

非接触式微波雷达索力测量仪

(征求意见稿)

编制说明

标准起草组

2023年10月6日

一、任务来源、起草单位、协作单位、主要起草人

拉索作为一种承受拉力的结构构件，广泛应用于桥梁工程中，是桥梁的关键承力构件。索力的绝对量、改变量和索力分布的均衡性是评价施工质量与运营期桥梁健康状态的核心指标，并且直接影响结构的内力分布和桥面线形，对整个结构安全至关重要。因此，对桥梁的斜拉索的索力进行高精度的快速测量是十分重要。现有桥梁拉索的索力检测设备存在接触性、效率较低、信号较弱时需要人工辅助、索力测量难以同步进行、索力测量覆盖面小、索力测量结果具有时效性以及拉索外壳与索体振动不同步等问题，从而导致桥梁拉索索力的测量成为工程界的一个难题。

非接触式微波雷达索力测量仪（Non-Contact Microwave Radar Cable force measuring instrument）是通过干涉测量技术来实现对多目标的动态位移检测，并进行频率分析（FFT 变换）的一种快速检测设备，可广泛应用于桥梁拉索等柔性构件振动幅度和受力状态的快速检测，能为解决索力测量这一行业难题提供全新方法。为了规范仪器的构成、技术要求、测试方法以及仪器的检验规则等参数，提高仪器索力测量质量和效率，指导和规范仪器的应用，北京科技大学牵头在中国交通运输协会申报了本标准的立项。2022年4月22日中国交通运输协会组织召开了立项评审会，4月25日中国交通运输协会发布的“中国交通运输协会关于2022年度第一批拟立项团体标准项目的公示”，公示本标准通过立项。标准编制组起草了标准的草案，2022年7月24日组织召开了大纲评审会，编制组提交的文件通过了标准的大纲评审。编制组根据大纲评审会专家修改意见对标准进行修改和调整，并吸纳微波雷达在桥梁索力测试应用成果，于2023年8月编制完成本标准的征求意见稿。

本文件起草单位：北京科技大学、中公智联（北京）科技有限公司、北京市政路桥管理养护集团有限公司、中交路建交通科技有限公司、北京中交桥宇科技有限公司、铁正检测科技有限公司、中合瑞成（苏州）信息技术有限公司、河北大学、重庆桥安物联科技有限公司、北京工业大学。

本文件主要起草人：刘越、车功健、朱尚清、胡建新、王学博、刘国飞、郎静、杨三强、蔡刚、莢瑞馨、杨亮亮、孟令强、臧腾、李建军、龙希、姚华、管秉政、白玉冰、蒋菲菲、车锋、牛丽娜。

二、制订标准的必要性和意义

必要性:

拉索是斜拉桥、悬索桥和吊杆拱桥中的主要受力部件，在此类桥梁中，拉索的检测是一项非常重要的工作。索力测试有多种方法，但是由于频率法具有简单、方便、快速、测试设备可重复利用等诸多优点，因而成为目前常用的测试手段。所以，成桥拉索、吊杆索力通常是通过频率法进行测试的，根据测试拉索的频率和参数来计算索力。目前常用的频率测量方法是通过环境随机振动法来获取拉索的随机振动曲线，再通过频谱分析得出其基频或频差。现有的随机振动检测方法有：（1）拾振器振动测试法；（2）微波雷达测试法等。微波雷达测试法是一种在各种复杂的测试环境中不需要安装任何传感器和附属装置在拉索和吊杆上的非接触式测试方法，能够完成测量一定波束角度范围内的多根拉索，使测试工作效率大大提高。

使用传感器拾振器法进行索力测试时，具有以下局限性：

- 1) 当拉索在基频振动时，拉索的最大振幅出现在拉索的中部，若拉索以高阶频率振动最大振幅则会出现在拉索的端部。但一般拉索都比较长，中间部分比较高，要将传感器固定在拉索的中部并不容易，要把传感器安在拉索的中部实属不易，所以一般情况会把传感器安装在靠近桥面的一端，因此所收集到的频率几乎均是高阶频率，低阶的成分很少。而用一阶基频计算索力就比较困难了，常用的方法是用测量到的高次谐振峰来估算拉索的基频，估算的拉索基频往往和拉索的真实基频有一定的差异，从而导致索力计算值出现很大的误差，从而影响了试验结果的评估。
- 2) 当使用拾振器振动测试拉索索力时，需要借助登高车或梯子，在拉索上逐个绑扎拾振器，实施过程中，需要占用应急车道，具有繁琐的审批流程，且具有一定的安全风险、测试效率较低。
- 3) 国内有许多桥梁采用钢绞线的拉索体系，尤其是部分预应力斜拉桥，其 HDPE 外护套和钢绞线之间并非紧密贴合，而是有一定空间；使用拾振器进行测试时，只能绑扎在拉索外护套上，而钢绞线的振动和外护套的振动不一定协同，从而导致较大的测量误差。

使用微波雷达测试法很好地解决了这些问题。微波雷达索力测量设备安装在带云台的三脚架上，可以通过移动三脚架的位置及高度和调节云台的角度，测量拉索不同位置；微波雷达测试法是非接触式测量方法，单次测量可超过 10 根拉索，无需在拉索上安装

任何装备，无施工作业风险且大大提高工作效率；微波雷达测试法具有穿透能力，能穿透 HDPE 外护套直接作用到钢绞线上，保证测量数据的准确性。

微波雷达测试法在缆索体系桥梁索力测量和监测上有广泛应用前景，目前我国桥梁检测、监测的规范中缺少相关的技术规范的支撑，为进一步推动该技术在索力测试测试中的应用，有必要制定相关的测试规程进行指导。

意义：

桥梁结构是土木工程中重要的基础设施，历来被称为“生命线工程”，拉索作为一种承受拉力的结构构件，广泛应用于桥梁工程中，是桥梁的关键承力构件。索力的绝对量、改变量和索力分布的均衡性是评价施工质量与运营期桥梁健康状态的核心指标，并且直接影响结构的内力分布和桥面线形，对整个结构安全至关重要。

微波雷达索力测试法的核心是干涉测量技术，通过对拉索发射电磁波，接收回波并处理回波信号，来获取拉索在观测期间的高精度形变信息，并进行傅里叶变换得到拉索频率特征，从而计算拉索索力。该方法以非接触测量、全天候、多目标、穿透性、不受外界环境的影响等优点，为缆索体系桥梁索力测量提供了一种全新的、高效的测量手段。

本文件的制定对于微波雷达技术在桥梁索力测试中的应用具有规范和指导的作用，同时对推动桥梁检测和评估技术的发展有重要意义。

三、主要工作过程

主编单位于 2022 年初开始组织相关单位着手成立标准编制工作起草小组，编制立项申报书向中国交通运输协会申请标准的立项。作为主要起草单位，北京科技大学 2022 年上半年一直积极收集有关本标准的各类信息，与中公智联（北京）科技有限公司、北京市政路桥管理养护集团有限公司、中交路建交通科技有限公司、北京中交桥宇科技有限公司、铁正检测科技有限公司、中合瑞成（苏州）信息技术有限公司、河北大学、重庆桥安物联科技有限公司、北京工业大学单位紧密联系，反复对微波雷达索力测试技术进行验证和试验。2022 年 3 月底完成了团体标准《非接触式微波雷达索力测量仪》的立项申请材料的编写，正式提交中国交通运输协会标准委员会。2022 年 4 月 22 日，中国交通运输协会组织行业专家在北京召开立项审查会议，对标准立项报告进行审核，通过了标准项目的编制申请，并提出一些合理化的建议。立项申请获批后，标准编制组加

快标准编制工作节奏，明确任务分工及各阶段进度时间节点，着手编制标准工作大纲和
相关文件。同时，标准起草工作组成员认真学习了 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》，结合标准制定工作程序的各个环节，进行了
探讨和研究。标准编制组于 2022 年 7 月完成了《非接触式微波雷达索力测量仪》大纲
评审的标准草案和相关文件。2022 年 7 月 24 日组织召开了大纲评审会，编制组提交
的文件通过了标准的大纲评审。大纲评审后，标准起草工作组经过技术调研、咨询，收
集、消化有关资料，并结合微波雷达索力测试技术要求、数据处理与分析以及应用实际
经验的总结，于 2023 年 7 月底写完成了团体标准《非接触式微波雷达索力测量仪》
的征求意见稿和相关文件的编制。提交给交通运输协会后拟 2023 年 8 月在北京组织
了团体标准编制征求意见稿审查会。编制组将根据审查会意见按照专家意见对标准进
行修改，计划于 2023 年 8 月底完成《非接触式微波雷达索力测量仪》（征求意见稿）
并提交中国交通运输协会，公开征求意见。再根据评审会专家意见进行补充、修改，
经中国交通运输协会同意，挂网征求意见。计划 2023 年 9 月完成征求意见的梳理和
标准的修改，计划于 2023 年 10 月上旬提交协会进行专家评审。根据专家意见对标
准进行进一步的修改完善，计划于 2023 年 10 月底完成《非接触式微波雷达索力
测量仪》（报批稿），报中国交通运输协会评审。根据评审意见对报批稿进行修
改完善，报中国交通运输协会标准委员会批准。

四、制订标准的原则和依据，与现行法律、法规、标准的关系

本文件主要规定的是一种用于索力测量的装备：非接触式微波雷达索力测量仪，
与国家和行业相关标准是一种衔接关系。本文件仅规定非接触式微波索力测量仪
仪器构成、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和储存，其拉索
索力测试、索力计算采用国家和行业的相关标准进行处理与评定。

本文件与有关法律法规、国家强制性标准、国家推荐性标准、行业标准、地方
标准的关系如下：

1、《公路桥梁荷载试验规程》（JTG/T J21-01-2015）规定了公路桥梁索力数
据处理方法、结果的评定；

本文件采用微波雷达数据处理方法与《公路桥梁荷载试验规程》（JTG/T
J21-01-2015）中处理方法一致，评定参照执行。

本文件编制过程中，查阅了下列规范、标准和技术规程：

- 1 《机电产品包装通用技术条件》(GB/T 13384)
- 2 《包装储运图示标志》(GB/T 191)
- 3 《仪器仪表运输、贮存基本环境条件及试验方法》(GB/T 25480-2010)
- 4 《运输包装收发货标志》(GB/T 6388)
- 5 《公路交通安全设施质量检验抽样方法》(JT/T 495-2014)
- 6 《公路桥梁荷载试验规程》(JTG/T J21-01-2015)

五、主要条款的说明，主要技术指标、参数、实验验证的论述

本文件规定的非接触式微波雷达索力测量仪，适用于公路、市政桥梁等各类拉索构件测量所用索力测量及监测。

本文件的主要技术内容包括以下几个部分：

1 范围

本文件规定了非接触式微波雷达索力测量仪的仪器构成、技术要求、试验方法、检验规则和标志、包装、运输和储存的要求。

本文件适用于公路、市政桥梁等各类拉索构件测量所用的非接触式微波索力测量仪测量装备。

2 规范性引用文件

3 术语和定义

主要规定标准中涉及的主要技术术语。

(1) 雷达 radar

利用电磁波来发现目标并测定其位置的一种无线电装置。

(2) 微波 microwave

微波是指频率在 300MHz-300GHz 之间的电磁波。

(3) 索力 cable force

索力是指作用在拉索或索具上的力量。

(4) 空间分辨率 spatial resolution

雷达设备能够识别的两个相邻目标的最小距离，是反映雷达设备性能和精度的一个重要指标。

(5) 雷达作用距离 radar range

指雷达可以探测到目标物体的最大覆盖距离。

4 仪器构成

主要规定非接触式微波雷达索力测量仪总体组成及雷达主机。

5 技术要求

主要规定非接触式微波雷达索力测量仪外观、基本参数、电磁环境要求、测量误差、供电电源及功耗、绝缘电阻、数据采集和软件功能等内容。

6 试验方法

主要规定非接触式微波雷达索力测量仪外观、读数仪频率分辨力、读数仪索力分辨力、频率示值误差、索力测量示值误差、电气安全和软件功能使用等试验方法内容。

7 检验规则

主要规定非接触式微波雷达索力测量仪检验分类、组批、抽样和判定规则等内容。

8 标志、包装、运输和储存

主要规定非接触式微波雷达索力测量仪产品包装、包装标识、文字标识和使用说明书等内容。

附表：主要规定非接触式微波雷达索力测量仪的自校试验方法、维护和保养以及索力测量方法等内容。

条文说明：对标准重要条文进行说明。

本文件主要参编单位对于微波雷达在桥梁拉索索力测试及监测方面进行了系统研究，主要研究成果如下：

1、拉索索力测试

微波雷达是基于干涉测量技术实现测试斜拉桥、悬索桥和吊杆拱桥等线缆体系桥梁拉索、吊杆受力状态的一款检测设备。测量时，微波雷达发射微波信号，遇到拉索后反射回来，得到相位变化；通过不断发射、反射得到一系列变化相位，从而计算出拉索的振动变化位移，经过快速傅立叶变换(FFT)，得到频域特征值。位移时程曲线经过时频变换计算出振动频率或倍频特征，从而计算拉索索力，见图1、图2和图3。

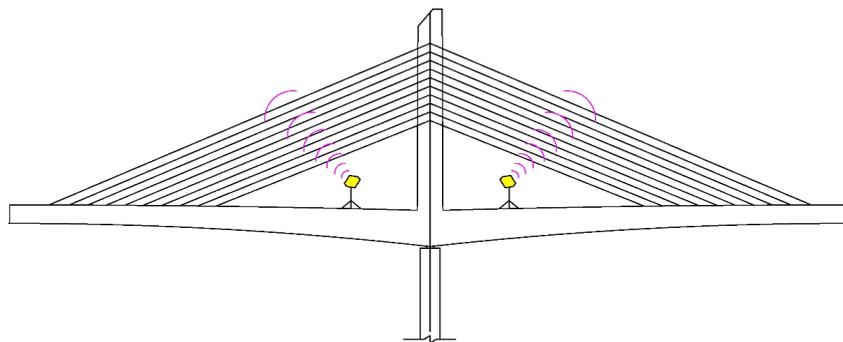


图 1 微波雷达索力测试示意图

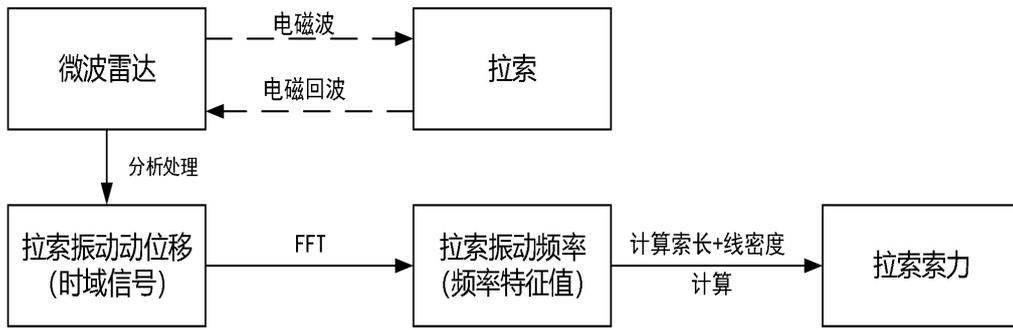


图 2 拉索索力测试分析流程

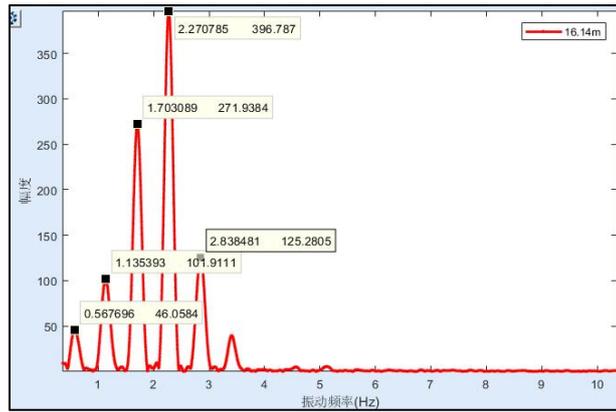


图 3 傅里叶变换频谱图

2、索力测量穿透性研究

微波索力测量仪具有穿透性，能穿透 HDPE/PE 等护套。国内有许多桥梁采用钢绞线的拉索体系，尤其是部分预应力斜拉桥。要利用微波雷达实现对钢绞线拉索体系的索力精确测试，需要对微波雷达对护套的穿透性能进行验证测试。

验证微波雷达对护套穿透性能试验主要是测试雷达直接测试目标体和增加护套遮挡后测试目标体两种情况下，对比分析雷达测试目标体的信号能量以及距离相变化情况，试验场景见图 4。

微波雷达对护套穿透性能测试采用室内验证试验进行测试，试验的目的包括以下两个方面：

- (1) 验证微波雷达设备对 HDPE 外护套穿透能力；
- (2) 验证微波雷达设备穿透 HDPE 外护套后对测试精度的影响。

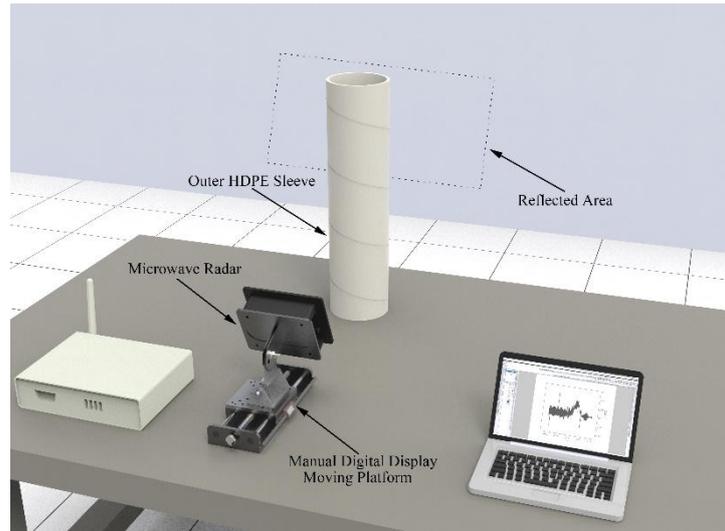


图 4 穿透试验场景

通过试验测试：微波雷达索力测量仪可以穿透 HDPE 护套，作用到钢绞线上，测量出来的位移精度并不受穿透的影响；根据该特性，微波雷达设备可以广泛应用于钢绞线拉索的索力检测。由于钢绞线拉索的 HDPE 护套和钢绞线是分离的，因而采用传统的加速度测量方法测试索力的误差较大，甚至会出现测量不出来情况。采用微波雷达索力检测设备则可以穿透护套，直接测量钢绞线拉索的振动，通过快速傅里叶变换得到拉索的振动频率，进而准确计算拉索的索力。

六、重大意见分歧的处理依据及结果

本标准制订过程中尚未发生过重大意见分歧。

七、采用国际标准和国外先进标准的，说明采标程度，以及与国内外同类标准水平的对比情况

本标准未采用国际标准和国外先进标准。

八、作为推荐性标准建议及其理由

目前雷达在桥梁索力测试中得到了广泛的应用，但目前国内还没有相关的标准和规范，使微波雷达索力测量仪在桥梁索力测试中的应用受到很大的限制。

鉴于以上情况，有必要在交通行业内编写完整的微波雷达索力测量仪标准，为产品制造单位提供参考，规范产品的生产、制造、验证，规范索力测量仪的使用，为使用单位选择产品提供依据，满足桥梁索力测量的基本需要。

本项目为非接触式微波雷达索力测量仪。微波雷达索力测量仪以非接触测量、全天候、穿透性、不受外界环境的影响等优点，能准确、快速测量桥梁拉索索力，并为拉索外护套和钢绞线分离的拉索索力测试，提供了准确的测量方法。

九、贯彻标准的措施建议

(1) 精心组织安排，开展宣贯培训。建议由行业主管部门统一安排，召开标准宣贯会，对涉及的交通建设、监理、设计、施工、制造单位等单位开展标准实施培训和宣贯普及。明确微波雷达索力测量仪的要求、外观、使用方法、检验、运营维护等方面的具体要求，指导微波索力测量仪的生产，为用户提供索力测量仪的使用方法，保证测量的准确性，有效推动贯标工作的开展及落实。

(2) 组织相关人员到施工现场参观学习，直观展示微波雷达索力测量仪的效果及具体实施方法；

(3) 定期组织科研、生产、应用、检验各环节人员进行技术交流，不断对微波雷达索力测量仪标准进行改进。

十、其他应说明的事项

暂无。