精度范围；

- (5) 波速取值：在条文中提到了“经过事先标定的前提下”，也就是说对于实际工程（特别是埋在混凝土、岩石中以及灌浆的情况），需要在相同工况下事先标定波速。而若不具备对波速的事先标定的条件，则测试精度有可能会降低。如本文 2.2.1 所述，对于岩石钻孔并灌浆立柱，波速的标定更为重要；
- (6) 施工工艺：在此采用埋入式立柱。若采用打入式立柱，有可能在施工过程中对立柱造成损伤（先端打卷），从而使得基准长度发生变化。
- (7) 国内外比较：在此我们比较了日本国土交通省在 2010 年 3 月颁布的：“非破壊試験による鋼製防護柵の根入れ長測定要領(案)”。在该要领中，对空置的 2.6m 以下的立柱，要求测试误差低于 3cm，对实际埋入的立柱，认为其测试误差应低于 ±10cm。可以看出，该规范的精度要求与我国的标准是基本上一致的，这也说明我国的 GB/T24967-2010 具有国际领先水平。

3.1.2 部件及软件技术要求

3.1.2.1 部件性能要求

解读：在部件性能要求中，详细规定了传感器、放大器与 A/D 装置的性能要求。这些性能要求有助于实现所需的测试精度。其中，自动激振装置是抑制激振残留信号的重要部件，其性能的优劣也直接影响到整机的测试精度。

3.1.2.2 测试软件性能要求

原文：检测仪所使用的测试软件的性能应符合下表的要求：

测试软件的性能要求

数据采集	自检	对仪器的基本状态能够自检
	采集数据长	能测试弹性波在立柱中五个来回的数据
	触发	予触发机能
	频道数	宜为两个
信号处理	降噪	消减激振时的残留振动信号 消减环境噪声（如交通振动等） 消减立柱与地面交界面处反射信号的影响
	反射信号增强	对反射信号进行增强处理

	反射信号抽出	客观地识别出反射信号,并能够提取反射信号的到达时刻
	频谱分析	具有频谱分析机能(如FFT、MEM等)
柱长分析	统计处理	进行重复测试,并对测试结果进行统计处理
	自动处理	自动得出测试结果、尽量降低人为误差

解读: 如前所述,立柱埋深的无损检测是难度非常高的课题,其关键在于如何降噪和识别立柱底端的反射信号。为此,我们开发了一系列降噪、反射信号增强以及各种抽取技术。通过这些技术的合理的,综合的应用,从而保证了测试的可靠性和结果的信赖性。因此,上述规定的各种方法和要求绝非可有可无,而是为了保证测试精度所必需的。

3.1.3 补充说明

3.1.3.1 仪器标准与检测规程

在本标准中,只是对仪器的在一定条件下的适用范围、参数取值以及测试精度等进行规定。当然,现场状况无疑更加复杂多变,因此,加深对仪器特性的理解是有必要的。

另一方面,作为评判立柱合格与否的检测规程,则要充分考虑立柱的类型、仪器的测试误差等因素。

3.1.3.2 测试对象、条件及精度

在本标准中,并未特别注明测试对象。

另一方面,在测试精度方面,所规定的“ $\pm 4\%$ 或8cm”仅针对设置在土质材料中的立柱。而对于设置在混凝土、岩石灌浆等条件时,其测试精度难免有一定程度的降低。

第2章 “非破壊試験による鋼製防護柵の根入れ長測定要領(案)”的概要解读

3.2.1 适用范围

该规范适用于埋入土中的,平直的钢制护栏立柱埋深的无损检测(图3-2-1A),而不适用于埋入混凝土的,或者有弯曲的立柱(图3-2-1B)。

注:在我国的标准GB/T24967-2010中,虽未对测试对象作明确限定,但也可以认为其为埋入土中的平直立柱。

3.2.2 测试仪器

对测试仪器的具体型式未作具体,可用超声波测试仪,也可以用冲击弹性波测试仪,但对测试精度提出了具体的要求。该规范规定在理想的测试条件下(如空置),对2.6米长的立柱的测试误差应该在30mm以下。

3.2.3 测试人员

要求测试人员具备相应的专业技能。在必要时,要求参加相应的培训。

3.2.4 立柱合格的判定基准

立柱埋深的测试值与设计值之间相差100mm之内的,认为该立柱合格。

3.2.5 施工管理与测试频度

对每种立柱,进行无损检测的立柱数量在立柱总数的10%以上。

3.2.6 注意事项

1) 立柱损伤;

当立柱底端出现损伤时,会影响测试精度。因此,当怀疑在立柱底端有大块石头等立柱可能底端可能出现打卷、打爆等损伤时,应及时与施工监理人员协商。

2) 耦合剂的正确使用

如果需要耦合剂,应注意其气温特性加以正确的选用。

结语

我们潜心多年研制的钢制护栏立柱埋深冲击弹性波检测仪(EDMA)中,包含了大量的独创性技术,解决了空心薄壁管无损检测的世界性难题。并使得我们的测试技术得到了国内外广泛的认可,均已申请了国家发明专利并取得3项授权。

2014年6月,经中国公路学会组织鉴定,总体达到“国际领先”水平。同年11月,被交通运输部列入“2014年度交通运输建设科技成果推广项目”中。

同时,该项技术和设备以及相关的成果进入了国家标准《钢质护栏立柱埋深冲击弹性波检测仪》(GB/T24967-2010)和最新版行业标准《公路工程质量检验评定标准》

(JTGF80/1)。

在此，我们衷心期望这些技术、方法和设备能够为我国的道路、市政等基础建设贡献自己的力量，同时也期待着在实际应用中不断地完善和成熟。

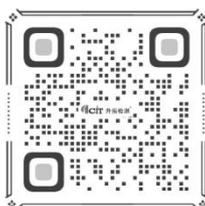
最后，衷心向各位合作伙伴以及关心、支持我们的各位朋友表示诚挚的谢意！

技术支持

- ✓ 本资料为内部资料，仅供本公司及相关单位人员参考。未经本公司许可，任何单位和个人不能下载、阅读以及转载；
- ✓ 有关本资料相关的任何疑问，请咨询：
 - ✘ 四川升拓检测技术股份有限公司 客服咨询专线
 - ✘ TEL: (028)6861-1507、6861-1511、6861-1527
 - ✘ MAIL: Support@scentralit.com
 - ✘ HTTP: www.scentralit.com
- ✓ 有关本资料的最新更新，可在本公司网站的下载中心下载：
http://www.scentralit.com/download_201003181343459218.html
- ✓ 升拓相关官网与平台：

升拓检测媒体矩阵 | 扫码识别即可进入

升拓检测官网



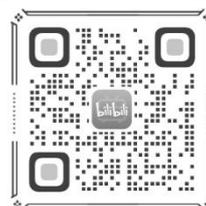
升拓官方公众号



抖音平台官网号



哔哩哔哩官网号



*抖音和淘宝请分别使用对应软件扫码