

有线电信测量技术基础

(上册)

苏联 H. H. 索洛维也夫 著
成都电讯工程学院 译

人民邮电出版社

有綫電信測量技術基礎

(上冊)

苏联 H. H. 索洛維也夫 著

成都電訊工程學院 譯

人民郵電出版社

Н. Н. СОЛОВЬЕВ

ОСНОВЫ

ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

ПРОВОДНОЙ СВЯЗИ

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ 1955

內 容 提 要

本書分上下兩冊。上冊介紹有線電信測量技術的基本概念，現行採用的單位的定義、測量誤差的分析和估計方法，並且詳細地介紹了測量儀器、連接零件、電源等的基本特性和要求。此外，作者還根據測量儀器的發展過程，比較了各種同類儀器的優缺點，指出了今後製造中的發展方向和使用中的效果和可能性。

有線電信測量技術基礎（上冊）

著者：蘇聯 Н. Н. 索·洛維也夫
譯者：成都電訊工程學院
出版者：人民郵電出版社

北京東四六條13號

（北京市書刊出版業營業許可証出字第〇四八號）

印刷者：北京市印刷一廠
發行者：新華書店

開本 850×1168 1/32 1960年1月北京第一版
印張 7 10/32 頁數 117 1960年1月北京第一次印刷
印圖字數 195,000 字 印次 1—3,000 冊

統一書號：15045•總977-有218

定 價：(10)1.25 元

作者序

有線電信測量技術這一名詞，概括對有線電信技術設備進行測量所用的各種工具、方法和操作。利用這些工具、方法和操作，可以測定下列設備的各種電參數：線路設備和站內設備，發送和接收設備，載波通信機械，以及其它在有線電信技術中採用的儀器、部件，裝置，附屬器材的半制品和零件等。

蘇聯的專家們對有線電信測量技術的發展有巨大貢獻，他們創造了新的、更完善的測量方法，設計了各種用途的測量儀器，並且在維護、製造、研究和其它企業組織的實際工作中採用了現代化的測量方法。

關於蘇聯科學家和工程師在一般測量技術領域中和在專門的有線電信測量技術領域中取得的成就，蘇聯出版的技术文獻中已有很多論著作了相應的闡述。

本書第一冊企圖描述這一技術部門近代發展的動態。書中所討論的問題，不包括一般的電工測量，例如直流電和工業頻率的交流電測量。

由於許多有線電信測量儀器在原理上與實際通信設備相同，所以在長時期內沒有把有線電信測量技術分出作為一門獨立課程，也沒有在教科書和手冊內有系統地講述測量問題。

隨着時間的進展，測量方法和測量儀器名目都日益增多，所以有必要把有線電信測量技術作為有線電信技術的一個獨立分支來研究，這對實際工作肯定是有利的。

有線電信測量技術與無線電測量技術有許多問題很近似，很明显，在以後它們將合併成為一門電信測量技術，但是在現階段還需要分成這樣兩個測量部門。

作者特別注意討論技術測量的一般方法和實際上常用測量儀器的主要性質和特點。

書中對那些與通信設備基本部件相似的測量儀器沒有說明它們的具體電路和結構，也沒有講到目前還只屬於期刊討論範圍的問題。此外，作者認為儀器構造的問題應該用專門的論著來論述，並且應該着重敘述測量儀器的測試和檢驗。

本書對有線電信技術部門和它的相近技術部門中的工程技術人員可能有所幫助，並且也可以作為學習有線電信測量技術基礎的參考教材。

第一冊敘述有線電信測量技術的基本概念，討論目前採用的單位及其概念，提出測量誤差的分析和估計方法，說明測量設備各部分的裝置，以及敘述各種測量儀器和輔助設備的基本特性。

作者在編寫本書第一冊時，有很多同志，特別是Я.Л.阿爾台爾曼、С. Н. 巴吉列維奇、М. Р. 巴里松、Б. Л. 布爾多、Г. В. 傑米揚欽科、Д. И. 佐林和В. Г. 喬爾耐等，提供了寶貴的建議和修改意見，謹此致謝。

此外，В. Л. 柯茲洛夫繪製了第二章的插圖，К. П. 耶戈羅夫評閱本書後作了許多有價值的指示，作者也向他們表示感謝。

目 录

作者序

第一章 有线电信测量技术的基本知識	1
1. 概說	1
2. 測量方法的一般說明	5
3. 特殊測量單位。基本概念	8
4. 关于測量精確度的概念	23
5. 直接指示式儀器不均勻標度的誤差的估計	32
第二章 測量儀器及其接續、調整零件的一般說明	34
6. 概說	34
7. 儀器分類名目	35
8. 測量儀器中典型的接續和調整零件的分類	36
9. 接綫柱	37
10. 開口和插头	39
11. 扳鍵和撥鍵	44
12. 轉鍵	48
13. 平滑調整的電阻零件	55
14. 可变电容的电容器	57
15. 可变电感和互感	64
16. 标度讀数裝置	64
17. 連接軟綫	69
第三章 測量電流源	72
18. 概說	72
19. 測量電流源的一般分類	72
20. 直流電源	73
21. 近于正弦的交流源	73
22. 机械式發电机	79
23. 蜂鳴器	80
24. 电感电容式基波电子管測量振盪器	83

25. 电阻电容式电子管测量振荡器	94
26. 外差(拍频)振荡器	106
27. 调幅振荡器	116
28. 矩形脉冲和交流振荡器	117
29. 多频率振荡器	124
第四章 平衡仪器和测量滤波器	134
30. 概说	134
31. 平衡变量器	135
32. 平衡差接扼流线圈	138
33. 测量滤波器	140
第五章 电阻和电导仪器	149
34. 概说	149
35. 电阻和电导技术仪器的分类	149
36. 基本误差和精确度等级	152
37. 集肤效应的补充误差	153
38. 电抗分量的补充误差	153
39. 电阻线圈的绕制方法	160
40. 非线绕电阻的特性	163
41. 耗散功率和温度补充误差	165
42. 电阻箱的剩余电容和电感	167
43. 构造的特点	170
第六章 电容仪器	171
44. 概说	171
45. 技术电容仪器的分类	171
46. 基本误差和精确度等级	175
47. 频率的补充误差	175
48. 其它补充误差和参数	178
49. 损耗角	179
50. 各种补充说明	181
第七章 电感和互感仪器	182
51. 概说	182

52. 技术用电感仪器分类	182
53. 基本误差	184
54. 频率的补充误差	184
55. 其它补充误差和参数	186
56. 互感仪器	186
第八章 衰耗仪器	189
57. 概說	189
58. 衰耗箱	189
59. 衰耗箱的基本误差	193
60. 频率的补充误差	199
61. 温度变化和容許耗散功率的补充误差	200
62. 初始衰耗	202
63. 各种连接情况的修正系数	202
64. 不对称衰耗箱	204
65. 分压器	205
第九章 仿真綫	207
66. 概說	207
67. 元件相应于真实綫每公里参数的仿真綫	208
68. 依校正点計算和沒有电感的RG型仿真綫	211
69. 倒量阻抗網絡节的仿真綫	212
附录	214
参考文献	226

第一章 有綫電信測量

技术的基本知識

1. 概 說

关于测量的概念，有下列經典式的定义：测量是一种認識过程，在这过程中利用物理实验的方法把所給量与其取为比較單位的某一值相互比較。

不过；这个經典式的定义还不够完全，它沒有清楚地說明各技术部門和在大多数情况下用直讀式仪器所作的技术测量的實質，以及实用上的重大意义。

从技术测量的作用和任务来下定义时，必須考慮到，任一門技术，如果对發生的过程沒有量的和質的估計，对各种器件、机构、設備等的参数沒有确定，那末这一門技术就沒有实际意义。

如果說要达到各种技术目的和完成各种技术任务，只有在解决了复杂的各种技术问题（理論和实际问题）后才有可能，那末对事物的眞实情况和技术結果的眞实成就作客觀判断时，只有利用测量。

規定标准状态，查核遵守技术标准的情况，实现各种不同的技术指标，以及發現誤差和故障等工作，目前如果离开测量，都將失去意义。

由此，技术测量可以說是一类过程，在这些过程中对有关技术领域各种物体、物質和物理現象，根据实际需要，以有限的精确性来测量表征它們特性的参数的量。

上述定义中有一点很重要，这就是技术测量的进行应该有一定的精确度，並且要依靠度量学。度量学的基本任务是：規定測量單位的标准，拟訂精确测量的方法，解釋檢驗業務的理論根据，並按

照全国标准保证各种量度和测量的统一性。

技术测量的种类、测量范围和测量精确度，应该尽可能适应实用的要求。因为测量技术的水平决定相关技术部门的实用可能性，因此，每一技术部门如要获得新的广泛发展，各该部门的测量技术必须先行一步。正确的技术政策应该遵守这一原则。

如果说测量方式和测量范围方面的问题一般很简单，那末实际需要的测量精确度问题就可说是一个争论最多的问题，这是因为对测量精确度的要求不断提高，又因为对很多技术测量方式规定精确度标准有困难。这个问题在以后还要详细说明，总是很难和条件性因素分开，在对暂态过程利用特殊仪器进行测量的情形尤其如此。

在有线电信技术中，不仅应用各种电的测量，还应用电声的、长度和角度的、电动的及磁的测量等等，不过，通常谈到的有线电信测量技术，只是指直流电或50赫交流电等普通电工测量范围以外的电气测量工具和方法。

有线电信测量技术任务的复杂和种类繁多，是由于：

- a) 需要测定的各种参数为数很多；
- b) 不但要用直流电流测量，还要用频率从几分之一赫到几十兆赫的脉动电流和交流电流测量；
- b) 测量范围和测量精确度有各种不同的要求；
- r) 进行测量和使用测量仪器时有许多特殊条件；
- д) 测量仪器的名目繁多；
- e) 测量仪器结构的高精确度级和其它许多情形。

要解决这些问题，必须进行大量的多种多样的复杂测量。这些测量的主要种类是：

- 1) 对仪器、装置、设备中各个元件的各种参数的测量；
- 2) 求那些表示电的工作状态的量的测量，例如：电势、电压、电流、功率、频率、相移等的测量；
- 3) 对仪器、装置、设备的表示发送和接收质量的参数的测量；
- 4) 确定幅度-频率畸变、相位畸变和非线性畸变的测量；

5) 確定各種干擾和產生干擾的因素的測量;

6) 確定障礙性質和地點的測量。

這些測量必須要適應下列各項幾乎各自獨立的而且相互差別很大的有線電信部門進行:

- 1) 低頻電話(本地的和長途的);
- 2) 亞音頻電報(本地的和長途的);
- 3) 高頻多路電話和電報;
- 4) 有線廣播;
- 5) 傳真電報;
- 6) 有線傳輸電視;
- 7) 電力線上通信;
- 8) 選擇通信;
- 9) 遙遠控制和遙遠測量所用通信;
- 10) 公務信號等。

按照進行測量的場合, 測量可以分成下列基本的幾類:

- 1) 維護的測量;
- 2) 工廠內的生產測量(包括各種驗收試驗時進行的測量);
- 3) 在建設和安裝過程中進行的測量;
- 4) 在各種研究和試制時進行的實驗室測量。

維護測量本身又可分類如下:

- 1) 定期的測量, 依照預防措施的計劃程序進行, 用來確定通信情況和設備情況;
- 2) 監視-測試的測量, 每天進行, 用來初步判斷通信和設備是否正確;
- 3) 操作的測量, 在各種設備維護過程中按照工作指示進行;
- 4) 告警測量, 在尋找障礙時進行。

進行測量時所用的技術工具組合, 稱為測量設備。

有線電信中所用的各種不能互換的測量儀器, 有 200 種以上。有這樣許多不同種類的設備, 主要是因為有很多不同的測量, 有的

用直流电流，有的用脉动电流和交流电流，频率从几分之一赫至几十兆赫，而对测量范围和精确度又有各种不同的要求。

各种测量仪器，按照不同的用途而具有不同的特点，其物理构造原理也各不相同。大多数的测量仪器应用电子技术制成，需要直流电源或由交流市电供电。

有线电信测量仪器大都制成可搬移的形式（平均重量约17—18公斤），通常装置在机架上，桌上，活动座内，自动车内（还有其他装置方式），组成固定的或流动的整套测量装置。

在维护测量中，有采取移动式测量装置的发展趋向，这是因为移动式测量装置操作方便，并且因为固定式装置有时要用很长的导线与被测量对象相连接，这样就很难在较高频率从事测量。

在会计记帐时，测量仪器和装置属于企业的基本工具列为测量设备总额，而且在有线电信的制造和研究企业中，测量设备总额的成本有时超过这些企业的机床和动力设备总额的成本。必须注意，测量仪器的法定折旧期限*取作10年，就是说，比机床和机械设备的折旧期限短得多。

企业中大都特别分设一科或指定一组人员管理测量事务和全面监督测量设备总额帐目。在组织测量事务和监督测量仪器情况时，要根据国家标准和颁布的规章，这些标准和规章对测量事务的规则，仪器检查程序和期限，以及登记形式，生产测量的记录和证明等，都有严格的规定。在维护工作中，测量结果的整理程序和记载形式，在保证测量样式的统一方面有很重要的意义，这问题值得加以注意。

在制造企业中，技术检查部门与基本生产部门间的正确的相互关系极为重要，这个问题牵涉到一个很复杂的问题，即怎样保证技术检查部门的测量设备比生产产品时所用的测量设备有较高级的精确度。

* 折旧——以货币形式定期逐步削减基本资金，用来抵消相当于设备损耗的价值。

2. 測量方法的一般說明

从方法上来考虑，測量依現代名詞可分成：

- a) 直接測量；
- b) 間接測量；
- B) 綜合測量。

直接測量，不論它們如何复杂，但是有一个共同特点，即在确定被測量的未知值时，或者是与同类的具有必需精确度的量度直接比較，或者是利用刻有規定測量單位的仪器进行測定。

直接測量的特征，是任何复杂的測量的各个阶段（操作）只是总的測量过程的組成部分，沒有独立意义。

任何技术測量，包括有線電信測量在內，趋向于应用直接指示的測量仪器，使測量进行时操作簡便迅速，並保證測量結果較為客觀。不过，由于許多仪器組合复杂，通常只有在經過一系列預行調整和調諧以后，才可能获得測量結果。有时，只是在仪器的所有調整部分逐步趋近可靠状态后，才可能获得測量結果。

間接測量的特点是受到測量的不是所求的量，而是与所求的量有一定关系的輔助量。

在进行技术測量时，尽力避免使用間接法，因為它們在操作上不很簡便（須进行兩次或更多次測量），並因它們不保證直接得到測量結果。但是有很多測量仍不能完全避免使用間接測量法，例如开路 and 短路法就是經典的間接法，可用來从輸入阻抗的測量結果求得四端網絡的許多参数。此外，从兩個功率求得工作衰耗的方法，以及从伏特表-安培表求功率和阻抗的方法，仍然肯定要在長时期內采用。

綜合測量的特点是用一系列直接測量获得一个已知的函数关系，然后据以得出測量結果。这类方法只应用于度量学和檢驗業務，在技术測量中几乎沒有应用。

直接測量法本身可以分成下列几种，它們在技术測量中应用最

多:

a) 直讀法;

б) 零示法;

B) 替代法。

直讀法的特点是可以利用相应的测量仪器直接估計被测的量。例如, 利用有直接指示指針的仪器的所有测量方法, 都属于这一类。

零示法的特点是在测量仪器中被测量与已知量相互平衡, 而仪器的指示器指示平衡的结果, 在达到平衡时指示器指零。測定各种参数所用的許多电桥测量法都属于这一类方法。此外, 在被测量相对一边裝置調整电路, 这个調整电路可以使测量电路某一部分中的电流或电压变成零, 並且可以从調整元件的步位讀取被测的量, 所有采用这种仪器的方法也都是零示法。这种零示法的典型例子是测量频率的电桥法, 以及测量电子器件参数的一些方法等。

替代法的特点是利用可調整的仪器与被测对象交替进行测量以获得结果。例如利用衰耗箱比較法测量衰耗, 就属于这一类方法。

有时, 测量方法可以分成实验室测量和技术测量, 区分的特点是进行实验室测量时須計算精确度並加以修正, 而技术测量只按所用仪器担保的精确度进行。上述分类在大多数情形是适用的, 但对技术测量精确度要求提高时就不能無条件地采用这种分类。有线电信的技术测量有很多是將测量結果加以修正的。

技术测量的显著特征是测量的每项操作原則上只进行一次。但是有时並沒有依照这个原則 (这种情况極少), 为了获得精确和平均的结果, 技术测量的每项操作有时也进行几次。

有线电信技术测量方法有一个很大的, 独有的特点, 就是在絕大多數测量进行时广泛使用“摹拟的测量信号系統”。必須采用摹拟测量信号系統的原因, 是有线电信与工业电工学不同, 在有线电信线路和机械內沒有穩态电流, 它的能量不能用于测量; 有线电信設備傳輸的工作过程是暫态过程, 有多頻的电振盪。有线电信电路內虽然也傳輸直流或具有一定频率和波形的脉动及交流信号, 但这只用

于公務信號和自動調節過程。

所以，在測定各種參數時，大都必須設置特殊的測量信號源，供給簡單波形（直流、脈流或交流）的穩態和暫態信號，並且利用這些信號電源摹擬通信系統的作用情況，以及饋給那些連接被測對象的特殊測量電路，以創造為測定參數所需的工作狀態。

根據用幾種不同的測量信號進行測量的結果，實際上已足以判定被測對象在傳輸工作過程通過多頻率暫態電流時的特性。在個別情形，用一種測量信號進行測量，就足以給出被測對象的全部特性。不過，這種簡化只是在對相似的被測對象在估計上有很多經驗以後才可能。

有少數測量是在傳輸工作過程中直接進行，工作信號直接加在測量儀器上，但這種情形只是少數。

此外，還有少數測量方法，測量時採用的不是簡單信號，而是與工作信號接近的很複雜的測量信號，例如在測量清晰度時沿電路傳輸的沒有意義的字，在測定電報相位畸變時傳輸的指定組合的電報符號，在估計電視圖影時傳輸的測試表格等。只在用簡單波形的摹擬信號進行測量不能獲得判斷傳輸質量和通信情況所需的結論時，這類方法才應用；通常這些方法在估計整個通信電路時應用。

有線電信測量技術由於它的方法上的特點，所以要求有各種測量信號源，並且要求具體分析這些信號源的特性和特點，這是有線電信測量技術的一個獨特的、很大的任務。

考察生產測量的獨有特點時，必須從經濟觀點上來看。由於經濟原因，生產測量趨向於利用“量規”，並把用途狹窄的儀器簡化，以便生產企業測量事務的組織和儀器檢驗制度大為簡化。

最後應該講到蘇聯採用的標準量度和測量儀器制度以及固定全蘇標準中對這些量度和儀器的一部分所規定的名稱。

按照國定全蘇標準 ГОСТ 1453-42，測量的量度和儀器分成下列三類：

1) 原標準；

2) 标准量度和标准测量仪器;

3) 技术量度和技术测量仪器。

所謂原标准, 是指那些具有现有测量技术水平所能达到的最高精确度的标准量度和标准测量仪器及設備, 用来制定並保持测量的單位。

所謂标准量度和标准测量仪器, 是指那些比原标准具有較低精确度的量度和测量仪器, 在实际工作中用来檢驗和校准各种量度和测量仪器。

原标准和标准量度及标准测量仪器本身又可按照屬性进行分类。

所謂技术量度和技术测量仪器, 是指那些直接用于进行技术测量的量度和测量仪器。

技术量度和技术测量仪器在很多情况下依照精确度等級分类。精确度等級表示不同程度的基本誤差。这里必須指出, 对用于交流电测量的有几个讀数設備的测量仪器, 例如各种电桥和有几个調整部分的仪器, 还不能确定如何划分精确度等級, 这个問題正在研究阶段。

3. 特殊測量單位。基本概念

由于有線電信測量技术是电工测量的一个分支, 为了保証基本量值测量的統一性, 須采用法定的电單位制度, 这些單位制度的实质和意义已在普通电工测量的課程中詳細討論。

目前苏联法定采用的單位制度是米-公斤-秒-安(MKSA)制*, 所有基本單位, 如几何的, 机械的, 电的, 磁的單位等, 都应用这个制度。

在有線電信技术中, 由于有些情况特殊, 必須使用許多特殊概念和定义, 来估計傳輸質量和設備及器件的狀態。

* 同时容許使用 厘米-克-秒 $\epsilon(\mu)$ 制。

這些特殊概念、定義和測量單位，都有它們的發展歷史，其意義並不亞於基本電工概念和單位的發展歷史。關於基本概念和測量單位的問題，曾經國際電話和電報諮詢委員會多次開會討論。依照積累的經驗修改了各種規定和定義，有時修改很多。這種修改過程到目前還不能認為完畢。

上述特殊單位和概念包括：

- a) 傳輸單位；
- b) 表示測量信號和工作信號特性的量和概念；
- в) 功率、電壓和電流電平；
- г) 平均測量頻率；
- д) 終端測量阻抗的標稱值；
- e) 測量信號發送機的標準化參數；
- ж) 非線性畸變係數及其它。

a. 傳輸單位 在有線電信中，由於傳輸系統是一系列的串接四端網絡，為了估計傳輸有效度，從 1924 年起國際電話諮詢委員會就採用特殊的對數傳輸單位。採用這種傳輸單位，就可以把各節網絡數據相加而獲得整個傳輸系統特性的數據。這些傳輸單位原先只是用來估計功率、電壓或電流的關係，但後來它們廣泛應用於其它量的估計。

採用這種傳輸單位後，用以測量兩個相同因次的量的比的單位類型中就多了一種新的形式。在電工學中，常用的參數——“效率”，亦是屬於這種類型的單位。可是傳輸單位有別於其它相似的單位，主要因為傳輸單位不是指比的絕對值，而是指這些比的對數。

所有用於測量比值的單位，依照度量學的分類，屬於零因次的數學單位。

現在同時採用的有兩種傳輸單位制度——自然制，使用自然對數，和十底制，使用以十為底的對數。對這兩種制度的選用，由各國主管機關考慮決定。在蘇聯，有線電信採用自然制傳輸單位，而