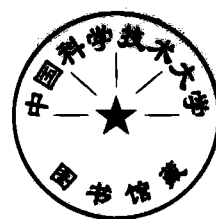


国外 无线电计量概况

国外无线电计量资料编辑组

一九七四年四月



国外无线电计量概况

编辑者：国外无线电计量资料编辑组

发行者：北 京 7 5 0 信 箱

1 9 7 4 年 4 月 出 版

目 录

第一章 一般情况

一、无线电计量的意义·····	(1)
1. 无线电计量与现代科学技术·····	(1)
2. 无线电计量与现代工业·····	(2)
3. 无线电计量与经济·····	(2)
二、计量机构的建立·····	(5)
三、无线电计量的内容·····	(6)
1. 无线电计量的基本内容·····	(6)
2. 基本单位和导出单位·····	(6)
3. 无线电计量的主要项目·····	(8)
四、无线电计量中的若干基本概念·····	(10)
1. 计量基准和标准·····	(10)
2. 误差·····	(12)
3. 系统误差的累积·····	(15)
4. 系统误差与随机误差的合并影响·····	(17)
5. 精密度、准确度、精确度·····	(17)
6. 溯源性·····	(19)
五、无线电计量基准的国际比对·····	(20)

第二章 组织机构

一、国际计量机构·····	(23)
---------------	--------

国际权度局.....	(23)
国际无线电科学联合会.....	(25)
二、几个主要国家的計量机构.....	(27)
美国.....	(27)
日本.....	(31)
英国.....	(34)
西德.....	(40)
法国.....	(43)
苏联.....	(45)
結束語.....	(48)

第三章 主要项目简介

時間和頻率.....	(50)
高頻电流.....	(59)
高頻电压.....	(62)
微波功率.....	(67)
衰減.....	(74)
噪声.....	(80)
相位.....	(83)
微波阻抗.....	(86)
集总参数高頻阻抗.....	(92)
电感和电容.....	(95)
坊強.....	(100)
无线电干扰.....	(105)
失真系数.....	(109)

脉冲参数.....	(112)
信号.....	(123)

第四章 新技术及发展趋势

一、基本計量单位微觀基准的建立和发展趋势.....	(129)
1. 历史概况.....	(131)
2. 长度和時間、頻率基准統一的可能性.....	(133)
3. 电学計量基准的发展及其統一的的可能性.....	(134)
4. 高频計量与約瑟夫森效应.....	(135)
二、鎖相技术的应用.....	(138)
三、多功能測量系統.....	(140)
1. 多功能的热敏电阻装置 (Bolovac)	(140)
2. 六端口耦合器.....	(142)
3. 网络分析仪.....	(143)
四、自动控制 (反饋伺服) 的应用.....	(144)
五、电子計算技术的应用和自动測量系統.....	(146)
附表: 无线电計量与精密仪器水平簡表.....	(153)

第一章 一般情况

一、无线电计量的意义

1. 无线电计量与现代科学技术

我們的日常生活，在許多方面都离不开测量和計量，而科学技术的发展，則更是与测量和計量息息相关。测量是認識自然界的一种重要手段，通过测量对自然現象取得定量的观念。門捷列夫曾說过：“有测量，才有科学”。

测量的全部可靠性，在于其精确度和統一性，因而也就是取决于計量工作的质量。测量的精确度愈高，揭露自然規律的可能性愈大，利用由此而得的对世界的認識来改造世界的能力也愈強。测量有助于科学知識的发展，而科学知識的发展又反过来促进测量技术的提高。二者的結合大大推进了生产的发展。新技术和新工艺又提供新的测量仪器和手段，使我們有可能探索科学的新領域。科学、测量、生产三方面这种互相依賴、互相促进的紧密联系，在无线电测量中显得更为突出。

例如，随着电子学和无线电测量技术的发展，在第二次世界大战期間产生了雷达技术。后者的发展又提供了新的測量方法和仪器，大大促进了微波波譜学的发展，产生了量子电子学、脉泽和激光等新的科学領域。从这些科学新領域中，产生了原子钟，把時間和頻率的測量精确度迅速提高到空前的水平，以致最后推翻了最基本的物理量之一的“秒”的傳統定义（平太阳秒），建立了嶄新的定义（原子秒）。高度发展的精密测时和测頻技术，大大有助于宇宙航行和空間探索的发展。最近，由于軍事上的应用和空間計劃开展的需要，无线电精密

測量和計量技術更是突飛猛進。它與各種舊的和新的技術相結合，創造了許多新的測試系統，發展了許多新的測試手段，又反過來大大加速了現代微波技術、雷達、激光通訊、人造衛星等的發展。

2. 無線電計量與現代工業

現代工業的高度發展以及生產過程的高度分工，要求零、部、組件具有高度的互換性。這種互換性只有通過精密的測量和計量才能得到保證。特別是在大型飛機、導彈、人造衛星等複雜的多組件系統中，對無線電參數的測量要求尤為嚴格。這不但在解決這類系統中無數個組件之間的結合問題上具有決定性的意義，而且在系統之間（例如人造衛星與地面站之間）的結合問題上，也同樣重要。

在無線電和微波系統中，各元、部、組件都必須通過精密測量和計量來檢查它們是否能全面滿足嚴格的技术指標。這些測量都應該是嚴格一致的，即能以相當高的精確度追溯到同一計量標準或基準。否則各元、部、組件就不可能組合成為所需的系統；或者，組成系統之後，系統的總性能將與設計的預期性能大不相同。這種測量和檢驗，不僅施行於產品，而且在整個製造過程中都必須進行經常的或不斷的監測。在以後產品的使用過程中，還需經常加以檢查測試，以保證產品能可靠工作。

因此，測量和計量技術已經成為現代工業的重要基礎，直接影響到產品的質量和工程的成敗。現在，在資本主義國家之間，測量和計量技術已逐步成為產品競爭能力的決定性因素之一。

3. 無線電計量與經濟

測量的精確度、統一性和可靠性都要依靠計量工作來保證。

從經濟上來說，由於測量的精確度或可靠性不高，往往會造成不可估量的浪費和損失。而良好的測量，則對於保證產品質量和降低產

品成本都具有重大的意义。

据说，美国某项工作，四次上天失败，检查原因是由于高频电压测量不准。经过改正后，第五次试验才获得成功。

美国航空喷气发动机公司 (Aerojet General Corp) 在 5 年中进行了 2000 次发动机及其部件的测试，测试费用的支出有时要占加工费用的 70%。要使洲际导弹固体燃料发动机总推力静态复现性达到误差 $\sigma = \pm 1\%$ (置信概率 95%)，相对制造误差为 $\pm 0.75\sigma$ ，仪器误差为 0.75σ ，则需进行 200 次试验，试验总费用高达 2 千万美元。如果相对制造误差减小为 $\pm 0.5\sigma$ ，则必要的试验可降低到 50 次；如果仪器误差也降到 0.5σ ，则只需试验 28 次；如果仪器误差降到 0.25σ ，则只需试验 16 次。这样，仪器误差每减小 0.25σ ，每台发动机成本就可节约 120 万美元。当测量系统的误差为 1% 时，研制一台发动机 (其性能比当时最佳的火箭发动机提高 1%)，需要投资 600 万美元。若测量系统的误差降为 0.5%，则投资就可减少到 300 万美元以下。

由于测量不够精确，设计就不得不留有余地，以容许相当的公差。这不但增加了产品的成本，而且也往往增加了产品的体积和重量。美国曾经因为场强测量不够准确，以致在一种昂贵的天线设计中不得不针对测量误差来增大天线增益的余量。据称，每一个装置，每增加 1 分贝的增益，要多费 5 万美元。换句话说，在这一特例中，场强测量的每 1 分贝误差，对每一个产品索取代价 5 万美元。

据 1967 年的报导，美国国内每天要进行约 200 亿次的测量。从美国 1963 年的调查数字中可以发现，单是测量仪器一项就已投资 250 亿美元，并以每年增加 45 亿美元的速度在增长。此外，在研究获取测量数据方面又已投资 200 亿美元，并以每年 30 亿美元的速度增长。在构成美国毛产值 3960 亿美元的工业和服务业中，在测量方面一年就耗费

了139亿美元的巨資以及130万人一年的工作量。美国国家标准局1965年度的財政預算为6900万美元，而1972年度的預算增加到7,800万美元。尽管如此，一些外国专家仍然认为：計量事业的发展速度和拨款还不能滿足工业发展的需要。并且又认为：要求的精确度与现实的精确度之間、仪器的需要量与供应量之間的差距，大多是由于經濟上而不是技术上的原因所造成的。美国的一些評論家认为，在提高計量水平、減小需求之間的差距等方面的投資不足，說明了“不会用美元来計算測量精确度和可靠性所带来的利益和損失。”

英国专家认为：英国在二次大战期間，随着雷达技术的发展，在高频无綫电計量上也有一些基础。但战后沒有引起注意，沒有統一的中心組織，以致在战后20年之后才真正建立起英国的高频計量业务。因此目前除頻率一个参数以外，高频无綫电計量是比較薄弱的。他們抱怨由于所得經費和支持远远不如美国和西德，使得英国的計量水平大大落后了。据估計，英国在測量仪器上的投資約为10亿鎊；仪器工业年产值約2亿鎊，其中約10~15%为电工或电子測量仪器。若假定最近10年来生产的仪器仍在繼續使用中，則檢定工作大約需要5~6千个專門工作人員。

总的說来，在經濟发达的資本主义国家中，近年来不仅提高了对測量技术重要性的認識，而且也提高了对計量学、建立計量机构以及以最高精确度建立国家計量基准的認識，同时也提高了对測量信息可靠性、准确性等有关問題的認識。計量学的問題已引起了国外科学家、經濟学家、企业主以及軍事、貿易、運輸等部門和政府的注意。計量学已被列入国家技术計劃之中。联合国工业发展組織 (UNIDO) 于1971年10月在日本名古屋召开的亚洲地区发展中国家及地区計量专家国际討論会反映了这样一种意見：与会各国实际上沒有把計量工作作为提

高工业产品质量和扩大对外贸易联系的有效手段，也没有以计量来保证国家工业生产的发展计划，这在很大程度上说明了该地区工业发展水平较低。

二、计量机构的建立

自古以来，由于生产和贸易上的需要，人们早就认识到测量量值统一的重要性和必要性。几千年前，各国各地区都已建立了各自的计量标准。中国在公元前220年左右（秦始皇）在统一全国的基础上，建立了全国统一的度量衡标准。西方在12世纪左右开始施行法定长度单位。到18世纪末，每一个发达的国家都建立了自己的计量单位制度。但是各国的单位彼此不同，而且标准也经常改变。生活和科学都迫切要求建立一种完善的新的计量单位制度，这种单位制应当是各国统一的，并且是以不变单位为基础的。于是在法国资产阶级大革命时，随着社会新制度的建立，也建立了新的单位制。1790年，法国国民议会提议“该制将以由自然界取得的不变原器为基础”。当时立即组织了专门委员会来研究这一问题，测定了通过巴黎的子午线长度，定义了“米”，并建立了米和千克基准，于1799年交给法兰西共和国档案局保存。

1875年国际权度委员会（CIPM）在巴黎召开会议，与会的17个国家通过了新米制。接着在巴黎设立了国际权度局（BIPM），办理基准的保管、比对和检定等工作。

此后，世界各大陆陆续建立了国家的计量机构，如1887年德国建立了国家物理技术研究院（PTR），1893年俄国建立了门捷列夫研究院（ВНИИМ），1900年英国建立了国家物理实验室（NPL），1901年美国建立了国家标准局（NBS）等。

1914至1918年第一次世界大战期間，由于軍工生产的需要，計量工作有了很大的进展。第二次世界大战期間，雷达技术的发展，对无綫电高频計量提出了新的要求，有力地促进了高频无綫电計量工作的进展。最近核軍备竞赛及空間计划的开展，又使无綫电計量工作推进到一个新的阶段。

关于国际性的以及世界各主要国家的計量机构組織情况，見本編第二章。总的來說，目前世界各主要国家之中，以美国NBS較為突出：历史比較悠久，高频計量业务开展得較早而且始終努力不懈；对高频計量技术的原始貢獻較多；开展的計量項目最多，設備也較完善，且大多数項目都长期保持着世界最高水平；对新技术（如自动測量系統等）的探索也处于領先的地位；在国际比对等事务中也最为活跃。其他各国（包括英国和日本）在不少地方都采用美国的技术，或进口美国的設備。因此，是值得特別加以注意的。

三、无线电计量的内容

1. 无线电计量的基本内容

无綫电計量是精密无綫电測量的一种特殊形式。无綫电計量的基本内容包括：

- （1）基本无綫电量值基准和各級标准的研究、建立和保存；
- （2）这些基本无綫电量值的传递和統一。

这是一門精密而严格的科学，也是一种精巧而复杂的技艺。从上述第（2）点内容的意义上說，它还具有協約或法律方面的性质。

2. 基本单位和导出单位

物理量的測量，就是把待測的量与另一个同类的已知量相比較，把这个已知量作为計量单位来确定被测之量是該单位的若干倍，或者

是該单位的几分之几。換句話說，測量就是求出被测之量与計量单位的比值。

計量单位應該是統一的，并应以不变单位为基础来建立起单位制度。

早在1875年在国际权度大会（CGPM）上就通过了新的米、千克、秒单位制。1967年召开的国际权度大会再次明确了国际单位制（SI）的6个基本单位，即长度（米）、质量（千克）、時間（原子秒）、电流（安培）、温度（开）、光度（烛光）。1971年第14届国际权度大会又通过确认物质质量的单位摩尔作为国际单位制的一个新的基本单位。这样，国际权度局所規定的国际单位制中，一共有7个基本单位。

基本单位是可以任意地、彼此无关地分別确定的。基本单位一旦确定之后，其他的物理量单位就不可能是任意的，因为它們同被选作基本单位的物理量之間有一定的关系。其他的物理量单位，可以根据它們与基本量的关系从基本单位推导出来，这就是所謂导出单位。例如速度的单位可以通过长度和時間单位来导出：

$$[U] = [LT^{-1}]$$

又如电容的单位可以从长度单位导出：

$$[C] = [L]$$

而电阻的单位則可由下列量綱式导出：

$$[R] = [L^2MT^{-3}A^{-2}]$$

式中L是长度，M是质量，T是時間，A是电流。

从純理論計量学的观点出发，必須而且只需建立起基本单位的計量基准，其他一切单位的量值都可据此推导出来。然而从实用計量学的观点來說，这是非常麻煩而且也是极为困难的。因此，国际权度局

除了規定 7 个基本单位之外，又規定了 43 个导出单位作为补充。其中与无綫电計量密切相关的有直流电压、电阻、电容、磁場强度、磁通、磁矩、声压等单位。

3. 无綫电计量的主要项目

基本的无綫电测量和計量的具体内容，大体上可以分为下列三大类：

(1) 关于电能的量，如电流、电压、功率等等。此外还有电磁場强度和噪声功率等。

(2) 关于电路参数的量，如电阻、电容、电感或者复数阻抗或导納等。后二者有时也統称为导抗。此外，还有品质因数 (Q 值)，反射系数或“电压”駐波比等派生的量。

(3) 关于电訊号特性的量，如頻率、相位、波形等。

上述的分类是很不严格的。例如电路也有它自己的頻率特性和相位特性。电流、电压、噪声也可以說是属于电訊号的特性之列。此外，在电流、电压、功率和阻抗之間，存在着下列众所周知的基本关系：

$$P = UI^* = I I^* Z = U U^* / Z$$

$$Z = \frac{U}{I}$$

这里*号表示复数共軛值。原則上，在这 4 个量中，只要确定其中任意两个量，其余两个量即可根据上列关系式导出来。然而，为了便于进行实际测量和計量，这四个量一般都被认为是无綫电的基本量。同样，頻率是振蕩周期的倒数，原則上頻率可以从時間基本单位导出。但实际上，頻率一直都被視作为无綫电测量和計量的最基本参量之一。

衰減量和增益 (放大系数) 同样都是两个功率 (輸出和輸入功

率)之比值,都是派生的或导出的量,而且是无量纲的量。但衰减量却通常被认为是无线电测量和计量中的一个重要的、比较基本的参量。但增益却没有受到同等的重视。

因此,在无线电测量和计量中,什么是基本的或重要的参量,什么是导出的或次要的参量,并没有严格的理论根据,主要还是取决于实际应用的需要。

例如,信号的调幅系数和调频指数(或频偏),是两个电压或两个频率之比,显然是导出的、次要的而且也是无量纲的参量。以往并没有把这两个参量包括在无线电计量的项目里面。但是,随着对信号源要求的不断提高,对这两个参量测量精确度的要求也日益严格。特别要指出的是,由于近年来往往要求测定调幅信号中的寄生调频和等幅调频信号中的寄生调幅,因此,在无线电计量项目中,很有必要把这两个参量也包括进去。

总而言之,无线电计量的具体项目并没有什么一成不变的原则规定,而是随着实际工作的需要而不断地在发展。

至于无线电计量中所包含的具体参量,其频率范围也没有明确的界限,也是在不断发展着。大体上,其频率范围紧随着无线电技术的发展而与之相适应。在美国,一般认为射频测量大体上是从30千赫开始,向上一一直延伸到30千兆赫左右。最近,某些参量的测量范围已在30千兆赫以上,一直到激光频率的范围,即达到800兆兆赫(8×10^{14} 赫)左右。但具体的计量频率范围,则往往随参量而异,取决于需要与可能。

例如,以往在微波波段中,只进行功率的计量而不作电压的计量。这是因为在微波波段上使用的单导体传输线(波导管)内,电压不存在唯一性定义。因此,以往高频电压的计量,只到1千兆赫附

近。但是随着小型和超小型同軸綫的发展，工业生产中已出现了外导体內直径7毫米和3.5毫米的标准同軸綫和元件，分別可以工作到18和35千兆赫。在同軸綫內，传播的是橫电磁波（TEM波），在这种场合下电压是有唯一性定义的。这就迫使計量工作者考虑是否应把电压計量的頻率范围向上扩展。看来，最近一个阶段有可能要把电压計量的頻率范围推进到10或20千兆赫甚至更高的頻率上。

又如非綫性失真系数的計量，以往只是在20赫至20千赫的音频段上进行。最近由于实际需要，已推进到200千赫甚至到1兆赫以上。

关于世界各国无线电計量已开展的业务項目、量程、频段及精确度的概略情况，請参見附表。

四、无线电計量中的若干基本概念

1. 計量基准和标准

在資本主义国家中，由于計量工作大多以民間团体之間、或官方与資方之間通过协約方式进行，所以关于計量基准和各級标准沒有系統化的唯一性定义。在苏联，根据有关文献的論述可以归納如下。

（1）計量基准

这是一种特殊的量具或仪器，用来保持和体现計量单位，并且具有現代科学技术所能达到的最高精确度。应该指出，計量基准并不一定恰好体现計量单位。例如电动势的基准器（标准电池）所体现的計量单位并不是1伏，而是1.0186伏。此外，計量基准的概念有时也适用于各种类型和标准物质。例如在确定温度的单位时，采用冰的熔点为 0°C 和水的沸点为 100°C ，这里，冰和水就是作为基准的标准物质。

体现同一单位的基准，按其彼此的从属关系，可分为三个等級：

(a) 一級基准，这是国家基准，全国計量的統一就以此为依据；

(b) 二級基准，其值是与一級基准相比对而确定的；

(c) 三級基准，其值是与二級基准相比对而确定的。

另一方面，根据基准在計量上的用途，可分为以下几类：(a) 基本基准或原器，这是体现基本单位的一級基准器；(b) 作证基准，这是用来与一級基准相比对而确证一級基准可靠性的基准器。如果两者的比值是固定不变的，就可以证明两者的数值都没有改变。如果两者之間的比值有变化，这就证明两者之一或者两者都同时改变了。如果一級基准的数值有所改变，就必须設法恢复其“真值”；

(c) 副基准。由于受检量具和仪器不一定都可能一一与国际或国家基准相比对，而基准本身也不容許經常使用，以免因磨損而丧失其原有精确度。同时，基准的使用往往是不太方便的，因此往往用一个二級基准作为副基准，以供使用。副基准的值是通过与一級基准相比对而确定的。副基准的形状和結構不一定与一級基准相同，它往往用坚固而又价廉的材料制成。例如，原先由汞柱构成的一級电阻基准（国际欧姆）是极为脆弱易坏的，而且在使用上又很复杂，因而往往用锰銅綫繞电阻来构成欧姆的副基准。又如电流基准（安培天平）的使用是极其麻煩的，所以实际上用标准电池組和标准电阻来保持安培的标准值（ $I=U/R$ ）；(d) 工作基准，这是为日常检定工作用的。工作基准可能是二級基准，也可能是三級基准。但是，所有的三級基准都是工作基准。

最后，应当着重指出的是，并非所有的計量单位都具有三个不同等級和类型的基准。某些計量单位仅有一級基准，某些基准則沒有副基准和作证基准。

(2) 計量标准

計量标准，是指具有有限精确度的标准量具或标准仪器。所謂有限精确度，就是說它們的精确度是有限的，而不象基准那样具有現代科学技术所能达到的最高精确度。标准是把計量单位的正确值由基准传递到日用的工作量具和仪器的传递中介。因此，需要有一系列不同等級的有限精确度的計量标准。

一級标准是用基准来检定的。所謂检定，就是确定量具或仪器的誤差，以及判定受检量具或仪器是否符合有关的标准、法規、規程及其他规范对它們所提出的要求。

二級以及依次各級标准都是用高于其一級的标准来检定的。因此，一級标准不及基准精确，但比二級标准精确；二級标准則比三級标准精确；依此类推。

标准是为了检定日用工作量具和仪器而設置的。因为工作量具和工作仪器有着各种不同的等級，各有不同的精确度，所以也就需要有各种不同等級的标准。用精确度高于实际需要的标准来进行检定是不合理的，因为量具或仪器的精确度愈高，則在使用时所需付出的劳动、時間和費用就愈多。因此，当較低一級的廉价标准可以满足实际需要时，完全沒有必要使用貴重的高级标准，以免使它受到加速的磨損。

从上可見，工作量具或仪器的精确度不一定就低于标准的精确度。例如，为了检定二級电感綫圈（其标称誤差为0.3%），設立了二級电感标准綫圈（其誤差为0.1%）；而一級电感綫圈（工作量具）的誤差則为0.03~0.05%，其精确度就优于二級标准电感綫圈。

2. 誤 差