

中华人民共和国交通运输部部门计量检定规程

磁通量索力检测仪

(征求意见稿)

编制说明

《磁通量索力检测仪》编写组

2017年8月22日

目 录

一、工作简况.....	3
二、标准编制原则和确定标准主要内容.....	4
三、主要试验（或验证）的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果.....	13
四、采用国际标准和国外先进标准的程度，以及与国际、国外同类标准水平的对比情况， 或与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况.....	14
五、与有关的现行法律、法规和强制性标准的关系.....	14
六、重大分歧意见的处理经过和依据.....	14
七、其他应予说明的事项.....	14

一、工作简况

1.1 任务来源

据《交通运输部关于下达 2016 年交通运输标准化计划的通知》（交科技函〔2016〕506 号）的要求，由交通运输部公路科学研究所主持承担《磁通量索力检测仪》检定规程的编写工作，计划编号为 JJG 2016-98。

1.2 协作单位

在本规程的制定过程中，得到了相关单位的支持、协助与配合，多次组织行业专家进行了研讨并开展了必要的试验验证工作，取得了大量具有建设性的意见、建议和试验数据，主要协作单位名单如下：

国家道路与桥梁工程检测设备计量站。

1.3、规程制定的必要性

常用的索力测试方法中，适应动态在线检测要求的只有频率测定法和磁通量测定法。采用频率测定法和磁通量测定法的桥梁索力检测设备与其他设备相比具有仪器便携化、检测精度高、成本低、可实现动态在线检测、应用场合广泛等优点，因此越来越被工程界所重视。进口桥梁索力检测设备由于价格高、服务周期长等原因，其市场正在逐渐减小。国产桥梁索力检测设备（频率式、磁通量式）已经在市场上占主导地位，并已成为检测单位的必备工具之一。

但是，目前由于桥梁索力检测设备没有相应的行业标准，使得仪器生产厂家不能实现技术参数的控制；没有相应的计量检定规程，导致计量部门无法对专用仪器设备进行真正有效的全面计量。为了防止质量低劣及不符合桥梁工程领域需求的频率式、磁通量式桥梁索力检测设备进入检测活动，必须要制定频率式、磁通量式桥梁索力检测设备的行业标准及计量检定规程，以规范桥梁专用检测仪器的制造工业。

鉴于以上情况，有必要在交通行业内编写完整的桥梁索力检测设备（频率式、磁通量式）行业标准及计量检定规程，为使用单位提供有保证的计量途径，满足桥梁基础设施建设的需要。

本项目为制定磁通量索力检测仪的行业标准及检定规程。磁通量索力检测仪具有动态响应好，寿命长，精度较高，安装方便等优点。安装位置可根据现场情况调整，可用于斜拉索、吊杆、系杆、体外索及预应力筋的内力检测和监测。

本规程适用于磁通量索力检测仪的首次检定、后续检定和使用中检查。

1.4 主要编制过程

2016年06月~2016年08月，成立标准起草组，对磁通量索力检测仪主要计量技术指标进行梳理，并编写草案稿；

2016年09月~2016年12月，试验完善行业标准及检定规程草案，形成征求意见稿；

2017年01月~2017年08月，征求意见稿发送检测机构、生产厂家等广泛征求意见，汇总反馈意见并修改征求意见稿，形成送审稿。

2017年09月~2017年10月，送审稿网上公示。

2017年11月，召开标准审查会，并根据专家意见对送审稿进行修改完成报批稿。

1.5、主要起草人及其所做的工作

人员	所做工作
周毅姝	1、统筹协调标准内容的编制。2、规划安排开展编制过程涉及的试验。3、统稿。
何华阳	磁通量索力检测仪行业标准修订方案确定
冷正威	拟建标准适用性试验
曹瑾瑾	磁通量索力检测仪行业标准试验验证
陈柳清	磁通量索力检测仪行业标准试验验证
张金凝	磁通量索力检测仪计量标准模型研究
任励硕	主要计量技术指标理论分析

二、标准编制原则和确定标准主要内容

2.1 规程编制原则

规程编制格式依据 JJF 1002—2010 国家计量检定规程编写规则。

根据磁通量索力检测仪使用的实际情况及未来的发展趋势，对行业内目前的使用范围

及需求进行了广泛的调研，了解了该仪器主要需要的计量参数进行规程制定，本规程确定了主要内容为计量性能要求、通用技术要求、计量器具检定控制等九个部分组成。

接受本规程制定任务后，交通运输部公路科学研究院制定小组首先搜集了部分国内标准资料，主要参照以下标准：JT/T 磁通量索力检测仪

2.2 主要内容

按照《国家计量检定规程编写规则（JJF 1002-2010）》的要求制定磁通量索力检测仪规程。在内容与格式上保持一致，规程的具体内容有范围、引用文件、术语、概述、计量性能要求、通用技术要求、计量器具检定控制（包括检定条件、检定项目、检定方法、检定结果的处理及检定周期）。

2.2.1 概述

伴随着我国经济建设和对外开放的迅速发展，桥梁技术的不断进步和人们对桥梁美学因素的要求，拉索技术日益广泛地应用在大跨度桥梁中。其中典型的应用有悬索桥的主缆、吊索，斜拉桥的斜缆索、拱吊桥的吊索等。作为上述大型桥梁结构的核心构件，桥跨结构的重量和桥上活载绝大部分通过拉索传递到塔柱上。据不完全统计，我国大跨径拉索类桥梁有 300 余座，绝大部分拉索存在不同程度的病害，近年来，因桥梁拉索断裂造成桥梁垮塌的严重事故也有所发生。2011 年宜宾小南门金沙长江大桥吊杆断裂，桥面垮塌；2010 年南坪玉屏大桥断裂换索。可见由于长期处于交变应力、腐蚀和风致振动的环境中，拉索极易造成局部疲劳与损伤，不仅导致其使用寿命缩短，且直接影响结构的内力分布和结构线型，危及整个结构安全。索作为一种柔性构件，与刚性构件具有不同的受力特性：没有抗压刚度，只能承受拉力，具有明显的几何非线性，容易产生松弛和应力损失。桥梁拉索的受力与工作状态是直接反映桥梁是否处于正常运营的重要标志之一。在设计和施工时，需要对桥梁拉索索力进行检测和优化，以使得塔、梁处于最佳受力状态。在成桥后，也需要不断监测索力的变化，了解拉索的工作状态，及时进行调整，使之符合设计需求。

中华人民共和国行业标准 CJJ99-2003《城市桥梁养护技术规范》5.9.5 中要求：“拉索索力必须每年进行一次测量，大桥竣工后最后一次调索的索力应与设计索力进行比较”。中华人民共和国行业推荐标准 JTG/T J21-2011《公路桥梁承载能力检测评定规程》中明确指出，索力是斜拉桥与悬索桥的主要加载测试项目之一，是反映桥梁状态的重要参数之一。因此桥梁索力检测业务是各检测机构是一种不可或缺的检测项目和基本能力。

索力检测是工程界亟待解决的问题。监测拉索索力的变化，就可以掌握结构本身的安全状态，可为及时的维护缆索，延长索的使用寿命提供依据，可保证各种大型结构的营运安全，具有极大的经济价值和社会价值。通过长期监测索力的变化情况，积累大量的数据也可以为科学决策和拉索结构设计提供依据，进一步提高拉索的使用安全性，具有极大的理论价值。

2.2.2 计量性能要求

磁通量传感器是基于铁磁性材料的磁弹效应原理制成。即当铁磁性材料承受的外界机械荷载发生变化时，其内部的磁化强度（磁导率）发生变化，通过测量铁磁性材料制成的构件的磁导率变化，来测定构件的内力。

将磁通量传感器穿心套在导磁材料构件外面进行测量时，初级线圈内通入脉冲电流，构件被磁化，会在构件的纵向产生脉冲磁场。由于电磁感应，在次级线圈中产生感应电压，由感应电压的积分值计算构件的磁导率。相对磁导率计算公式为：

$$X = 1 + \frac{S_0}{S_Y} \left(\frac{V_{out}}{V_k} - 1 \right) \dots\dots\dots (1)$$

式中： S_0 ——传感器面积，与传感器型号大小有关；

S_Y ——构件的净面积，与测量构件的大小有关；

V_{out} ——传感器内含构件测量时的积分电压值，即测量积分值；

V_k ——传感器内不含构件测量时的积分电压值，即空载积分值。

构件的磁导率增量 X 与内力 Y 的关系，可用三次方程表示：

$$Y = C_0 + C_1X + C_2X^2 + C_3X^3 \dots\dots\dots (2)$$

式中： C_0, C_1, C_2, C_3 ——标定拟合系数；

X ——测量时构件的磁导率相对于构件零力状态时磁导率的增量。

磁通量索力检测仪由磁通量传感器、磁弹仪、数据处理系统、传输线等组成。目前，市场上有闭合式磁通量传感器和开环式磁通量传感器两类。

闭合式磁通量传感器利用钢索作为铁心而达到励磁效果。主要用于施工期实时监控及后期的长期监测，将传感器安装在拉索上，为套入式安装，为穿心式传感器，较适合在新建桥梁拉索安装使用。因其在工厂制作好、标定完成后，在工地现场挂索的过程中，需要将传感器安装到拉索上，如果是成品索类，则需要工厂制索过程中，锚具安装前将磁通量传感器安装到拉索上。在既有的、运营中的桥梁上安装磁通量传感器，这样的方法显然是不适合的。所以哈弗式磁通量传感器应运而生，其是将传感器结构中除了线圈以外的零

部件都做成两瓣式，将传感器的制作地点搬到工地现场，在桥梁的拉索上制作传感器，将需要在工厂完成的绕线过程改在工地现场完成。对于已建成桥梁拉索不需要作任何改动，即可安装并进行索力监测工作。

开环式磁通量传感器主要用于施工后期索力的长期监测，对施工无特殊要求。其结构为两半式，夹在拉索保护管外即可，优势在于安装及维护方便，没有施工期限的限制，但成本较高，精度相对较低。

基于磁弹效应测量的磁通量传感器是一种无损、非接触测量方法，其测量时不需要了解构件的加载历史和使用情况，而是通过感应构件的磁特性变化实现应力的测量。磁通量传感器与常规传感器的主要不同在于构件是传感器的一部分，它直接感应构件的磁特性变化来测量应力，铁磁性材料的磁特性受化学成分、组织结构、杂质、缺陷、材料的非均匀性、温度等影响，因此磁通量传感器应用一般会考虑以下因素的影响：

a) 测量位置的影响

理论上缆索构件在自由段是均匀的，但是由于构件中化学成分、组织结构及构件截面大小和钢丝扭绞的影响，自由构件不同位置的测量积分值是不同的，即测力曲线一样，测量零点不均匀。对张拉已部分完成或已存在的服役构件，测量零点难以获得，取某点的测量作为参考点来测量会带来较大的误差，可以统计零点作为测量计算零点，降低测量误差。

b) 温度影响

钢材的磁导率随温度变化而变化，从而影响测量结果，测量时需消除温度影响。常温下（ $-30^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ ）构件磁导率与应力关系曲线本身的斜率却并不变化。这样在零应力下做好温度标定，然后通过温度补偿推广到其他温度下使用。磁通量传感器为绝对测量，修正温度影响后，测量精确度一般为3%以内。

c) 传感器密封性及水中测量

一般磁通量传感器的防水耐压性能比较好，传感器内充水或非导磁介质对测量结果无影响，与空气中的测量结果基本一样。

基于上述，提出磁通量索力检测仪检定规程的主要技术指标及要求。

2.2.2.1 索力示值误差

索力示值误差不大于 JJG 2045 力值（ $\leq 1\text{MN}$ ）计量器具检定系统、JJG 2066 大力值计量器具检定系统的要求。

索力示值误差详见表 1；

表 1 索力示值误差

传感器类型	传感器内径 (mm)	示值误差
普通式传感器	18~50	±1%
	50~100	±2%
	100~200	±2.5%
	200~300	±3%
哈弗式传感器	70~100	±4%
	100~200	±4.5%
	200~300	±5%

2.2.2.2 索力测量偏差系数

此表通过试验数据得到，项目组做作标准试验张拉台座，并有效对被检设备仪器进行了索力张拉试验，数据如表 2。

表 2 传感器内径与索力示值误差

传感器内径 (mm)		标准值 (kN)	测量值 (kN)	示值误差 (%)
18~50	18	160.00	159.00	-0.63
	20	180.00	181.30	0.72
	40	200.00	201.25	0.63
50~100	50	400.00	405.34	1.33
	60	500.00	494.15	-1.17
	80	600.00	609.23	1.54
100~200	100	1500.00	1468.35	-2.11
	140	3000.00	3065.63	2.19
	180	4000.00	4088.98	2.22
200~300	200	4500.00	4391.43	-2.41
	240	5000.00	5132.86	2.66
	280	5500.00	5619.73	2.18
	300	6000.00	6165.56	2.76

索力示值误差依据：从实验数据可看出磁通量索力检测仪在传感器内径 18mm~50mm 内索力示值误差基本在±1%内；传感器内径 50mm~100mm 内索力示值误差基本在±2%内；传感器内径 100mm~200mm 内索力示值误差基本在±2.5%内；传感器内径 200mm~300mm 内索力示值误差基本在±3%内。所以所检定分段给出索力示值误差的要求。

索力测量偏差系数测量偏差系数不大于5%。

磁通量索力检测仪是由磁通量传感器与磁弹仪组成的系统，通过软件将磁通换算成力值，换算过程为黑箱，换算软件是各生产厂家核心的保护内容，所以以往的检/校方式如分别对传感器、磁弹仪计量并不能反映两者协同工作的情况，目前市场不同品牌的磁弹仪仅与厂家自己生产的磁通量传感器适用，不同品牌无法适配。所以磁通量索力检测仪检定规程采用将传感器与磁弹仪整体输出的力值作为计量对象，这也正是检测机构所关心的量值，故磁通量索力检测仪规程计量指标主要为索力示值误差、索力测量偏差系数。

索力示值误差根据试验发现，跟力值范围有很大关系，故将其按测量范围分段考虑。

2.2.3 通用技术要求

磁通量索力检测仪外观应符合以下要求：

- a) 传感器的外观应保持整洁、无脏物；
- b) 传感器外观无制作过程中遗留的环氧砂浆，无明显的瑕疵、划痕；
- c) 所有结构连接件和电气连接件应安装牢固，不应有松动、脱焊、接触不良等现象；
- d) 仪器在工作环境下数字显示应清晰。

2.2.4 计量器具检定控制

检定器具如下：

- a) 标准测力装置

测量范围：（ $10 \sim 10^7$ ）N；力值重复性 3×10^{-4} ；力值稳定度优于 $\pm 3 \times 10^{-4}$ ， $U_r = 1 \times 10^{-3}$ ， $k=2$ 。

- b) 检定项目

检定项目见表 3，检定记录表格式见附录 A。

表 3 检定项目

检定项目	首次检定	后续检定	使用中检查
通用技术要求	+	+	+
索力示值误差	+	+	-
索力测量偏差系数	+	+	-

注：“+”表示必检项目，“-”表示不检项目。

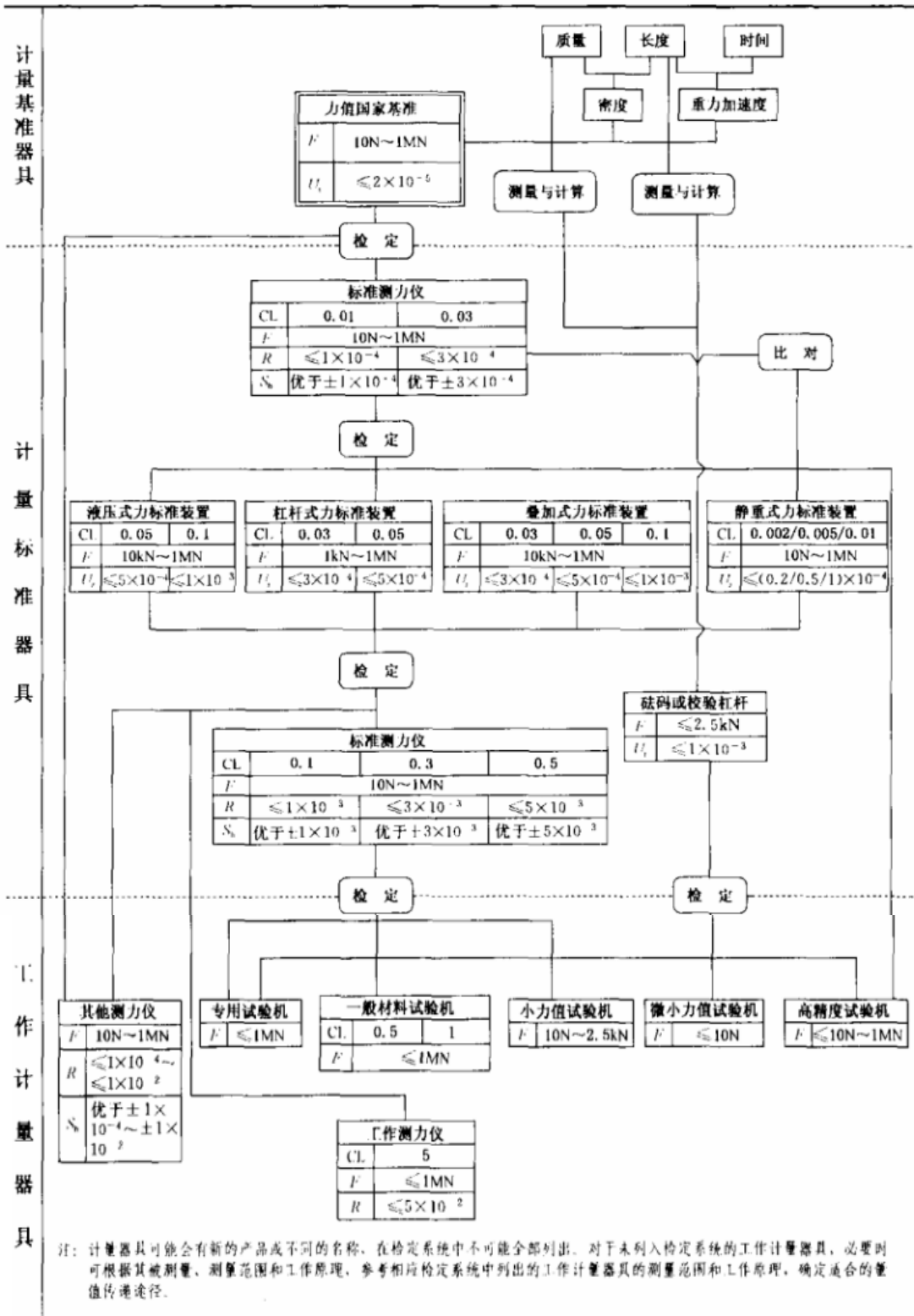
标准计量器具根据：

JJG 2045 力值 ($\leq 1\text{MN}$) 计量器具检定系统表

JJG 2066 大力值计量器具检定系统表选用

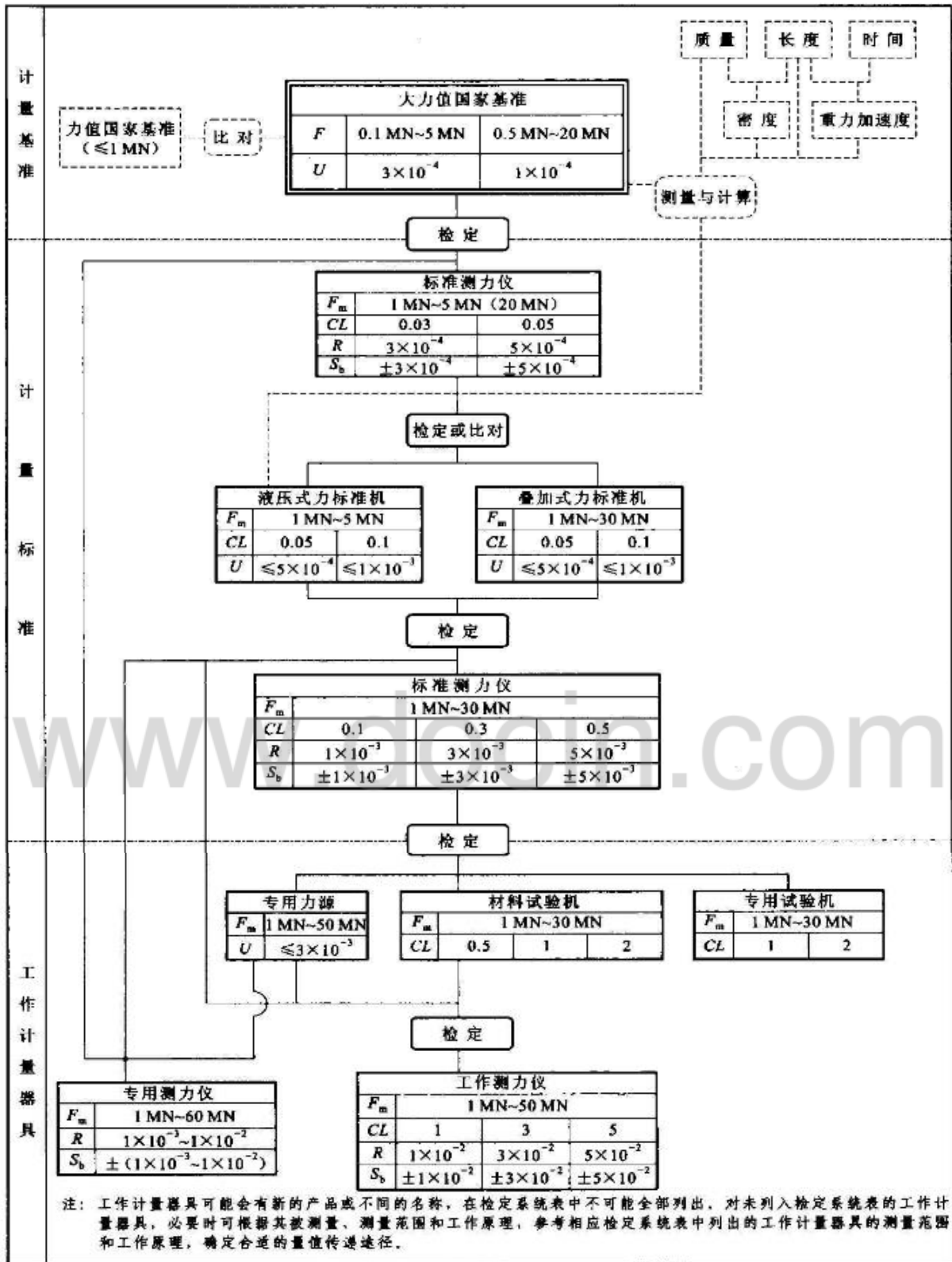
满足量值溯源的要求。

力值 (≤ 1 MN) 计量器具检定系统表框图



符号说明: F ——力值范围; U_1 ——力值相对扩展不确定度 (对于基准 $k=3$, 对于标准 $k=2$);
 R ——力值重复性; S_0 ——力值稳定度; CL——级别

大力值计量器具检定系统框图



符号说明： F —力值测量范围 F_m —力值测量范围上限 R —重复性 S_b —长期稳定性 CL —准确度等级
 U —扩展不确定度（计量基准 $k=3$ ，计量标准或工作计量器具 $k=2$ ）

c) 检定方法

1、索力示值误差检定过程如下：

- 1) 将被检磁通量索力传感器安装于液压式力标准装置台座一端;
- 2) 液压式力标准装置另一端安装标准测力计;
- 3) 张拉后分别读取标准测力计与被检仪器, 分别读数 F_0 与 F_1 , 按公式(1)计算示值误差。

$$\delta = \frac{F_1 - F_0}{F_0} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中:

δ ——索力示值误差;

F_1 ——磁通量索力测量值;

F_0 ——磁通量索力标准值。

2、索力测量偏差系数检定过程如下:

- 1) 采集同一输入的索力值, 并重复 10 次。
- 2) 按以下公式(2)(3)计算索力测量试验标准差;

$$S_f = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_i - F_0)^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2)$$

$$C_{vf} = \frac{S_f}{F_0} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中:

S_f ——索力测量标准差;

F_i ——索力测量值, $i = 1, 2 \dots \dots 10$;

F_0 ——索力测量标准值;

C_{vf} ——索力测量偏差系数。

三、主要试验(或验证)的分析、综述报告, 技术经济论证, 预期的经济效果

磁通量索力检测仪是桥梁索力的主要检测仪器之一, 由于地区经济发展不平衡, 仪器生产存在厂家多、市场混乱、产品质量与可靠性等不近人意的状况。同时为了迎合市场, 低价中标, 大量精度误差超标、质量稳定性不高的试验检测仪器大量流入试验检测市场。这种状况与当前桥梁建设的发展需要很不适应, 已经严重影响了桥梁结构的建设质量管理工作。为确保桥梁结构建设工程质量, 制定相关交通检定规程, 对于规范仪器生产、销售、使用等诸方面均具有十分重要的现实意义。

四、采用国际标准和国外先进标准的程度，以及与国际、国外同类标准水平的对比情况，或与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况

无。

五、与有关的现行法律、法规和强制性标准的关系

无。

六、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

七、其他应予说明的事项

无。