

公寸波与公分波的 傳播

A. Г. 阿林貝尔格 著



國防工業出版社

73.457
282

公分波与公分波的 传播

A. Γ. 阿林貝尔格著
尚志祥译

34852/21



1964 第2版

書中研究了公寸波与公分波在各种条件下的傳播問題，并引用了一些計算公式和实际特性知識。書中尽可能地以最近在这方面所获得的資料來說明。叙述中沒有采用繁瑣的数学公式。

本書主要地供給实际工作在公寸波与公分波技术領域內的讀者們之用。但是可以預料，它对相应学校的大学生們和教員們亦是有用的。

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ДЕЦИМЕТРОВЫХ
И САНТИМЕТРОВЫХ ВОЛН

А. Г. ДРЕНБЕРГ

СОВЕТСКОЕ РАДИО 1957

*

公寸波与公分波的传播

尚志祥譯

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业登记证出字第 1374 号

国防工业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

*

787×1092 1/16 印張 16 1/4 397 千字

1959年5月第一版 1964年1月第二次印刷 印数: 5,601—6,550册

統一書号: 15034·343 定价: (11)2.50 元

前 言

超短波、特别是公寸波与公分波的实际意义近年来是大大地提高了，需要通晓这些电波传播问题的人们的范围是大大地扩大了。遵此，作者试图用十分易懂的形式来阐明公寸波与公分波传播的主要问题。同时，作者主要地是以实际工作在公寸波与公分波技术领域内的读者们为对象。但是可以预料，本书对于相应学校的大学生们和教员们亦是有用的。

关于所述的问题，作者力图详细地谈到现象的物理方面，而不诉诸于繁复的数学演算，并尽可能地用图表以及有时用数量上的例子来说明。同时，料想读者已熟悉有关电磁波方面的基本概念和有了关于天线的一般概念。不过作者仍认为简短地温习一下与所述材料有直接关系的一些问题仍是有益的。此外，加入不大部分的关于地形断面图的绘制、气象学的必要知识和关于仪表和测量方法的某些补充知识看来是合适的。这就使得许多主要问题的阐述容易了，并使其更具体了。这些补充的主要部分放在附录中，有的则用小号字体印于正文中。初学的读者如只希望获得公寸波与公分波传播的一般概念，可以把这些部分略过不看。

书中感到了目前还比较不充分的关于公厘波传播的材料以及利用了一些关于公尺波传播的实验资料。这些材料的编入可以用更全面的观点来分析与公寸波和公分波直接有关的主要问题。

Б. А. 符凡琴斯基 (Б. А. Введенский) 表现了对本工作的很大关怀，他读了本书的手稿并提出了许多宝贵的意见。各种科学讨论和同事们友谊的批评亦是非常有益的。在本书某些章节的准备中，И. Ц. 比克 (И. Ц. Пик)、А. В. 索可洛夫 (А. В. Соколов) 和 Д. М. 维索可夫斯基 (Д. М. Высоковский) 帮助了作者。作者也顾及了 К. Н. 脱罗飞莫夫 (К. Н. Трофимов) 和 В. И. 夏姆休耳 (В. И. Шамшур) 所发表的许多见解。所有上述人们作者都给以深厚的感谢。

А. Г. 阿林贝尔格于苏联科学院无线电与
电子学研究所，莫斯科，1956年8月。

序 言

我們的国家——无綫电的祖国，是近十年来在无綫电方面最有偉大成就的国家之一。无綫电的發明者亞历山大·史契潘諾維奇·波波夫早在1889年就获得了重要的关于利用电磁波对远距离發送訊号的可能性的結論。在他面前提出了这个任务后，經過了六年，于1895年5月7日他成功地实现了。这一天便是无綫电的發明日。再經過二年后 A. C. 波波夫就得到了关于无綫电波在实际条件下傳播的第一个实验資料，發現了无綫电波被船艦所屏蔽并指出了研究地面、大气層及地物影响的必要性。

A. C. 波波夫的功績只有在偉大的十月社会主义革命之后，当祖国的科学与技术开始了从未有过的兴隆时期后才得到真正的認識。早在苏維埃共和国的初創时期，B. И. 列宁就預言了无綫电的未来發展。在共产党的领导下苏联人民成功地实现了这一点。在苏联已經建立了現代的强大的无綫电工业，建立了广闊的无綫电广播網。在偉大的衛國战争年代里，苏联军队和前线装备了优等質量的最新的无綫电設備。现在摆在苏联專家面前的是繼續發展无綫电这一重要而光荣的任务。

在完成五年計劃的基础上，我們的国家达到了經濟建設与文化建設領域內的巨大进步。由于这些，大大地提高了广闊地应用远距离通訊体系的要求，使得能够同时进行成百路電話的通话，交換电视的节目以及对發电站、水力樞紐、輸油管等等自动化設備發送遙控的訊号。

如我們所知道的，无綫电中繼綫是由两个終端站和許多中間的接收-發送站組成，站与站間的距离通常約为几十公里。个别情况下这个距离还更远（200~300 公里）。这些中間站轉播（也就是接收及自动發送）了全部綫路上的對話。一般中繼綫的長度可以达到几千公里。

中繼綫多半工作在公寸波与公分波波段。这些波的应用保證了无綫电中繼通信的方向性，能够在許多情况下应用極小功率的无綫电台，減小了相互干扰的可能性以及避免了电离層的影响。由于这些以及其他几种原因，如由于对各种目标（飞机、船艦、烏云、雨等等）有强的无綫电回波和由于有精确地决定它們的位置的可能性，这些电波也通常应用在雷达中。所以所有这些无綫电設備的設計与使用都紧紧地关联到深入地研究公寸波与公分波在不同条件下傳播特点的必要性。近年来这些研究扩展到毫米波方面。这一方面的工作密切地关系到关于无綫电波傳播理論的总的發展。

如所周知，这个科学課目紧紧地与物理学（电动力学、光学、統計物理学及部分的物質結構）、地球物理学（电离層物理、地面的电性質）、气象学（高空气象学、气候学及天气学）、天文学及測地学有关。无綫电波傳播範圍內的实验研究借助于无綫电技术設備（接收-發射与无綫設備、无綫电測量仪表、电子射綫管显示器等等）来进行。

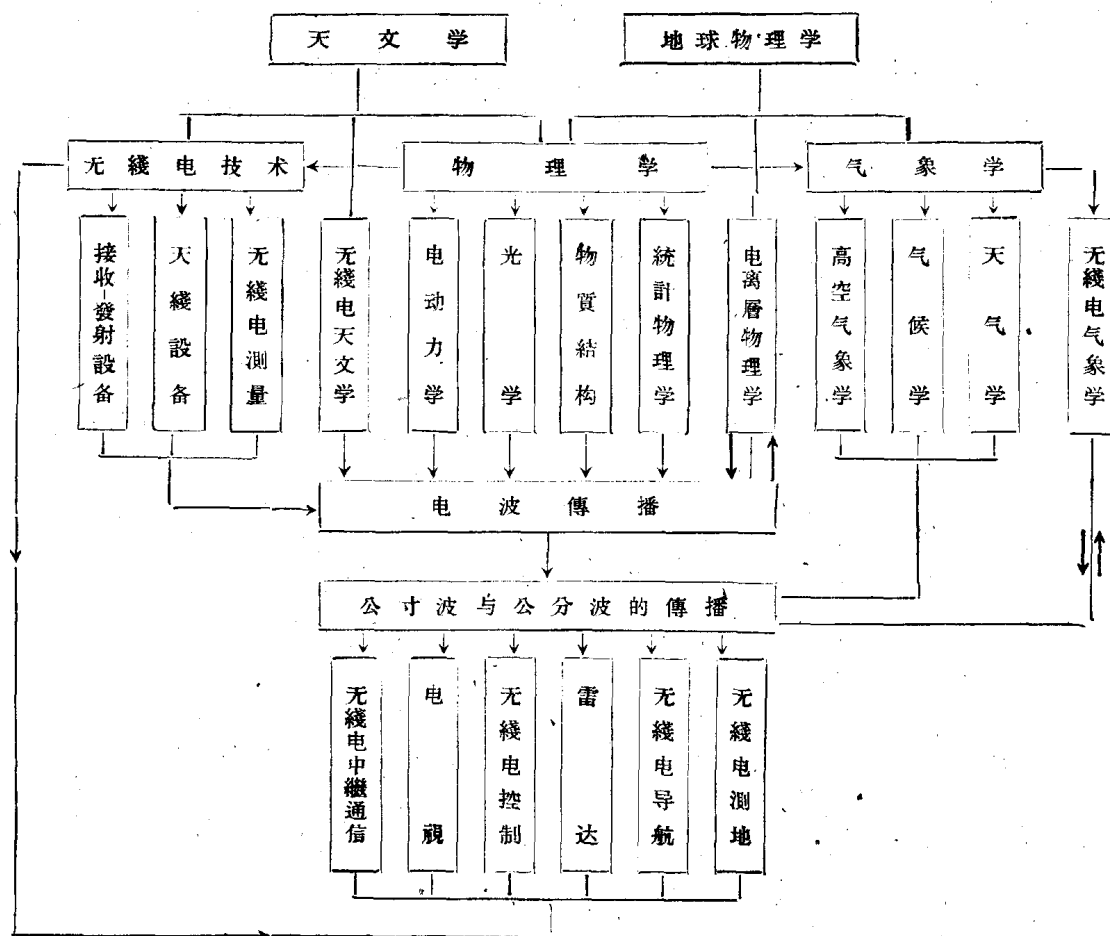
在研究无綫电波傳播时，主要的注意力集中于發射与接收間所發生的过程，在接近于地球表面以及不同的大气層內[●]。在其目前的状况下，无綫电波傳播的理論解析了所研究現象的物理

● 因此无綫电波沿着各种金屬导体及波导的傳播不列在这一定义所包括的問題範圍內。

性質，指出了繼續研究的道路，給出了計算的关系式及推导出为設計及使用各种无綫电設備所必須的結論。

公寸波与公分波的研究結果利用在无綫电中繼通信、电视、无綫电控制、雷达、无綫电导航及无綫电測地中。同时公寸波与公分波傳播的研究能够促进新的科学課目的出現与發展，如无綫电气象学、无綫电天文学及部分的无綫电光譜学。

关于无綫电波傳播理論与其他科学和技术領域間的上述相互关系可以用圖表表示如下：



說明电波傳播理論与其他科学技术領域的相互关系的概略圖。

公尺波傳播的詳細研究是在公寸波与公分波的研究工作之前，在苏联由 Б. А. 符凡琴斯基 (Б. А. Введенский) 及 А. И. 达尼立夫斯基 (А. И. Данилевский) 开始于1922年。于1928年 Б. А. 符凡琴斯基已經获得了第一个关于这些电波在平地上傳播的計算公式。在1928~1930年这个公式曾被 А. В. 阿斯达弗耶夫 (А. В. Астафьев), А. Г. 阿林貝尔格及 Ю. Н. 舒因 (Ю. Н. Шейн) 等人在地面上以及在飞机与气球上当飞行时用实验作过各方面的校驗。

这时候已經知道了公尺波的无綫电接收有时候可能达到远远超过地平綫視界的距离。同时接收訊号电平照例地極大，并且作極不經常的变化，其持久時間在很寬的範圍內变化——从几日、几小时到几分几秒。此外，那时也已經知道公尺波从高空电离層的反射較弱，然而我們知道电离層对短波的傳播起着重要的作用。所以伴随着公尺波的傳播而指明的現象，能够完全令人

信服地代替以另外一种發生在大气中低的一層——对流層中的过程。但是由于地平綫範圍內的无綫电接收更穩定，許多研究者的注意力那时候主要集中在考虑与天綫高度、距离、波長及極化等影响有关的問題上。

鑒于地形的影响使場强与距离的关系难以确定，А. Г. 阿林貝尔格，В. А. 庫索夫欽 (В. А. Кузовкин)，В. И. 班西可夫 (В. И. Пейсиков)，М. Л. 斯利奧士貝尔格 (М. Л. Слиозберг)，Ю. Н. 舒因等人于1932年在黑海进行了一系列的實驗。實驗表明了由于繞射与折射的緣故，公尺波的接收能够超出地平綫之外。大概也是在那个时候，М. Т. 格立珂娃 (М. Т. Грехова) 及 В. М. 鮑夫雪凡罗夫 (В. М. Бовшеверов) 在莫斯科与刘貝尔察 (Люберц) 間进行了公寸波的銳方向性通信。1933年在 В. А. 符凡琴斯基领导下由 М. Л. 斯利奧士貝尔格，Е. Н. 麦易日尔斯 (Е. Н. Майзельс)，В. И. 班西可夫，Е. А. 賽林 (Е. А. Селин) 等人組成的科学考察团在黑海进行了工作。那时确定了，在良好的气象条件下公寸波的接收也有可能超出地平綫距离3~4倍。根据这些工作，不久就制造了当时实际应用的苏联的公寸波設備 (在作者的参与下)。

研究繞射理論發展的 В. А. 符凡琴斯基于 1935 年發表了第一个超短波繞射公式，这是在一一定的誤差下获得的以及为地平綫之外运用的 (按現代的術語說，称为阴影区域)。不久 (1936~1937年) 他把这个公式概括入升高的發射天綫与接收天綫的情况內，并且于1942年編制了通用的圖表，大大地簡化了全部的計算。1946年他与 М. И. 包諾馬烈夫 (М. И. Пономарев) 一同研究了关于用等效地球半徑計算折射的問題。后来 В. А. 福克 (В. А. Фок) 做了重大的进展，他开始于 1944 年發表了一系列的工作，包括繞射問題的一般解答以及后来的无綫电波的折射問題。也同样应当注意 П. Е. 克拉斯努舒金 (П. Е. Краснушкин) 的工作 (1947 年)，他在理論上研究了关于大气波導的問題以及特別是 В. А. 福克后来的工作 (1950~1956年)，給出了非均匀大气層中电波傳播的一般解答，以及 С. Я. 勃拉烏其 (С. Я. Брауде)，В. Н. 脫罗以察基 (В. Н. Троицкий) 及 А. Н. 卡利宁 (А. Н. Калинин) 等关于其他一系列重要問題的論文。

关于超短波傳播的国外研究方面，可以举出下列許多人的工作：斯脫烈脫 (Стрет)，埃克卡尔脫 (Эккарт)，帕林特立 (Плендль)，帕費斯捷尔 (Пфистер) 及克林干尔 (Клинкер) (德国)；如屋 (Жуо)，伏日 (Вож)，屋尔多士 (Оргуз)，夏文斯 (Шаванс)，菩阿其 (Буать) 及勃拉斯賽利 (Блассель) (法国)；斯米脫-洛士 (Смит-Роз)，麦克-班脫利 (Мак-Петрь)，曼谷烏 (Мегоу)，山克斯吨 (Секстон) 及拉也达 (Райд) (英国)；諾尔頓 (Нортон)，貝洛烏士 (Берроуз)，菩监耳 (Букер)，菩林格頓 (Буллингтон)，脫罗列士 (Тролез)，高尔登 (Гордон)，监罗尔 (Керрол) 及巴尔西斯 (Барсис) (美国)；諾尔索凡尔 (Норсовер) (加拿大)；貝克門 (Бекман) (捷克)；松尾 (Мацуо) (日本) 等等。

*

*

*

随着过渡到公寸波与公分波的应用，对流層的影响开始观察到很多，并且开始应用在較短的距离。同时由于天綫方向性的增加，关于地面影响的問題在許多情況下成为不怎么迫切的了，譬如当公寸波与公分波在“自由空間”中傳播时 (見第11頁中的表)。因此关于对流層对公寸波与公分波傳播的影响的問題看来是注意的中心了。

此外，还确定了許多在公寸波与公分波傳播时所出現的新的独特的因素，这是較長的波傳播时所沒有的 (或者在所有情況下是較少的)。这里应当举出的，譬如公寸波与公分波被各种目标散射 (二次輻射) 的問題，关于被雨霧所衰減的問題 (在公厘波中还被氧气及水气所衰減)

以及其他种种問題。大約从40年代开始公寸波与公分波傳播的研究工作特別緊張，那时候拟制了产生与接收这些电波足够的現代化方法，能够制造現代的无綫电中繼綫和雷达站。从公寸波与公分波傳播的观点看来，这些无綫电技术部分有很大的共同点，并能够互相补充。

这里首先需要說明接收点場强与所用設備的电气数据、地形、發射点与接收点的相互位置（在雷达的情况中为所观察的目标）及气象条件的关系。

現在已經很清楚地知道：伴随着公寸波和公分波在对流層中傳播的气象現象是接收訊号电平晝夜、季度及短時間变化的原因。它們有时候引起了被观察的无綫电通信及雷达作用距离的巨大增加，从对流層获得回波以及其他許多現象。这些問題的总和組成了与电波傳播理論及气象学有关的无綫电气象学的主要内容，这里的气象学是指發生在大气層内部的过程及其預測的研究。

近5~8年来得到了关于公尺波、公寸波及公分波超越地平綫距离几百公里傳播的新資料。这种情况往往称为超短波的对流層远距离傳播。看来它具备着某些特点，要解析它应当轉到高空气象方面的研究。所得結論指出：由于空气介电常数的起伏所引起的无綫电波散射起着重要的作用，而介电常数的起伏則是因空气的湍流运动而形成[●]。当这种散射表現得十分明显时，这种超短波傳播可以称为，譬如說，漫射（Диффузный）。这証实了接收訊号的起伏特性，天綫定向及其方向性的相互影响以及某些其他的現象。同一时候訊号电平平均值与空气介电常数垂直梯度間的关系还不允許放弃繞射-折射概念的繼續發展。

这个問題的总的見解，能够普及到全部現象并能估計每一个的作用，到現在还不曾有。必須繼續进行理論及實驗上的研究。其中必須要研究气候条件的影响，它到現在还很不清楚。但是已有的實驗資料已經有足够的根据用来实际利用远到200~300公里的对流層超短波傳播。在这方面有完全具体的关于多路广播及电视的成就。

目前公寸波与公分波在各种条件下傳播的理論与實驗研究已經有如此大的进展，同时所积累的資料也是如此丰富与多种多样，所以合理分类的本身是有不少的困难。現在这种分类应当根据地面及对流層影响的綜合估計（見表）。除了一定的显明性外，这种分类的主要便利是可以比較容易地对比任一种傳播条件下的實驗資料与理論資料。但是不言而喻，这些分类也同其他类似的問題一样，在各种範圍間是完全不会有任何尖銳的与明显的界限。所以很自然，与当地的条件有关，这些界限可以向任一方面偏移，而且可以互相超越。

包含在这个表里的自然条件（地形、气象条件、地物的位置等等）是如此多种多样，同时有着如此复杂的相互联系，要对每个个别情况作准确的定量的估价是極其困难。这是因为在实际条件下，在决定接收点場强中起作用的不仅仅是主要的現象，而且还有附带的及次要的現象。它們的表現形式是訊号电平的随机变化（其中如衰落），这些能够發生，但也能够消失，或成为另一种样子。这些随机現象的影响是多种多样的与矛盾的，但各別結果經過許多次的統計分析能够得出一定的平均数据，它是公寸波与公分波在这些条件下傳播的主要特点。这意思就是說，离开了建立在各种簡單假定之上的公寸波与公分波傳播理論，这里所要求得到的仅仅是实际所必須的平均值。除这些以外还必须同样假定实际上可能的偏离平均值的数值，并知道这种偏离的原因。

● 有时候公尺波的接收甚至可以达到1500~2000公里，但这是属于超短波的电离層傳播問題。除了某些共同的理論外，这些問題还有自己很大的特点，我們这里不去研究它。

現在公分波与公分波傳播理論被苏联学者成功地朝着两个互相弥补的方向發展。一个是对研究問題的“工程上”的提法，其基础是尽可能地接近于实际的簡單办法。在許多情况下这可以推导出比較簡單而明显的公式与圖表，用起来不需要很長的时间 and 特別熟練的程度。事实上說明这种解决办法通常是完全有效的。另一个是較为严格的理論上的論述，并应用了复杂的数学工具。这样所得到的公式常常能够很好地注意到各个因素的影响以及观察出其中的微妙之处，这可以加速在不严格求解时对問題的解决。但是这种公式通常極为复杂，計算它們需要有足够的熟練程度、大量的时间以及应用各种計算装置。实际上这种計算的价值主要是在于帮助决定前面所講的簡單公式的应用范围。同时，实验的研究以及我們感兴趣的波段内的各种无线电設備的使用具有重大的意义。这种研究在苏联进行，也在国外进行（美国、英国、法国、日本及部分的其他国家），并且普及到不同的地理区域。关于这些工作我們将在下面介紹。

*

*

*

我們簡短的序言說明了虽然成績是有的，但是公分波与公分波的傳播还需要繼續进行科学研究工作。必須扩大到不同的地理区域中去，要有良好的进行工作的技术装备以及很快地把所得結果用于实际中。同时不应当忘記，国外的实验虽然有时候是有价值的，但是离开不了落在其身上的經濟上的烙印、公司的竞争等等，这些在很大程度上决定了研究的方向。所以第六个五年計劃的工作綱領要求我們有自己的發展道路。

我們确信，苏联專家們在数量上不断地从有良好培养的青年中得到补充的条件下将能成功地担負起这一任务，同时为了各种目的，公分波与公分波的实际应用范围在最近时期必将大大地扩展。

超短波傳播主要現象的概略分类

区域种类和相应的綫路	傳播种类和主要現象的一般特性	主 要 情 况
自由空間区	自由傳播 地面的影响实际上没有。对远距离由于折射的緣故，无线电波的軌道有某些弯曲。由于散射，訊号有某些起伏。由于水汽物 ^① ，冰塊及水汽的緣故，公分波、特别是公分波的接收可能有某些衰减。	a) 无线电波傳播發生在离开地面很远的地方 б) 无线电波从地面的反射明显地表現为漫射的特性 B) 所采用的方向性保証了离开地面而發射
照光区 開闢綫路	干涉傳播 直接波与从地面反射的波相干涉。折射与部分的散射形成季度的、晝夜的和短暫的訊号电平的变化及无线电波到达角的变化。	a) 平地（大陆上） б) 海面 B) 无遮蔽的縱橫交叉地
阴影和半阴影区 較短距离的遮断綫路和半遮断綫路	繞射傳播 接收是由于无线电波圍繞着遮蔽障碍物的繞射。在公尺波和在个别情况下可以使訊号电平有某些增加。折射与散射使訊号电平变化并使其稳定性变坏。	遮蔽是由于： a) 地球曲率 б) 山脊和山崗 B) 地物
深阴影区 較远距离的遮断綫路	远 距 离 傳 播 由于对流層的非均匀性而产生了无线电波的反射，折射和散射，可以在远远超过直視的距离上接收。在公分波、特别是公分波应当計算水汽物、冰塊和水汽所引起的衰减。	a) 波导傳播 б) 層的非均匀性的反射 B) 漫射傳播

① 水汽凝結物（雨、霧、云、雪等等）。

目 录

前言	5
序言	7
第一章 公分波与公分波在自由空間的傳播	13
§1 电磁波	13
1 公分波与公分波	13
2 場强、相位与无綫电波的傳播速度	14
3 无綫电波的能量与極化	16
4 无綫电波的相加	17
§2 关于天綫的一些知識	19
1 發射天綫与接收天綫的方向性和互易性	19
2 公分波与公分波天綫的方向圖和方向系数	20
3 接收机的輸入功率	22
4 无綫电波傳播时的衰减	23
§3 不同目标的无綫电回波	25
1 无綫电波的繞射	25
2 公分波与公分波被各种物体的散射	26
3 各种目标的有效散射面	28
4 半波振子、球与平面	29
5 角形反射体	30
§4 对于无綫电通信和雷达的主要相互关系	31
1 符合于自由空間的条件	31
2 无綫电通信和雷达	31
3 关于最大作用距离	33
4 关于无源轉播站	33
第二章 光滑地面的影响	36
§5 前言与术语	36
1 地及对流層的影响因子	36
2 几何地平綫	36
3 照亮区、半阴影区与阴影区	37
4 開闊的与遮断的綫路。抛物綫坐标格子	38
§6 公分波与公分波被地面的反射与吸收	40
1 鏡式与散射式(漫射)的反射	40
2 反射系数(鏡式)	43

3 一些实验数据	45
4 吸收	49
5 地面的电性質	50
§7 平直地面的影响	52
1 反射(干涉的)公式	52
2 地面影响因子与天綫高度、距离和波長的关系	55
3 有效反射系数的影响	56
4 关于天綫垂直面方向性的影响	60
5 平方公式	60
§8 地球曲率的影响	61
1 反射点位置	61
2 折合高度和行程差	63
3 关于球形地球的反射和反射公式的适用性	66
4 距离、高度和仰角的影响	69
5 通信范围和探测范围	74
第三章 地形的影响	77
§9 交叉复杂地	77
1 关于地面断面圖的制作	77
2 具有若干反射点的綫路	78
3 复杂断面的綫路上行程差和透过高度的决定	81
§10 反射点和夫累涅耳区	83
1 无綫电波反射之射綫(几何的)和波动的解釋	83
2 自由空間中和带有圓孔屏蔽时的夫累涅耳区	83
3 公分波与公分波从地面反射时的夫累涅耳区	85
§11 山脊和山崗的影响	87
1 有阴影区的綫路	87
2 无綫电波对不透明楔形屏的繞射	88
3 关于公分波与公分波在山脊和山崗上的繞射	90
4 干涉現象的計算。楔形屏蔽的“放大”	91
§12 关于地物的影响	95
1 樹林的影响	95
2 建筑物的影响	97

3 甲板上的建筑物和船艙的影响	98
4 高崗和地物的回波	99
第四章 与气象学有关的问题	101
§13 关于气象学的一些知識	101
1 无线电气象学	101
2 空气的組成、大气压力及温度	102
3 空气湿度和水汽物	103
4 气象要素与高度的关系	104
5 关于空气运动、空气团及鋒	106
§14 空气的折射特性	109
1 介电常数和折射系数	109
2 关于介电常数和折射系数与高度的关系	110
3 介电常数及折射系数的垂直梯度	112
4 介电常数及折射系数的起伏	113
§15 水汽物和空气中水汽对公寸波与公分波傳播的影响	118
1 概述	118
2 一些数据	119
3 雨、烏云和云的回波	123
4 关于水滴的有效散射面	128
第五章 公寸波与公分波在对流層中的傳播	130
§16 公寸波与公分波的折射	130
1 軌道的弯曲	130
2 等效地球半径	133
3 折射的各种型式	134
4 折合折射系数	136
§17 折射的影响	140
1 折射角与到达角的变化	140
2 行程差与折射的关系	145
3 地面影响因子与折射的关系	145
4 符合于所选择的場强变化范围内的距离和高度	147
§18 波导傳播	149
1 一般特点介紹	149
2 現象的質的方面	150
3 場强与距离和高度的关系	153
4 探测区域和反常的光学現象	155
§19 逆增層的反射和多射綫的傳播	157
1 概述	157

2 逆增層的反射系数	159
3 公寸波与公分波从逆增層反射和多射綫傳播的一些实验数据	163
第六章 訊号电平与时间和气象条件的关系	169
§20 訊号电平	169
1 概述	169
2 訊号电平的記錄特性	173
3 訊号电平記錄的分析	178
4 主要气象过程的影响	183
§21 訊号电平的稳定	191
1 衰落的深度	192
2 訊号电平的稳定特性	196
3 关于通信破坏和稳定的几率	203
§22 訊号电平稳定度的提高方法	207
1 与选择綫路有关的考虑	207
2 关于分集天綫的接收	211
3 关于分集頻率的接收	215
第七章 远距离对流層傳播	217
§23 一些实验数据	217
1 概述	217
2 平均訊号电平与距离、波長、天綫高度和極化的关系	218
3 訊号电平的晝夜和季度变化。衰落和分集接收	225
4 气象和气候条件的影响	231
§24 一般特性問題	234
1 对流層中无线电波被湍流源的不均匀性所散射	234
2 接收功率	236
3 天綫增益的降低。方向圖的变寬	239
4 关于頻帶的寬度和相位的起伏	241
5 关于理論范围内的工作	243
附录 研究公寸波与公分波傳播用的設備	246
1 概述	246
2 測量訊号电平用的固定式設備	247
3 測量訊号电平用的移动式設備	254
4 研究失真的多射綫傳播(远距离对流層傳播时)和相位起伏用的特殊設備	256

73.457
282

公分波与公分波的 传播

A. Γ. 阿林貝尔格著
尚志祥译

34552/21



1964 第2版

書中研究了公寸波与公分波在各种条件下的傳播問題，并引用了一些計算公式和实际特性知識。書中尽可能地以最近在这方面所获得的資料來說明。叙述中沒有采用繁瑣的数学公式。

本書主要地供給实际工作在公寸波与公分波技术領域內的讀者們之用。但是可以預料，它对相应学校的大学生們和教員們亦是有用的。

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ДЕЦИМЕТРОВЫХ
И САНТИМЕТРОВЫХ ВОЛН

А. Г. ДРЕНБЕРГ

СОВЕТСКОЕ РАДИО 1957

*

公寸波与公分波的传播

尚志祥譯

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业登记证出字第1374号

国防工业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

*

787×1092 1/16 印張 16 1/4 397 千字

1959年5月第一版 1964年1月第二次印刷 印数：5,601—6,550册

統一書号：15034·343 定价：(11)2.50 元

目 录

前言	5
序言	7
第一章 公分波与公分波在自由空間的傳播	13
§1 电磁波	13
1 公分波与公分波	13
2 場强、相位与无綫电波的傳播速度	14
3 无綫电波的能量与極化	16
4 无綫电波的相加	17
§2 关于天綫的一些知識	19
1 發射天綫与接收天綫的方向性和互易性	19
2 公分波与公分波天綫的方向圖和方向系数	20
3 接收机的輸入功率	22
4 无綫电波傳播时的衰减	23
§3 不同目标的无綫电回波	25
1 无綫电波的繞射	25
2 公分波与公分波被各种物体的散射	26
3 各种目标的有效散射面	28
4 半波振子、球与平面	29
5 角形反射体	30
§4 对于无綫电通信和雷达的主要相互关系	31
1 符合于自由空間的条件	31
2 无綫电通信和雷达	31
3 关于最大作用距离	33
4 关于无源轉播站	33
第二章 光滑地面的影响	36
§5 前言与术语	36
1 地及对流層的影响因子	36
2 几何地平綫	36
3 照亮区、半阴影区与阴影区	37
4 開闊的与遮断的綫路。抛物綫坐标格子	38
§6 公分波与公分波被地面的反射与吸收	40
1 鏡式与散射式(漫射)的反射	40
2 反射系数(鏡式)	43

3 一些实验数据	45
4 吸收	49
5 地面的电性質	50
§7 平直地面的影响	52
1 反射(干涉的)公式	52
2 地面影响因子与天綫高度、距离和波長的关系	55
3 有效反射系数的影响	56
4 关于天綫垂直面方向性的影响	60
5 平方公式	60
§8 地球曲率的影响	61
1 反射点位置	61
2 折合高度和行程差	63
3 关于球形地球的反射和反射公式的适用性	66
4 距离、高度和仰角的影响	69
5 通信范围和探測范围	74
第三章 地形的影响	77
§9 交叉复杂地	77
1 关于地面断面圖的制作	77
2 具有若干反射点的綫路	78
3 复杂断面的綫路上行程差和透过高度的决定	81
§10 反射点和夫累涅耳区	83
1 无綫电波反射之射綫(几何的)和波动的解釋	83
2 自由空間中和带有圓孔屏蔽时的夫累涅耳区	83
3 公分波与公分波从地面反射时的夫累涅耳区	85
§11 山脊和山崗的影响	87
1 有阴影区的綫路	87
2 无綫电波对不透明楔形屏的繞射	88
3 关于公分波与公分波在山脊和山崗上的繞射	90
4 干涉現象的計算。楔形屏蔽的“放大”	91
§12 关于地物的影响	95
1 树林的影响	95
2 建筑物的影响	97

3 甲板上的建筑物和船艙的影响	98
4 高崗和地物的回波	99
第四章 与气象学有关的问题	101
§13 关于气象学的一些知識	101
1 无线电气象学	101
2 空气的組成、大气压力及溫度	102
3 空气湿度和水汽物	103
4 气象要素与高度的关系	104
5 关于空气运动、空气团及鋒	106
§14 空气的折射特性	109
1 介电常数和折射系数	109
2 关于介电常数和折射系数与高度的关系	110
3 介电常数及折射系数的垂直梯度	112
4 介电常数及折射系数的起伏	113
§15 水汽物和空气中水汽对公寸波与公分波傳播的影响	118
1 概述	118
2 一些数据	119
3 雨、烏云和云的回波	123
4 关于水滴的有效散射面	128
第五章 公寸波与公分波在对流層中的傳播	130
§16 公寸波与公分波的折射	130
1 軌道的弯曲	130
2 等效地球半徑	133
3 折射的各种型式	134
4 折合折射系数	136
§17 折射的影响	140
1 折射角与到达角的变化	140
2 行程差与折射的关系	145
3 地面影响因子与折射的关系	145
4 符合于所选择的場强变化范围内的距离和高度	147
§18 波导傳播	149
1 一般特点介紹	149
2 現象的質的方面	150
3 場强与距离和高度的关系	153
4 探测区域和反常的光学現象	155
§19 逆增層的反射和多射綫的傳播	157
1 概述	157

2 逆增層的反射系数	159
3 公寸波与公分波从逆增層反射和多射綫傳播的一些实验数据	163
第六章 訊号电平与时间和气象条件的关系	169
§20 訊号电平	169
1 概述	169
2 訊号电平的記錄特性	173
3 訊号电平記錄的分析	178
4 主要气象过程的影响	183
§21 訊号电平的稳定	191
1 衰落的深度	192
2 訊号电平的稳定特性	196
3 关于通信破坏和稳定的几率	203
§22 訊号电平稳定度的提高方法	207
1 与选择綫路有关的考虑	207
2 关于分集天綫的接收	211
3 关于分集頻率的接收	215
第七章 远距离对流層傳播	217
§23 一些实验数据	217
1 概述	217
2 平均訊号电平与距离、波長、天綫高度和極化的关系	218
3 訊号电平的晝夜和季度变化。衰落和分集接收	225
4 气象和气候条件的影响	231
§24 一般特性問題	234
1 对流層中无线电波被湍流源的不均匀性所散射	234
2 接收功率	236
3 天綫增益的降低。方向圖的变寬	239
4 关于頻帶的寬度和相位的起伏	241
5 关于理論范围内的工作	243
附录 研究公寸波与公分波傳播用的設備	246
1 概述	246
2 測量訊号电平用的固定式設備	247
3 測量訊号电平用的移动式設備	254
4 研究失真的多射綫傳播(远距离对流層傳播时)和相位起伏用的特殊設備	256

前 言

超短波、特别是公寸波与公分波的实际意义近年来是大大地提高了，需要通晓这些电波传播问题的人们的范围是大大地扩大了。遵此，作者试图用十分易懂的形式来阐明公寸波与公分波传播的主要问题。同时，作者主要地是以实际工作在公寸波与公分波技术领域内的读者们为对象。但是可以预料，本书对于相应学校的大学生们和教员们亦是有用的。

关于所述的问题，作者力图详细地谈到现象的物理方面，而不诉诸于繁复的数学演算，并尽可能地用图表以及有时用数量上的例子来说明。同时，料想读者已熟悉有关电磁波方面的基本概念和有了关于天线的一般概念。不过作者仍认为简短地温习一下与所述材料有直接关系的一些问题仍是有益的。此外，加入不大部分的关于地形断面图的绘制、气象学的必要知识和关于仪表和测量方法的某些补充知识看来是合适的。这就使得许多主要问题的阐述容易了，并使其更具体了。这些补充的主要部分放在附录中，有的则用小号字体印于正文中。初学的读者如只希望获得公寸波与公分波传播的一般概念，可以把这些部分略过不看。

书中感到了目前还比较不充分的关于公厘波传播的材料以及利用了一些关于公尺波传播的实验资料。这些材料的编入可以用更全面的观点来分析与公寸波和公分波直接有关的主要问题。

Б. А. 符凡琴斯基 (Б. А. Введенский) 表现了对本工作的很大关怀，他读了本书的手稿并提出了许多宝贵的意见。各种科学讨论和同事们友谊的批评亦是非常有益的。在本书某些章节的准备中，И. Ц. 比克 (И. Ц. Пик)、А. В. 索可洛夫 (А. В. Соколов) 和 Д. М. 维索可夫斯基 (Д. М. Высоковский) 帮助了作者。作者也顾及了 К. Н. 脱罗飞莫夫 (К. Н. Трофимов) 和 В. И. 夏姆休耳 (В. И. Шамшур) 所发表的许多见解。所有上述人们作者都给以深厚的感谢。

А. Г. 阿林贝尔格于苏联科学院无线电与
电子学研究所，莫斯科，1956年8月。

