

# 从高频近场仪的研制看理论物理与应用技术的关系

赵玉峰

(北京市劳动保护科学研究所)

习惯势力不但反映在人们的日常生活中，而且也反映在科学技术的发展过程中。一般人认为，理论物理研究工作与生产建设挂不上钩，脱节严重。

实际上，随着“四化”建设事业的迅速发展，需要许多理论物理工作者(当然不是全部)为应用技术的开发作出贡献。近三、四十年来，科学技术获得了迅猛的发展。由于对电磁理论的深入研究，开创了电磁能更加广泛利用的时代。电磁能不仅应用在无线电广播、电视、微波通讯与导航、各种微波加热与射频理疗、各种感应加热与介质加热、射频溅射等行业，而且已经在卫星发射与接收、飞船与火箭导航、各种遥控技术等方面得到实际应用与发展。

1975年至1976年间，我们与北京大学物理系曹昌祺等同志协作，开展了“高频电磁场(近区)强度测定仪及强场标准计量与标定技术的研究”，这是我们搞应用技术研究的同志与从事理论物理工作的同志一次成功的协作。场强仪与标准计量技术的研制成功，充分说明了理论物理对应用技术的指导作用，它是电动力学应用基础研究的一项具体成果。

随着电子与电气设备的大量使用，电磁辐射及其污染问题十分突出，这种大强度的电磁辐射比起宇宙杂波，对人类的社会生活和生产活动影响更大，危害作业人员与某些特定环境中的居民的身体健康。因此，有效地保护人体健康，促进“四化”建设就成为一个重要的问题。为了准确地评价作业环境的质量与确定防护技术方案，迫切需要研制测量高频电磁场近区强度的仪器和解决强场标准计量的问题。正是由于有曹昌祺同志等从事理论物理工作的专家参

加，应用基础理论分析指导场强仪与标准计量技术的研究工作，才能在短短的10个月内就完成两项科研任务，科研成果被评为填补我国无线电计量的一项空白，与美国和苏联发表的科研成果报告相比，在方法上有创新，误差的理论分析更加全面。所以，这项科研成果的质量和水平均较高，社会效益和经济效益都很显著，目前已经普遍应用于我国的工农业与国防事业上。

现仅以强场标准计量技术的研究为例来说明理论物理与应用技术的密切关系，同时也可以看到理论物理工作者在其中所发挥的突出作用。

## 一、强场标定技术方案的建立

在无线电测量技术中，一个重要的问题就是大强度场强仪的标准计量，它与远场仪的标定方法相比，要复杂和困难得多。根据目前了解到的资料，世界上只有美国和苏联等少数几个国家对高频强场的标定技术进行了一定程度的研究工作。其中美国在1966年采用圆柱形单极天线垂直放入接地的大金属板上的方法来建立标准电场，还采用平行板电容器的方法来建立标准电场，并用这两种方法来标定电场。美国还研究过利用双半球式的标准计量装置，但只显示电场的某个限定阈值。所以，关于标准测量仪器与磁场标准计量，始终未见报道。苏联也只是采用平行板电容器作为标准电场装置，也未见有关标准测量仪器以及磁场标准场的技术报告。

针对上述情况，要建立电场与磁场的标准

场和标准测量仪器都有相当大的难度。特别是磁场标定，由于场强仪要测量几百安培/米的场强，因而标准场上圆环处通过的电流就要有100安培以上，要达到这样大的高频电流，是一个难度很大的问题，而它的准确测定则更是一件困难的事。

在大家深入讨论的基础上，曹昌祺同志运用电动力学理论提出了两套技术方案：电场平行板电容器标准场与双球式标准测量仪器；磁场电流环标准场与单环式标准测量仪器。在协作组全体人员的共同努力下，经过不断修改与完善，终于建立了电场与磁场两套标准计量装置。在标定技术的研究过程中，曹昌祺同志和其他同志一样，注意运用有关理论透彻地剖析标准计量研究中的每一个难题，它突出地表现在对标定误差的分析上，既周密又准确。

## 二、电场标准计量的研究

在标准场与标准测量仪器建立之后，对误差的理论分析就变得十分重要，有人说标准计量的研究就等于标定误差的理论分析，这是很恰当的。

在对接收天线的置入对平行板电场分布的影响进行误差分析时，就使用镜象法作解析。当接收天线置入后，就会引起平行板分布电荷的改变；反之，天线上感应的电荷又在平行板上引起感应而改变电荷的分布。这种感应电荷所产生的附加电场  $\Delta E$ ，可以用镜象法给出估计。设接收天线的偶极矩为  $P$ ，则由镜象法可知：

$$\begin{aligned} \Delta E &\approx \frac{P}{\pi\epsilon_0 d^3} \left(1 + \frac{1}{2^3} + \frac{1}{3^3} + \frac{1}{4^3} + \dots\right) \\ &\approx \frac{P}{\pi\epsilon_0 d^3} \xi(3) \\ &\approx \frac{1.2}{\pi\epsilon_0 d^3} P, \end{aligned}$$

其中  $\xi(x)$  为黎曼  $\xi$  函数， $\xi(3) = 1.2020\dots$ 。  $P$  的值在天线两臂短路时最大。设天线电容为  $C_A$ ，有效长度为  $L_{\text{eff}}$ ，两臂短路时其上各带有电荷为  $\pm Q$ ，则  $Q$  值可由下式求出：

$$Q = C_A L_{\text{eff}} E.$$

若天线总长度为  $L$ ，则

$$P < QL = C_A L L_{\text{eff}} E.$$

于是

$$\frac{\Delta E}{E} < 1.2 \frac{C_A L L_{\text{eff}}}{\pi\epsilon_0 d^3}.$$

由于双球天线的球半径  $r_0$  为2.5厘米，两球间距离为1厘米， $L \approx 4r_0$ ， $L_{\text{eff}} \approx 2r_0$ ， $C_A \approx 4\pi r_0$ ，则有

$$\frac{\Delta E}{E} < 40 \left(\frac{r_0}{d}\right)^3.$$

从上式可以看出，相对误差  $\Delta E/E$  与  $r_0/d$  的三次方成正比。所以，要使  $\Delta E/E$  小，就必须使  $d$  比  $r_0$  大得多，这就是  $d$  不能取得太小的原因。

由于  $r_0 = 2.5$  厘米， $d = 50$  厘米，因此可得

$$\eta = \frac{\Delta E}{E} < 0.5\%.$$

又

$$C_A \approx \frac{\pi\epsilon_0 L}{2 \left(\ln \frac{L}{2a} - 1\right)},$$

$$L_{\text{eff}} \approx \frac{1}{2} L.$$

代入后得

$$\frac{\Delta E}{E} < \frac{1}{4 \left(\ln \frac{L}{2a} - 1\right)} \left(\frac{L}{d}\right)^3.$$

取  $L = 20$  厘米， $a = 0.5$  厘米， $\Delta E/E < 0.8\%$ 。

同接收天线的置入对平行板电场分布影响的误差分析一样，用理论物理的有关定义、函数概念及解析公式等分析边缘效应和波效应所引起的误差，分析高频电压的测量误差；热电元件电路对平行板电压分布影响所引起的误差等，取得相当满意的结果。

## 三、磁场标准计量的研究

在基础理论的指导下，设计建立了磁场标

准场与标准测量仪器的两套装置，在对这两套装置的误差分析上，曹昌祺同志等依据电动力学等基础理论，对场态误差与测量误差进行了周密的分析。例如，对通过标准场中的一个磁环接收天线的磁感应通量  $\Psi$ ，应当用磁矢势沿接收环的线积分的方法求出。

设  $b_1$  为标准场的环半径， $I$  为其上电流， $b_2$  为接收环半径， $d$  为两环的间距。由于  $b_1 \ll d$ ，故标准环上各点的电流值大体相同，因此可以利用静磁学中的结果得出

$$\begin{aligned} \Psi &= 2\pi b_2 A \\ &= \mu_0 I \sqrt{d^2 + (b_1 + b_2)^2} \\ &\quad \times \left[ \left(1 - \frac{K^2}{2}\right) K(k) - E(k) \right], \end{aligned}$$

式中  $A$  代表接收环的磁矢势， $K$  为第一类完全椭圆积分， $E$  为第二类完全椭圆积分， $K^2$  则由下式确定：

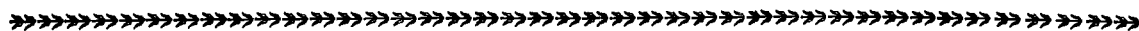
$$K^2 = \frac{4b_1 \cdot b_2}{d^2 + (b_1 + b_2)^2},$$

则

$$\begin{aligned} H_{av} &= \frac{\Psi}{\mu_0 \pi b_2^2} \\ &= \frac{I \sqrt{d^2 + (b_1 + b_2)^2}}{\pi b_2^2} \\ &\quad \times \left[ \left(1 - \frac{K^2}{2}\right) K(k) - E(k) \right]. \end{aligned}$$

推导上述公式，是基于把标准环上的电流近似地集中在铜管中心线上来处理的，这也是曹昌祺同志的一种合乎理论逻辑性的处理，因而使问题得到完善的解决。同样，对于环变形部分所引起的误差、电流测量误差、热电元件对地电容和输出线上感应电动势所引起的误差等，运用基础理论也都一一得到解决。

在整个标准计量技术的研究中，曹昌祺同志运用自己所掌握的丰富的理论知识，在误差的理论分析方面作出了很大的贡献。这两项研究成果正式通过鉴定，并受到北京市科学技术大会表彰。鉴定认为：“高频协作组所作的高频电磁场标准计量和场强仪的标定是可靠的，所采用的技术方案是成功的。与所见到的苏联和美国的技术报告相比，协作组对误差的理论分析更加周密，在标定方法上也有发展和提高。在无线电计量上，填补了一项国家空白。”这个事实充分说明，理论物理与应用技术是密切相关的。具备了丰富的理论知识，掌握了电动力学的精华，是使这两项难度大的科研课题能够较好、较快地完成的主要原因。因此，为了更好地取得应用科研成果，我们希望从事应用技术研究工作的同志与从事理论基础研究工作者密切合作。



## 《物理》简讯

1. 由于来稿较多，刊出周期不断延长。为了使更多稿件能在合理的时间内得到刊载，决定除极少数特约稿外，其他稿件均按征稿简则严格控制字数。知识介绍性文章每篇不超过 8000 字（包括图表和参考文献，每张图以 250 字计算）。包含有作者实践的实验技术简讯的文章每篇不要超过 3000 字。希望作者写作时注意深入浅出，突出重点，使读者在较短的阅读时间内得到更多的信息。

2. 加强发稿的计划性，将可刊载的稿件的发稿顺序及早排出，并通知作者。

3. 经编辑部、出版社和印刷厂的共同努力，3000 字以上的稿件已从页首排起，这将为用拆散整刊的办法给作者提供抽印本创造条件。为了准确计算稿件字数，杂志内部的栏目标题将撤消，只在目录上保持栏目标题。

4. 新设栏目“物理学和经济建设”的稿源情况良好。为了配合“物理学人材作用研究报告会”的召开，今年第 8, 9 两期将比较集中地刊载物理学人才和物理学在经济建设中的作用的稿件。

（本刊编辑部）