

电 信 测 量

(上)

【西德】路道夫·凯泽 等编著

张书良 刘秀文 译

人 民 邮 电 出 版 社

Betriebsmessungen der Fernmeldetechnik
Teil: Übertragungstechnik
Herausgeber: Dr. phil. Rudolf Kaiser

内 容 简 介

本书译自德文书“电信测量 第一部分 传输技术”，上册包括了电缆线路、电报和数据线路，以及音频、载波和脉冲编码调制传输线路的测量等内容。着重介绍了在这些线路传输中，对一些常见故障查找、确定的方法和对一些主要技术指标的各种测试方法。

下册内容包括微波中继通信，广播、电视传输以及无线电监视等专业中的测量。

本书可供从事线路及设备维护、测试的广大工人、科技人员和有关的管理人员参考。

电 信 测 量

(上)

[西德]路道夫·凯泽 等编著

张书良 刘秀文 译

人民邮电出版社出版
北京东长安街27号
河北省邮电印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售

开本: 787×1092 1/32 1984年5月 第 一 版
印张: 6 16/32 页数: 104 1984年5月河北第一次印刷
字数: 148 千字 印数: 1—8,000册
统一书号: 15045·总2835-无6270
定价: 0.66元

出 版 说 明

本书译自德文书《*Betriebsmessungen der Fernmel detechnik Teil 1. Übertragungstechnik*》(电信测量 第一部分:传输技术)。该书涉及的专业范围比较广泛,既包括了电缆、电报、载波专业中的测量,又包括了超短波、微波和广播、电视等专业中的测量。不仅对工程技术人员比较实用,而且对有关专业技术的管理人员也有一定的参考价值。

为了便于专业人员选读,我们将原书章节重新进行了安排,分为两册出版。

上册内容包括:

1. 电缆测量技术(原书中的 1),
2. 电报和数据传输线路的测量(原书中的 3),
3. 音频、载波和脉冲编码调制传输线路的测量(原书中的 4)。

下册内容包括:

1. 微波中继通信测量技术(原书中的 2)
2. 电视线路和伴音线路的测量(原书中的 5),
3. 无线电超短波广播发射设备和电视广播发射设备的测量(原书中的 6),
4. 无线电广播和电视广播接收的测量(原书中的 7),
5. 无线电监视测量业务(原书中的 8)。

前 言

近年来，绝大部分关于世界电信技术大型系统的文章都分别发表在杂志刊物上和会议报告中，这方面的综合性书籍极其缺乏，而电信测量技术的情况更是如此。这无论是对初学者和需要进行综合比较的研究人员，还是对管理部门和工业部门的技术人员（由于工作繁忙，他们没有时间，没有机会，也没有可能为查找自己最需要的资料而去翻阅大量的，有些还是外文的期刊文献）来说，都是一件憾事。我们出版这本书，不仅考虑到熟练的工程师，而且考虑到技术人员、新生力量以及要通过日常工作努力全面掌握电信技术的自学人员。只有掌握测量技术，才能彻底掌握电信技术本身；只有对某个系统进行测量，才能真正了解这个系统。这已经是人人皆知的经验。这就是我们出版这本书的目的。

众所周知，测量是一种实践性十分强的工作，因此在一本关于实际测量的书中，具有发言权的不是那些纯理论工作者，而是那些实际工作人员。他们在自己本专业上从事过多年的责任性很强的实际工作，因而能够分清主次，也确实有经验体会可谈。我们这个写作小组全部由德意志联邦邮电（DBP）电信技术总局（FTZ）的成员组成。电信技术总局是一个承担世界电信网国内大量维护测量工作的机构，它在测量技术的国际标准化工作中也起着举足轻重的作用。鉴于上述情况，我们觉得，本书要做到内容正确，实践性强，并且对未来也有指导意义，是完全具备前提条件的。

谈到本书的著作水平，我们曾经有意识地在高等技术学校中开办电信工程师培训班。一方面使年轻的新生力量获得足够的情报资料，另一方面使从事其它工作的工程师有机会进修深造。此外，大学毕业后在工业部门和管理部门工作的工程师，当然包括电信技术专业的学生，都可以通过本书讲授的实践知识，从各章节中得到一些收益。我们希望这本书不致于因公式推导的某些不足而缺乏科学上的彻底性。

最后，出版者和作者都希望，这本书不仅对于初学者，而且对于那些在管理部门和工业部门工作的有志于掌握测量技术的工程师和工作人员都能有所裨益。

目 录

前言	(1)
0. 引言和基础	(1)
1. 电缆测量技术	(17)
1.1 引言	(17)
1.2 直流测量	(18)
1.2.1 确定电话线路传输特性的直流测量	(18)
1.2.2 用直流测量法确定故障位置	(24)
1.3 交流测量	(50)
1.3.1 交流测量概述	(50)
1.3.2 导线参数和传输参数	(50)
1.3.3 耦合测量	(59)
1.3.4 衰耗测量	(61)
1.3.5 串音衰耗测量	(63)
1.3.6 用交流测量法确定故障位置	(66)
1.4 长途电缆的充气测量	(68)
1.4.1 气体指标	(68)
1.4.2 长途电缆漏气位置的粗略定位	(72)
1.4.3 长途电缆漏气位置的精确定位	(82)
2. 电报和数据传输线路的测量	(85)
2.1 引言	(85)
2.1.1 传输电报和数据的线路	(85)
2.1.2 需要测量的参数	(87)
2.1.3 测量业务的任务	(89)

2.2	测量码元畸变的方法	(90)
2.2.1	畸变量	(90)
2.2.2	测量等时畸变量的方法	(93)
2.2.3	单位畸变量的测量	(97)
2.2.4	测量起止畸变量的方法	(97)
2.2.5	畸变测试仪器	(99)
2.3	差错率测量	(101)
2.4	在电传线路和电传网上进行的测量	(104)
2.5	数据线路的测量	(107)
3.	在音频、载频和脉冲编码调制(PCM)传输线路的测量	(111)
3.1	概述	(111)
3.1.1	传输方式的种类	(111)
3.1.2	测量业务的任务	(118)
3.1.3	传输参数	(118)
3.1.4	测量方法	(128)
3.2	电话线路及其附加设备的测量	(131)
3.2.1	电平测量	(131)
3.2.2	衰减测量	(132)
3.2.3	噪声电压测量	(142)
3.2.4	时延测量	(144)
3.2.5	特殊测量	(151)
3.3	载波系统的测量	(155)
3.3.1	电平测量和衰减测量	(156)
3.3.2	噪声测量	(160)
3.3.3	频率测量	(168)
3.4	数字测量方法	(168)
3.5	半自动和全自动测量方法	(170)

3.5.1	概述	(170)
3.5.2	半自动测量方法	(171)
3.5.3	自动测量方法	(178)
3.6	脉冲编码调制(PCM)系统的传输测量	(186)
3.6.1	工作方式和各种概念的确定	(186)
3.6.2	测量方法	(189)
	参考文献	(193)

0. 引言和基础

国际与国内，人和人之间（或者机器之间）交换情报或信息所用的大型电信传输系统的产生并不是偶然的。经过艰巨而繁琐的劳动，有些甚至要用几年或数十年的时间，才奠定了研究工作的基础，设计并完善了工艺程序，研制成功了仪器和设备，提供了成批生产的方法，修建了批量生产的厂房，最后又经过艰巨的设计和安装工作，才把各个网络和台站连接成一个具有世界规模的通信纽带，它包括作为分系统的各国电信传输系统。从整体来说，这是人类历史上建筑工程的最宏伟成果之一。仅就1970年的世界电话网而论，其价值就约为1万亿马克*。这就极其清楚地表明，在整个工程的任何部位工作的技术员，工程师或科学家的责任是何等重大，特别是那些维护人员，他们用自己的劳动使价值亿万的设备虽使用多年（一般都要超过15年），而仍然能够符合刚刚投产时的质量、稳定性和可靠性的国际标准。

没有测量工作，就不能完成上述任务。

德意志联邦邮电、各高等院校和电信工业的研究机构往往着眼于未来几十年，从事着有朝一日会在世界通信技术上发挥作用的新元件、新工艺和新方法的基础科学研究。其研究范围包括尚无固定目标的纯基础理论研究、具有一定目标的研究以及在未来通信技术上明显可以应用的分科研究。所应用的测量方式和方法绝不仅局限于电子技术本身；声学、光学、力学、

*此处系指西德马克一译者注

热力学、原子物理学和核物理学、射流技术、生物化学，甚至生物学和医学等方面的众所周知的或者刚刚研究出来的测量方法和检验方法，往往都能决定一项研究任务的成功与否。这类测量在本书中将不予探讨。

研制阶段是向实用通信系统迈出的最近的一大步。研制就是对两个相对应的测量值（理论值—实测值）进行比较，不断做数值分析，其最后目标是要产生一台生产条件未臻完善的、但能够足以证明国际标准化、国家职责手册或者技术章程的要求是可以实现的“样机”。在长途通信技术系统（特别是载波通信技术和微波中继通信技术）的研究工作（德意志联邦邮电电信技术总局研究院的部分研制任务除外）还几乎全部处于行政管理之外的时候，作为电信技术的企业组织的德意志联邦邮电电信技术总局的电信工程师就开始制订技术章程的工作。他们根据自己的专业知识和经验，并和有关工厂的实验室密切合作，以力争实现技术的完善性与产品的经济性的正确统一，并将其作为章程规定下来。当然，这时也要照顾到一些非技术性的基本观点，例如，一个生产费用比另外一个方案可能高出10%的系统方案，如果它一年只要求一次维护和适配测试，而不是每三个月就得进行一次这样的维护和测量，这样，从寿命上看，它却要便宜得多。库存保管问题、配备测试仪表问题、培训技术人员问题，解决工作时间问题以及工资等问题，这些都直接与总经济性有关。由此看出，这一阶段测量技术已经在未来使用的工作系统上起着决定性作用。另外，一个新系统或者部分系统的研制工作也要推动有关测量仪表和测量方法的发展，这一点也很重要。

新系统的仪器或者设备的“样品验收”是一个关键时刻（可能要延续若干周）。随着样品验收的开始，研制期从形式

上说算结束了，尽管生产公司在某段过渡时期内还承担着责任。正如所述，要根据职责手册和技术章程的要求复查样机，记录测量数值和测试时间，并把这些以文件形式规定下来。样品检验通常在生产公司的实验室、研制场所或者试验场上进行。检验时需要使用公司的负责研制仪器的测量仪表站，这样可以把新系统的仪器和设备与公司所属的所有测量仪表做一个比较。这次验收测量为德意志联邦邮电的研制工程师、操作工程师，技术人员和工作人员提供了熟悉新系统的特点，以及质量、稳定性和可靠性情况的宝贵机会。这点也只有通过全面而有计划的测量才可能做到。

样品检验工作顺利完成后，将交给生产工厂成批生产，这时专门的质量检验人员就要代替研制工程师和技术人员。质量检验人员只需要进行日常检查和测量重要参数，并从事抽查工作就可以了。原来的测量工作，以后要由电信局（操作地点）的电信工程师和技术人员负责。

把一个系统的仪器设备在工作地点（台、站）安装好以后，由于新系统的设备首次付诸使用，因此根据贸易手续一般要进行安装位置、电源或者线路的验收。这时，环境条件、电源、遥控和远距离监视、等效电路、可接触性、维修方便性、损坏部件的更换等均系很重要的问题。生产公司、电信技术总局以及各电信局的测试人员必须携手合作，共同寻找和排除故障源和干扰源。有关新系统的全部责任最终要由操作部门的测试人员来承担，他们除了负责系统的整个寿命外，还肩负着维护任务，即管理、保养、维修等工作。有关的测量任务以及如何按照时间计划进行测量，这已有详细规定。长途通信系统的大部分维护测量工作要在国际维护范围内进行。基于这一原因，应该先谈一谈国际测量技术和测量实践的一些重要实施办

法。

首先，对所采用的“系统”一词还要做一些说明。根据一般的解释，可以把它理解为独立性很强的、由若干分系统构成的技术成果。在包括德意志联邦共和国在内的大多数国家中，这一概念不仅包括技术产品本身（硬件），而且包括保证系统正常工作所必需的各项规则、章程、经验和计划等等（软件）。例如，如果用德意志联邦邮电的行话谈及一个装在线路上的微波中继系统时（如FM960-TV/4000微波中继系统），除了包括系统的仪器和技术设备（调制机架，发射机架，波道滤波器，波导连接部件，混凝土塔，喇叭抛物面型天线等等）外，还包括脑力劳动的因素（诸如线路设计，频率略图，传输机理，衰落情况以及包括国际上的维护测量在内的各种最重要的维修测量工作）。对一个系统进行的测量工作也属于该系统的组成部分。不具体了解系统本身就不懂得如何测量。与此相反，只有通过系统的测量，才会更清楚系统的作用方式和具体情况，以及由于白天工作负荷情况复杂而偶然出现工作条件异常时，系统的作用方式和状况。

因此，在下述各章节中就不能只探讨测量方法。不大体上掌握系统本身，就不能进行测量，这点需要作扼要的说明。认真地研究和规定系统在调整后无干扰的工作，得出某些标准值（频率，带宽，阻抗，信噪比等）的测量点，显得最为重要。具体了解这些标准值的允许误差也十分重要，因为超过容差界限就必须采取某些措施。有些措施，诸如自动微调，重新调整，更换损坏部件等，则无需离开工作地点；而有些措施，如重新调整整个国内线段或国际线路，或者对特殊传播情况和天线问题作理论调查，则需要进行全面检验。由此可以看出，从事测量工作的工程师或者技术人员的工作远远超出日常检验

(在检验单或检查单上划钩)范围。当然，他们必须完全熟悉系统内部的工作情况才能进行测量。本书要在专门章节中对这点进行深入讨论。

用于工作测试的各测量点需要精密计划考虑，并且只要有可能，就应装有防止操作故障的装置。应该避免因使用测量点粗心大意而出现的工作故障，例如采用不合适的、不匹配的或者阻抗过低的测试仪器，就会出现这类故障。但是，完全防止粗心大意或者短路连接是不完全可能的，或者要大量耗费人力财力。在讨论各个系统时，我们将比较深入细致地研究这些特殊问题。

由于在系统本身各设备范围内的测量会影响公共传输业务，因而只能由高水平的而且特别授权的测试工程师从事这项工作。根据长期的经验，他们可以准确判断出测量是否一定要在工作时间内进行，或者是否有可能把测试工作改期在通信业务较少的一天或一周进行，以及是否可以在正准备使用的备用设备或者备用线路上进行测量，以便能够获得所需要的或者可供比较的测量结果。

应该指出，在这一方面测试工程师还有一个重要的作用。虽然在样品验收和线路验收时进行了严格的检查，但绝不是说，系统一经投入使用就“万事大吉”了。它开始要犯一系列的“幼稚病”，这时，也许要更换一些尺寸不合乎规格的部件，例如，更换未曾估计到的蓄热处的通风机马达。这以后才开始长期工作。在这一时期内，首先要在测量技术上积累有关经验。有些问题是不能在生产中或从严格的检查和验收中及时解决或进行模拟的，诸如长期稳定性和可靠性方面的问题。这些知识不仅对于业务管理，而且对于研制实验室的工作都是极其重要的，其意义远远超出保修时间范围之外。甚至可以略加

夸张地说，这里与其说是对工作系统的继续发展，还不如说是对相同或者类似型号的第二代系统继续进行研制。一旦发现元件不理想、结构上布置不合理，以及富裕度设置的不够等，就会有助于在将来的设计中避免出现相同或类似的问题。当然，只是确定故障存在的原因是不够的，还要详细确定故障状况及其随着时间变化的情况。所有这些问题同样要在适当的章节中进行深入讨论。

本书各章的安排顺序，在一定程度上是根据电信技术本身的发展历史和逻辑发展情况进行编排的*。

第1章要讲述最古老的、至今依然是最重要的传输媒介—电缆。这里只能顺便扼要地讨论一下生产电缆时各公司内部采用的测量方法和检验方法，而重点则要放在讲述传统的直流测量方法和交流测量方法上。目前，甚至到将来，这些方法都是确切了解电缆电气特性的基础。如果超出一般设计范围而扩大电缆的使用范围，例如通过普通的连接电缆传输电视信号（可视电话），或者将来在数字传输上使用普通电缆，那么了解电缆的电气特性就更为迫切了。此外，也要讲述现代化的测量方法和检验方法，譬如用脉冲方式进行故障定位的各种方法。电缆测试工程师还必须对交叉电力线或平行电力线的干扰影响进行测量。

把微波中继通信技术选为本书第2章的内容，从历史发展上看，这倒是颇为可疑的。我们之所以这样做的原因，是基于微波射束（赫兹电缆）是远距离通信传输技术第二位重要的媒介这一事实。在扼要介绍一下目前的微波中继通信系统之后，本章讨论了测试工程师必须掌握的三种频率范围（基带频率范

*这里讲的是原书的章节安排顺序。在中译本中，将原书中的1、3、4章编为第一册，其余章节编为第二册。

围或者载波频率范围，中频范围以及微波或者射频范围)的专用测量仪器和方法。为适应当前的技术发展水平，需要特别着重介绍角调制(频率调制，预加重)的情况。这一章还要深入研究首先应用于微波中继通信技术，而后又应用于载波技术的噪声—非线性失真测量方法，以后还将谈到这些。

从历史发展上看，电报线路和电报系统的测量技术是最古老的测量技术，本书第3章要结合现在以及将来的数据线路技术对此进行讲述。由于从测量技术上看，图象传真线路与普通的电话线路是一样的，因此这一章仅限于信号失真的测定问题以及介绍电报传输系统、用户电报和数据网络及其类似线路的测量。

第4章涉及的范围最广，它由既互相独立又密切相关的三部分组成，包括电话线路的测量，载波线路的测量以及PCM线路的测量。这一章首先介绍各种各样的线路和系统，因此有效地补充了第1章的内容。根据模拟载波技术的发展状况，这一章主要讲述了有关的模拟测量方法，但也用了大量篇幅探讨不久的将来要应用的数字测量技术。这里特别着重介绍了意义越来越重大的自动测量方法。由于在用于近程通信和地区通信传输技术的PCM系统上已经积累了丰富的工作经验，因此这一章也全面介绍了有关的测量方法和测量仪器。有些就其意义来说已超出第4章范围的问题，但是因为它们具有一定的普遍意义，所以在引言中要分别予以讨论(多路电话放大器的理论，国际维护标准化等)。

传输无线电广播是一个特殊的系统。目前，它还不完全掌握在德意志联邦邮电的手中。在其它地方，主要是在广播公司的播音室里发出信号，并经过各个中心分配站发送到国内和国外的各广播发射台去。第5章将要介绍在伴音线路上进行的专

门测量，而这些测量正是高质量和高稳定性所要求的。文中首先要讲述与电话传输明显不同的测量条件、频率分配情况和电平分配情况，然后再介绍三种最重要传输通路的测量—音频通路测量、载波通路测量和微波中继通路测量。在一条新通路投入使用时，上述各种测量都是很必要的。介绍经常进行的维护测量时，必然要讲述同样将信号传送给管理部门的电视线路上的有关情况。只有在模拟测量方法与数字测量方法同时使用并且互为比较时，才往往会出现特殊的问题。对此要做一些重要的测量，其中包括采用双测量法，既在频域测量，又在时域测量。正如第2章（微波中继通信）已经初步讲到的那样，应用这种方法可以显著补充和加强测量的判断效果。为了在转接欧洲电视线路的常用的各个电路上随时获得可供比较的数值，使测量和检验信号实现广泛的国际标准化则是十分必要的。近年来，随着电视技术的飞跃发展，特别是彩色电视的应用，测量技术也有了显著的变化，其标志为：一方面，扫描方法日臻完善；另一方面，研究成功了既省时间又省人力的全自动化的鉴别和计算测量值的新方法。

部分由管理部门负责的超短波伴音发射装置和电视广播发射装置的测量，为系统测量提供了方便。这些发射机的测量和检验，特别是功率放大级的测量和检验要求新型的测量方法和测试仪器，第6章对此作了较详细的介绍。重点是讲述如何测量功率、电平、频偏以及所出现的各种故障。由于本书没有专门章节讲述很重要的电视发射机的测量技术，所以在本章范围内对此也作了些介绍。

第7章介绍在人口居住稠密的国家中—如德意志联邦共和国，随着发射和接收网路不断扩大，意义也越来越重要的无线电干扰测试业务的专用测量方法和测试仪器。这里要讲述如何

从数量上测定干扰源，这里所说的干扰源，不是指来自本系统或者临近系统的，而是主要在大城市或工业区，由于各种原因产生的并且往往很难定域和测定的那些干扰源。在这方面也研究出来了既节省时间又能记录数值的自动定向专用测量法。

为了能够维护和保证在大气层中必要的工作原则，已经组建了无线电监视测量服务部门，第8章将介绍这方面的专用测量方法以及各种测量设备。为了使各种无线电业务部门并行不悖地工作，为了能够记住和掌握国际上规定的工作参数（频率、功率、频偏等）的容许误差和非容许误差，而与性质相似的其它的国家组织和国际组织密切合作，进行了艰巨的探测测量和定域测量。也许有人会认为，这里说的一些测试（例如卫星观测）需要由那些出类拔萃的专家去完成，而这方面的知识对于普通的测试工程师则无关紧要，但是，情况绝非如此。这是因为无线电监视测量站要应其它各服务部门的要求进行工作，必须熟悉这方面的测试设备和测量方法。

关于本书的各章节就讲这些。

在线路上传输的以及经过功率发射机或无线电发射机的复用设备和调制器多次转换而发射出去的各种不同的信号中，可视电话信号在社会政治上和国民经济上都起着较重要的作用，这点无需特别强调。电话在过去、现在以至将来都依然是人和人之间交往的，甚至超出洲际范围的一项电信业务。如果考虑到至本世纪末，德意志联邦共和国的长途呼叫量根据慎重的估计约增长6倍（从34亿提高到200亿）的话，由此就可以看出，电话业务的传输技术和测量技术是多么重要。德意志联邦邮电的工作业务将在多大范围内采用新型的数字传输方法，现在还不清楚。目前以及今后一个很长时期内，模拟载波技术都肯定要居于首位。这种技术节省频率，能极好地适应于现有的电缆