

90年代的计量科学

Development of Metrology in the 1990s

赵克功

(中国计量科学研究院院长, 研究员)

提要 计量学是测量技术的基础。现代的计量学是以最新物理学为基础, 以现代技术科学为手段形成的新型学科, 计量学的进步又促进物理学新理论、新效应的发展以及技术科学的现代化, 因此它是当今各行各业发展进步的科学基础与技术保证。本文论述了计量学和自然科学发展相互促进的关系, 以及90年代计量技术发展的特点。

一、现代计量学的发展

18世纪, 工业革命的出现是第一次技术革命的直接结果, 这次技术革命的理论基础是牛顿力学和热力学, 而力值计量和温度计量就是在这个基础上发展起来的。当时, 机械工业的发展也促进了几何量的计量技术的进一步发展。

19世纪以来, 随着欧姆定律、法拉第电磁感应定律和麦克斯韦电磁波理论的确立, 人类开始进入了大规模利用电磁现象的时代, 电磁计量也从此开始。

1900年普朗克提出了能量状态的量子化假说, 指出最小能量子的能量, $\Delta E = h\nu$ (h 为普朗克常数, ν 为频率), 以此说明物体在辐射和吸收能量时, 其带电的线性谐振子可以与周围的电磁场交换能量, 从而能够从某一能级状态跃迁到另一能级状态。爱因斯坦接受了这个理论, 于1903年提出光的本性不但具有波动性而且还具有粒子性的学说, 指出光是以光速 c 运动的粒子流, 其最小单元——光子的能量就是, $\Delta E = h\nu$, 表明不同频率的光子具有不同的能量。这些理论的创立, 不但奠定了热辐射计量学的基础, 圆满地解释了光电效应现象, 而且还使计量科学从宏观领域进入微观领域。20世纪物理学的发展, 打破了原子是绝对不可分和永远不变的古老观念, 使人类对物质的认识从宏观世界不断深入到原子内部的微观世界。

原子核物理学的建立导致电离辐射计量的出现。1923~1926年间, 德布罗意和薛定谔等青年物理学家发现, 电子及其他一切物质粒子都和光子一样表现为波动性和粒子性的对立统一, 并由此建立了物质波动论, 进而建立起完整的量子力学体系, 逐渐地也建立起量子计量。

二、自然科学的发展推动了计量学的进步

1960年, 激光诞生了, 它具有单色性好(相干能力强)、亮度大和方向性好的特点。从1961年开始, 物理学家和计量学家就从事激光应用于计量的研究。利用特殊的方法对激光输出频率进行稳定, 使稳频激光输出频率(波长)的稳定性和复现性都优于 10^{-11} , 比当时作为基本单位——长度“米”的定义氪-86基准灯波长精度还高100倍以上。1969年以后, 用触须二极管成功地测量了甲烷稳频 $3.39\mu\text{m}$ 氦氖激光输出频率的绝对值和波长的绝对值, 又经过国际间平均与核对, 得到真空光速值 c_0 。

$$c_0 = \lambda_{389} \cdot \nu_{389} = 299\,792\,458\text{m/s.}$$

此值的精度比过去提高了100倍。

以后, 又经过物理学家和计量学家10年的研究与验证, 美国标准局(原NBS, 现NIST)的J.霍尔(J. Hall)等人验证了在 10^{-14} 范围内没有发现真空光速值的方向异性和不同频率的光速有不同的

真空光速值,从而结束了物理学界关于在 10^{-10} 内,真空光速值有方向异性的怀疑,1983年10月第十七届国际计量大会决定,真空光速值 $c_0 = 299\,792\,458\text{m/s}$ 是唯一的一个基本物理常数,不受精度的限制。真空光速值将在物理学中永远是一个不可测量的量,是一个换算常数。从而更改了许多其他与真空光速值有关的物理常数,促进了理论物理学的计算精度,导致了某些物理学的新概念。

利用真空光速值于1983年更改了“米”的定义:“米是光在真空中、在 $1/299\,792\,458$ 秒的时间间隔内运行路程的长度”。

再有,利用1960年发现的约瑟夫森效应于1990年1月1日开始建立的约瑟夫森电压基准和利用1980年克利青(von Klitzing)发明的量子化霍尔(Quantum-Hall)效应于1990年1月1日建立的量子电阻基准,在物理学又将确定两个基本物理常数,即普朗克常数 h 和电子电荷 e 。

$$h_{90} = 6.626\,068\,856 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$$

$$e_{90} = 1.602\,176\,492 \times 10^{-19} \text{C}$$

这将推动量子电子学的发展。

展望2000年计量学发展趋势,利用三个基本物理常数(c_0, h, e),再加上时间单位 s ,建立一个新型国际量子单位体制,可导出所有力学和电磁学单位。

利用新的物理成就建立的量子单位体制,对计量学有重大意义。就象几十年前,E.H.威克曼(E. H. Wichmann)在他的《量子物理学》(Quantum Physics)一书中所述的:“提出这个问题的背景如下,近代物理理论指出了表征物理体系的各个参量关系。例如,氢原子的电离能在理论上可用常数 m, e 和 h 来表示,如果已经知道常数 m, e 和 h ,我们就能‘预言’电离势,然后把这个预言和实验结果相比较来检验我们的理论。按照同样的意义,可以在理论上理解很大的其他物理参量,即能用少数几个基本常数来表示它们。”这里简要阐明了精密测得基本物理常数对物理学的意义。

三、计量学的发展将促进自然科学的进步

在当今的物理世界中,人们还没有获得1920年爱因斯坦的广义相对论预言中提及的引力波的知识。70年代美国韦伯(Weber)教授就设计出几台精密的测量引力波的装置,在70年代中期韦伯教授声称他已测出了引力波。后经计量科学家和物理学家证明,韦伯测得的不是引力波信号。测量引力波的课题一直是物理学界十分重要的研究课题,因为验证与测得引力波的实验可证明爱因斯

坦的预言:引力波是引起空间和时间振动的一种微小的振动,并以光的速度传播。而且任何物体都有引力波的辐射……等。当前最好的物理学家也不明白“空间自身”振动是什么含意,公式和理论只是一些数字式的表达,如果能验证和测量出引力波,才能解答通过引力波将会导致什么效应。90年代一开始,联邦德国萨克森州和联邦德国物理技术研究院(即联邦德国计量科学院)研制了3 km激光干涉仪测量引力波,测量精度为 10^{-21} ,要求激光频率稳定性要优于 10^{-21} 。这种实验只能是物理学家与计量科学家结合起来才能测准和测精。这将对今后一二十年物理学发展有重大意义。历史上杨振宁、李正道的宇宙不守恒理论,也是吴健雄博士原来在美国标准局得出的。所以计量学的发展一定能促进自然科学的进步。

由于计量科学家对真空光速值的测定,使光波混频技术得到很大的发展,可测到几至十太赫芝(10^{12}Hz)。进一步发展,可设想在无线电波到光波波长范围内利用混频技术测任一波段的光波频率,这样就可把当代的无线电技术和微波技术引入经典的光学学科,利用电子学技术处理光学信息,使电子学与光学这两个研究和利用电磁波的学科联系起来,将为现代物理光学学科新发展提供崭新的技术手段,并促进信息学科大进步,这也是近一二十年至三十年新边缘和交叉学科的发展趋势。我们必须给予极大的重视。

四、计量学是高科技和高科技新产业兴起、发展与进步的科学基础和技术保证

计量学是测量技术的基础,它的含意是使人们认识事物的本质。当代人类的一切行为都离不开测量,测量不仅要求精,精密的测量还必须要求准,在某种意义上说准比精更重要。计量学要求对事物的测量既精又准。高科技的发展,特别是高科技产业的兴起与进步没有准确、精密的测量是不行的。例如:

1. 高温超导材料的发展 1987年春,我国报道了高温超导的成就。某大国不相信我们的报道,借来中国开会之机,该大国的总统科学顾问专门来中国计量科学研究院询问高温超导参数测量之事。我们告诉他,中国计量科学研究院参加和负责了我国高温超导的参数测量,最后他表示承认我国的高温超导材料研究的先进水平。

另外,高温超导的理论研究,没有准确精密的超导参数测量也难以进行。

高温超导的应用,如高温超导量子干涉器的研制,中国计量科学研究院取得了很好的成绩,原

因之一就是计量院具有准确精密的测量手段。这种量子干涉器,在采矿和航天技术中将有很大的用途。

2. 大规模集成电路 大规模集成电路的发展和产业的形成,都要有完美的计量科学技术作基础和技术保证,从基片的电阻率,到刻线线宽的计量标准与测量,都要求十分高。一方面要为这一产业建立计量标准,另外要研制所需测量仪器,如线宽,有线宽标准样板,线宽测量目前国际上要求达到的准确度为 $\pm 0.02 \sim 0.005 \mu\text{m}$,这只有用实现米定义的碘稳频激光器才能达到这一准确度。联邦德国物理技术研究院就与莱茨仪器厂合作研制出这样的LMS2000集成线宽测量机,用于测量与控制集成电路线宽,从而提高了大规模集成电路的信息量。

3. 光纤通信 从光纤的几何尺寸到光纤的折射率分布、带宽、衰减、模式等都要进行测量和建立计量标准。在生产光纤过程中不进行测量与控制,并与计量标准进行对比校准,光纤通讯也很难形成新的发达产业。

4. 其他行业 计算机产业,环境科技、新能源开发与生产……,都需要测量,计量学可作为这些产业中测量的科学依据与技术保证。航天、核潜艇,一切飞行运动物体及秘密活动物体的导航和一切军事控制中心,时间频率标准信号是唯一的准确导航定位和统一控制的保证。计量科技也是指导工农业生产发展和产品质量改善的技术保证。

五、计量学是社会安全与安定的科学基础与技术保证

这里指的社会安全不仅是指计量科学为国防服务,为公共社会安全服务,也为环境保护服务,一切测量环保的仪器设备都要经过计量标准样品的校准,否则无法使用,也不准使用。

社会安全也指人身安全,包括安全生产,如矿井瓦斯的测量,使用瓦斯测量仪器必须用计量部门生产的标准甲烷气体的校准或经计量技术单位直接校准方能使用。再如医疗仪器,更是如此。如超声胎儿检查仪,当超声功率不够时,检查不准,当超声功率大到一定程度时,每检查一次胎儿有可能得一次脑振荡,所以医疗仪器都应属于计量强检项目。

六、计量学的全国统一性与国际一致性

我国从50年代末开始大规模地发展我国的计量科学事业,到1980年,有了一个有一定水平的

中国计量科学研究院。中国计量科学研究院是国家计量科学的研究中心,它利用新的物理思想,现代的技术科学手段,研究建立各种计量基准与标准,研究国家急需的计量测试方法及仪器设备,确保全国计量单位量值的统一和与国际间的一致。在全世界任何一个国家,只准许建立一个计量科学研究基地,用以统一全国的量值和确保本国计量单位的量值与国际上的一致,因此中国计量科学研究院也广泛的开展国际合作。我国的计量信誉在全世界有一定的威望。

七、90年代的计量科学

90年代计量科学技术首先是将建立的计量基准广泛深入地为国民经济建设服务,这是中国计量科学研究院工作的主导方向。但必须注意到,计量科学落后会直接影响高技术发展,而日益活跃的国际贸易、科技合作和文化交流,也必须以计量科学作为基础和技术保证。我国计量科学的技术水平在国际上居第四或第五位,我国的几项基准、标准和大型高精度计量测试仪器是居国际领先地位或属国际先进水平的。

90年代的计量科学将是量子计量学大发展的阶段。计量学专家们将进一步探索把真空光速值(c_0)、普朗克常数(h)、电子电荷(e)和时间单位秒(s)作为基本单位,而其他的单位则由这些基本单位导出。

90年代计量测量技术的发展有以下特点:

1. 单位量值计量基准器具将直接用于高技术生产测量,为提高产品质量和发展生产服务。目前联邦德国PTB已将碘稳频633nm激光器用于集成电路的线宽测量,我国也已将稳频激光器输出的标准波长(频率)用于检测和控制高精密丝杠的生产。

2. 传感器技术将有较大发展。传感器种类将有较大增加,光纤和半导体传感器等将得到更广泛的应用。新型的超导传感器会得到实际应用,而传统的传感器在抗干扰能力和动态性能上会得到改善。

3. 微机将成为测量仪器或系统不可缺少的一部分,除了对测量结果作直接数值计算外,其信息变换和实时处理的功能也将有较大发展,可用于直接指挥与控制生产过程。此外,初级智能测试系统将得到更广泛的应用。

4. 动态测量将使加工过程中的随机误差减少并提高加工质量。另一方面,柔性制造系统的发展要求线测量系统在被测参数、量程、精度等方面更加灵活,并能将测量结果反馈于生产。

(责任编辑 刘先曙)