

天线的理论与实用

S. A. 謝昆諾夫 H. T. 弗利斯著

任 朗 等 譯

人民邮电出版社

天綫的理論与实用

S. A. 謝昆諾夫、H. T. 弗利斯 著
任 明 張志誠 會宛澤 譯
任 明 校

人民邮电出版社

ANTENNAS THEORY AND PRACTICE

SERGEI A. SCHELKUNOFF
HARALD T. FRIIS

John Wiley & Sons, Inc., New York, 1952.

内 容 說 明

這本書共分 19 章，从电磁波辐射的物理原理講起，依次介紹麦克斯韋方程、平面波、球面波、定向辐射、天綫的基本理論如阻抗、倒易定理、等值定理及綫形天綫的一般理論等，最后介紹菱形天綫、喇叭天綫、开槽天綫、透鏡天綫等；其中也有一些实际例子。

讀這本書的数学基础是普通微积分。這本書可作大学無線电系学生的参考書，也可以作从事天綫設計工作的工程技术人員的参考書。

本書第二章由張志誠譯，第十章由曾宪澤譯，其余各章由任朗譯，全部由任朗校。

天 綫 的 理 論 与 实 用

著 者：(美国) S. A. 謝 - 昆 諾 夫 斯
H. T. 弗 利 利

譯 者：任 朗 張 志 誠 曾 宪 澤

校 者：任 朗

出版者：人 民 邮 电 出 版 社

北京東四 6 条 13 号

(北京市書刊出版業營業登記證出字第 048 号)

印刷者：北 京 市 印 刷 一 厂

發 行 者：新 華 書 店

开本 850×1168 1/32

印張 19 张 頁數 308

印刷字數 534,000 字

1959 年 6 月北京第一版

— 1959 年 6 月北京第一次印刷

印數 1—4,700 册

統一書号：15045·总1034-無271

定价：(11)4.00 元

作者原序

這是一本講天綫的書。主要內容是討論天綫特性的物理原則，討論正確的天綫設計和計劃有意義的天綫實驗所需要的理論，以及討論天綫理論在各種頻率範圍中的應用。這本書主要是為大學生和無線電工程技術人員而寫的。但是，讀它並不需要預先有專門的工程知識；同時，學習應用數學和物理專業的大學生以及工業中的數學顧問都能看懂它。本書對他們說明了無線電工程師感興趣的問題類型、所獲得解答的性質和實用者如何把實用數學實際應用在解決這些問題上。

按照我們的目的，本書包含着大學天綫教科書中所應該包含的內容。我們並不規避一些重要公式的推導和一些重要證明的結論。一個大學生應該知道這些推導和證明，也必須了解它們。但是，在本書中我們儘量努力使這些證明和推導越簡單越好。任何學過普通物理和微積分的人，只要他肯鑽研就可以讀懂這本書。不要只因為沒有學過偏微分方程就被它吓住了。我們不用矢量分析，因為對於我們所討論的問題類型來說，矢量分析不但不能幫助理解反而阻礙理解。我們利用矢量概念，並在少數情況下利用縮寫符號來代表標量積和矢量積；但是，這些符號在讀物理學時通常就遇到了而實際上這並不能算矢量分析。

本書第一章介紹了研究天綫所引起的各種問題，這些問題將在以後各章中詳細討論。我們在講解輻射的物理概念的同時，說明了空間內電的現象和電路內電的現象之間的聯繫。於是，我們就將電路理論和場理論之間的空隙連接起來，這個空隙是這兩個理論單獨建立時產生的。我們證明了一些重要公式例如電流元的遠場的公式等，都可以從物理概念求得。這樣就可以使讀者不必用比較嚴格的解法去理解天綫理論的大部分。

但是，要徹底地明了天綫理論，卻需要有描述電磁互相作用的麥克斯韋定律的知識。我們將簡單地說明這些定律的意義，舉出應用它們

的一些例子，然後將它們變換成特別對天線分析有利的一些方程式。這些方程式馬上用來研究由錐體、導線、籠形結構引導的波。我們從這些方程式導出一些天線理論的最基本公式：它們就是電流元所產生的場的公式，從而任何給定電流分佈所產生的場可用取積分方法求得。推導這些公式的傳統方法是利用矢量分析的高深定理和一些輔助數學函數，它們沒有簡單的物理意義。這個方法是數學家為了數學家而創立的，並且只適合於那些非常熟習數學的讀者。這個方法對大部分大學生來說僅僅是一個數學運算中的練習，後者使他們的注意力從問題的主要方面轉移開。這樣很容易把數學的嚴格性和物理意義都陷入在一大堆符號的泥沼中。事實上，這個方法的許多流行的說法並沒有證明什麼。為了這個緣故，我們已經拋棄了這種古典方法，而用一種比較簡單的和在物理上比較直接的方法來推導一個振盪電荷的場的基本公式。當一個電荷開始緩慢地振盪時，其變化電場產生磁場。這樣一來我們就得到這個局部場的主要成分。於是，這個場就同由於電場和磁場的互相作用所引起的遠處波連接起來。如果給出這個方法的所有細節，它就和完善的傳統方法在數學上具有同樣的嚴格性，並且從物理觀點來看，它比傳統方法更有說服力。這個方法顯示出電磁波激發的物理結構。我們相信這個方法對於有成就的數學家也會有一些貢獻。

我們對給定電流分佈下求輻射圖形和輻射功率的方法給予很大的注意。在無耗散的媒質中，輻射功率可以用根據遠處功率流的波印亭矢量法來計算或用根據給予場的功率的感應電動勢法來計算。我們將說明這兩個方法並將第二個方法發展成“矩的方法”，後者特別對複雜電流分佈的輻射功率的近似計算有用。然後，我們求得自由空間內幾個無線電傳輸公式。為了使大學生不忘記大地的影響，我們討論了一些大地對無線電傳輸的效應。在本書中，大氣對無線電傳輸的影響完全被忽視掉。因為最近有好幾本電波傳播的書出版，所以這種忽略並不嚴重。

包克凌頓在半世紀以前就證明了細理想導線內的電流和電荷約以光速向前傳播，並證明了用單頻率激勵的二點間電流分佈近似正弦分

佈。許多实用天綫理論是以这个基本結果作根据的。这个近似法的著者显然已經被忘記了。一些無綫电工程师称它为“一个实用的工程近似”。一些工程書籍沒有叙述这个近似的理論根据；因此这个近似有时被用錯了并不是怪。在广播鉄塔的頂上时常裝置一个細桿来增加它的有效高度，但是很显然这样作是不行的，虽然塔和桿上电流近似正弦分佈，这些正弦并不能組成一个正弦，并且如果更进一步去追理，將証明这种桿差不多是無效的。天綫电流偏离正弦分佈中相位的重要性时常被忽視，并且測量結果也时常被誤解。我們將用一整章来討論正弦分佈这一近似，研究造成偏离正弦分佈的各种因素和这些偏离的相对重要性。

在無綫电發射和接收端，天綫是电路元件。在天綫陣的情况下，它們就是耦合电路。天綫阻抗和互阻抗的实际数值可由实验得到，或由解麦克斯韋方程式計算出来。但是，一些特性例如諧振、反諧振、倒易性和等值电路等是属于綫性动态系統的，因而与麦克斯韋方程式無关。等值电路原理可以使我們把天綫繪在电路圖里。倒易原理使我們無需將天綫的發射和接收特性全都分析，分析一个就足够了。对于这些問題我們給以很大的注意。

为了說明基本理論的应用，我們討論了天綫的所有类型：“短天綫”或長波天綫，半波和全波天綫，一般的偶極天綫，菱形天綫，开槽天綫，喇叭天綫，反射鏡天綫和透鏡天綫。

在这本書里我們首次根据“扫清”过程来介紹偶極天綫的初步理論。我們从近似天綫电流开始，确定与天綫相切的电場强度，然后用等值反向电場强度將它扫清。我們也討論比較高深的綫形天綫理論的一些結果，这个理論是由本書作者之一建立的；但是，这个理論的細节連同海倫的天綫分析方法將在另一本書中討論。

有关天綫的論文太多，我們無法將它們都列出来，因为这样作显然会增加書的篇幅和成本。因此，我們合理地選擇了一些参考文献，供給讀者一些特殊問題的进一步知識。一些文献作为註解給出，另一些文献給在每章之末。一方面是为了多数大学生能够很容易看到，另

一方面因为我們發現要想把全世界的天綫文献都收集来是很困难的，所收集的文献的大部分是在美国杂志中發表的論文。我們希望我們的文献表对初学者很适用。

我們准备了很多習題；但是我們未解答而留給教师自己去作数字計算的練習。这个練習不会使他花費很多時間，并且这样作我們認為教师本人会正确地估計他的学生究竟需要那些或多少練習題。

在理論上，这本书适合作为大学中天綫的教本，因为仅微积分一門課是讀者的主要先修数学課程，但实际上很多大学生或許会發現有些章节对他們是太难了。一門相当容易而且簡短的大学天綫課程可由以下各章組成：1, 5, 6, 14, 15。再增加第 2, 3 和 7 章就可使这一課程扩大些。在这两个選擇中，学生必須不經過推导而承認方程式 4-82。但是，这个方程式只在第五章的最后几节中和第六章的一些节中应用过。第五章的这几节可以取消，因为它們討論輻射功率計算的另一方法；而第六章的那些节可用教师自己的分析来代替，这个分析的根据是第五章前一部分的一些方法。在教师讀完这本书之后，他会發現其他的選擇也是可以的。研究院里的天綫課可以从第二章开始，或甚至于可从第四章开始。第一章可以指定为学生的附帶的自学材料，以后可以作为課堂討論的題目。

S. A. 謝昆諾夫

H. T. 弗利斯

書中用的符号

- | | | | |
|---------------------|----------------|--------------|-----------------|
| a | 長度，綫形天綫的半徑 | A | 面积 |
| b | 長度 | | 有效面积 |
| d | 長度 | | 磁矢量位 |
| f | 頻率 | A, B, S, T | 用来定义輻射效应系数的函数 |
| g | 导电率 | B | 磁位移密度 |
| | 方向增益 方向性 | | 电納 |
| h | 長度，直立天綫的高度 | C | 电容，分佈电容 |
| | 侵入深度 | | 欧拉常数 |
| j | 虛数單位 | D | 电位移密度 |
| k | 場方程式中的常数 | E | 电場强度 |
| | 波形因数 | e | 功，能 |
| | 归一化阻抗 | F | 复量空間因数 |
| | 極化損失因子 | | 电場强度的动态分量 |
| | 分离常数 | | 力 |
| l | 長度，中心饋电天綫的一个臂長 | G | 电导，分佈电导 |
| n | 折射指数 | | 用分貝表示的方向性 |
| | 極化矢量 | | 电場强度的似穩分量 |
| | 駐波比 | H | 磁場强度 |
| p | 电流元的矩 | I | 电流 |
| | 振盪常数 | J | 电流密度 |
| q | 电荷 | K | 特性阻抗，波阻抗 |
| | 反射系数（加註脚） | | 輻射效应系数（加註脚） |
| r | 長度 | L | 电感，分佈电感 |
| (r, θ, τ) | 球座标 | | 磁流分佈的輻射矢量 |
| s | 長度，間隙的長度 | M | 磁流密度 |
| t | 時間 | M, N | 非錐形天綫阻抗公式中的校正函数 |
| v | 速度，相速 | N | 电流分佈的輻射矢量 |
| w | 長度 | P | 功率，功率流，輻射功率 |
| (x, y, z) | 直角座标 | | |

- Q 品質因數
 R 电阻, 輻射电阻, 表面电阻
 徑向波函數
 \bar{R} 本質电阻
 S 面积
 空間因數
 T 週期
 自由空間傳輸因數
 端电阻損失
 U 磁勢
 V 电动势, 电位, 电压
 似靜电位
 W 單位面积功率流
 波印亭矢量
 X 感抗
 x 本質电抗
 Y 导納, 并聯导納, 迁移导納
 Z 阻抗, 串聯阻抗
 α 衰減常數
 β 相位常數
 δ 長度, 天綫的有效伸長
 ϵ 介質常數
 η 本質阻抗
 λ 波長
 μ 導磁率
 ξ 天綫陣的相角
 振盪常數的實數部份
 (ρ, φ, z) 圓柱座標
 σ 本質傳播常數
 τ 体积
 φ 相角
 α 極化系数
 ψ 錐角, 二方向的夾角
 徑向波函數
 ω 角速度
 振盪常數的虛數部份
 Γ 傳播常數
 Δ 仰角
 頻帶寬度
 Θ 角波函數
 Φ 磁位移, 磁束
 輻射强度
 Ψ 复量波印亭矢量, 复量功率
 Ω 立体角
 海倫理論的阻抗參數

目 录

作者原序

第一章 輻射的物理基础

- 1.1 無綫电通信····· 1
- 1.2 由电路到电場····· 2
- 1.3 麦克斯韋方程式····· 6
- 1.4 力綫····· 7
- 1.5 波····· 9
- 1.6 导綫上和自由空間內的
电波····· 14
- 1.7 短天綫····· 17
- 1.8 輻射····· 21
- 1.9 热損失····· 23
- 1.10 天綫阻抗····· 24
- 1.11 細天綫內的电流分佈····· 27
- 1.12 輻射場的計算····· 28
- 1.13 定向輻射····· 29
- 1.14 定向接收····· 33
- 1.15 自由空間中天綫間的功率
傳送····· 33
- 1.16 大輻射、反射和吸收表面····· 35
- 1.17 松樹形天綫····· 38
- 1.18 背后有反射板的大輻射面的
方向性····· 40
- 1.19 从大輻射面到大吸收面的功率

輸送····· 42

- 1.20 磁流薄板····· 44
- 1.21 波的傳播····· 45
- 1.22 經过大开口的輻射····· 47
- 1.23 抛物形反射器····· 50
- 1.24 透鏡····· 50
- 1.25 寬頻帶綫形天綫····· 51
- 1.26 各种用途的天綫和在各个频率
範圍內的天綫····· 52
- 1.27 地和大气····· 55
- 1.28 理論和实际····· 56

第二章 麦克斯韋方程式

- 2.1 电磁場的概念及其方程式····· 59
- 2.2 麦克斯韋方程式——普遍的
与隱定的情况····· 68
- 2.3 微分方程式与边界条件····· 70
- 2.4 电路····· 71
- 2.5 能流····· 74

第三章 平面波

- 3.1 波的分类····· 78
- 3.2 均匀平面波····· 79
- 3.3 平行細長金屬片間的波····· 84
- 3.4 用平行导綫引导的波····· 85
- 3.5 一度的傳輸方程式····· 87

3.6	反射	88	5.8	空間因子	140
第四章 球面波			5.9	端射天綫偶	141
4.1	引言	93	5.10	垂射天綫偶	143
4.2	在球座標中的麦克斯韋 方程	94	5.11	各單元的相位依次迟后的均匀 綫形天綫陣	144
4.3	圓形对称場	97	5.12	均匀垂射天綫陣	145
4.4	仅与到原点的距离有关 的場	98	5.13	均匀端射天綫陣	147
4.5	离开原点很远处的球面波	98	5.14	連續的天綫陣	147
4.6	橫電磁 (TEM) 球面波	99	5.15	矩形天綫陣	148
4.7	非錐形導綫上的主波	103	5.16	輻射功率的計算	151
4.8	同軸圓柱體上的橫電磁 (TEM) 波	104	5.17	輻射功率的漸近公式	152
4.9	平行綫上的橫電磁 (TEM) 波	104	5.18	用来激發電磁波的能量 和功率	154
4.10	散開導綫上的主波	105	5.19	对电流的輻射拖曳; 輻射 电阻	155
4.11	籠形結構上的主波	106	5.20	二电流元的互輻射电阻	156
4.12	傳播的高次型	106	5.21	計算輻射功率的矩的方法	158
4.13	点电荷, 偶極子和电流元	109	5.22	矩的方法的应用	162
4.14	自由空間中一电流元的 远處場	116	5.23	定向接收	164
4.15	自由空間波和散開導綫上主波 的比較	117	5.24	天綫陣的綜合	165
4.16	功率流綫	117	第六章 天綫的方向性和有效 面积		
4.17	電力綫	121	6.1	發射天綫的方向性	175
4.18	鏡像理論	126	6.2	效率	177
第五章 定向輻射			6.3	功率增益	177
5.1	基本公式	134	6.4	接收天綫的有效面积	178
5.2	輻射强度和輻射功率	135	6.5	自由空間中的傳輸公式	179
5.3	电流元的輻射强度	137	6.6	方向性和有效面积之間的 关系	181
5.4	电流元的輻射功率	138	6.7	补充的自由空間中的傳輸 公式	181
5.5	輻射圖	138	6.8	端射天綫偶的方向性	182
5.6	均匀輻射器	139	6.9	垂射天綫偶的方向性	183
5.7	波的干涉和定向輻射	139	6.10	理想大地上面的一个直立	

电流元.....	183	8.9	平行細导綫系統上似静态电位 分佈的方程式和电場強度的 动态成分分佈的方程式.....	223
6.11 垂射天綫陣的方向性.....	184	8.10	弯曲导綫系統的正确 方程式.....	225
6.12 端射天綫陣的方向性.....	186	8.11	导綫網絡接合点的边界 条件.....	225
6.13 連續端射天綫陣的 方向性.....	186	8.12	經過一个局部电源的边界 条件.....	226
6.14 連續垂射天綫陣的方向性.....	188	8.13	細电流絲表面上場的漸近 表示式.....	227
6.15 連續矩形垂射天綫陣的 方向性.....	189	8.14	細导綫上电位和电流的漸近 方程式.....	229
6.16 导綫上行进电流波的輻射.....	189	8.15	导綫的特性阻抗的計算.....	231
6.17 方向性和主方向瓣所佔据的 立体角.....	190	8.16	細导綫上电位和电流分佈的 漸近形式.....	233
6.18 方向性和輻射电阻.....	192	8.17	断开导綫上的座标.....	235
6.19 一个未匹配的天綫的电压 增益.....	192	8.18	偶極天綫中的漸近电流 分佈.....	236
6.20 超方向性天綫.....	193	8.19	反射天綫中的漸近电流 分佈.....	240
第七章 地面上的波		8.20	接收天綫中的漸近电流 分佈.....	241
7.1 反射的鏡像理論.....	198	8.21	偶極天綫中的漸近电位 分佈.....	241
7.2 反射系数的計算.....	199	8.22	輻射对天綫电流的影响.....	241
7.3 地反射系数的討論.....	203	8.23	偶極發射天綫的端效应.....	242
7.4 輻射圖.....	205	8.24	用电感和电容加荷的天綫中的 电流分佈.....	244
7.5 低角度無綫电傳送.....	206	8.25	松耦合导綫網絡中的漸近 电流分佈.....	245
7.6 水平入射波的傾斜.....	209	8.26	紧密耦合的平行細导綫中的 电位和电流.....	248
第八章 天綫电流		8.27	網絡, 其中某些部分間有	
8.1 天綫的电特性.....	210			
8.2 电流分佈对輻射圖和輻射 功率的影响.....	211			
8.3 电流分佈对天綫輸入电阻的 影响.....	212			
8.4 影响电流分佈的因素.....	212			
8.5 电場強度的似静态成分和 动态成分.....	215			
8.6 一个电流元.....	219			
8.7 無限細的电流絲.....	221			
8.8 細电流絲.....	225			

很强的耦合.....	250	10.6	天綫电感.....	307
8.28 天綫半徑突然变化的效应.....	251	10.7	天綫电容的計算.....	308
8.29 由另一观点所得到的一些 同样結論.....	255	10.8	計算天綫电容的第二个方 法.....	309
8.30 引导功率和輻射功率.....	256	10.9	小迴路天綫.....	315
8.31 諧振和反諧振.....	259	10.10	小迴路的輻射电阻.....	317
8.32 电阻对天綫电流的影响.....	262	10.11	小迴路的电感.....	317
8.33 天綫接头間的鄰近效应.....	262	10.12	小迴路的电容.....	317
第九章 阻抗, 倒易性, 等值性		10.13	实际的迴路天綫.....	319
9.1 用复变函数表示的阻抗.....	268	10.14	磁負荷和介質負荷天綫.....	321
9.2 阻抗函数的零值和無限大 值.....	269	10.15	長波天綫.....	323
9.3 用極和零表示的 $Z(p)$ 和 $Y(p)$ 的表示式.....	273	10.16	多調諧天綫.....	325
9.4 簡單电路中的諧振和反諧 振.....	281	第十一章 自諧振天綫		
9.5 复杂电路中的諧振和反諧 振.....	285	11.1	自由空間中的半波天綫和 相应的地面上四分之一 波長直立天綫.....	328
9.6 小偶極天綫和迴路天綫.....	286	11.2	正弦分佈电流的輻射圖.....	330
9.7 綫性換能器.....	287	11.3	半波天綫的輻射圖.....	331
9.8 倒易定理.....	289	11.4	半波天綫的輻射功率.....	332
9.9 等值电路定理.....	290	11.5	半波天綫的方向性和有效 面积.....	333
9.10 电流分佈的倒易性.....	293	11.6	半波天綫的輸入阻抗.....	333
9.11 反射天綫.....	294	11.7	阻抗匹配.....	334
9.12 接收天綫.....	294	11.8	天綫中的热損失.....	334
9.13 發送和接收的倒易性.....	295	11.9	折迭偶極天綫.....	335
9.14 輻射圖的倒易性.....	296	11.10	半波接收天綫.....	337
第十章 小天綫		11.11	彎折的四分之一波長天綫 和彎折的折迭四分之一 波長天綫.....	338
10.1 小天綫.....	298	11.12	自由空間中的全波天綫和 相应的地面上半波直立 天綫.....	340
10.2 天綫阻抗.....	299	11.13	全波天綫的輻射圖形.....	342
10.3 天綫电容.....	500	11.14	全波天綫的輻射功率.....	342
10.4 天綫电流.....	303			
10.5 小天綫的輻射电阻和有效 長度.....	305			

11.15	全波天綫的方向性和有效 面積.....	343	抗.....	404	
11.16	全波天綫的輸入阻抗.....	344	13.5	理想大地上水平半波天 綫的阻抗.....	406
11.17	間隙對全波天綫輸入阻抗 的效應.....	346	13.6	平行天綫間的互輻射.....	406
11.18	全波天綫中的電流分佈.....	347	13.7	一個單獨天綫的輻射.....	407
11.19	端饋電的天綫.....	350	13.8	地面上半波直立天綫.....	407
11.20	天綫的品質因數(Q).....	350	13.9	外加電壓的漸近公式.....	408
11.21	大地對天綫阻抗的影響.....	351	13.10	對稱天綫輸入阻抗的漸近 公式.....	410
第十二章 綫形天綫的一般理論					
12.1	電流元系統輻射強度的普 遍公式.....	356	13.11	輸入導納的漸近公式.....	411
12.2	輻射功率的公式.....	359	13.12	對稱細天綫的輸入阻抗的 一般公式.....	412
12.3	輸入阻抗和互阻抗.....	361	13.13	天綫的波型理論.....	416
12.4	互阻抗和輸入阻抗的第二 組公式.....	362	13.14	天綫的特性阻抗.....	420
12.5	互導納.....	363	13.15	對稱細天綫根據波型理論 的輸入阻抗.....	427
12.6	直電流絲的局部場.....	364	13.16	零和極.....	430
12.7	直正弦電流絲的局部場.....	366	13.17	諧振和反諧振頻率.....	430
12.8	分析天綫的方法.....	366	13.18	品質因數.....	431
12.9	天綫, 局部電路和饋電綫.....	370	13.19	反諧振阻抗.....	431
12.10	天綫的輸入區.....	371	13.20	圓柱形和雙錐形天綫的輸 入阻抗.....	432
12.11	籠形天綫的傳播型.....	377	13.21	反諧振阻抗的理論值和實 驗值之間的比較.....	433
12.12	迴路天綫和并激天綫.....	382	13.22	底電容和接近底的電容的 影響——實驗的結果.....	441
12.13	橢圓極化波.....	383	13.23	諧振阻抗——理論和實驗.....	444
12.14	橢圓極化波的輻射和接收.....	385	13.24	諧振和反諧振長度——理 論和實驗.....	446
12.15	天綫的方向性矢量和有效 長度.....	389	13.25	天綫形狀對輸入阻抗的影 响.....	447
第十三章 偶極天綫的阻抗					
13.1	天綫間的相互作用.....	398	13.26	無限細天綫的輸入電阻.....	449
13.2	直天綫的漸近場.....	401	13.27	天綫初級理論和天綫波型 理論的比較.....	451
13.3	二平行中點饋電天綫的互 阻抗漸近表示式.....	403			
13.4	無限細半波天綫間的互阻				

第十四章 菱形天綫

- 14.1 菱形天綫…………… 453
- 14.2 輸入阻抗…………… 453
- 14.3 电流分佈…………… 454
- 14.4 輻射強度…………… 455
- 14.5 最佳角…………… 455
- 14.6 主方向瓣的形狀…………… 456
- 14.7 次要方向瓣…………… 456
- 14.8 地的影响…………… 458
- 14.9 功率增益…………… 460
- 14.10 方向性…………… 461
- 14.11 終端电阻內的損失…………… 462
- 14.12 多元可控接收系統
(MUSA接收系統)…………… 465

第十五章 綫形天綫系統

- 15.1 綫形天綫系統…………… 460
- 15.2 阻抗匹配…………… 469
- 15.3 陷阱…………… 479
- 15.4 平衡天綫和不平衡傳輸綫
間的變換器…………… 471
- 15.5 饋電綫系統…………… 471
- 15.6 魚骨形天綫陣…………… 474
- 15.7 松樹形天綫…………… 484
- 15.8 波天綫…………… 487
- 15.9 并激天綫…………… 491
- 15.10 愛德考克天綫…………… 492
- 15.11 V形天綫…………… 493
- 15.12 水平全向天綫…………… 497
- 15.13 空間分集接收系統…………… 503
- 15.14 天綫系統的近似分析…………… 503
- 15.15 天綫模型…………… 505

第十六章 喇叭形天綫

- 16.1 喇叭形天綫…………… 510
- 16.2 感應定理…………… 510

- 16.3 場的等值定理…………… 513
- 16.4 自由空間中的初級場源…………… 515
- 16.5 自由空間中的惠更斯源…………… 517
- 16.6 輻射圖形…………… 517
- 16.7 方向性…………… 519
- 16.8 二面喇叭…………… 525
- 16.9 狹窄喇叭…………… 526
- 16.10 介質波導天綫…………… 528

第十七章 開槽天綫

- 17.1 电流和磁流; 電動勢和磁
勢…………… 532
- 17.2 磁流元…………… 555
- 17.3 磁流的輻射…………… 536
- 17.4 均勻磁流絲和均勻激勵的
開槽…………… 538
- 17.5 電容器天綫, 导电薄片中
的開槽…………… 540
- 17.6 開槽的波導…………… 541
- 17.7 開槽波導天綫的輻射圖形…………… 547
- 17.8 磁偶極天綫…………… 547
- 17.9 輸入区…………… 551

第十八章 反射器

- 18.1 反射器…………… 554
- 18.2 輻射圖形…………… 555
- 18.3 方向性…………… 558
- 18.4 拋物面的反射特性…………… 559
- 18.5 二面和三面的角形反射器…………… 562
- 18.6 喇叭反射器天綫…………… 565
- 18.7 反射導綫和反射平板上的
實驗数据…………… 565

第十九章 透鏡天綫

- 19.1 透鏡天綫…………… 567
- 19.2 波導透鏡…………… 569
- 19.3 人工介質…………… 570

19.4	單獨細金電桿的極化系数	571
19.5	隔離金屬球的電極化系数	573
19.6	隔離金屬球的磁極化系数	573
19.7	各種物體的極化系数	574
19.8	鄰近物體的極化和退極化 作用	577
19.9	透鏡的反射	578
19.10	增加人工介質的磁導率的 方法	578
19.11	具有大介質常数的人工介 質	579
19.12	具有代表性的幾種透鏡	582

附录,

I	傳輸線的特性阻抗	587
II	連續天線陣的圖形	589
III	圓柱形天線的輻射電阻和增 益	590
IV	均勻棧性陣的空間因數	591
V	松樹形天線的增益	593
VI	喇叭	594
VII	透鏡	595
VIII	從平行天線的輸入端看進去 的互阻抗	597
IX	媒質的常数	598
X	總結有關電磁波傳播的麥克 斯韋方程式	600

第一章 輻射的物理基础

1.1 無綫电通信

电信是利用电的信号傳送語言、音乐、圖像和其他信息的通信方式。如果声源和听者間的距离很短，語言和音乐可直接利用声波來傳送。講員或乐器使空气压力發生小的变化，并使空气質点發生連續的小的位移。这一空气扰动由声源傳播出去，到达听者的耳里或接收器里。声的扰动向四面八方扩散并随着距离的增加而减弱。語言和音乐的傳送距离可用以下方法增加。在講員或乐器附近，用麥克風來代替听者，它就会將空气压力的变化轉換为相应的电流变化。于是这个电的信号就被傳送到需要收听者附近，在那里电的信号又被轉換为空气振动。在有綫电通信中，信号是利用联接發送端設備和接收端設備的導綫來傳送的。無綫电通信是不用这种联接綫的通信。無綫电通信在理論上所以成为可能，是因为电荷对不管距离它多么远的其他电荷都有作用力。發送端电路內变化的电流將作用于接收端电路內的“自由电子”（就是容易移动的电子），因而接收端电路內产生相应的电流变化。無綫电通信借助于所設計的特殊电路來实现，这个电路称为天綫。它有效地在远处产生足够强的电力；反过来，它对外来电力的感受也特別灵敏。即使用了这种特殊电路，耦合还是微小到使我們不能不在發送端和接收端將信号放大。但是，如沒有这种特殊电路，無綫电通信几乎成为不可能。

当普通电路被改变成为有效天綫时，它們的理論就失去了大部分原有的簡單性質。我們需要新的物理概念來理解它們的性能和新的数学方法來进行它們定量方面的分析。虽然在某些情况下最后的結果比較簡單，但是我們难免要进行一些繁复的数学計算。在本章內，我們介紹有关天綫的各种問題，这些問題將在以后各章中詳加討論。我們也提出一些有关天綫性能的一般物理意义的說明，以便作为以后进行