

无线电干扰计算

柳茂春 编著

国防工业出版社

无线电干扰计算

柳茂春 编著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书对当前已开拓的无线电各个频段的干扰计算方法进行了系统全面的介绍。主要包括：长、中、短波的地波，中、短波的天波，超短波的直射波和折射波，以及微波中的卫星通信和微波中继的干扰计算方法等。

本书适于无线电管理和无线电通信工程技术人员阅读，也可作为从事无线电通信科研、生产和使用部门的技术人员的参考书。

无线电干扰计算

柳茂春 编著

责任编辑 郑 廷

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168 $1/32$ 印张 $8\frac{7}{8}$ 234千字

1988年3月第一版 1988年3月第一次印刷 印数：0,001—3,500册

ISBN7-118-00153-8/TN30 定价：2.00元

前 言

随着我国四个现代化建设的发展，无线电设备越来越广泛地得到应用，不仅国防、政府，甚至各种团体和个人都要使用它。现在，我国投入使用的无线电设备已有很大数量，这体现着我们利用无线电为社会主义建设服务事业的蓬勃发展。

无线电传递信息是靠电磁波进行的。电磁波是能量传播的一种方式，它具有有限的振荡频率。目前，由于科学技术发展水平的原因，这种有限的频率资源还没有得到充分地利用，而只能利用其中的一部分。根据我国无线电技术发展的现状，在未来的一个时期，我们要努力开拓新的无线电频谱资源。

由于我国人口分布不均匀和地理条件的原因，无线电设备在全国的应用不可能是等均的：有的地区密度大，有的地区密度小。在无线电台站设置密度大的地区，难免有多个用户同时被“挤”在同一个频率上工作。在这种情况下，如果无线电管理问题得不到妥善的解决，就不可避免地会发生相互之间的有害性干扰。

无线电管理业务大致分为两个方面：行政的和技术。当前，我们在无线电管理工作中，多侧重依赖行政措施。这种措施在无线电管理上固然占有重要位置，但是它的不足之处是有时不能科学合理地设置无线电台站。因此往往出现这种情况，为保护某一个无线电台站的安全工作，而要求其它拟建的电台与其在距离和频率上离开得越远越好。但是，这个距离究竟要求多远，要求者心中也是“无数”。对于已开设的电台，则要求暂时或长期停止使用。这不仅影响了其它事业的发展，而且也削弱了无线电设备和频谱的应有效用。另一种情况则相反，根本不考虑无线电环境就建立台站，台站建起来后因干扰不能工作，结果不得不舍址搬迁，造成人力、物力、财力和时间上的浪费。因此，无线电管理工作

必须走行政和技术相结合的道路。

技术管理就是促进无线电设施标准化,对台站进行干扰计算,使无线电频谱得到有效利用和无线电台站得到科学合理布局,即在特定的业务频段和同一个地区,最大限度地容纳更多的电台同时工作,且不相互产生有害性的干扰。

定频定点的无线电台站,干扰应解决在设备的研制过程之中,而不是解决在台站建设起来之后。无线电干扰计算,是为解决干扰和设置台站提供技术的依据。本书系统地阐述了各种无线电干扰的计算方法,因此,本书对促进无线电事业的开拓、管理和工程建设,无疑是非常需要的。

目 录

第一章	几个有关参数的计算	1
第一节	地球大圆距离及曲率高度	1
第二节	电波射线在地面上的仰角 Δ 及到达电离层的入射角 β	4
第三节	几何视距和有效视距	7
第二章	电波传播损耗计算	10
第一节	电波传播的概念	10
第二节	地波传播损耗	11
第三节	天波传播损耗	15
第四节	超短波传播损耗	25
第五节	微波传播损耗	39
第三章	天线波束方位方向性系数及方位增益计算	47
第一节	直立天线	47
第二节	双极天线	53
第三节	菱形天线	61
第四节	谐振天线阵	70
第五节	非谐振天线阵	79
第六节	鱼骨形天线	91
第七节	八木天线	98
第八节	介质天线	106
第九节	透镜天线	112
第十节	抛物面天线	117
第十一节	卡塞格伦天线	124
第四章	干扰方位角的确定	132
第一节	远距离干扰水平方位角	132
第二节	近距离干扰水平方位角	135
第三节	固定卫星网络间干扰方位角	136
第五章	干扰系统性计算	141

第一节 序言	141
第二节 地波干扰场强计算	142
一、极限距离之内	142
二、极限距离之外	145
第三节 中波天波干扰场强计算	147
一、计算法	148
二、图解法	150
第四节 短波天波干扰场强计算	151
第五节 超短波干扰场强计算	158
一、地波	159
二、空间波	159
三、山区	165
四、城市	167
第六节 固定卫星网络间干扰计算	168
一、用功率通量密度判断干扰	168
二、用卫星链路等效噪声温度增量判断干扰	171
三、用地球电台接收机输出信噪比判断干扰	179
第七节 地球电台或微波中继地面干扰协调距离	185
一、电波通过对流层传播的干扰协调距离	186
二、电波通过雨滴散射的干扰协调距离	191
附录	196
附录一	196
一、以 $\mu\text{V}/\text{m}$ 表示的天波干扰场强计算公式的推导	196
二、太阳天顶角的计算	197
附录二 计算短波天线方位方向性系数和方位增益参考图表	199
附录三 数学表	219
附录四 计算地波干扰场强参考图表	237
附录五 计算中波天波干扰场强参考图表	241
附录六 计算短波天线干扰场强参考图表	243
附录七 计算超短波干扰场强参考图表	253
附录八 地球电台和微波中继干扰协调距离参考图表	269
附录九 地图和大圆距离图	277

第一章 几个有关参数的计算

第一节 地球大圆距离及曲率高度

一、地球大圆距离

我们常说的某地到某地的距离，指的是弯曲的道路距离，不能作为干扰距离；我们在地图上量得的距离，虽然是地球大圆距离，但往往因干扰电台与被干扰电台相距甚远，在大比例尺的地图上很难度量得精确。计算干扰用的距离是指地球表面精确的大圆距离。求地球大圆距离常用的有两种方法。

（一）度量法

如果要求不是太严格，也可用度量法，在附录九的地图和曲线图上，求地球大圆距离。

用透明纸罩在图 F9-1 上，仿图划出经、纬度的基线，并标出干扰电台和被干扰电台的位置。将划好的透明纸移到图 F9-2 上，使经、纬度基线重合。标在透明纸上的干扰电台和被干扰电台的标记，就落在图 F9-2 的某条曲线上，或两条曲线之间。该图的每条曲线都注有公里数。如果干扰电台和被干扰电台在某条曲线上，此曲线注明的公里数就是干扰电台和被干扰电台之间的地球大圆距离。如果干扰电台和被干扰电台落在两条曲线之间，可利用两条曲线注明的公里数，估计它们之间的距离。

如上指出，这样求得的大圆距离是不够精确的，要精确求出干扰电台和被干扰电台之间的大圆距离，必须运用计算的方法。

（二）计算法

图 1-1 中，C 为地球北极点，A 为干扰电台所在地理位置，B 为被干扰电台所在地理位置。我们知道，球面三角的余弦定理公式是

$$\cos c = \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos \beta \quad (1-1)$$

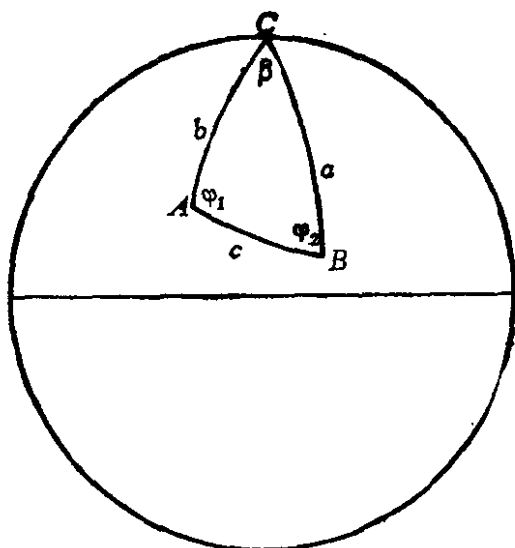


图 1-1 精确计算地球大圆距离图

已知 A 和 B 的经、纬度，则上式中的

$$a = 90^\circ - B \text{ 的纬度}$$

$$b = 90^\circ - A \text{ 的纬度}$$

$$\beta = B \text{ 的经度} - A \text{ 的经度}$$

将 a 、 b 和 β 的值代入公式 (1-1)，求 c 值：

$$c = \arccos(\cos a \cos b + \sin a \sin b \cos \beta) \quad (1-2)$$

求 $\widehat{AB}$ 弧线的公式是

$$d = (2R\pi/360^\circ) \times c \quad (1-3)$$

其中 R ——地球半径，为 6371.23km；

c ——如图 1-1 所示， A 到 B 的弧度。

将各值代入公式 (1-3) 求出 d 。这就是干扰电台到被干扰电台精确的地球大圆距离。

例 设干扰电台 A 所在地为东经 98° 和北纬 38° ，被干扰电台 B 所在地为东经 120° 和北纬 32° 。计算 A 到 B 的地球大圆距离 d 。

解

$$b = 90^\circ - 38^\circ = 52^\circ$$

$$a = 90^\circ - 32^\circ = 58^\circ$$

$$\beta = 120^\circ - 98^\circ = 22^\circ$$

将各值代入公式 (1-2)：

$$c = \arccos(\cos 58^\circ \cos 52^\circ + \sin 58^\circ \sin 52^\circ \cos 22^\circ)$$

$$=18.9396^{\circ}$$

将 c 值代入公式 (1-3),

$$\begin{aligned} d &= (2 \times 6371.23 \times 3.14159 / 360^{\circ}) \times 18.9396^{\circ} \\ &= 2106.0617(\text{km}) \end{aligned}$$

二、地球曲率高度

地球是一个圆球。虽然南极点到北极点的直线距离略小于通过赤道平面的直径,但这个差距是很微小的,在工程计算中一般可以忽略不计。因此,我们计算地球曲率高度时,可把地球各处的半径均作为 6371.23km 计算。

所谓曲率高度,就是指地球表面任意两点 A 和 B 之间连成的直线,其直线中点与地球中心连成直线,并延长至地球表面, AB 直线中点到地球表面的距离,就是我们要求的地球曲率高度,如图 1-2 所示。

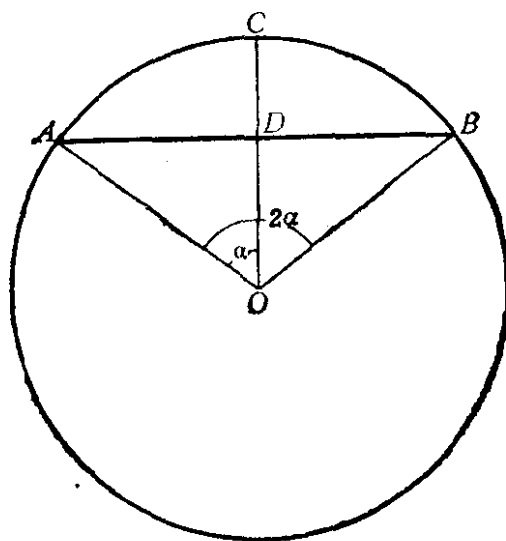


图 1-2 地球曲率高度示意图

求地球周长,

$$\begin{aligned} S &= 2 \times R \times \pi \\ &= 2 \times 6371.23 \times 3.14159 \\ &= 40031.5849(\text{km}) \end{aligned}$$

求地球圆周一个弧度的距离,

$$\begin{aligned} d_0 &= S / 360^{\circ} \\ &= 40031.5849 / 360^{\circ} \end{aligned}$$

$$=111.1988(\text{km})$$

求 A 、 B 分别到地球中心两直线之间的夹角:

$$2\alpha = d/d_0 \quad (1-4)$$

其中 d 为 A 、 B 之间大圆距离, 由公式 (1-3) 求得。设 $d = 75\text{km}$, 则

$$\begin{aligned} 2\alpha &= 75/111.1988 \\ &= 0.6745^\circ \end{aligned}$$

夹角之半为

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{d}{2d_0} \\ &= 0.3373^\circ \end{aligned} \quad (1-5)$$

在直角三角形 ADO 中,

$$\cos\alpha = OD/R$$

$$\begin{aligned} \text{所以} \quad OD &= R \times \cos\alpha = 6371.23 \times \cos 0.3373^\circ \\ &= 6371.1196(\text{km}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{所以} \quad CD &= R - OD = 6371.23 - 6371.1196 \\ &= 0.1104(\text{km}) \\ &= 110.4(\text{m}) \end{aligned}$$

这就是干扰电台 A 和被干扰电台 B 相距 75km 大圆距离时, 地球呈现的曲率高度。

第二节 电波射线在地面上的仰角 Δ 及到达电离层的入射角 β

计算经电离层反射的电波干扰, 必须计算电波射线在地面上的仰角及到达电离层的入射角。

电波射线在地面上的仰角及到达电离层的入射角, 可由有关的曲线查得, 但查得的数值不可能是很精确的。求射线仰角及到达电离层的入射角, 主要是用计算的方法。

电波射线仰角和入射角可用图 1-3 计算。按照计算地球曲率高度的办法, 计算出图 1-3 中的 AD 、 ED 和 DO 线段, 以及地

所以 $CD=ED+EC$ 。而

$$AC=\sqrt{CD^2+AD^2}$$

$$\gamma=\arcsin(CD/AC)$$

电波到达电离层的入射角为

$$\beta=90^\circ-\gamma$$

直角三角形 ADF 和 FAO 相似, 所以角 $\nu=\alpha$ 。因此

电波在地面上的射线仰角为

$$\Delta=\gamma-\nu=\gamma-\alpha$$

由此看出, 只要知道 AB 大圆距离和电离层高度, 就可求出射线仰角 Δ 和电波到达电离层的入射角 β 。

例 已知干扰电台 A 所在地为东经 $115^\circ 30'$ 和北纬 $30^\circ 45'$, 被干扰电台 B 所在地为东经 $95^\circ 30'$ 和北纬 $32^\circ 45'$ 。求干扰电台天线射线仰角 Δ 及该射线到达电离层的入射角 β 。

解 第一步 利用图 1-1、公式 (1-2) 和公式 (1-3), 求出干扰电台 A 到被干扰电台 B 的大圆距离。

大圆距离:

$$\begin{aligned} d &= 17.0984 \times 111.1988 \\ &= 1901.3216(\text{km}) \end{aligned}$$

第二步 利用公式 (1-5) 计算干扰电台 A 和被干扰电台 B 到地球中心的夹角之半。

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{d}{2 \times 111.1988} = \frac{1901.3216}{2 \times 111.1988} \\ &= 8.5492^\circ \end{aligned}$$

第三步 利用图 1-3 计算 Δ 和 β

将第二步计算的 α 值代入图 1-3 中可得

$$\begin{aligned} AD &= 6371.32 \times \sin 8.5492^\circ \\ &= 947.1383 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} OD &= 6371.32 \times \cos 8.5492^\circ \\ &= 6300.4366 \end{aligned}$$

$$ED = 6371.23 - OD$$

$$=70.7934$$

已知

$$\varepsilon = 90^\circ$$

所以

$$\tau = 90^\circ - \alpha$$

$$= 90^\circ - 8.5492^\circ$$

$$= 81.4508^\circ$$

$$\nu = \alpha = 8.5492^\circ$$

设已知电离层 F_2 层高度 $CE = 230\text{km}$, 则

$$CD = CE + DE$$

$$= 230 + 70.7934$$

$$= 300.7934(\text{km})$$

在直角三角形 ADC 中,

$$AC = \sqrt{CD^2 + AD^2} \quad (1-6)$$

$$= \sqrt{(300.7934)^2 + (947.1383)^2}$$

$$= 993.7543(\text{km})$$

所以

$$\gamma = \arcsin(CD/AC)$$

$$= 17.6189^\circ$$

$$\beta = 90^\circ - \gamma$$

$$= 72.3811^\circ$$

$$\Delta = \gamma - \nu$$

$$= 17.6189^\circ - 8.5492^\circ$$

$$= 9.0697^\circ$$

第三节 几何视距和有效视距

一、几何视距

所谓几何视距, 就是可目视到的直线距离, 如图 1-4 和图 1-5 所示。

几何视距随干扰电台和被干扰电台天线架设的高度不同而变化。图 1-4 为被干扰电台 (或干扰电台) 天线架设很低的情况。



图 1-4 被干扰电台天线高度极低

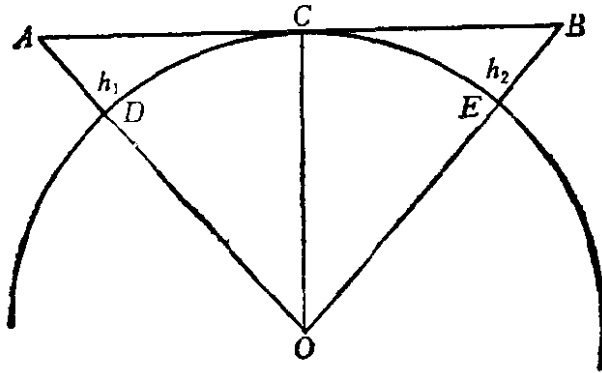


图 1-5 干扰电台和被干扰电台天线均有一定高度

图 1-5 为干扰电台和被干扰电台天线均有一定高度的情况。不管哪一种情况，其几何视距都是地球的切线。该切线是干扰电台天线顶端到切点和被干扰电台天线顶端到切点的和。由图 1-4 和图 1-5 知，切点到地球中心的连线均垂直于几何视距那条直线，所以切点到地球中心连线两侧的三角形均为直角三角形。切点到地球中心的连线是地球的半径，天线顶端到地球中心的长度是地球半径与天线高度之和。由此看出，几何视距不难求出。

以图 1-5 为例。根据勾股弦定理

$$AC = \sqrt{AO^2 - CO^2}$$

其中

$$AO = DO + AD$$

$$DO = CO = EO = R$$

因为

$$AD = h_1$$

$$AO^2 = (h_1 + R)^2$$

$$= h_1^2 + 2h_1R + R^2$$

所以

$$\begin{aligned} AC &= \sqrt{h_1^2 + 2h_1R + R^2 - R^2} \\ &= \sqrt{h_1(h_1 + 2R)} \end{aligned} \quad (1-7)$$

同理

$$BC = \sqrt{h_2(h_2 + 2R)} \quad (1-8)$$

所以几何视距:

$$\gamma_0 = AC + BC \quad (1-9)$$

例 设干扰电台天线高度 25m, 被干扰电台天线高度 23m, 求其几何视距。

解 将各值赋予图 1-5。 h_1 、 h_2 分别为干扰电台天线和被干扰电台天线的高度。所以

$$\begin{aligned} AC &= \sqrt{0.025 \times (0.025 + 2 \times 6371.23)} \\ &= 17.8483(\text{km}) \\ BC &= \sqrt{0.023 \times (0.023 + 2 \times 6371.23)} \\ &= 17.1195(\text{km}) \end{aligned}$$

其几何视距:

$$r_0 = 17.8483 + 17.1195 = 34.9678(\text{km})$$

二、有效视距

有效视距是超短波电波在地球表面空间传播产生的一种现象。由于超短波波长比较短, 在传播中大气能使其折射, 因此沿地球表面传播会发生路径的弯曲。这种弯曲, 可以使它在地球表面传播的路径加长, 超过几何视距。这个“视距”, 我们叫它为有效视距。这一名词只对电波传播而言, 在别的地方不能乱用。有效视距的距离, 由干扰天线和被干扰天线高度, 干扰天线和被干扰天线所在地突出高度, 以及大气的密度决定。所谓所在地突出高度, 是指干扰天线和被干扰天线所在地突出于中间地带的高度。由于大气是极不稳定的因素, 因此精确地计算有效视距是很困难的。但是, 根据一般经验, 有效视距约为几何视距的 1.15 倍。用公式表示可为

$$d_{\text{有}} = 1.15r_0 \quad (1-10)$$

第二章 电波传播损耗计算

第一节 电波传播的概念

人们对长波、中波、短波的概念很清楚：10kHz到535kHz，叫做长波；535kHz到1605kHz，叫做中波；1605kHz到27500kHz，叫做短波。有人把27500kHz到300MHz，叫做超短波，也有人把它延伸到3000MHz，还有人把它延伸到10000MHz。有人把10000MHz以上的频率，叫做微波，也有人把3000MHz以上的频率叫做微波。这样，微波又包括在超短波里了。为了使用和计算电波传播损耗的方便，本书暂把27500kHz到1000kHz，叫做超短波，1000MHz到10000MHz，叫做微波，10000MHz以上，叫做吉赫波。

以上频段的划分，主要是根据它们传播呈现出的主要特性划分的。比如从10kHz到535kHz频段，电波传播主要是沿地球表面绕射传播，所以人们又叫它为地波；从1605kHz到27500kHz频段，电波传播主要是由电离层反射传播，所以人们又叫它为天波；介于地波和天波之间频段的电波，既能沿地球表面绕射又能经电离层反射，人们叫它为中波；超短波和微波，主要是在自由空间作直射式传播。

这样划分主要是给人们一个明确的概念，并不是说它们的特性就是那样的截然分开了。事实上，它们传播的特性都是渐变的，只不过在哪些频段里表现它们的特性更为突出罢了。比如27500kHz以上的电波，主要是以直射波的特性出现。但是，并不是说它沿地球表面绕射和经电离层反射的特性就绝对地消失了。实验证明，电波沿地球表面绕射的能力是随频率的升高而逐渐降低的，只有达到150MHz以上，它的绕射能量才可以忽略不计，频率达70MHz以上，经电离层反射的能量才逐渐消失。超短波和微波的直射传播，也是就它们的主要传播特性来说的。事