

# 确定 E1 砝码的体积

## 确定固体体积的自动测试设备

### 摘要

为了校正空气的浮力，必须确定砝码的体积，这是对目前计量学会要求的一项关键能力。奥地利联邦计量测量部（BEV）和维也纳技术大学，应赛多利斯哥廷根公司的要求，并与之合作，研制了全自动砝码装载系统，在质量比较仪下称重，用于 1 千克质量比较仪中 E1 砝码和铅垂体积的确定。这样，通过与一个体积基准（例如，一个硅球）直接比较，采用流体静力学的称重原理，可以用于从 1 克到 1 千克的连续体积。这项工作由新研制的全自动放入机构进行，既可用于完全浸没的砝码，也可用于替代砝码。这个系统在联邦计量与测量部使用，进行与质量确定有关的体积测量，以及在其他计量学会和质量合格的校准实验室里使用。

### 介绍

使用传统的测试设备确定质量，一般在常规条件下，在空气中进行。但是，空气的质量（1 立方米重约 1.2 千克），会使这个过程产生系统误差。每个固态物体都受到与它所排开的空气量有关的浮力的影响（阿基米德定律）。空气浮力使得 1 千克不锈钢砝码看起来比实际轻了大约 0.15 克。如果测试重物的密度与质量基准密度相同，密度相同的砝码浮力相同，空气浮力就可以不予考虑。但是，如果测试重物的密度低于质量基准的密度，则它 1 千克体积所占据的空间大于 1 千克质量基准所占的空

间。这样，测试重物受到的空气浮力较大，看起来比它的实际重量要轻。

这就是为什么在需要高精度地确定质量时，必不可少地要确定密度，这对计量学会、质量合格的校准服务机构和类似的实验室都是非常重要的。这一点反映在国际规范中，例如，用于 1 千克 E1 砝码的 OIML R111 规范，允许的质量公差仅为 0.5 毫克。如果在确定质量时不确定砝码的密度，不用浮力进行必要的校正，就无法获得这样的精确度。

借助于与密度基准的比较测量法，对固体密度进行的高精度测量，例如由国家计量学会—包括联邦计量与测量部—所进行的测量，测量元件准备工作和安装工作都很复杂，在大量的测试重物上需要花费大量的时间。

### 要求与目标

基于多年的极好的合作，联邦计量与测量部和维也纳技术大学生产工程学院，与德国哥廷根赛多利斯公司一起，研制和建造了一套确定砝码体积的全自动测试设备。目标是使流体静力学密度测量法符合 OIML R111 规范（对于若干固体或砝码，等级 E1）。这种程序以质量比较为基础，与称重不同，采取具体的步骤，保证测量室中的温度尽可能稳定。研究的成果是一套对范围从 1 克到 1 千克的多达八个砝码进行密度分析的试验设备。



图 1 BEV 的 VD1005 体积质量比较仪

## 系统设计

试验设备建成塔的形式（图 2）。装液体的双层壁储存罐安装在最下层。外层装有普通水，起到调节温度的作用，经由一个外接温控器进行调节。挡板保证水始终环绕着内层容器均匀地流动。稳定的温度由环绕在整个系统上的一层 40 毫米厚的绝热层来保证，绝热层使用隔热金属。另外，试验设备各层都有绝热措施，防止质量比较仪周围产生对流。内层容器—测量元件—应尽可能小，以便使用的高纯度测量液体尽可能少，且除了一个很小的入口之外，完全被外层液体所环绕。在各处进行的温度调节，都可以使温度层的形成降低到可以忽略的程度。测量液体的温度由两个对角安装的高精度传感器进行监测（符合 ITS90 的 25 欧姆标准的耐腐蚀的铂温度计（SPRT））。对于替代砝码和测试重物，选择质量比较仪以下的某个位置。（图 3 和图 4）。

这样就排除了作用在称量元件上的偏心载荷问题。专门研制的装载装置，可以放入 1 克到 1 千克的砝码和密度基准球，无须重新排放，将其准确定位在质量比较仪的悬浮装置中。载入机械装置决定砝码在测量液体容器里自动放置空间中的位置。

整个控制系统以及所有的电子元件都装在一个控制柜里（图 1）。系统由一台工业用电脑进行控制，电脑同时还用来计算数据。为了确定环境参数，此装置配有空气压力传感器、湿度传感器和空气温度传感器。为了排除测量过程中的误差，还使用了其他一些传感器。

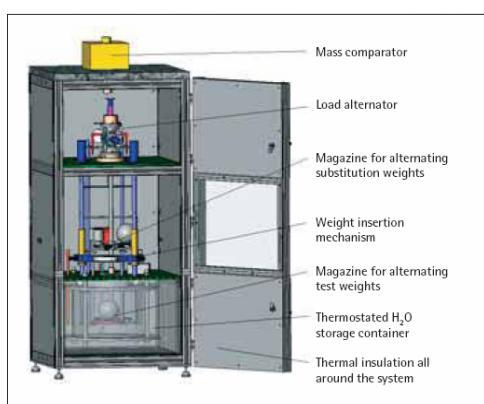


图 2 单元的 CAD 模型



图 3：从称重室里的自动装载上面看  
替代砝码的自动装载装置

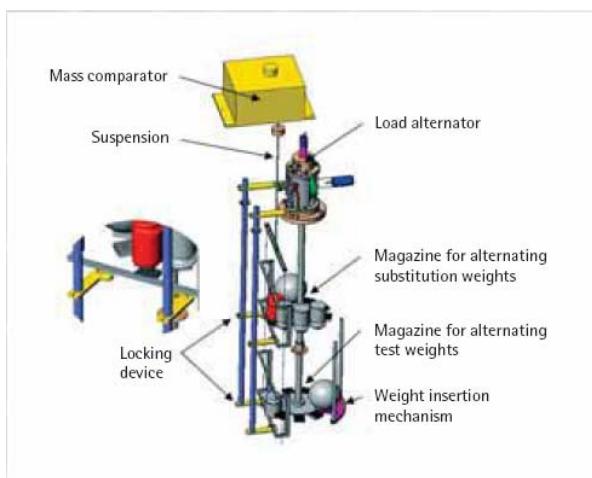


图 4: 悬浮液与装载系统

**测量程序**  
与其他系统不同，本装置使用质量比较仪，将每个测试重物直接与体积基准进行比较。但是，这就意味着，要么测试重物必须具有与它本身质量相同的基准，要么每个物体的被测重量，必须使用一个在空气中的替代砝码通过基准对不同的质量进行校准。这两种方法都可以使用本装置进行。这样就可以采用质量不同的测试重物直接与体积基准（例如，硅球）比较。虽然作为传输信号的测量液体的密度始终被监测，但是由于这个质量的分散能力，它不是最重要的。重要的是确保测量期间（大约 2 分钟）密度保持恒定。软件的用户接口提示操作者放入基准砝码、测试重物及合适的替代砝码，准备测量。这就必须使用载入装置；一旦砝码浸入液体中，必须确保砝码上没有空气泡，在这一点上，这是非常重要的。可供基准砝码和测试重物使用的位置共有九个。一旦输入了顺序号和循环号，测量就可以开始。

## 软件

软件（图 5）帮助操作者进行准备和实施测量。除了全自动测量程序之外，操作者可以选择单独进行个别步骤（单一步骤模式）。另外，程序给操作者显示来自实时传感器的所有测量数据，以及当前的测量进展。

每次测量的结果，是包括每个测试重物的体积、密度和质量，并带有测量调节和默认值的全套文件。测量值和所有相关数据可以提供原始值的输出，也可以提供包括测量数据全部计算值的打印输出。

在联邦计量与测量部对初始系统进行确认和试验时，固体密度自身的比较测量 – 在这种情况下使用一个铅锤（耐热玻璃球，质量约为 119 克，体积约为 97 立方毫米） – 使用新的试验设备，显示体积偏差小于 0.9 立方毫米，质量偏差小于 0.07 毫克。与联邦计量与测量部的基准砝码比较，也显示出优异的结果。在联邦计量与测量部，已经在使用一套设备，用于测量质量为 1 克到 1 千克的砝码（重物）的体积，正在进行内部和外部校准。

Christian Buchner, Dietmar Steindl, 联邦计量与测量部, 维也纳

Johannes Bernreiter , Christoph Einspieler, 维也纳技术大学生产工程学院

读者服务号: 245

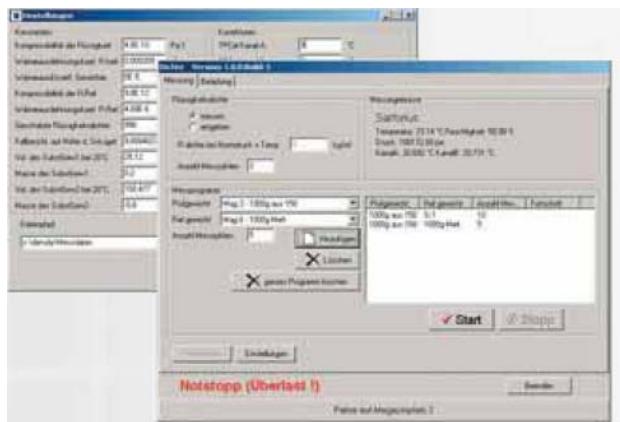


图 5 软件（图为德语版本）