



张钟华,中国工程院院士,电磁计量专家。现任中国计量科学研究院一级研究员,长期从事电磁计量国家基准的研究设计工作。

## 科技创新离不开计量科学的发展

张钟华

中国计量科学研究院,北京 100029

随着人类社会的发展,很早就已经有了对“计量工作”(古时称为“度量衡”)的要求,如“丈量各种物品的大小(包括丈量土地)”“称量物品的轻重”等。但当时对“计量工作”的管理主要是行政方面,科技含量并不高。

随着现代制造业的逐步发展,制造产品的数量大幅提升,国内及国际贸易快速发展对计量工作提出了越来越高的要求。现代化的各种产品都要经过性能检测才能判断是否合格,能否投入市场。用于性能检测的仪器配备有该仪器的“标准量具”。检测结果就是这些“标准量具”测量得出的。为保证检测结果的准确性,仪器的“标准量具”每隔一定时间要用“计量标准”进行“检定”,考察“标准量具”的准确性和稳定性。

“计量标准”有很多种类。经过科学家的长期

研究,最基本的“计量标准”有7种,称为“计量基准”。即“时间-频率基准”“长度基准”“质量基准”“电流基准”“温度基准”“光度基准”和“物质质量基准”。

一个国家最高准确度的“计量基准”保存在国家计量机构中。各个地方上也有计量机构,对地方厂商的仪器标准进行“测量”,以保证产品的质量合格。每隔一段时间,地方计量机构就要请国家计量机构对他们所用的“计量标准”进行“检定”。检定后,地方计量机构就用新得到的数据作为依据,对地方上厂家的仪器进行“测量”。这样的周期一般为一年。特殊情况按实际要求确定。

现代的国际产品贸易发达。为保证各国的“计量基准”给出的数据一致,国际上,1875年在法国巴黎成立了“国际计量局”,其中保存着最稳定的

“计量基准”。一定时间后,各国会把本国的“计量基准”送到“国际计量局”进行比对。这样,国际贸易中因产品质量而发生的纠纷就会大大减少。

因此,计量工作对现代化的生产和贸易非常重要。各国政府均成立了自己的国家计量机构,并定期把自己国家的“计量基准”与“国际计量局”的“计量基准”进行比对,这对该国的产品生产起着非常重要的作用。

在20世纪60年代以前,各国的“国家计量基准”以及“国际计量局”保存的“计量基准”都是精工细作的“实物基准”。例如“铂铱合金刻线尺”“铂铱合金砝码”“标准电池组”“标准电阻组”等。这些“实物基准”的问题就在于它们是“实物”。随着时间的推移,这些“实物”所保存的量值总会有一些变化。即使各国都把本国的“国家计量基准”所复现的量值向“国际计量局”看齐,但“国际计量局”保存的也是“实物基准”,随着时间的推移其量值不可能保持不变。实际上问题并没有从根本上解决。

20世纪量子科学的发展,为解决上述问题找到了新的出路。

在“时间-频率计量”方面。20世纪50年代之前,“时间-频率计量标准”是用天文观测地球绕太阳的运动建立的。经过大量的量子科学实验研究,证实铯原子的一种同位素“<sup>133</sup>铯原子”受激发发出的一根谱线,频率特别稳定。其不稳定性可小于 $10^{-13}$ ~ $10^{-14}$ 数量级。基于这样的谱线制成的“时间-频率计量标准”称为“原子钟”,比用天文观测建立的“时间-频率计量标准”的稳定度高出很多数量级。20世纪60年代,国际计量大会就决定改用“<sup>133</sup>铯原子钟”作为“时间-频率计量标准”。

在“长度计量标准”方面,依靠量子科学实验,亦迅速跟上了步伐。20世纪60年代,科学家发明了波长特别稳定的“激光”。根据爱因斯坦的“相对论”,光在真空中的运动速度 $c_0$ 是个不变的常量。这样,测出了稳定激光的频率,就可以用光速 $c_0$ 求出其波长的数值。其不确定度也可以小到 $10^{-13}$ 数量级。用这样的方法建立的“量子长度计量标准”,比原来用“铂铱合金刻线尺计量标准”的准确性也高出了很多个数量级。

在“电学计量标准方面”,也有相似的情况。1962年,英国科学家发现了“约瑟夫森效应”。根据该理论可制成“约瑟夫森结”。把这种结放在高频电磁场中,“约瑟夫森结”上会出现正比于电磁场频率的电压,比例系数是常量( $2e_0/h$ )的整数倍。其中 $e_0$ 是“基本电荷量”, $h$ 是“普朗克常量”,这两者都是不变的“基本物理常量”。因此,用“约瑟夫森结”就可制成极为稳定的“量子电压计量标准”,其稳定度比原来用“标准电池”建立的“实物电压计量标准”高出了4~5个数量级。1980年,德国科学家“冯·克里青”发现了“量子化霍尔效应”,例如把“砷化镓”(也可以是别的合适材料)制成的“霍尔器件”放在强磁场中,由于量子效应,其“霍尔电压”与电流的关系曲线上会出现一系列不同寻常的平台。平台处的“霍尔电阻”为 $R_H = (h/i e_0^2, i=1, 2, 3, \dots)$ 。这样得到的“量子化霍尔电阻”也是只取决于“基本物理常量 $h$ 和 $e_0$ ”,不确定度极小,且不会随着时间的推移而漂移。将上述的“约瑟夫森量子电压计量标准”与“量子化霍尔电阻标准”结合起来,还可以得到“量子电流计量标准”。

在“温度计量标准”方面。原“温度计量标准”是用“纯水的三相点温度”作为标准。但随着测量准确度越来越高,发现用不同地方所取得的水提纯后得到的“纯水”的“三相点温度”有微小的差别。近年来也改用基本物理常量之一——“波尔兹曼常量 $k$ ”来导出“温度计量标准”,复现性和测量准确度都有了大幅度的提高。

其它的一些基本物理常量,如“阿伏加得罗常量 $N_A$ ”等也都在建立新的“量子计量标准”方面得到了很好的应用。

综上所述,“量子计量标准”其主要的优点是:一方面,由它们所定义的计量标准量值不会随时间推移而发生变化。这样就解决了用“实物计量标准”时最大的难点;另一方面,采用“量子计量标准”后,测量的不确定度均变小,这对现代产业的迅速发展和提高都有很好的作用。所以,从“实物计量标准”到“量子计量标准”,是计量科技水平的一次大幅度提升。

2018年的国际计量大会上做出了决议,要求


各国从2019年5月20日(国际上把每年的5月20日定为“国际计量日”)起不再用以前的“实物计量标准”,而改用“量子计量标准”。

“量子计量标准”的研制难度很高。一些先进国家都在这一方面投入了很大力量。若一个国家没有研制成“量子计量标准”,就只能把本国原来的“计量基准”送到已研制成“量子计量标准”的国家去比对,丧失了独立性。中国目前已是产业大国,投入大量人力、财力研制中国自己的“量子计量标准”。目前,中国主要的“量子计量标准”已经陆续研制成功,水平居国际先进行列。

中国的计量科学要走独立自主的道路,我们在这个实力,也有这个能力。计量科学的核心在“准”,而“准”就必须严谨,计量科技工作者也要有相当严谨的治学和生活态度。探索求真,理性实

证,质疑创新,实践独立是科学精神的内涵,只有把用于探索的精神和严谨的作风相结合,才有可能在科学的道路上有所发现、有所前进。

2020年是第4个全国科技工作者日,我向广大的科技工作者致敬,祝所有科技工作者节日快乐!希望中国的科技工作者弘扬科学报国的光荣传统,追求真理、勇攀高峰的科学精神,勇于创新、严谨求实的学术风气,把个人理想自觉融入国家发展伟业,在科学前沿孜孜求索,在重大科技领域不断取得突破。



(2020年4月7日于北京)

(责任编辑 卫夏雯)