

低损耗圆波导

(譯文集)

上海科学技术出版社

73 6576

462

低 損 耗 圓 波 導

(譯文集)

黃宏嘉 陳道明 張 森等 譯

上海科學技術出版社

內 容 提 要

本书共选譯了中、美、苏三同期刊上发表的論文共22篇。为了查閱方便起見，按論文性质分为四个部分，分別介紹：綜述及一般理論，圓波导，圓波导元件以及圓波导測量。

本书可供微波領域的科学工作者、工程技術人員和师生参考。

低 損 耗 圓 波 导

(譯 文 集)

黃宏嘉 陳道明 張 森等 譯

上海科学技术出版社出版 (上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业許可證出093号

商务印书館上海厂印刷 新华书店上海发行所发行

开本850×1156 1/32 印張12 20/32 排版字数335,000

1965年11月第1版 1965年11月第1次印刷

印数 1-1,200

統一書号 13119·660 定价(科六) 1.90 元

写在前面

最近看来，用圆波导 TE_{01} 波型来作通信，不失为一个既现实又先进的通信方式。与应用其他传输结构和传输波型相比，它有两个优点。一系可以应用毫米波段，可用的频段极宽，通信路数可以极多，具体数字各人估计不同。保守一些，可以假设用频段 35000~90000 兆赫，容纳十万路双向电话和一百个双向黑白或彩色电视节目。二为中继站（或称转发站）之间的距离可以较大，一般估计为 30~40 公里。应用圆波导 TE_{01} 波型，除了可以作大城市间远距离干线通信和传输电视节目以外，还可以传输各种数据，作卫星通信系统的地面联络线，作本市各电话局间的连接线以及电视电话等。对最后一点用途有不同的看法。有人认为在城市里敷设波导很困难，只能采用小同轴系统。也有认为可以应用矩形波导 TE_{10} 波型或者圆波导 TE_{11} 波型的。

应用圆波导 TE_{01} 波型作通信，存在一系列的科研和工程问题。这可以从衰减和噪声说起。

衰减和噪声是设计一个通信系统所需考虑的最重要的两个量。规则圆波导传输 TE_{01} 波型，它的衰减将随频率的上升而单调下降。可是实际波导必然具有不规则性。不规则性有两类。一类是有意的，如敷线时所必需的转弯等；另一类是无意的，为制作和敷设时的缺陷所产生的。这些不规则性产生波型变换和再变换，使衰减随频率和距离而作上下的起伏。多路通信的噪声同信号的失真密切相关。圆波导里传输 TE_{01} 波型，信号失真的主要来源有二。一为时间延迟失真，它是由波导的色散所产生的，这是波导的固有性质，不可能从波导本身下手设法消除，只能用一定宽度的基本群带宽，以限制时间延迟，以及在中继站或终端站采用均衡器来

补偿。二为伴流，它是由波导不规则性通过波型变换和再变换而产生的。

为了满足通信的一定的要求，使衰减起伏和伴流小于一定值（规定这一定值须考虑许多因素，这里从略）会对金属空波导的公差提出苛刻的要求，这种要求实际上很难办到，或者即令办到，也将很不经济。所以一般认为金属空波导不适用。那末应该用怎样的波导，这就提出了特殊波导的选用问题。根据目前发展的情况，一般认为螺旋波导和介质膜波导比较合适。它们具有一定的分离 TE_{01} 与简并波型的相速的能力以及给其他波型较大衰减的能力。由于后一特性，所以它们也称为自滤波导。应用这类波导，衰减起伏和伴流可以小一些。特别是螺旋波导比较便于大规模生产和敷线，所以被选用的希望更大一些。

为了对波导要求不过高，使通信系统经济合理，另一个重要问题是调制方法的选择问题。一般认为对于远距离通信，必须采用具有再生能力的调制方法，其中特别是脉冲编码调制法最为适合。这类方法的优点在于不累积噪声。对于短距离的传输，一般认为可以采用调频制，甚至可以考虑调幅制。不过调制方法的选择问题，迄今意见仍不一致。

除此之外，还有相应的 TE_{01} 波型圆波导元件的设计制作问题以及测量方法等问题。

正式研究圆波导 TE_{01} 波型作通信以来，已有十多年之久。到目前基本研究工作可以说已大体完成。除波导传输的基本理论如不规则波导的波型变换、伴流等等已基本解决以外，特殊波导可以设计得容许有曲率半径小到30米的转弯，大体符合敷线时的实际需要；小半径的急转弯，应用过渡器和小直径的特殊波导或简单的反射镜，传输损失可以小到 $1/4 \sim 1/2$ 分贝；试制出了低到3毫米波段的激发器、波型滤波器、方向耦合器、驻波检波器等。美英等国也进行了较长时间的长线实验。例如美国贝尔研究所敷设了3公里多长的螺旋波导，制出脉冲编码调制的设备，前两三年正在发展一套完整的中继站编码调制的转发设备。又据云，贝尔研究

所建立一条 6.858 公里长的地下波导实验线路,全程有 27 个人孔和一个地下实验室,全线路包括了不同的上下和左右弯头。他们基本上解决了在一个载频上进行几路电视和几千路电话的通信实验的主要技术问题。目前正在研究整个毫米波段开通几百个电视和几十万路电话的实验问题。1960 年美国还提出双层介质膜的波导,其中一层主要用以滤波,另一层用以分相。英国 1960 年在 Heris 地方展出了一条直径为 $2\frac{3}{4}$ 吋、长为 3600 呎的波导线,其中 1800 呎为螺旋波导,传输了电视节目。英国标准实验室试制了柔性圆柱波导和 3 吋直径有防水和加固敷层的铝线螺旋波导。苏联曾计划于 1960 年敷设一条长约 1 公里的介质膜波导实验线。此外,法国、日本和西德也进行了不少研究和实验工作。

此后的工作看来将是偏重于工程性质的研究发展工作。紧接在长线路实验之后应该是建立真实的较长的实验线路,进一步作极多路的通信实验;进行波导通信系统的整套设计包括系统制式,与其他通信系统的连接,以及敷线设计等等;进行新元件的设计试制和改进工作;需要注意利用毫米波技术的新成就,例如固体器件等。新技术的利用往往会使通信系统起重大的变革,研究试制中继站的整套设备。与此同时,当然也很需要继续研究新型波导,使制造和敷设中的微小缺陷产生的影响更小一些,亦即研究更简便更经济的波导;继续探讨实验最佳调制方法;继续研究简单正确的试验方法等等。最后,也可以探索有否可能进一步提高工作频率以进一步加宽工作频段,增加通信容量。

尽管目前的情况已逐渐转移到工程研究的阶段,不过看来以往发展的速度仍然是不够快的。人们往往会发出这样的疑问:早就听说圆波导 TE_{01} 波作通信原则上问题不大,为什么却迟迟不见实现呢?其原因一方面固然由于若干重大问题解决起来需要时间,更重要的是经济方面的原因。据英国有些人的粗略估算,应用圆波导 TE_{01} 波通信,维护费用比其他通信方式要低一些。可是要投下一笔建设费用,必须等到需要相当于 50000 路电话(有的说 10000~20000 路电话)的通信量时才值得。估计随着通信需

要的增加,实现的速度会加快的。

自从提出光激励器可以产生单色相干光后,很自然的会設想到利用单色光来作通信的問題。假設中心頻率為 3×10^8 兆赫,假設通信之部件的帶寬為 10%,則通信帶寬可達 3×10^7 兆赫之巨,可容納的通信量大得驚人。也很自然的会联想到应用圓波導 TE_{01} 波型作通信是否还有必要?个人初步意見認為是必要的。理由有:(1)各种通信方式往往各有特点,各有特殊的用途,相輔相成,构成一个复杂、便利、灵活的通信网。很难設想一种通信方式会完全代替另一种方式。(2)目前对于实现光学通信的許多重大問題还所知极少。例如利用光作地面通信时,必須采用傳輸結構,这种結構應該是怎样的?存在什么困难問題?怎样进行調制和反調制?怎样作多路复用?頻率和幅度的穩定度能否达到通信的要求?如何規定类似于信号噪声比的重要参量等等。研究解决这許多問題需要大量的劳动。光学通信是否一定比圓波導 TE_{01} 波通信更簡便一些更經濟一些,还不能十分肯定。因此,目前看来圓波導 TE_{01} 波型的通信方式仍不失为既现实又先进的方式。研究和实现这种通信方式是很必要的。

現在叙述一下本书的內容。本书对圓波導 TE_{01} 波傳輸的主要方面,收集了国内外若干主要文献。內容共分四部分,茲介紹如下:

(I)綜合及一般理論

这部分收集了九篇文章,前两篇是綜述性的,后七篇分別討論了波導傳輸中几个主要的理論問題。

在第1篇“通信用波導”中,作者研究了 TE_{01} 波在圓波導中傳輸的基本特性,并總結了美国貝尔研究所在早期(1945年以前)所作的波導通信方面的工作。文章几乎涉及了低損耗波導傳輸綫的所有方面(毫米波的应用、波型变换現象、寄生波的滤除、弯曲、信号的失真等等)。本文对各个問題仅作概要的說明,沒有深入探討,然而它仍是初搞波導通信人員的必讀文章。

第2篇“低損耗圓柱波導中的傳播特性”主要介紹了在毫米波

波段測量 TE_{01} 波衰減的實驗，並對結果作了分析。特別要提到的是文中提出了一種特殊結構的磁控管，不用矩形波導輸出而直接激發圓波導 TE_{01} 波。這樣就省去了矩形波導過渡到圓波導 TE_{01} 波的激發器。最近已見到國外有 8 毫米波段這種磁控管商品。

第 3 篇及第 4 篇文章“關於不規則波導的一般理論”及“具有緩變參量的不規則波導”是由同一作者寫的。在後一篇文章中，作者提出了他自己後來稱之為“橫截面方法”的最基本概念。使用這種方法，可以將不規則波導內無線電波的傳輸問題歸結為常微分方程組，文中並用它來研究波導截面改變時 TE 波產生的反射及波型變換；在前一篇文章中又將這一方法推廣到研究 TM 波的波型變換。

研究不規則波導對波導通信是具有重要的實際意義。因為實際圓波導不可能不帶有或多或少的截面變形、彎曲等不規則性，這些不規則性將引起波型變換而影響 TE_{01} 波的傳輸。此外許多圓波導元件（如過渡器、激發器等）實際上就是一段不規則波導。“橫截面方法”後來又為原作者作了理論上的提高，並用來解決各種各樣的不規則波導問題，最後都收集在他的著作“Теория нерегулярных волноводов с медленно меняющимися параметрами”（Изд. АН СССР, 1961）中。

在第 5 篇文章“長波導綫中伴流的形成”中，作者對在“通信用波導”一文中 Pierce 所提出伴流形成的概念作了進一步的補充，一方面確定了伴流隨時間的分布；另一方面確定了不規則性幾何參量和形成伴流間的關係，並且列舉了由於波導直徑差而造成的伴流大小以及隨時間的分布。但本文沒有考慮到實際不規則性是隨機分布的，從而也就很難正確估計波導的各種允許公差。

第 6 篇文章“由波型變換引起的波導傳輸特性偏差”考慮了實際不規則性的隨機特性，從理論上推得了波導綫損耗隨頻率跳變的統計規律，並指明在銅波導中小到日前為止還無法測出的波導軸的隨機偏移是引起波導綫損耗隨頻率跳變的主要原因（這一點後來為實驗所証實）。這在實際上很重要，為改進波導加工工藝指

出了方向。文章还按允許变换損耗的大小,决定各种波导公差,为波导的加工精确度提供理論依据。

这里要补充說明的是长波导綫上的伴流及損耗随頻率的跳变是波型变换及反变换表現的两个方面,都可以用來說明 TE_{01} 波信号的失真。但是如何按通信上的要求来求伴流的允許值或損耗允許的跳变还研究得很少。

第7、8、9篇文章都是通过对 TE_{01} 波傳輸的研究工作中提出来的論文。在“多波型波导耦合本地簡正波型的广义理論”一文中,作者将研究两个波型緩变耦合时所采用的本地簡正波型的概念,推广到研究多个波型的緩变耦合,在数学上就是提出一种緩变系数綫性微分方程組的新解法。这一理論是有实际意义的,使用在必須同时考虑两个以上波型耦合的情况(如弯曲波导、定向耦合器等)。

在“远程波导不規則性的普遍理論”中,作者引入了阻抗微扰的概念,来表示远程波导(包括介质膜波导、螺旋波导等)中极大多数不規則性,并得到由于阻抗微扰而引起的各波型之間的耦合。这样一来,过去一直用不同方法来分別处理不同的不規則性,現在就能在統一的观点下加以研究;此外本文还为了避免复合域中电磁場展开的麻煩,采用了参考边界面,并引入了几正交性的概念,从而将部分場的展开建立在一个新的理論基础上。采用本文的結果,可以将不規則波导复杂边值問題的求解变得工程化,这是近代微波理論中的一个实际途徑。

在“微波强耦合理論”一文中,作者从耦合波的观点研究了长槽耦合波导系統;并将从来都是用不同方法来处理的两类波导傳輸問題(单一波导及耦合波导)用相同的数学途徑来分析,这个途徑就是正交函数的展开理論。文章还将理論用来設計矩形波导主波和圓波导 TE_{01} 之間功率变换的长槽定向耦合器;提供了一系列設計曲綫,使設計达到工程化。

从这三篇文章中,我們还可以学到在解决波导傳輸中边界問題的典型方法。后两篇文章是将复杂的边界問題化为各耦合波型

間的耦合波方程，而前一篇文章是在緩變耦合情況下求解耦合波方程。下面我們還可以在 Unger 及 Morgan 的文章中看到這種處理方法。

(II) 圓波導

主要是指特殊圓波導，共收集了九篇文章。前三篇討論螺旋波導，接着又有四篇討論介質膜波導，最後兩篇討論圓波導彎曲。

在第 10 篇文章“螺旋波導”中，作者在不同波導尺寸、不同的外層介質常數下，用數值計算了各主要傳輸波型的傳播常數。這些結果對設計螺旋波導有一定的用途，但由於實際使用的介質常數不一定與計算中使用的值一致，因此計算結果缺乏普遍性；此外，還不夠完整，不能顯示出寄生波型的整個特性，所以不能作為設計各種不同用途的螺旋波導的基礎。

第 11 篇文章“螺旋波導中的簡正波型和波型變換”使用了表面阻抗作為螺旋波導外層結構的可變參量，就能克服上述缺乏普遍性的缺點；並得到了較完整的數值計算結果；還在一些典型例子中，將這些結果用來設計螺旋波導。

第 12 篇文章“彎曲螺旋波導中 TE_{01} 波的衰減”用微擾法來計算彎曲而引起的這一部分附加衰減；並發現在適當處放置屏蔽層可使衰減減小。實際上，所得結果也可以用耦合波的方法得到，即可以先求彎曲所代表的 TE_{01} 波和其他寄生波間的耦合波方程，於是可解耦合波方程（這種做法可參考這篇文章的參考文獻[4]）。在這一問題上，似乎用微擾法較為簡單一些。

在第 13 篇文章“介質膜波導中圓電波的傳輸”中，作者提出介質膜波導用來實現圓波導彎曲，為此詳細研究了介質膜對各波型傳輸的影響；並利用耦合波的方法計算了彎曲而引起的 TE_{01} 波的附加衰減（後來在 *B. S. T. J.*, 745 (1962) 原作者又更深入地研究了這一問題）。

但是單層的介質膜波導為了實現彎曲，採用了低損耗角的介質，因此對寄生波濾波性能不好。為了克服這缺點，在第 14 篇文章“雙層介質膜圓波導”採用雙層介質膜。文中研究了這種波導中

各波型的傳輸特性;并具体作了設計。

第 15 篇及第 16 篇文章“介质膜对近似圓形直波导中 TE_{01} 波的衰减的影响”及“半导体膜对圓波导波型损耗的影响”也是研究介质膜波导中各波型的傳輸特性,但着重在滤波性能方面。后一篇研究規則的情况;而前一篇研究截面稍有变形的情况。这两篇文章都采用了微扰法,因此只能用于介质膜很薄的情况,而第 18 篇文章,不但介紹了微扰法,而且还采用了比微扰法更为精确的計算各波型傳輸常数的方法,可用于介质稍厚一些的情况,但这种方法不能用来研究截面变形对波型傳輸的影响。

在第 17 篇文章“含有不均匀电介质的弯曲圓波导理論”中,作者介紹了一种实现大直徑 TE_{01} 波圓波导弯曲的方法,在弯曲波导段內,放入特殊形状的填充介质,使由此而引起的 TE_{01} 波和主要寄生波間的耦合恰好同弯曲而引起的耦合相消。文章分析方法是耦合波的方法,即关键在于推导出既有弯曲又有不均匀介质填充的圓波导中各波型間的耦合波方程。然而我們发现,作者是通过无限多联立方程組的求解来确定幅度函数間的关系式。为了避免数学上的困难,他不得不将无限运算問題避而不談。此外,从实用观点来看,他的方法的一个缺点是所得結果仅仅适用于媒质不均匀性很小的情况,而实际上在許多具体問題中,并不允許引入上述的小均匀性的限制。最近在黃宏嘉等发表的一篇論文(中国科学, 14, 378(1965))中,用簡單而严格的方法,确定了幅度函数間的关系,且結果能适用于任何类型介质不均匀填充。纵然文章有上述缺点,仍具有較高的理論水平及丰富的想象能力。

在第 18 篇文章“圆电波通过蛇形弯曲的傳輸”中,研究了 TE_{01} 波通过蛇形弯曲的傳輸特性,这种蛇形弯曲是由于支架着的波导本身自重而引起的。文章采用了矩陣的运算方法得到了結果,认为在蛇形弯曲中 TE_{1n} 波对 TE_{01} 波傳輸的影响最大,应尽量設法滤除。文章对于分析其他各种周期性結構不規則性有参考意义。

(III) 圓波导元件

第 19 篇文章“圓波導過渡器的改良設計”提出了一種圓波導過渡器的設計方法，並在附錄中推導了圓波導過渡器的耦合波方程。但文章沒有考慮高次圓電波在過渡器中的臨界截面，在這一截面的附近， TE_{01} 和這截止波型間的耦合方式有很大變動，因此必須重新考慮設計方法（前面提到的 Каценеленбаум 著的書中討論了這一問題）。所以說，這裡的改良設計方法在不存在主要寄生波的臨界截面時是能用的；或在過渡器設計的要求不高，因此臨界截面上的影響可以忽略不計時，也可使用。

第 20 篇文章“圓波導 TE_{01} 波均勻激發器”採用了前面第 3、4 篇提出的、而後又發展的橫截面方法，得到了 TE_{01} 波激發器的波型變換損失，為改進激發器提供了依據。

實際上，橫截面方法同上述提到的耦合波方法沒有基本的區別，在數學方法上都是基於正交函數的展開，最後結果也都得到聯繫各波型幅度的耦合波方程。區別只是在一開始將場展開是用行波場展開，還是用駐波場展開。所以橫截面的方法又稱行波展開法。

(IV) 圓波導測量

在第 21 篇文章“多波型系統中弱耦合波型諧振引起的傳輸損失”中，作者提出了用測量諧振強度的方法來確定弱耦合波型的幅度。這種測量方法後來很廣泛地用來鑑定圓波導各種寄生波含量，並有了很多方面的发展。

最後一篇“諧振腔法測試圓波導”也是利用諧振的方法來測量波導管本身的衰減。測量衰減是利用測量空腔的 Q 值而得到的。這種測量方法較快，適合於鑑定大量的波導管。

以上所述的許多看法，必然有片面性，也一定有錯誤。選擇的文章也可能不完全反映實際發展的情況，希讀者批評指正。

叶培大 錢景仁

目 录

写在前面

I. 綜述及一般理論	1
1. 通信用波导	1
2. 低損耗圓柱波导中的傳播特性	50
3. 关于不規則波导的一般理論	67
4. 具有緩变参量的不規則波导	72
5. 长波导綫中伴流的形成	77
6. 由波型变换引起的波导傳輸特性偏差	96
7. 多波型波导耦合本地簡正波型的广义理論	116
8. 远程波导不規則性的普遍理論	130
9. 微波强耦合理論	154
II. 圓波导	174
10. 螺旋波导	174
11. 螺旋波导中的簡正波型和波型变换	214
12. 弯曲螺旋波导中 TE_{01} 波的衰减	236
13. 介质膜波导中圓电波的傳輸	250
14. 双层介质膜圓波导	274
15. 介质膜对近似圓形直波导中 TE_{01} 波的衰减的影响	281
16. 半导体膜对圓波导波型損耗的影响	292
17. 含有不均匀电介质的弯曲圓波导理論	297
18. 圓电波通过蛇形弯曲的傳輸	340
III. 圓波导元件	354
19. 圓波导过渡器的改良設計	354
20. 圓波导 TE_{01}^2 波均匀激发器	367
IV. 圓波导測量	374
21. 多波型系統中弱耦合波型諧振引起的傳輸損失	374
22. 諧振腔法測試圓波导	381

I. 綜述及一般理論

1. 通信用波導[†]

S. E. Miller

1. 引 言

在金屬圓柱波導中，圓電波具有一種奇特的性質，以致在過去有許多學者曾懷疑這波是否確實存在。它的特性在於隨着工作頻率的增加，衰減系數隨之無限制地減小。在雙綫、同軸綫和通常的波導中，由於“趨膚效應”隨着頻率增高而使熱損耗上升，因此當圓電波損耗特性在 1930 年初期經 Schelkunoff 等在理論上預言後，立即引起了重視。以後，在 Holmdel 實驗室就為實現有關圓電波和它的實用價值的研究。本文目的在於闡明這方面工作的現狀和敘述圓電波傳播的一些基本特性。

擺在面前的任務在於探索波導作為遠程通信的可能性，目前在這方面採用同軸電纜和無線電中繼系統。遠程波導的重要意義，部分地在於大氣中的氧、水蒸汽和雨水的吸收作用，使無線電波在 12 千兆赫以上，在大氣中傳播時會產生強烈的衰減，因此要傳送 10~20 千兆赫的無線電波必須用屏蔽的綫。

圓電波傳輸也可應用於極寬頻帶的短程傳輸綫，例如，用戶間需要極寬的頻帶，兩個中央局的多路載波綫路或中繼站天綫連接遠距離的收發設備。

[†] Waveguide as a Communication Medium, *Bell Sys. Tech. J.*, **33**, 1209 (1954).

在每一种情形下,波导是一种理想的傳遞信号的媒介,这是因为波导傳輸能保証在微波頻譜有寬的頻帶,完整的屏蔽以及在傳輸圓电波时的低損耗. 在本文中我們試图确定波导的精密要求,并根据其复杂性,了解其是否值得.

2. 普通波和圓电波

这里討論圓电波时,須考虑其有关的波导. 大部分波导是矩形截面的,而这种波导的尺寸保証仅傳輸一种波,通常称为“基波型”. 以后我們就把这种波导謂之普通波导. 普通波导同同軸綫及双导綫在許多方面相类似. 由于仅可以傳播一种波型,因此具有固定橫截面的波导軸偏离严格的直綫度只显示电抗效应. 波导壁或同軸綫的凹陷、橫截面形状的急驟变化、扭轉和弯曲,都会形成无損耗的反射效应,然而只要在适当地位引入另一种补偿电抗,就可以在一个頻率(或在某一个頻帶)抵消这些反射波. 普通波导中所用的多数元件(包括选頻滤波器),为了获得满意的工作性能,就依赖于这种电抗的抵消作用.

随着对普通波导实验技术上的熟习,自然要問,普通波导能否用于通信? 在TD-2型无綫电中继綫中(工作頻率为4000兆赫),天綫和增音站間确已采用长100呎以上的普通波导. 然而,其衰减已过分大,以致于无法应用于远程傳輸. 在TD-2型傳輸綫中应用的黃銅矩形波导衰减已超过50分貝/哩,即使应用最好的銅,衰减也只不过将理論損耗减小到40分貝/哩. 为了降低普通波导的損耗,象同軸綫或双綫一样,應該使用較低的頻率. 例如,工作在1000兆赫时,衰减的理論值大約为2分貝/哩,这已接近中继綫中发射机和接收机間的衰减值. 但对于在500~1000兆赫頻段內工作的波导,所需截面尺寸达1呎左右,这就太呆笨,且需很大的材料費用. 此外,由于滞后畸变(詳見下一节),这种波导只能通过几个兆赫的帶寬. 由此可得出結論,用普通波导作为长于1哩的信号傳輸綫已无意义了.

人們知道，在指定的頻率，適當地增大波導截面尺寸，可以使任何金屬波導的衰減降低到任何需要值。但缺點是在波導中將傳播幾個波型。多波型傳輸系統的顯著特點在於某一種波型的能量完全不受任何其他波型是否存在的影響。圖1表示這種情形的圖例。理論上能量可以經1和1'，2和2'以及3和3'同時傳遞，並在同一頻段而沒有相互干涉。在同一个空間里，不同波型代表獨立的傳輸綫。在多波型波導內各個波型的特点有：(1)傳播速度或相位常數，(2)衰減系數，(3)波導內電場和磁場結構。



圖1 多波型波導傳輸的示意圖

對於採用大尺寸的波導，而使多種波型存在的事實，對這裡的研究具有深遠的意義。實際上，各個波型之間的獨立性僅受到各種公差的限制。無論從保持波型的純粹性還是從阻抗匹配的观点來看，在多波型波導中應特別注意截面尺寸變化、彎曲和扭轉等。為了匹配的目的，在這種波導中不能象普通波導一樣引入任意形狀的探針或薄膜等。這意味着，對於各種元件（例如選頻濾波器、混合接頭、衰減器等），完全要採取新的技術措施，同時還需採用新型的元件（例如純波型激勵器、波型濾波器）。

3. 圓電波的理論特性

由於現在已有需要在多波型範圍應用波導，以便在合理尺寸的波導內獲得所需的損耗，我們可能需要了解哪一種波型最合適於這種應用。在指定頻率，任何一個波型的損耗可以在增加波導截面尺寸而降到的任何數值，但是這裡有一個波型，在波導尺寸增加後，它的損耗減少的速率比任何其他波型快得多。這就是

圆柱直波导中的圆电波(TE_{01} 波型)。它不会在金属壁激起沿波传播方向的纵向电流。这种电流的消失使圆电波的衰减随着工作频率的增加而无限地减小。图2表示普通传输线和圆电波的区别。在通常的双导线中,电场的方向是从一根导线直接扩展到另一根导线,结果沿传播轴和铜线中有关的传导电流方向,在每半波长的间距积聚电荷一次。这些传导电流在传播方向并不随工作频率的增加而消失,因为它们关系到传输线终端的传输能量。对于圆电波,电场线是自身闭合的曲线,并总同管壁相切,在波导壁上由于主能量流而不致积聚电荷。壁电流是流动的,它只足以防止

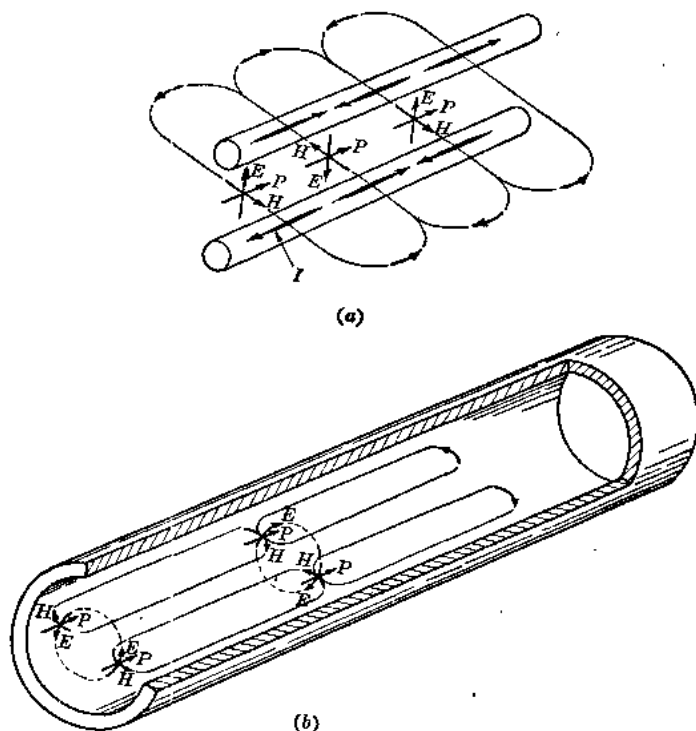


图2 磁场 H 、电场 E 和坡印廷矢量 P 的分布: (a) 在双导线中;
(b) 在圆电波的波导中

由于圆电波的主能量流关系到电场线,并自行闭合,而在金属壁上不积聚电荷,因此壁电流和有关损耗都很小