

微波測量技術

周清一編著



國防工業出版社

7261

微波測量技術

周清一編著

3450 / 2

國防工業出版社

1954年

內容簡介

本书系統地、詳細地讲述了微波測量方法、步驟和誤差等方面的問題，并給出了大量的实例，具体地說明了各种測量方法及其計算过程。

全书共分八章。依次讲述了駐波系数、阻抗和網絡參量、功率、衰減量、相移量、品质因数、波长和頻率以及介质特性參量等的測量。在各章末，都有附录，推导了主要計算公式。并列有参考文献。

本书可供无綫电技术測量方面的工程技术人員和大专学生参考。尤其适宜于在微波測量技术方面工作的人員閱讀。

微波測量技术

周清一編著

*

国防工業出版社出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印張 22⁵/₈ 525 千字

1964年12月第一版 1964年12月第一次印刷 印数：0,001—6,000册

統一書号：15034·754 定价：（科七）3.10元

序 言

在党的正确领导下，我国无线电事业稳步地、高速地向前迈进。作为无线电技术中一个尖端部分的微波技术也有了很大的发展，越来越多的人进入了这一技术领域。

在微波电子设备的科学研究和生产中，测量技术是极其重要的环节。看来，有必要使更多的专业人员熟练地掌握微波测量技术。编者在生产实践中，深深感到，目前还缺乏适合于生产人员使用的微波测量技术参考书，涉及这方面的论著大多零星地发表在各种期刊中。近年来，国内也有了几本有关译著出版，但大多偏重于测量原理的阐述，很少涉及具体的测量方法和步骤，以及对于测量误差的分析与评价。

本书的任务就是试图系统地、详细地讲述微波测量方法、步骤和误差等方面问题，以便满足生产人员的需要。

书中，给出了大量的实例。这些实例不只用于阐明各种测量方法和它们的计算过程，而且对于某些参量提供了数量上的概念。在各章末，都写有附录，详细推导了主要计算公式。这部分内容除了提供必要的论证外，也可作理论学习的资料。

本书是根据编者在讲授“微波技术”时的部分讲稿整理而成的。在进行这项工作时，党委和领导给予编者以极大的关怀和支持。馮子敏同志给编者安排了优越条件，并对本书的编写提出了不少方向性的意见。

书末附录 II、III 是钱润同志编写的，附录 IV 是刘式威同志编写的，全部实验工作是林燕利同志完成的。此外，张曙光同志在刻印和抄写初稿时付出了繁重的劳动。对所有这些，编者都深表感谢。

本书在内容上、形式上都不可能没有缺点和错误。编者诚恳地希望得到批评和意见。

编者 1963年6月

緒 論

“微波”是称呼波长很短的无线电波的习惯术语。微波所包括的波长范围并没有明确的界限。一般认为是包括分米波，厘米波和毫米波三个波段，也就是从1毫米左右的波长到1米左右的波长。就电磁波的发生和检测方法来看，在微波的长波段采用的方法还和一般短波无线电的没有多少差别，而在微波的短波段采用的方法便逐渐向光学方法过渡。狭义的微波波长范围可以认为是从4~6毫米到20~30分米。在这个范围内，电磁波的发生、传输和检测等技术在很大程度上具有类似的特点。电磁波的发生一般是应用速调管和磁控器件（磁控管、行波管和返波管等）。在这些微波电真空器件中，电子的渡越时间被有效地加以利用。在微波电路中，一般是应用闭合的波导管、空腔谐振器以及各种类型的波导元件来代替一般传输线、振荡回路和电路元件。电磁波的检测一般是应用晶体管代替一般电子管。当然，上述情形也不是绝对的。例如，电极间的距离很近的灯塔管和陶瓷管就可以满意地工作在10厘米的微波波段；各种“开放”的微带线、介质被复线、以及微带元件，近年来也逐渐在厘米波波段获得实际应用。

微波技术是无线电技术向纵深发展而形成的分支。它与一般无线电技术有着共同的基础。然而，在许多方面，它也有着独自的特点。

有必要阐明一下电路的空间性问题。在一般无线电的波长范围内，电路的几何尺寸比工作波长小得多。在这种情况下，电路可以近似地看成是电磁场空间的一点，场强沿电路的差异可以忽略不计。因而，研究一般无线电电路时，可以不必考虑空间关系，而场只随时间变化。事实上，在这零度空间电路中，电压和电流同电场和磁场都有一定的关系，因此就以这两个便于计量的量作为电路的因和果，而表达电压和电流之间的关系量便是阻抗。电路理论便是根据这三个基本量来研究电路特性的理论。

传输一般无线电电磁能量的传输线可以看成是一度空间的电路。传输线的横向尺寸仍然远小于工作波长，而在线上任意点，电压和电流与电场和磁场也还有一定的关系。因此，这种分布参数电路的特性仍然可以用电压、电流和阻抗三个基本量来表征。

在微波范围内，电路的几何尺寸（以及测量系统的几何尺寸）接近于或大于工作波长。在这种情况下，对于电路的研究就需要从三度空间场的理论着手。同时，在这分布参数的电路中，电压和电流的概念失去了明确的意义，而必须用电场和磁场的概念逐点地、连续地描述电路所在空间场的分布规律。因此，在微波测量技术中，除了在波长较长的分米波波段外，不再考虑电压和电流的测量，而仅以场强作为基本量。

微波技术的特点虽然是用电磁场的活动代替了电路中的变化，用场强代替了电压和电流，但是电路理论中的阻抗概念仍然可以用来处理三度空间的电磁场问题。事实上，通过电磁场理论理解了微波器件中发生的过程的本质后，整个器件往往可以等效为一般电路，而按电路理论来研究分析它们的特性。微波网络的方法在微波技术中已经获得相当程度的

应用，因而在微波測量技术中也就不能不包括微波网络参量的測量。

上面提到，对于微波系統的研究需要从确定波在空間的場分布着手。然而，測量每一空間点的場强绝对值是困难而不方便的。因此，关于波的有关規律就只通过測量場强相对值来获得。这样，表征波的分布規律的反射系数或駐波系数也就成为微波技术中的重要参量。基于上述原因，駐波測量在微波測量技术中占有很重要的地位。事实上，駐波測量不仅解决微波器件的一项技术指标——駐波系数的測量問題，而且阻抗、衰减量、相移量和品质因数等其它技术参量的測量都与它有着很密切的联系。此外，在进行各項参量的測量时，也要求測量电路处于匹配状况，以免引起失配誤差。

微波功率、波长和頻率的測量方法与一般无綫电的也不尽相同。对功率來說，一般是借助能量变换装置将微波电磁能量变换成其他形式的能量进行測量的。例如，热量計功率表便是用水負載将电磁能量变换为热能，然后根据水的温升来測量功率的。波长則往往根据电磁場的駐波分布直接进行长度的測量，用測量綫和微波干涉仪測量波长的方法便是典型的例子。在微波范圍内，普遍的应用有色散的傳輸綫，因而，需要測量的波长，除了自由空間波长外，还有波导波长。頻率的測量方法原則上与一般无綫电的沒有多大差异。但需指出，近年来分子和原子頻率标准已經进入实用阶段。可以期望，微波頻率标准的基本頻率将会从一般无綫电頻率（由石英晶体振蕩器产生）轉移到微波頻率（由分子和原子振蕩器产生）。

还須闡述一下微波測量技术的重要性問題。微波測量技术是微波技术的輔助部分。然而，不能不看到測量技术对微波技术的发展和應用起到的重要作用。与其他尖端技术的情况相同，微波技术中許多問題在理論上並沒有完滿解决。因此，在生产實踐中，往往需要根据实际測量的結果来解决有关問題。例如，根据金屬表面的电流穿透深度可以从理論上計算出空腔諧振器的品质因数。但是，实际上并不可能加工出完全理想的金屬表面，因而理論上的品质因数与实际获得的数值悬殊很大。于是，空腔諧振器的品质因数仍然要决定于实际測量的結果；而且还根据測量結果，借助于理論公式再反过来計算“有效穿透深度”。这样的例子是很多的，不必一一列举了。在另一方面也需要指出，微波測量技术本身也还建立在理論的基础上。因此，掌握足够的微波理論是正确的、灵活地运用微波測量技术的必要条件。

最后談談微波仪表方面的問題。目前，已經大量生产的各种类型的微波仪表和輔助器件基本上可以滿足一般測量的需要。微波測量需用的輔助器件較多。这些輔助器件包括：衰减器、移相器、定向耦合器、阻抗变换器、短路器、終端器以及各种类型的電纜、波导段、波导弯头和轉接装置等等。因为在不同的波段需要采用不同截面的波导，所以在每一波段就需建立整套的測量仪表和輔助器件。仪表和輔助器件的技术性能和运用对于測量准确度都有很大的关系。測量仪表和电路的調諧不正确和連接不可靠等因素都将引起显著的測量誤差。

本书包括了微波測量技术的基本內容。在測量各种微波器件和装置的技术性能时，将要用到这些內容。书中沒有讲述測量某些專門設備和器件的特殊方法，例如，微波电真空器件、微波天綫、接收設備和发送設備的測量等。这方面的問題在論述这些設備和器件的專門著述中一并考虑，将更适合些、連系更密切些。

目 录

序言	3
緒論	9

第一章 駐波系数的測量

1.1 概述	11	5. 測量綫的总誤差	34
1.2 用測量綫測量駐波系数的方法	12	1.11 按电桥法測量駐波系数	35
1.3 用測量綫測量駐波时的仪表設備和連接方法	13	1. 电桥元件	35
1.4 直接法	15	2. 基本电桥	36
1.5 等指示度法	17	3. 双T接头电桥測量駐波系数的方法	38
1.6 功率衰减法	20	4. 多頻率电桥	41
1.7 节点偏移法	22	1.12 电桥法的測量誤差	42
1.8 移动終端法	25	1.13 按反射計法測量駐波系数	45
1.9 自动測量綫	27	1. 简单的反射計	45
1.10 測量綫的測量誤差	27	2. 反射計的精密調校	45
1. 晶体檢波器的校正	29	3. 变形的反射計	47
2. 測量綫綫体的駐波系数	32	1.14 反射計的測量誤差	48
3. 探針的輸入电导	32	1.15 測量駐波系数的特殊方法	51
4. 机械平稳度	33	1. 微波电源的駐波系数的測量	51
附录	54	2. 微波接收机檢波器的駐波系数的測量	53
主要参考书刊	62	3. 按諧振空腔法測量駐波系数	53

第二章 阻抗和网络参量的測量

2.1 概述	64	2.8 按短路活塞法測量“規准”网络参量	83
2.2 二端网络的表示方法	64	2.9 按短路活塞法測量散射网络参量	91
2.3 二端网络的測量方法	66	2.10 多端网络的測量方法	99
2.4 四端网络的表示方法	67	1. E平面对称T形接头	101
2.5 四端网络的測量方法	71	2. H平面对称T形接头	102
2.6 按三点法測量T形和散射网络的参量	71	2.11 測量阻抗和网络参量时的誤差	103
1. T形和散射网络参量的測量	71	1. 測量綫上駐波最小点刻度值的校正	103
2. 正切关系网络参量的測量	75	2. 駐波系数測量值的校正	106
2.7 按短路活塞法測量正切关系网络参量	76	附录	107
附录	107	主要参考书刊	118
主要参考书刊	118		

第三章 功率的測量

3.1 概述	120	2. 測功头的損耗	135
3.2 小功率測量器件	121	3.5 小功率表的相对校正方法	135
1. 測热电阻	121	3.6 扩大小功率表量程的方法	137
2. 热电偶	122	1. 衰減器法	137
3. 晶体二极管	122	2. 定向耦合器法	137
3.3 小功率电桥	122	3.7 热量計式大功率表	139
1. 平衡电桥	123	1. 水負載	139
2. 失衡电桥	130	2. 水流系統	140
3.4 小功率表測量功率时的誤差	132	3. 确定微波功率的方法	140
1. 功率測量头的駐波系数	132	3.8 微波功率标准	143
附录	145		
主要参考书刊	147		

第四章 衰減量的測量

4.1 概述	149	4.4 功率反射法	159
4.2 功率比法	150	4.5 測量衰減量时的誤差	163
1. 平方律檢波法	150	1. 測量电路中的各駐波系数	163
2. 駐波波幅比法	153	2. 漏場	168
4.3 替代法	155	3. 晶体檢波特性的非平方律	168
1. 高频替代法	155	4. 測量放大器分压器的分压系数	170
2. 中頻替代法	157	5. 測量放大器的振幅特性	172
3. 低頻替代法	158	6. 衰減量測量时的总誤差	173
附录	173		
主要参考书刊	178		

第五章 相移量的測量

5.1 概述	180	5.5 測量相移量时的誤差	185
5.2 反射波法	180	1. 探針和短路活塞的位置指示器	185
5.3 傳輸波法	182	2. 測量电路中的各駐波系数	186
5.4 电桥法	183	5.6 可变移相器的精密校正	188
附录	190		
主要参考书刊	194		

第六章 品质因数的測量

6.1 概述	195	6.5 阻抗軌迹图解法	210
6.2 功率傳輸法	196	6.6 駐波系数法	215
1. “傳輸”型諧振器	196	6.7 反射系数法	220
2. “反应”型諧振系統	202	6.8 相位法	221
6.3 功率反射法	204	6.9 暫态特性法	225
6.4 測量品质因数的示波器裝置	206	6.10 測量品质因数时的誤差	227

1. 頻率測量誤差	227	3. 半功率电平	230
2. 电源和負載的駐波系数	228	4. 駐波系数測量誤差	237
附录			232
主要参考书刊			256

第七章 波长和頻率的測量

7.1 概述	257	2. 毫米波繞射分光仪	268
7.2 用測量綫測量波长	258	7.6 外差式頻率表	269
7.3 諧振式波长表	259	7.7 外差式頻率表的誤差	273
1. 同軸綫波长表	259	1. 晶体校正器 (石英晶体振蕩器) 的頻率誤差	274
2. 空腔波长表	259	2. 外差振蕩器的不穩度	275
7.4 应用諧振式波长表測量波长时的誤差	262	3. 內插刻度的誤差	276
1. 調諧准确度	262	7.8 諧振式波长表的校正方法	276
2. 讀数裝置的誤差	263	1. 用标准波长表校正波长表	276
3. 电路失配	264	2. 用外差式頻率表校正波长表	279
4. 温度、湿度和气压的影响	265	3. 用頻率标准校正波长表	280
7.5 測量波长的光学方法	267	7.9 微波頻率标准	281
1. 迈克尔逊 (Michelson) 式毫米波干涉仪	267		
附录			284
主要参考书刊			285

第八章 介质特性参量的測量

8.1 概述	286	1. 介电常数的測量誤差	307
8.2 波导法測量技术	287	2. 損耗角的測量誤差	308
8.3 終端短路法	287	8.10 諧振空腔法測量技术	310
8.4 終端短路法測量結果的近似計算	292	8.11 在 H_{01n} 諧振器中測量盘形介质試样	311
8.5 終端短路“开路”法	295	8.12 在 H_{01n} 諧振器中測量杆形介质試样	314
1. 普遍情况	296	8.13 在 E_{01n} 諧振器中測量杆形介质試样	317
2. 电介质情况	296	8.14 在諧振器中測量小試样 (微扰法)	317
8.6 长試样法	298	1. 在 H_{102} 矩形波导諧振器中測量介质的磁导率 μ_r	318
8.7 网络法	300	2. 在 H_{103} 矩形波导諧振器中測量介质的介电常数 ϵ_r	319
1. 散射网络	301	3. 在 E_{012} 圆柱形諧振器中測量介质的介电常数 ϵ_r	319
2. 正切关系网络	304		
8.8 介质試样的制备	306		
8.9 按波导法測量介电常数时的誤差	307		
附录			321
主要参考书刊			328

附录 I 阻抗图与其应用

I.1 概述	330	I.3 直角座标阻抗图	337
I.2 极座标圓图	330	I.4 阻抗图的应用	334
附录 II 阻抗匹配技术			340

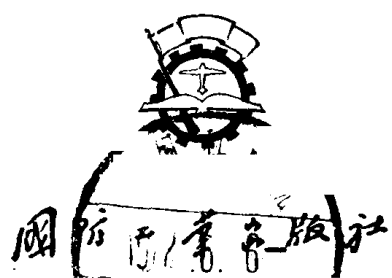
II.1 概述	340	II.3 双介质塞阻抗变换器	342
II.2 螺钉匹配器	341	II.4 双T接头匹配器	344
附录 III 频谱测量	345		
III.1 概述	345	1. 频谱仪法	349
III.2 几种载频脉冲的频谱	347	2. 回波箱法	351
III.3 频谱测量方法	349		
附录 IV 常用微波仪表、辅助仪表和器件、电缆和波导的主要技术特性	352		
1. 微波仪表分类一览表	352	4. 苏联型号的微波电缆	361
2. 微波仪表和辅助仪表	353	5. 苏联标准矩形波导	361
3. 微波测量的辅助器件	360		

7261

微波測量技術

周清一編著

3450 / 2



內容簡介

本书系統地、詳細地讲述了微波測量方法、步驟和誤差等方面的問題，并給出了大量的实例，具体地說明了各种測量方法及其計算过程。

全书共分八章。依次讲述了駐波系数、阻抗和網絡參量、功率、衰減量、相移量、品质因数、波长和頻率以及介质特性參量等的測量。在各章末，都有附录，推导了主要計算公式。并列有参考文献。

本书可供无綫电技术測量方面的工程技术人員和大专学生参考。尤其适宜于在微波測量技术方面工作的人員閱讀。

微波測量技术

周清一編著

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印張 22⁵/₈ 525 千字

1964年12月第一版 1964年12月第一次印刷 印数：0,001—6,000册

統一書号：15034·754 定价：（科七）3.10元

序 言

在党的正确领导下，我国无线电事业稳步地、高速地向前迈进。作为无线电技术中一个尖端部分的微波技术也有了很大的发展，越来越多的人进入了这一技术领域。

在微波电子设备的科学研究和生产中，测量技术是极其重要的环节。看来，有必要使更多的专业人员熟练地掌握微波测量技术。编者在生产实践中，深深感到，目前还缺乏适合于生产人员使用的微波测量技术参考书，涉及这方面的论著大多零星地发表在各种期刊中。近年来，国内也有了几本有关译著出版，但大多偏重于测量原理的阐述，很少涉及具体的测量方法和步骤，以及对于测量误差的分析与评价。

本书的任务就是试图系统地、详细地讲述微波测量方法、步骤和误差等方面问题，以便满足生产人员的需要。

书中，给出了大量的实例。这些实例不只用于阐明各种测量方法和它们的计算过程，而且对于某些参量提供了数量上的概念。在各章末，都写有附录，详细推导了主要计算公式。这部分内容除了提供必要的论证外，也可作理论学习的资料。

本书是根据编者在讲授“微波技术”时的部分讲稿整理而成的。在进行这项工作时，党委和领导给予编者以极大的关怀和支持。馮子敏同志给编者安排了优越条件，并对本书的编写提出了不少方向性的意见。

书末附录Ⅱ、Ⅲ是錢潤同志编写的，附录Ⅳ是刘式威同志编写的，全部实验工作是林燕利同志完成的。此外，張曉光同志在刻印和抄写初稿时付出了繁重的劳动。对所有这些，编者都深表感谢。

本书在内容上、形式上都不可能没有缺点和错误。编者诚恳地希望得到批评和意见。

编者 1963年6月



目 录

序言	3
緒論	9

第一章 駐波系数的測量

1.1 概述	11	5. 測量綫的总誤差	34
1.2 用測量綫測量駐波系数的方法	12	1.11 按电桥法測量駐波系数	35
1.3 用測量綫測量駐波时的仪表設備和連接方法	13	1. 电桥元件	35
1.4 直接法	15	2. 基本电桥	36
1.5 等指示度法	17	3. 双T接头电桥測量駐波系数的方法	38
1.6 功率衰减法	20	4. 多頻率电桥	41
1.7 节点偏移法	22	1.12 电桥法的測量誤差	42
1.8 移动終端法	25	1.13 按反射計法測量駐波系数	45
1.9 自动測量綫	27	1. 简单的反射計	45
1.10 測量綫的測量誤差	27	2. 反射計的精密調校	45
1. 晶体檢波器的校正	29	3. 变形的反射計	47
2. 測量綫綫体的駐波系数	32	1.14 反射計的測量誤差	48
3. 探針的輸入电导	32	1.15 測量駐波系数的特殊方法	51
4. 机械平稳度	33	1. 微波电源的駐波系数的測量	51
附录	54	2. 微波接收机檢波器的駐波系数的測量	53
主要参考书刊	62	3. 按諧振空腔法測量駐波系数	53

第二章 阻抗和网络参量的測量

2.1 概述	64	2.8 按短路活塞法測量“規准”网络参量	83
2.2 二端网络的表示方法	64	2.9 按短路活塞法測量散射网络参量	91
2.3 二端网络的測量方法	66	2.10 多端网络的測量方法	99
2.4 四端网络的表示方法	67	1. E平面对称T形接头	101
2.5 四端网络的測量方法	71	2. H平面对称T形接头	102
2.6 按三点法測量T形和散射网络的参量	71	2.11 測量阻抗和网络参量时的誤差	103
1. T形和散射网络参量的測量	71	1. 測量綫上駐波最小点刻度值的校正	103
2. 正切关系网络参量的測量	75	2. 駐波系数測量值的校正	106
2.7 按短路活塞法測量正切关系网络参量	76	附录	107
附录	107	主要参考书刊	118
主要参考书刊	118		

第三章 功率的测量

3.1 概述	120	2. 测功头的损耗	135
3.2 小功率测量器件	121	3.5 小功率表的相对校正方法	135
1. 测热电阻	121	3.6 扩大小功率表量程的方法	137
2. 热电偶	122	1. 衰减器法	137
3. 晶体二极管	122	2. 定向耦合器法	137
3.3 小功率电桥	122	3.7 热量计式大功率表	139
1. 平衡电桥	123	1. 水负载	139
2. 失衡电桥	130	2. 水流系统	140
3.4 小功率表测量功率时的误差	132	3. 确定微波功率的方法	140
1. 功率测量头的驻波系数	132	3.8 微波功率标准	143
附录	145		
主要参考书刊	147		

第四章 衰减量的测量

4.1 概述	149	4.4 功率反射法	159
4.2 功率比法	150	4.5 测量衰减量时的误差	163
1. 平方律检波法	150	1. 测量电路中的各驻波系数	163
2. 驻波波幅比法	153	2. 漏场	168
4.3 替代法	155	3. 晶体检波特性的非平方律	168
1. 高频替代法	155	4. 测量放大器分压器的分压系数	170
2. 中频替代法	157	5. 测量放大器的振幅特性	172
3. 低频替代法	158	6. 衰减量测量时的总误差	173
附录	173		
主要参考书刊	178		

第五章 相移量的测量

5.1 概述	180	5.5 测量相移量时的误差	185
5.2 反射波法	180	1. 探针和短路活塞的位置指示器	185
5.3 传输波法	182	2. 测量电路中的各驻波系数	186
5.4 电桥法	183	5.6 可变移相器的精密校正	188
附录	190		
主要参考书刊	194		

第六章 品质因数的测量

6.1 概述	195	6.5 阻抗轨迹图解法	210
6.2 功率传输法	196	6.6 驻波系数法	215
1. “传输”型谐振器	196	6.7 反射系数法	220
2. “反应”型谐振系统	202	6.8 相位法	221
6.3 功率反射法	204	6.9 暂态特性法	225
6.4 测量品质因数的示波器装置	206	6.10 测量品质因数时的误差	227

1. 頻率測量誤差	227	3. 半功率电平	230
2. 电源和負載的駐波系数	228	4. 駐波系数測量誤差	237
附录			232
主要参考书刊			256

第七章 波长和頻率的測量

7.1 概述	257	2. 毫米波繞射分光仪	268
7.2 用測量綫測量波长	258	7.6 外差式頻率表	269
7.3 諧振式波长表	259	7.7 外差式頻率表的誤差	273
1. 同軸綫波长表	259	1. 晶体校正器(石英晶体振蕩器)的頻率誤差	274
2. 空腔波长表	259	2. 外差振蕩器的不穩度	275
7.4 应用諧振式波长表測量波长时的誤差	262	3. 內插刻度的誤差	276
1. 調諧准确度	262	7.8 諧振式波长表的校正方法	276
2. 讀数裝置的誤差	263	1. 用标准波长表校正波长表	276
3. 电路失配	264	2. 用外差式頻率表校正波长表	279
4. 温度、湿度和气压的影响	265	3. 用頻率标准校正波长表	280
7.5 測量波长的光学方法	267	7.9 微波頻率标准	281
1. 迈克尔逊(Michelson)式毫米波干涉仪	267		
附录			284
主要参考书刊			285

第八章 介质特性参量的測量

8.1 概述	286	1. 介电常数的測量誤差	307
8.2 波导法測量技术	287	2. 損耗角的測量誤差	308
8.3 終端短路法	287	8.10 諧振空腔法測量技术	310
8.4 終端短路法測量結果的近似計算	292	8.11 在 H_{01n} 諧振器中測量盘形介质試样	311
8.5 終端短路“开路”法	295	8.12 在 H_{01n} 諧振器中測量杆形介质試样	314
1. 普遍情况	296	8.13 在 E_{01n} 諧振器中測量杆形介质試样	317
2. 电介质情况	296	8.14 在諧振器中測量小試样(微扰法)	317
8.6 长試样法	298	1. 在 H_{102} 矩形波导諧振器中測量介质的磁导率 μ_r	318
8.7 网络法	300	2. 在 H_{103} 矩形波导諧振器中測量介质的介电常数 ϵ_r	319
1. 散射网络	301	3. 在 E_{012} 圆柱形諧振器中測量介质的介电常数 ϵ_r	319
2. 正切关系网络	304		
8.8 介质試样的备制	306		
8.9 按波导法測量介电常数时的誤差	307		
附录			321
主要参考书刊			328

附录 I 阻抗图与其应用

I.1 概述	330	I.3 直角座标阻抗图	337
I.2 极座标圓图	330	I.4 阻抗图的应用	334
附录 II 阻抗匹配技术			340