

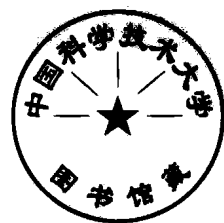
И. И. 格罗涅夫

В. В. 索科洛夫

# 同 軸 电 纜

И. И. 格 罗 涅 夫 著  
苏联 B. B. 索 科 洛 夫

徐 鯉 庭 譯



人 民 郵 電 出 版 社

И. И. ГРОДНЕВ, В. В. СОКОЛОВ  
КОАКСИАЛЬНЫЕ  
КАБЕЛИ  
СВЯЗЬИЗДАТ 1954

本書討論同軸電纜的理論以及电气参数、結構不均匀性的影响、同軸綫对間的影响及其屏蔽方法等理論分析；对于各种同軸電纜的構造、程式、測試以及設計、建筑、維護、使用等实际問題也加以討論。本書可供設計、建設和維護使用長途通信電纜綫路的工程技术人員以及高等学校电信系科使用。

本書由徐鯉庭工程師譯出。

同 軸 電 纜

---

著 者： 苏联 И. И. 格 罗 涅 夫  
                  В. В. 索 科 洛 夫  
譯 者： 徐 鯉 庭  
出 版 者： 人 民 郵 電 出 版 社  
                  北京东四区6条胡同13号  
印 刷 者： 人 民 郵 電 出 版 社 南 京 印 刷 厂  
                  南京太平路戶部街15号  
發 行 者： 新 華 書 店

---

1957年6月南京第一版第一次印刷 1—1668册  
850×1168 1/32 119頁 印張  $7\frac{1}{2}$  印刷字數178000字 定價(10)1.40元  
★北京市書刊出版業營業許可証出字第〇四八號★  
統一書號：15045 總609—有106

## 序 言

苏联人民为完成苏联共产党第十九次代表大会关于发展苏联的第五个五年计划的指示以及苏联共产党中央委员会和苏联政府在1953年年底和1954年所通过的保证国民经济各部门继续上涨，人民的物质福利、保健事业和文化水平不断增长的决议而正在胜利地劳动着。

通信方法将获得进一步的发展。特别是对于发展可靠的优良通信、远距离传送广播和电视节目等方面给予了很大的重视。

在我们祖国广大辽阔的领域中，实现可靠和优良的通信以及传送广播和节目的主要方法之一就是用最新型的通信电缆遍布全国，并配以高频通信的设备。高频的采用引起了许多对通信电缆的新要求，要求能通过宽广的频率范围（若干兆赫）而无干扰和失真。在各种新型的通信电缆中，能完全符合这些要求的仅有同轴电缆，它可以传送数十兆赫的频谱。

如果在对称结构的电缆上能够组织传送频率范围在数百千赫以内的高频电报电话通信以及传送广播节目的话，那末电视节目的传送就只有同轴电缆才能担任了，因为它要求所传送频率的范围为若干兆赫。

在苏联共产党第十九次代表大会的指示中，提出了要在第五个五年计划的时期中增加长途电话电报电缆的长度不少于一倍以及继续发展电视的任务。所以今后在苏联的领域内铺设电缆时，采用含有同轴对的电缆将日益繁多。

在本书中讨论的是：同轴电缆的理论、电缆结构的不均匀性对

电气信号傳送質量的影响、各个同軸对之間的影响及其屏蔽方法、电气測量、特别是用脈冲法的电气測量、同軸电纜的結構等問題，并且也討論建設、安裝和維護使用含有同軸对的干綫电纜的实际問題。

本書可供从事設計、建筑和維護使用通信电纜綫路的工程技术人員以及通信学院高年級的学生使用。

緒言和第四、五、六各章由格罗涅夫 (И.И.Гроднев) 撰寫。

第一、二、三、七、八各章由索科洛夫 (В.В.Сokolov) 撰寫。

作 者

## 緒 言

苏联共产党第十九次代表大会关于1951—1955年苏联國民經濟發展的第五个五年計劃的指示，規定了在五年的时间內長途电话电报電纜的長度至少应增加一倍。这个任务的完成必須要在推广先進技术、大量節約物質資源、广泛地采用有充分价值的代用品和先進的生產工藝的基礎上才能实现。

对電纜干綫的特別重視是因为它实际上能在任何距离中实现穩定的通信。電纜綫路的主要优点为：对通信电路不受大气和各种气候的影响有很好的防护性，这种綫路在运用时有高度的穩定性和耐久性以及无需地面上的設施。

電纜通信綫路的优点在現階段通信工程的發展中表現得最完全，目前高频通信多路制对电路的复用乃是現階段的特征。

最早的電纜綫路的創立是和俄罗斯学者許林格(И.Л.Шиллинг)的名字不可分离的。远在1812年許林格在彼得堡为了实验水雷的爆炸，就运用了他为这个实验而創造的絕緣導綫。

1851年，和建造鐵路同时，在莫斯科和彼得堡之間曾敷設了用馬來橡膠絕緣的电报電纜。

最初的水底電纜系在1862年通过北特維娜河和1879年通过里海在巴庫和克拉斯諾伏特斯克之間敷設的。

上一世紀的九十年代在莫斯科和彼得堡的市內电话網中曾架設了为数計有54根心綫的第一道電纜，而且早在1901年就已开始了地下電纜網的構築。

始于廿世紀初叶的原始結構的通信電纜，僅能在不大距离內進

行電話傳送。這就是具有空氣紙隔絕緣心綫和成對扭絞的所謂市內電話電纜。在本世紀的廿年代中，設計了具有紙繩絕緣的心綫并按“星形”或  $\Delta\Pi$ （雙對扭絞）型四心絞合的遠距離通信電纜，使傳送的距離增加到了 30240 公里，同時並改善了電話通信的質量。與此同時， $\Delta\Pi$  型絞合的採用還解決了從四個心綫中構成二個實綫電路和第三個摹擬（幻象）電路的問題。

在 1900 年用人工增加電纜電感的方法在提高傳送距離方面作了卓著成效的嘗試，這些方法直到現在也還未失去其意義。

在通信工程發展中的一個重要階段，就是發明了電子管，並從 1912~1913 年間開始掌握電子管的生產。在應用電子管的基礎上科瓦連柯夫（В.И.Коваленков）曾經研究並在 1917 年在綫路上作了電話增音機的試驗。增音機和人工增加電纜電感的配合採用，使長途電話電報通信可以達到更遠的距離。各增音站沿電纜綫路的合理分佈，可使心綫的直徑得以從 2~3 公厘降至 0.9~1.4 公厘。

在本世紀的卅年代里，開始發展了多路复用制。因而也就產生了完全新型的電纜——同軸電纜。

同軸電纜的理論早在 1912 年就已由我國同胞伏依那羅夫斯基（П.Д.Войнаровский）研究了出來，但其大量製造則起自 1930 年——即起自新型的高頻介質如愛史卡邦<sup>⊙</sup>、高頻電瓷、聚苯乙烯、聚苯乙烯塑料、聚乙烯等出現之時。

這種電纜可以傳送電流頻率達若干兆赫的電能，因而可以在其中傳送遠距離的電視節目。

利用這樣寬闊的頻帶，在任何現有的有綫通信綫路上都不能傳送。目前對鋼綫電路的复用最多也不過是頻譜在 30 千赫以下的三路高頻通信。傳送更高的頻率則由於劇烈地增加衰減而受到限制。

⊙ 系一種人造橡膠——譯者。

頻譜在 150 千赫以下時可以採用銅綫架空綫路，它可以在一個回路中通過 16 個電話通信。對於繼續擴大傳送頻譜的主要阻礙，乃是各個電路之間相互噪擾的增長。

對稱電纜電路大抵可以在 108 千赫以下（24 個電話通信）加以复用。但據我們知道的也有 48 和 60 個電路的高頻复用。在對稱電路上傳送更高頻率的電流將引起電纜金屬部分（心綫，外皮，鎧裝）上渦流損耗的增高，因而增加了其衰減。此外，由於增加了電路之間的相互干擾，故也難以保持串音衰減的額定值。

加感電纜由於有附加電感綫圈的存在，所以僅適於傳送一定的頻率範圍。

唯有同軸電纜可以通過  $5 \times 10^6$  赫以下的頻譜，足可用來傳送一個電視節目或 960 個電話通信。

同軸電纜的實際應用目前可以包容的頻率範圍為從零起到  $10^9$  赫（公分波的通信）。在需要傳送更高頻率電流（例如，公分波通信）的時候，可以採用圓形或矩形的空心管，這種管子稱為波導管。波導管只有在傳送波長和波導管本身的直徑可相比擬的那種頻率的電流時才加採用。

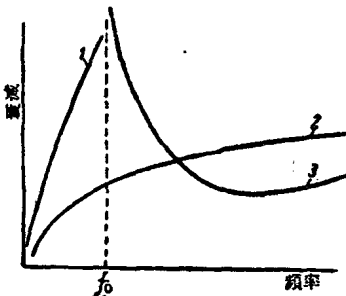


圖 I 各種傳送綫路的衰減和頻率之間關係的特性：1—對稱回路，2—同軸綫路，3—波導管

圖 I 中列有不同傳送綫路的衰減和頻率的關係，由此圖可以看出，對稱電纜電路在低頻（ $10^5$  赫以下）時具有較小的衰減，但在高頻范疇中就突然地增加了其衰減。反之，波導體系則不能通過低頻電流而在高頻（ $10^9 \sim 10^{10}$  赫）范疇中反而具有較小的衰減。同軸電纜

則可以看到在全部傳送的頻率範圍中其衰減均是極平滑地上升的。



同軸電纜能在很高的頻率時傳送電能的能力是由它特別的結構以及優良介質的採用所保證的。

同軸電纜中的一根導體是放在第二個空心導體內部的中心。所以，這種電纜內外導體之間電磁場的相互影響可使電纜外面的電磁場為零。因此，首先，在這種電纜周圍的金屬部分（鉛、鎧裝、鄰近回路等等）上的損耗就不存在；全部能量都只是在電纜的內部傳播，因而回路上的傳送就更為有效；其次，同軸電纜對鄰近電路的干擾作用不大。同時頻率愈高同軸電纜外導體的屏蔽作用也就愈強，因而其噪擾防衛性也就愈好。

同軸電纜的主要優點為：

- 1) 在較小的損耗下有傳送極寬闊頻譜的可能性，
- 2) 有防止相互干擾和外來噪擾的高度防衛性，
- 3) 整個傳送體系的經濟性。

根據用途和構造特徵，所有現代化的同軸電纜可按下列方式分類：

- 1) 遠距離通信的干綫電纜，
- 2) 射頻饋電電纜，
- 3) 水底電纜。

干綫電纜可在5兆赫以下的頻率範圍中加以复用，可用作遠程長途通信及在遠距離中傳送電視節目的裝配。根據其導體的尺寸這類電纜還可細分為：大型（5/18）（內導體直徑為5公厘外導體的內直徑為18公厘）、中型（2.6/9.4）和小型（1.83/6.7）三種。

長途通信一般是採用合成電纜，這種電纜由二個、四個或更多數目的同軸對和分佈在其外周的一層或二層普通對稱結構的四綫組成。同軸對用來供遠距離干綫通信和電視用，各對稱電路則可用以組織中間各站之間的通信以及業務通信和信號設備。

電纜內外導體之間以墊圈狀的或扭繩狀的絕緣體相互隔開。在干綫電纜的外面應用重型的鎧裝外皮加以防護。

**射頻饋電電纜** 用以傳送頻率高達數千兆赫的電流。此種電纜系供連接發射機和天綫接收機和天綫、安裝無線電台、雷達設備和其他射頻設備之用。

屬於射頻饋電電纜者還有用以傳送大功率、中功率和小功率的射頻同軸電纜，延滯電纜，變換電纜，功率消滅電纜和具有高波動阻抗的電纜等。

鑑于超高頻率範圍（公分波和公分波）的採用，饋電型的同軸電纜亦可作為一種選波構件（濾波器，諧振器等）而用在各種無線電設備中。

在饋電電纜中往往採用實心的介質來作為其絕緣，但在許多結構中也有採用扭繩，小罩，帶縱向孔道等方式的空氣組合絕緣。

**水底電纜** 一般是在30—108千赫以下的頻譜內以及每經100—200公里分設一增音站時加以復用，在建立通過河泊障礙的通信時應用之。

為了保證有足夠的機械強度，雖然水底電纜的維護條件很艱難，還是需要裝備加強用的鎧裝外皮。例如，用以佈設在較深（3—6公里）之处的水底電纜，就有由特種高強度的鋼制成的圓鋼絲鎧裝。

在水底同軸電纜中往往採用實心的介質（聚乙烯）作為其絕緣。

# 目 录

## 序 言 緒 言

### 第一章 理想結構同軸電纜的理論

- 第一節 同軸電纜中的电磁場..... ( 1 )
- 第二節 同軸電纜中的电磁波过程..... ( 5 )
- 第三節 电压和电流沿同軸電纜的分佈..... ( 7 )
- 第四節 同軸電纜內導体的阻抗..... ( 10 )
- 第五節 同軸電纜外導体的阻抗..... ( 18 )
- 第六節 同軸電纜的阻抗..... ( 19 )
- 第七節 具有管狀或双金屬內導体的同軸電纜的阻抗..... ( 22 )
- 第八節 同軸電纜的導納..... ( 30 )
- 第九節 电磁波沿同軸電纜的傳播常数..... ( 33 )
- 第十節 同軸電纜的衰減常数..... ( 34 )
- 第十一節 同軸電纜的相位系数..... ( 39 )
- 第十二節 同軸電纜的波动阻抗..... ( 41 )
- 第十三節 同軸電纜的电气参数和温度的关系..... ( 44 )

### 第二章 同軸電纜的电气参数和其 結構不均匀性之間的关系

- 第一節 結構不均匀性对同軸電纜电气参数的影响..... ( 46 )
- 第二節 導體排列偏心的同軸電纜的电气参数..... ( 50 )
- 第三節 一面有压痕的同軸電纜的电气参数..... ( 56 )
- 第四節 導體为橢圓形的同軸電纜的电气参数..... ( 58 )

### 第三章 不均匀性对同軸電纜工作参数的影响

- 第一節 同軸電纜应看作是均匀的綫路..... ( 60 )

第二節 第一类反射波对同軸電纜輸入阻抗的干擾…………… ( 61 )

第三節 由內部不均勻性所引起的同軸電纜輸入阻抗偏差  
的預期值…………… ( 64 )

第四節 由聲音段中的內部不均勻性和接合不均勻性所引  
起的同軸電纜輸入阻抗偏差的預期值…………… ( 69 )

第五節 由內部不均勻性和接合不均勻性所造成的輸入阻  
抗偏差之間关系的确定…………… ( 71 )

第六節 出厂長度電纜段上輸入阻抗偏差容許值的計算…… ( 73 )

第七節 由內部不均勻性所造成的伴流通量的預期值之确定 ( 75 )

第八節 由內部不均勻性和接合不均勻性所造成的伴流通  
量的預期值之确定…………… ( 79 )

第九節 降低接合不均勻性的有害作用…………… ( 83 )

第十節 計算出厂長度電纜段上輸入阻抗容許偏差值的实例 ( 86 )

第十一節 內部不均勻性之間的相互关系…………… ( 88 )

第十二節 当結構上有不均勻性存在时同軸綫路的衰減…………… ( 92 )

**第四章 同軸对之間的干擾和其屏蔽**

第一節 关于同軸电路之間干擾的概念…………… ( 93 )

第二節 同軸電纜的干擾参数…………… ( 96 )

第三節 同軸电路之間的串音衰減…………… ( 107 )

第四節 同軸電纜外導体的屏蔽作用…………… ( 120 )

**第五章 同軸電纜的結構元件和用  
以制造这些元件的材料**

第一節 同軸電纜的內導體…………… ( 130 )

第二節 同軸電纜中導體絕緣用的材料…………… ( 132 )

第三節 同軸電纜內心綫的絕緣方法…………… ( 138 )

第四節 同軸電纜的外導體…………… ( 146 )

第五節 電纜的屏蔽和鍍裝外套…………… ( 149 )

## 第六章 同軸電纜的型式，它的結構和电气性能

- 第一節 远距离通信的干綫電纜…………… ( 150 )
- 第二節 射頻饋电電纜…………… ( 161 )
- 第三節 水底電纜…………… ( 170 )

## 第七章 同軸電纜的电气測量

- 第一節 在同軸電纜綫路上的电气測量种类…………… ( 178 )
- 第二節 同軸綫路特性阻抗的測量…………… ( 179 )
- 第三節 測量同軸綫路的脈冲法…………… ( 187 )
- 第四節 同軸綫路衰減的測量…………… ( 195 )
- 第五節 同軸对之間串音衰減的測量…………… ( 197 )
- 第六節 傳播時間的測量…………… ( 198 )
- 第七節 測量同軸綫路电气参数的开路法和短路法…………… ( 199 )
- 第八節 同軸電纜絕緣強度的电气击穿試驗…………… ( 201 )

## 第八章 含有同軸对的干綫電纜的 架設特点和維護使用特点

- 第一節 含有同軸对的合成電纜敷入地中和引入電纜溝中  
时的特点…………… ( 203 )
- 第二節 含有同軸对的合成電纜在布設前的分組…………… ( 205 )
- 第三節 含有同軸对的合成電纜的安裝特点…………… ( 207 )
- 第四節 含有同軸对的合成電纜的平衡特点…………… ( 211 )
- 第五節 引入裝备和終端設備的安裝方面的操作特点…………… ( 213 )
- 第六節 含有同軸对的合成電纜在安裝过程中和在裝妥的  
增音段中的測量特点…………… ( 217 )
- 第七節 電纜鉛皮密閉度的試驗…………… ( 218 )
- 第八節 含有同軸对的合成電纜的技術維護的特点…………… ( 218 )

## 參考書目

## 譯名对照表

# 第一章

## 理想結構同軸電纜的理論

### 第一節 同軸電纜中的電磁場

當對電纜中的電磁作用進行理論性的研討時，我們的出發點是略去電纜全長中個別結構元件的不均勻性，並將其結構加以理想化。

理想結構的同軸電纜可以理解為這樣的一根電纜，它的二個導體在全長上都很確切地同心排列（兩個導體的軸心綫在電纜全長上完全重合），兩個導體的外形在任意橫截面上都是有固定直徑的理想圓周，而且兩個導體和介質的電阻率，導磁率和電容率在電纜全長上均固定不變。

電氣信號在同軸電纜中的傳送條件決定於電纜中的電磁場，同軸電纜中的電磁場可以用麥克斯韋方程式來表明：

$$\operatorname{rot} \bar{H} = \frac{1}{\rho} \bar{E} + \varepsilon \frac{\partial \bar{E}}{\partial t} \quad (1.1)$$

和

$$\operatorname{rot} \bar{E} = -\mu \frac{\partial \bar{H}}{\partial t}, \quad (1.2)$$

式中  $\bar{E}$  —— 電場強度的矢量，

$\bar{H}$  —— 磁場強度的矢量，

$\rho$  —— 媒質的電阻率，

$\varepsilon$  —— 媒質的電容率，

$\mu$  —— 媒質的導磁率，

$t$  —— 時間。

麥克斯韋方程式指出：1) 凡有电流 (傳導电流或位移电流) 存在之处不可避免地必有磁場存在；2) 当磁場有任何变化时，同时必隨之而產生電場。寫成矢量方式的方程式(1.1)和(1.2)好象三个空間座标和時間的函数一样，可以決定媒質中任意点的電磁場。为了确定無論是電纜導體之間空間中的或是導體本身中的磁場和電場的分佈情况，必須对上述方程式進行積分。由于对称的原因以及在假設是穩恆过程的情况下，自变数的数目有减少的可能性，因而方程式的積分問題就可大大地加以簡化。然而，由于有可能使很多种函数成为正弦函数的和数的形式，所以穩恆过程的假設并不限制方程式的解在更一般化的不穩恆状态情况中的应用。我們在以后將認為電場强度和磁場强度隨時間的变化是由下列公式确定的：

$$\overline{E}(t) = \overline{E} e^{i\omega t} \quad (1.3)$$

和 
$$\overline{H}(t) = \overline{H} e^{i\omega t}, \quad (1.4)$$

式中  $\omega = 2\pi f$  —— 角頻率。

前式對時間微分之后即得：

$$\frac{\partial \overline{E}}{\partial t} = i\omega \overline{E} e^{i\omega t} \quad (1.5)$$

和 
$$\frac{\partial \overline{H}}{\partial t} = i\omega \overline{H} e^{i\omega t}。 \quad (1.6)$$

因此，對於所論及的情况而言，方程式(1.1)和(1.2)可以下列形式表之：

$$\text{rot } \overline{H} = \overline{E} \left( \frac{1}{\rho} + i\omega \varepsilon \right), \quad (1.7)$$

$$\operatorname{rot} \bar{E} = -i\omega\mu \bar{H} \quad (1.8)$$

在方程式(1.7)和(1.8)中去掉乘數 $e^{i\omega t}$ ，使自變數的數目有所減少。由於對稱的原因選用圓柱坐標系統(圖1.1)最為適宜，這可以使自變數的數目獲得進一步的減少。

在圓柱坐標系統中的電磁場的方程式(1.7)和(1.8)具有下列形式：

$$\operatorname{rot}_z \bar{H} = \frac{\partial H_\varphi}{\partial r} + \frac{H_\varphi}{r} - \frac{1}{r} \frac{\partial H_r}{\partial \varphi} = E_z \left( \frac{1}{\rho} + i\omega\varepsilon \right), \quad (1.9)$$

$$\operatorname{rot}_r \bar{H} = \frac{1}{r} \frac{\partial H_z}{\partial \varphi} - \frac{\partial H_\varphi}{\partial z} = E_r \left( \frac{1}{\rho} + i\omega\varepsilon \right), \quad (1.10)$$

$$\operatorname{rot}_\varphi \bar{H} = \frac{\partial H_r}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial r} = E_\varphi \left( \frac{1}{\rho} + i\omega\varepsilon \right), \quad (1.11)$$

$$\operatorname{rot}_z \bar{E} = \frac{\partial E_\varphi}{\partial r} + \frac{E_\varphi}{r} - \frac{1}{r} \frac{\partial E_r}{\partial \varphi} = -i\omega\mu H_z, \quad (1.12)$$

$$\operatorname{rot}_r \bar{E} = \frac{1}{r} \frac{\partial E_\varphi}{\partial \varphi} - \frac{\partial E_\varphi}{\partial z} = -i\omega\mu H_r, \quad (1.13)$$

$$\operatorname{rot}_\varphi \bar{E} = \frac{\partial E_r}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial r} = -i\omega\mu H_\varphi. \quad (1.14)$$

如果象圖1.2所示的那樣，將同軸電纜的軸心放在與 $z$ 軸相重合的位置上，那末由於圓柱形的對稱性，所以電纜的電磁場應和座標 $\varphi$ 無關。因此全部對 $\varphi$ 的導數均可等於零。

此外，由於物理的原因，可以肯定在電纜中並不存在與電纜導體中電流方向相重合的磁場強度在 $z$ 軸上的分量 $H_z$ 。電場強度在切綫方向的分量 $E_\varphi$ 和磁場強度的徑向分量 $H_r$ 不存在也同樣正確。



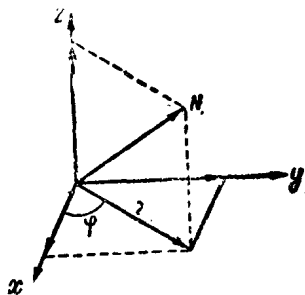


圖 1.1  $N$  点在空間圓柱座標中位置的確定

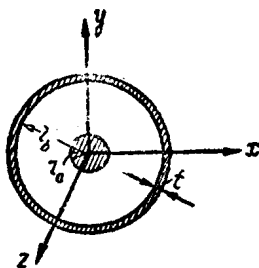


圖 1.2 在圓柱座標系統中同軸電纜的位置

这样，理想結構同軸電纜的電磁場在圓柱座標中可以下列方程式確定之。

$$\frac{\partial H_{\varphi}}{\partial r} + \frac{H_{\varphi}}{r} = E_z \left( \frac{1}{\rho} + i\omega\epsilon \right), \quad (1.15)$$

$$-\frac{\partial H_{\varphi}}{\partial z} = E_r \left( \frac{1}{\rho} + i\omega\epsilon \right), \quad (1.16)$$

和 
$$\frac{\partial E_r}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial r} = -i\omega\mu H_{\varphi}. \quad (1.17)$$

在這些方程式中電磁場強度的各個分量僅與兩個變數即  $z$  和  $r$  有關。

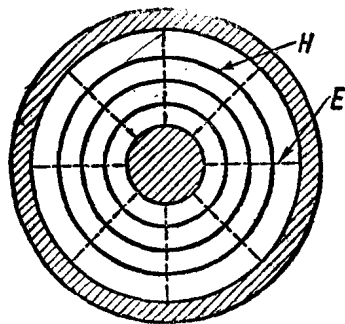


圖 1.3 同軸電纜中電磁場的結構

同軸電纜的磁場強度僅包含一個分量  $H_{\varphi}$ ，這就是說，磁感应的力綫系圍繞  $z$  軸同心地排列的。

電場可以用兩個分量表示：徑向的  $E_r$  和軸向（縱向）的  $E_z$ 。電場強度的徑向分量  $E_r$  促使在介質中有位移電流的存在，並和位移電流密度的