

微波天綫計算 手冊

A. И. 阿尔达彼耶夫斯基
B. Г. 伏罗巴耶娃 著
K. И. 格利涅娃



國防工業出版社

73.4571
282

微波天綫計算 手冊

A. И. 阿尔达彼耶夫斯基
B. Г. 伏罗巴耶娃 著
K. И. 格利涅娃
范阳軍 譯

30552/17



內容簡介

在雷达、电视和微波多路中继通信中广泛地应用着微波天线，如喇叭天线、抛物面天线、透镜天线、裂缝天线、八木天线等，这些天线主要特征是它的几何尺寸比起应用波长来大得多，而它们的突出优点就是增益很大和方向性很强。

本手册简明地论述了喇叭天线、抛物面天线、透镜天线、裂缝天线、八木天线等的工程计算方法；即是应用以光学原理为基础的渐近方法，根据给定的波长和所要求的增益和方向图宽度等来决定天线的几何尺寸。

本手册是用来作为“天线电设备”课程设计的参考资料，同时也可作为无线电工程技术人员研究和设计微波天线参考之用。

ПОСОБИЕ ПО РАСЧЕТУ АНТЕНН СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ

А. И. АРДАБЬЕВСКИЙ В. Г. ВОРОПАЕВА
К. И. ГРИНЕВА
ОБОРОНТИЗ 1957

*

微波天线计算手册

范阳军译

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可出字第074号

国防工业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

*

787×1092¹/₃₂ 印张2⁵/₈ 57千字

1958年12月第一版 1963年12月第二次印刷 印数：4,701—7,700册

统一书号：15034·273 定价：(11)0.42元

前 言

本手册是供莫斯科航空学院无线电工程系四年级学生作“天线馈电设备”课程设计时应用的参考书。本手册的适用对象，是除了已经学过上述课程以外，还学习了“电磁场理论”及“无线电波的传播”的学生。

本手册在课程设计据以出题的各类天线中，只讨论分米波段及厘米波段的几种天线，即抛物面天线、裂缝天线、喇叭天线、透镜天线、八木天线等。这些天线目前还没有工程上的计算方法。

对于上列各项天线，作者并不进行理论分析，只讲述一些根据给定技术条件而计算天线时所必需的知識。此外，本手册中所提出的一些计算方法并不是极度完备的，根据这些方法，只能计算符合一定技术条件的天线。

关于每一类型天线的计算材料，本手册只讲到课程设计所需要的范围。

课程设计中所包含的一系列问题，如天线的馈电，馈线的计算及天线馈线系统的结构等，本手册没有进行讲述。

在手册内，收集了各种书刊文献中所刊载的材料并加以系统化。

手册的第一章和第四章是 К. И. 格林涅娃 (Гринева) 讲师编写的，其中第一章是参照 А. З. 弗拉金 (Фрадин) “微波天线”书中材料写成；第二章和第三章是助教 В. Г. 伏罗巴耶娃 (Воропаева) 编写的；第五章是研究生 А. И. 阿尔达彼耶夫斯基 (Ардабьевский) 根据讲师 Л. Н. 罗沙可夫 (Лошаков) 的讲义写成的。

本书在编写过程中，承 М. С. 聂以曼 (Нейман) 教授提出了许多宝贵的意见，作者们谨致以衷心的感谢。

СССР

緒 論

本手冊內講述的幾類天綫，在現代的雷達、電視及無線電中繼設備中都有着廣泛的應用。具有拋物面反射鏡的天綫、多裂縫天綫、介質天綫、透鏡天綫及具有銳定向輻射的其他類型天綫等，應用於搜索雷達。具有拋物面反射鏡的天綫還常常應用於對空跟蹤雷達與炮瞄雷達。介質透鏡系統在船舶雷達中，廣泛地用來產生旁瓣電平最小的窄束定向輻射。喇叭天綫由於在構造尺寸上有一定的限制，方向圖便比較寬。這類天綫用於飛機雷達、地面雷達與無線電中繼設備，主要是用在實驗室設備和試驗場設備內以進行天綫的實驗。介質天綫在飛機雷達中有了廣泛的應用。喇叭天綫和介質天綫可以用於氣象雷達。八木天綫在電視設備和雷達設備中有了普遍的應用。上述各類天綫除了此處舉出的一些用途以外，在現代無線電設備中，還有一系列其他的用途。

厘米波段的各種天綫系統的特點，是它的幾何尺寸大於波長。在這種系統中，輻射場大都不是利用直綫振子而是由輻射面建立起來的。

計算厘米波天綫時，可以成功地借用光學方法。不過長波技術中所採用的一些計算方法對於這個波段的的天綫仍然是有用的。

為了確定微波天綫的方向圖，應用着近似的方法，因為對於電磁波的輻射問題，只有對於幾種型式最簡單的天綫，才能求得精確的解答。

為了計算喇叭天綫、透鏡天綫、反射鏡天綫及一些其他類

型天綫，广泛地采用了以光学中著名的惠更斯原理为基础的近似法。在利用惠更斯原理的基础上，再采用克希荷夫公式，就可以根据已知的天綫孔面上的場，将方向圖計算出来。大家知道，克希荷夫公式所考虑的，是其中函数具有无向量的性質。考虑到电磁場具有向量性質，若干著作者对于这个公式作了一些修正。

在第一章（研究喇叭天綫）內，举出了一个应用克希荷夫公式以推导天綫方向圖的計算公式的例子。在紧接着的第二章和第三章內，不加推导地引用了透鏡式和抛物面天綫的方向圖的計算公式。这些公式也可以根据克希荷夫公式求出，其推导过程与第一章所講述的相似。不过应当指出，克希荷夫公式內所包含天綫孔面上的場的函数积分，不是一定能容易算出的。在这样的情况下，使用圖解分析法，或将被积函数展成級数来求取积分的解答。

为了使計算簡化起見，天綫孔面上的場通常用一个易于求出积分的适当函数来近似計算。所取的近似函数与实际分布規律愈是接近，則所得的方向圖便愈为准确。

每种天綫的便于作近似計算的函数分別在有关各章內給出。

对于大多数微波天綫來說，确定方向圖的問題，有着通用的近似求解方法；即用一个便于求积分的函数来近似地表示天綫孔面上的給定場。将这个函数代入克希荷夫公式（經過对向量性的校正或未經校正），便可将空間任意点的場計算出来。

确定孔面上的場的問題，对于不同类型的天綫，有着不同的求解方法，在本書相应各章內，有詳細的討論。

裂縫天綫（第四章中講述）的方向圖的計算方法与以惠更

斯原理为基础的方法有所不同。这是因为就实际上所見的狹窄裂縫而論，可以將其看作是直綫振子。

根据經 A. A. 畢斯托里可尔斯 (Пистолькорс) 所証明的二元性原理，計算裂縫天綫的輻射时，可以采用尺寸相当的金屬直綫振子的計算方法。由数个裂縫所組成的天綫的方向圖可以按照立体天綫陣的方向圖来决定，后者的計算，在短波天綫的理論中已有講述。該方法的实質在于根据振子內电流的給定值来將場加以确定。

八木天綫 (第五章) 的方向圖的計算也是在于对立体天綫陣进行研究。与短波技术中所遇到的同相立体天綫陣不同，八木天綫振子的激励是有相移的，这样就使得計算大大地复杂化了。

在第五章內，講述了根据 M. A. 列昂托維奇 (Леонтович) 公式以計算具有无源元件的天綫內的电流的方法，还列出了根据天綫內已知电流而計算方向圖的公式。

目 录

前言	4
緒論	5
第一章 喇叭天綫	8
1. 引言(8)——2. 外部問題的波动光学求解法(9)——3. 喇叭的孔面場(內部問題的解)(12)——4. 方向圖的分析(16)——5. 方向系数(19)——6. 喇叭天綫計算方法(24)	
第二章 介質透鏡天綫	27
1. 引言(27)——2. 介質透鏡的尺寸的選擇(30)——3. 透鏡孔面場的幅度特性曲綫的計算(34)——4. 喇叭輻射器的計算(35)——5. 水平面內的天綫方向圖的計算(36)——6. 垂直面內的天綫方向圖的計算(38)	
第三章 旋轉拋物面天綫	39
1. 引言(39)——2. 輻射器的类型及其計算(40)——3. 拋物面反射鏡的几何尺寸的選擇. 方向系数(47)——4. 天綫方向圖的計算(52)——5. 天綫計算法(56)	
第四章 裂縫天綫	58
1. 引言(58)——2. 裂縫天綫的方向圖(60)——3. 裂縫的諧振波長和輸入导納(64)——4. 裂縫与波导管的匹配(66)——5. 裂縫的寬度(70)	
第五章 入木天綫	71
1. 引言(71)——2. 无反射器的天綫的計算(74)——3. 有反射器的天綫的計算(76)——4. 天綫阻抗的計算(78)——5. 方向圖的計算(80)——6. 計算的內容(82)	

06636

73.4571
282

微波天綫計算 手冊

A. И. 阿尔达彼耶夫斯基
B. Г. 伏罗巴耶娃 著
K. И. 格利涅娃
范阳軍 譯

30552/17



內容簡介

在雷达、电视和微波多路中继通信中广泛地应用着微波天线，如喇叭天线、抛物面天线、透镜天线、裂缝天线、八木天线等，这些天线主要特征是它的几何尺寸比起应用波长来大得多，而它们的突出优点就是增益很大和方向性很强。

本手册简明地论述了喇叭天线、抛物面天线、透镜天线、裂缝天线、八木天线等的工程计算方法；即是应用以光学原理为基础的渐近方法，根据给定的波长和所要求的增益和方向图宽度等来决定天线的几何尺寸。

本手册是用来作为“天线电设备”课程设计的参考资料，同时也可作为无线电工程技术人员研究和设计微波天线参考之用。

ПОСОБИЕ ПО РАСЧЕТУ АНТЕНН СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ

А. И. АРДАБЬЕВСКИЙ В. Г. ВОРОПАЕВА

К. И. ГРИНЕВА

ОБОРОНТИЗ 1957

*

微波天线计算手册

范阳军译

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可出字第074号

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092¹/₃₂ 印张2⁵/₈ 57千字

1958年12月第一版 1963年12月第二次印刷 印数：4,701—7,700册

统一书号：15034·273 定价：(11)0.42元

目 录

前言	4
緒論	5
第一章 喇叭天綫	8
1. 引言(8)——2. 外部問題的波动光学求解法(9)——3. 喇叭的孔面場(內部問題的解)(12)——4. 方向圖的分析(16)——5. 方向系数(19)——6. 喇叭天綫計算方法(24)	
第二章 介質透鏡天綫	27
1. 引言(27)——2. 介質透鏡的尺寸的選擇(30)——3. 透鏡孔面場的幅度特性曲線的計算(34)——4. 喇叭輻射器的計算(35)——5. 水平面內的天綫方向圖的計算(36)——6. 垂直面內的天綫方向圖的計算(38)	
第三章 旋轉拋物面天綫	39
1. 引言(39)——2. 輻射器的类型及其計算(40)——3. 拋物面反射鏡的几何尺寸的選擇. 方向系数(47)——4. 天綫方向圖的計算(52)——5. 天綫計算法(56)	
第四章 裂縫天綫	58
1. 引言(58)——2. 裂縫天綫的方向圖(60)——3. 裂縫的諧振波長和輸入导納(64)——4. 裂縫与波导管的匹配(66)——5. 裂縫的寬度(70)	
第五章 八木天綫	71
1. 引言(71)——2. 无反射器的天綫的計算(74)——3. 有反射器的天綫的計算(76)——4. 天綫阻抗的計算(78)——5. 方向圖的計算(80)——6. 計算的內容(82)	

06636

前 言

本手册是供莫斯科航空学院无线电工程系四年级学生作“天线馈电设备”课程設計时应用的参考書。本手册的适用对象，是除了已经学过上述課程以外，还学习了“电磁場理論”及“无线电波的傳播”的学生。

本手册在課程設計据以出題的各类天线中，只討論分米波段及厘米波段的几种天线，即拋物面天线、裂縫天线、喇叭天线、透鏡天线、八木天线等。这些天线目前还没有工程上的計算方法。

对于上列各項天线，作者并不进行理論分析，只講述一些根据給定技术条件而計算天线时所必需的知識。此外，本手册中所提出的一些計算方法并不是極度完备的，根据这些方法，只能計算符合一定技术条件的天线。

关于每一类型天线的計算材料，本手册只講到課程設計所需要的范围。

課程設計中所包含的一系列問題，如天线的饋电，饋线的計算及天线饋线系統的結構等，本手册沒有进行講述。

在手册內，收集了各种書刊文献中所刊載的材料并加以系統化。

手册的第一章和第四章是 К. И. 格林涅娃 (Гринева) 講师編写的，其中第一章是参照 А. З. 弗拉金 (Фрадин) “微波天线” 書中材料写成；第二章和第三章是助教 В. Г. 伏罗巴耶娃 (Воропаева) 編写的；第五章是研究生 А. И. 阿尔达彼耶夫斯基 (Ардабьевский) 根据講师 Л. Н. 罗沙可夫 (Лошаков) 的講义写成的。

本書在編写过程中，承 М. С. 聶以曼 (Нейман) 教授提出了許多宝贵的意見，作者們謹致以衷心的感謝。

СССР

緒 論

本手冊內講述的幾類天綫，在現代的雷達、電視及無線電中繼設備中都有着廣泛的應用。具有拋物面反射鏡的天綫、多裂縫天綫、介質天綫、透鏡天綫及具有銳定向輻射的其他類型天綫等，應用於搜索雷達。具有拋物面反射鏡的天綫還常常應用於對空跟蹤雷達與炮瞄雷達。介質透鏡系統在船舶雷達中，廣泛地用來產生旁瓣電平最小的窄束定向輻射。喇叭天綫由於在構造尺寸上有一定的限制，方向圖便比較寬。這類天綫用於飛機雷達、地面雷達與無線電中繼設備，主要是用在實驗室設備和試驗場設備內以進行天綫的實驗。介質天綫在飛機雷達中有了廣泛的應用。喇叭天綫和介質天綫可以用於氣象雷達。八木天綫在電視設備和雷達設備中有了普遍的應用。上述各類天綫除了此處舉出的一些用途以外，在現代無線電設備中，還有一系列其他的用途。

厘米波段的各種天綫系統的特點，是它的幾何尺寸大於波長。在這種系統中，輻射場大都不是利用直綫振子而是由輻射面建立起來的。

計算厘米波天綫時，可以成功地借用光學方法。不過長波技術中所採用的一些計算方法對於這個波段的的天綫仍然是有用的。

為了確定微波天綫的方向圖，應用着近似的方法，因為對於電磁波的輻射問題，只有對於幾種型式最簡單的天綫，才能求得精確的解答。

為了計算喇叭天綫、透鏡天綫、反射鏡天綫及一些其他類

型天綫，广泛地采用了以光学中著名的惠更斯原理为基础的近似法。在利用惠更斯原理的基础上，再采用克希荷夫公式，就可以根据已知的天綫孔面上的場，将方向圖計算出来。大家知道，克希荷夫公式所考虑的，是其中函数具有无向量的性質。考虑到电磁場具有向量性質，若干著作者对于这个公式作了一些修正。

在第一章（研究喇叭天綫）內，举出了一个应用克希荷夫公式以推导天綫方向圖的計算公式的例子。在紧接着的第二章和第三章內，不加推导地引用了透鏡式和抛物面天綫的方向圖的計算公式。这些公式也可以根据克希荷夫公式求出，其推导过程与第一章所講述的相似。不过应当指出，克希荷夫公式內所包含天綫孔面上的場的函数积分，不是一定能容易算出的。在这样的情况下，使用圖解分析法，或将被积函数展成級数来求取积分的解答。

为了使計算簡化起見，天綫孔面上的場通常用一个易于求出积分的适当函数来近似計算。所取的近似函数与实际分布規律愈是接近，則所得的方向圖便愈为准确。

每种天綫的便于作近似計算的函数分別在有关各章內給出。

对于大多数微波天綫來說，确定方向圖的問題，有着通用的近似求解方法；即用一个便于求积分的函数来近似地表示天綫孔面上的給定場。将这个函数代入克希荷夫公式（經過对向量性的校正或未經校正），便可将空間任意点的場計算出来。

确定孔面上的場的問題，对于不同类型的天綫，有着不同的求解方法，在本書相应各章內，有詳細的討論。

裂縫天綫（第四章中講述）的方向圖的計算方法与以惠更

斯原理为基础的方法有所不同。这是因为就实际上所見的狹窄裂縫而論，可以將其看作是直綫振子。

根据經 A. A. 畢斯托里可尔斯 (Пистолькорс) 所証明的二元性原理，計算裂縫天綫的輻射时，可以采用尺寸相当的金屬直綫振子的計算方法。由数个裂縫所組成的天綫的方向圖可以按照立体天綫陣的方向圖来决定，后者的計算，在短波天綫的理論中已有講述。該方法的实質在于根据振子內电流的給定值来將場加以确定。

八木天綫 (第五章) 的方向圖的計算也是在于对立体天綫陣进行研究。与短波技术中所遇到的同相立体天綫陣不同，八木天綫振子的激励是有相移的，这样就使得計算大大地复杂化了。

在第五章內，講述了根据 M. A. 列昂托維奇 (Леонтович) 公式以計算具有无源元件的天綫內的电流的方法，还列出了根据天綫內已知电流而計算方向圖的公式。

第一章 喇叭天綫

1 引 言

为了确定由喇叭天綫所产生的輻射，必須知道場在喇叭內面及沿喇叭孔面的分布状况。不过这个場是随着喇叭的外場而变化的。換句話說，要准确的算出方向圖，便須將喇叭和波导管看作是其中装有一个激励探針或别的激励装置的一个开口的导电表面 S_1 (圖 1.1)，并且求出这个系統中，在喇叭內部和外部所有无限空間內的場的向量。由于数学上的一些困难，这个问题目前还没有精确地解决。

現在，Л. А. 文什金 (Вайнштейн) 只是对波导管开口端輻射的問題求得了在电动力学方

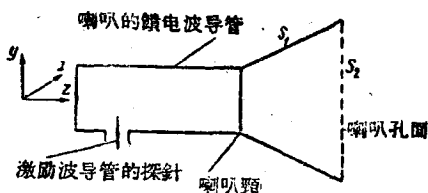


圖 1.1 提出严密的电动力学問題。面的严密解答 (參閱1948年苏联科学院物理学报)。

在确定喇叭天綫場的时候，如像对于大多数微波天綫一样，需要采用近似方法。根据这个方法，輻射圖是在某些理想化的条件下来进行計算的。这里認為，在喇叭孔面內 (在 S_2 平面內)，場是未曾受到扰動的，而只由工作在行波状态的基本振蕩所形成。外部場則是在下一步根据取定的喇叭孔面內場的分布規律来加以确定。喇叭內部和外部的两个場应当通过孔面 S_2 內的連續性条件而联系起来。

这样一来，决定場的向量 (符合馬克斯威尔方程及在全部

无限空間內符合边界条件) 的电动力学問題就有条件地分成两个問題——内部問題(确定喇叭內的場) 和外部問題。

由此可見, 近似計算法的实質, 就在于不管喇叭內外場之間的联系, 而将内部問題与外部問題分开, 独立求解。解出喇叭口 S_2 平面內的場值后, 再用以求解外部問題。

2 外部問題的波动光学求解法

解外部問題时, 假定喇叭孔面上的場是已知的。为了解决这个問題, 可以采用以惠更斯原理为基础的波动光学法。

惠更斯原理的数学表达式就是克希荷夫公式:

$$\psi = -\frac{1}{4\pi} \int_S \left[\psi_S \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{-jkr_{SM}}}{r_{SM}} \right) - \frac{e^{-jkr_{SM}}}{r_{SM}} \frac{\partial \psi_S}{\partial n} \right] dS, \quad (1.1)$$

式中 ψ ——表征空間任意点 M 的电磁場的函数。

ψ_S ——函数 ψ 在 S 表面上的数值 (S 表面系由 S_1 与 S_2 相加而成, 見圖 1.1)。

为了使問題簡化起見, 我們假定函数 ψ_S 在 S_1 表面(金屬的外表面)上等于零, 只有在天綫孔面內, 即在 S_2 表面上, 才不等于零。

r_{SM} —— S 表面上各点与 M 点之間的距离。

$\frac{e^{-jkr_{SM}}}{r_{SM}}$ —— { 这是一个因子, 表征 S 表面上各点所生球面波的場的振幅与相位随距离 r 而变化的情形。

n —— S_2 表面的外法綫。

可以指出, 在最簡單的情况下, 即当 S_2 是平面的时候, ψ 的式子可以簡化为:

$$\psi = \frac{j}{\lambda} \int_{S_2} \cos(\vec{n}, \vec{r}_{SM}) \psi_S \frac{e^{-jkr_{SM}}}{r_{SM}} dS \quad (2.1)$$