

2032/14

## 微波元件及測量

范 树 礼 編

北京市书刊出版业营业登记证出字第2号

人民教育出版社出版(北京景山东街)

人民教育印刷厂印装

新华书店北京发行所发行

各地新华书店經售

统一书号K15010·1086 开本 850×1168<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 印张 9<sup>12</sup>/<sub>16</sub> 插页 1

字数 241,000 印数 7,001—11,500 定价 (7) 洋 1.10

1961年9月第1版 1962年3月北京第3次印刷

“微波元件及測量”刊正表(范树礼編)

頁	行	誤	正
13	11	$P_0 = \frac{E_0^2 \lambda_{cp}^2}{120\pi^2} \cdot \frac{\ln \frac{D}{d}}{\left(1 + \frac{D}{d}\right)}$	$P_0 = \frac{E_0^2 \lambda_{cp}^2 \sqrt{\epsilon_r}}{120\pi^2} \cdot \frac{\ln \frac{D}{d}}{\left(1 + \frac{D}{d}\right)^2}$
41	13	$= (\dots)^2 [\dots]^2,$	$= (\dots)^2 [\dots],$
51	2	$r$	$\gamma$
53	1	(1.9.1)	(1.9.1), (1.9.2)
65	倒8	(2.3.18)	(2.3.16)
76	13	图3.4.2	图3.3.2
93	倒3	$u_2 = 0$	$U_2 = 0$
115	5, 6	$= b\sqrt{1 + \frac{b^2}{4}} \sin(\dots) =$ $= b\sqrt{1 + \frac{b^2}{4}} \sin(\theta - \theta_0)$	$= -b\sqrt{1 + \frac{b^2}{4}} \sin(\dots) =$ $= -b\sqrt{1 + \frac{b^2}{4}} \sin(\theta - \theta_0)$
147	倒1	令为	令 $P$ 为
151	2	$P_3/P_1 =  U_3^-/U_1^+ ^2/Z_c =$ $=  S_{13} ^2/Z_c,$ $P_1/P_4 = \left  \frac{1}{S_{14}} \right ^2/Z_c$	$P_3/P_1 =  U_3^-/U_1^+ ^2 =  S_{13} ^2,$ $P_1/P_4 = \left  \frac{1}{S_{14}} \right ^2$
151	6	頻内	頻带内
157	12	发电管	放电管
161	2	諧振振	諧振腔
162	8	轉	傳
171	15	$S_{13} = \frac{-j\pi/a}{ab} \frac{2M_2' \pi/a \cdot \Delta\alpha}{\alpha_0}$	$S_{13} = \frac{-j\pi/a}{ab} \frac{2M_2'' \pi/a \cdot \Delta\alpha}{\alpha_0^2}$
173	2	$M_{z_1}^{(0)}$	$H_{z_1}^{(0)}$
182	倒9	$dU_4 = (\dots) Z_{H_4} =$ $= \left( -\frac{\dots}{\dots} + \frac{di_L Z_{H_2}}{Z_{H_2} + Z_{H_4}} \right) Z_{H_4}$	$dU_4 = (\dots) Z_{H_4} =$ $= \left( -\frac{\dots}{\dots} + \frac{di_C Z_{H_2}}{Z_{H_2} + Z_{H_4}} \right) Z_{H_4}$
183	倒3	$k_{nepex} = \dots = 10 \lg \frac{ U_3 ^2 Z_{0b}}{ i_a ^2 Z_{0a}}$	$k_{nepex} = \dots = 10 \lg \frac{ U_3 ^2 / Z_{0b}}{ i_a ^2 Z_{0a}}$
252	倒12	駐液	駐波
255	5	$(1 - \cos 2\alpha d)$	$(1 + \cos 2\alpha d)$
266	2	$2A \cos \frac{\alpha x_0}{2} \sin(\omega t - \alpha x + \alpha x_0)$	$2A \cos \frac{\alpha x_0}{2} \sin\left(\omega t - \alpha x + \frac{\alpha x_0}{2}\right)$

## 序 言

随着超高频无线电电子学的发展，在无线电技术专业的教育计划中设置了“微波技术”课程。最近五年，国内也出现了一二种微波技术的中文教材。

編者在几年教学实践中，觉得已经出版的微波技术教材，在交变电场方程、均匀传输线及有规则的谐振腔理论等三个方面，对于提高教学质量起了很大作用。但是对于无线电技术专业来说，感到已出版的教材还不能满足教学的需要。特别是微波元件和微波量计两部分显得不够。因此结合教学工作编写了微波技术讲义。这本书就是根据編者最近三年来开设的“微波技术”课的讲义整理而成。

全书分三部分。第一部分包括绪论、第一章和第二章。绪论中说明研究均匀传输线及微波元件所用的基本理论。第一章介绍矩形波导、凸缘波导、同轴线、圆波导、带状线以及几种表面波传输线的特性。在这一章里面，矩形波导、同轴线和圆波导的特性在前面开设的课程如电磁场理论中已经详细讲解，故本书仅作一般介绍。对于凸缘波导、 $H_{01}$ 波传输、带状线及几种表面波传输线则作比较详细的分析。第二章说明利用网络原理分析微波元件的方法。

第二部分包括第三章到第八章。分别说明阻抗变换元件、滤波器、波型变换元件、桥式分路及定向耦合元件、衰减及相位控制元件和铁氧体微波元件的工作原理和结构计算方法。

第三部分为第九章微波量计。说明功率、驻波、阻抗、波长、频率、 $Q$ 值、衰减和介质参量的测试设备和测试方法。

学生在学习本课程之前应当熟悉传输线理论、圆图、交变电场理论、均匀波导及谐振腔理论。并且要掌握高等数学中矢量分析、矩阵分

析及圓柱函數的理論和应用方法。

在本書整理過程中，由於時間匆促，同時限於編者水平，錯誤和遺漏在所難免，衷心歡迎讀者批評指正，以便修正補充。

本書 §6.8, §7.1, §7.2, §7.4 及 §9.7 各節由章文勛同志協助編寫。在整理過程中，承 413 教研組教師認真討論並提供寶貴意見，編者向他們以及負責抄寫和制圖的同志們致以衷心的謝意。

編者

1961年6月25日

# 目 录

序言 .....	vii
緒論 .....	1
§ 1. 微波波段的特性 .....	1
§ 2. 微波傳輸綫和元件的發展趨勢 .....	3
§ 3. 馬克士韦方程 .....	5
第一章 微波傳輸綫 .....	8
§ 1.1 前言 .....	8
§ 1.2 同軸綫 .....	11
§ 1.3 矩形波导 .....	17
§ 1.4 凸緣波导 .....	22
§ 1.5 圓波导 .....	33
§ 1.6 波型变换与再变换 .....	38
§ 1.7 带状傳輸綫 .....	44
§ 1.8 表面波傳輸綫 .....	47
§ 1.9 表面涂复介质层的单导綫傳輸綫 .....	49
§ 1.10 H波导 .....	54
第二章 微波网络 .....	58
§ 2.1 前言 .....	58
§ 2.2 四端网络的阻抗参量和导纳参量 .....	59
§ 2.3 微波网络的散射参量 .....	61
§ 2.4 散射参量的特性及计算方法 .....	64
§ 2.5 四端网络的傳輸参量 .....	69
第三章 阻抗变换元件 .....	71
§ 3.1 前言 .....	71
§ 3.2 圓圈及其应用 .....	74
§ 3.3 矩形波导中不均匀性元件 .....	76
§ 3.4 利用并联电納的阻抗匹配器 .....	84
§ 3.5 阶梯式阻抗匹配器及其計算 .....	87
§ 3.6 渐变綫 .....	101
第四章 微波滤波器 .....	106

§ 4.1	前言	106
§ 4.2	单级带通滤波器	110
§ 4.3	多级微波带通滤波器	116
§ 4.4	多级滤波器的计算	119
<b>第五章</b>	<b>波型变换及连接元件</b>	<b>122</b>
§ 5.1	前言	122
§ 5.2	传输线的连接元件	123
§ 5.3	同轴綫——矩形波导变换元件	127
§ 5.4	矩形波导——圆波导波型变换器	133
§ 5.5	活动连接	135
§ 5.6	$H_{10}^0 \rightarrow H_{01}^0$ 波型变换器及寄生波型滤波器	138
§ 5.7	圆波导中场结构分析	143
§ 5.8	带状传输线的激励器	146
§ 5.9	单导綫表面波传输綫激励器	147
<b>第六章</b>	<b>桥式分路及定向耦合元件</b>	<b>149</b>
§ 6.1	前言	149
§ 6.2	环形桥路	151
§ 6.3	双 T 接头	154
§ 6.4	天綫开关及桥式分路器应用举例	156
§ 6.5	波导定向耦合器的基本理论	164
§ 6.6	单元耦合波导定向耦合器	166
§ 6.7	多元耦合波导定向耦合器	174
§ 6.8	TEM 波传输綫式定向耦合器	181
§ 6.9	$H_{01}$ 波定向耦合器	185
<b>第七章</b>	<b>衰减及移相元件</b>	<b>191</b>
§ 7.1	前言	191
§ 7.2	匹配负载	193
§ 7.3	吸收式衰减器	195
§ 7.4	截止式衰减器	198
§ 7.5	功率分配器	201
§ 7.6	介质片移相器	206
§ 7.7	旋轉式移相器	209
<b>第八章</b>	<b>铁氧体微波元件</b>	<b>212</b>
§ 8.1	前言	212
§ 8.2	电磁波在铁氧体中的传播特性	212
§ 8.3	隔离器	221

§ 8.4	移相器	225
§ 8.5	环流器	226
<b>第九章 微波量計</b>		<b>230</b>
§ 9.1	微波功率的量測	230
§ 9.2	小功率的量測——热变电阻式微波功率計	230
§ 9.3	大功率的量測——量热計式功率計	236
§ 9.4	駐波量測器(量測綫)	239
§ 9.5	駐波量測器的設計原理与檢驗方法	244
§ 9.6	駐波量測技术	253
§ 9.7	阻抗量測	256
§ 9.8	波长的量測	260
§ 9.9	圓柱諧振腔波长計的設計	267
§ 9.10	頻率量測	274
§ 9.11	諧振腔的等效电路和等效參量	277
§ 9.12	諧振腔 $Q$ 值的量測	282
§ 9.13	衰減的量測	290
§ 9.14	介質參量的量測	295
附录		299
参考书刊		302

# 緒 論

## § 1 微波波段的特征

在过去六十多年无綫电电子学发展史中，无綫电电子学所使用的波段不断地向二个极端发展着。一方面是波长越来越长，另一方面是波长越来越短。以波长的縮短过程来看，差不多每隔十年就出現一个新波段。例如1920年使用的波长大于100米，1930年大于10米，1940年大于1米，1950年波长大于1厘米，1960年波长大于1毫米。由此可見，下一个阶段将进入比1毫米更短的波长范围了。

“微波”一般是指1毫米到1米范围内的电磁波，有时指的是1毫米到30厘米范围内的电磁波。介于1毫米和紅外綫之間的电磁波称为“亚毫米波”或“超微波”。

“微波”和“超微波”是介于一般无綫电波与紅外綫之間的波段，它的产生、放大、輻射、接收、傳輸、傳播及測量等各方面的原理和方法，既不同于一般无綫电波，又不同于普通光学。研究微波的产生、放大、輻射、接收、傳輸、傳播及測量等問題的学科称为“微波技术”。它是近代科学技术最大成就之一，是使无綫电电子学繼續向前发展的尖兵。

微波技术的发展大致可以划分为三个阶段。第二次世界大战以前是第一阶段，当时处于实验室研究阶段，主要研究微波产生的方法。第二次世界大战期間由于軍事应用的迫切需要，微波技术得到了巨大的全面的发展。战后年代进入了微波技术发展的第三阶段：在这一阶段里不仅开辟了新波段，而且扩展了它的应用范围。目前無論是在国防軍事方面；国民經济方面；科学文化事业方面，都广泛应用着微波技术。

为什么微波技术引起人們特別的重視，并且要与近代无綫电技术中其他較低波段分开单独加以研究呢？除了微波波段的重要性及其巨



大的实用意义以外，必須指出下列五个深刻的物理原因。

第一，微波波长很短，它比地球上一般物体（如飞机、舰船、火箭、建筑物）的几何尺寸要小。这一特点使微波波段具有与可见光相似的性质，在实际应用中，可以较容易地获得方向性很尖锐的天线设备，可以收到由地面及宇宙空间各种物体反射回来的微弱回波，从而确定物体的方向及距离，这一特性使得微波技术在无线电定位技术中获得了广泛的应用。

第二，微波传输线、微波元件和微波测量设备的线长度与波长是同一个数量级，因此一般无线电元件如电阻、电容、电感等元件必须用原理上完全不同的微波元件（波导管、不均匀性元件、谐振腔等）代替，在分析这些微波元件的作用时不能直接运用低频时电路的分析法，而必须采用场的分析法。

第三，在微波波段，电子的渡越时间不仅与微波振荡的周期可以比拟，有时甚至可以超过。普通静电控制电子管在低频率时可以认为是没有惯性的，但在微波波段，由于电子渡越时间的影响出现了完全新的特性。一般说来，普通静电控制的电子管已经不可能作为微波振荡器、放大器和检波器了。必须采用原理上完全不同的电真空器件来代替。

第四，微波可以畅通无阻地穿过地球上空的电离层。因此对于人类来说，微波波段是无线电波谱中的“宇宙窗户”，对于宇宙通讯、导航、定位以及射电天文学的研究和发展提供了广阔的前途。

第五，微波波段的电磁波，每个量子的能量为  $10^{-4}$ — $10^{-6}$  电子伏特。一般顺磁物质在磁场作用下，所产生的许多能级间的能量差额也介乎  $10^{-4}$ — $10^{-5}$  电子伏特之间。所以电子在这些能级中跃迁过程中所放出的量子或吸收的量子频率是属于微波范围的。因此可以用来研究分子和原子核的结构。同样地，在低温时物体吸收一个微波量子也可能产生显著的反应。以上二点对近代尖端科学如微波波谱学和量子无线电物理的发展是非常重要的。

以上所說的幾個主要物理原因充分說明了為什麼微波技術這門學科如此被人重視，並且又指出了它必須作為一門獨立的學科加以研究的道理。

## §2 微波傳輸綫和元件的發展趨勢

隨著微波技術應用範圍的不斷擴展，微波傳輸綫及元件也在不斷發展，從而滿足國防軍事、國民經濟以及科學文化各方面提出的要求。關於微波傳輸綫和元件的發展方向可以歸納成下列四點。

### 1. 不斷滿足新波段的需要

同軸綫、矩形波導以及空腔諧振器技術已經分別在分米波、厘米波直至一部分毫米波波段中穩固地得到了實際應用，並且已經朝着標準化和系列化的方向發展，以滿足工業部門大批生產的需要。

在過渡到毫米波波段中更短的波長時，開始感覺到一般波導和一般空腔諧振器的一些缺點。例如隨着波長的縮短，波導的击穿強度下降，它的損耗增加，因此不适宜大功率傳輸之用。空腔諧振器的品質因數 $Q$ 值降低了，因為 $Q$ 值與波長成正比。在機械加工方面也出現了困難，因為波導的截面尺寸及諧振腔尺寸變得非常小。

目前對於傳輸電磁波的新型系統正從理論及實驗二個方面進行研究。“表面波波導”就屬於其中之一。在這種傳輸綫上，能量沿着表面覆蓋着介質薄層的单根金屬導體傳播。理論和實驗證明，雖然沒有屏蔽，這種傳輸綫的輻射是不大的，而其击穿強度可能很大。

在非常短的波長上，用分子振蕩器來代替一般空腔諧振器也是可能的。例如波長在1.25厘米時，氨分子好像一個具有很高品質因數（約幾萬到幾十萬）的諧振腔。

### 2. 工作頻帶不斷展寬

工作在固定頻率的無線電設備，很容易受到敵人的人為干擾，因而對於現代無線電設備提出的非常重要的要求之一就是工作波長的可調

性。工作波长可調範圍越寬，調諧進行得越快，則當人為干擾存在時，無線電設備工作就越可靠。在電真空器件方面目前正在研製一些新型的寬頻帶微波振蕩管。在微波元件和微波傳輸綫方面也向着寬頻帶方向發展。

同軸綫和矩形波導系統中的微波元件，通常是利用阻抗變換器展寬工作頻帶的。工作頻帶的寬度是各類微波元件的重要指標之一。

在矩形波導內部，應用縱向的凸出體可以使矩形波導的工作頻帶大大加寬。結果就得到接近於H或Π形的“凸緣波導”。這種波導的尺寸，比一般波導的尺寸要小。

### 3. 降低傳輸綫的衰減

利用波導實現遠距離多路通訊必須使波導內的衰減降低到實際可行的數量級。一般矩形波導的衰減每公里達幾百分貝，例如  $72 \times 34$  的矩形波導對 10 厘米波長的衰減約為 500 分貝/公里。因此利用這種波導作為遠距離通訊是沒有希望的。

根據波導的理論分析，衰減與頻率的关系一般都有一個最小值，在最小值兩旁，衰減隨頻率的增加而增加。只有圓波導中的  $H_{0n}$  波是一個例外，這種波型的衰減隨着頻率的增加而減少。因此只要提高頻率，增大圓波導的截面，利用  $H_{01}$  波作遠距離通訊在理論上是完全可行的。目前這種波導的衰減每公里已能做到小於 2 分貝。

### 4. 縮小體積

火箭技術向無線電電子學提出解決緊湊、輕巧、耐震和可靠的電子裝備。這一要求刺激了無線電元件向微小型化方向發展。在低頻電路中，人們正在試制組合元件，並且進一步向固體綫路過渡。

微波波段中波導的尺寸受到臨界波長的限制，不可能無限制地縮小，因為波導中傳播的波型都屬於色散波。近年來有人建議另一種新型傳輸綫——帶狀傳輸綫或微波帶。它是由二條平行金屬帶中間夾一層高頻塑料薄膜組成的。這種帶狀綫工作於 TEM 型波。目前厘米波

段的微波带正朝三个方向进行研究。一个是在理論上解决特性阻抗和阻抗匹配等問題，一个是建立多种結構形式的象带状衰减器、匹配負載和桥形連接等等微波元件，最后一个是从工艺上进一步縮小微波带的体积，采用低頻綫路中的印刷工艺来制造微波带。

### §3 馬克士韦方程

微波傳輸綫和微波元件的理論全部以电动力学方程即馬克士韦方程为依据。实践証明这組方程是正确可靠的。

在以后的章节中，我們假定交变电磁場各个分量都是时间的正弦函数，即按  $\sin\omega t$  或  $e^{j\omega t}$  規律变化。所有单位都采用米-千克-秒-庫侖有理化实用单位制。

馬克士韦方程的微分方程形式为

$$\nabla \times \vec{H} = j\omega s' \vec{E} + \vec{J}^e; \quad (1)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -j\omega \mu \vec{H} - \vec{J}^m. \quad (2)$$

式中  $\vec{E}$ ——电場强度的复数振幅，单位为伏/米；

$\vec{H}$ ——磁場强度的复数振幅，单位为安/米；

$s' = \epsilon \left( 1 - j \frac{\sigma}{\omega \epsilon} \right)$ ——介质的复数介电常数；

$\epsilon$ ——介质的介电常数，单位为法拉/米；真空的  $\epsilon$  为

$$\epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi} \text{ 法拉/米；}$$

$\mu$ ——介质的导磁系数，单位为亨/米；

真空中  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  亨/米；

$\sigma$ ——介质的导电率，单位为姆欧/米；

$\vec{J}^e$ ——空間电流面密度的复数振幅，单位为安/平方米；

$\vec{J}^m$ ——空間磁流面密度的复数振幅，单位为伏/平方米。

空間磁流是一个虚拟的、实际并不存在的物理量，因为自然界并不存在磁荷。但是由于引入了空間磁流的概念，在分析槽輻射和膜片等效阻

抗时就方便得多了。

除了(1)、(2)两个方程以外,馬克士韦方程还包括下列两个方程:

$$\nabla \cdot \vec{E} = \rho^s / s', \quad (3)$$

$$\nabla \cdot \vec{H} = \rho^m / \mu, \quad (4)$$

式中  $\rho^s$  和  $\rho^m$ ——空間电荷和磁荷体密度。

为了解出馬克士韦方程(1)和(2), 常常利用两个辅导矢量——电流矢量位  $\vec{A}^s$  及磁流矢量位  $\vec{A}^m$ 。这时, 交变电磁場的電場强度  $\vec{E}$  和磁場强度  $H$  可分別用  $\vec{A}^s$  或  $\vec{A}^m$  表示如下:

$$\vec{E} = -j\omega\mu\vec{A}^s + \frac{1}{j\omega s'} \text{grad div } \vec{A}^s - \text{Rot } \vec{A}^m; \quad (5)$$

$$\vec{H} = -j\omega s' \vec{A}^m + \frac{1}{j\omega\mu} \text{grad div } \vec{A}^m + \text{Rot } \vec{A}^s, \quad (6)$$

式中电流矢量位  $\vec{A}^s$  及磁流矢量位  $\vec{A}^m$  可从下面波动公式求出:

$$\Delta \vec{A}^s + k^2 \vec{A}^s = -\vec{J}^s; \quad (7)$$

$$\Delta \vec{A}^m + k^2 \vec{A}^m = -\vec{J}^m, \quad (8)$$

这里

$$\Delta \vec{A} = \text{grad div } \vec{A} - \text{rot rot } \vec{A}; \quad (9)$$

$$k^2 = \omega^2 \mu s'. \quad (10)$$

在利用公式(5)和(6)解交变电磁場問題时, 必須分清两种不同情况, 区别对待。第一种情况是求解由空間电流和空間磁流激励的場强, 这时必須从式(7)、(8)求出电流矢量位  $\vec{A}^s$  和磁流矢量位  $\vec{A}^m$ , 然后根据式(5)和(6)求  $E$  和  $H$  的各个分量。第二种情况是已知場强  $\vec{E}$  和  $\vec{H}$  各个分量存在或不存在情况, 例如在研究矩形波导中  $TE_{mn}$  波时, 已知只有電場的橫向分量, 沒有縱向分量, 这时可以根据式(5)和(6)确定电流矢量位  $\vec{A}^s$  和磁流矢量位  $\vec{A}^m$  具有哪些分量, 然后根据式(7)或(8)求出它們的数值, 再代入式(5)和(6)求出  $\vec{E}$  和  $\vec{H}$ 。

根据馬克士韦方程求出的場强  $\vec{E}$  和  $\vec{H}$  必須滿足边界条件。在两种不同介質的无源边界上, 電場和磁場强度的切綫分量必須連續。

$$E_{t_1} = E_{t_2}; \quad H_{t_1} = H_{t_2}. \quad (11)$$

$$(\epsilon'_1 E_{n_1} = \epsilon'_2 E_{n_2}; \quad \mu_1 H_{n_1} = \mu_2 H_{n_2}). \quad (12)$$

在理想导体的表面, 边界条件为

$$E_t = 0, \quad E_n = q/s; \quad (13)$$

$$H_n = 0, \quad H_t = i, \quad (14)$$

而且

$$H_t \perp i,$$

式中

$q$  —— 导体表面电荷面密度,

$i$  —— 导体表面电流綫密度,

下标  $t$  和  $n$  —— 分别代表切向和法向的場强分量。

# 第一章 微波傳輸綫

## § 1.1 前言

微波傳輸綫的种类按工作波型可以划分为两大类。第一类为 TEM 波傳輸綫，它的主要特征是沿傳輸方向沒有場强分量，相速是一个常数，与工作波长无关，沒有临界波长的限制，任何波长都能傳輸。属于这一类的有同軸綫和带状綫。第二类为色散型波傳輸綫，它的主要特征是沿傳輸方向有場强分量。一般說来，这种傳輸綫都有一个临界波长，如果工作波长超过临界波长，电磁波就不能傳輸。相速与工作波长有关，如相速大于介质中的光速，称为快波傳輸綫，属于这一类的有矩形波导、凸緣波导和圓波导等。如相速小于光速称为慢波傳輸綫，慢波傳輸綫有时也称为表面波傳輸綫，近年来发展很快，并且已經获得实际应用。属于这一类的有单导綫以及 H 波导等等。

下面說明各类微波傳輸綫的应用范围和存在問題。

同軸綫是应用最早的一种傳輸綫，它的应用范围从分米波直至 10 厘米波段。当波长再縮短时，同軸綫开始出现若干缺点：例如傳輸功率容量較小，衰减較大，制造不易。因此在厘米波段中，同軸綫几乎完全被波导所代替。

微波带由二条平行金属带組成，二者之間用空間絕緣，也可用高频低損耗介質絕緣(图 1.1.1)。这种傳輸綫能傳輸 TEM 波，可以采用低

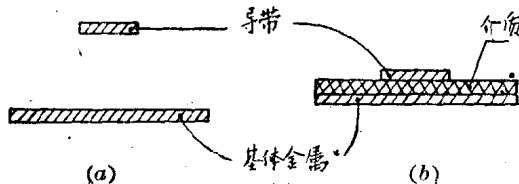


图 1.1.1

頻印刷电路的工艺进行加工。它的优点是工作頻帶寬，体积小。缺点是功率容量小，損耗大。外国文献中曾經报导若干装入火箭的接收机微波系統采用微波带消息。微波带元件的研制工作正在引起人們密切的注意。

矩形波导的应用范围从波长 30 厘米起直到毫米波段为止。矩形波导只能傳輸色散型波，因此它的截面几何尺寸决定于工作波长。目前矩形波导的截面尺寸已經标准化和系統化，便于大量生产。

凸緣波导是由矩形波导蜕变而成。在矩形波导中附加縱向的凸出体就成为 H 或 II 形凸緣波导(图 1.1.2)。它的优点是工作頻帶寬，几何尺寸小，特性阻抗低。目前这种凸緣波导已經在 3—5 厘米飞机雷达站中应用。

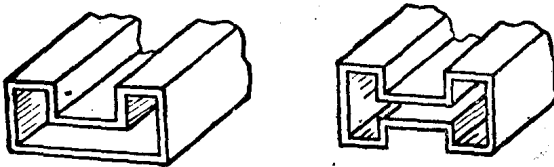


图 1.1.2

圓波导的理論比矩形波导建立得迟一些。圓波导重要用途之一一是用作圓柱諧振腔。圓波导中傳輸的电波也是色散型波，其中圓电波  $H_{0n}$  波的衰减随着頻率的增加而下降。近几年来各国正在研究利用圓波导这一可貴特性作为远距离通訊的工具，特别是毫米波电真空器件研制成功以后，波导通訊的現實性就更大。

利用单根导綫作为微波傳輸綫仅仅在最近几年才获得应用。远在 1899 年，沙摩菲尔德曾經指出，电磁波可以沿着圓柱形单根导綫傳輸。但是这种傳輸綫的激励器体积龐大，不合实用。同时在单导綫周圍，电磁場扩散范围很大，因此沒有获得实际应用。到了 1950 年果巴发现：如果在单导綫表面涂复一层介質，或是刻出等距的周期性波紋，則电磁波能量大部分都集中在导綫表面附近，同时激励器的体积也縮小。因此，



从 1950 年以后表面涂复介質薄层的单导綫即被用作天綫饋綫。图 1.1.3 是它的結構。中間为圓柱形理想导体，外层为介質。这种傳輸綫的特点是构造簡單，体积較小，功率容量較大。它的主要缺点是电磁波扩散在导綫周圍，对附近的接收机会引起干扰。

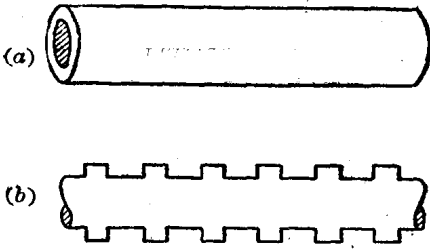


图 1.1.3

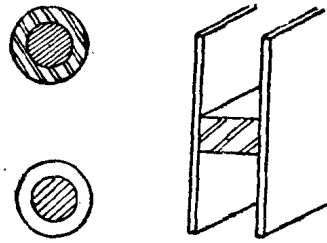


图 1.1.4

$H$ 波导的結構如图 1.1.4 所示。二块平行金属板中間用介質块隔离。大部分电磁波能量集中在介質附近，只有极小部分能量从边缘向外輻射。 $H$ 波导也是一种表面波傳輸綫。它和矩形波导比較具有結構簡單、加工容易的优点。

上面介紹的七种傳輸綫的工作特性常用一組場方程或場結構图和一組參量来表示。常用的傳輸綫參量有：等效阻抗、相速、相波长、相移常数、衰减常数和最大功率容量等。

微波傳輸綫在一定条件下可以同时傳輸几种不同波型。每种波型的临界波长各不相等。在实际应用中，只容許一种主波型傳輸，其他波型称为寄生波或高次波，例如同軸綫的主波为  $TEM$  波，它的高次波有  $H_{nm}$  及  $E_{nm}$ 。矩形波导的主波为  $TE_{10}$ ，其余  $TE_{nm}$  和  $TM_{nm}$  波为高次波。高次波或寄生波应当設法抑止，目的是降低主波的損耗。抑止寄生波或高次波的方法将在以后有关章节中說明。

微波傳輸綫的場方程和參量一般用二种方法分析。第一种是利用馬克士韦方程結合边界条件求解。大多数截面几何形状比較簡單的傳輸綫都可利用这种方法，例如矩形波导、圓波导和表面波傳輸綫就属于