

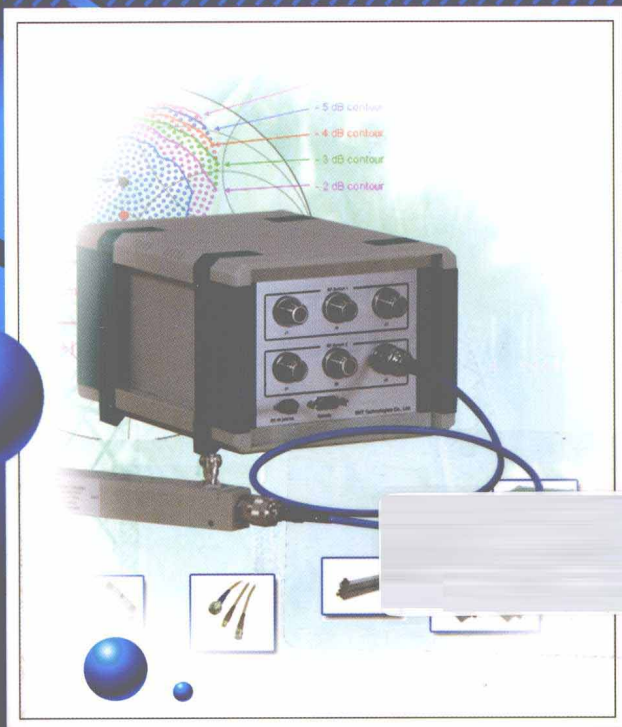


IT工程师宝典·通信

实用射频测试和测量

(第2版) Practical RF Test & Measurement
Second Edition

朱辉 著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>



IT 工程师宝典·通信

实用射频测试和测量

(第2版)

Practical RF Test & Measurement, Second Edition

朱 辉 著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书基于作者多年来从事射频测试和测量的经验和实验结果,从工程应用的角度,深入探讨了各种射频器件和射频系统的测试和测量问题,并列举了一些典型的测试案例。本书分为12章,其中第1~6章(器件篇)介绍了应用于射频测试和测量的各种无源和有源器件的测试和测量,包括电缆、连接器、衰减器、负载、功率分配/合成器、定向耦合器、滤波器、环流器、隔离器、低噪声放大器和功率放大器;第7~12章(系统篇)介绍了射频功率、大信号 S 参数、天馈系统、互调、杂散以及功率放大器的测量。第2版增加了一些实用性射频测试和测量的内容,包括无源器件的非线性特性研究,有关频谱分析仪幅度测试精度的实验,以及保证射频和微波测试精度的一些经验。

本书适合从事射频测试和测量的工程师们阅读,也可作为高等学校相关专业师生的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

实用射频测试和测量 / 朱辉著. —2版. —北京: 电子工业出版社, 2012.9
(IT 工程师宝典. 通信)

ISBN 978-7-121-18064-4

I. ①实… II. ①朱… III. ①无线电信号—射频—信号检测 ②无线电信号—射频—微波测量 IV. ①TN911.23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 201334 号

责任编辑: 张来盛 (zhangls@phei.com.cn)

印 刷: 北京丰源印刷厂

装 订: 三河市鹏成印业有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×980 1/16 印张: 17 字数: 380 千字

印 次: 2012 年 9 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 45.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

出于对射频和微波技术的浓厚兴趣，一直有念头要写一本关于射频测试和测量方面的书，整理和总结多年来所积累的经验 and 心得。2010年1月本书第1版的问世，了却了笔者的这一愿望。第1版出版后，听到不少读者反映说“这本书的确实用”，这给了笔者很大的鼓励。读者的反映说明了本书的内容是切题的，这也是笔者的初衷。

让我们再次携手遨游于射频和微波的世界吧。

市场需求带动了微波技术的创新和发展

从射频和微波技术的发展历史看，在第二次世界大战期间，出现了许多重大发明，如雷达技术和N型连接器，这些发明为人类在许多领域引入了现代科技的手段。如今，雷达技术已经被广泛应用于民航管制、地形测量、水利、气象和航海等众多领域；而N型连接器的发明则为射频和微波的发展修建了一条“高速公路”。今天，N型连接器已经成为了18 GHz以下射频和微波系统中最常用的连接纽带。在近20年来，移动通信的高速发展同样为射频和微波技术的创新和发展创造了条件，如QN型连接器和无源互调测量技术。QN连接器的出现减少了通信基站的安装时间和空间，而无源互调测量技术则为解决通信系统中的干扰问题提供了依据。

上述案例告诉我们，市场需求是推动技术创新和发展的主要动力。笔者从事射频和微波工作已有20多年，但对于市场需求和技术创新的关系，直到创办公司后才有了一些理解和体会。尤其是近五六年来，接触到了很多前沿的射频测量技术和需求，也就是在这些需求的推动下，笔者才有条件进行了大量的射频测试和测量的实验工作，并得到了市场的一定认可。在此基础上，笔者对各类射频测试和测量器件以及测量系统和测量方法有了新的认识，并积累了一些经验和体会，而这些经验和体会在教科书上是无法获取的。

经验很重要

要完成一次准确的射频测试和测量工作，经验十分重要。比如说，一个有经验的测试工程师在挑选测试电缆时，会抖动电缆并观察其插入损耗的变化；而在使用这条电缆进行测试时，则会尽量保持测试系统的静止状态，以保证测试结果的可信度。为了减少测试系统的失配损耗，可以在测试系统中串入高精度的衰减器。在无源互调测量中，即使没有力矩扳手，有经验的测试者也能依靠手感来掌握连接器的配接力度，从而得到准确的测试结

果。这些例子说明了作为射频测试工程师，必须了解各类器件的特性，并且要从系统角度来对待射频测试和测量，更为重要的是实际操作经验。本书就试图从这些角度来讨论射频测试和测量问题。

想起在读大学时听到的一句话，大意是说当开始读一本书时，觉得这本书很厚，而当将书读完后，感觉书变薄了。这个由厚变薄的过程，就是读者的理解过程。借用“由厚变薄”的概念来解释对射频和微波知识的认知过程，以一个二端口网络为例，我们可以这样来看待：当需要信号全部通过时，这个网络就是一条传输线，因为要求信号被完整地传输，所以损耗和带宽是传输线的主要指标；如果需要将信号电平降低到一定的幅度，则这个网络就是一个衰减器，从用途看，衰减器的衰减量和精度显然是使用者考虑的首要指标；如果要将信号放大到一定的幅度，显而易见这是一个放大器，增益和输出功率是用户关心的指标；如果需要让一些频段内的信号通过，而抑制其他频段的信号，这就是滤波器，通带损耗和阻带抑制是要重点关注的设计指标；如果要求信号只能向一个方向通过，我们称之为隔离器，这种器件还有一个形象的名词叫“单向器”。微波器件的大类并不多，如果能以这样的角度来理解微波器件，就实现了一个“由厚变薄”的过程，同时对于多端口网络乃至系统的理解，也能起到举一反三的作用。

当今活跃在射频和微波行业的从业人员，有些并非微波专业科班出身，但是他们在各自的岗位上做出了成绩。一个测试工程师，不一定能把电压驻波比（VSWR）的定义描述得很清楚，但他一定知道 VSWR 的理论值是 1，而任何微波器件的 VSWR 实测值都大于 1；他还会知道在大部分情况下，有源器件的 VSWR 要比无源器件差，滤波器的 VSWR 比电缆组件要更难做好。即使不知道滤波器的设计原理，调试工程师也知道如何将一个滤波器的 VSWR、通带插入损耗和带外特性调至最佳。一个设计低互调产品的研发工程师知道这个器件的表面镀层材料及其厚度，而不一定了解微波信号传输的“趋肤效应”，但这并不妨碍他研发出一种完美的低互调产品。

类似的例子不胜枚举，笔者想表达的意思是，要成为一个合格的射频和微波工程师，并不一定需要科班出身，也不一定要具有深厚的微波理论基础。在某种程度上，经验更重要！如果你对微波技术有兴趣，那自然是学习的最好动力；如果你把微波技术作为谋生的手段，那么平时多注重经验的积累，逐渐培养起兴趣，这样也可大大提高工作效率。

第 2 版所增加的内容

自本书初版完稿后，笔者继续进行着各类实用性的射频测试研究和实验，这些工作均围绕着被测器件的各种应用环境而展开，比如下述的有关衰减器“功率系数”的测试案例。

笔者曾在国外一个生产衰减器的厂家的产品手册上见到射频衰减器的“功率系数”指标的描述：当输入功率从 10 mW 变化至额定功率并达到稳定后插入损耗的变化量。按照

厂家的定义，一个功率系数指标为 $0.0006 \text{ dB}/(\text{dB} \cdot \text{W})$ 的 $50\text{W}/30\text{dB}$ 衰减器在满负荷工作时，其衰减量会变化 0.9 dB 。这个变化量可不小，如果把这个衰减器用于一个 50 W 功率放大器的输出功率测量，那么仅衰减器引入的误差就会达到 20% 。

为了证实这种现象，笔者参照标量网络分析仪的原理设计并生产了一种在大信号条件下测量器件 S 参数的装置。与网络分析仪不同的是，这种测试装置将测试功率提高到了被测器件的额定功率。用这种装置可测量出一个标称值为 30 dB 的 50 W 衰减器在不同输入功率下衰减量的变化，结果体现这个衰减器在从 10 mW 到 50 W 的测试功率下，其衰减量变化了 1 dB ，这证明了前述的“功率系数”指标。

这个案例所要表达的是实用性测试和测量研究的意义，当这个衰减器的使用者了解了这种属性并对其进行校准后，就可以避免这 20% 的误差。至于为什么会出现这种现象，或许是材料研究者的课题。

第 2 版在保持初版的结构框架（详见绪论）和特色的基础上，增加了一些实用性射频测试和测量的内容，包括无源器件的非线性特性研究，有关频谱分析仪幅度测试精度的实验，以及保证射频和微波测试精度的一些经验。

本书的特点

需要强调的是，本书冠以“实用”二字，就决定了本书的以下特点：

(1) 没有填补哪项“空白”，还是那些老话题，匹配、功率、连接器等，只是换了个角度，从工程应用角度来讨论问题。

(2) 从测试和测量角度来讨论各种射频和微波器件及系统。比如，同样是一条射频电缆组件，作为设备互联应用时，插入损耗、VSWR、抗腐蚀性和成本是要优先考虑的；但作为测试电缆应用时，则要考虑连接器的插拔寿命和柔软性等，而插入损耗并不非常重要，因为它是可以被校准掉的。本书侧重于后者的讨论。

(3) 没有理论推导，更多的是拿来就可以用的结论。理论研究是高校要做的事（虽然近年来很多高校取消了微波专业，笔者所听到的其中一个理由是微波专业的适应面很窄，这让人有些不解）；工程上，更加关心结论。

(4) 下篇（系统篇）中的很多内容，在以往的射频和微波书籍中是较为少见的，至少笔者还没有发现系统性讨论射频和微波测量系统和方法的专著，下篇中的大部分内容都是笔者近几年的各种实验结果。

致谢

第 2 版中，修正了初版中的错误或描述不妥之处。在此要感谢陆琛，他参与了第 1 章“测试电缆和连接器”的编写和修改；感谢郭林滨在全书校对中的所做的工作。

本书的阅读对象

本书是写给在第一线从事测量和研制工作的射频工程师们看的，因为笔者从事的就是这项工作，本书是经验积累。对那些希望成为顾问型销售的市场人员来说，本书也有很好的参考价值，笔者也曾经参与过射频产品的销售工作，深知顾问型销售模式的重要性、魅力以及乐趣所在。而对于在校的大学生，在毕业实习阶段，本书将对你有所帮助，因为这些内容你即将会遇到，如果你想从事微波和射频这个行业的话。

由于水平有限，本书中一定存在错误，敬请读者批评指正。

朱 辉

2012年6月19日于福州

目 录

绪论	(1)
第 1 章 射频同轴电缆和连接器	(11)
1.1 射频同轴电缆	(12)
1.1.1 性能和指标	(12)
1.1.2 同轴电缆的分类和选择	(25)
1.1.3 同轴电缆的执行标准	(27)
1.1.4 小结——测试电缆组件的选择	(28)
1.2 射频同轴连接器	(30)
1.2.1 射频同轴连接器的基本结构	(30)
1.2.2 射频同轴连接器的设计参数[1]	(32)
1.2.3 射频同轴连接器的主要指标	(32)
1.2.4 射频连接器介绍	(34)
1.2.5 射频连接器的无源互调特性	(44)
1.2.6 射频连接器的寿命	(44)
1.3 经验谈——保持射频和微波测量系统的平衡	(48)
1.3.1 木桶原理与射频和微波测量系统	(48)
1.3.2 分类保管测试电缆组件和转接器	(49)
1.3.3 射频测试电缆和转接器的使用注意事项	(50)
1.3.4 关于保护接头	(52)
1.3.5 检查测试电缆和转接器	(53)
1.3.6 区别公制和英制连接器	(55)
参考文献	(55)
第 2 章 衰减器和负载及其在射频测试和测量中的应用	(57)
2.1 衰减器	(58)
2.1.1 射频衰减器的主要指标和定义	(58)
2.1.2 衰减器的分类	(62)

2.1.3	进一步讨论射频衰减器的功率系数	(67)
2.1.4	衰减器的应用	(71)
2.2	负载	(77)
2.2.1	负载的主要指标和定义	(77)
2.2.2	负载的分类	(78)
2.2.3	负载的应用	(79)
	参考文献	(81)
第3章	Wilkinson 功率分配/合成器和定向耦合器	(83)
3.1	Wilkinson 功率分配/合成器	(84)
3.1.1	概述	(84)
3.1.2	基本指标和定义	(85)
3.1.3	隔离度和插入损耗的失配效应	(87)
3.1.4	功率容量的限制	(88)
3.1.5	Wilkinson 功率分配/合成器的应用	(88)
3.2	定向耦合器	(92)
3.2.1	概述	(92)
3.2.2	基本指标和定义	(92)
3.2.3	定向耦合器应用	(94)
3.2.4	进一步讨论定向耦合器的方向性	(97)
第4章	滤波器	(99)
4.1	概述	(100)
4.2	滤波器的指标	(101)
4.3	双工器和多工器	(107)
4.4	可调滤波器	(108)
4.5	滤波器在测试和测量应用中的基本方法	(108)
4.5.1	反射式测量法	(108)
4.5.2	吸收式测量法	(109)
第5章	隔离器	(111)
5.1	概述	(112)
5.2	环流器及隔离器的基本指标及定义	(112)
5.3	环流器和隔离器的非线性特性	(115)

5.4 环流器和隔离器的应用	(118)
第6章 低噪声放大器和功率放大器及其应用	(121)
6.1 低噪声放大器	(122)
6.1.1 低噪声放大器的基本指标	(122)
6.1.2 低噪声放大器在射频测试和测量中的应用	(126)
6.2 功率放大器	(127)
6.2.1 功率放大器的基本指标	(128)
6.2.2 多载频环境下的功率放大器	(135)
6.2.3 固态功率放大器的故障弱化	(136)
6.2.4 功率放大器在射频测试和测量中的应用	(138)
参考文献	(140)
第7章 射频功率测量	(141)
7.1 概述	(142)
7.2 射频功率的定义	(143)
7.3 功率电平的计量单位——dB (分贝)	(143)
7.4 射频功率的测量方法	(145)
7.4.1 频谱分析仪法	(145)
7.4.2 终端式测量法	(147)
7.4.3 量热式测量法	(148)
7.4.4 通过式测量法	(149)
7.5 通过式功率测量技术	(149)
7.5.1 THRULINE®——通过式功率测量技术的先驱	(149)
7.5.2 通过式功率测量原理	(150)
7.5.3 通过式功率测量法的特点	(151)
7.6 数字调制信号——通过式功率计如何应对?	(152)
7.6.1 无源二极管检波器的局限	(152)
7.6.2 数字调制信号功率的定义	(153)
7.7 通过式功率测量技术的应用	(156)
7.7.1 测量发射机的输出功率以及与天线的匹配	(156)
7.7.2 测量功率放大器的输出功率和设定 VSWR 保护门限	(157)
7.7.3 测量无源器件的插入损耗	(158)

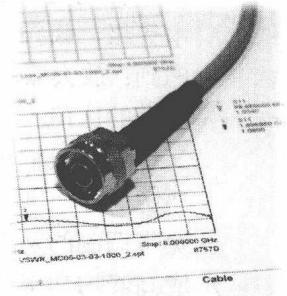
7.8	射频大功率测量——终端式还是通过式?	(162)
7.9	误差分析	(163)
7.10	深入讨论定向耦合器的方向性误差	(166)
7.10.1	定向耦合器的方向性及其测量	(167)
7.10.2	方向性误差	(168)
7.10.3	功率和电压	(169)
7.10.4	电压驻波比和回波损耗	(170)
7.10.5	方向性误差的计算	(171)
7.10.6	关于方向性误差的总结	(174)
	参考文献	(174)
第 8 章	大信号 S 参数测量	(175)
8.1	概述	(176)
8.2	为什么要测量射频器件的大信号 S 参数?	(178)
8.2.1	无源器件的“功率系数”—— S_{21} 的变化	(178)
8.2.2	功率放大器的“Hot S_{22} ”指标	(179)
8.3	大信号 S 参数的测量方法	(179)
8.3.1	大信号 S 参数测量——网络分析仪能做点什么?	(179)
8.3.2	定向耦合器法可以测量 S_{22} 吗?	(181)
8.3.3	通过式功率计可以测量放大器的 S_{22} 吗?	(182)
8.3.4	放大器大信号 S_{22} 的正确测量方法	(182)
8.4	功率放大器的大信号 S 参数测量	(183)
8.5	无源器件的大信号 S 参数测量	(185)
8.6	结束语	(186)
第 9 章	天馈系统的测量	(187)
9.1	概述	(188)
9.2	天馈系统的描述	(189)
9.3	天馈系统的输入匹配测量	(192)
9.3.1	用网络分析法测量输入匹配	(192)
9.3.2	用通过式法测量输入匹配	(193)
9.4	天馈系统的故障定位测量	(194)
9.5	天馈系统的反射互调测量	(195)
9.6	天线的隔离测量	(196)

第 10 章 无源互调测量	(197)
10.1 概述	(198)
10.2 无源互调的定义和表达方式	(199)
10.3 无源互调的类型	(201)
10.4 无源互调的产生原因和条件	(202)
10.5 无源互调的危害及测量的意义	(203)
10.6 无源互调的测量方法 (IEC 建议)	(205)
10.6.1 正向 (传输) 互调的测量	(206)
10.6.2 反射互调的测量	(208)
10.7 新的无源互调问题	(209)
10.7.1 反向互调及其测量	(209)
10.7.2 跨频段互调测量	(212)
10.7.3 谐波测量	(213)
10.7.4 其他需要关注的无源互调测量问题	(214)
10.8 你需要什么样的无源互调测量系统?	(215)
10.9 保证无源互调的测量精度	(217)
10.10 无源互调测量系统介绍	(221)
10.11 结束语	(222)
第 11 章 发射系统的杂散测试	(223)
11.1 概述	(224)
11.2 杂散辐射对通信系统所产生的干扰	(226)
11.3 发射系统产生杂散的原因	(228)
11.4 发射系统杂散测试的关键	(231)
11.5 蜂窝基站的杂散和互调干扰测试	(236)
11.5.1 发射机 BTS 发射带内的传导杂散测试	(236)
11.5.2 发射机 BTS 发射带外的传导杂散的测试	(237)
11.5.3 BTS 系统内部接收带内杂散和互调的测试及系统间的干扰测试	(239)
11.5.4 与其他系统共存或共址时干扰的测试	(240)
11.5.5 BTS 的互调衰减测试	(242)
参考文献	(244)

第 12 章 功率放大器的测量	(245)
12.1 功率放大器的谐波测量.....	(246)
12.2 放大器的正向互调失真测量.....	(247)
12.3 放大器的反向互调失真测量.....	(248)
12.4 放大器的输出匹配测量.....	(249)
附录 A 常用数据和公式	(251)
A.1 VSWR 和回波损耗、反射系数、失配损耗、匹配效率之间的关系.....	(252)
A.2 dBm 和 mW (W) 之间的关系.....	(253)
A.3 常见射频同轴电缆.....	(253)
A.4 方向性误差.....	(255)

绪 论

就如何提高射频和微波测量的精度展开讨论，并介绍本书的结构框架和各章内容安排。



射频和微波测量的内容可谓丰富多彩。虽然被测对象从器件角度来分可以简单地分为无源和有源器件两大类，整机则可以简单地分为发射机和接收机，但是由于测量环境和条件的不同，测量要求的不同，甚至测试者对测量方法的理解不同，得出的结果也不尽相同，这就给射频和微波测量带来了挑战。通过对射频和微波测量的深入研究，不但可以掌握测量结果的准确性，而且你会发现射频和微波测量并不是一件枯燥无味的工作，恰恰相反，而是充满了挑战和乐趣。

要完成一次准确的射频和微波测量，最主要的秘诀就是从系统角度来考虑问题。这种系统性的思维方式并非一日之功，而是需要在日常工作中的不断积累。下面从系统角度，从 DUT（被测器件）、测试仪器、测试系统和附件等各方面考虑，综合分析如何保证射频和微波测量的准确性。

从系统角度来看待射频和微波测量

一个典型的射频和微波测量系统是由被测器件（DUT）、测试路径、测试仪器和测试环境四大要素组成的。下面我们从一个简单的射频功率测量系统（见图 0.1）着手，讨论一个完整的射频和微波测量系统是如何组成的。

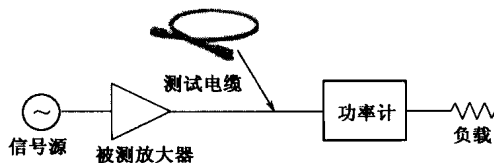


图 0.1 典型的功率测量系统

图 0.1 中包含了组成一个完整的射频和微波测量系统的四大要素，包括被测放大器（AUT）、测试路径（测试电缆）、测试仪器（功率计），当然不能忽略的还有测试系统所处的环境；测量目标是放大器的真平均功率。为了分析问题简单起见，假设系统中没有加入任何射频转接器。

首先我们来分析被测放大器的输出信号特性，最容易想到的就是发射机的功率等级、载频频率，这是任何测试者都会的。然而接下来的问题并非人人都会考虑到：放大器输出信号的调制类型是什么？调制带宽是多少？峰值功率和平均值功率的比值（峰均功率比）是多少？所有这些都影响到最终测量结果的准确性。

其次我们再来看看如何选择功率计。当然，功率测量范围和频率范围是首先要考虑的，进一步要考虑的是：功率计是否支持被测信号的调制类型？是否适合宽带调制的功率测量？如果是二极管检波的功率计，其线性范围是多少？能否适应高峰均功率比的功率测量？

选择好了功率计以后，最后来看看那条测试电缆，这往往是最容易被忽略的环节，而恰恰就是这个看似最简单的环节，会大大影响测量结果的准确性！除了选择与 AUT 相对应的频率和功率范围以外，驻波比是在任何测量系统中都要十分强调的，在本案例中也不例外。在功率测量中，失配误差是最终测量误差的主要组成部分；测试电缆还存在插入损耗，这个插入损耗必须在最终测量结果中加以校准。在有些功率计中，补偿（Offset）功能可以将电缆的插入损耗加以补偿，就好像把测试点从电缆端口直接移到发射机输出口一样，如果没有这项功能，则必须人为地加以修正。

到此为止，我们已经考虑了各项相关的因素，这些因素足够保证测量结果的准确性了吗？答案是否。还要考虑到测试电缆的幅度稳定性，因为在这种测试环境下，通常采用柔性测试电缆，也就是编织电缆。电缆在不同的弯曲半径时，插入损耗是有所变化的。此外，还要考虑测试环境，有没有大功率的干扰信号从各个环节串入测量系统。可能在工程测量中，某些因素可以忽略不计，但是我们在分析一个测量系统是否完善时，所有问题都必须考虑到。

在以上的分析中，我们已经大致了解了射频和微波测量系统，下面我们将针对测量系统中的四大要素进行逐一分析。

被测器件（DUT）

虽然被测器件可以简单地分为无源和有源两大类，但是在测量之前必须对被测器件的各项本质和特性进行仔细的审视。

无源器件又可以分为路由器件和调控器件。路由器件的主要功能是提供射频和微波通路，如电缆、连接器、功率分配器等；调控器件则是控制射频和微波信号的幅度大小，如定向耦合器、衰减器等。

无源器件比较容易处理，在整个工作频率范围内和容许的最大输入功率条件下，无源器件的插入损耗和相位偏移都是比较稳定的。需要特别注意的是，所有的无源器件在被注入大功率时都会产生无源互调产物，这个问题在近年来越来越受到重视。无源互调产物会落入本系统的接收或发射频段，有时也会落入到其他通信系统的工作频段内，从而严重影响到通信系统的正常工作。无源互调产生的原因很多，如采用镍和铁材料、表面接触不良等。有关无源互调的问题，将在第 10 章中详细讨论。此外，有些调控器件（如大功率衰减器）则需要考虑功率系数和温度系数，这些指标意味着在不同的功率和温度条件下，衰减量会发生一定的变化，这些变化将会影响到放大器的输出功率和增益的测量精度，所以在测量中应该予以充分考虑并加以修正。

当被测器件是有源器件时，需要格外小心谨慎。有源器件（如放大器）具有一定的线性工作范围，对输入功率非常敏感，在不同的输出电平下，会产生不同的测量结果。通常对放大器的输出电平定义为 1 dB 压缩点功率。为了将放大器的电平调控到检测仪器（如频谱分析仪）的适合输入电平，需要增加一个衰减器或者定向耦合器。至于衰减器的衰减量或者定向耦合器的耦合度大小，则需要从频谱分析仪的线性输入电平加以考虑；而衰减器的功率容量的选择则需要考虑其功率系数和温度系数指标。此外，衰减器自身的无源互调性能也是需要考虑的重要因素。

可见，要正确完成一项射频和微波测量，各项因素环环相扣，任何一个环节的不合理设置都会直接影响到最终测量结果的准确性，这和生活中的木桶原理有着异曲同工之妙。

收发信机的测量则与器件有很大的不同，整机和器件的测量有着不同的观察角度。在整机中，各种器件的性能指标以及系统的互联已经被调节到最佳状态，而测试者主要关心的是整机指标而不是器件指标。以无线电监测站为例，其中所配置的仪表基本上是基于整机测量考虑的，如宽带的信号发生器和频谱分析仪等；而器件制造商则主要以矢量网络分析仪为主。

测试路径（测试附件和系统）

任何一个被测器件都位于信号发生器和分析仪之间，而连接被测器件和仪器之间的桥梁就是测试附件或测试系统。千万不要忽视这些测试附件，有条件时最好能固化这些测试附件，使之成为一个标准化的测量系统。仪器供应商在提供整机时，最多会提供与仪器的最高工作频率相符的测试电缆。而在真正的测试过程中，会遇到各种不同的情况而需要采用不同的附件，所有这些附件都会影响到测量结果的准确性，这就需要测试者对相关的测试附件有深入的了解。常用的测试附件也有路由器件和调控器件两大类。

选择正确的测试电缆和连接器

在选择测试系统中电缆的规格时，除了要考虑插入损耗和 VSWR 以外，电缆的稳定性一定要好。在射频和微波频段，常用的电缆有半刚性电缆、半柔性电缆和柔性编织电缆等。

半刚性电缆不容易被轻易弯曲成形，其外导体采用铝管或铜管制成，射频泄漏非常小（至 18 GHz 时小于 -120 dB），在测试系统中造成的信号串扰可以忽略不计，而且无源互调特性也非常理想，因而在标准化的测试系统中被大量采用。