

**《钢质护栏立柱埋深冲击弹性波法  
测试规程》  
编制说明  
征求意见稿**

编制组

二〇二四年八月

# 目 录

1 任务来源 .....	1
2 项目的意义和必要性 .....	1
2.1 项目的意义 .....	1
2.2 项目的必要性 .....	3
3 编制原则及依据 .....	5
3.1 编制原则 .....	5
3.2 编制依据 .....	6
4 编制过程 .....	7
5 技术路线 .....	8
5.1 编制路线图 .....	8
5.2 测试技术及设备的比较 .....	9
5.3 试验验证 .....	10
5.4 影响因素及对策 .....	12
6 主要研究内容 .....	14
7 与国内外相关标准异同 .....	15
8 社会效益 .....	17
9 项目进展基本情况 .....	17
10 经费安排 .....	19

# 《钢质护栏立柱埋深冲击弹性波法测试规程》

## 编制说明

### 1 任务来源

近年来，随着技术的长足发展，以往在立柱埋深检测领域具有局限性的冲击弹性波无损检测技术已获得相关技术突破，与之相关的钢质护栏立柱埋冲击弹性波法测试设备相继面世，在该检测参数量值传递条线上，上游部分有着较为成熟的计量体系，而对立柱埋深检测作业的相关指导文件（技术规程）尚未规范，因此目前国内还没有统一的技术规程。

现存的地方标准由于地方差异性，在技术内容上的规范有所不同，无法进行全国范围的统一性推广。

基于此，本项目拟立项，依托中国交通运输协会的大平台，制定冲击弹性波法检测钢质护栏立柱埋深测试规程，以团体标准的形式统一立柱埋深测试的相关技术内容，并在全国内进行推广。本规程由中国交通运输协会、青海省交通检测有限公司等单位联合编制。

### 2 项目的意义和必要性

#### 2.1 项目的意义

本技术规程的编写及制定在统一我省公路立柱质量标准规范、监督立柱施工质量、保障人民生命财产安全等方面具有重要意义，具体有：

## 1. 统一我省具有高原区域特色地公路立柱质量标准及测试方法

据省统计局 2021 年年鉴，我省公路总里程达到了 7.3 万公里，其中高速公路 3400 公里。我省面积 95%处于高原地区，由于冻融、风沙、施工质量等原因，交通基础设施的老化速度较快，对我省道路交通基础设施质量的检测相较其他省份而言难度较大、任务较重。

针对我省特殊的地理环境，对立柱的测试及抽样等规定除已有的技术要求外，应当以从严、从“密”、等更严格的原则进行规定，结合上述原因，制定本规程，实现具有我省特色的公路立柱质量标准及测试方法，将其写入相应技术规程中予以规定，是十分有意义的。

## 2. 提供钢质护栏立柱埋深测试参数的建标依据文件

据市场调研显示，我省具有立柱检验检测资质的检测机构，在申请 CMA 检测资质进行立柱检测相关标准建标时，依据的技术文件大多数为国内其他省份的地方标准，如上文所述的《公路护栏钢质立柱埋深无损检测规程（DB13/T2728-2018）》、《公路钢质护栏立柱埋深冲击弹性波检测技术规程（DB35/T1961-2021）》等。

按照计量法中就地就近、地方保护原则，以他省技术规程开展本省立柱的相关测试内容存在争议。再有制作量值溯源表、建标指导文件归档等工作时，可能存在技术上的差异导致相关指标

存在问题。

按照本项目编制的符合我省特色的技术规程作为依据文件，能够在省内范围内更加精准、精确地开展测试工作。

### 3. 监督立柱施工质量、保障人民生命财产安全

对于我省而言，高海拔高寒的地理环境条件影响使得交通事故频发，常年处于低温环境条件下使得公路路面易打滑结冰。且我省地广人稀，一旦在人烟稀少路段出现交通事故，容易因为错过最佳抢救时间而造成更大的人身财产伤害。

制定具有我省特色（如技术指标更为精确、抽样比例更高等）的立柱护栏测试技术规程，用于我省公路立柱测试的指导或依据文件，用于监督我省立柱施工质量，用于保障我省道路交通参与者的人身财产安全，具有重大意义。

## 2.2 项目的必要性

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。截至 2017 年年底，我国高速公路里程达 13.1 万公里位居世界第一。

护栏立柱数量庞大，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。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%。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。

近些年来，通过国内外不懈努力，公路护栏立柱埋深测试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“钢质护栏埋深无损检测规范”（中文译名），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立柱总数的 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/T24967-2010）”中，则对检测设备的原理、构成以及精度等方面提出了明确的要求。

由于技术水平的受限，当时国内对钢质护栏的无损测试方法主要有电磁感应法、超声法、冲击弹性波法，其中电磁感应法需要在立柱内钻孔，测试工作量大，对土质也有松动。超声波法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，测试深度不够。而弹性波法虽然在桩柱（基桩）类工程设施上的检测表现优秀，但钢质护栏属于薄壁空心结构，产生的信号会互相干扰导致目标信号难以剥离，从而该技术在立柱护栏的测试方面没有得到广泛的推广应用。

近二十年来，随着国内冲击弹性波技术的进步，特别是以吴佳晔教授为首的研发团队在近年来突破了冲击弹性波在薄壁空心结构中信号拾取的关键技术，已成功将相关研究成果应用并转化形成钢质护栏冲击弹性波检测仪设备，因而市面上出现较多的立

柱护栏检测设备，在市场份额上已经逐步靠近电磁、超声等立柱检测设备市场占有率。

虽然相关检测设备可通过钢质护栏立柱埋深冲击弹性波检测仪（GB/T24967-2010）进行计量，近年来国家也发布了交通行业检定规程——钢质护栏立柱埋深冲击弹性波检测仪（JJG（交通）173-2021）。但对于立柱参数的量值溯源条线“下游”所属的检测作业技术规范指导，国内目前只有河北、福建、江西三地的地方标准，分别为：公路护栏钢质立柱埋深无损检测规程（DB13/T2728-2018）、公路钢质护栏立柱埋深冲击弹性波检测技术规程（DB35/T1961-2021）、公路工程钢质护栏立柱埋深（冲击弹性波）无损检测技术规程（DB36T 1613-2022）。

由于这些标准是地方标准，因此向全国其他地区进行推广时存在一定局限性，其他各省份也只能参考该种标准进行标准自编从而建标。由此看来亟需统一的国家、行业或者团体标准，弥补已经形成的技术文本缺失。

由此来看，本项目的立项是十分必要的，也具有相当重要的意义。

### **3 编制原则及依据**

#### **3.1 编制原则**

规程编制遵循“先进性、准确性、实用性、规范性”的原则。

1.先进性：本规程所涉及到检测技术和检测设备均国内领先，

并满足最新的相关标准。另外，本规程经过严密审查和广泛调查研究，对相关设备进行了进步验证试验，并认真总结相关经验，参考国内外有关技术标准，在广泛征求意见的基础上，结合我国实际情况，针对性地制定了冲击弹性波法检测钢质护栏立柱埋深测试规程，以此引领整个检测行业的规范发展。

2.准确性：本规程制定过程中，对规程中涉及到的参数指标，在既有标准基础上，进行了科学验证试验，广泛征求意见，务必准确可靠。

3.实用性：本规程针对测试对象的特殊性，制定了相应的测试方法，对数据采集和处理、报告要求、结果评判和处理等都给出了明文规定或说明，可操作性强，具有极强的实用性。

4.规范性：本规程按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的起草规定编写。

### 3.2 编制依据

依据编制原则，本规程制定过程中参照的主要标准及依据见表 1。

表 1-参考标准及依据

序号	标准编号	标准名称
1	GB/T 24967-2010	钢质护栏立柱埋深冲击弹性波检测仪
2	JJG 173-2021	钢质护栏立柱埋深冲击弹性波检测仪检定规程
3	DB13_T2728-2018	公路护栏钢质立柱埋深无损检测规程
4	DB35_T1961-2021	公路钢质护栏立柱埋深冲击弹性波检测技术规程

5	DB36/T 1613-2022	公路工程钢质护栏立柱埋深（冲击弹性波）无损检测技术规程
---	------------------	-----------------------------

## 4 编制过程

为顺利推进“冲击弹性波法检测钢质护栏立柱埋深测试规程”的编制，对本项目工作做出合理的时间安排，以及对项目人员进行适当的调度安排，特制定本工作方案。本技术规程的编制工作方案如下：

1. 编制单位及编制人：本技术规程由青海省交通检测有限公司徐忠卫高级工程师编制，由四川升拓检测技术股份有限公司等单位参与编制；

2. 编制时间安排：预计本技术规程编制时间为2023年1月～2025年3月，共计27个月；

3. 计划控制法实施推进：编制方案实施计划大纲，根据大纲实施方案推进；

4. 技术规程编制方法：拟采用文献调研法、实地检测法、现场验证比对法、数据分析法等方法进行技术规程的主要内容编制；

### 5. 编制方法实施

①文献调研法：拟调研冲击弹性波技术原理、相关论文期刊、相关地方技术标准等；

②计量器具（仪器）参数确认：拟采用市面上的冲击弹性波的钢质护栏立柱埋深检测仪进行比对，确认计量器具的参数及技术指标；

③实地检测/现场验证法：拟采用上述步骤确认的计量器具进

行室内模型检测与室外实地检测及现场验证，同时应用本规程规定的测试方法与实地取样或其他实际测试方法进行比对，验证本方法的严谨性、可行性、可靠性及准确性，同时建立冲击弹性波技术的钢质护栏立柱埋深的测试方法；

④数据分析法：根据调研的相关资料，确认钢质护栏立柱埋深测试数据的分析与处理方法。

## 5 技术路线

### 5.1 编制路线图

规程起草小组，在获得项目任务后，开展了积极有效的工作，通过专家研讨会，信函征求省内外相关专家意见的基础上明确了本项目的技术路线。

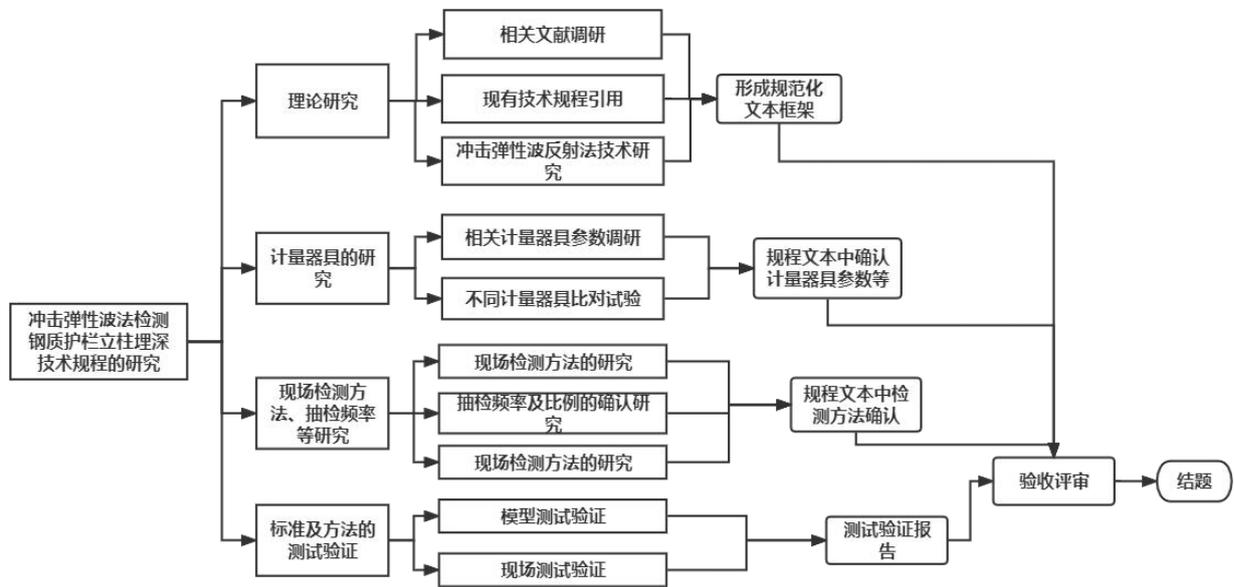


图 1 规程编制路线图

## 5.2 测试技术及设备的比较

我们在前期调研了相关仪器设备厂商，以四川升拓检测技术股份公司为首，北京海创高科科技有限公司、武汉天宸伟业物探科技有限公司、上海岩联工程技术有限公司等公司均有成熟的钢质护栏立柱埋深检测设备，其中以四川升拓检测技术股份有限公司的产品具有竞争优势，采用独特的半波有源分析技术提高了测试精度，同时在该产品上应用了多项发明专利，有着一定的技术优越性。

表 2-检测设备/技术的比较

	四川升拓	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		人工	
	长期埋深立柱	适用	不详	不详
混凝土中立柱	适用	不详	不详	不适用

### 5.3 试验验证

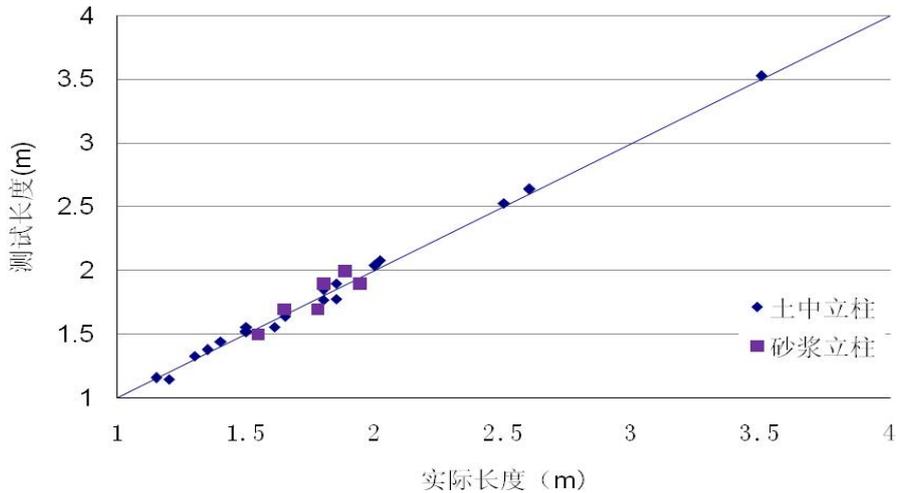


图 2 试验室不同条件测试结果

总体而言，实验室的测试结果是非常令人满意的。当然，和现场相比，条件要优越：

- 1.实验室一般环境较好、并可重复试验；
- 2.柱长已知，容易引入主观因素；
- 3.由于条件限制，大部分实验室的立柱并未采用打入，而是采用埋入夯实的方法，立柱与土体的结合紧密程度一般不如打入方式。因此，激发出的冲击弹性波的衰减相对较小，反射信号相对较强，测试一般要容易一些。

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。

在现场验证中，着重从这两个方面入手，对冲击弹性波法测试精度、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。总体而言，现场验证结果较为理想：约85%的检测相对误差在±4%之内；约94%的检测绝对误差在±8cm之内。

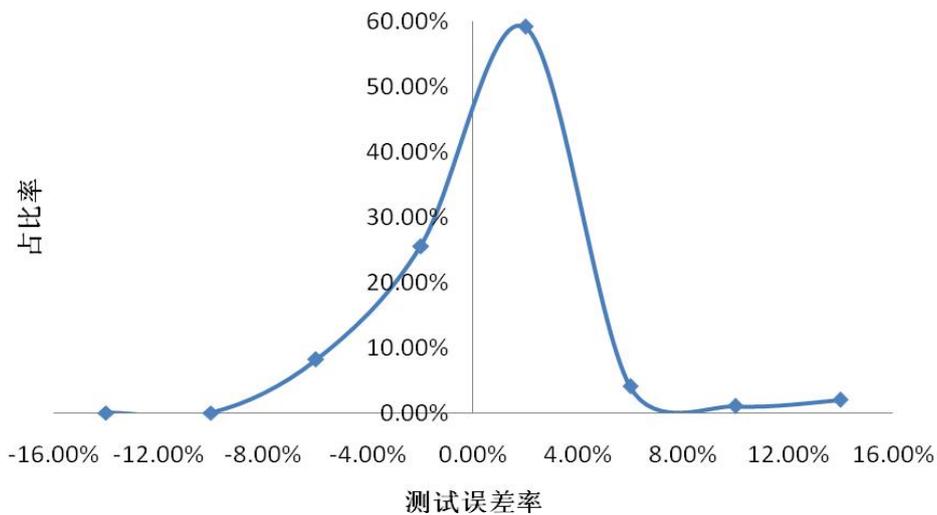


图3 现场验证相对误差分布

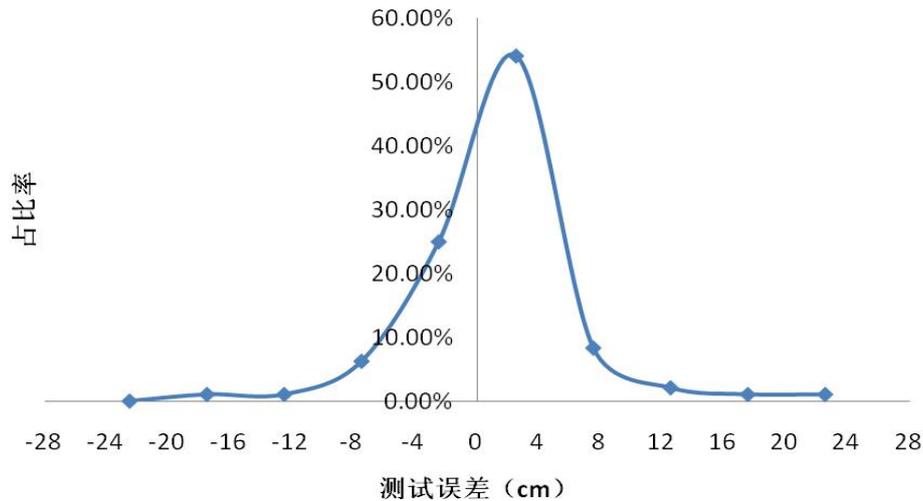


图 4 现场验证绝对误差分布

#### 5.4 影响因素及对策

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。下面就立柱埋深测试中的误差的原因及对策作如下说明：

##### 1. 系统误差

在同一条件下，多次重复测试同一量时，误差的数值和正负号有明显的规律。系统误差通常在测试之前就已经存在。

误差原因：例如在立柱埋深的测试中，由于激振的残留信号、与土壤接触的立柱底部的反射信号、立柱外露部分受环境干扰信号的相互叠加导致反射信号在一定程度上难以精确智能认定，从而出现了系统误差。

对策：为了降低系统误差，对每根立柱，在 2 个或 2 个以上位置（测点）进行测试，并取其平均，可以有效地降低系统误差，提高测试精度。

#### 4.随机误差

误差原因：在相同条件下，多次重复测试同一量时，出现误差的数值和正号没有明显的规律，它是由许多难以控制的微小因素造成。例如在立柱埋深测试的过程中，控制器电量、击打位置的微小变化导致激振信号的变化、环境的变化（风等）等都是随机误差的因素。由于每个因素出现与否，以及这些因素所造成的误差大小、方向事先无法知道。其发生完全出于偶然，因而很难在测试过程中加以消除。

对策：根据误差理论，对于随机误差，增加测试次数并对测试结果取平均，可以有效地削减随机误差。如在立柱测试中，每个测点测试 10 次，其随机误差可以削减到  $1/\sqrt{10}$ ，即为 31%。为了进一步削减随机误差，在国标产品的测试软件中，采用了概率论与数理统计方法对数据进行分析和处理，对异常数据可以自动筛除。

#### 5.过失误差

误差原因：过失误差明显的歪曲试验结果，如测试的信号不是立柱上端的激振信号、距离明显错误、传感器位置固定错误等。过失误差的数据必须剔除。对策：加强对现场测试人员进行专业的培训，进一步提高测试的自动化程度。

#### 6.分析误差

误差原因：立柱的解析具有两个模式，即自动模式和手动模式。其中，决定自动模式分析精度的最重要的因素是设计长度（或

者预测范围) 的设定。其中, 在自动模式下, 反射信号的搜寻范围不超过设计长度的 1.1 倍, 因此, 如果输入的设计长度较实际长度少 10% 时, 自动解析的结果可能出现较大的偏差。另一方面, 如果输入的设计长度较实际长度大得多 (如立柱被截断), 当测试信号较差时, 自动解析得到的结果有略微偏长的倾向。其对策有以下两点: 改变测线位置, 重新测试, 该方法最为可靠; 改为手动模式, 人工选取反射点。当设计长度未知时, 可先设一个较长的设计长度 (如 2.5m) 进行初步解析, 然后根据解析结果调整输入的设计长度, 可以得到更理想的测试结果。

此外, 激振信号的强弱对测试精度有一定的影响。通常, 激振信号越强, 自由振动、共鸣的现象越明显, 测试长度有偏短的倾向。反之, 若激振信号过弱, 测试长度有偏长的倾向。

## 6 主要研究内容

本项目为相关标准制定项目, 因此主要以文字编辑规范性陈述条款研究、相关设备测试验证研究为主, 主要研究内容有:

1. 以文献综合研究法调研相关文献, 对本项目需要编辑的规范性陈述条款进行描述;
2. 对测试用计量器具展开相关参数、性能的调研;
3. 采用比对法对现场测试工作流程、测试频率、抽样频率等做最低要求规定;
4. 采用数据分析法对测试数据进行综合性研究探讨;

5.其他研究内容。

## 7 与国内外相关标准异同

我们主要从检测设备、检测方法、检测对象等方面对比了现有的 3 个地方标准，内容如下：在测试设备要求方面。均要求满足《钢质护栏立柱埋深冲击弹性波检测仪》（GB/T24967）及“仪器规程”的有关规定。在细微处可以看出尽管几者之间相似度很高，但在激发方式方面还是有一定的区别。

在河北地标中，按照弹性波激发方式和频率不同分为冲击弹性波法(频率一般小于 20kHz)和超声导波法(频率一般大于 20kHz)。

在福建地标中，提出激发方式为给自动激振装置提供激振电信号的电子装置。根据我们的实践经验以及其他学者的研究成果，超声导波法并无明显的优越性，均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，“福建地标”的激振方法更为科学。

在江西地标中，针对公路护栏立柱埋深检测仪主要要求满足行业标准 JG 173《钢制护栏立柱埋深冲击弹性波检测仪》中对应条件的测试设备。

在同工段测试数量和比例方面。不同之处见下表所示：

表 3-河北、福建、江西地标对于测试数量和比例的比较

河北地标	福建地标	江西地标
<p>(1) 对于中央分隔带的立柱，抽检频率一般不低于15%；</p> <p>(2) 对于一般路段两侧的立柱，抽检频率不低于20%；</p> <p>(3) 对于连续下坡路段、路基高填方路段、线形指标偏低等特殊路段两侧的立柱，抽检频率不低于30%；</p> <p>(4) 且每检测路段不少于20根。</p>	<p>(1) 对于一般路段每幅路基路侧的立柱，抽检频率应不低于10%，且每检测批数量不少于20根。</p> <p>(2) 对于连续长下坡、路基高填方、线形指标偏低等特殊路段每幅路基路侧的立柱，宜加大抽检频率。</p>	<p>(1) 抽检应以每1km为一个检验批次，且每个检验批次的抽样应覆盖每侧的立柱。</p> <p>(2) 高等级公路、一级公路的立柱，每检验批抽样频率应不低于10%，且应按照每5根一组，每10组抽检一组的方式检测。</p> <p>(3) 对于一级以下公路的立柱，每检验批抽样频率应不低于3%，宜采用随机抽检的方式检测。</p> <p>(4) 对于连续下坡、路基高填方、线形指标偏低等特殊路段，单侧抽检频率不低于25%、中央分隔带单侧不低于10%，且应按照每5根形成1组，按组抽检的方式检测。</p>

在测试方法方面。三个地标规范对护栏立柱埋深的测试方法原理相同，但在波速取值方面，福建地标未做出明确规定，河北及江西地标中均有提出：测试之前，根据立柱的材质、规格和工程环境确定立柱的标称波速。

标称波速可通过未埋置立柱实测长度与反射回波传播时间计算得到。当不具备实测条件时，对于冲击回波法可直接选用5180m/s，超声导波法时可通过频散曲线计算。

在测试精度要求方面，河北地标规定：对未埋置地下的立柱测试精度为±1%或±2cm，对已埋置地下的立柱测试精度应达到±4%或±8cm。

福建地标规定，在立柱的冲击弹性波波速经过事先标定的前

提下，测试立柱总长平均测量误差应优于 $\pm 4\%$ ，且埋深平均测量误差不超过 $\pm 8\text{cm}$ 。

相比较河北地标增加了对自由立柱的测试精度做了规定。对此，江西地标则除了在精度上做了相似规定以外，还规定了单根立柱测试评判标准，以及检验批评判标准，相对其他地标对测试结果的判定更加全面合理。

由上述几个方面比对可知，由于各省份技术水平、施工工艺等的不同，导致 3 个地标在细小微处的规范方法有所不同，但在大方向上（如仪器计量特性要求、测试方法等）各标准对其规范性描述一致。

## 8 社会经济效益

本项目所采用的测试技术测试精度可靠，实用性强，测试效率高，已经在实际工程中应用，然而由于缺乏相应的标准体系及行业规范，严重的制约了该技术的发展和推广。通过本项目的实施不仅可推动钢质护栏立柱质量测试技术水平，同时也将对无损测试技术的发展起到较大的促进作用。

建议在钢质护栏立柱施工质量控制及后期评价过程中采用。希望为我国公路工程质量尤其是交安工程质量控制提供强有力的技术支持。

## 9 项目进展基本情况

### 1. 大纲审查阶段（2024 年 5 月）

- (1) 2024年4月，编制《工作组讨论稿》，并讨论、修改；
- (2) 2024年5月，进行大纲审查。

## 2. 征求意见稿审查阶段（2024年6月~9月）

(1) 2024年6月~8月，根据分工起草，通稿后形成《征求意见稿》；

(2) 2024年9月，《征求意见稿》经讨论、修改、完善后进行征求意见稿审查。

## 3. 技术审查阶段（2024年10月~11月）

(1) 2024年10月，《征求意见稿》广泛征求意见；

(2) 2024年11月，根据所反馈的意见，召开起草组讨论、完善，形成《送审讨论稿》和《征求意见汇总表》，进行技术审查。

## 4. 符合性审查会阶段（2024年12月）

(1) 2024年12月上旬，形成《送审稿》，召开专家技术审查会对《送审稿》进行审查；

(2) 2024年12月下旬，根据专家意见，补充、修改和完善形成《报批稿》。

## 5. 报批发布阶段（2025年1月~3月）

(1) 2025年1月~2月，《报批稿》及相关资料呈报协会批准。召开报批稿审查会。根据审查专家意见，修改、完善报批稿；

(2) 2025年3月发布标准。

## **10 经费安排**

本标准由青海省交通检测有限公司主编，标准编制资金为自筹，费用共计 30 万元，资金已到位。