

# 超短波的传播

中国科学院  
电子学研究所

# 超短波的传播

蘇聯 Г.И. 格魯金斯卡婭著

何 芮 譯

人民邮电出版社

Г. П. Грудинская  
РАСПРОСТРАНЕНИЕ УЛЬТРА  
РАДИОВОЛН  
Госэнергоиздат. 1957

### 內 容 提 要

本書通俗地講述超短波傳播中的  
紹了這方面的最新研究成果，可供初  
者閱讀。

### 超 短 波 的 傳 播

著 者： 蘇 聯 Г. П. 格魯金  
譯 者： 何  
出 版 者： 人 民 郵 電 出  
北 京 東 四 條 街

（北京市書刊出版業營業許可證出

印 刷 者： 煤 炭 工 業 出 版 社 印  
發 行 者： 新 華 書

開本 787×1092 1/32 1958年12月北京  
印張 I 20/32 頁數 26 1958年12月北京  
印刷字數 41,000字 統一書號：15045  
印數 1—3,300册 定價：(10)0.23元

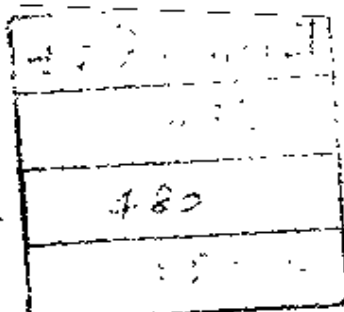


1 5 2 1 次

# 目 录

引言 .....	1
第一章 关于无线电波传播的基本概念 .....	3
第二章 地球表面和大气层的构造和电气特性.....	8
地球表面 .....	8
对流层 .....	9
电离层 .....	11
第三章 超短波在视平线范围内的传播 .....	14
远小于直视距离的距离 .....	15
接近于直视距离的距离 .....	17
地面不平坦的影响 .....	19
第四章 超短波的对流层传播 .....	26
绕射 .....	26
折射和大气波导的产生 .....	28
对流层不均匀层的反射 .....	34
无线电波在对流层不均匀层的散射 .....	34
第五章 超短波的电离层传播 .....	38
从正常 $F_2$ 层的反射 .....	39
从不稳定层 $E_s$ 的反射 .....	40
从不均匀电离层的散射 .....	43
从陨星痕迹和极光的反射 .....	47
第六章 超短波接收的杂音 .....	49
结论 .....	50
参考书 .....	52

## 引 言



最近十年来，超短波的应用得到了日益广泛和迅速的发展。对这一波段发生兴趣，是和需要发射宽频带的雷达、新型无线电通信、电视、调频广播等的发展分不开的。宽频带只能在超短波波段内发射。除此以外，所有其他波段，特别是短波段，负荷很大，希望把大量通信电路移到超短波段来。尤其重要的是最近查明，超短波可以在1,000公里以上的距离内进行正常通信，同时超短波通信线路在北极地区不会中断通信，而这种中断却是短波的特点。

短于10米的无线电波(频率在30兆赫以上)称为超短波。超短波波段的低频方面与短波相接，高频方面与长红外线相邻。超短波的界限选择为10米，是因为过去认为这种电波在大气上层(电离层)一般已不受影响，而只能短距离传播。

超短波波段可以分为四个分波段：米波(10—1米)，分米波(1米—10厘米)，厘米波(10—1厘米)和毫米波(短于1厘米)。每一分波段在技术上有自己的用途。例如：米波用于电视、调频广播、导航、无线电天文学，最近又用于超远距离无线电通信。分米波和厘米波用于电视，雷达和多路通信。毫米波的应用还正在研究中。

现在分给无线电爱好者的波段在每个分波段中都有：米波是38—40和144—146兆赫；分米波是420—425和1,470—1,520兆赫；厘米波是5,650—5,850兆赫。

在研究每一分波段的传播特点之前，先讲整个超短波波段的一般特性。

任何通信线路都由三个主要部分组成：发送设备，接收设备和中间环节——联接它们的线路。有线通信的线路是架空线或电缆。无线通信的中间环节是传播无线电波的介质、空间。

关于无线电波传播的科学就是研究这个中间环节，也就是从对

2. 1-34/10  
无线电波传播的影响这一观点来研究地面和大气层的特性。在无线电波传播方面工作的研究人員和工程師的任务在于研究无线电波传播的規律，找出选择所需波长、所需发射功率的方法，选择在各种发射型式下能确保接收的必需場强的方法。

关于无线电波传播的科学，其特点是它包含大量問題。主要的是无线电技术，但除此之外，还常常要注意到物理、地質物理、甚至天文学。在研究超短波传播方面，最近完成了許多理論和实验工作。苏联学者 B. A. 符維堅斯基、A. Г. 阿連別尔格和 B. A. 佛克等在这面有很大貢獻。但許多問題还没有解决，需要繼續进行复杂的理論工作，以及长期和大量的实验工作。

研究超短波传播时，实际中遇到的传播情况可按下列法分类：

1. 短距离传播(5—6公里以下)，这时可忽略地球的球面，而認為地面是平面。

2. 传播距离不超过视平线范围(50—60公里)。

3. 传播距离同上，但在山区或大城市內，这时在电波传播途径上有显著障碍。

4. 电波的同温层传播，即在大气下层的影响下传播(200—600公里以下)。

5. 电波的电离层传播，在大气上层的影响下传播(1,000公里以上)。

着手研究这些問題之前，应该先談一下无线电波传播的主要概念，并簡略介紹地球表面和大气层的电气特性。

这本小册子的目的是說明超短波传播在各种情况下所发生的現象的物理实质。介紹在最簡單的情况下計算超短波場强的方法，以便无线电爱好者在实践中采用。除此以外，还要提出超短波传播中尚未解决的問題，无线电爱好者可以用自己的观测来协助这些問題的研究。

# 第一章

## 关于无线电波传播的基本概念

在研究超短波传播的特性之前，须要回忆一下无线电波的基本概念、各种关系和特性。无线电波是电磁振荡。它的重要特征是电波的两个波节或波腹之间的距离，这个距离称为波长，并以  $\lambda$  表示（图 1）。电磁振荡的频率与波长的关系为

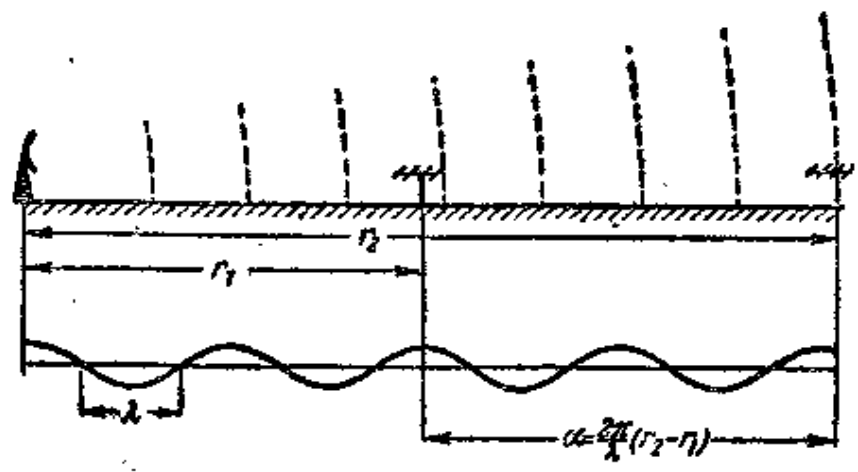


图 1 决定关于波长和相位差的概念

$$\lambda = \frac{v}{f}, \tag{1}$$

- 其中  $\lambda$  —— 波长；
- $f$  —— 振荡频率；
- $v$  —— 电波传播速度。

电波在空间传播的速度等于光速  $c \approx 300 \times 10^6$  米/秒。在另外一种介质中传播时，电波运动速度即变为：

$$v = \frac{c}{n}, \tag{2}$$

其中  $n$  是介質的折射系数。

沿电波运动方向距发送天綫不同距离的两个点上，振蕩到达有時間上的延迟。以距离差与波长之比来表示的时间延迟称为振蕩相位差(图 1)：

$$\alpha = \frac{2\pi}{\lambda} (r_2 - r_1) \quad (3)$$

在均匀介質中，即在整個体积內特性不变的介質中，电波以固定速度沿直綫

运动。当电波从一种介質进入另一种介質时，在两个介質的交界处产生电波的折射和反射。电波一部分进入第二种介質，这时它的运动方向改变，而一

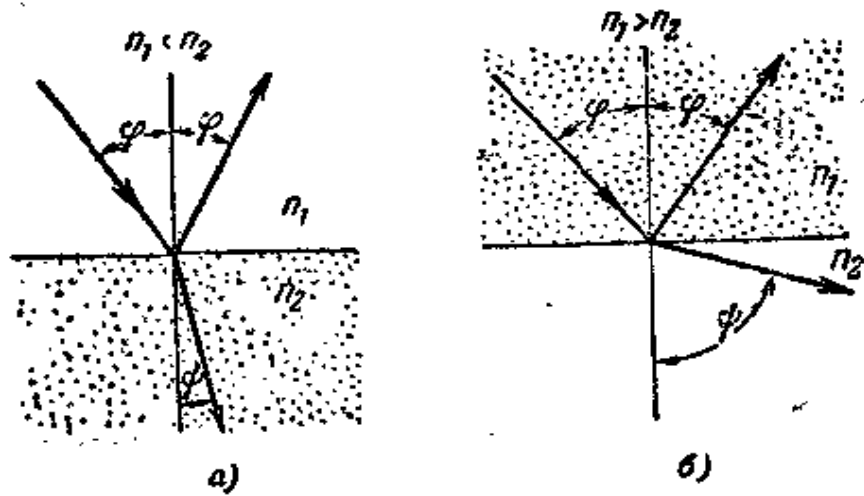


图 2 无綫电波的曲折

- a——从較稀介質进入較密介質
- b——从較密介質进入較稀介質

部分从交界处反射(图 2)。这时入射角等于反射角。入射角  $\varphi$  与折射角的关系为

$$\frac{\sin\varphi}{\sin\psi} = \frac{n_2}{n_1} \quad (4)$$

其中  $n_1$  和  $n_2$  是第一种介質和第二种介質的折射系数。

当介質特性(介質折射系数)均匀改变时，即介質不是均匀的，电波就好象是不断折射而沿曲綫軌跡运动(图 3)。介質的不均匀性愈大，折射系数改变愈急剧，則軌跡的曲率愈大。电波在不均匀介



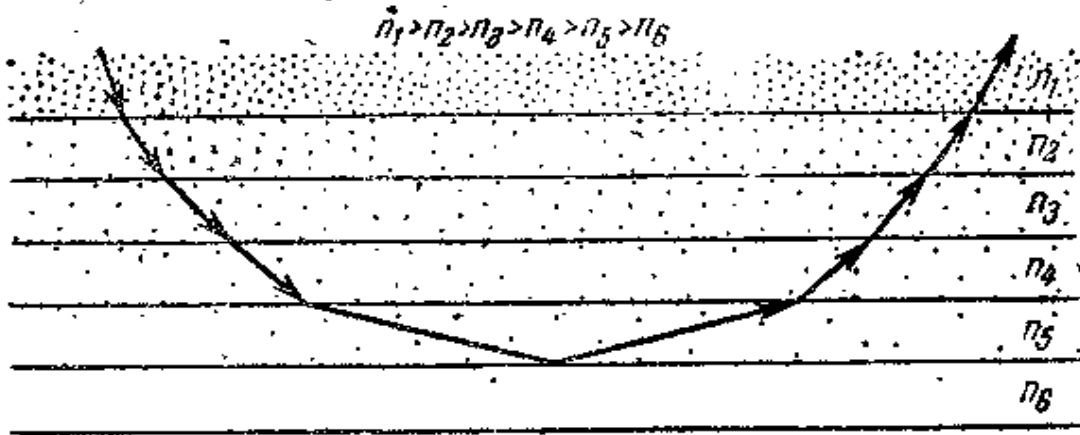


图3 无线电波在折射系数变化的介质中发生折射的情况

质中轨迹曲弯的现象称为折射<sup>①</sup>。当电波从折射系数较大的介质进入折射系数较小的介质(如从水进入空气),在入射角足够大时,可能发生内部全反射现象,即电波的全部能量从分界处反射而不传入第二介质。在不均匀的介质中,当介质的折射系数沿电波运动方向减小时,也会产生内部全反射现象。这时电波的传入不远于某一距离(图3)。

到达接收点的,常常不是一个而是两个或几个同一频率的电波。如果这些电波从不同来源到达或从同一来源但是不同途径到达,电波可能有不同相位。同一频率而相位不同的电波相叠加的现象称为干涉。按照相位的差别,总电场可能大于或小于个别电波的电场。

图4表示两种电波干涉的情况。在B点,沿途径AB和AB<sub>1</sub>B或AB<sub>2</sub>B到达的电波相叠加。在前一种情况下,两个电波的途径差是奇数个半波长( $\alpha=180^\circ$ ),场强相减;在后一种情况下,途径差是整数个波长,场强相加。

如果在电波传播的途径上遇到不能透过的障碍,则电波企图绕

① 电波由一种介质进入第二种介质时运动方向改变的现象,俄文称为 преломление;电波在不均匀介质中轨迹曲弯的现象,俄文称为 рефракция。这两种现象在中文里都叫做折射。(译者注)

过它。电波绕过途径上所遇障碍的现象称为绕射。

当障碍的尺寸与电波波长同一量级时，绕射呈现最显著。如果障碍和波长相比非常小，则绕射现象也很显著，不致影响障碍后面的场强。障碍尺寸大时，电波实际绕不过它，而在它后面形成阴影区。

无线电波（电磁振荡）的强度可用电场或磁场的强度表示，后二者之间以一

定关系相联系着。通常都测量电场强度，因为实际上测量电场强度比较方便。电场强度的单位为伏/米，毫伏/米或微伏/米。1 微伏/米 =  $10^{-3}$  毫伏/米 =  $10^{-6}$  伏/米。

电场强度常以相对对数单位——分贝——来测量：

$$1 \text{ 分贝} = 20 \lg E/E_0.$$

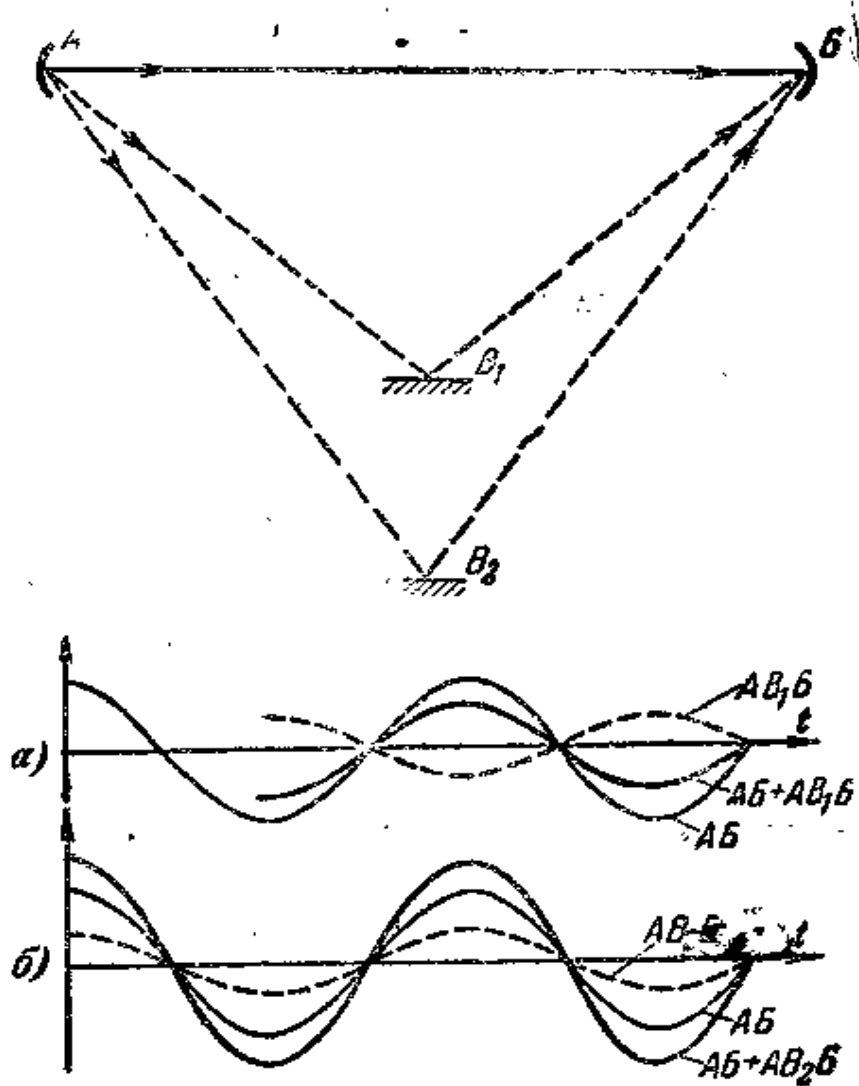


图4 从不同途径到达的两个电波的干涉

a——途径  $AB_1B$  比途径  $AB$  长整数个半波长，

b——途径  $AB_2B$  比途径  $AB$  长整数个波长。

通常采用  $E_0 = 1$  微伏/米或 1 毫伏/米。

現在談談在均勻介質中向各方向同樣發射的天綫。這種天綫稱為非定向天綫。在任何方向上與這天綫距離相等的地方場強相等，並有相同相位。電波相位相同的表面稱為波前。在這種情況下波前是球形。這種波稱為球形波。在超短波波段大都採用定向天綫，這種天綫能夠在一定方向上集中發射能量。這種情況下的電波仍是球形波，因為它的波前是球形表面的一部分。天綫在所要求方向發射的集中程度以天綫方向係數  $D$  來表示。定向天綫發射功率  $P$  時，在接收點形成的場強與非定向天綫發射功率  $PD$  時所形成場強的一樣。

並非所有從發射機送到天綫的功率都發射出去。天綫發射的功率與加入天綫中的功率的比稱為天綫的效率 ( $\kappa$  係數)。天綫效率與方向係數的乘積稱為天綫增益係數。厘米波的天綫增益係數可以達到很大數值。對於“波導”型天綫，增益係數在 5—20 範圍內，對於拋物鏡天綫達到  $10^4$ — $10^6$ 。

已知發射功率  $P$  (千瓦)，天綫方向係數  $D$  和到接收點的距離  $r$  (公里)，可求場強的有效值 (毫伏/米)：

$$E = 178 \frac{\sqrt{PD}}{r} \quad (5)$$

場強與距離成反比。

不大的一塊球形波前可以近似地當做平面波前。通常所說的平面波就是從這個意義上來說的。平面波的概念使無線電波傳播中許多問題的研究得以簡化。

## 第二章

### 地球表面和大气层的构造和电气特性

传播无线电波的介质是地球表面和大气层。无线电波可以在直接靠近地球表面的大气层中传播。在这种情况下，地球表面和大气层下层的特性对电波传播有很大影响。

电波也可以靠大气层上部电离层的反射来传播。这时传播条件主要决定于大气电离层的状况。从无线电波在大气层中传播的角度看，应该划分为两个区域：大气的下层，由直接接近地球表面的地方一直达到10—14公里的高度，称为对流层，以及上部电离层，分布在60到400—600公里的高度，称为电离层。

#### 地 球 表 面

确定地球表面的特性相当复杂，因为土壤按成分说不是均匀的。干土壤和湿土壤的电气特性不一样，淡水和海水的特性也不一样。但是对于超短波来说，除了海面以外，所有的地球表面都可以认为差不多是理想非导体。这就简化了很多问题的研究。但在超短波段中产生了另一复杂问题：地面上即或很小的不平坦都对传播有重大影响。

当无线电波落在不平坦地面上时得到散射，这时反射波的场强比从平滑表面反射的弱。当不平坦的高度大于与波长 $\lambda$ 和入射角 $\varphi$ 有关的某一数值，即

$$h > \frac{\lambda}{8 \cos \varphi}, \quad (6)$$

时，地面反射即有散射特性。

斜平射綫由于高度不平坦引起的乱反射大于直陡射綫。

“地面不平坦”的概念因不同波长而不同：对于米波来說，丘崗、建筑物、树木是不平坦。对于3—10厘米的电波来說，甚至杂草复盖和小丘已經是不平坦。

这样一来，超短波从地面反射的条件主要决定于地面不平坦，而不是它的电气参数。

### 对 流 层

在对流层内空气的成分和靠近地面的一样，即主要由氮（按体积說占78%）和氧（按体积說占21%）組成。对流层内空气的状态以它的压力、温度和湿度来表征。空气的密度随着离地球表面的高度而降低；通常湿度和温度也降低，因为在对流层内空气是靠地球表面散射的热量来变热的。

对流层的参数随季度，昼夜和气象条件变化。气象条件变化的观测在气象站进行，既在近地面处也在高处进行。为此用汽球或飞机带着测量仪器上升。每隔一段高度进行一次测量，因而有可能詳細研究对流层的构造。

空气的折射系数一般可認為等于1。但这只第一次近似地正确。实际上对流层的折射系数与空气的压力、温度和湿度有关，它虽然和1相差不大，但并不等于1。在正常压力、湿度和温度时，折射系数約比1大 $4 \cdot 10^{-4}$ 。折射系数与空气压力  $P$ ，温度  $T$  和水蒸气压力（绝对湿度）  $P'$  的关系决定于下式，式中常数由經驗方法求得：

$$(n-1)10^6 = \frac{78.5}{T} \left( P + \frac{4800}{T} P' \right), \quad (7)$$

其中  $n$ ——空气的折射系数，无单位；

$T$ ——绝对温度 ( $T = 273 + t^{\circ}\text{C}$ )；

$P$ 和  $P'$ ——压力，毫巴。

折射系数对不同高度而言不是常数，一般是随着从地面升高而减小，并趋近于 1。因此大气的下层是不均匀介质，同时它的参数随日夜、季度和天气而变化。在 10 公里高度以内，大气折射系数变化的不均匀性很大。在这一高度时， $(n-1) = 109 \times 10^{-6}$ ，而它在地球上各处都是常数。从上述数字可见，大气折射系数的绝对值变化是很小的。

影响无线电波传播的不是折射系数的绝对值，而是它随高度变化的规律。大量观测说明，在中纬度地区，大气一般状况的特征是折射系数随高度的变化很均匀。高度每改变一米折射系数减小  $4 \times 10^{-8}$  的大气称为“标准大气”。

对流层的折射系数随高度改变的规律常常和直线规律相差甚远。时常是折射系数最初随高度降低，然后从某一水平开始增长，以后又重新降低。有时折射系数从地面到数十米的高度内增长，以后开始减小。大气在垂直方向上的不均匀性使电波途径弯曲，也就是折射。因而各种气象条件和天气的改变都影响超短波传播的规律。

对流层在水平方向也不均匀。其中有地区性不均匀，出现原因是空气在大气中的涡流运动，即涡流。地球表面各个地段受热不同。因此对流层内出现向上流或向下流的空气流，在某些地段空气密度呈现或大或小。因而在大气层内的某些地点，折射系数显著地不同于平均值。对流层的容积不均匀性对超短波传播有很大影响，引起无线电波的散射。

无线电波的能量还因为空气中含有的水滴和冰块而散射。因此可以用厘米波雷达察觉下雨地区以及乌云。这样得到的情报用来决定乌云和大风暴的动向，并在导航中应用。

空气的导电率很小，因此在对流层内传播长于 30 厘米的无线电波实际上不受吸收。更短的电波在水滴中被吸收。高超率无线电波

的电場在水滴中感应出位移电流，由于水的导电率而引起損失，即无綫电波被吸收。厘米波和毫米波作用在气体分子上而发生选择性吸收。例如，1.3 厘米的电波被水蒸汽吸收，0.5 厘米的电波被空气中的氧分子吸收。

## 电 离 层

不久以前認為电离层对超短波传播沒有多大影响。但是，最近几年进行的研究証明电离层的影响使得能利用米波进行正常的超远距离通信。

简单地講講对超短波传播是很重要的电离层特性。电离层最重要的特性是在这个区域内，大气中的气体电离。电离过程是在紫外綫和太阳飞出的粒子的作用下，气体的中性原子和分子分裂为正离子和負电子。

电离程度以电子密度，即每一立方厘米气体中的电子数量来表示。气体中存在自由电子使介电常数改变，因而使它的折射特性改变。除此以外，在电子密度相同时，不同频率的电波曲折也不同。电离气体的折射系数由下列简单公式求出：

$$n = 1 - 80.8 \cdot 10^{-6} \frac{N}{f^2}, \quad (8)$$

其中  $N$  是 1 立方厘米气体中电子数量；

$f$  是工作频率，兆赫。

从公式可見，电离气体的折射系数永远小于 1，因而小于空气的折射系数。

电子密度按电离层的高度变化，因而电离层是不均匀介質。同时电子密度不是均匀地变化，而有几个最大值，称为层。有四个經常的层：D 层高 60—80 公里，E 层高 100—120 公里， $F_1$  层高 200—250 公里， $F_2$  层高 300—400 公里(图 5)。

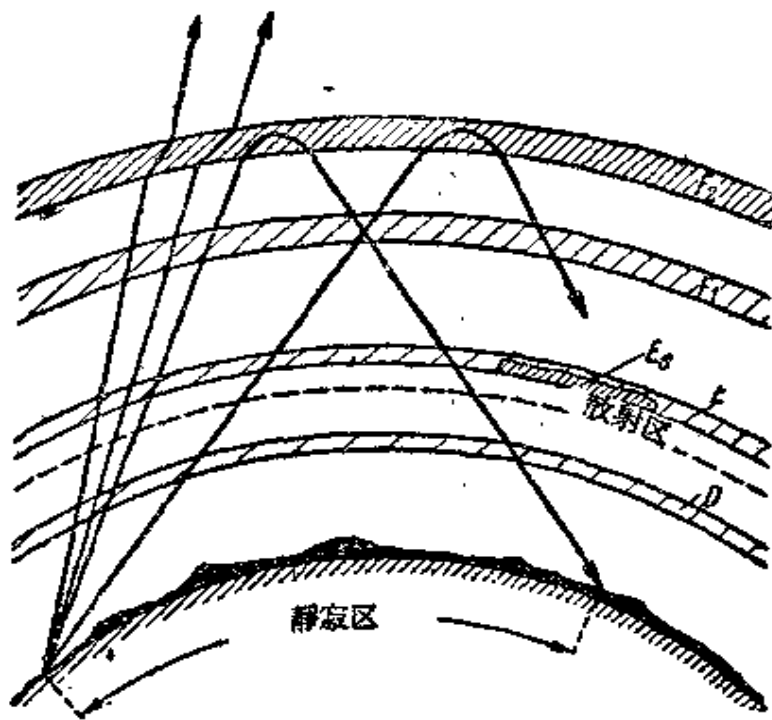


图5 电离层的分布图和静寂区的形成

較高层的电子密度較大。电子密度随太阳的高度变化，因而也随昼夜和季度变化。最大密度出现在中午和夏季(F<sub>2</sub>层例外)。F<sub>2</sub>层在冬季中午有最大密度。此外，各层的电子密度，特别是F<sub>2</sub>层的电子密度，随着太阳活动性的周期逐年变化。許多年的观测

证明，这是因为：太阳的活动性在周期地变化，同时这一周期约为11年。从最古老的时代起，天文学家就观测到太阳表面上出现黑色物体，称为“太阳黑子”，这种黑子长期以来用作太阳活动性的标准。较后时期查明，太阳黑子所占面积越大，太阳的紫外线发射就越强，因而电离能力也越强。这样一来，当太阳黑子数目大的年代(太阳活动性最强的年代)电离层的离子密度显著增加。

电离层中除了经常层之外，有时在高90—110公里处形成不经常层E<sub>s</sub>。不经常层是电子密度比周围同一高度的介质中的电子密度大很多的电离气体的积聚。这一层在不大的区域内出现(约100×100公里)，并可能受电离层中某一方向的风的作用而移动。移动速度约为150—250公里/小时。

不经常层常在南纬地区在夏季的日間出现。例如，在赤道地带，它差不多在日間所有時間內都有，而在中纬地区，它在夏季日間的



50—70% 時間內有，即每月有 15—20 天。不經常層有時存在幾小時，而有時僅幾分鐘。在中緯地區冬季很少出現  $E_s$  層。

$E_s$  層日間出現頻率隨晝夜（夏季月份里）和月份的變化示于圖 6。

不經常層的出現頻率和電子密度與太陽活動性的 11 年周期無關。不經常層形成的原因還未確定，因此不能預言它出現的時候和存在的時間。這電離層對超短波的超遠距離傳播起很重要的作用。

無線電波從電離層反射。電離層是折射系數隨高度減少的不均勻介質。在這種情況下可能有全反射現象。這時對較長電波的反射需要較小的電子密度。對於電子密度一定的電離層，有一個臨界頻率，比這一頻率高的電波不再反射，而是折射地穿過電離層。此外，對這一頻率還有一個臨界射線仰角，也就是在這一電子密度和頻率下，電波只能反射到傳送距離不近於某一稱為“寂靜區”的最小距離之外（見圖 5）。

最近確定，電離層按結構來講是不均勻的。它好像是電離氣體雲層的堆積。有些地方氣體的電子密度大，有些地方小。這些雲層的尺寸以 50—100 米計。因此只有在短波和米波上才能發現它們。電離氣體雲層不斷形成和分散，並處於亂動狀態。這種不均勻層最

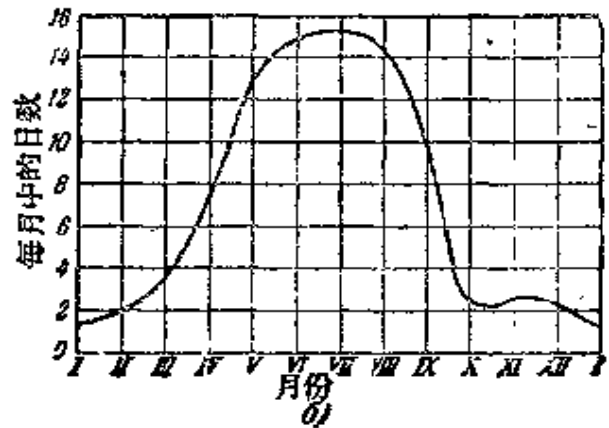
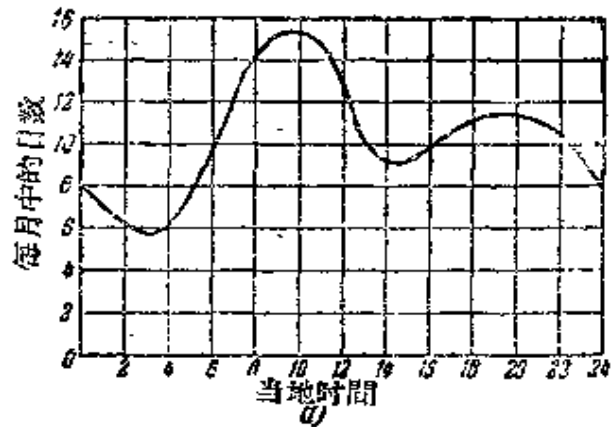


圖 6 每月內  $E_s$  層出現的日數（在中緯地區）  
a——與晝夜時間的關係（夏季）  
b——與全年時間的關係（日間）

显明出现在 70—80 公里高度上。

无线电波由于电离层不均匀性的散射，大致和由于地面不平坦而产生的散射一样。这时散射朝向各个方向，但主要是朝向电波原先运动的方向。

电离层的不均匀结构还很少研究。现在在这方面进行工作有很大的实际意义。利用电离层不均匀性的散射现象给采用超短波开辟了新的广泛的可能性。

流星陨入大气层时也产生短时间的电离现象。相对于地球具有很大速度的流星 (13—70 公里/秒) 钻入地面大气层，与空气的分子相碰撞。碰撞的结果产生空气电离。

当流星在地面大气层中运动时，它后面形成电离空气的柱形痕迹。几克重的流星就已经能形成显著的电离。电离痕迹是长达几十公里的圆柱。最初圆柱直径不大，随后，它开始扩散，直径增大而电离密度减小。当电离密度足够高时，电离柱的直径可达几十和几百米。

雷达装备观测到的流星可以比有经验的人用肉眼观测多约 100 倍。同时观测流星不仅可以在夜里，也可以在白天，甚至于在阴天。

在极光地带也可以反射米波。

极光是太阳活动区喷出的微粒使大气电离的结果。极光产生在地面上 80—90 到 1,000 公里的高度上。

## 第 三 章

### 超短波在视平线范围内的传播

最近以前，超短波还只在较短距离——直视范围内应用。在直视范围以外，超短波的场强急剧地降低，因为在这个波段中，绕射

現象显著地弱于較长的电波，而几乎是成直綫地传播。为了增加超短波传播的距离，可以将天綫提高。設已知接收天綫和发送天綫的高度，很容易利用简单的几何概念求得直視距离。

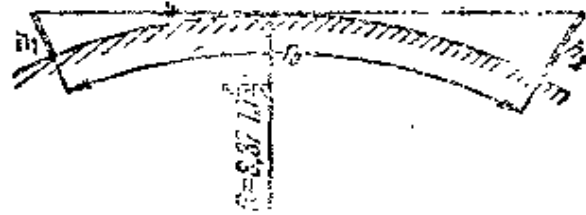


图7 直視距离的确定

不考虑反射，直視距离(公里)可按下式計算

$$r_0 = \sqrt{2R} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) = 3.57 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}), \quad (9)$$

式中  $R$  是地球的半径 ( $6.37 \cdot 10^6$  米)；

$h_1$  是发送天綫的高度，米；

$h_2$  是接收天綫的高度，米。

实际上， $r_0$  約为 10—50 公里。

### 远小于直視距离的距离

在超短波領域內最初的試驗，目的在于查明超短波在直視距离內的开曠地区作短距离传播的条件；这时地球表面可以認為是平坦的，在电波传播途径上沒有山、高大建筑物和其他障碍。

1922年，B. A. 符維堅斯基首先对如何計算超短波場强以及場强与什么有关等問題作了回答。最初的試驗是用波长为 3.8 米的电波在几十米的距离內进行的。B. A. 符維堅斯基証明，在短距离內，任何一点的場强是由两个电波相加而成：直射波和从地面反射的

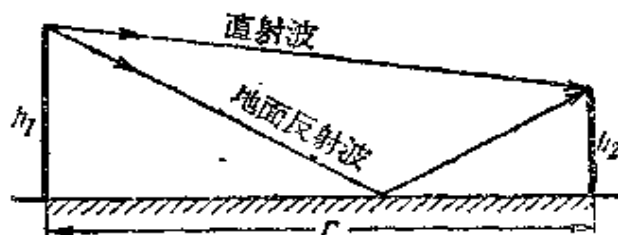


图8 超短波在短距离內的传播

波。甚至在采用銳方向性天綫时，仍有从地面反射的电波(图8)。

按照直射波和反射波途径长度的差别，总場强可能大于或小于每一个場强分

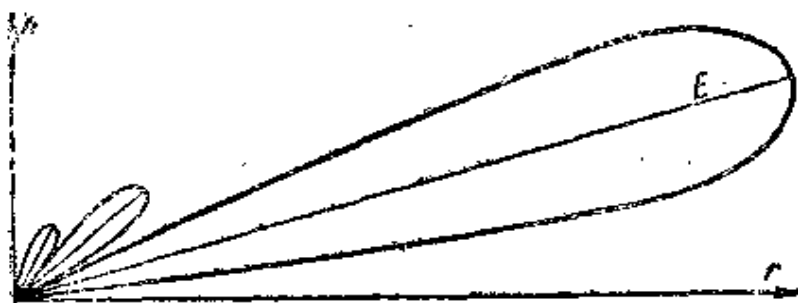


图9 直接波与反射波相干涉而得到的方向性图形

量。当天线高度比路由长度小得多时（这种情况实际上一般是存在的），电波的相位经地面反射改变  $180^\circ$ 。这样一来，如果直射波

与反射波的途径差很小（小于半波长）或者是波长的整倍数，场强则相减。如果途径差是半波长的奇数倍，则场强相加。

这时电场具有干涉性质。随距离的增加或地面上高度的增加，场强减弱并不均匀，而是忽而增大忽而减小。结果，在垂直平面上的方向特性是多瓣形的（图9）。

从图9可知，如果接收天线高过第一个瓣的最大发射水平时，场强开始随天线在地面上升高而减小。天线高过  $h_{2\text{max}}$  是不合理的，

$$h_{2\text{max}} = \frac{\lambda}{4} \cdot \frac{r}{h_1} \quad (10)$$

当接收天线位置不太高，即是在干涉方向图第一个瓣的下部时，为了计算这种情况下的超短波场强，B. A. 符维斯基提出简单公式，它被称为反射公式：

$$E = \frac{2.18 \sqrt{PD} h_1 h_2}{r^2 \lambda} \quad (11)$$

其中  $E$  是接收点场强的实值，毫伏/米；

$P$  是天线发送功率，千瓦；

$D$  是与无方向发射体比较的天线方向系数（无量纲）；

$h_1$  和  $h_2$  是发送天线和接收天线的高度，米；

$r$  是沿地面的距离，公里；

$\lambda$  是工作波长，米。

公式(11)是計算超短波通信綫路和布置广播电台的主要公式。它給出場强与波长,天綫高度和距离的明显关系。由这一公式可見,为了增大場强應該提高接收天綫和发送天綫的高度。波长愈短場强愈大。随着距离的增加,場强按平方律减小。

必須指出,只有天綫足够高的时候,公式(11)才正确。很容易看到,当一个天綫在地平面上,也就是  $h_1$  或  $h_2$  等于零时,場强等于零,这与实际不符。在这种情况下公式(11)不能采用。

天綫非常高时,这公式也不能采用。采用条件仅限于

$$h_2 \leq \frac{r\lambda}{18h_1} \quad (12)$$

曾經沿电波传播的途径測量場强,以試驗公式(11)的正确性。图10給出測量場强的結果与計算曲綫的比較。測試是用7.25米的波长在平坦地面上进行的。发送天綫和接收天綫的高度各为29和3.1米。測試結果用小圓圈表示。直綫表示按公式(11)計算的結果。可以看到試驗和計算之間的差別不大。

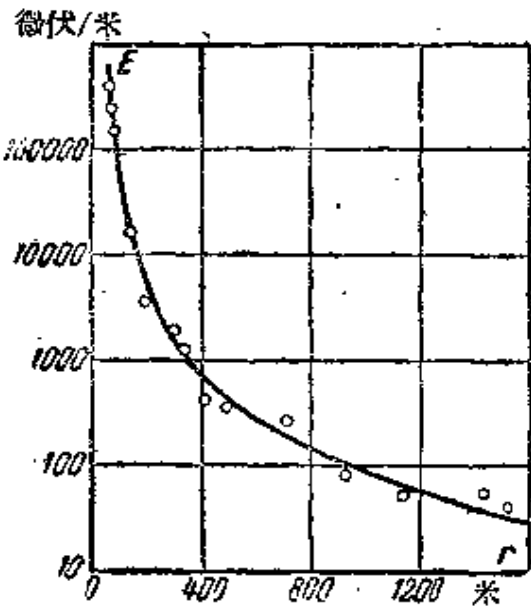


图10 平坦地面上測得的場强与計算結果的比較

### 接近于直視距离的距离

距离增加时就不能忽略地球表面曲率的影响。图11繪出超短波在必須考虑地球球面时的传播。

从图上可以看到,如果在电波从地面上的反射点划一平面与地球相切,天綫高度不从地面算起,而从这一平面算起,則得到与視地球为平面时一样的电波传播图。射綫行程差的求法与以前一样。

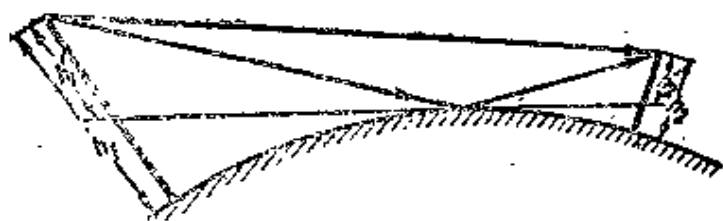


图 11 超短波在需要考虑地球球面的距离上传播

这时公式(11)中要用所谓的折算天线高度  $h_1'$  和  $h_2'$  来代替实际天线高度  $h_1$  和  $h_2$ ,  $h_1'$  和  $h_2'$  等于天线悬挂处和反射点与地球表面相切的平面之间的距离。折算高度(米)用几何方法计算。

当按公式(11)计算场强时,假设射线是直线行进的。实际上受折射的影响,射线成为曲线,这就使得计算直射射线与反射射线的行程差困难了。

由于这一公式简单明了,实际经验又证明它的可用性,因而在公式中附加一些对折射影响的考虑,而不改变公式本身是合理的。

图 12 绘出地球的球形表面和它上边的天线。电波沿一曲线传播,在接收点距地面为  $ab$ 。假定电波不是按曲线而是按直线传播。为了能在接收点达到同一高度,应该改变地球的半径,也就是用等效地球半径代替实际地球半径。

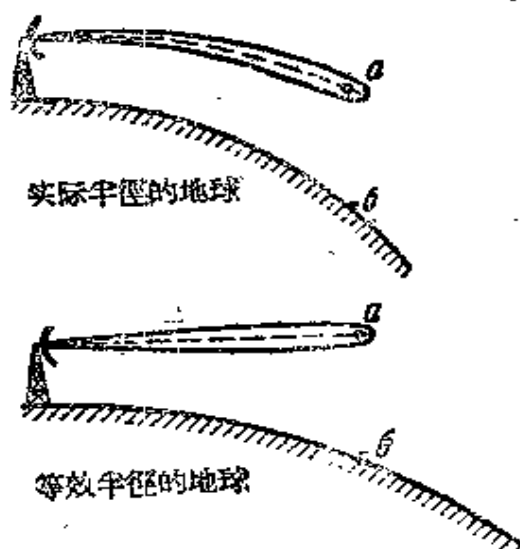


图 12 用等效地球半径代替实际地球半径的方法来考虑折射的影响

用几何概念可以求出射线轨迹的曲率和等效地球半径的关系。轨迹的曲率决定于大气折射系数每提高单位高度时改变多少。因此等效地球半径  $R'$  也决定于大气折射系数随高度的变化。

如果在大气中射线轨迹的凸部上,则等效地球半径大于实际半径。地球半径的增大可用系数  $k$  加以考虑:

$$k = \frac{R'}{R} \tag{13}$$

系数  $k$  与大气折射系数的关系如下：

$$k = \frac{1}{1 - 6.37 \cdot 10^8 \Delta n} \quad (14)$$

其中  $\Delta n$  是每升高一米时大气折射系数的变化。

等效半径的概念不仅在折射系数按高度成线性变化时采用；这时  $\Delta n$  与所研究的高度无关，也就是  $\Delta n$  对所有高度都是常数。甚至在折射系数变化规律不成线性时，等效地球半径仍能给出平均值，并且实际用起来是成功的。

公式(11)中地面曲率半径的增加由折算天线高度的变化加以考虑。这时从图 11 可见，折算高度增大，接收点的场强也因而增大。当标准大气折射时， $\Delta n = 4 \cdot 10^{-8}$  米，等效半径为实际半径的  $\frac{4}{3}$  倍。只要专门测量没有表明大气折射系数随高度的变化是另一个样子，通常就采用这个  $k$  值来计算。

实际上可以观测到在接近于直视距离的距离上场强增大。按上述的方式考虑了折射就与实验数据相符合。

观测超短波的传播表明在接收点的场强不固定。场强按季度、昼夜和逐日变化。除这种长期变动外，还观测到在几秒钟或几分钟之内的迅速变动。这些变动称为衰落。

场强的缓慢变动是由气象条件改变引起的。折射条件，射线轨迹的曲率，从而直射波和反射波的相位差都改变了。迅速变动是由大气折射特性的起伏引起的。在对流层中局部晒热和运动的作用下，大气的折射特性不断变化——起伏。

当在直视界线内传播时，场强很大，变化较弱。主要是观测场强的缓慢变化。为了克服它采用自动增益控制已足够了。

### 地面不平坦的影响

当地面可以当作平坦球形时上述理论公式能和实验很相符。如

果在电波传播途径上有一个显明障碍——山丘或高建筑物，则场强可以按绕射理论计算。

障碍后面的近似绕射场强可按 A. H. 舒金建议的公式计算：

$$E = E_0 F, \quad (15)$$

其中  $E_0$  是按式(5)求出的在自由空间的场强， $F$  是衰落系数，可以用图 13 的曲线求得。

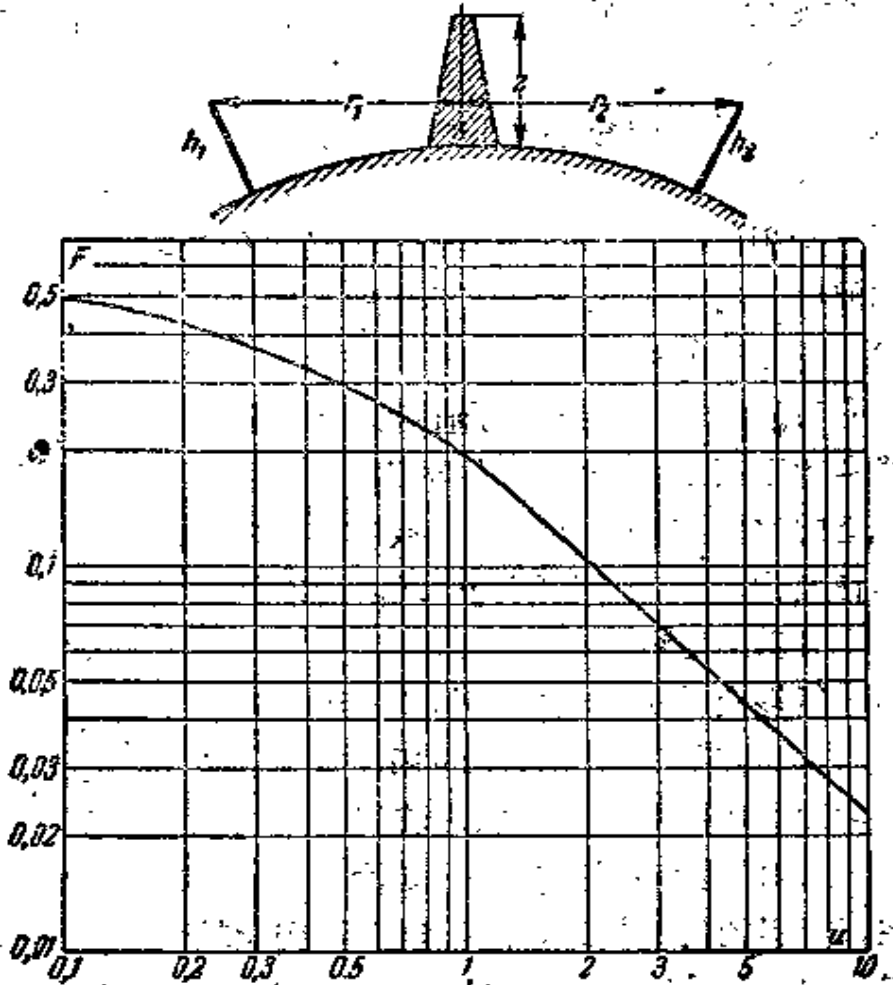


图 13 求障碍后面场强的衰落系数的曲线

参数  $u$  与障碍高度  $Z$ ，从发射机到障碍的距离  $r_1$ 、从障碍到接收机的距离  $r_2$  以及波长  $\lambda$  等有关，



$$u = Z \sqrt{\frac{2(r_1 + r_2)}{r_1 r_2 \lambda}} \quad (16)$$

实际情况中，在电波传播途径上遇到很多障碍，尺寸不同而且也没有严格的几何形状：山丘、树林、建筑物等。这时计算场强实际上不可能考虑所有这些障碍和不平坦性。当设计超短波广播电台或电视台时，理论计算只能是大致判断一下场强在周围地区的分布。精确判定只能在当地测量场强。

为了选择安装发射机的位置和判定场强，用与实用波长相同但功率很小的试验发射机预先进行测试。举例说，在英国曾进行过这种试验。在这些试验中，除了求出该波长在当地的场强分布这一具体结果外，还得到有趣的一般规律。因此我们更详细地介绍一下这些试验。

测量用约为 2 和 0.5 米的波长进行（频率 102.6 和 593.6 兆周）。发射机功率约 100 瓦。曾在发射机周围的 70 公里之内，在几个方向上每隔 8 公里进行一次测量。测量结果与所选择的接收天线的位置有很大关系。如果天线在开阔地区，个别测试的偏差约为 2—3 分贝。在高大树林内，场强的偶然偏差达到 20 分贝。而且在更短的波长上，偏差的数值更大。

场强与地形剖面有显著关系。图 14 画出了进行测试的方向上的地形剖面，图上还标出所测的场强值。在路由起始处，地形平坦，场强均匀减弱。以后地形增高一直到山丘。在这一段路由上，场强随着与发射机的距离增大而增大。在山丘后面场强急剧地下降。这是阴影区。以后地形又平滑了。值得注意的是在这一段路由上，场强不随距离的增加而减小，差不多在 20 公里范围内场强保持为常数。各种现象是因为山丘顶点正可当做一个天然转播器。在山丘后面的地面上到达两条射线：一条直接从山丘顶点传来，一条来自山丘与接收机之间地面的反射。当直射线和反射线的相位关系

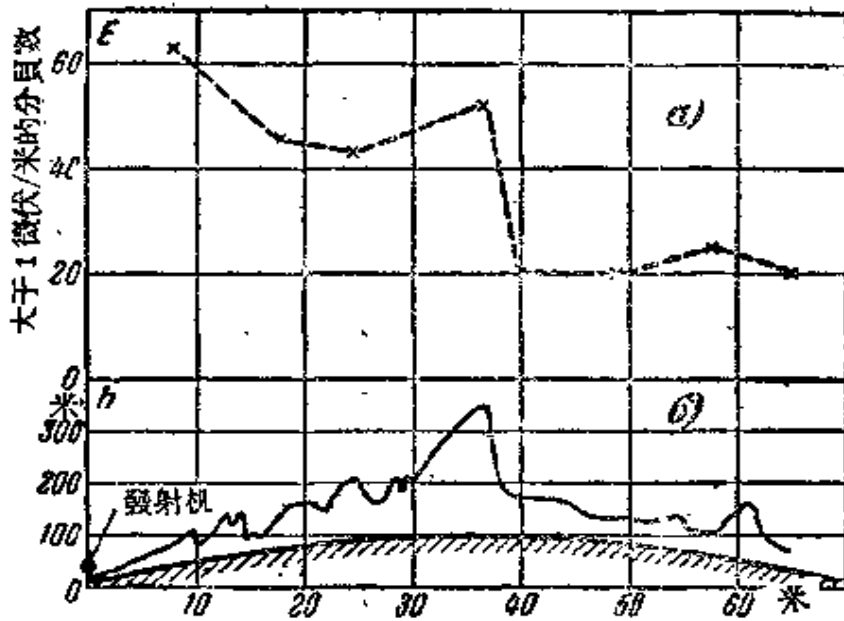


图 14 在不平滑地区测量频率 593.6 兆赫的电波场强的结果  
a——场强；b——路由断面。

适当时，场强增大，这时就使场强随距离的减小得到补偿。

还观测到在路由的某些线段上，障碍后面的场强随距离增加而增大。

测试时还发现，当发射方向经过城市的稠密建筑时，场强一般低于其他方向上同样距离的地方。这种情况在 0.5 米波长时特别显著。差别达到 15—20 分贝。

当地球表面不平坦，或者天线在稠密建筑区域时，产生一个问题，就是在计算场强时从什么水平计算天线高度。

从式(11)可见，场强的计算值与天线高度怎样选择很有关系。这总是必须确定的。有时正是因为天线高度决定得不正确，可能会发生误差。有些研究者假设，在断绝地区，应该以天线外围 3—10 公里的平均水平之上的高度做为天线高度。另一些研究者认为，采用天线的实际高度更正确。

图 15 列出計算曲綫与从实驗得到的点的比較。在 3 米波长时測量值与計算值差不到 6 分貝。在 0.5 米波长时差別很大，达到 20—30 分貝。图上画的是按所有方向平均的数值，这样就避免了該路由特征的影响。进行的測試說明，頻率愈高，則实驗与計算的差別愈大，測得的場强比計算值愈低。其他研究者也得到同样的結果。

許多次觀測的結果得到一个經驗公式，用它可以計算出对地面不均匀性的校正。場强的理論数值和經驗数值之間的差，随頻率提高而按正比增加。粗略地講，距离在直視范围以內时，这种增长与距发射机的距离和天綫高度无关。根据这些經驗数字，可利用內插法得到頻帶在 50 到 1,000 兆赫时在漸絕地带求場强平均值的公式：

$$20 \lg E/E_0 = 37 - 20 \lg f, \quad (17)$$

其中  $E_0$  是对平坦地面計算的場强；

$f$  是頻率，兆赫。

平坦地面的場强随波长減短而增大。这是从式 (11) 得出的結論。实际情况是有不平坦性，这使得場强的增大被抵消了，場强几乎与頻率无关。

在高山地区，即或考虑了校正，計算仍只能很粗略的給出实际值的近似值。常常很难判断接收情况很弱而且不可靠的地方。为了

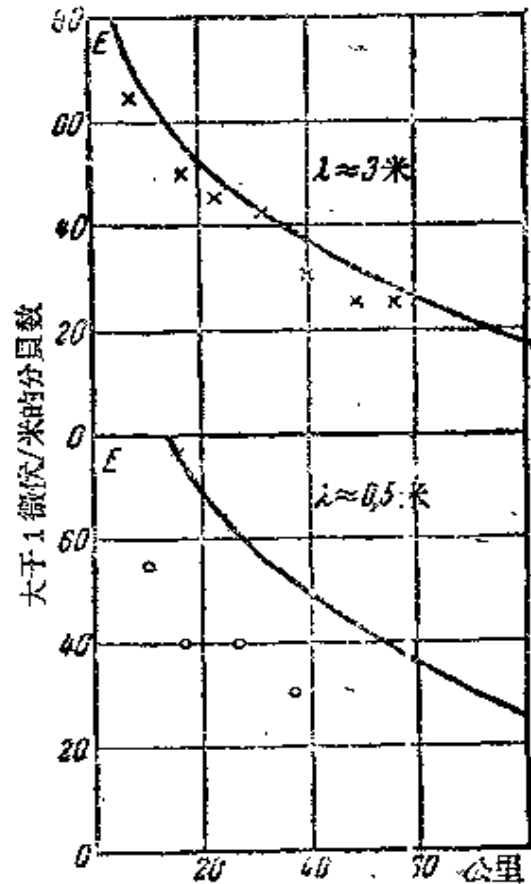


图 15 場强計算值与在不平坦地区的測量值的比較

查明这些地方,并选择放置发射天线的最好地方,可采用下述方法。

准备好带有所有高点和不平程度的地形起伏模型。在预备放置发射天线的地方放一个小灯。光在地形图上的强度就表示该地方的超短波场强。如果用同一比例照下地形模型和地形图,然后将负片重叠起来,再印出正张,就得到场强的分布图。移动小灯(发射机)就能选择最适宜放置发射天线的地方。这种方法曾经在格拉蚩(澳大利亚)选择设置超短波广播电台的地方时采用。

有时需要在丘陵地区安排通信,或是希望进行电视接收,这时接收点处在山丘后边的阴影区内。场强可能不足以进行接收。为了能够接收,一般可以采用下述的任一方法。

在山丘朝向发射机的方向的斜面上靠近顶点的地方,设置接收天线(图 16, a)。接收天线上的信号送到前置放大器,然后沿电缆送到功率放大器和朝向接收点的发射天线。技术困难在于,当大功率发射机工作于接收机调谐的波长时,需要消除发射天线和接收天线之间的回授。为了消除回授,将发射天线移开,离接收天线几十米,并分别放在山丘的两边。在这种情况下,需要电源和经常维护。但

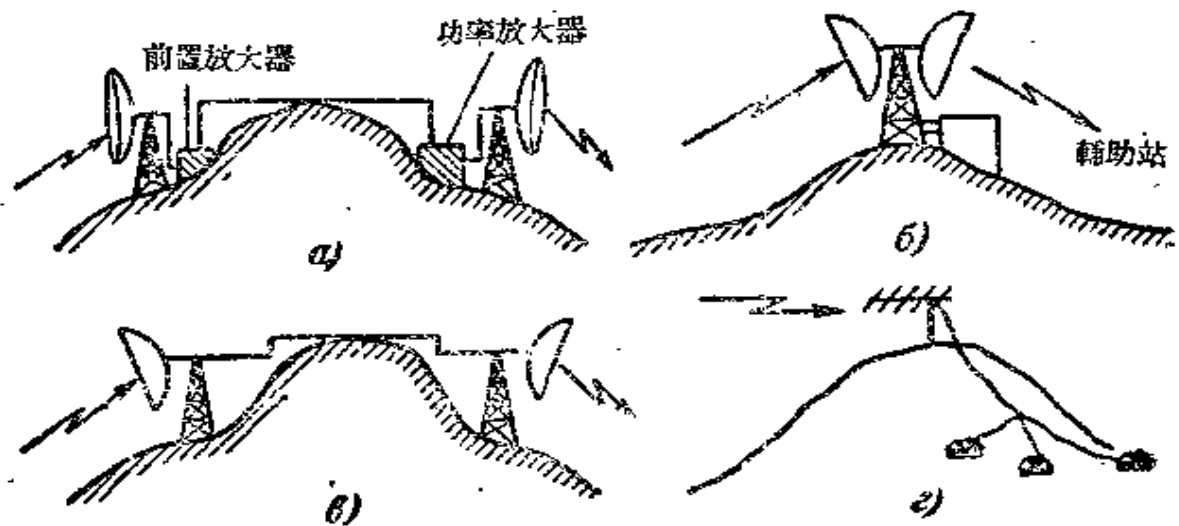


图 16 在阴影区接收超短波的方法

这一方法总算相当简单和经济。这种系统只能转播一种节目。

可以用工作波长不同于主站的辅助发射机(图 16, 6)。这时消除了回授的危险。接收天线和发送天线不需要分开很远。从接收天线来的信号在接收机内放大和解调, 然后调制辅助发射机。设备比较复杂, 需要电源和经常维护。这种系统也只能同时转播一种节目。要接收另一种节目必须重新调整接收机。

最简单的办法是采用无源转发器(图 16, 6)。在发射机直视范围内的山丘顶上放置一个增益系数很大的天线。信号从接收天线直接馈送到处于接收点的直视范围内的发射天线去。这种方法只能在有足够强的信号时使用, 并且只能在发射机到转发器的距离远大于转发器到接收机时使用。无源转发器有一系列的优点。它不需要电源, 简单经济而不要经常维护。最大的优点是它能同时转播几个节目。

为了在山丘后边距离山丘顶点不远的村镇接收电视, 采用公共天线是合理的(图 16, 6)。信号从天线送到前置放大器, 然后沿馈线送到村镇里去。为了各个接收机之间的去耦而设置阴极输出器。

当设计超短波站时, 必须知道市内的场强是怎样的。大城市是很断绝的地形。接收点可能从各种房舍和建筑物收到反射波。甚至在发射天线和接收天线之间是直视线时, 在接收点的场强仍带有很复杂的特征, 城市中场强的特征不仅是逐点不同, 而且由于运输车辆(无轨电车, 公共汽车)的反射而随时间变化。当车辆移动时不平坦性的分布变化, 场强也变化。常常观测到, 当接收天线不高时(一、二层楼), 收到的不是直接信号, 而是附近高建筑物的反射信号。

住宅内场强的结构更复杂。要得到最佳接收, 室内天线的位置远不是朝向电视中心。天线在室内移动几米, 常常使接收条件改变。显然, 在这样复杂的场强情况, 以及这样大量影响场强的因素之下, 不可能给出计算场强的准确公式。若要判定场强的近似平均值, 可以用根据大量实验数据得到的经验公式。试验表明, 在大城市一般

可以用式(11)，但所求結果應乘以小于1的係數。這一係數在0.25—0.4範圍內變動。這時天綫的高度應從地面算起。即使如此仍然是只能得到場強的粗略近似值。

## 第 四 章

### 超短波的对流层传播

增加发射机的功率和提高接收机的灵敏度，使得在直視距离以外有可能接收到超短波。理論証明，在这种距离下呈現不大的場強，可以用超短波的繞射來說明。但是，观测到的場強，远远超过按繞射規律計算出的电平。事实上，場強增大是由于对流层中所发生的过程而产生的。

使超短波在对流层中远程传播的主要因素是无綫电波折射度的提高、对流层不均匀层的反射和对流层中不均匀渦流的散射。这些因素大部分同时起作用，很难区分他們的影响。

#### 繞 射

当障碍很少或与波长可比时，繞射起着重要作用。地球曲率是无綫电波传播的障碍，同时是尺寸很大的障碍。因此超短波圍繞地面突出部分的繞射很差，但毕竟是能靠繞射传播到直視范围之外的阴影区的。严格解决求繞射場強的問題非常复杂。这个解是苏联学者 B. A. 福克求得的。但是这时求得的公式对工程計算來講很繁杂。

按 B. A. 符維堅斯基建議的簡易繞射公式計算，与实验很相符。在繞射範圍內接收點的場強，和在直視範圍里一樣，也隨发射天綫和接收天綫的加高而增加。当波长縮短时，場強很快地减少。

图17表示波长为7米到7毫米时的场强与距离的关系的计算图。假定发射天线和接收天线高100米。这时直视范围为71公里。场强以对数尺度的相对单位表示。用这种比例，场强与距离的关系

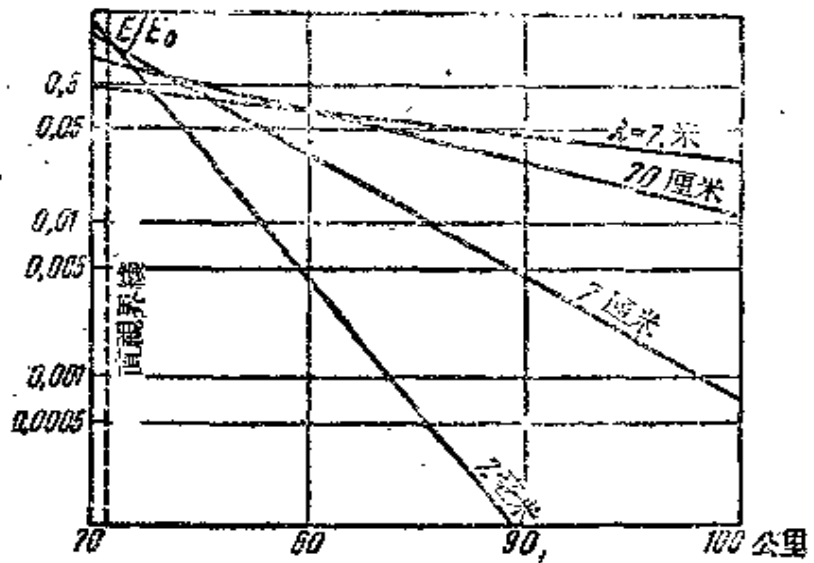


图17 在直视范围之外的绕射场强

是线性的。波长越短则直线斜率越陡，也就是说，水平线后面的场强随波长缩短而急剧降低。

最近几年，曾发表关于在被高山屏障的路由上接收公尺波的数据，而且这路由的长度也超过了直视范围。这些数据表明，山后的

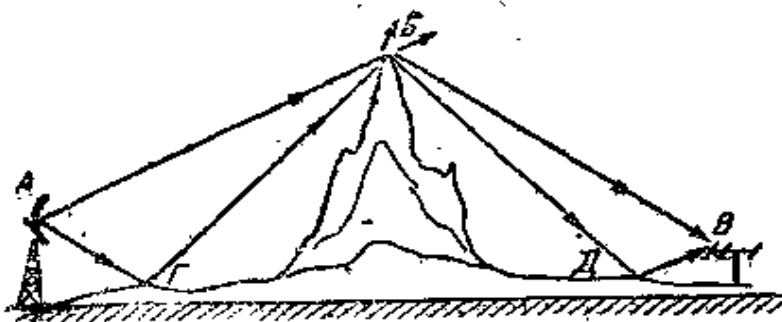


图18 高山对超短波传播的影响

场强有些时候不是减小，而是随距离增加而增大。山顶好象是一个收发天线。接收点的场强由沿途经 ABB、AGBB、ABDB 和 AGBDB 传播的四个电

波的总和表示，他们的幅度和相位与路由的几何图形和地面反射系数有关。

在克罗拉多城(美国)进行建设转播线路的实验时明显地观测到场强增加的现象，在几条路由上进行了测量，每一条约长150公里。其中一个经过陡峭山脉的路由，跨过高约4,000米的巴卡山峰。在

这路由上接收点的場强显著地超过其他路由的場强。除此之外，接收情况非常稳定，差不多看不到通常由于气象条件变化引起的衰落，这是在大气較高的稳定层中传播的緣故。

### 折射和大气波导的产生

正如以前所述，在大气折射的影响下，电波的軌迹从直綫变为曲綫。这时在正常折射的情况下，电波在地面上同一高度上可以传播較大距离。这样一来，天綫高度一样，而直視距离增加了。

当正常折射， $k = \frac{4}{3}$ 时，直視距离为

$$r_0 = \sqrt{2Rh} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \approx 4.12 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}), \quad (18)$$

单位为公里，也就是說，在折射的影响下，直視距离增大 8% [与式(9)比較]。

为了在計算直視范围以外的場强时考虑折射的影响，將繞射公式中的地球实际半径用等效半径代替，等效半径和大气的状态有关。

这一假定是用实验方法验证的。1954年在西德进行了超短波在阴影区传播的专门观测。观测在长 76 公里的路由上进行。实验采用了工作频率为 68 兆赫、功率为 180 瓦的调幅发射机和灵敏度为 10 微伏的接收机。发射天綫高 90 米，接收天綫高 30 米。

测量場强的同时，在路由中部放出无线电探测仪（用小气球升到高空的仪器，它能自动經无线电用专用电碼报导大气状态：压力、湿度和温度。按照从无线电探测仪得到的情报，計算大气折射系数和等效地球半径。把計算得到的場强值与实测值比較，并用来檢驗繞射公式的可用程度。

这一测量进行了四年，前两年观测沒有得到一定結果，时而很符合，时而很不好。原因在于最初选择的路由离进行观测大气状态



的气象站 90 公里。后两年改变了路由，使气象站位于路由的中部。这时计算与测量开始很符合。

这些实验说明，在直视范围外绕射区内的场强与大气状态有很大关系。

应当指出，在场强比直视区小的绕射区，大气折射的影响要强一些。大气折射的影响所引起的场强变化，和直视范围内的场强相比是很小的，但和弱绕射场相比则是很大的。

有时在对流层中形成使折射系数随高度的变化不通常的条件。例如，当太阳落山后，地球表面迅速冷却，下层空气也冷却，而上层空气仍然保持温热。这表明，这时空气的温度不是随高度的增加而减小，而是增加，随着高度的增加，折射系数比正常折射时更急剧地减小。

常在水面上观测到大气折射系数随高度急剧减小，这是因为靠近水面的空气湿度很大，并且随高度增加而急剧减少。也有相反的现象：风从海洋上空带来冷空气，而靠近地面空气仍是热的。这时温度随高度减小比通常要快，而折射系数随高度减小则比通常要慢，甚至于是增加。

当大气折射系数变化规律与标准情况不一致时，射

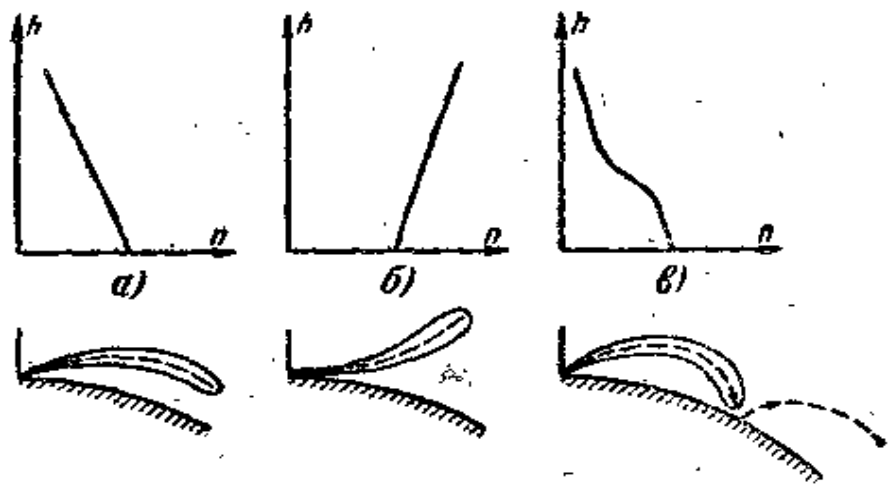


图 19 大气折射的各种情况

a——正常折射； b——负折射；  
c——正折射(大气波导)。

线曲率也改变。图 19 表示在折射系数随高度改变的各种形式下，射

射線軌跡曲率的改變。

圖 19, a 是大气正常折射的情況。這時每升高 100 米，折射係數改變  $4 \times 10^{-6}$ 。電波軌跡是半徑為 25000 公里的圓弧，凸出部朝上。

圖 19, b 是所謂大气負折射的情況，這時折射係數隨高度而增加。射線軌跡的凸出部朝下，電波移離地面的程度比正常折射時快。這使得在同一距離時的場強減小，因而減小超短波的傳播距離。如果在正常折射時能在某一直視界綫處進行接收，當出現負折射時，接收不可能了，通信也中斷了。

圖 19, c 是大气正折射的情況，這時曲折係數隨高度減小比正常折射時快。電波軌跡的凸出部朝上，而曲率半徑則較少。如果每升高 100 米折射係數改變大於  $16 \times 10^{-6}$ ，則射線軌跡彎曲，使電波有可能回到地面。在正折射時與發射機距離相等處的場強增大，因而增加電波傳播的距離。

電波正折射通常在夜間土壤冷卻時的反旋風天氣下發生，時常在每年的熱天發生。

大氣的折射特性變化比較慢，因此，由於折射而增高的場強足夠穩定，沒有很大的衰落。正折射現象說明了在 200 公里左右的距離接收電視的可能性。

當正折射的範圍在地面上延伸很長距離時，有可能在距發射機很遠的地方接收到超短波。這時超短波是以下述方式傳播的：回到地球的射線被地面反射，然後在大气層中重新折射，再回到地球上。電波在大气和地面的連續反射下傳播出去。

這個現象和電波在金屬波導管中的傳播相似，因而稱為“大气波導”。但與金屬波導管不同的是大气波導的壁是半限制的。只有部分電波能量从大气中反射，另一部分折射過去，而接收不到。

在同樣的反射條件下，較短電波的反射比較好，穿過大气波導

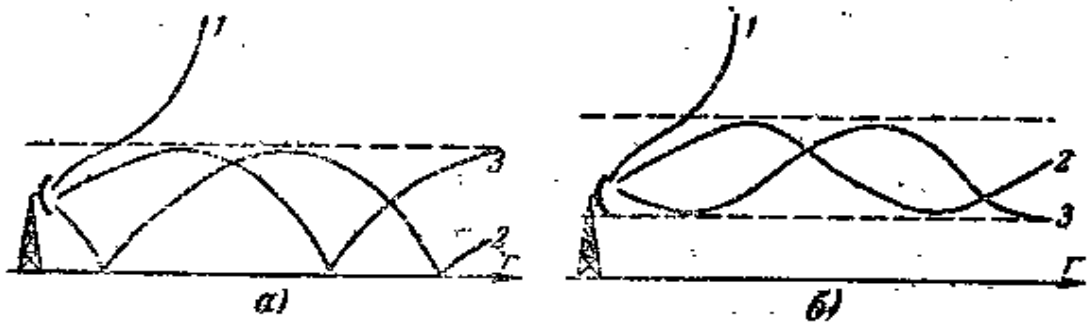


图 20 在大气波导条件下超短波的传播

a——近地波导      b——悬空波导

“管壁”散播出去的也比较少。一定高度的大气波导和金属波导一样也有极限波长，长过极限波长的电波在波导中很快的衰落而不能传播。因此在大气波导的条件下传播的电波常常是分米波和厘米波，有时也有米波。

天气波导的尺寸应该超过波长很多倍。例如，厘米波需要高 30——85 米的波导。

图 20 表示超短波在大气波导条件下的传播。

图 20, a 相当于所谓“近地波导”的情况。从地球表面开始，形成正折射的大气条件，只是到一定高度时大气才开始正常。正折射延续的高度就是波导高度。

图 20, b 相当于“悬空波导”的情况。从地面到某一高度时折射正常，然后在某一段落发生正折射（这就是波导）以后又重新正常。大气就起了波导上下管壁的作用。电波在波导的上下空气管壁间反射而在波导中传播。

在波导条件下，只有最倾斜的射线（图 20 中的 2 和 3）从波导壁上反射，而比较陡直的射线（1）穿过管壁面散播出去。如果发射机和接收机都在波导范围里，则可能在很远距离下接收。否则，接收距离甚至会减小。

超短波在波导条件下传播的可能性是苏联学者 П. Е. 克拉斯努

式金在 1948 年确定的。繼續发展大气波导理論的是 B. A. 福克。

曾不止一次的对大气波导对超短波传播的影响进行詳尽研究。例如，德国在最近两年内在长 200——300 公里的路由上对超短波場强进行了不間断的观测。同时詳細地研究了气象条件。利用气球对 200 米高度以下的空气湿度、压力和温度进行测量，这样做可以發現波导的存在。出現波导的情况伴随着場强的大大增加。气象测量是在路由的接收点进行的。

观测到这样一个有趣的現象：由气象测量标示出的波导的出現，有时稍早于場强的增加，有时稍迟于場强的增加。后来弄清楚了这和风向有关系：如果风从发射点吹向接收点，則場强先增加，然后看到出現波导。如果在路由中部进行气象测量，則气象测量的結果准确地与場强改变的时間相重合。

根据气象資料可以給出超短波传播的預測。另一方面，研究大气条件对超短波传播的影响，可以按照传播条件的改变，判断大气的变化，用来进行天气預測。

是不是在所有情况下出現波导都改善通信条件呢？曾經有过在大气波导出現时通信完全破坏的情况。例如，最初在澳大利亚海浜建立雷达設备时，就发现对于海面上目的物的“可見”距离常常增大很多，而同一时候，对于距离比較近的飞机却不能追踪监测。为了研究监测飞机的雷达設备的視界縮小的原因，曾专门进行了观测。飞机在大海方面飞行达 200 公里，有时升高到海平面上 1000 米，有时降低到低空飞行。这时海岸雷达站在 200 兆赫工作，同时进行气象观测，以决定大气折射系数随高度的变化。

图 21 表示这样一次飞行的結果。飞机飞行路綫用实綫画出。在雷达站发现飞机的区域上与接收信号强度成正比的短綫。虛綫画出根据气象测量构成的波导边界。

从图 21 可見，在低于大气波导和大气波导之内，可在 150 公

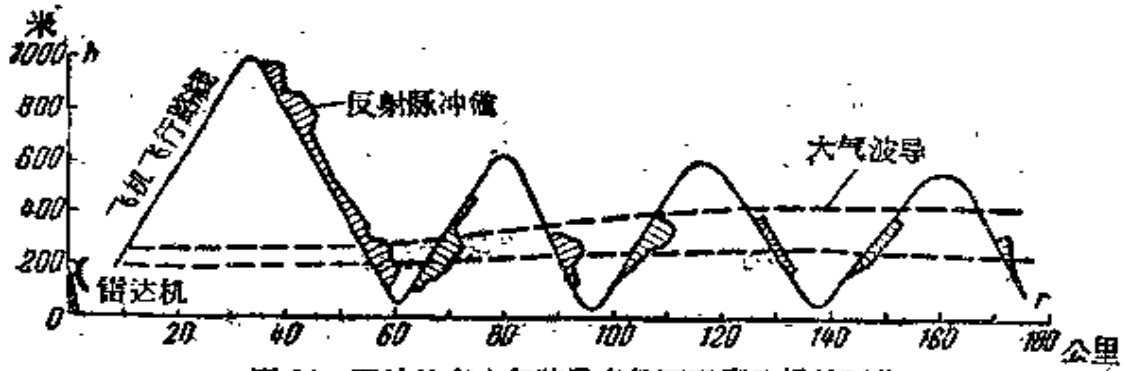


图 21 雷达站在大气波导条件下观测飞机的工作

里以外发现这飞机。当飞机高过大气波导时，雷达站就不能发现它，即使是在很近的距离也不行。路由开始一段是例外，在那里飞机处在半阴影区内，雷达天线发射的部分能量能透射到那里去。

这样一来，有大气波导时飞机雷达站的作用距离大大缩短。克服这一缺点只能或是增大发射功率，或是降低工作频率。当波长加长时，大部分能量能透过波导管壁散播出去，因而它的影响较小。

工作在第二波段和更高频率波段的无线电爱好者的观测，可以得到研究大气波导对电波传播影响的有意义的材料。例如，在西欧，工作于2米波段的无线电爱好者，综合观测结果，得到有价值的实验材料。在晴朗无风的天气下，可以进行远距离业余通信。远距离通信的可能性延长到2—3天，还没有发现过更长的时间。这时可以在600—800公里以内建立通信。有时看起来天气适合于超短波远距离的传播，但却不能通信。

在厘米波波段有时可以进行1,000公里以上的通信。长于5—10米的电波很少有波导传播。

什么时候常能进行对流层超远距离接收？研究人员回答这一问题的意见有分歧。大部分观测说明，这种接收常在无风时间，主要是夏天的下半夜或晚上。但有些观测者发现大气波导出现在冬天或早晨。看来，在不同的路由上和不同的气象条件下，形成大气波导的适宜条件也出现在不同的时间。

显然，在不同的气象条件下，在我们广大国家的各个地区内出现适于远距离传播条件的時間也不一。只有无线电爱好者能够布满全国各个角落，并帮助广泛研究这一有趣现象。

### 对流层不均匀层的反射

在某些情况下，大气中会出现折射系数显著变化的空气层，仿佛是发生“突变”。例如，这种现象在通过冷空气前缘时可以看到。

从空气折射系数(急剧变化)的边界上，能够全部反射落在这边界上的无线电波(图22)。从不均匀层反射的电波能在距发射机达300公里处接收到。

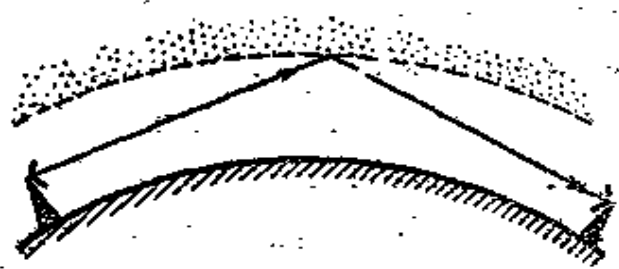


图22 不均匀层的反射

但是不均匀层出现不经常，因而不能用来可靠地远距离接收电视或通信。在接

收点到达几个电波之间的相位差，由于不均匀层的高度和结构的改变而不断变化，因而场强遭受到强烈变动和深度衰落。

接收电视时，当出现不均匀层时，在电视接收机的荧光幕上可能出现多重图象。

### 无线电波在对流层不均匀层的散射

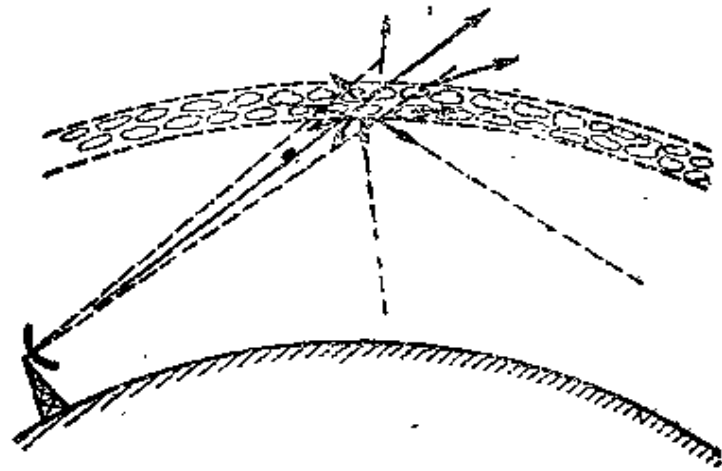
绕射和大气正常折射能说明在稍稍超过直视范围的距离内接收超短波的可能。但最近发现，当采用锐定向天线和高功率发射机时，可在300—500公里距离内实现超短波的正常通信。这种可能性是由于无线电波在对流层不均匀层的散射。

无线电波的散射过程还远没有研究清楚。但可概略介绍如下：落在不均匀层上的无线电波，感应出电流，这和接收天线上所发生的现象的相似。不均匀层自由地变化，并转发电波的能量。

尺寸約 50—60 米的不均匀层在无綫电波散射上起主要作用，也就是說，在远距离通信时，无綫电波散射发生在薄的不均匀层，但它的尺寸仍超过波长許多倍。当无綫电波在水珠中散射时，不均匀层的尺寸小于波长，散射波向各方向均匀传播。

在对流层中所具有的条件下，在与射綫方向成几度角的范围内发生散射。因此，在采用对流层散射通信时，应该用銳定向天綫，設計时使天綫的方向图与地平面相切。随着方向图的对地面的仰角增加，散射信号的場强显著减小。减小的原因也是由于大气上层比較均匀些。

无綫电波在对流层不均匀层的散射简单地示于图 23。从图中可見，在各个距离，一直到由散射区高度所决定的极限距离都能接收到散射信号。显然，电波能量的主要部分穿过散射区，接收不到。仅有小部分能量回到地球，而可以接收到。



• 图 23 超短波在对流层的散射

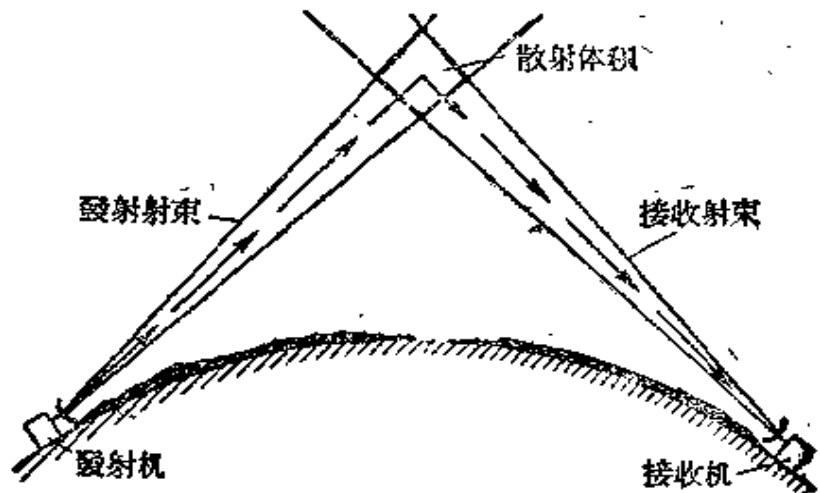


图 24 在对流层利用散射現象进行超短波通信的示意图。

图 24 表示利

用对流层散射的通信线路的工作简图。发射天线向对流层的某一处发射。接收天线射束好象是切下一块对流层，称它为“散射体积”，接收天线从它那里“收集”散射电波。这样一来，接收天线到达的电波不是发射天线那样的点源，而是分布在相当大体积上的容积源。这种容积振荡源的性质在很大程度上决定了通信线路的特性。

从散射容积各个区段到达的振荡相加的结果，使散射信号的场强遭到衰落。衰落频率随风速的加大和电波波长的减短而增加。衰落时间在空间上各个地点都不一样。这就可能采用分集天线接收来克服衰落。两个天线离开 25—100 个波长，并选用两个信号中最大的一个。

由于无线电波有通过几个途径的可能，对流层中的超短波散射在频带宽度上受到一些限制。最短的途径是从散射容积的下层通过，最长的途径是从散射容积的上层通过。因此一个信号落后于另一个信号，引起发送脉冲延长，这等效于频带宽度变窄。但是最近的研究证明，对于电视发射，频带宽度已足够满意。

大量实验证明，散射信号的场强与波长无关。这样就可以利用分米波和厘米波。图 25 画出对各种距离测量超短波场强的结果。用圆圈表示波长为一米的测量值，用小叉表示波长为 10 厘米的测量值。可以看出，在两种情况下，场强电平都在同一范围内。各个点的差别是由于测量时大气条件的变化。曲线表示场强的平均电平。为了进行比

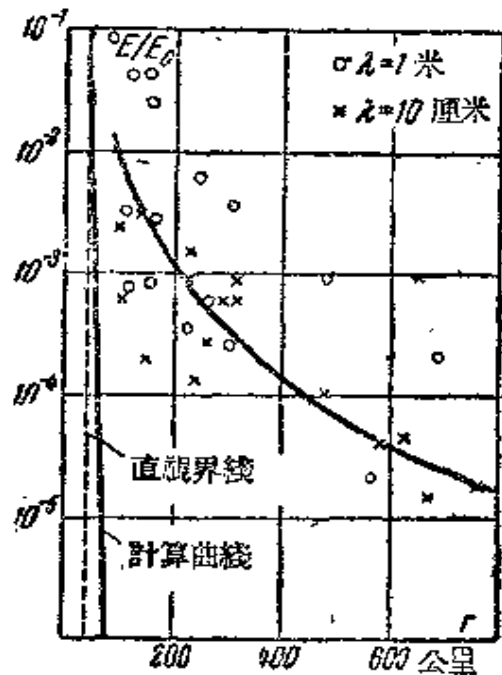


图 25 在对流层散射的超短波场强的测量值



較，这里还画出 10 厘米波长的电波按照繞射規律計算，并且考虑了正常折射时的場强值。計算中与在实验中一样，发射天綫高度采用 36 米，接收天綫用 21 米。图中場强用对数尺度的相对单位表示。

从图 25 可見，超出直視范围愈远，試驗与繞射理論之間的差別愈大，这是因为散射起的作用愈来愈大。

試驗确定，散射信号場强与距离的三四次方成反比减小，而在直視范围内传播时，場强与距离的二次方成反比减小。

場强减小这样快，衰落这样强，因而对机器提出了高的要求。必須采用大功率的发射机（約 10 仟瓦）和銳定向天綫。設計較短电波的銳定向天綫比較容易。波长愈短，构成一定宽度射束的天綫尺寸可以愈小。因此，在散射傳輸时采用分米波和厘米波。

图 26 示出一种上述型式通信綫路中采用的抛物面天綫。天綫增益系数为 10,000。天綫由发射器和抛物面反射器組成。反射器的直径为 18 米，用鉛管制造。这种天綫結構复杂，重过一吨。天綫應該很坚固，以耐风压。

对流层散射主要在轉播綫路上采用。尽管需要采用强功率发射机，复杂天綫和灵敏的接收設備，

利用散射轉播經濟上还是有利的。这种发射方法可以使中間站的距离不是通常的 50—70 公里，而是 200—400 公里，因而减少了所需中間站的数量。利用对流层散射的綫路，可以用来发射調頻广播、

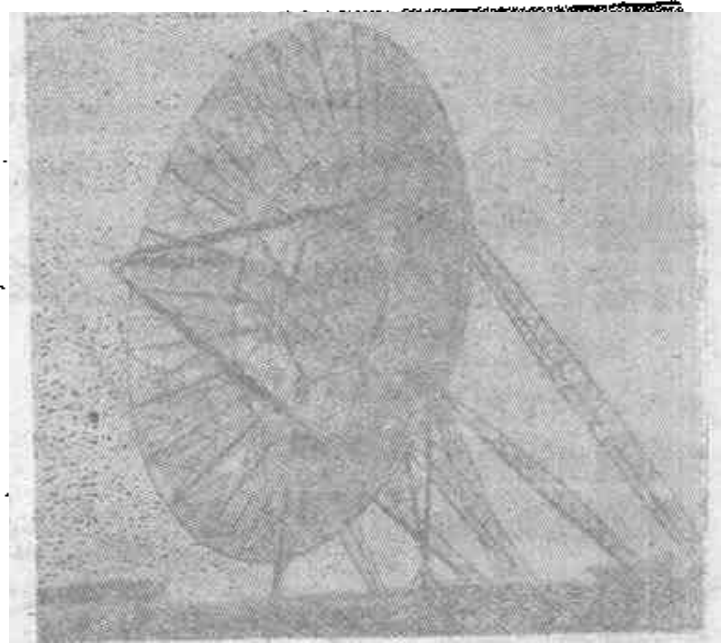


图 26 利用无綫电波对流层散射的超短波  
远程通信綫路用抛物面天綫

电视和多路通信。

现在，用这种线路跨过地中海，把西西里岛和萨尔基尼亚与非洲海岸联接，跨过距离约 300 公里。美国也在这样长的距离上发送了电视。发射线路通过海面，并且穿过罗格阿衣连德。按照文献记载，接收图象的质量是完全满意的。

## 第五章

### 超短波的电离层传播

不久以前，还认为超短波从电离层反射而传播仅是一种例外，同时这种现象非常少，实际上可以不加以考虑。

随着电视和调频广播的发展，越来越常观察到超远距离接收到米波的情况。在某些情况下，远距离的发射台构成接收本地电视广播的杂音。进行的研究证明，米波正常传播可以超过 1,000 公里，当采用特殊设备时可以确保接收。

米波超远距离传播的可能是以电离层中发生的下列现象为前提：(1)，在太阳活动性最大的年代， $F_2$  层的电子浓度提高；(2) 出现不稳定层  $E_s$  和 (3) 无线电波在

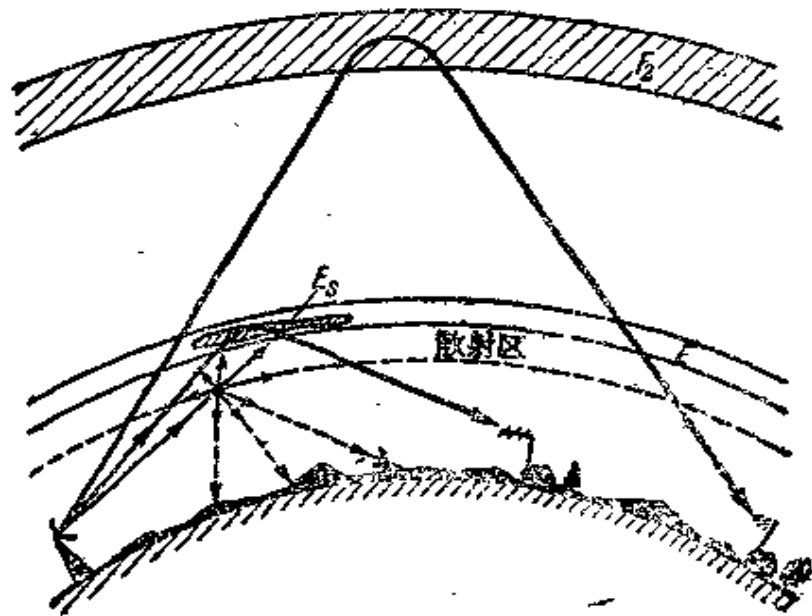


图 27 超短波在电离层传播的简图

不均匀电离层的散射。上述每一种传播形式都有自己的特点。

图 27 画出所有三种米波在电离层传播的情况。

### 从正常 $F_2$ 层的反射

利用 $F_2$ 层的反射可以传播短波。对于短于 10 米的电波，大部分将透过 $F_2$ 层。但是在太阳活动性最大的年代， $F_2$ 层的电子密度在冬季白天达到很大数值，使波长 10—6 米的电波可以通信。

这时静寂区不小于 2,000 公里。发射的极限距离决定于 $F_2$ 层的高度，它可以达到 3,500—4,000 公里。除此以外，可以靠两次“跳跃”来传播，也就是利用连续两次从 $F_2$ 层和地面反射的方法，使得发射的可能距离加倍。这样一来，在 $F_2$ 层反射时，米波可以传播 2,000—7,000 公里。

过去太阳活动性最大是 1937—1938 年，和 1947—1948 年。

1937 年和 1938 年冬季，列宁格勒工作于 10 米波段的无线电爱好者，曾与西西伯利亚、英国、法国、埃及、美国和其他国家的无线电爱好者进行无线电通信。从十月到四月，白天 10—11 时到 18—19 时可以在这一波段通信。同时，早晨可以和东方通信，晚上可以和西方通信。

1947—1949 年的冬季，英国和美国的无线电爱好者曾多次在 6 米的波长进行通信。在英国每天都可以听到美国工作于 7 米的电台，而英国的电视可以在南非接收。

下一次太阳活动性最大预计在 1957 年。从 1956 年冬天起，短波段的工作频率开始增加。在 1957—1959 年的冬季，白天又可以在 2,000 公里以外接收米波。工作于第一频段 (38—40 兆周) 的无线电爱好者应利用它来建立超远距离通信。看来，也可能观测到超远距离接收电视的情况。无线电爱好者进行超远距离接收的观测不仅是竞赛，而且有科学意义。这将会帮助我们弄清楚，在各纬度地

区能經常观测到这种超远距离接收的程度，它的特性又是怎样的。

### 从不稳定层 $E_s$ 的反射

电离层中出現的不稳定层  $E_s$ ，有时含有的电子密度足够反射米波波段的电波。随着电视发射台的数量和功率的加大，从  $E_s$  层反射电波的远距离接收不再是稀有现象。

不稳定层是不經常的，因此这种超远距离接收也不可能是經常的。超远距离传播情况出現的頻繁程度决定于  $E_s$  层出現的頻繁程度。因此經常在夏天的日間观测到超远距离接收，而在冬天很少观测到。能够接收的頻繁程度逐年变化，但不正规。太阳活动性的 11 年的周期和这种传播形式的直接关系还没有确定。这种接收最常在南緯地区观测到。

組成  $E_s$  层的高度(100—120 公里)决定了最大传输距离为 2000—2500 公里。  $E_s$  层的电离密度决定了最大的工作頻率和靜寂区的距离。米波的靜寂区不小于 1000 公里。电波愈短，靜寂区的距离愈大。因此，米波大約在 1000—2500 公里距离上可以接收。

在莫斯科—基輔緯度上可以远距离接收的頻率达 70—75 兆赫，而在阿拉木图—阿什哈巴德緯度上可达 90—95 兆周。电波愈短，接收的可能愈小。当不稳定层出现在发送机和接收机之間路途的中部时可能进行接收。不稳定层出现在不大的地区，因此通常只可能同时对一个站进行接收。由于不稳定层的运动，經過一些時間，就可能对另一个站进行接收，或是在新的地点接收到前一个站。能接收的時間各不相同，从几分鐘到几小时。

現在既不能指明  $E_s$  层出現的准确時間，也就不能預測能够进行接收的時間和这時間的长度。从不稳定层反射的一个特性是它的半透明性。与从  $F_2$  层反射不同，不是落在  $E_s$  层的全部电波能量从  $E_s$  层反射，而是部分能量穿过  $E_s$  层不能接收，仅有小部分（有时是

0.1) 反射。这时频率愈高，能量反射的部分愈少。因此，最可能接收到的是强功率的电台(功率不小于 3—5 千瓦)。

从 1954 年起，夏季月份在莫斯科省能收到从布拉格发射的电视(距离约 1800 公里)。布拉格电台的场强有时大得把莫斯科电台完全挤掉。有时远方电台仅产生强烈杂音，在荧光幕上出现“波纹”，在扬声器上出现劈裂声。莫斯科与在其他强功率电视中心附近一样，那里当地电台产生的场强很大，差不多没有超远距离的接收。在西欧各个国家都有接收到莫斯科发射的情况。在乌克兰可以接收到意大利、丹麦和伦敦。

我国和国外许多无线电爱好者专门改善自己的机器以进行超远距离接收电视。为此而提高接收机的灵敏度和采用定向天线。采用增益系数为 10—12 的双层五元天线(图 28)可以得到很好的效

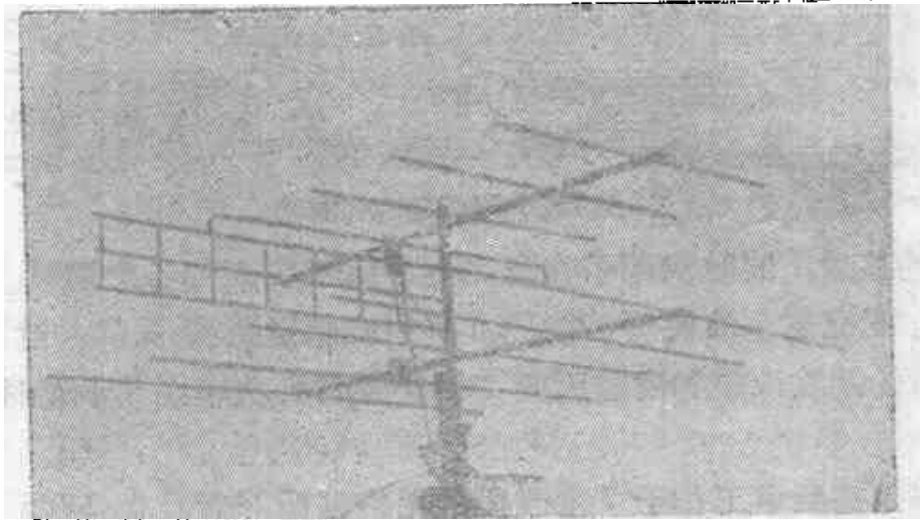


图 28 超远距离接收电视的双层五元天线

果。当天线设计得能够旋转时，可以追踪不稳定层的运动，并且按照它的移动，能够接收几个电台。例如，如果不稳定层出现在罗马尼亚的喀尔巴阡地区，则在乌克兰可以接收到罗马。如果  $E_s$  层开始向北移动，则可以顺序看到维也纳和布拉格的节目。如果  $E_s$  层向西北移动，观测者看到瑞士和西德的节目。在图 29 的地图上画了

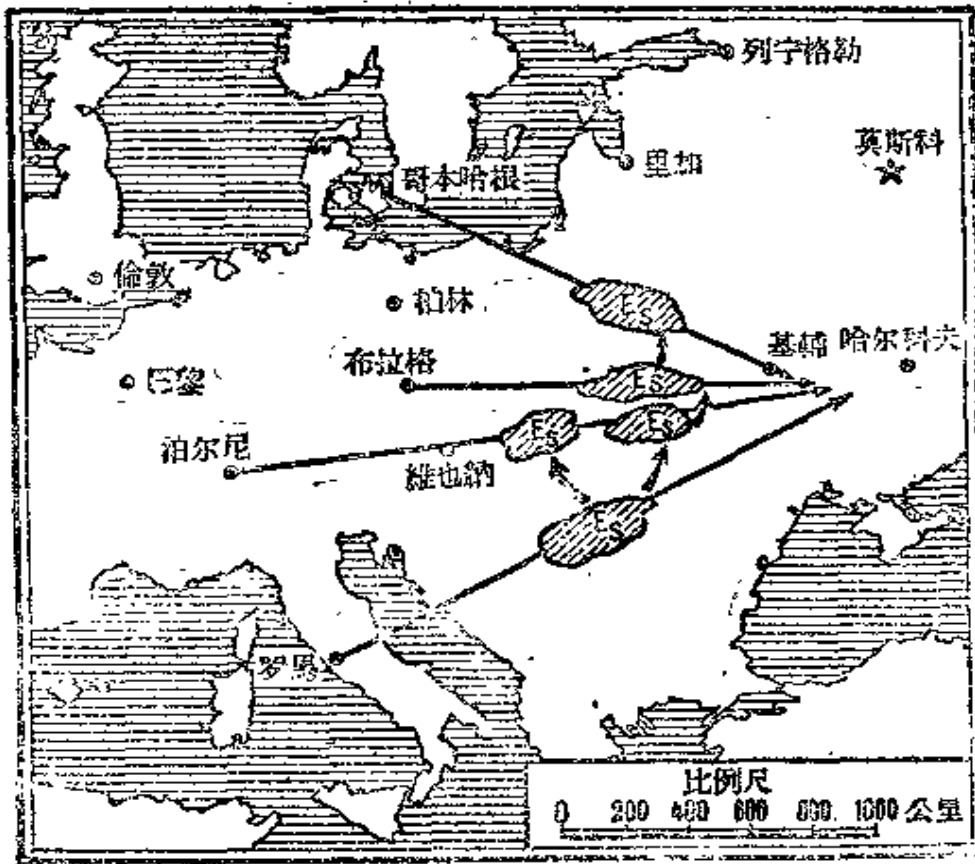


图 29 不稳定层E<sub>s</sub>的移动

E<sub>s</sub>层的移动，同时表明了乌克兰可能接收到的各个国家。

E<sub>s</sub>层反射电波使得可能建立超短波超远距离通信。这时采用定向的接收天线和发送天线，使得发射机功率在几十瓦时能进行通信。

高尔基城中工作于7米波段的无线电爱好者，在1956年夏天与罗斯托夫、斯维尔德洛夫斯克、巴尔那乌尔的无线电爱好者建立了通信。同时罗斯托夫的无线电爱好者与乌发、莫洛托夫城、基洛夫城建立了通信。这个波段在这样的距离上可能进行无线电通信，仅是由于无线电波从不稳定层的反射。特点在于同一高尔基城的无线电爱好者不能在较短距离上建立通信(与依万诺沃、弗拉基米尔城、基洛夫城)。

靠 E<sub>3</sub> 层反射电波进行超短波超远距离通信的可能性远远没有研究清楚。以下的问题仍有争论：远方电视台对当地接收电视造成的干扰是否严重，在建立新站和选择新站的工作波长时，能不能象现在一样不考虑超远距离接收的可能？超短波无线电爱好者的观测将帮助解决这个问题。

### 从不均匀电离层的散射

以上所述从 F<sub>2</sub> 层和 E<sub>3</sub> 层的反射现象不能保证超短波的正常通信。短波波段的满负荷迫切要求找到新的通信波段，因而企图研究超短波超远距离通信的可能。

从 1950 年开始对超短波在 1000 公里以上正常通信的可能性进行理论和实验研究。主要是更详尽地研究大气电离层的结构，确定它的不均匀结构。没有研究出结果的正是这个不均匀性。可以想象它和云层一样，其中的电子密度与周围介质的电子密度不同。因而云层的介电系数也与周围介质的介电系数不同。

不均匀层的厚度据研究者判断为 100—200 米，对超短波来讲不均匀层的厚度大于波长很多。不均匀层的存在使得能观测到无线电波的散射。还在 30 年代，就曾在短波波段发现这个现象。在强功率短波发射机工作时，在静寂区内会收到弱信号。曾经确定这些信号是从反射无线电波的电离云层来的。这种现象称为“反向散射”。继续的观测证明，散射信号尽管微弱，但仍然可以在静寂区外主要信号衰落时观测到。这种散射称为“前向散射”。

电离层不均匀性散射和对流层不均匀性散射的进行方式相似，也就是落在电离层的电波被散射区散射，这散射区就是二次散射的源泉。但在三十年代没有估计到，靠这种现象在短于能在这种情况下反射的波长上可以进行正常通信。

最近 20 年研究了电离层的不均匀性，它的尺寸和水平运动，

并企图确定不均匀性所特有的出现原因和规律。但仅从 1950 年才开始企图采用散射现象进行超短波的超远距离通信。

1951 年，在学者贝利的领导下，在美国用频率为 50 兆赫的信号在距发射机 1250 公里处系统观测接收情况。采用了定向的发射天线和接收天线（菱形），发射机功率为 20 千瓦。这实验得到了所希望的结果：在进行观测的半年内，没有一次通信中断的情况。诚然，信号很微弱，但足够接收。信号电平日夜变化。当然，为了要说出这种通信方法在其他路由和不同距离下是否可靠、怎样选择最好的工作频率、发射机功率应该多大等，这些观测还是远远不够的。

这第一批实验鼓舞了全世界的科学家去对无线电波在电离层中的散射进行理论和试验的研究。最近几年曾提出几种理论，给出计算散射信号场强的公式。但是没有可能查验它的正确性。

只是在 1955 年年底，才发表了在美国和加拿大之间进行四年之久的米波超远距离正常接收的结果。

在进行观测时，有一系列科学研究机关和无线电爱好者参加。观测是在七条长为 1200—2300 公里的路由上进行的。有三条路由在北纬 50—70 度，也就是横过极光地区。在这一地区，短波通信特别经常地遭到破坏，因而寻找新的通信形式有很大的意义。其他路由在中纬地区（北纬 30—45°）。

发送所用的频率为 27、50 和 107 兆赫。采用的发射机天线输出功率约为 30 千瓦。发送和接收采用同样的定向菱形天线，增益系数约为 20 分贝。天线方向图主瓣的最大值设计得朝向路由中点高 100—120 公里的地方。接收机频带宽 24 赫，输入阻抗 600 欧。

观测在整个昼夜中进行，尽管接收信号的电平变化很大，有时与平均值差到 20 分贝，但几年内毕竟是没有任何一条路由上发生通信中断的现象。还查明接收信号的场强发生有规律的变化。信号电平在中午达到最大，在路由中点当地时间 19—21 点为最小。夏季白



天观测到最大场强。冬季稍有降低，而春季和秋季最低。

有时接收到从不稳定层 E<sub>s</sub> 和从流星痕迹反射的信号。这时信号电平显著提高，或是观测到各别短暂的劈拍声。这些高信号电平看作偶然现象，在分析时不考虑。

以前不明确究竟是在电离层那一部分发生无线电波散射。进行的实验证明，白天散射发生在 75—80 公里高处，夜间在 85—90 公里高处，也就是低于 E 层，而稍高于吸收层 D。

正如根据早先研究的理论所预料到的，电离层散射的电波场强与工作频率有关，即与频率的某次方成反比。还没有能准确的决定场强与频率的依变关系。在一些个别的观测中，指数在 2—4 之内变动。因而，实际使用这种通信方式时，频率不超过 100 兆赫。这种传播电波的形式特别有价值的特性是它的稳定性，而在短波通信时常受到中断。

当太阳紫外线辐射增加，引起突然暴发的吸收时，D 层的电离密度增加，短波信号发生衰落，而频率在 80—85 兆赫以上的信号强度增大了。25—27 兆赫频率的信号电平稍有降低，因为这种电波在 D 层的吸收增加。

由微粒穿过大气下层引起电离磁扰动时也可以观测到散射波场强增长的现象。这种现象常常是短波通信在极区完全中断的原因。

进行过的实验查明了靠不均匀电离层散射的米波通信有一系列的特性和优点，还决定了可能采用这种通信的地区和这种通信形式对机器的要求。

查明了在长度为 1000—2800 公里的路由上可以得到最好的结果。距离较短时信号强度迅速减小。距离较长时靠从电离层的一次反射不可能到达，而在多次散射时，信号电平显著降低。

采用 30—60 兆赫的频率带看起来最合适。正如上述，场强随工作频率提高而急剧降低，成为所用频率带的上限。频率低于 30 兆周时受

到吸收，通信与短波一样遭到中断。

这种电波传播方式对采用的机器提出较高的要求。发射机应有大功率。例如，为了在北极地带以 35 兆赫的频率进行单路电报通信，需要功率不小于 5 仟瓦的发射机。

为了避免接收到在主要路由上出现的从隕星或 E<sub>s</sub> 层来的落后信号，必须采用锐定向天线和窄通带的收信机。实际上天线方向图可以不窄于 8°，频带可以不窄于 2 仟赫。

为了消除衰落的影响，最好采用两个接收天线，在垂直于传播方向的方向上，距离大约十个波长。最好是采用水平极化波。

这种通信方式的主要优点有下列几点：

在电离层扰动时通信不会遭到破坏，因而可以在极区的复杂条件下保证可靠的通信。

可以整个昼夜都用同一频率工作（在短波工作时，工作频率需按季度和昼夜改变。）

可减小杂音电平。杂音电平主要决定于宇宙杂音和太阳杂音。在极区路由上，在大风雪时期，由于雪和冰块的运动提高杂音电平。

这种电波传播方式能保证电报通信的准确度为 99.5%。在极区准确度降低不超过 5%。

这种通信方式的缺点是对使用的机器要求提高了，并且只能用来传送窄频带。

无线电波从不均匀电离层散射的现象已经得到了实际应用。这种通信方式在极区条件下的准确性正是在这种地区采用它的前提。第一条超短波远距离通信是从美国海岸经格陵兰到冰岛。这样一来，跨越 3000 公里以上的距离总共只需要一个中继站。这条线路传这一路电话和八路（印字）电报。

英国也有建设这种线路的报导：一条线路联接不列颠岛的南北两端，另一条联接直布罗陀和英吉利。最近打算从欧洲经过中东到

澳大利亞和新西蘭建設微波通信綫路。

顯然，無線電波在電離層散射的現象也可以供用小功率發射機工作的無線電愛好者利用。

### 從隕星痕迹和極光的反射

還在 1931 年，蘇聯工程師，天文學愛好者 H. A. 伊萬諾夫就發現在隕星飛過時，短波發射的可聽度有變化。實際上正如前所述，無線電波從隕星痕迹上反射，和從電離層反射一樣。

這個現象用雷達設備來觀測非常清晰。1946 年蘇聯首先用雷達設備專門觀測隕星，那一年地球上通過了強大的隕星流。

觀測時雷達天綫方向與地平面的角度不大。當隕星飛過雷達工作範圍時，在熒光板上看到特殊的回波。觀測表明，反射是從距發射台 700—1000 公里處 70—120 公里高的地方發生。隨着隕星痕迹的電離雲層的分散和消失，無線電回波則減弱和衰落。曾經發現，較長的電波反射最強。頻率超過 100 兆赫以上反射就很少看到。

雷達觀測隕星提出了利用隕星反射無線電波進行通信的可能性。最早的通信試驗是五年前加拿大和美國的無線電愛好者進行的。他們距離 1500—2000 公里，工作在 10—20 米波長，發射機功率約 500 瓦，實現了短時間的通信。

不久以前，刊物上發表，加拿大研究並投入生產了較簡單的利用隕星痕迹反射無線電波的米波通信制式，它是按圖 30 的電路構成的。

在路由兩端設置帶定向天綫的發射機和接收機。天綫發射方向與地平面成的角度使射綫在地面上 70—120 公里高处相交。

發射機和接收機經常開通。發射機發送無調制振蕩。路由中部沒有隕星電離以前，沒有接收。當出現隕星時，可以收到從隕星痕迹反射的信號。

一当收到信号时，立即自动接通调制器；在可以通信的时间内，一直保持接通。隕星出现后过几秒钟，隕星痕迹消失。通信的条件破坏了，接收停止了，调制器也在同时自动关闭。全

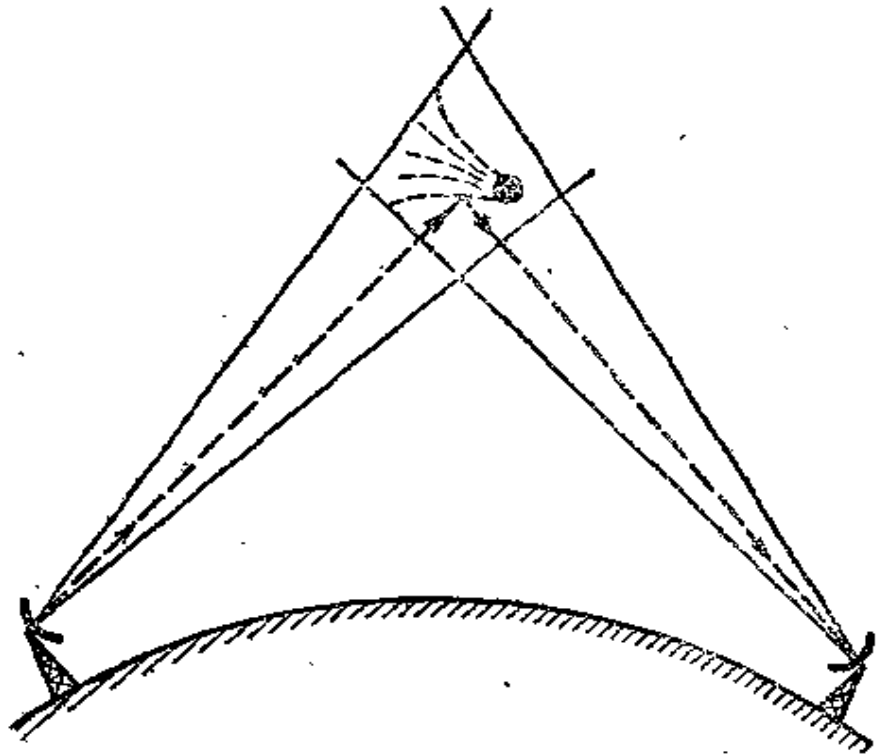


图 30 靠隕星痕迹反射的通信

部发送延长不过几秒钟。一分钟之内开和关的过程重复许多次。这样一来发送就好象是脉冲式的。

为了在能够通信的短时间内发送电文，需要采用高速传送（每分钟约 2000 字）。采用能允许这样高速度工作的特殊的印字电报。电文预先按专用数码写好。

当利用隕星痕迹反射时，可以采用 30—60 兆赫的频带，通过带宽三千赫的接收机。这种通信方式不受磁暴的影响，在高纬度地区特别有价值。因此第一条通信线路建设在舍利海湾和阿勒都尔港（美国）之间，也就是在磁暴特别经常的极光地区。线路长约 1600 公里。工作两年来证明了它足够可靠和经济。

米波无线电波能从极光地区反射。如果在北半球可以看到极光的地区，将接收天线和发送天线朝向北方，则在极光出现时，距离在 1000 公里以上的点间可以实现无线电通信。在没有极光时，在同样

的点之間不能实现通信。

在这种电波传播形式下，通信不需要大功率发射机和复杂天线，因此极光反射可用作无线电爱好者通信。

加拿大的无线电爱好者不只一次地在 28—148 兆赫的频率上靠极光反射电波来进行远程通信的试验。有趣的是，从极光的反射曾被极光地带南部边缘外 1200 公里的电台观测到。

无线电波从极光的反射也可用雷达设备来观测。

## 第六章

### 超短波接收的杂音

接收条件不决定于信号场强的绝对值，而决定于信号场强与杂音电平的比值。对于每一种通信方式，信号场强都应该比杂音电平大或多或少的倍数。知道了杂音电平系数，就可以决定在接收点必雷的场强。这里我们将只研究接收机的外部杂音，而不触及接收机的内部杂音。

在超短波波段有工业杂音，宇宙源杂音和大气杂音。工业杂音是由各种电气设备产生的。X 光设备产生最强的杂音。在城市中有汽车马达发动的杂音。还有短波无线电台谐波的杂音。

最近开始观测到电视的杂音，这是从远方电视台产生的。这种杂音在距本地电视中心 40—60 公里的地方最大，因为那里本地电视中心的场强小了，而又采用了灵敏的接收机和高增益系数的天线。这种干涉杂音在伴音波道中形成杂音，在荧光幕上形成“波纹”。

飞机产生另一种杂音。当飞机靠近接收天线飞行时，它把无线电波再发射，形成干涉杂音。在城市上空经常有飞机的地方，这种杂音很大。例如，在美国，有些地区克服飞机对电视产生的杂音已

經成为問題。

宇宙杂音是銀河和太阳的无綫电能輻射产生的。这种杂音出現为接收机的輸入杂音。当采用銳方向接收天綫，而且仅仅在天綫朝向太阳时，太阳的无綫电能輻射才呈現为接收杂音。在太阳活动性最大的年度里杂音特别强。銀河的无綫电能輻射在用非定向天綫时也有杂音。

在超短波波段上接收設备的灵敏度决定于天綫电路中有效电阻上的杂音电平。銀河杂音的作用相当于天綫有效电阻上产生的杂音电平增加。为了判断銀河杂音而采用了系数  $\beta$ ，它表示当有銀河杂音时，接收机輸入端的杂音电平增加到多少倍。在米波波段，系数  $\beta$  与頻率（兆赫）的关系和下式符合

$$\beta = \frac{1.8 \cdot 10^6}{f}, \quad (19)$$

也就是在較低頻率时杂音較强。

大气杂音在超短波波段不重要。它主要是本地雷击的杂音。在北部地区观测到另一种杂音：在暴风雪的时候，雪块和冰块以很大速度移动。这时由于摩擦的結果而电离，产生杂音。风速越大，这种杂音的电平也越高。

为了滿意地接收各种不同形式的傳輸，所需的信号杂音电平比也不同。要求最高的是电视。希望信号杂音比不小于 80 分貝。这时的信号場强在 50—80 兆赫波段內应为 100 微伏/米，在 200 兆赫以上波段內为 1000 微伏/米。在城市里，外部杂音很大。場强应达到 5000 微伏/米。杂音的存在提高了发射机需要的功率。

## 結 論

我們簡短地介紹了超短波傳播的主要特征。同时不止一次地指出，在这个範圍內，全部現象还远沒有完全研究清楚。

無線電波傳播是一個很複雜的過程，它受到各種自然現象的影響。影響超短波傳播條件的有遠在地球大氣層外面發生的過程（太陽黑子的出現，太陽爆發，宇宙光，隕星），也有發生在靠近地面（在電離層和對流層）和地面上（房屋，設備和運輸活動）的過程。無線電波傳播條件隨晝夜，季度，太陽活動性和氣候變化。

為了研究複雜現象，就需要大量的觀測。觀測無線電波的傳播條件必需在不同時間，不同距離和不同地區。研究者綜合了這些觀測結果，可以查明一定的規律性，論證它的理論，得到計算公式，或是從實驗中得到對計算公式的經驗修正。這樣就能在今後更正確地進行無線電通信和廣播線路的計算，有可能預先知道通信中斷的可能性，並考慮克服的方法。現代業餘無線電的群眾性發展，無線電愛好者的觀測在無線電波傳播現象的研究上起了很大的作用。重要的只是無線電愛好者在記錄自己的觀測時應尽可能地系統和仔細，注明觀測的日期和時間，所採用設備的型號或特點。

觀測超短波超遠距離接收有很大趣味。這裡還有很多沒有研究的問題。超短波在對流層傳播 200 公里以上（可能到 600—800 公里）和在電離層內傳播（超過 1000—1500 公里）的情況都很有趣。

這種觀測已經在進行。1956 年夏天無線電愛好者莫洛佐夫在坡爾塔瓦，索特尼柯夫在莫斯科都進行了外國電視台的超遠距離接收的觀測，它們工作於 40—60 兆赫頻帶，距離在 1000 公里以上。觀測日記有很大的價值。分析並比較觀測結果可以說明無線電波從不穩定層 E<sub>s</sub> 反射的有趣特性，並且說明為什麼超遠距離接收的可能多於電離層觀測站的資料所指出的。

美國無線電愛好者對超短波超遠距離通信的觀測使研究者能繪出 E<sub>s</sub> 層的移動圖，並計算它運動的速度。我們在研究從莫斯科接收布拉格電視的材料中也得到了同樣的結果。遺憾的是莫斯科近郊的無線電愛好者沒有進行系統觀測，因而只能決定 E<sub>s</sub> 層在幾天之

內的运动。

美国无线电爱好者对 50—80 兆赫和 170—200 兆赫电视测，证明比较短的电波从对流层传播，距离不超过 800 公里，长的电波从电离层传播，距离常超过 1000 公里。

在超短波波段对电视发射进行观测有很大的价值。在接收电层反射波时（电视中心距离在 1000 公里以上），要记录接收最好方向。在对流层传播时（电视中心距离在 800 公里以下）除了方向之外，还要记录气象状况（晴天，阴天，风），如果有可能还要记录气压和温度。

当达成远距离通信时，最好也记录这些数据，除此以外，还记录下是否进行了双向通信。

在不平坦地区、山区或者建筑稠密地区达成超短波通信也有很大意义。

每一次进行观测，必须记录观测的日期和时间，工作波长，所用机器的数据（接收机的灵敏度，天线的型式和位置，发射机的功率），接收地点（在高建筑物中间，空旷地区，树林中等），发射台的位置，接收的质量和時間，有没有衰落，电波到达方向（有趣的是与地图上通信方向的比较）以及气象数据（在对流层传播时）。

### 参 考 書

1. 无线电波是怎样传播的，苏联 M. П. 多魯哈諾夫著。
2. 公尺波技术，苏联 И. П. 热烈布佐夫著。
3. 公分波，苏联 A. С. 普列斯曼著。
4. 业余超短波无线电通信，苏联 A. Ф. 普隆斯基著。
5. 电离层的秘密，苏联 Ф. И. 切斯特諾夫著。

~~~~~以上各書的中譯本已由人民邮电出版社出版~~~~~