

微波传输线设计手册

甘本棣 编

人 民 邮 电 出 版 社

一九八一年八月

微波传输线设计手册

甘本祯 编

人民邮电出版社

内 容 提 要

本手册以数据表和曲线的形式，较系统的归纳了国内、外有关微波传输线的设计资料。内容包括：1.传输线的一般特性；2.各种同轴线；3.射频电缆和插头座；4.矩形波导；5.其他形式的波导；6.带状线和微带；7.平行耦合线；8.其他类型的微波传输线。

可供从事有关工作的研究所和工厂的工程技术人员，以及有关专业的大专院校师生查阅。

微波传输线设计手册

甘本被 编

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 1/16

1981年3月 第 一 版

印张：23 页数：184

1981年3月河北第一次印刷

字数：570千字 插页：6

印数：1—3,800册

统一书号：15045·总2419—无6109

定价：2.25元

前 言

在电子科学技术突飞猛进的发展中，微波是一个极其活跃的分支。它不仅在各种新型通信、雷达、电子对抗、导航以及测试系统中广为应用，而且在天文、地理、生物、医学以及国民经济的其它许多领域中崭露头角。因此，有关厂、所的科技人员和高等院校的师生，都深感需要将这方面的设计数据收集整理，以便应用。

我国微波事业发展很快。在传输线方面，常用电线电缆、射频电缆、矩形波导系统等均已基本形成系列。而带状线、微带以及其他新型传输线亦应用日广，各种传输线元件的类型和数量日益增多，设计日益精确。因此，对微波传输线设计数据的需求也相当迫切。

但是，在这方面国内尚缺乏正式出版的系统资料。国外虽有一些，但它们或者选题面广，专门论述传输线不够充分；或者侧重某类传输线，对各类传输线介绍不全；而更主要的是只反映国外情况，没有我国自己的标准和数据资料，不便应用。为了改善这一情况，这里收集了国内、外一些标准、资料、书籍和杂志中有关微波传输线的设计资料，编成这本手册。

本手册在汇集过程中得到了许多单位和同志们的帮助。其中成都电讯工程学院林为干教授和七系的有关老师，北京工业学院张德齐、汤世贤、楼仁海教授和其他有关老师，中国科学技术大学钱景仁副教授和六系的有关老师，七机部二院计量站肖长德同志以及邮电部五〇六厂一些同志，都仔细的研究了书稿，提出了详细的修改建议。特别是林为干教授亲自帮助重写了椭圆软波导一节。还有七机部二院计量站寄来了他们新计算的微带阻抗数据。同时，还引用了许多兄弟单位的资料，在此一并致以衷心的感谢。

最后，还需说明，为了使用方便和尊重原著（编）者的劳动，在每项内容标题后均注有资料来源。不过本手册引用时对原资料符号、体例有变换，内容有增删，以利成册。

由于编者水平有限，书中一定还存在不少缺点错误，希望读者批评指正。

甘本拔

科技新书目：180-86

统一书号：1 5 0 4 5

总 2 4 1 9—无 6 1 0 9

定 价：2.25 元

目 录

前 言

第一章 传输线的一般特性	(1)
1.1 横电磁波传输线的常用公式	(1)
一、通用公式一览表	(1)
二、低耗线的一些其他公式	(2)
三、小电压驻波比的常用近似式	(3)
1.2 传输参数间的换算	(3)
一、电压驻波比与其他参数	(3)
二、衰减(分贝波纹)与电压驻波比	(10)
三、回波损失与电压反射系数	(11)
四、分贝与功率比、电压比(电流比)	(15)
1.3 常用计算图表	(17)
一、传输线单位长介质损耗引起的衰减	(17)
1. $\tan\delta=0.0001\sim 0.95$ 范围的列线图(17) 2. $\tan\delta=0.05\sim 50$ 范围的列线图(18)	
二、功率值与电压驻波比关系	(19)
1. 反射功率为0.01~1.0范围(19) 2. 反射功率为0.2~20范围(20)	
三、归一电纳与电压驻波比的关系	(21)
1. 基本图(21) 2. 小范围放大图(22)	
四、级联失配段的总性能	(23)
1. 失配合成电压驻波比范围列线图(23) 2. 失配衰减增量范围列线图(24)	
五、计算 ρ 和 $ \Gamma $ 的列线图	(25)
六、匹配衰减器所引起的电压驻波比降低	(26)
七、圆图	(插页)
1. 通用圆图(插页) 2. 圆图中心部分放大图(插页) 3. 导抗圆图(插页)	
4. 有耗圆图(插页)	
八、常用金属的集肤效应计算图	(27)
九、椭圆积分的比值	(28)
第二章 各种同轴线	(30)
2.1 各种同轴线的特性阻抗	(30)
一、概述	(36)
1. 计算特性阻抗时所用的原始数据(30) 2. 各种形状同轴线的图例和符号(31)	
二、圆截面同轴线的特性阻抗	(32)
三、正方形同轴线的特性阻抗	(33)
四、矩形同轴线的特性阻抗	(34)
五、内圆外矩同轴线的特性阻抗	(42)
六、正多角形同轴线的特性阻抗	(44)
七、内圆外正多角形同轴线的特性阻抗	(45)
八、开槽圆同轴线的特性阻抗	(46)

九、外圆内带同轴线的特性阻抗(带厚为零).....	(47)
2.2 圆截面同轴线的其他特性.....	(48)
一、高次模.....	(48)
1. 典型TM模的力线图和截止波长(48)	
2. 典型TE模的力线图和截止波长(49)	
二、击穿特性.....	(50)
1. 空气介质时的绝缘强度列线图(50)	
2. 空气介质时50欧姆线的射频击穿功率曲线(51)	
三、衰减特性.....	(52)
1. 圆截面同轴线的导体损耗电阻列线图(52)	
2. 由导体损耗电阻求衰减的列线图(53)	
3. 同轴线的衰减和Q值(54)	
四、不连续性.....	(55)
1. 内导体阶梯的单位外周长电容(55)	
2. 外导体阶梯的单位内周长电容(56)	
3. 膜片不连续阶梯的等效电路及公式(56)	
4. 介质不连续阶梯的等效电路及公式(57)	
5. 横截面金属销钉的低频电抗(59)	
6. 同轴线尺寸误差对电压驻波比的影响(59)	
2.3 矩形同轴线的其他特性和数据.....	(60)
一、典型高次模力线图.....	(60)
二、截止波长.....	(61)
1. 内矩外方同轴线的TE模截止波长(61)	
2. 内矩外方同轴线的TM模截止波长(61)	
3. 全矩形同轴线的TE模截止波长(62)	
4. 全矩形同轴线的TM模截止波长(62)	
三、几种特殊矩形同轴线的数据.....	(63)
1. 50欧姆范围线的特性阻抗曲线(63)	
2. 50欧姆范围线的衰减曲线(63)	
3. 部分介质加载的矩形同轴线(64)	
4. 外导体旋转时矩形同轴线的特性阻抗与转角的关系(64)	
第三章 射频电缆和插头座	(65)
3.1 电线电缆的一般问题.....	(65)
一、电线电缆产品型号编制办法.....	(65)
1. 总则(65)	
2. 各类产品的型号结构关系(66)	
3. 汉语拼音字母所表示的意义及字音(67)	
4. 型号各部分符号意义(68)	
二、常用电线电缆型号标准对照表.....	(72)
1. 裸线类(72)	
2. 电磁线类(72)	
3. 橡皮塑料电线类(73)	
4. 一般电缆类(74)	
三、线规及其他.....	(75)
1. 中国线规表(75)	
2. 中国线规与英美线规对照表(76)	
3. 英美线规号数对照表(78)	
3.2 射频电缆.....	(80)
一、射频电缆型号.....	(80)
1. 国产射频电缆产品型号编制办法(80)	
2. 国产射频电缆型号对照表(81)	
二、常用国产射频电缆.....	(84)
1. 名称、用途和使用条件一览表(84)	
2. SYV系列50欧姆同轴射频电缆结构性能表(插页)	
3. SWY系列50欧姆同轴射频电缆结构性能表(插页)	
4. SYV系列75欧姆和100欧姆同轴射频电缆结构性能表(插页)	
5. SWY系列75欧姆和100欧姆同轴射频电缆结构性能表(插页)	
6. SEYV和SEWY系列对称射频电缆结构性能表(插页)	
7. 温度改变时平均功率的换算(85)	
8. SIV, SXH, SXM, SX, SDY, SEIV, SJYV, SJYYP系列射频电缆的结构性能表(86)	
9. SGYV, STYV, STYVZ, SYVZ系列射频电缆的结构性能表(87)	
10. SDY, SDYP系列半空气绝缘同轴射频电缆的结构性能表(87)	
11. SZCV系列磁介质柱延迟电缆的结构性能表(88)	
12. 旧型号射频电缆的主要性能表(89)	
3.3 高频插头座.....	(90)
一、国产高频插头座型号命名方法.....	(90)

1. 插头和插座定义(90)	2. 高频插头座类型代号组成表(90)	3. 高频插头座的结构形式代号组成表(91)	4. 结构形式代号中的电缆代号表(92)	5. 型号组成(94)	6. 转接器和阻抗转换器的型号组成(94)
二、常用国产高频插头座.....(94)					
1. 总技术条件(94)					
2. 常用国产高频插头座规格一览表(97)					
3. 国产Q9型高频插头座(100)					
4. 国产L16型高频插头座(102)					
5. 国产ST5型平面接触式同轴电缆插头座标准(105)					
3.4 国外典型产品.....(109)					
一、美国同轴电缆特性表.....(109)					
二、日本规格.....(110)					
1. 50欧姆硬同轴标准尺寸(110)					
2. 50欧姆和75欧姆同轴电缆规格(110)					
三、美制同轴插头座的内部尺寸.....(111)					
1. N型插头座(111)					
2. 小型插头座(112)					
第四章 矩形波导.....(113)					
4.1 矩形波导规格.....(113)					
一、国产矩形与扁矩形波导管.....(113)					
1. 波导管的横截面图(113)					
2. 波导管的型号(113)					
3. 国产矩形与扁矩形波导管标准系列(114)					
4. 标准波导管的制造长度和材料(115)					
5. 波导管的技术要求(115)					
二、国际电工委员会标准.....(116)					
1. 型号命名(116)					
2. 形状及符号图例(116)					
3. 普通矩形波导推荐规格数据表(117)					
4. 扁矩形与中等扁矩形波导推荐规格数据表(118)					
5. 方波导推荐规格数据表(119)					
6. 圆外截面矩形波导推荐规格数据表(120)					
三、国外矩形波导标准数据.....(插页)					
1. 各国矩形波导标准对照表(插页)					
2. 美国矩形波导标准规格数据表(插页)					
3. 英国矩形波导标准规格数据表(121)					
4. 日本矩形波导标准规格数据表(122)					
4.2 矩形波导常用资料.....(124)					
一、波导因子的数值表.....(124)					
二、矩形波导的理论导体衰减计算曲线.....(127)					
三、矩形波导中典型模式力线图.....(128)					
1. TE模(128)					
2. TM模(129)					
4.3 国产矩形与扁矩形波导法兰盘.....(130)					
一、型号组成.....(130)					
二、波导法兰盘分类表.....(131)					
三、波导法兰盘的结构、尺寸和公差.....(132)					
1. FAE-32~48(132)					
2. FAE-58~70(133)					
3. FBE-84~220(134)					
4. FCM-320~500(135)					
5. C型法兰盘定位螺套和连接螺母(136)					
6. FDM-8和FD-8(137)					
7. FDM-9和FD-9(137)					
8. FDM-12和FD-12(138)					
9. FDM-14~40和FD-14~40(139)					
10. FDM-48~70和FD-48~70(140)					
11. D型法兰盘密封垫圈(141)					
12. FFM-620~1200(142)					
13. F型法兰环形夹和密封垫圈(143)					
14. FG-22~32和FG-48~100(144)					
四、各型法兰盘定位螺栓一览表.....(145)					
五、FCM型法兰盘装配示意图.....(146)					
六、FFM型法兰盘装配示意图.....(146)					
4.4 矩形波导中的不连续性.....(147)					
一、矩形波导中的膜片加载.....(147)					
1. 电容加载的等效电纳(147)					
2. 电感加载的等效电纳(148)					
二、矩形波导中的销钉加载.....(153)					

1. 计算公式(153) 2. 单销钉电纳值(154) 3. 双销钉电纳值(154) 4. 三销钉电纳值(155)
5. 四销钉电纳值(155) 6. 五销钉电纳值(156) 7. 六销钉电纳值(156)

第五章 其他形式的波导..... (157)

5.1 圆形波导..... (157)

一、圆形波导中典型模式力线图..... (157)

1. TE模(157) 2. TM模(158)

二、圆形波导的截止波长列线图..... (159)

三、圆形铜波导的导体衰减曲线..... (160)

四、圆形波导参考数据..... (161)

1. 美电工协会标准系列表(161) 2. IEC圆波导推荐优选值规格数据表(162) 3. IEC圆波导推荐中间值规格数据表(163)

五、圆形波导分析中所用贝塞尔函数及其导数的前700个根..... (164)

六、圆波导中的膜片加载..... (173)

1. 电容膜片加载曲线(173) 2. 电感膜片加载曲线(174)

5.2 脊形波导..... (175)

一、单脊和双脊(矩形)波导的横截面图例..... (175)

二、单脊波导..... (176)

1. 标准单脊波导数据表(176) 2. 单脊波导TE₁₀模的截止波长曲线图(177) 3. 单脊波导的带宽曲线图(178) 4. 比值 $\frac{b}{a}$ 不为0.45时单脊波导截止波长的修正曲线(179) 5. 单脊波导的相对导纳图(180)

三、双脊波导..... (181)

1. 标准双脊波导数据表(181) 2. 双脊波导TE₁₀模的截止波长曲线图(182) 3. 双脊波导的带宽曲线图(183) 4. 双脊波导中典型模式力线图(184) 5. 双脊波导的截止波长图(184) 6. 双脊波导的功率容量(185) 7. 双脊波导的衰减常数(185)

5.3 其他截面形状的波导..... (186)

一、矩形波导的四种变形的截面图及其截止波长近似公式..... (186)

二、六角形波导的截止波长图..... (186)

三、月形波导..... (187)

1. 月形波导中典型模式力线图(187) 2. 月形波导的截止波长图(187) 3. 月形波导的功率容量(188) 4. 月形波导的衰减常数(188)

四、椭圆软波导..... (188)

1. 基本关系和数据(189) 2. 椭圆软波导的参考数据(195) 3. 三种波导比较(197) 4. 美制螺旋型椭圆软波导的衰减与频率关系曲线(198)

五、陶瓷波导..... (199)

第六章 带状线和微带..... (200)

6.1 带状线..... (200)

一、特性阻抗数据表..... (200)

1. 平行接地板间的矩形杆(200) 2. 平行接地板间的圆杆(204)

二、常用曲线..... (207)

1. 矩形杆带状线的特性阻抗与尺寸的关系(207) 2. 矩形铜带的理论铜耗(208) 3. 矩形铜带的理论Q值(209) 4. 圆角矩形杆带状线的特性阻抗(210) 5. 空气介质圆角矩形杆带状线的理论击穿平均功率(211) 6. 矩形杆带状线与圆杆带状线的等效(212)

6.2 介质基片上的标准微带..... (212)

一、由空气介质到其他介质..... (212)

1. 等效介电常数的引进 (212)	2. 由空气介质的电参数计算其他情况的电参数公式表 (213)	
二、零厚度标准微带		(214)
1. 等效介电常数数据表 (214)	2. 特性阻抗数据表 (230)	3. 尺寸比数据表 (246)
4. 特性阻抗曲线 (262)	5. 等效介电常数曲线 (263)	6. 相对波长曲线 (263)
7. 特性阻抗为50和75欧的曲线 (264)	8. 标准微带的导体损耗 (264)	9. 标准微带的介质损耗 (266)
10. 熔石英基片上50欧标准微带的典型测试数据 (266)		
三、非零厚度标准微带		(267)
1. 特性阻抗和等效介电常数数据表 (267)	2. 非零厚度的修正公式和曲线 (268)	3. 非零厚度标准微带的导体损耗 (270)
4. 熔石英基片微带的特性阻抗曲线 (270)		
四、屏蔽标准微带		(272)
1. 特性阻抗曲线 (272)	2. 相对相移常数曲线 (272)	3. 相对相速百分数曲线 (273)
4. 导体损耗曲线 (273)	5. 特性阻抗和相对相速与尺寸的关系 (274)	
五、最低次横电表面波的截止频率		(274)
6.3 悬置微带		(274)
一、标准悬置微带		(274)
1. 特性阻抗和相对相速与导带宽度的关系曲线 (275)	2. 特性阻抗和相对相速与边壁和中心导带的间距的关系曲线 (275)	3. Z 和 $\frac{V}{V_0}$ 与介电常数的关系曲线 (275)
4. Z 和 $\frac{V}{V_0}$ 与介质板位置的关系曲线 (276)	5. Z 和 $\frac{V}{V_0}$ 与介质板厚度的关系曲线 (276)	6. Z 和 $\frac{V}{V_0}$ 与接地板间距的关系 (277)
7. 中心导带宽度与接地板间距之比与介电常数的关系曲线 (277)		
二、双芯悬置微带		(277)
1. 零厚度芯带的特性阻抗曲线 (278)	2. 零厚度芯带的相对相速曲线 (230)	3. 特性阻抗与矩形度的关系 (283)
4. 相速与矩形度关系 (283)	5. 聚四氟乙烯玻璃纤维基片的特性阻抗曲线 (284)	6. 聚四氟乙烯玻璃纤维基片的相对相速曲线 (284)
三、反悬置微带的等效介电常数曲线		(285)
6.4 半导体基片上的微带		(285)
一、标准微带		(285)
1. 半导体基片微带的参量计算原则 (285)	2. 硅基片微带的特性阻抗曲线 (286)	3. 硅电阻率与温度和杂质浓度的关系曲线 (286)
4. 硅基片微带的损耗 (286)	5. 砷化镓基片 (287)	6. 硅和砷化镓基片的介质损耗 (288)
二、硅基片上双层基片微带		(288)
1. 特性阻抗曲线 (289)	2. 相对波长曲线 (289)	
6.5 微带用介质和导体特性		(290)
一、常用导体		(290)
二、常用介质		(291)
第七章 平行耦合线		(292)
7.1 屏蔽耦合薄带		(292)
一、零厚度共面耦合薄带		(292)
1. Z_{oc} 和 Z_{oo} 与 $-\frac{s}{b}$ 关系曲线图 (292)	2. Z_{oc} 和 Z_{oo} 与 $-\frac{w}{b}$ 关系曲线图 (293)	
二、零厚度宽面耦合薄带		(294)
1. 与接地板平行的相叠薄带的计算公式 (294)	2. 与接地板垂直的薄带的计算公式 (294)	3. 宽面耦合薄带的尺寸计算步骤 (294)
4. 与接地板平行的相叠薄带的简化公式和边缘电容曲线 (295)		
三、小厚度宽面耦合薄带		(296)
1. 平板电容的小厚度增量曲线 (296)	2. 与接地板平行的小厚度带的计算公式 (296)	3. 与接地板垂直的小厚度带的计算公式 (297)

四、三层交错薄带	(297)
1. 结构和符号 (297)	
2. 各量间关系 (298)	
3. “a”带和“c”带间的归一单位长互电容 (299)	
4. “c”带左端和“a”带右端边缘电容 (300)	
5. “c”带右端的偶模边缘电容 (301)	
6. “a”带左端的偶模边缘电容 (302)	
7. 三层交错薄带的尺寸设计步骤 (303)	
五、交错耦合薄带	(304)
1. 奇模和偶模阻抗曲线之一 (304)	
2. 奇模和偶模阻抗曲线之二 (305)	
7.2 耦合微带	(306)
一、 $\epsilon_r = 1, 6, 9, 12, 16, 30, 80$ 的阻抗曲线	(306)
二、奇模、偶模阻抗数据表	(308)
三、奇模、偶模相对相速数据表	(311)
四、由已知基片的阻抗数据求其他基片的阻抗数据的简便方法	(313)
五、 $\epsilon_r = 3, 7, 9, 0, 9, 6$ 的阻抗曲线	(314)
六、等效介电常数曲线	(321)
七、由偶模阻抗求奇模阻抗	(322)
7.3 平行耦合矩形杆	(322)
一、对称平行耦合矩形杆	(322)
1. 结构和符号 (322)	
2. 偶模边缘电容和互电容曲线 (323)	
3. 奇模边缘电容曲线 (325)	
4. 外边缘电容曲线 (326)	
5. 由阻抗设计尺寸的步骤 (326)	
二、不对称平行耦合矩形杆	(327)
1. 不对称平行耦合线的导纳、阻抗与单位长电容间的关系 (327)	
2. 由阻抗 (或导纳) 设计不对称平行耦合矩形杆尺寸 (328)	
三、平行耦合矩形杆阵	(328)
1. 结构和符号 (328)	
2. 尺寸设计方法 (329)	
7.4 平行耦合圆杆	(330)
一、偶模和奇模阻抗曲线	(330)
二、电容曲线	(331)
1. 归一互电容曲线 (331)	
2. 归一自电容曲线 (332)	
3. 归一自电容图上的常互电容曲线 (333)	
第八章 其他类型的微波传输线	(334)
8.1 平行双导线	(334)
一、平行双导线结构图例	(334)
二、矩形开槽中的圆线	(335)
三、圆截面偏心线	(338)
四、接地板上的单圆线、圆微带和圆截面平行明线	(340)
1. 特性阻抗公式 (340)	
2. 特性阻抗数据表 (341)	
8.2 圆截面同轴线的变形结构	(343)
一、椭圆同轴线	(343)
二、圆截面同轴线的介质加载	(344)
1. 对轴心张角为 θ 的介质楔加载 (344)	
2. 对内导体切线张角为 θ 的介质楔加载 (344)	
3. 等距离介质垫圈加载 (344)	
三、内导体为辐射片的同轴线	(344)
8.3 介质板隔开的双导体带	(345)
一、等效介电常数与等效填充因子	(345)
二、特性阻抗曲线	(345)
三、介质板隔开的双导体带与标准微带的等效关系	(346)

附录	(347)
一、常用微波波段划分及代号	(347)
二、雷达频段名称对照表	(348)
三、我国国家、部(局)标准代号表	(349)
四、我国地区性企业标准代号表	(350)
参考资料	(351)

第一章 传输线的一般特性

1.1 横电磁波传输线的常用公式^[1]

一、通用公式一览表

参 数	有 耗 线	无 耗 线
传播常数	$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$	$\gamma = j\beta$
相移常数	γ 的虚部	$\beta = \omega\sqrt{LC} = \frac{2\pi}{\lambda}$
衰减常数	γ 的实部	$\alpha = 0$
特性阻抗 Z_0	$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$	$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$
输入阻抗 Z_{in}	$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + Z_0 \operatorname{th} \gamma l}{Z_0 + Z_L \operatorname{th} \gamma l}$	$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_0 \tan \beta l}$
短路线的输入阻抗 Z_{in0} ($Z_L = 0$)	$Z_{in0} = Z_0 \operatorname{th} \gamma l$	$Z_{in0} = jZ_0 \tan \beta l$
开路线的输入阻抗 $Z_{in\infty}$ ($Z_L = \infty$)	$Z_{in\infty} = Z_0 \operatorname{ch} \gamma l$	$Z_{in\infty} = -jZ_0 \cot \beta l$
$\frac{\lambda}{4}$ 奇数倍线的输入阻抗	$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + Z_0 \operatorname{coth} \alpha l}{Z_0 + Z_L \operatorname{coth} \alpha l}$	$Z_{in} = \frac{Z_0^2}{Z_L}$
$\frac{\lambda}{2}$ 的整数倍线的输入阻抗	$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + Z_0 \operatorname{th} \alpha l}{Z_0 + Z_L \operatorname{th} \alpha l}$	$Z_{in} = Z_L$
电压反射系数 (终端的)	$\Gamma_0 = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$	$\Gamma_0 = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$
沿线电压	$V_{-l} = V_{in}(1 + \Gamma_0 e^{-2\gamma l})$	$V_{-l} = V_{in}(1 + \Gamma_0 e^{-j2\beta l})$
沿线电流	$I_{-l} = I_{in}(1 - \Gamma_0 e^{-2\gamma l})$	$I_{-l} = I_{in}(1 - \Gamma_0 e^{-j2\beta l})$

注：表中 1. 坐标原点在负载处，线在负坐标上。

2. V_{in} , I_{in} 分别为入射波电压、电流。

二、低耗线的一些其他公式

公 式	说 明
$\rho = \frac{1+ \Gamma }{1- \Gamma }$ $ \Gamma = \frac{\rho-1}{\rho+1}$	<p>ρ 为电压驻波比</p> <p>Γ 为电压反射系数的模</p>
$\Gamma = \frac{R-Z_0}{R+Z_0}$ $\rho = \frac{R}{Z_0}$ $\rho = \frac{Z_0}{R}$	<p>Γ 为线上阻抗为实数 R 那一点的电压反射系数 (实数)</p> <p>$R > Z_0$ (电压波腹点)</p> <p>$R < Z_0$ (电压波节点)</p>
$\frac{P_r}{P_i} = \Gamma ^2 = \left(\frac{\rho-1}{\rho+1}\right)^2$ $\frac{P_t}{P_i} = 1 - \Gamma ^2 = \frac{4\rho}{(\rho+1)^2}$ $L_A = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{1- \Gamma ^2} \right) \text{ (分贝)}$ $L_R = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{ \Gamma ^2} \right) \text{ (分贝)}$	<p>P_r 为反射功率</p> <p>P_i 为入射功率</p> <p>P_t 为传输功率</p> <p>$\Gamma ^2$ 称为“功率反射系数”</p> <p>$1- \Gamma ^2$ 称为“功率传输系数”</p> <p>$(1- \Gamma)^{1/2}$ 称为“电压传输系数”</p> <p>L_A 为衰减, L_R 为回波损失</p>
$\frac{P_o}{P_i} = \frac{1}{\rho}$	<p>P_o 为电压驻波比为 ρ 时, 临击穿时送到负载的净功率</p> <p>P_i 为匹配 ($\rho=1$) 临击穿时送到负载的净功率</p>
$\alpha = \alpha_c + \alpha_d$	<p>α_c 传输线导体损耗所引起的衰减的衰减常数</p> <p>α_d 传输线介质损耗所引起的衰减的衰减常数</p>
$\alpha_c = \frac{R}{2Z_0} = \frac{\beta}{2Q_c}$ $\alpha_d = \frac{G}{2Y_0} = \frac{\beta}{2Q_d} = \frac{\beta}{2} \tan \delta$ $Q_c = \frac{\omega L}{R}$ $Q_d = \frac{\omega C}{G} = \frac{1}{\tan \delta}$ $\frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_c} + \frac{1}{Q_d}$	<p>Q_c 为导体损耗所对应的 Q 值, 它与传输线结构和所用导体材料有关</p> <p>Q_d 只取决于介质损耗, 与线的结构无关</p> <p>$\tan \delta$ 为导体周围介质损耗角的正切</p> <p>Q 传输线谐振器的总 Q 值</p>
$\frac{\alpha_p}{\alpha_1} = \frac{1+\Gamma^2}{1-\Gamma^2} = \frac{\rho^2+1}{2\rho}$	<p>α_1 匹配 ($\rho=1$) 时的衰减常数</p> <p>α_p 有反射 (电压驻波比为 ρ) 时的衰减常数</p>

三、小电压驻波比的常用近似式

若U和V均甚小于1，则

1. $(1+V)(1+U)=1+V+U$

例：若 $\rho_1=1.03$ ， $\rho_2=1.08$ ，则 $\rho_1\rho_2=1.11$

2. $(1-V)(1-U)=1-V-U$

例：若 $\Gamma_1=0.96$ ， $\Gamma_2=0.95$ ，则 $\Gamma_1\Gamma_2=0.91$

3. $(1\pm U)^2=1\pm 2U$

例：若 $\rho=1.04$ ， $\Gamma=0.96$ ，则 $\rho^2=1.08$ ， $\Gamma^2=0.92$

4. $\frac{1+V}{1+U}=1+V-U$

例：若 $\rho_1=1.03$ ， $\rho_2=1.08$ ，则 $\frac{\rho_2}{\rho_1}=1.05$

1.2 传输参数间的换算

一、电压驻波比与其他参数^(*)

电压驻波比 ρ	电压反射 系数 $ \Gamma $	功率反射 系数 $ \Gamma ^2$	(功率) 回波损失 L_R (分贝)	电压传输 系数 $\sqrt{1- \Gamma ^2}$	功率传输 系数 $1- \Gamma ^2$	(功率传输) 衰 减 L_A (分贝)
1.001	0.0005	0.00000	66.025	1.00000	1.00000	0.0000
1.002	0.0010	0.00000	60.009	1.00000	1.00000	0.0000
1.003	0.0015	0.00000	56.491	1.00000	1.00000	0.0000
1.004	0.0020	0.00000	53.997	1.00000	1.00000	0.0000
1.005	0.0025	0.00001	52.063	1.00000	0.99999	0.0000
1.006	0.0030	0.00001	50.484	1.00000	0.99999	0.0000
1.007	0.0035	0.00001	49.149	0.99999	0.99999	0.0001
1.008	0.0040	0.00002	47.993	0.99999	0.99998	0.0001
1.009	0.0045	0.00002	46.975	0.99999	0.99998	0.0001
1.010	0.0050	0.00002	46.064	0.99999	0.99998	0.0001
1.011	0.0055	0.00003	45.240	0.99999	0.99997	0.0001
1.012	0.0060	0.00004	44.489	0.99998	0.99996	0.0002
1.013	0.0065	0.00004	43.798	0.99998	0.99996	0.0002
1.014	0.0070	0.00005	43.159	0.99998	0.99995	0.0002
1.015	0.0074	0.00006	42.564	0.99997	0.99994	0.0002
1.016	0.0079	0.00006	42.007	0.99997	0.99994	0.0003
1.017	0.0084	0.00007	41.485	0.99996	0.99993	0.0003
1.018	0.0089	0.00008	40.993	0.99996	0.99992	0.0003
1.019	0.0094	0.00009	40.528	0.99996	0.99991	0.0004
1.020	0.0099	0.00010	40.086	0.99995	0.99990	0.0004

(续前)

电压驻波比 ρ	电压反射 系数 $ \Gamma $	功率反射 系数 $ \Gamma ^2$	(功率) 回波损失 L_R (分贝)	电压传输 系数 $\sqrt{1- \Gamma ^2}$	功率传输 系数 $1- \Gamma ^2$	(功率传输) 衰减 L_A (分贝)
1.021	0.0104	0.00011	39.667	0.99995	0.99989	0.0005
1.022	0.0109	0.00012	39.867	0.99994	0.99988	0.0005
1.023	0.0114	0.00013	38.885	0.99994	0.99987	0.0006
1.024	0.0119	0.00014	38.520	0.99993	0.99986	0.0006
1.025	0.0123	0.00015	38.170	0.99992	0.99985	0.0007
1.026	0.0128	0.00016	37.833	0.99992	0.99984	0.0007
1.027	0.0133	0.00018	37.510	0.99991	0.99982	0.0008
1.028	0.0138	0.00019	37.198	0.99990	0.99981	0.0008
1.029	0.0143	0.00020	36.898	0.99990	0.99980	0.0009
1.030	0.0148	0.00022	36.607	0.99989	0.99978	0.0009
1.031	0.0153	0.00023	36.327	0.99988	0.99977	0.0010
1.032	0.0157	0.00025	36.055	0.99988	0.99975	0.0011
1.033	0.0162	0.00026	35.792	0.99987	0.99974	0.0011
1.034	0.0167	0.00028	35.537	0.99986	0.99972	0.0012
1.035	0.0172	0.00030	35.290	0.99985	0.99970	0.0013
1.036	0.0177	0.00031	35.049	0.99984	0.99969	0.0014
1.037	0.0182	0.00033	34.816	0.99984	0.99967	0.0014
1.038	0.0186	0.00035	34.588	0.99983	0.99965	0.0015
1.039	0.0191	0.00037	34.367	0.99982	0.99963	0.0016
1.040	0.0196	0.00038	34.151	0.99981	0.99962	0.0017
1.041	0.0201	0.00040	33.941	0.99980	0.99960	0.0018
1.042	0.0206	0.00042	33.736	0.99979	0.99958	0.0018
1.043	0.0210	0.00044	33.536	0.99978	0.99956	0.0019
1.044	0.0215	0.00046	33.341	0.99977	0.99954	0.0020
1.045	0.0220	0.00048	33.150	0.99976	0.99952	0.0021
1.046	0.0225	0.00051	32.963	0.99975	0.99949	0.0022
1.047	0.0230	0.00053	32.780	0.99974	0.99947	0.0023
1.048	0.0234	0.00055	32.602	0.99973	0.99945	0.0024
1.049	0.0239	0.00057	32.427	0.99971	0.99943	0.0025
1.050	0.0244	0.00059	32.256	0.99970	0.99941	0.0026
1.051	0.0249	0.00062	32.088	0.99969	0.99938	0.0027
1.052	0.0253	0.00064	31.923	0.99968	0.99936	0.0028
1.053	0.0258	0.00067	31.762	0.99967	0.99933	0.0029
1.054	0.0263	0.00069	31.604	0.99965	0.99931	0.0030
1.055	0.0268	0.00072	31.449	0.99964	0.99928	0.0031
1.056	0.0272	0.00074	31.297	0.99963	0.99926	0.0032
1.057	0.0277	0.00077	31.147	0.99962	0.99923	0.0033
1.058	0.0282	0.00079	31.000	0.99960	0.99921	0.0035
1.059	0.0287	0.00082	30.856	0.99959	0.99918	0.0036
1.060	0.0291	0.00085	30.714	0.99958	0.99915	0.0037
1.061	0.0296	0.00088	30.535	0.99956	0.99912	0.0038
1.062	0.0301	0.00090	30.478	0.99955	0.99910	0.0039
1.063	0.0305	0.00093	30.303	0.99953	0.99907	0.0041
1.064	0.0310	0.00096	30.171	0.99952	0.99904	0.0042
1.065	0.0315	0.00099	30.040	0.99950	0.99901	0.0043
1.066	0.0319	0.00102	29.912	0.99949	0.99898	0.0044
1.067	0.0324	0.00105	29.785	0.99947	0.99895	0.0046
1.068	0.0329	0.00108	29.661	0.99946	0.99892	0.0047
1.069	0.0333	0.00111	29.538	0.99944	0.99889	0.0048
1.070	0.0338	0.00114	29.417	0.99943	0.99886	0.0050

(续前)

电压驻波比 ρ	电压反射 系数 $ \Gamma $	功率反射 系数 $ \Gamma ^2$	(功率) 回波损失 L_R (分贝)	电压传输 系数 $\sqrt{1- \Gamma ^2}$	功率传输 系数 $1- \Gamma ^2$	(功率传输) 衰减 L_A (分贝)
1.071	0.0343	0.00118	29.298	0.99941	0.99882	0.0051
1.072	0.0347	0.00121	29.181	0.99940	0.99879	0.0052
1.073	0.0352	0.00124	29.066	0.99938	0.99876	0.0054
1.074	0.0357	0.00127	28.952	0.99936	0.99873	0.0055
1.075	0.0361	0.00131	28.839	0.99935	0.99869	0.0057
1.076	0.0366	0.00134	28.726	0.99933	0.99866	0.0058
1.077	0.0371	0.00137	28.619	0.99931	0.99863	0.0060
1.078	0.0375	0.00141	28.511	0.99930	0.99859	0.0061
1.079	0.0380	0.00144	28.405	0.99928	0.99856	0.0063
1.080	0.0385	0.00148	28.299	0.99926	0.99852	0.0064
1.081	0.0389	0.00152	28.196	0.99924	0.99848	0.0066
1.082	0.0394	0.00155	28.092	0.99922	0.99845	0.0067
1.083	0.0398	0.00159	27.992	0.99921	0.99841	0.0069
1.084	0.0403	0.00162	27.892	0.99919	0.99838	0.0071
1.085	0.0408	0.00166	27.794	0.99917	0.99834	0.0072
1.086	0.0412	0.00170	27.696	0.99915	0.99830	0.0074
1.087	0.0417	0.00174	27.600	0.99913	0.99826	0.0076
1.088	0.0421	0.00178	27.505	0.99911	0.99822	0.0077
1.089	0.0426	0.00182	27.411	0.99909	0.99818	0.0079
1.090	0.0431	0.00185	27.318	0.99907	0.99815	0.0081
1.091	0.0435	0.00189	27.226	0.99905	0.99811	0.0082
1.092	0.0440	0.00193	27.135	0.99903	0.99807	0.0084
1.093	0.0444	0.00197	27.046	0.99901	0.99803	0.0086
1.094	0.0449	0.00202	26.957	0.99899	0.99798	0.0088
1.095	0.0453	0.00206	26.869	0.99897	0.99794	0.0089
1.096	0.0458	0.00210	26.782	0.99895	0.99790	0.0091
1.097	0.0463	0.00214	26.697	0.99893	0.99786	0.0093
1.098	0.0467	0.00218	26.612	0.99891	0.99782	0.0095
1.099	0.0472	0.00222	26.528	0.99889	0.99778	0.0097
1.100	0.0476	0.00227	26.444	0.99887	0.99773	0.0099
1.102	0.0485	0.00235	26.281	0.99882	0.99765	0.0102
1.104	0.0494	0.00244	26.120	0.99878	0.99756	0.0106
1.106	0.0503	0.00253	25.963	0.99873	0.99747	0.0110
1.108	0.0512	0.00262	25.809	0.99869	0.99738	0.0114
1.110	0.0521	0.00272	25.658	0.99864	0.99728	0.0118
1.112	0.0530	0.00281	25.510	0.99859	0.99719	0.0122
1.114	0.0539	0.00291	25.364	0.99854	0.99709	0.0126
1.116	0.0548	0.00301	25.221	0.99850	0.99699	0.0131
1.118	0.0557	0.00310	25.081	0.99845	0.99690	0.0135
1.120	0.0566	0.00320	24.943	0.99840	0.99680	0.0139
1.122	0.0575	0.00331	24.808	0.99835	0.99669	0.0144
1.124	0.0584	0.00341	24.675	0.99829	0.99659	0.0148
1.126	0.0593	0.00351	24.544	0.99824	0.99649	0.0153
1.128	0.0602	0.00362	24.415	0.99819	0.99638	0.0157
1.130	0.0610	0.00373	24.289	0.99814	0.99628	0.0162
1.132	0.0619	0.00383	24.164	0.99808	0.99617	0.0167
1.134	0.0628	0.00394	24.042	0.99803	0.99606	0.0172
1.136	0.0637	0.00405	23.921	0.99797	0.99595	0.0176
1.138	0.0645	0.00417	23.803	0.99791	0.99583	0.0181
1.140	0.0654	0.00428	23.686	0.99786	0.99572	0.0186