

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2209262

工程质量检测综合校准装置的研制

李凌梅 王保钢 陈洁 李青 刘亚楠

(天津市计量监督检测科学研究院 天津 300192)

摘要: 作为国家法定计量检定机构,为了保障建筑工程质量,减少建筑工程事故,几何量项目组认真汇总并研究了目前检定校准需求量较大的建筑工程计量器具的共性和差异性,设计制造了一套新型工程质量检测综合校准装置。这套装置通过平直度校准主要结构、垂直度校准主要结构、厚度校准主要结构、角度校准主要结构及其辅助设计,对建筑工程质量器具实现多维度、多参数校准。从而基本涵盖了目前工程质量基础检测计量器具在几何量领域的全部校准,并且满足现有的建筑工程质量相关器具的1/3标准器精度要求,实现可靠的量值溯源和量值传递。本装置是一套创新、综合、实用的高精度计量标准。

关键词: 工程质量;校准装置;几何量;计量

中图分类号: TH711 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 410.55

Development of comprehensive engineering quality calibration device

Li Lingmei Wang Baogang Chen Jie Li Qing Liu Yanan

(Tianjin Institute of Metrological Supervision and Testing, Tianjin 300192, China)

Abstract: As a national legal metrology institution, the geometric quantity project team has designed and manufactured a new comprehensive construction quality calibration device to ensure the quality of construction projects. The device achieve multi-dimensional, multi-parameter calibration though the flatness and straightness main calibration structure, the verticality main calibration structure, the thickness main calibration structure, the angle main calibration structure and their auxiliary design. It almost covers all the calibration of current construction quality basic measurement instruments in the field of geometric quantity, meets the 1/3 main measuring instruments accuracy requirements, and realizes reliable traceability and dissemination of value of quantity. It is an innovative, comprehensive and practical high-precision measurement standard device.

Keywords: construction quality; calibration device; geometric quantity; metrology

0 引言

建筑工程质量是国家发展的“生命线”。随着我国工业化、城镇化、信息化的快速发展,近年来,建筑工程质量事故的发生和曝光日趋增多^[1]。这些事故给国家和人民的生命财产造成了重大损失,建筑工程的质量检测和监督因此成为重中之重^[2]。

建筑工程质量检测器组及相关计量器具,是对建筑物垂直度、水平度、高度和倾斜度等参数进行测量的计量量具,是建筑工程中使用频率最高、适用范围最广的一类检测工具。送检量很大,计量需求高。国内检定校准机构,对于不同的参数或是计量器具,普遍根据规程规范,采用单一传统的校准装置和校准方式^[3-5]。由于建筑工程质量相关器具种类较多,需要计量的几何量参数众多,因此其计量过程中使用的标准器种类繁多,检定校准过程复杂,计量人员相

关的工作量大^[6]。目前在这一领域,国内只有适用范围单一的检定校准器具,不能够很好地满足社会对量值溯源和校准服务的需求。

为了减少建筑工程事故,提高建筑工程质量,本文积极响应国家发挥计量对质量发展的支撑和保障作用的号召,通过平直度校准主要结构、垂直度校准主要结构、厚度校准主要结构、角度校准主要结构及其辅助设计,采用“一对多”模式,即一套标准器采用多种计量原理,运用多种校准方法,对应多种被校器具,开发研制了国内第一套工程质量综合校准装置,满足社会对量值溯源和校准服务的需求。

1 装置设计

1.1 平面度、直线度相关校准

平面度、直线度属于形状公差中的一种。形状公差是

收稿日期:2022-03-14

指单一提取要素形状的允许变动量。直线度误差是指被测实际线对其理想直线的变动量,反映了被测直线的不直程度^[7]。平面度误差是指实际表面对其理想平面的变动量,反映了被测平面的不平程度^[8]。这两个参数用于控制平面或空间直线的形状误差。

平面度直线度的校准,主要是以平板为基础,平板采用三点支撑,如图1所示,在平板 x 和 y 方向的中间位置分别贴有水泡。通过水泡的位置可以实现平板的初步调平。再用自准直仪或电子水平仪可以实现平板平面度的溯源。以溯源后的平板为标准,通过观察被校器具与平板的缝隙,利用光隙法可以得到被测物的直线度。必要时可以利用量块或塞尺作为辅助进行更大范围及精度更高的测量。



图1 平板三点支撑示意图

1.2 垂直度、铅直度相关校准

垂直度是方向公差中控制被测要素与基准要素夹角为 90° 的公差要求,是限制实际要素对基准在垂直方向上变动量的一项指标。

垂直度校准的关键是立柱垂直度的溯源。在平板上做一个垂直于平板的立柱,经过垂直度的溯源后,这个立柱就可以作为标准直角尺。将直角尺靠在平板和立柱构成的标准直角尺上。跟直线度的校准类似,可以用光隙法进行垂直度的测量,同时可以用量块或塞尺辅助进行更大范围及精度更高的测量。

铅直度,是被测表面与大地水准面间的垂直度,可以说是垂直度检测中的一种特殊情况,其方向是竖直向下。

铅直度的校准,可以采用先利用调整水泡等方式校准液面水平,再将垂直于此水平基面的面作为竖直面原理来校准竖直面。也可以直接利用铅直基准作标准器。由前面的原理分析,利用铅直基准作标准器的方法更为直接,引入的误差分量也更少。所以本文采用后者。在立柱的顶端打一个孔,里面插入一个轴,将铅垂线悬于轴上,自然落体下垂,如图2所示。铅直零位是重锤由于重力作用带动指针作钟摆运动的结果,将底部重锤放入油中,可减少铅直线振荡平衡的时间^[9]。同时在铅直线前方设计一个固定悬臂,悬臂底端的缝和铅直线,实行机械上的双线套单线的对准模式,进行铅直的零位校准。零位校准后,再在悬臂旁边设置一螺旋测微器,通过螺旋测微尺将悬臂轻轻推起,通过被测尺和螺旋测微器的读数,可以测得铅直的示值误差。

1.3 工程厚度的校准

工程厚度量具,主要作用一般是测量工程质量的间隙,如楔形塞尺。在平板的正上方,设计一个表架,如图3所示,将指示表插于表架中。指示表与楔形厚度块并不直接接触,而是通过拨叉连接,用拨叉下面的测头代替指示表自身测头和被测物接触,这样设计的好处是,能保证指示表自

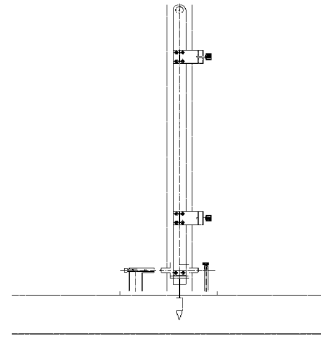


图2 垂直度、铅直度相关校准机构部分

身测头的干净,减少污染和磨损,增加高精度指示表的使用寿命。并且,拨叉下方的测头可以根据需要更换为刀口形,针形,平面测头等,以适应不同楔块、厚度块等的表面,增加整套装置的适用性^[10]。

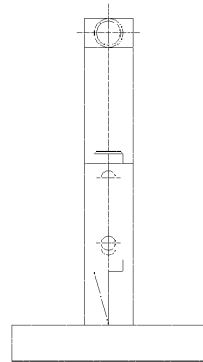


图3 工程厚度校准机构部分

1.4 工程角度的校准

工程角度量具,一般是用于检测地面的倾斜程度。如图4在平板上设计一个托板,托板的尾部设计一个固定的指示表支架。托板的两边是支架,一边是固定支架,另一边则是可调支架。固定支架顶端是一个铰链,托板可绕铰链旋转。可调支架是由下方设计的螺旋微动装置进行微动调整。当螺旋微动装置向上旋转时,托板被慢慢托举起来;当螺旋微动装置向下旋转时,托板由于自身重力,慢慢随着下降。整个上下微动的位移可由托板尾部的指示表读出。上下移动的位移与托板长度的比,即为变化角度值^[11]。

$$\alpha \approx \sin\alpha = \frac{H_0}{L_0} \quad (1)$$

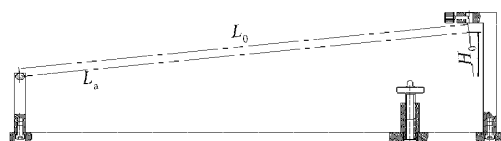


图4 工程角度校准机构部分

底面平板选用大理石材质,可以作为平面度、直线度相关校准的主标准器,同时是承担整体机械结构的重心稳固作用的底座;底面平板左侧切割出不同尺寸和位置的 v 形

槽,用于放置钢筋和标准厚度板,从而对于钢筋位置厚度测量仪等仪器类进行校准;右侧空位可以进行平面度直线度的校准,同时可安放能灵活拆卸的配套测厚装置和测角装置。配套测厚装置和配套测角装置,可以固定在底座上,也可单独使用。测厚装置可实现标准厚度的校准;测角装置可实现微小位移,从而实现小角度的校准。

垂直于底座的立柱,是实现垂直度、铅直度相关校准的立柱角尺。立柱顶端有轴,将铅锤和悬臂挂在轴上,悬臂下端开一条比铅直线直径略宽的细缝,以细缝的左右边缘作为双套线,对铅直线的单线进行对线,作为校准垂直度检测尺零位误差的标准。

其余结构如夹紧附件及垫块系列等可用于夹紧、垫高或是初始值不为 0 的一些厚度及角度校准,是在此基础上的增加和改进。最后在底面平板和立柱的空余位置激光刻印标准线纹,经过计量溯源后,即可进行如对角检测尺线纹类的量传。

整套装置装配组合后,如图 5 可作为一个整体工程质量检测综合校准装置,实现工程质量中基本的平面度、直线度,垂直度、铅直度,厚度,倾斜角度,线纹等多维度校准和多参数的测量,从而在这一套装置上就可以实现目前工程质量基础检测计量器具在几何量领域的全部校准,完成相关标准器的量值传递。整套装置设计结构简洁,使用方便,实用性强。

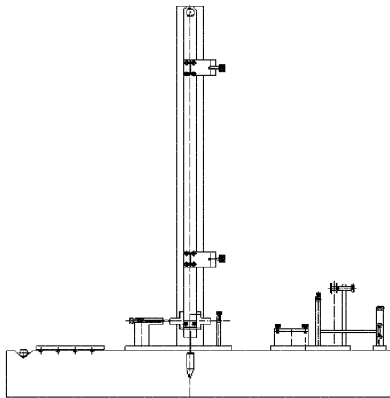


图 5 整体装置机构装配示意图

2 实验数据

分别采用垂直度检测尺、楔形塞尺和坡度尺进行校准,对于直线度、垂直度、工程厚度及角度进行实验验证。校准数据如表 1~3。

通过对垂直度检测尺、楔形塞尺和坡度尺等具代表性的建筑工程质量器具进行校准,校准数据均符合规范要求,说明工程质量检测综合校准装置准确度高,重复性好,适用于直线度、垂直度、工程厚度及工程角度的校准。

3 不确定度评定

通过整套装置各部分的不确定度评定,可以评价装置

表 1 垂直度检测尺校准数据

工作面的直线度		<0.2 mm		
3 个支点的端面到工作面间的垂直距离差	支点 1:	10.05 mm	0.07 mm	
	支点 2:	10.04 mm		
	支点 3:	9.98 mm		
示值变动量	1	0 mm	0.1 mm	
	2	0 mm		
	前	3		0.1 mm
		4		0 mm
	后	5		0 mm
		1		0 mm
		2		0 mm
	3	3		0 mm
		4		0 mm
	5	0 mm		
示值误差	校准点	测微头读数	被测尺读数	
	3 mm 点	3.00 mm	3.0 mm	
	4 mm 点	4.00 mm	4.0 mm	
	5 mm 点	5.00 mm	5.0 mm	
	6 mm 点	6.00 mm	6.2 mm	
	-3 mm 点	-3.00 mm	-3.0 mm	
	-4 mm 点	-4.00 mm	-4.1 mm	
-5 mm 点	-5.00 mm	-5.2 mm		
-6 mm 点	-6.00 mm	-6.2 mm		

表 2 楔形塞尺校准数据 mm

标称值	实测值
1	1.010
2	2.020
3	3.030
4	4.030
5	5.050
6	6.060
7	7.045
8	8.060
9	9.050
10	10.050

表 3 坡度尺校准数据

水准器的零值误差		<0.2 个格	
示值误差	校准点	指示表读数	被测尺读数
	10 mm 点	10 mm	3.0°
	15 mm 点	15 mm	4.4°
	20 mm 点	20 mm	5.8°
	25 mm 点	25 mm	7.2°
	30 mm 点	30 mm	8.6°
	40 mm 点	40 mm	11.6°
	50 mm 点	50 mm	14.4°

能够满足 1/3 标准器精度要求,可用于建筑工程标准器组的计量^[12]。由于篇幅限制,下面仅以垂直度检测尺以铅垂线为标准的铅直度不确定度分析为例进行判定。

3.1 测量方法简述

将垂直度检测尺悬挂在立柱轴上,让其自然下垂,以铅垂线为基准,采用双刻线对线对零,被校垂直度检测尺的读数数值减去标准值即为示值误差。

3.2 数学模型

测量过程可简单表达为下式:

$$\delta = V_x - V_s \quad (2)$$

式中: δ 为示值误差; V_x 为被校垂直度检测尺的读数数值; V_s 为标准值。

由式(2)知,被校尺示值误差的测量不确定度将由 V_x 、 V_s 等参数及其不确定度确定,且上述各参数间均相互独立。

3.3 合成标准不确定度及其灵敏系数

合成标准不确定度 u_c 可表示为:

$$u_c^2 = u^2(\delta) = c_1^2 u^2(V_x) + c_2^2 u^2(V_s) \quad (3)$$

灵敏系数 $c_1(V_x) = 1, c_2(V_s) = -1$ 。

3.4 各分量的标准不确定度估算

1)与标准器有关的不确定度分量

(1)对零对线引入的不确定度分量 u_1

由于人眼大约能分辨出 0.1 mm 的线纹,估计为均匀分布,取 $k = \sqrt{3}$,则:

$$u_1 = 0.1 / \sqrt{3} = 0.06 \text{ mm}$$

(2)测微计的不确定度分量 u_2

测微计最大允许误差 MPE: $\pm 4 \mu\text{m}$,估计为均匀分布,

取 $k = \sqrt{3}$,则:

$$u_2 = 4 / \sqrt{3} = 2.3 \mu\text{m} = 0.002 \text{ mm}$$

(3)铅直线引入的误差

由于铅直线是重力自然下垂作用,方向即为重力方向即铅直方向。在实验室无风无磁的环境下,铅直线引入的误差可以忽略不计。

2)由被校尺重复性导致的不确定度分量 u_5

对垂直度检测尺重复进行 10 次测量,数据如表 4。

根据贝塞尔公式,得出 $s = 0.003 \text{ mm}$,故

$$u_5 = s = 0.003 \text{ mm}$$

3.5 合成标准不确定度

以上各分量相互独立,合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{\sum (u_i^2)} = \sqrt{0.06^2 + 0.002^2 + 0.003^2} = 0.06 \text{ mm} \quad (4)$$

3.6 包含因子和扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$,则扩展不确定度

$$U = k u_c = 0.12 \text{ mm}$$

由于扩展不确定度 $U = 0.12 \text{ mm} < 1/3 \text{ MPE} = 0.5 \text{ mm}$,所以此装置满足校准建筑工程器组的垂直度检测尺器具标准

器的精度要求。

表 4 重复性试验

序号	测得值 x_i /mm
1	0.01
2	0.01
3	0.01
4	0.01
5	0.01
6	0.00
7	0.01
8	0.01
9	0.01
10	0.01
\bar{x}	0.001
$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$	0.003

4 结 论

建筑工程质量是国计民生的大事,是社会经济发展和人民生活安全的保障。保证良好的建筑工程质量计量器具溯源和量值传递是我们的重要工作^[13]。通过工程质量综合校准装置的研制,可以将常见的工程质量参数和工程质量器具进行统一、方便、更精准的检测,实现了“一对多”的校准和量传模式。

这套装置的基础构造搭建完毕后,仍有很多可以改进的地方:1)通过与计算机及 CCD 成像系统的连接,可实现装置的自动化和可视化,能大大减少检定人员的劳动强度,从而提高其工作效率。2)通过加工精度的提高、计量溯源后的修正、辅助设备的更新,例如指示表等都可以更新成目前精度更高一个等级的光栅测微仪,来实现整体装置更高精度的测量。而这些,都是下一步要做的工作。

随着建筑工程质量计量器具的种类的增加,型式规格更加多样,溯源方面也提出了更高的要求^[14]。作为新一代计量机构,我们要与时俱进,尽力满足广阔的市场需求和技术进步空间提出的新要求,大力推动计量检测的服务质量迈向国内国际高端水平^[15]。

参考文献

- [1] 杨国超. 浅谈建设工程质量监督管理工作存在的问题及建议措施[J]. 工程质量, 2021, 39(S1):19-21.
- [2] 陈浩杰. 浅谈建设工程质量管理与控制[J]. 工程质量, 2021, 39(S1):131-134.
- [3] 阎志京, 汪丰焰, 郑华, 等. 水平尺校准规范:JJF1085-2002[S]. 全国几何量角度计量技术委员会, 2002, (1): 1-9.

- [4] 张恒, 吴迅, 张勇, 等. 钢筋保护层、楼板厚度测量仪校准规范: JJF1224-2009[S]. 全国几何量工程参量计量技术委员会, 2009, (1): 1-8.
- [5] 于冀平, 晏浩, 时学香, 等. 建筑工程质量检测器组校准规范: JJF1110-2003[S]. 全国几何量长度计量技术委员会, 2003, (1): 1-8.
- [6] 孟玲辉, 张浩. 如何优化建筑施工管理以提高建筑工程质量[J]. 中国住宅设施, 2021, (10): 131-132.
- [7] 刘雅荣. 一种简单测量直线度误差的方法—光隙法[J]. 中国计量, 2020(2), DOI: 10.16569/j.cnki.cn11-3720/t.2020.02.035.
- [8] 谭文, 方森, 段峰, 等. 基于机器视觉的 3D 激光平面度测量系统的研究与应用[J]. 仪器仪表学报, 2020, 41(1): 241-249.
- [9] 任喜伟, 何立风, 宋安玲, 等. 油水界面测量与计算[J]. 仪器仪表学报, 2019, 40(9): 95-115.
- [10] 涂小华, 张正. 套筒齿轮零件机械加工工艺设计[J]. 内燃机与配件, 2021(21): 113-114.
- [11] 王培堂. 简易适用型的坡度尺的计算和使用[J]. 城市建设, 2019, 16(4): 317.
- [12] 谷友艺, 蒋理兴, 孙振雄, 等. 野外基线溯源技术研究[J]. 电子测量技术, 2019, 42(10): 1-5.
- [13] 王超, 申祎, 仇星, 等. 基于优化视觉词典的震后高分遥感影像震害建筑物检测[J]. 电子测量与仪器学报, 2020, 34(10): 40-50.
- [14] 乔蓓蓓, 陈莎莎. 浅谈建设工程质量监督要点新变化[J]. 中国建设信息化, 2021(19): 74-75.
- [15] 王瑞宝. 基层保障单位测量设备校准周期优化方法研究[J]. 国外电子测量技术, 2020, 39(10): 119-124.

作者简介

李凌梅, 硕士, 工程师, 主要研究方向为几何量计量。

E-mail: tjllm333@126.com