



团 体 标 准

T/CCTAS XXXX—2023

非接触式微波雷达索力测量仪

Non-Contact Microwave Radar Cable force measuring instrument

（征求意见稿）

（2023年9月26日）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国交通运输协会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 仪器构成	1
4.1 总体组成	1
4.2 雷达主机	2
5 技术要求	2
5.1 外观	2
5.2 基本参数	2
5.3 电磁环境要求	3
5.4 测量误差	3
5.5 供电电源及功耗	3
5.6 绝缘电阻	3
5.7 数据采集	3
5.8 软件功能	3
6 试验方法	3
6.1 外观	3
6.2 读数仪频率分辨力	3
6.3 读数仪索力分辨力	3
6.4 频率示值误差	3
6.5 索力测量示值误差	3
6.6 电气安全	4
6.7 软件功能使用	4
7 检验规则	4
7.1 检验分类	4
7.2 组批、抽样和判定规则	4
8 标志、包装、运输和储存	5
8.1 产品标志	5
8.2 包装标志	5
8.3 文字标识	5
8.4 使用说明书	5
8.5 包装	6
8.6 储存	6
8.7 运输	6
附录 A (资料性) 非接触式微波雷达索力检测仪自校试验方法	7
附录 B (资料性) 维护和保养	10

附录 C（资料性） 基于微波雷达的索力测量方法 11

前 言

本文件按照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》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国交通运输协会新技术促进分会提出。

本文件由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

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、茆瑞馨、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。

非接触式微波雷达索力测量仪

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检测仪测量装备。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件

GB/T 191 包装储运图示标志

GB/T 25480-2010 仪器仪表运输、贮存基本环境条件及试验方法

GB/T 6388 运输包装收发货标志

JT/T 495-2014 公路交通安全设施质量检验抽样方法

JTG/T J21-01-2015公路桥梁荷载试验规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

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。

3.2

微波 microwave

微波是指频率在300MHz-300GHz之间的电磁波。

3.3

索力 cable force

索力是指作用在拉索或索具上的力量。

3.4

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。

3.5

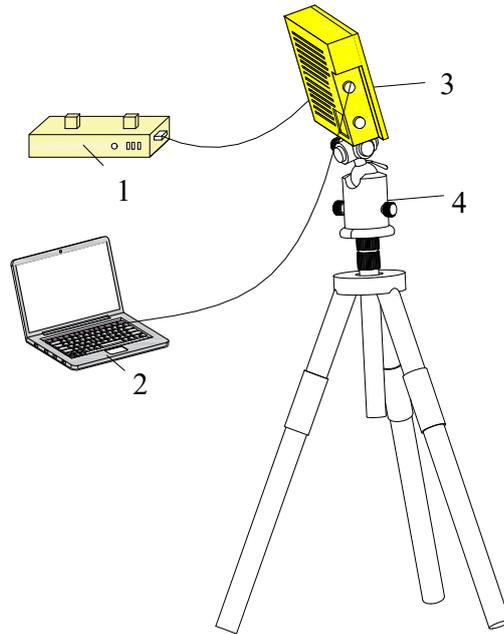
雷达作用距离 radar range

指雷达可以探测到目标物体的最大覆盖距离。

4 仪器构成

4.1 总体组成

测量仪由雷达主机、电源、云台和数据分析终端组成，其典型结构示意图见图1。



说明：

- 1——电源； 3——雷达主机；
2——数据分析终端； 4——云台。

图 1 雷达测量仪组成示意图

4.2 雷达主机

4.2.1 雷达主机应具备电源按钮、电源指示灯、信号输出接口、连接底座、供电模块、发射和接收天线等。

4.2.2 雷达主机宜有工作指示灯，显示设备的该工作状态；具有故障指示灯，提示设备发生故障。

4.2.3 雷达主机底部宜有螺纹，能与云台进行牢靠链接。

5 技术要求

5.1 外观

5.1.1 雷达测量仪表面应无锈蚀、裂痕、划痕、缺损等缺陷。

5.1.2 雷达测量仪各类产品标志、标识应清晰完整。

5.2 基本参数

5.2.1 雷达测量仪的工作频率应按国家无线电管理委员会规定，根据测试要求宜在 K、U 或 V 波段中选取，具体指标由产品规范规定。

5.2.2 雷达测量仪前面板宜为塑料材质；其它部位宜为铝合金或其它金属材料。

5.2.3 雷达测量仪防护等级宜不低于 IP65。

5.2.4 雷达测量仪测量数据丢包率 $\leq 5\%$ 。

5.2.5 雷达测量仪的基本参数应符合表 1 规定。

表 1 测量仪基本参数

名称	测量参数	作用距离	同步测量拉索数	数据采样率	空间分辨率
雷达测量仪	位移、频率	≥100m	≥5个	最高频率≥100Hz	≤0.5m

5.3 电磁环境要求

现场无强电磁干扰。

5.4 测量误差

5.4.1 雷达测量仪位移自校误差不超过 0.05mm。

5.4.2 雷达测量仪频率自校误差不超过±2%FS。

5.5 供电电源及功耗

5.5.1 雷达测量仪应使用市电或直流电源进行供电：

a)市电供电电压 220V，频率 50Hz；电压允许误差为±10%；

b)直流电源供电电压为 12V/24V，电压允许误差为±10%；使用直流移动电源供电时，测量仪正常工作时间≥8h。

5.5.2 测量仪静态值守工作电流不大于 300 mA（12V DC）/150mA（24VDC）；工作电流不大于 800mA（12V DC）/400mA（24VDC）。

5.6 绝缘电阻

仪器的导电部分与仪器外表的绝缘电阻应大于 10MΩ。

5.7 数据采集

5.7.1 频率分辨率不宜小于 0.01Hz，应符合 JTG/T J21-01-2015 B.0.2 规定。

5.7.2 采样频率宜不小于第 5 阶自振频率的 5 倍，不宜小于 100Hz，并符合 JTG/T J21-01-2015 B.0.3 规定。

5.8 软件功能

5.8.1 测试仪配套的软件应与系统的硬件资源相适应，应配备驱动程序。

5.8.2 对同一系列产品的软件应遵循通用化、系列化的原则，软件的文件编制、技术规范以及字符编码等应符合编制规则。

6 试验方法

6.1 外观

目测及手感雷达测量仪各部件，应符合 5.1 的要求。

6.2 读数仪频率分辨力

启动雷达测量仪，观察读数仪的示值，应符合 5.4 的要求。

6.3 读数仪索力分辨力

启动雷达测量仪，观察读数仪的示值，应符合 5.4 的要求。

6.4 频率示值误差

频率示值误差的试验方法应符合附录 A 的要求。

6.5 索力测量示值误差

索力测量示值误差的试验方法如下：

- a) 将雷达测量仪固定在索力测试装置的拉索中部侧面，使其测量拉索的拉索振动；
- b) 启动索力试验装置，待张拉稳定后记录标准测力计的示值。记录雷达测量仪测得的索力值 T ；
- c) 按式（1）计算上述试验的索力测量示值误差；

$$\delta = (T - T_S) / T_S \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- δ ——索力测量示值误差；
- T ——雷达测量仪测得的索力值；
- T_S ——标准测力计的示值。

- d) 改变索力试验装置输出的力值，重复a)~c)步骤，计算结果均应符合5.4的要求。

6.6 电气安全

用500V/500M Ω 的绝缘电阻表，测量仪器电源线与仪器金属外壳和接地保护极之间的绝缘电阻值。电气安全性满足5.6要求。

6.7 软件功能使用

按测试仪提供的操作规程进行测试，软件功能使用满足5.8要求。

7 检验规则

7.1 检验分类

7.1.1 检验分为出厂检验和型式检验。雷达测量仪检验项目应符合表2规定。

表2 雷达测量仪检验项目

序号	检验项目	技术要求	试验方法	型式检验	出厂检验
1	外观	5.1	6.1	+	+
2	读数仪频率分辨力	5.4	6.2	+	+
3	读数仪索力分辨力	5.4	6.3	+	+
4	频率示值误差	5.4	6.4	+	+
5	索力测量示值误差	5.4	6.5	+	+
6	电气安全	5.6	6.6	+	+
7	软件功能	5.8	6.7	+	+

注：“+”表示必检项目，“-”表示不必检项目。

7.1.2 型式检验的样品应在生产线终端或生产单位的成品库存抽取。

7.1.3 型式检验为每年进行一次，如有下列情况之一时，也应该进行型式检验：

- a) 新试制的产品；
- b) 产品生产过程中，如原材料、工艺有较大改变，可能影响产品性能时；
- c) 产品停产达六个月后，恢复生产时；
- d) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时；
- e) 国家质量监督机构提出型式检验时。

7.1.4 产品需经生产单位质量检验部门检验合格并附产品质量合格证方可出厂。

7.2 组批、抽样和判定规则

7.2.1 组批

每批应同时交货或同时生产的，使用同一批原材料、同一生产配方、同一生产工艺的产品组成。

7.2.2 抽样

抽样应按照 JT/T 495 的规定进行。

7.2.3 判定规则

型式检验如有任一项指标不符合要求，需重新抽取双倍试样，对该项指标进行复验。复验结果仍然不合格时，则判该型式检验为不合格。

出厂检验项目如有任何一项指标不符合要求，需重新抽取双倍试样，对该项指标进行复检；如复验样品仍有不合格，则判定该批为不合格批。

8 标志、包装、运输和储存

8.1 产品标志

产品标志应位于雷达测量仪的显著位置，包括但不限于下列内容：

- a) 仪器型号、名称；
- b) 仪器出厂年月；
- c) 产品标准号；
- d) 制造厂名（仪器生产单位名称）；
- e) 生产编号（出厂编号）。

8.2 包装标志

8.2.1 内包装

雷达测量仪内包装包括但不限于下列内容：

- a) 产品型号及名称；
- b) 制造单位或商标；
- c) 其他。

8.2.2 外包装

雷达测量仪外包装标志应包括但不限于下列内容：

- a) 产品型号、名称及数量；
- b) 箱体尺寸：长×宽×高，mm 或 cm；
- c) 净重及毛重：kg；
- d) 装箱日期；
- e) 到站（港）及收货单位；
- f) 发站（港）及发货单位；
- g) 其他。

8.2.3 包装储运图示标志

雷达测量仪包装储运图示和收发货标志，应按照 GB/T 191 和 GB/T 6388 的有关规定正确选用。

8.2.4 产品执行标准标志

雷达测量仪包装上应注明产品执行标准。

8.3 文字标识

雷达测量仪标志中所使用的各种文字、符号、计量单位等，均应符合《通用规范汉字表》的规定。

8.4 使用说明书

每台设备需配备使用说明书，使用说明书中可结合测量仪的特点酌情增加有关安全、环境保护、操作示例、必要的图表等相关内容。

8.5 包装

8.5.1 包装应符合 GB/T 13384 的要求。

8.5.2 每台雷达测量仪的易损件应用聚氨酯泡沫封装后装入外包装箱内。

8.5.3 外包装用瓦楞纸箱或木箱包装。

8.5.4 雷达测量仪随机文件包括但不限于下列内容：

- a) 装箱单；
- b) 出厂合格证；
- c) 使用说明书；
- d) 出厂前的检验测试文件。

8.6 储存

储存应符合 GB/T 25480 的要求。产品储存应干燥、防尘，存放于干燥、通风的室内，并避免接触腐蚀性气体和液体。

8.7 运输

运输应符合 GB/T 25480 的要求。运输途中应小心轻放、防磕碰、防倒置。防止日晒雨淋、严禁抛掷、重压，避免与有腐蚀性物品混运。

附录 A

(资料性)

非接触式微波雷达索力检测仪自校试验方法

A.1 试验条件

雷达测量仪应该在下列室内环境条件下进行试验：

- 环境温度：5~35℃。
- 环境湿度：不大于85%RH。
- 电源电压：交流电220V，50Hz；直流电：12VDC 1A。
- 试验应在无振动、无腐蚀气体和电磁干扰的室内进行。

A.2 校准用仪器设备

因瓦标准尺、振动标准套组。

A.3 试验步骤

A.3.1 位移自校

- 使用因瓦标准尺来对雷达测量仪测量位移进行校准。
- 位移自校流程图见图 A.1。

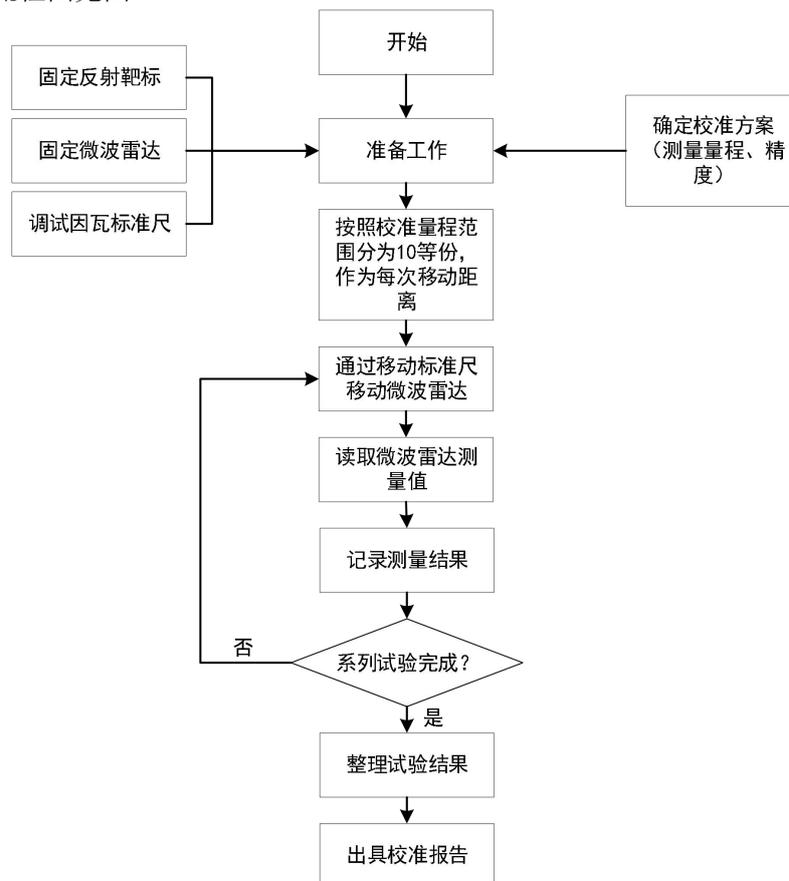


图 A.1 位移校准流程图

c) 首先确定雷达测量仪的测量量程（如从 $-Mmm \sim Mmm$ ）、作用距离、测量精度等参数；按照测量量程，划分为10等份，每份为 $M/5mm$ ，那么，每次校准试验，微波雷达移动距离符合表 A.1 规定：

表 A.1 雷达测量仪移动距离表

标准移动距离 L_s (mm)	-M	-4/5M	-3/5M	-2/5M	-1/5M	0	1/5M	2/5M	3/5M	4/5M	M
微波雷达测量值 L (mm)	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9	L_{10}	L_{11}
误差 ΔL (mm)	L_1-L_{s1}	L_2-L_{s2}	L_3-L_{s3}	L_4-L_{s4}	L_5-L_{s5}	L_6-L_{s6}	L_7-L_{s7}	L_8-L_{s8}	L_9-L_{s9}	$L_{10}-L_{s10}$	$L_{11}-L_{s11}$

L_{s_i} : 表示第 i 次使用因瓦标准尺移动的标准距离
 L_i : 表示第 i 次使用因瓦标准尺移动的标准距离后, 使用雷达测量到的位移值

- 使用雷达测量仪测量每次移动后的数据, 并将测量数据及测量误差填入表格中。
- 计算本次计量的最大示值误差和标准偏差。
- 出具数据校准报告。

A.3.2 频率自校

- 使用振动标准套组对雷达测量仪测量频率进行校准。
- 频率校准流程见图A.2。

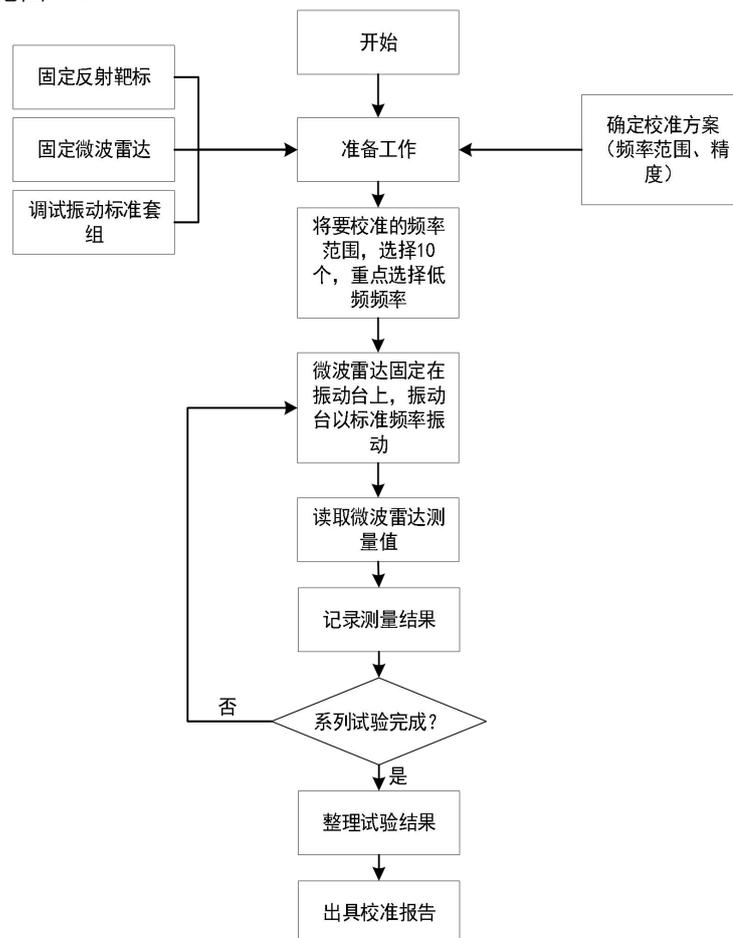


图 A.2 频率校准流程

- 首先确定雷达测量仪的频率测量量程 (如从0.1Hz~50Hz)、作用距离、测量精度等参数; 按照频率测量量程, 选择10个频率为校准频率, 比如 (0.5、1、2、3、4、5、10、20、30、50)。

表 A.2 雷达测量仪自校频率

标准频率 FS (Hz)	0.5	1	2	3	4	5	10	20	30	50
微波雷达测 量值 F (Hz)	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
误差 ΔF (Hz)	FS1-F1	FS2-F2	FS3-F3	FS4-F4	FS5-F5	FS6-F6	FS7-F7	FS8-F8	FS9-F9	FS10-F10
Fsi: 表示第 i 次使用振动标准套组产生的标准振动频率 Fi: 表示第 i 次使用振动标准套组产生的标准振动频率后, 使用雷达测量到的频率值										

d) 将雷达测量仪固定在振动标准套组上, 振动标准套组按照设定好的频率进行振动, 使用非接触式微波索力测量仪测量并分析振动频率, 并将测量数据及测量误差填入表格中。实验过程中, 振动位移不宜过大 (比如 $\pm 5\text{mm}$ 内)。

e) 计算本次计量的最大示值误差和标准偏差。

f) 出具数据校准报告。

附 录 B
(资料性)
维护和保养

B.1 日常维护

雷达测量仪的日常维护包括但不限于下列内容：

- a) 雷达测量仪使用完毕后，应将数据线、电源线拔下，并用干纸巾擦拭干净，绑扎好后，放入设备箱中。
- b) 雷达测量仪使用完毕后，应将测量仪表面灰尘等清理干净，并放入设备箱中。
- c) 电源使用完毕后，应及时清理干净，充满电，放入设备箱中备用。
- d) 云台使用完毕后，及时清理干净，并收起来，放入包中。

B.2 定期维护

雷达测量仪的定期维护包括但不限于下列内容：

- a) 定期对测量仪运行状态进行全面检查测试，发现和排除故障，更换存在问题的零部件。
- b) 应定期对测量仪（每年不少于 1 次）进行校准和率定。
- c) 对于升级或维修后的测量仪，应进行校准和率定后再使用。
- d) 对于测量三脚架，如果无法固定稳当，应及时更换。
- e) 对于使用5年后的电源，应及时更换。

B.3 故障排查及处理

对雷达测量仪出现的各类故障，分析原因，及时维修或更换，记录检修维护档案。

B.4 现场测试与检查

雷达测量仪的现场测试与检查包括但不限于下列内容：

- a) 使用前，对测量仪进行外观检查。
- b) 雷达测量仪连接电源，检查供电是否正常。
- c) 雷达测量仪连接数据分析终端，运行数据采集软件，检查和分析终端之间的通信是否正常。
- d) 运行数据采集软件，查看一维距离相是否正常。

附录 C
(资料性)
基于微波雷达的索力测量方法

C.1 基于相位干涉法测位移原理

确定好拉索位置后，第二步对拉索进行位移形变测量。形变测量，观测几何见图C.1：

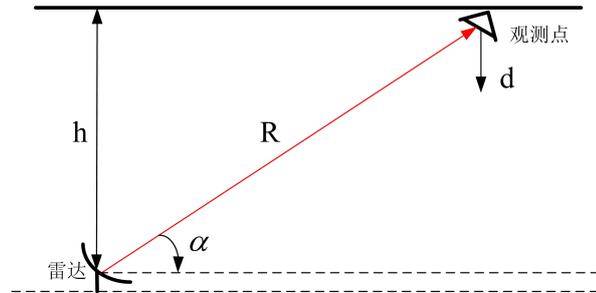


图 C.1 雷达观测几何

h 为拉索观测点距离雷达的垂直高度， α 为雷达视线角。第一次观测，观测点相位 φ_1 按式(C.1)计算：

$$\varphi_1 = -4\pi R_1 / \lambda \quad \text{.....(C.1)}$$

其中 λ 为雷达工作波长， R_1 为第一次测量时观测点的距离。向下形变 d 后，第二次观测相位 φ_2 按式(C.2)计算：

$$\varphi_2 = -4\pi R_2 / \lambda \quad \text{.....(C.2)}$$

R_2 为第二次测量时观测点的距离，根据几何关系，有

$$R_2 = R_1 - d \sin \alpha \quad \text{.....(C.3)}$$

两次测量的干涉相位 φ 为

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = 4\pi d \sin \alpha / \lambda \quad \text{.....(C.4)}$$

在没有高精度角度测量仪的情况下，可基于距离几何关系条件：

$$\sin \alpha = h / R \quad \text{.....(C.5)}$$

推导获得形变量 d ：

$$d = -\lambda \varphi R / 4\pi h \quad \text{.....(C.6)}$$

R 可基于雷达高分辨距离像中观测点的位置自动获取， h 可基于雷达或卷尺测量获得。

C.2 毫米波雷达测试索力的原理

雷达干涉测量的基本原理见图C.2。

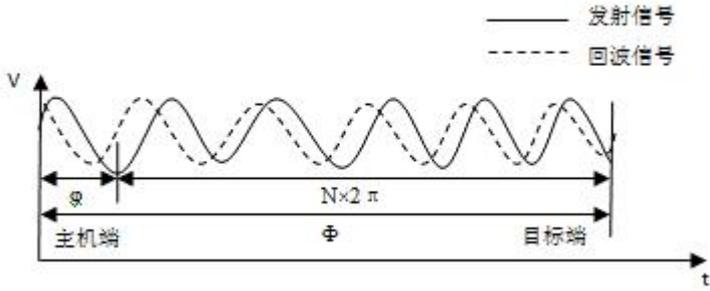


图 C.2 雷达测试原理图

采用干涉测量获得目标的形变量用于分析其振动特性，进行拉索索力测量时，由雷达设备发出的电磁波，遇到拉索后反射回来，从而获得了相位改变；再运用数值分析的方法对拉索振动频率时程曲线进行 DFT(离散傅里叶变换)变换，应按式(C.7)计算：

$$x_a(jf) = FT[x_a(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} x_a(t) e^{-j2\pi ft} dt \dots\dots\dots (C.7)$$

通过傅里叶变换，可以得到拉索振动的基频或倍频，利用频率法计算拉索索力的公式可以计算拉索的索力，索力按式(C.8)计算：

$$T = 4wl^4 f_n^2 / n^2 g \dots\dots\dots (C.8)$$

C.3 测量方法

C.3.1 测量前气候环境适应性

- 气候环境要求如下：
- a) 工作温度：-30℃~70℃。
 - b) 工作湿度：≤85%RH。
 - c) 现场天气要求：晴天、阴天、小雨天气下均可测量。

C.3.2 测量流程

测量流程见图 C.3。

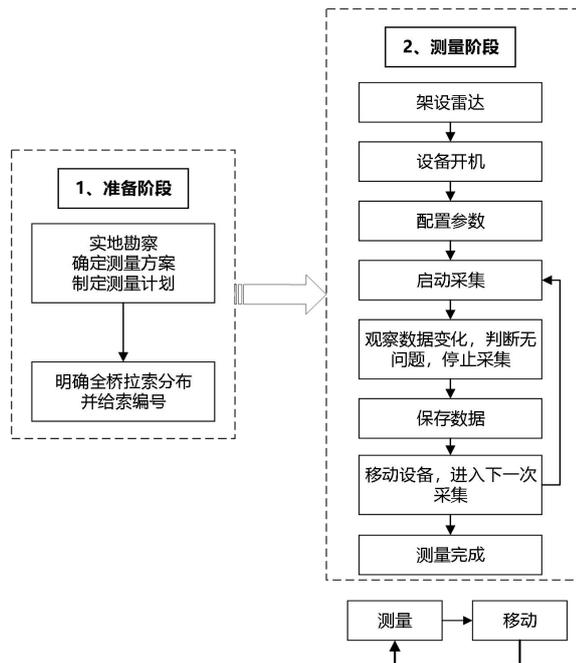


图 C.3 测量仪测量流程

整个测量过程分为准备阶段、测量阶段

C.3.3 测量准备阶段

测量前，需要准备的设备包括：雷达测量仪、云台、数据分析终端、电源、橡胶锤等。

- 数据分析终端在测量工作中，电池使用时间应 $\geq 8\text{h}$ 。
- 测量桥梁实地勘察，确定测量方案及测量计划。
- 确定拉索编号规则，并明确每根拉索的编号。

C.3.4 索力测量阶段

设备架设：

- 将测量三脚架展开，并稳固放置在地面。
- 将三脚架快装板和测量仪连接好，螺丝紧固，确保稳定，并安装到三脚架上。
- 将雷达测量仪信号线和测量笔记本连接好；将供电电源和测量仪连接好。
- 将安装好测量仪的三脚架放置在待测量拉索下方，见图 C.4，准备测量。

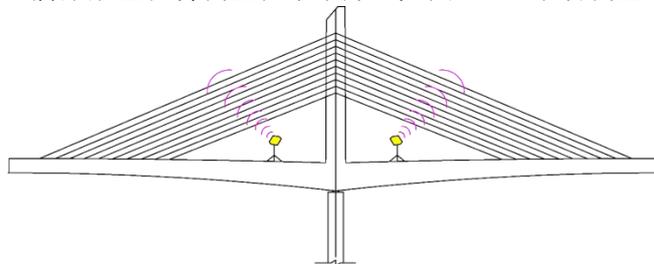


图 C.4 微波索力测量示意图

索力测量：

- 打开数据分析终端，运行索力数据采集软件。
- 根据测量拉索长度，选择适当的数据采样率；一般针对斜拉索，采样率宜设置为 50Hz；针对吊杆，采样率宜设置为 100Hz。
- 调节测量三脚架的俯仰角/水平角度，让被测量拉索在测量仪主波速宽度覆盖范围内，查看采集软件一维距离相，确保每根拉索反射回波信号较强。

d) 测量时，宜测量拉索的 $L/3 \sim L/2$ (L 为拉索长度) 位置，测量结果更加准确。实际测量过程中，可以通过调节三脚架测量位置，测量拉索不同位置，如图 C.5。

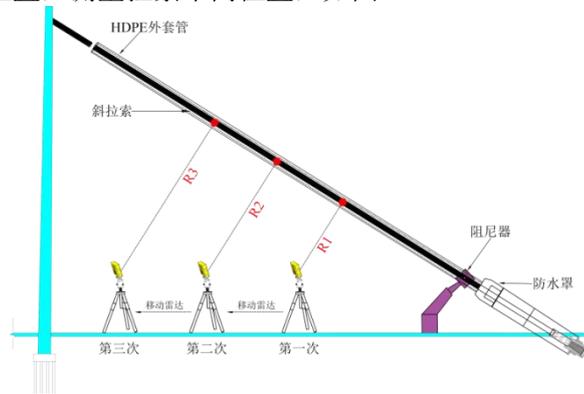


图 C.5 通过移动三脚架测量拉索不同位置

e) 将需要测量的拉索添加到测量列表中，并为待测量拉索进行编号；如果无法判断测量的是哪一根拉索，可以使用激光测距笔进行复核。复核方法是：将激光测距笔从测量仪天线发射处发射激光，指向被测量拉索，查看距离，并和采集软件中一维距离相中待测拉索距离进行比较，如果两者一致，则说明准确测量到拉索回波；如果不一致，则需要重新判断。

f) 进行数据采集，采集时间宜 $\geq 100\text{s}$ ；并查看分析频谱，如果频谱特征准确，则保存数据，否则需要重新测量，确保频谱准确。

g) 针对短索或者很粗拉索，位移变化比较小的拉索，可以使用橡胶锤进行锤击（连续锤击 3 次），采集锤击后的余波，查看频谱特征，直到数据准确。

h) 测量完成后，移动测量仪到下一根待测量拉索下方，进行下一组拉索测量。