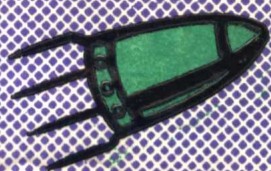


近代电磁测量

名誉主编 陈士衡
主编 唐统一
副主编 张钟华 张叔涵



中国计量出版社



近代电磁测量

名誉主编 陈士衡

主 编 唐 统 一

副 主 编 张 钟 华

张 叔 涵

中国计量出版社

新登(京)字024号

内 容 提 要

本书概述了电磁测量技术从经典到电子化、数字化、智能化的发展历史,着重介绍了80年代以来电磁测量领域包括基、标准和量值传递等方面的各种新技术、新成果。全书分八章:1.绪论;2.电磁量单位制及单位复现;3.直流测量;4.交流阻抗测量;5.数字化电测仪表;6.微计算机仪器;7.磁场的测量;8.磁性材料性能的测量。每章后附有参考文献。

本书供从事电磁测量工作的计量、科研、工厂、大专院校等部门广大科技人员使用和参考。

近 代 电 磁 测 量

名誉主编 **陈士衡**

主 编 唐统一

副主编 张钟华

张叔涵

责任编辑 王朋植

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲2号

河北三河县潮河印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本787×1092/16 印张27.5 字数666千字

1992年8月第1版 1992年8月第1次印刷

印数 1—4000

ISBN 7-5026-0496-0/TB·384

定价17.50元

序

编写本专著的设想系于1978年中国计量测试学会第一届全国代表大会及第二次电磁测量学术交流会议期间提出的，初意为将我国电磁测量界先辈所做出的成果加以整理、提炼，介绍给中、青年科技工作者，当即得到学会领导陈士衡教授和计量院电磁处负责同志的赞同，也得到与会同行专家、学者的支持。于是，将此任务交于中国计量测试学会电磁专业委员会和中国仪器仪表学会下属电磁测量信息处理仪器学会所组成的联合编委会进一步考虑。经多次讨论，认为专著内容宜广采博收国内、外在电磁测量方面的新成就，以开阔读者的眼界，并希望更多介绍我国自己的工作。当时国内刚刚恢复正常秩序，但即使在十年动乱期间，有些部门仍坚持进行科研课题，所获成果已跻身国际先进水平，如计量院在感应分压器、变压器电桥、计算电容等方面的开拓工作即为实例。但总体来讲，相对于国际水平还有较大差距。针对这种情况，更急迫的工作是普遍提高当时科技工作者的业务水平。为此，成立了专著编辑小组，由陈士衡教授任名誉主编，唐统一教授为主编，张钟华研究员与张叔涵高级工程师为副主编。中国计量出版社负责出版。随即考虑取材范围、章节安排、内容取舍，以及聘请国内该领域内在理论和实践方面最有造诣的专家、学者参加撰写和审阅。

本专著原拟称《电磁测量学》，然根据取材和实际撰写情况认为采取今名为宜。

本专著得到中国计量出版社的大力支持，虽然自酝酿到出版历经十余春秋，但实际正式安排任务、聘请作者、撰写、审阅及修改所用时间约为五年。尽管与读者见面较迟，却有幸收入更多的内容，因为在此期间国内、外的专家、学者又做出了丰硕成果，总体看来，本书仍存在一些不足之处，有待广大读者批评、指正。

在本专著成书期间名誉主编陈士衡教授不幸逝世，谨奉献此书作为对这位毕生从事电磁测量事业发展的老一辈专家、学者表示我们的敬仰与怀念。

编 者

1991.10

本书受中国计量测试学会电磁专业委员会及中国仪器仪表学会
电磁测量信息处理仪器学会所属联合编委会委托以下编写小组编写。

名誉主编

陈士衡

主 编

唐 统 一

副 主 编

张 钟 华 张 叔 涵

参加编写作者 (以姓氏笔划为序)

尤德斐

李大明

沈平子

何绍沅

陈志坚

张佑峰

赵新民

梅文余

戴先中

目 录

绪论	唐统一 (1)
一、电磁测量及仪表的发展过程	(1)
(一) 早期	(1)
(二) 初期发展阶段	(1)
(三) 第二发展阶段——经典电磁测量体系的形成	(3)
(四) 电磁测量的近期发展阶段	(3)
二、测量过程及有关问题	(4)
(一) 未知量	(7)
(二) 变换环节	(8)
(三) 比较环节	(9)
三、测量方法分类	(9)
(一) 直读法	(11)
(二) 较量法	(13)
四、提高测量准确度的方法	(15)
参考文献	(20)
参考书及文章	(20)
第一章 电磁量单位制及单位复现	沈平子 (21)
一、单位制的产生、演变及相互关系	(21)
(一) 量、数值和单位	(21)
(二) 基本单位、导出单位和单位制	(22)
(三) 电磁学单位制的产生	(22)
(四) 电磁学单位制的演变	(23)
(五) 有理化问题	(24)
(六) 基本单位的选择	(25)
二、有关电磁学单位的基本概念	(25)
(一) 电磁量单位体系	(25)
(二) 绝对测量	(26)
(三) 实物基准	(27)
(四) 基准定值和国际比对	(28)
(五) 电单位改值	(28)
三、电单位的新依据	(30)
(一) 历史背景	(30)
(二) 有关约瑟夫森效应	(31)
(三) 有关量子化霍尔效应	(35)
(四) K_J 和 R_K 的确定	(37)
四、单位的复现	(40)

(一) 基本单位——安培的复现	(40)
(二) 导出单位的复现	(44)
五、单位的保存与传递	(48)
(一) 标准电阻器	(48)
(二) 标准电池	(49)
(三) 单位的传递	(50)
六、发展趋势	(51)
参考文献	(53)
第二章 直流测量	张叔涵 何绍沅 (54)
一、惠斯登单电桥线路	(54)
(一) 测量四端电阻的单电桥线路	(55)
(二) 弗廖利赫定理	(55)
(三) 卡瓦略定理	(56)
二、汤姆森双电桥线路	(60)
(一) 双电桥线路平衡方程式的推导	(61)
(二) 温纳消除跨线影响的方法	(62)
(三) 三步平衡电桥线路	(63)
(四) 消除双电桥线路跨线影响的其它方法	(69)
三、多跨线电桥线路	(70)
(一) 平衡方程式探讨	(71)
(二) 应用	(82)
四、过渡电阻器和电阻量值的过渡	(85)
(一) 串并联过渡电阻器的原理	(87)
(二) 四端钮电阻器的并联	(89)
(三) 哈蒙的过渡电阻器	(92)
(四) 串并联过渡电阻器的误差	(93)
(五) 电阻量值的过渡	(99)
五、欧姆定律	(103)
六、直流电位差计的基本原理及其特点	(105)
(一) 基本原理	(105)
(二) 特点	(105)
七、电位差计的应用和有关问题	(107)
(一) 电压测量	(107)
(二) 电阻测量	(108)
(三) 电流测量	(108)
(四) 功率测量	(109)
八、电阻式电位差计的几种典型线路	(110)
(一) 分压线路	(110)
(二) 代换线路	(110)
(三) 分流线路	(111)
(四) 叠加线路	(111)
(五) 桥式线路	(112)

(六) 分裂环线路	(112)
(七) 具有起始电压的小步进线路	(113)
(八) 调电流式线路	(113)
九、直流比较仪电位差计	(114)
十、直流电位差计的几种高准确度检定方法	(117)
(一) 直接检定法	(117)
(二) 按元件检定的电压传递法	(118)
(三) 万能比率臂检定法	(119)
(四) 感应分压器检定法	(120)
十一、直流电流比较仪电桥、超导电流比较仪电桥	(121)
参考文献	(125)
第三章 交流阻抗测量	张钟华 张佑峰 (127)
一、概述	(127)
(一) 交流电桥	(127)
(二) 交流阻抗精密测量中的几个重要问题	(128)
二、比例臂的校验	(128)
(一) 参考电势法	(129)
(二) 参考变压器及其容性误差	(131)
(三) 消除参考变压器变比的系统性变化引起的校验误差	(132)
(四) 桥式补偿法校验感应分压器的原理	(133)
(五) 分路电流的限制	(134)
(六) 引入过渡分压器的参考电势法	(135)
(七) 引入过渡分压器的桥式法	(136)
(八) 导纳轮换法	(136)
(九) 多位分压器校验	(137)
(十) 直角(正交)分量的校验	(138)
(十一) 电流比例的校验	(139)
(十二) 电桥中感应分压器和电流比较仪的相互校准	(141)
三、引线误差的消除	(141)
(一) 双比电桥	(141)
(二) 电位比较法	(142)
(三) 误差电势补偿法	(145)
四、不同相角阻抗的比较	(146)
(一) 直角电桥	(146)
(二) 运算放大器移相电路	(149)
(三) 可任意移相的数字合成电源	(150)
五、无定向结构与同轴线	(151)
(一) 无定向结构的概念	(151)
(二) 螺绕环及螺管	(152)
(三) 多极子场	(152)
(四) 同轴线	(154)
六、二端对及四端对导纳	(155)

(一) 多端对导纳的概念	(155)
(二) 二端对导纳的定义	(156)
(三) 二端对导纳的测量, 同轴扼流圈	(158)
(四) 四端对导纳及其特殊问题	(160)
(五) 四端对导纳的测量	(162)
七、交流电桥的辅助支路	(163)
(一) 瓦格纳支路	(163)
(二) 卡尔瓦罗定理的普遍情况	(164)
(三) 感应耦合比例臂电桥中的辅助支路	(165)
八、阻抗测量中的信噪比问题	(166)
(一) 噪声与通频带的关系	(166)
(二) 选频放大器及相敏放大器	(168)
(三) 高一位定低一位	(169)
(四) 数字滤波器	(170)
(五) 参量放大器	(173)
参考文献	(174)
第四章 数字化电测仪表	尤德斐 陈志坚 (175)
一、电测仪表的数字化	(175)
(一) 发展简历	(175)
(二) 数字化电测仪表的发展因素	(175)
(三) 当代发展趋向	(176)
(四) 几点简短结论	(177)
二、有关数字化电测仪表的几个概念与术语	(177)
(一) 数字化电测仪表的误差表达式	(177)
(二) 有效量程的最大值	(178)
(三) 绝对误差固定项	(178)
(四) 灵敏度与分辨力	(179)
三、模-数转换器原理的发展进程	(179)
(一) 概述	(180)
(二) 电荷动态平衡型A/D的发展进程	(182)
(三) 差值测量法型A/D转换	(204)
(四) 剩余电压再循环比较型A/D转换	(208)
(五) 精密DVM的技术特点、减少误差提高准确度的现代方法	(209)
四、非线性A/D转换	(220)
(一) 非线性A/D转换概述	(220)
(二) 电压平衡型非线性A/D转换	(220)
(三) 电荷动态平衡型非线性A/D转换	(223)
五、交流电功率与电能的数字化测量	(227)
(一) 概述	(227)
(二) 脉冲调宽式 $P/U(P/I)$ 变换器	(228)
(三) 关于脉冲调宽式 $P/U_p(P/I_p)$ 变换器的误差问题	(231)
(四) 简短结论	(238)

六、频率与周期的数字化测量	(239)
(一) 提高分辨力、减小±1字误差的方法	(239)
(二) 频率的瞬时值测量法——双斜积分法	(242)
参考文献	(243)
第五章 微计算机仪器	赵新民 唐统一 戴先中(247)
一、概述	(247)
(一) 微计算机仪器的发展概况	(247)
(二) 微计算机仪器的特点	(248)
(三) 微计算机仪器的基本结构	(249)
二、数据采集系统的软件控制	(252)
(一) 模-数转换器(ADC)与微计算机的接口	(252)
(二) 多点巡回检测系统	(255)
(三) 数据的自动捕获	(256)
三、微计算机仪器的自动化	(258)
(一) 自动量程控制	(258)
(二) 仪器的故障自检	(259)
(三) 自动校准(Autocal)	(262)
四、微计算机仪器中的数据处理	(265)
(一) 一般算法	(266)
(二) 随机误差处理	(268)
(三) 系统误差处理	(268)
(四) 仪器的非线性校正	(277)
五、测量周期性电参量的采样技术	(278)
(一) 同步采样	(280)
(二) 准同步采样	(283)
(三) 异步采样	(287)
六、微计算机仪器举例	(288)
(一) 采样计算式超低频数字电压表	(288)
(二) 可编程任意波形发生器	(291)
(三) 多功能信号分析仪	(295)
七、汇编语言与高级语言的连接及应用	(298)
(一) 汇编语言和高级语言的特点	(298)
(二) FORTRAN与汇编语言的连接	(298)
(三) BASIC与汇编语言的连接	(300)
八、数字运算中的有限字长效应	(302)
(一) 数的表示方法对误差的影响	(302)
(二) 负数的表示方法	(303)
(三) 舍入和截断	(303)
(四) 模拟信号误差在量化过程中的传递	(304)
参考文献	(307)
第六章 磁场的测量	李大明(310)

一、概述	(310)
(一) 磁场测量的历史回顾	(310)
(二) 磁场测量的对象和参量	(311)
(三) 磁场测量的方法	(311)
(四) 磁场测量仪器的发展趋势	(313)
二、电磁感应法	(313)
(一) 电磁感应法原理	(313)
(二) 探测线圈的设计	(314)
(三) 磁通表的校验方法	(315)
(四) 磁通表法在测量中的某些特殊问题	(317)
(五) 锁相式旋转线圈系统分析	(319)
三、磁通门法	(322)
(一) 磁通门探头的原理	(322)
(二) 磁通门探头的灵敏度	(323)
(三) 磁通门探头的噪声	(325)
(四) 磁通门探头的漂移	(325)
(五) 基本测量电路	(325)
(六) 动态补偿电路	(327)
(七) 温度补偿电路	(327)
(八) 磁通门磁强计	(329)
四、霍尔效应法	(332)
(一) 霍尔效应原理	(332)
(二) 霍尔器件材料和形状的影响	(333)
(三) 磁阻效应的影响	(335)
(四) 温度的影响	(335)
(五) 不等位电势的影响	(337)
(六) 应用比例测量法的霍尔效应磁强计	(337)
(七) 智能化特斯拉计	(339)
五、核磁共振法	(341)
(一) 核磁共振原理	(341)
(二) 吸收法	(342)
(三) 核感应法	(348)
(四) 流水式预极化法	(349)
六、超导效应法	(350)
(一) 超导量子干涉器件原理	(350)
(二) 直流SQUID	(352)
(三) 射频SQUID	(353)
(四) SQUID测量系统	(355)
(五) SQUID磁强计的主要参量和测试方法	(357)
参考文献	(359)
第七章 磁性材料性能的测量	梅文余 瞿清昌 (360)
一、概述	(360)

二、磁性材料的各种磁参数	(361)
(一) 静态磁参数	(361)
(二) 动态磁参数	(364)
三、材料性能测试中的几个基本问题	(367)
(一) 样品	(367)
(二) 有关样品开路磁化问题的讨论	(370)
(三) 退磁和稳磁	(371)
(四) 测试的环境条件	(372)
(五) 动态磁化条件下磁化的波形问题	(372)
四、磁化场强度的产生和测量线圈的制作	(374)
(一) 直流磁化电源	(374)
(二) 交流磁化电源	(375)
(三) 脉冲电源	(375)
(四) 磁化装置	(376)
(五) 测量线圈	(380)
五、磁性材料直流磁化特性的测量	(381)
(一) 冲击检流计法	(381)
(二) 直流磁滞回线的自动记录装置	(382)
(三) 采用计算机控制的数字积分式直流磁参数测试系统	(391)
(四) 测量直流磁参数的振动样品磁强计	(391)
(五) 利用磁光效应制作的磁性测试仪	(393)
(六) 低漂移、高灵敏度的快速SQUID系统	(394)
六、软磁材料动态磁化特性曲线的测量	(396)
(一) 动态磁化曲线的测量	(397)
(二) 交流磁滞回线的测量	(400)
(三) 用计算机控制的交流磁化特性曲线测试系统	(402)
(四) 脉冲磁化特性曲线的测量	(403)
七、铁损和交流磁导率的测量	(404)
(一) 测量的基本原理	(405)
(二) 功率表法	(407)
(三) 数字式功率表法	(409)
(四) 计算机控制的高频铁损测量系统	(412)
(五) 用三电压法测量交流磁参数	(414)
(六) 交流磁导率的测试方法	(415)
八、磁性材料性能参数的综合测量	(418)
(一) 自动测试的基本原理	(418)
(二) MATS-2000型装置的简介	(418)
(三) 软件功能	(419)
参考文献	(422)
附录 我国电单位改值的具体办法	(425)

绪 论

科学、技术的发展与测量的发展是分不开的。自然界的规律是在找到能对实际的量进行探查和测量的方法和手段，并经过逻辑推理才被揭示出来，并以定律的形式肯定下来的；而一个理论只有在不断被测量结果验证之后，才被广泛接受。新现象的发现和新规定的揭示又推动测量的发展，提供新的测量手段。因此，可以说：

测量对人类的进步起着重要的作用，人类的进步是以新的测量技艺的发现作为前导。从探测和思维推理的角度来看，可以认为测量是人类感觉系统和大脑功能的补充和延伸。

自然界的各种现象和规律都可作为测量的依据，但其中电磁现象及其规律不仅能为电与磁的测量提供多种多样的手段，并且可扩展到几乎所有非电量的领域，这就使得电磁测量形成内容丰富、自成系统的专门知识。

一、电磁测量及仪表的发展过程

回顾一下电磁测量及仪表的发展历史，有助于对电磁测量科学体系形成的了解。

(一) 早期

这一时期为19世纪20年代（约1820年）以前。

在1820年奥斯特发现动电生磁现象以前，电学测量和磁学测量是独立发展的。主要是通过静电与静磁的机械力效应，将它们转化为便于人类感知及分辨的位移指示而进行测量的。具有代表性的电学仪器有1590年吉尔伯（W. Gilbert）提出的Vorosium（图0—0b）；1745

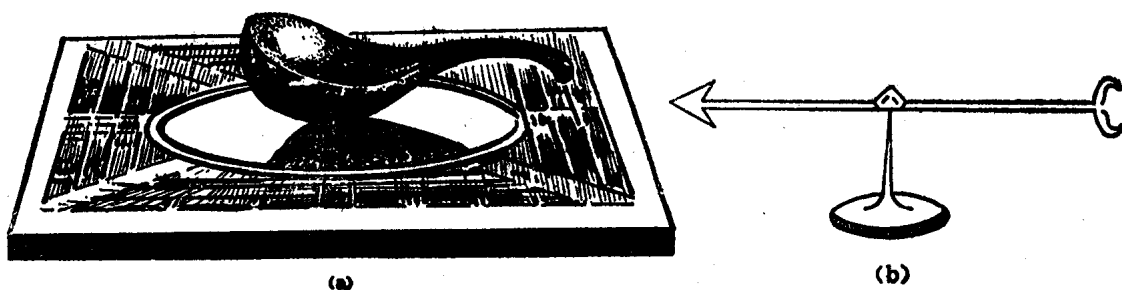


图 0—0

年里赫曼（G. W. Richman）、1785年库伦的静电扭秤等；磁学仪器则有公元初由中国墓葬出土的“司南”（图0—0a）和吉尔伯的Vorosium（改用铁指针）等。

(二) 初期发展阶段

这一时期由实验室研究走向工业应用，并且电磁测量仪表工业开始初步建立（约1820～

1910年)。

1820年,奥斯特(H. C. Oersted)发现带电流导线使磁针受力偏转的现象,即动电生磁的现象。1891年安培(A. M. Ampere)阐明两带电流导体间能产生吸或排斥力的效应。1831年,法拉第(M. Faraday)发现电磁感应现象,即动磁生电现象,从而揭示出电和磁之间的关系。由这些现象归纳出的规律是以后发展出的机械式指示电表和磁性测量的理论基础。此外,电测系统的大多数基本原理也在此阶段的前期被发现。很多著名科学家做出了突出贡献。

1850年以后,不少今天熟悉的模拟式仪表,在当时已逐渐脱离由科学家自行设计、制造和自用的阶段,形成工业产品;即经过改进、完善、成型制成耐用、可靠的商品,供科技人员广泛采用。

各种机械式指示电表的成型和完善化的情况大致如下:

达松伐尔(d'Arsonval)动圈、镜式检流计制成于1882年;韦斯顿(Weston)于1888年提出类似于今天的外磁动圈式磁电系电表的工业制品。

关于电磁系电表,1881年克兰姆顿(R. E. Crompton)和凯普(Kapp)以及1885年开尔文(Lord Kelvin)制成直接吸入式电流表;在此期间,纳尔德(Nalder)提出排斥式电表机构。1888年,美国西屋(Westinghouse)电气制造公司首次向市场提供用于测交流的排斥式电表商品。

1843年,韦伯(W. E. Weber)以及西门子(Siemens)提出电动系电表机构。1881年,艾尔顿(Ayrton)及佩里(Perry)利用此机构形成功率表;1884年,西门子公司制成商品出售。

1888年,夏兰伯杰(O. B. Shallenberger)首先提出利用感应原理的交流电表机构;约在1894~1895年获得千瓦时表的专利,这时它已是一个比较完善的工业电表。

1834年,哈里斯(W. S. Harris)提出吸引式静电电表机构;1853年,开尔文引入保护环。1887年,已有工业用静电电压表供应,主要用于高电压测量。1890年,出现多室(multi-cell)结构,将量程下限降低到60~150V。

对于快速记录仪表如机械示波器,1891年布朗迪(Blondel)制成振子;1897年组成达迪(Duddel)电机械示波器。稍晚,根据振子原理制出振动检流计。

由上述可见,机械式指示及记录仪表的工业大致形成于19世纪末期。

至于较量仪器,1833年克里斯泰(S. H. Christie)首先提出四臂桥式电路;1843年惠斯登(C. Wheatstone)加以完善,用于测电阻,这就是目前仍在使用的直流单比电桥。1862年,开尔文提出直流双比电桥,解决了测量小电阻的问题。

由直流电桥过渡到以正弦交流供电的经典电桥实际经过了几个阶段,出现了为满足各种要求的桥路。1891年,维恩(M. Wien)发表了他所收集的一些经典交流桥路,其中包括他本人所改进的麦克斯韦(Maxwell)电桥电路。1893年,罗兰(H. Rowland)收集到不下27种交流桥路;1908年,坎贝尔(A. Campbell)提出一些带互感的交流桥路。

对于直流电位差计,1841年,波甘多夫(Poggendorff)提出两种用于比较电位差和电阻的标准电路,即定电流和定电阻电路;但经过半个世纪后方有正式商品供应。1895年,克兰姆顿制成单档结合滑线电阻的电位差计。1906年,李兹、诺斯罗普(Leeds and Northrup)工厂生产的K型电位差计中引入标准电池度盘,使电位差计线路更为完善。

最早出现的交流电位差计是弗兰克 (A. Franke) 于1891年提出的双发电机式。1908年, 德赖斯达利 (C. V. Drysdale) 采用移相器组成极坐标式电位差计。1910年, 坎贝尔 (A. Campbell) 与拉逊 (A. Larsen) 介绍了他们所制的简单却精致的直角坐标式电位差计。

测磁仪器大多成型于20世纪初。例如, 艾普斯坦方圈 (Epstein Square) 完成于1900年, 磁通计完成于1904年, 至于某些磁导计则晚十余年后才出现。

(三) 第二发展阶段——经典电磁测量体系的形成

这一时期由20世纪初期到50年代 (约1950年)。在此阶段中发生两次大战, 战争与和平时期的实际需要使电磁测量及有关工业有了很大发展, 突出的成就有:

1. 经典电磁测量形成了自己的科学体系。表现在电磁测量仪表设计与测量线路理论的深入与系统化。在大量文献和科技成果的基础上, 有不少经典性专著发表。所有的工业先进国家都建立了一整套电磁量计量基准拟定传递系统, 成立了专业研究部门, 出现了大批专业仪表生产厂家。有些国家还在学校中设置专业或成立专业院校。

2. 由于软磁材料和高磁能永久磁铁的发展, 机械式指示电表的性能有很大提高, 并出现广角度指示电表及内磁铁式磁电系电表。电度表的各种补偿和校正更为完善, 并开始采用磁悬浮轴承, 这一改进可大量延长仪表的使用寿命。标准元件更为准确和稳定, 电位差计线路更趋于完善。为满足各种不同要求, 出现一些新的交流电桥电路。仪表测量范围的上、下限不断扩展, 测量准确度不断提高。

3. 在此阶段内有两项重要科学成就对电测量起了很大促进作用: 首先是1907年电子管的发明及电子技术的发展, 组成形形色色的电子仪器。其中电子振荡器扩大了测量的频率范围, 测量放大器提高了仪器和电表的分辨率和灵敏度。灵敏度与稳定度是提高准确度的必要条件。

其次是1922年明诺斯基 (N. Minorsky) 首先提出, 并于1934年为海曾 (H. L. Hazen) 严格论述的反馈原理。此原理是将系统的输出与输入进行比较, 取得差值信号, 然后利用放大后的差值信号去推动校正动作。战争的要求需要高性能的控制系统, 利用反馈原理能满足这一要求。在此期间, 控制与测量日趋紧密, 使得测量向具有系统性质的仪表化 (Instrumentation) 方向发展。

将反馈技术应用到仪表本身和测量系统, 对提高测量准确度是一项非常重要的措施。1935年出现的反馈放大器, 对改进电磁测量技术起了重要的推动作用。

4. 这一阶段的另一个特征是由于测量与控制结合, 使得非电量的电测量技术有了飞跃的发展。

(四) 电磁测量的近期发展阶段

自20世纪50年代到目前(90年代)。以前各阶段的电磁测量, 不论所根据的理论如何, 采用的方法和使用的仪表都属于模拟方式, 这些仪表称为经典仪表。50年代以后, 经典仪表仍有不少发展。更为突出的是: 由于引用了新技术和新器件, 使电磁测量发生了巨大变化。在此分述如下:

1. 经典指示电表向变换器式发展, 以便使表头标准化。在经典仪器中, 交流电桥有较大变化。主要是由于50年代出现了准确度高的计算电容, 为各国计量部门采用作为电学阻抗

基准以代替计算电感。为了对比和传递其量值,要求准确度高、稳定度良好、受杂散及内部相互干扰小的电桥。原经典电桥无法满足这些要求,使得在20年代取得专利的变压器电桥于60年代起得到飞跃发展,特别是由于采用同心电缆接线方式,其性能不断完善和提高,得以顺利胜任上述任务;同时发展出一系列利用磁感应紧密耦合原理的高准确、高稳定、受干扰小的交、直流精密较量仪器。

此外,40年代发明的半导体器件在50年代已被广泛使用,并发展出集成电路、大规模集成电路等,为模拟测量仪表的改造创造了条件。例如,运算放大器已被结合到交流桥臂中,形成有源电桥、半桥等。

2. 更为重要的是:在电磁测量领域中引入了数字技术与计算机技术。第一台计算机于1946年出现;而第一台数字电压表于1952年问世。这标志着电磁测量已进入模拟方式和数字化测量方式共同发展的阶段。当时,它们还都是采用电子管线路。此后,由于半导体技术本身的不断更新和深化,绝大多数电子管为晶体管所代替,并从分立元件线路进入集成方式,这促使数字化仪表和测量技术发展更为迅速,有后来居上之势。数字化仪表采用了完全不同的原理,它的核心是模-数转换、数-模转换、采样保持和记数器等。这种仪表的准确度高,可达计量准确级;速度快,便于与计算机联接以进行自动化测量,使仪表本身智能化并结合成测量系统等。计算机的存贮功能与数据处理功能使数字化仪表性能大为提高,是模拟式仪表不能做到、至少难于做到的。特别是,1974年将对时间轴的采样技术引入数字测量技术。因此,电磁测量的技术水平有了很大提高。至此,电磁测量的发展趋势是:模拟测量理论仍将存在,它也是数字化测量的理论根据;不少模拟仪表仍有市场,但将有一些为数字化仪表所代替。数字化测量将越来越重要,应用范围越来越广泛,要求发展新的数字测量理论、测量方法及有关误差理论,并且将更多地与计算机结合,充分发挥计算机的功能,组成高准确度、具有自动化、智能化功能,能满足复杂静态与动态测量的系统。

二、测量过程及有关问题

不论是模拟还是数字化测量,按照经典定义,测量是通过具体实验将未知量(即待测之量)与作为标准的量(标准量)相比较的认识过程;而测量方法从狭义的角度来看,以电磁测量为例,可以认为就是采用某种仪表和测量线路来具体实现这一过程。

未知量是测量的对象,测得符合准确度要求的量值是我们的测量目的。未知量不一定是实际的物理量(例如表征材料特性的电阻率 ρ 、电容损耗角 δ 等),它们可能由于条件限制而未能直接测出。这时只能采取迂回的方式,即测得一些有关的量(或称辅助量),再通过一定的函数关系得到被测量。这些辅助量可以与被测量是同类的或非同类的。

据此,测量方式可分为直接、间接和组合三种。

对于一个未知量的测量可以有不同方式,即使只有一种方式,也可能用不只一种方法和仪表来实现。

本书主要针对电磁元件、回路和材料的有源参量及无源参数这两个方面。多年来,电磁测量的理论研究和相应仪器与电表的研制就是沿这两个主要方面进行的。而从它们的发展过程来看,一方面在电磁测量领域的内部,理论和实践一直互相依赖、互相促进;另一方面又不断从外部吸取兄弟学科的新技术、新成果,才使得电磁测量得到如此迅速的发展。

即使具备了发展条件,能否取得成就,除了生产、科研上的要求所激发的动力外,人的因素也很重要。这就是还要靠人的创造能力、敏锐和触类旁通的思路以及勇于进取、精益求精的精神。要培养能透过事物和现象,特别是新事物、新现象的表象,认识具有指导意义的本质内容的能力。要求能对那些即使在目前用途不广,但可能在新情况、新条件下有用武之地的情况反应敏锐。这也包括一些在目前认为过时的东西,它们在新条件下可能重新获得生命力。

遗憾的是,对于类如创造性想法的形成、为新问题寻找最佳的解答等,都没有定规可循,但培养分析思想和系统陈述新想法的习惯还是可能的。这要求人们具有敏锐、渴望求知和训练有素的头脑。

不仅如此,电磁测量带有很强的技艺性。表现在为实现一项测量任务时,所涉及的范围往往要比例行标准步骤有更广为丰富的内容。因此,对于同一测量任务,如采取完全不同的解决方法,即使都已竭尽全力而为,其结果还是可能有较大的差别。

为了解测量过程的一般原理,可将测量过程分解为一些环节,适当地联接这些环节就可形成如图0—1所示的结构框图。

如前所述,经典测量是一个比较过程,就是将未知的待测量与标准量比较。但两者的类型不一定相同,数量级也可能迥异。因此,在进行比较前有必要将这两者转化为同类型与同数量级的量。框图中的两个变换环节就是为了这一目的而设置的。

经过变换后的两个量送入比较环节,此环节可以是一个机构、一个线路或一个装置。比较结果的表示方式可以是指针偏转、数字显示或指零等,后者要经过进一步处理才能给出测量结果。

以磁电系指针式电压表为例,被测电压经变换环节(即倍压器)转化为适于磁电系测量机构接受的电流值,并在测量机构中与磁场相互作用转化为力矩;另一方面,标准量即标准电压值,在仪表校验时也转化为力矩数值贮存在游丝或张丝中。所以,在这类电表中,最终以力或力矩的形式进行比较。比较的结果体现为指针的偏转指示。

以电桥为例,设未知量是一个待测的阻抗,而标准量可以是一些同类或不同类的标准元件。适当结合一些其它高准确度的元件或装置组成桥路。当施加电源于此桥路时,未知量、标准量都转化为电压(或电流)形式在桥路中进行比较。如采用零值法,一般要经计算即简单数据处理方能得到未知量的数值。

再以双斜率积分式数字电压表为例,被测直流电压与标准电压都经变换环节转变为时间间隔,然后进行比较,最终以数字形式显示。

组成测量过程结构框图的每一环节不仅包括各种具体的设备即测量仪表或线路,也包括可采用的不同方法和技巧。实验者可根据允许误差、工作效率,即是否操作方便与经济核算等因素进行选择。

在测量的理论中,统计方法的重要性日益显著。各态历经的稳态过程等都可以用统计的方法来描述。测量过程效率的提高以及测量装置的设计要采用新的统计方法来改进。不过应注意,测量装置和测量方法的准确度原则上不能用统计计算方法得到大幅度的改进。

另一方面,由于工程技术的发展,动态测量日益重要,不但要求研究其测量理论和方法,而且要求研究有关的误差理论及其修正措施。

静态测量的误差理论仍是重要的,但必须解决在什么条件下以及用什么方法才能更多的