

任顺龙 编 刘敬德 审



无线电测向

原理及习题解答



上海科学技术文献出版社

无线电测向原理及习题解答

任顺龙 编
刘敬德 审

上海科学技术文献出版社

(沪)新登字301号

无线电测向原理及习题解答

任顺龙 编

刘敬德 审

*

上海科学技术文献出版社出版发行
(上海市武康路2号 邮政编码200031)

全国新华书店经销

商务印书馆上海印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张 4.125 字数 103,000

1993年8月第1版 1993年8月第1次印刷

印数: 1—2,000

ISBN 7-5439-0229-X/T·278

定价: 3.30 元

〈科技新书目〉 293-295

内 容 简 介

无线电测向竞赛活动是一种非常适合于中、小学生进行的有趣的科技活动。本书由浅入深地介绍了无线电测向的基本原理、主要技术和在不同场地开展无线电测向活动的方法。扼要地介绍了简易无线电测向机、发射机电路、调试方法和修理技术。同时根据国家体委规定的关于无线电测向理论考试要求,书中还编入了有关的习题及解答。为了方便广大中、小学运动员和教练参加无线电测向竞赛,本书附录中还编入了“无线电测向规则”和“无线电测向竞赛裁判法”。

本书可作为各地中、小学开展无线电测向科技活动的教材和参考书。对于专业运动员提高无线电测向的理论和实践水平来说,也有一定的参考价值。

前 言

为了配合中、小学开展课外科技活动和科技教师、测向运动员学习有关无线电测向方面的知识及测向运动员等级考核的需要,同时为了配合教育改革,在国家体委、上海市体委领导的关怀下,作者收集了一部分有关资料以及结合教学和外场实践编写了《无线电测向原理及习题解答》一书。

本书由浅入深地介绍了无线电测向的基本原理、主要技术和有关规则,并且介绍了如何在中、小学开展160米无线电测向活动和活动设计方法。在习题解答中对部分题目做了详细解答。

书中《习题解答》是由上海市体委庄乙鸿老师负责编写的。刘敬德副教授审阅了全部稿子,并提出了宝贵的修改意见,在此谨向两位老师表示衷心感谢。

本书在编写过程中,虽然结合学校教学和外场实践经验反复做了修改,但由于编者的学识水平所限,书中一定有错误和不妥的地方,敬请读者批评指正,以便进一步修订提高。

编 者

1992.11

目 录

第一章 绪论	1
第一节 无线电测向是怎么回事?	1
第二节 在中、小学开展无线电测向的意义	2
第二章 测向原理	4
第一节 无线电波的发射	4
第二节 测向天线的工作原理	8
第三节 160 米无线电测向基本方法	12
第三章 无线电测向习题及解答	16
第一节 测向原理部分	16
第二节 电工原理部分	30
第三节 半导体电路基础部分	43
第四节 地图知识部分	55
第五节 实践技能部分	68
第四章 测向训练方法	73
第一节 测向训练内容	73
第二节 入门训练	74
第三节 综合性训练	75
第四节 隐蔽电台的设置	77
第五节 训练方法实例	78
第五章 测向机发射机	85
第一节 160 米波段测向机	85
第二节 160 米波段信号源的使用和维护	89
附录(一) 无线电测向竞赛规则	93
附录(二) 无线电测向竞赛裁判法	103

第一章 绪 论

第一节 无线电测向是怎么回事？

随着当前科学技术的不断发展，人们在日常生活中与“无线电”的关系越来越密切了，从听广播节目到看电视，都离不开无线电波的发射和接收，简单地说发射和接收过程是：广播电台（电视台）把需要向外发送的声音和图像变为随声音和图像变化的电信号，调制到频率很高、功率很强的高频交流电上，然后通过天线以无线电波的形式向空间辐射，其传播速度为每秒 30 万公里，在辐射范围内，只要打开收音机或电视机，通过收音机或电视机把接收到的电信号经过处理，就能逼真地还原成发射端要传送的声音和图像。同样，无线电测向也是利用无线电波的发射和接收原理，不同的是广播电台和电视台发送的是声音和图像信号，而测向发射的是一组固定重复的莫尔斯电报信号，其功率较小，信号通过天线的辐射面也有限，一般仅在 10 公里以内。

由上述可知，无线电测向过程，实际是无线电波的发射和接收过程。被测电台（目标发射机）向四围发射无线电波，无线电测向机（由接收机和定向天线组成）根据接收到该台发出的无线电波，可以判定该台的方位。再从两点（或多点）测得被测目标（发射台）方位线的交叉点来判定目标（发射台）的位置。此过程称为无线电测向。

当已知两个（或两个以上）的测向点（A、B、…），并且测标

该点的示向度(地理的正北方向与电波传播方向的夹角,称示向度。常用 θ 表示)。将其示向度(θ_A 、 θ_B 、 $\dots$)标绘在地图上,如图 1-1 所示。其交点即为发射台的位置。

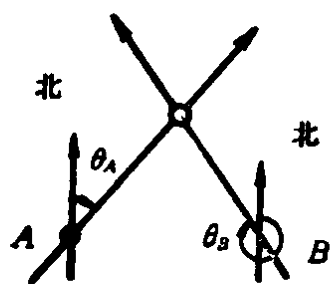


图 1-1 已知测向点位置 A 、 B 和示向度 θ_A 、 θ_B 确定发射台位置

第二节 在中、小学开展 无线电测向的意义

无线电测向运动是无线电爱好者广泛开展业余通信的基础上发展起来的,20 世纪 20 年代,美国的无线电爱好者利用接收到无线电波来寻找发信电台,拉开了业余无线电测向活动序幕。我国的无线电测向活动开始于1960年,到1980 年国家体委决定举办一年一度的测向比赛,1985 年国家体委、教育部、中国科协、共青团中央联合发出通知,号召在青少年中积极开展无线电和模型活动,同年国家体委决定在1987 年的第六届全国运动会中设测向竞赛,使无线电测向竞赛第一次进入了全运会,到目前全国已有 20 多个省、市、自治区开展无线电测向活动、全国性的竞赛从1980 年每年一次变为每年三次,近五年又增设了适合中小学生的 160 米无线电测向竞赛,全国分南方区和北方区两个赛场,每年举行一次竞赛。

无线电测向竞赛十分有趣,像玩捉迷藏游戏似的,学生忙碌地测听、奔跑去寻找一个个隐蔽电台,但无线电测向竞赛又十分神秘,竞赛区域保密,电台放置地方保密,学生在竞赛过程中要独立思考得不到任何人(指导老师)的指导,也不许接受任何人的任何帮助和提示,在整个竞赛中学生只有测向机是唯一的忠实伙伴,向学生指点一个个隐蔽电台方位,引导学生去搜捕。

由于测向活动介于科技活动和体育活动之间,所以对参加活动的学生不仅要了解无线电基础知识,还要有强壮体魄,在

竞赛中还需要有单独思考分析问题的能力,是一场比智力、比意志的有意义的科技活动,为了使校外科技活动能吸引更多的中、小学生参加无线电测向活动,国家体委在1985年推出适合在中小学开展的“160米无线电测向比赛”,其活动内容形式完全和国家体委审定的“无线电测向竞赛规则”一样,只不过变动了发射台的频率和功率,使竞赛场地从原来的10公里改为1000米。为普及无线电测向活动打下良好基础,在中小学开展无线电测向活动,其特点是能培养学生顽强的意志品质和心理品质,适合中小学生的生理和心理特点,此项活动注重科学性、趣味性和实效性。学生在整个活动中不会感到单调、枯燥,实际效果也好。此外,无线电测向还可用于监测陆上动物的行踪,例如在四川卧龙自然保护区,中外科学家把微型发射机固定在大熊猫的颈部,通过测向掌握大熊猫活动的范围及“起居”,探索它在大自然中生活的奥秘。当今随着无线电测向知识的普及和无线电测向设备的小型化,无线电测向技术一定会在更多的学校内开花结果,为丰富校外科技活动做出新的贡献。

第二章 测 向 原 理

第一节 无线电波的发射

打开测向机，收到发射机传来的莫尔斯电报信号，是什么东西把测向机和发射机“连通”起来的呢？是“无线电波”，一种电磁波。因电荷的周围有电场，电流的周围有磁场；随时间变化的电场在其周围空间产生变化的磁场，随时间变化的磁场在其周围空间产生变化的电场，两者互相依存，不可分割，形成统一的电磁场。假设空间某一区域有变化的电场，那末它将在周围空间产生变化的磁场，这个变化的磁场又在较远的空间产生一个变化的电场，并在更远的空间产生新的变化的磁场。这种变化的电场与磁场互相激发，其闭合的电力线与磁力线就象链条那样一环套一环，以导线（天线）为中心，由近及远地以每秒 30 万公里的速度向四面八方传播出去。这种交替产生，由近而远地传播的电场和磁场叫做电磁波。如图 2-1 所示是电磁波传播过程的示意图。不同频率的交流电流产生的电磁波传播距离大小不同。频率低衰减得快，不能传播得很远；当频率为几十千赫以上时，可以传播得较远。同时电磁波的传播距离随着发射功率大

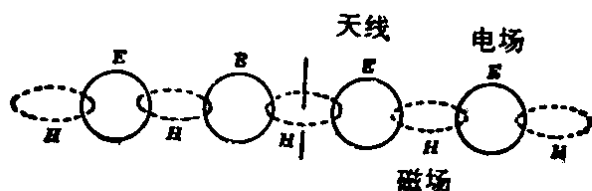


图 2-1

小而变。

从上所述无线电波是电磁波的一部分，但由于频率范围很宽，不同频段的无线电波特性也不完全一样，表 2-1 为无线电波的频率或波长分类表。

表 2-1 频率或波长分类

名 称	波长名称	略 号	频 率 范 围	波 长 范 围
甚低频	万 米 波	VLF	30千赫以下	10千米以上
低 频	千米波(长波)	LF	30~300 千赫	10~1千米
中 频	百米波(中波)	MF	300~3000千赫	1千米~100米
高 频	十米波(短波)	HF	3~30 兆赫	100 米~10 米
甚高频	米波(超短波)	VHF	30~300 兆赫	10 米~1 米
超高频	分米波(超短波)	UHF	300~3000兆赫	1 米~10 厘米

知道了频率分类后，还有必要了解无线电波的极化。电磁波是横波，即其电场和磁场方向永远垂直于电磁波的传播方向，并且电场和磁场的方向又互相垂直。由于电磁波的产生条件与传播条件不同，它们的电场和磁场可能在空间保持着固定的方向，也可能按某种规律改变自己的方向。这种电磁波的电场和磁场在空间保持着固定方向(或按某一规律改变着方向)的现象，叫做电磁波的极化。天线辐射出的电磁波(无线电波)，若其电场和磁场在空间保持着固定方向的，这种电磁波叫做平面极化波。若电磁波的电场方向是垂直于地面的，则称其为垂直极化波。若其电场方向是平行于地面的，则称其为水平极化波。

为了接收无线电波(电磁波), 到来波的电场应当沿着天线导线而作用(如果电场是垂直于导线的, 则不会在导线中产生电流)。由此可知, 当天线导线方向与所收平面波的电场方向相一致时, 将是最有利的情况。在接收长波时, 有利的永远是垂直导线(因为这种波的电场永远是垂直的)。但超短波的电场则可能因发射天线位置不同而具有不同的状况。根据无线电测向竞赛规则的规定, 80 米波段测向竞赛采用的是垂直极化波; 而 2 米波段测向竞赛采用的是水平极化波。

按无线电测向竞赛规则规定, 工作于 80 米波段(3.5~3.6 兆赫)的应是垂直极化波, 工作于 2 米波段(144~146 兆赫)的和电视台使用的电波一样是水平极化波, 工作于 160 米波段(1.8~2.0 兆赫)的应是垂直极化波。在测向活动中的发射天线和测向天线, 必须满足这项规定。从表 2-1 中还可知道, 1.8~2.0 兆赫属于中波波段的高端, 3.5~3.6 兆赫属于短波波段的低端, 144~146 兆赫属于超短波的米波波段。

电磁波在空间的传播是十分复杂的, 现按传播途径大致可分下列几种: 地波传播: 无线电波沿地球表面传播。如图 2-2(a); 天波传播: 无线电波向天空辐射, 由电离层反射到接收点, 也叫电离层反射波。如图 2-2(b); 视距传播: 发射天线和接收天线在视距范围内, 由从发射台到接收台直接传播的直射电磁波和地面反射波组成。如图 2-2(c)。

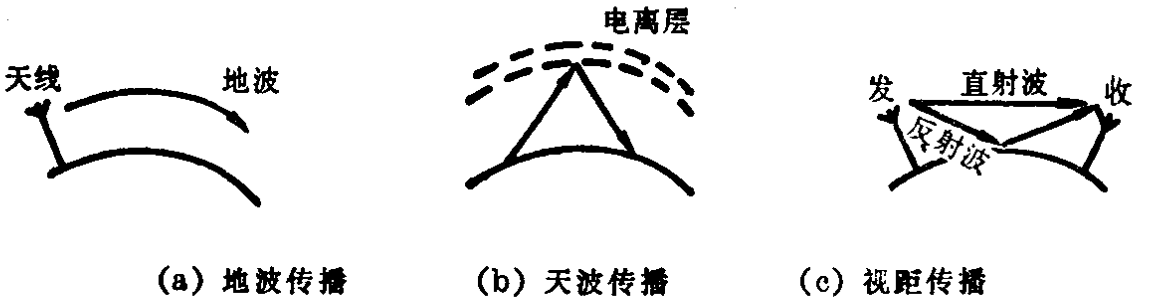


图 2-2

无线电测向竞赛的距离一般为 10 公里以内,通常测向不采用天波传播,象 160 米和 80 米波段测向都采用地波,2 米波段测向主要采用直射波和地面反射波。同时无线电波在空间传播由于媒介质、频率不同,所以有必要研究一下无线电波在空间的传播及有关物理现象,即无线电波在传播中的主要特性。

1. 地波传播

(1) 有地面吸收: 因电波沿地面传播时会受到地面的吸收而能量逐渐衰减,这种吸收不但与地的导电性有关,还随着频率的升高而增加。

(2) 传播距离短: 由于地波传播有地面吸收,再加上绕射损失,使地面波的传播距离约为几十公里~几百公里。

(3) 传播稳定可靠: 地面波的传播虽然不是很远,但它在传播过程中可不与高空的电离层发生关系,不受昼夜、早晚、季节的因素影响,通信质量较高。

2. 天波传播

(1) 电离层对电波的吸收: 当电波通过电离层时,除有位移电流外,还将引起离子的运动而形成运流电流,运动中的电子与气体的分子碰撞,将电磁能转变为热能而损耗,这即叫做电离层的吸收损耗,吸收损耗的大小与电离层的电子密度有关,密度越大、吸收越多,吸收还和电波的频率有关,频率越低,吸收越多。

(2) 天线传播主要在空气介质中进行,能量损失较小,加之有电离层和地面的反射,故可用不大的功率和尺寸较小的天线完成远距离通信,但通信质量较差。

3. 视距传播

(1) 视距传播: 使用频率一般都在 30 兆赫以上,由于频率较高,它将穿透电离层不形成反射,在传播中除米波还有一些绕

射能力外,几乎不能绕过障碍物,只能象光一样在视线距离(即眼睛能看到的距离)内传播。传播距离一般仅数十公里。

(2) 地面反射对场强的影响: 由于地面反射波经过的路程比直射波长,其相位必然落后,在接收点这两种场强叠加时,合成场强就会出现比没有反射波时增强或削弱的现象。

第二节 测向天线的工作原理

天线是发射或接收电磁波的装置。将发射机产生并由馈电系统送来的高频电能转变为电磁波的能量,然后向空间的预定方向辐射,或将由预定方向传来的电磁波能量转变为高频电能,并送到与接收机相连的馈电系统。天线的型式随其工作波段不同而不同,如长波、中波天线有厂形、T形、环形等,短波、超短波天线有振子天线,螺旋天线等,微波天线有喇叭天线、反射面天线、透镜天线等,而无线电测向机的主要功能是测定发射机的方位,要求测向机有良好的方向性,就得了解测向天线的工作原理,本节主要讲述与无线电测向活动有关的天线。

1. 磁性天线工作原理

160米波段和80米波段测向都使用磁性天线,由磁棒和绕在磁棒上的天线线圈及引线、屏蔽罩组成,它的基本结构如图2-3所示。

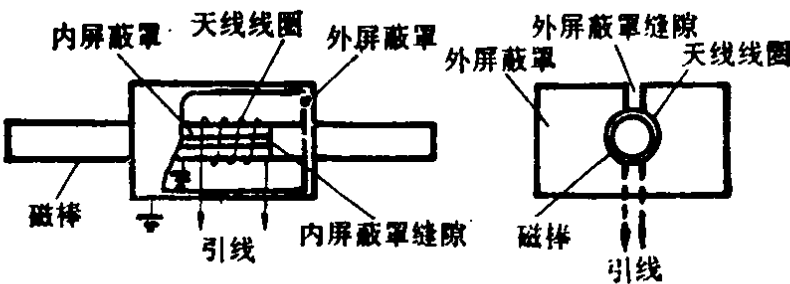


图 2-3 磁性天线结构示意图

磁棒由软磁铁氧体磁性材料制成,它的特点是容易被磁化,

又容易退磁,有较高的导磁率,对于均匀磁场来说,磁棒内部所产生的磁阻远远小于空气,所以将有大部分磁力线集中到磁棒内,如图 2-4 是一均匀磁场,图 2-5 表示加入磁棒后磁场的分布。从图中可以看出,磁棒加入聚集了大量空间磁力线,从而使

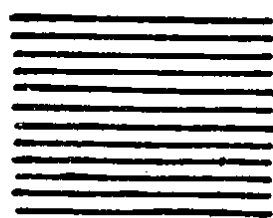


图 2-4 均匀磁场

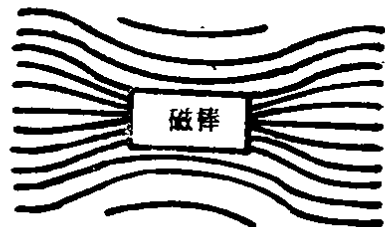


图 2-5 加入磁棒后磁场分布

磁棒上的线圈感应出很强的信号电动势。然后再看图 2-6 将磁性天线平行于地面放置,并接收垂直极化波时的俯视图。电波从左向右传播,其磁场方向必定垂直于电波传播方向,并与地面平行(见虚线)图中 θ 为磁棒轴线与电波传播方向的夹角,磁性天线的输出电动势 $e_{\text{磁}}$ 会随 θ 的变化而变化。

当磁棒轴线与电波传播方向平行时 ($\theta = 0^\circ, \theta = 180^\circ$), 磁场方向与磁棒垂直,磁力线无法顺着磁棒穿过线圈,线圈感应电动势为零,即 $e_{\text{磁}} = 0$ 。当磁棒轴线与传播方向垂直时 ($\theta = 90^\circ$,

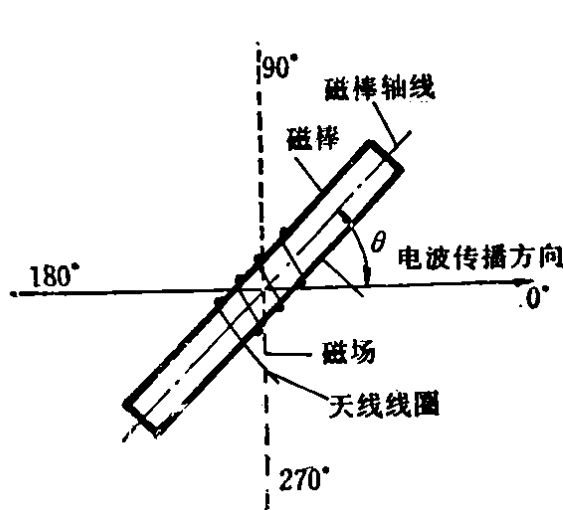


图 2-6 磁性天线与电波传播方向的关系(俯视图)

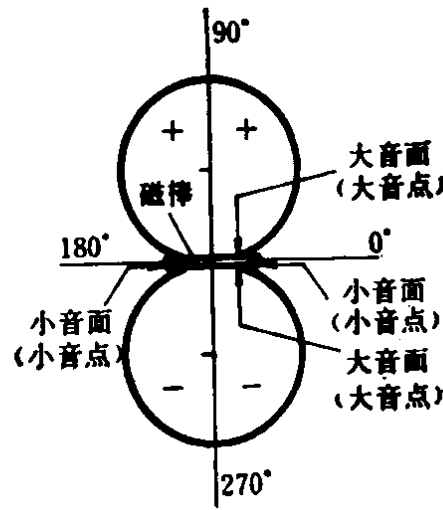


图 2-7 磁性天线方向图

$\theta = 270^\circ$), 磁场方向与磁棒平行, 磁棒聚集最多的磁力线通过线圈, 线圈中的感应电动势最大。磁棒轴线与传播方向成其它角度时, 多少会有一部分磁力线通过磁棒, 天线有电动势输出。 θ 愈接近 0° 或 180° , $e_{\text{磁}}$ 愈小; θ 愈接近 90° 或 270° , $e_{\text{磁}}$ 愈大。总之, $e_{\text{磁}}$ 随 θ 的变化而变化, 其变化情况如图 2-7 所示, 也是我们通常所说的“8”字形方向图。

在其它条件不变的情况下, 磁性天线在水平面内转动 180° , $e_{\text{磁}}$ 改变极性, 如在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 范围内的感应电动势为正值, 则在 $180^\circ \sim 360^\circ$ 范围内的感应电动势为负值。

在耳机听到的声音也随着 $e_{\text{磁}}$ 的大小而变化, 在水平面内转动磁性天线一周, 当磁棒轴线正指电台时 (即磁棒轴线指向图 2-7 中的 0° 、 180° 两个方向), 耳机中声音最小或完全无声, 此时磁棒轴线处于小音点或哑点方位; 当磁棒轴线的垂直方向对着电台时 (即磁棒轴线指向图 2-7 中的 90° 、 270° 两个方向) 耳机中声音最大, 此时天线磁棒轴线处于大音面或大音点方位。在测向中只要转动磁性天线找出哑点, 发射台一定位于磁棒轴线所指的直线上, 这就是我们通常所说的测双向定线。

由上述讨论可知, 天线向空间辐射电磁波或从空间接收电磁波时, 并不是对任何一个方向的辐射强度或接收能力都是一样的。实际不同的天线, 对各方向辐射或接收能力都不相同, 这说明天线在发射或接收时具有方向性。这种方向性在测向中是很有用的。天线的方向性可用天线方向图来形象地加以描述。

天线方向图可分为发射天线方向图和接收天线方向图。对于发射天线, 在离天线等距离的地方, 在不同的方向上测量天线辐射电波的电场强度, 并将其值按比例标在极坐标 (用角度 θ 和径长 ρ 表示的坐标) 图上, 把各个角度时径线端点连成一条光滑的曲线, 就是发射天线的方向图。对于接收天线来说, 当电

磁波传来方向变化时,天线里感应出的电动势也跟着变化,在极坐标上按比例地描述该电动势与电磁波传来方向的关系曲线,就叫做接收天线的方向图。

2. 直立天线和磁性天线组成的复合天线

由磁性天线的方向图(图 2-7) 可知,磁棒天线在水平面内转动一周,测向机输出将会出现两个声音最大处和两个声音最小处,即磁性天线具有的双值性,利用这一点,可以测定电台所处的一条方位线,但无法判断电台在方位线上的哪一头,因此,仅具备双值性的测向机在测向运动中是不能找到电台的,要使测向机找到电台还必须使测向机具有单值性,这可以利用磁性天线(水平)和直立天线组成的复合天线来实现。

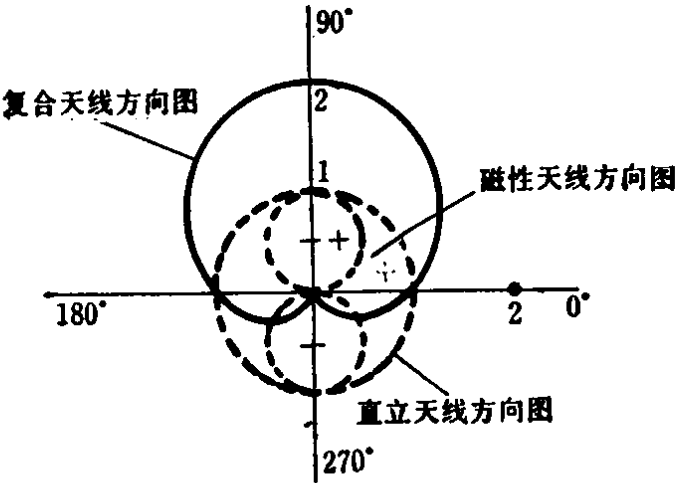


图 2-8 复合天线心脏形方向图的形成

磁性天线（水平）加直立天线组成的复合天线的方向图,可以用磁性天线方向图（见图 2-7）和直立天线方向图（它在水平平面的方向图是一个圆）叠加而成。把此两种天线方向图分别用虚线画于图 2-8 中,(为使复合天线单值性好,图中设直立天线的电动势等于 1,并为正值;同时设磁性天线电动势最大值也等于 1)。再将任一方向上两天线的电动势相加,如在 0° 或 180° 方向上, $e_{直}=1$ 、 $e_{磁}=0$, 合成电动势 $e_{合}=1$, 在 90°