

机动车超速自动监测系统

朱俊杰 林仲扬 崔岩梅 主编



中国质检出版社
中国标准出版社

机动车超速自动监测系统

朱俊杰 林仲扬 崔岩梅 主编

中国质检出版社
中国标准出版社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

机动车超速自动监测系统/朱俊杰, 林仲扬, 崔岩梅主编. —北京: 中国标准出版社, 2012

ISBN 978-7-5066-6996-2

I. ①机… II. ①朱…②林…③崔… III. ①机动车-超速-自动化监测系统
IV. ①U467.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 212167 号

内 容 提 要

本书系统地介绍了雷达测速仪、地感线圈测速仪、激光测速仪以及机动车超速自动监测系统的结构原理和相关知识;同时介绍了国内外最新的测距测速雷达和窄波雷达;对现行的相关计量技术法规进行了解读,对计量检定和型式评价工作中的要点进行了解析。简单介绍了区间测速系统, GPS 接收机的测速原理及检测, 目标速度模拟装置的工作原理及速度误差的计算, 以及交管部门在安装及使用机动车超速自动监测系统时应注意的问题, 等等。

本书可作为速度计量专业的培训教材, 供从事速度计量专业的计量检定人员、交管部门中与速度测量有关的工作人员以及机动车超速自动监测系统制造商使用。

中国质检出版社 出版发行
中国标准出版社

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号 (100013)
北京市西城区三里河北街 16 号 (100045)

网址: www.spc.net.cn

总编室: (010)64275323 发行中心: (010)51780235

读者服务部: (010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 13.25 字数 308 千字

2012 年 10 月第一版 2012 年 10 月第一次印刷

*

定价 45.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话: (010) 68510107

编 委 会

主 编：朱俊杰 林仲扬 崔岩梅

编 委：钱 江 王启民 陈洪亮 林建辉

鲍俊民 李 涛 王东峰 克利姆

编者的话

机动车雷达测速仪计量检测工作起源于20世纪80年代后期。由于种种原因，直到2005年，各省、市级计量技术机构才相继建立起机动车雷达测速仪的计量标准。

依据《中华人民共和国计量法》，用于道路交通执法的测速仪属于强制检定工作计量器具。为满足公安交管部门交通执法的要求，为给超速交通执法提供科学公正的数据，自1988年以来我国先后出台了JJG 528—1988《手握式雷达测速仪》、JJG 527—1988《定角式雷达测速仪》，后修订为JJG 528—2004《机动车雷达测速仪》和JJG 527—2007《机动车超速自动监测系统》。这两项技术法规的实施为我国依法计量管理、确保交通安全起到了明显的推动作用，使机动车超速自动监测系统的产品质量得到了有效的控制与提升。JJG 528—1988的制定实施，使雷达测速仪的测速误差达到国际先进水平，实现了一个质的飞跃。由此，JJG 528—1988《手握式雷达测速仪》获得了北京市科技进步三等奖。JJG 527—2007体现了以人为本的理念，规定了机动车超速自动监测系统现场测速误差为负误差，很好地解决了测速正误差带来的判断误区。另外，该规程还要求机动车超速自动监测系统对超速车辆判断要准确，即提供的图像要真实反映超速车辆本身及其实际速度值。以上两点，是JJG 527—2007的创新点，也是对速度计量事业的贡献。规程实施后所产生的社会效益显著，交通执法的纠纷减少了，对促进社会和谐起着积极的作用。

机动车雷达测速仪发展十分迅速，从窄波雷达到测距测速雷达不过两三年的时间；机动车超速自动监测系统从雷达原理、激光原理、地感线圈原理，到近几年区间测速的出现，都是为了满足道路交通执法的需求。计量科学事业的蓬勃发展，吸引了许多新人不断地加入到这个行业，然而从事测速行业的人员技术水平参差不齐，许多人专业基础知识欠缺，亟待提高。针对目前测速队伍的现状，我们决定编撰此书。速度计量事业的发展进步，需要一大批有识之士坚持不懈地努力钻研，不断创新，解决目前速度计量检测方法和手段还不够先进和便利等问题。

此外，我们也了解到有的交管部门在选择及使用机动车雷达测速仪和机动车超速自动监测系统时，存在着一些问题：其一，不清楚选择有计量器具制造许可证的产品来使用才是合法的；其二，不清楚如何根据道路的实际情况去选购适合的雷达测速仪；其三，对产品安装及使用时应注意的问题不甚了解，等等。上述问题的存在，也给计量检测工作带来许多困难，需要通过加大相关计量法律法规的宣传力度和速度专业知识的学习，以规范测速市场的建设与发展。同时，更需要计量部门、交管部门及制造商三方共同努力才能得到最终的解决。对此，我们在编撰此书时，也专门在一些章节针对目前存在的问题有所答疑，希望对测速设备使用的合法化及严肃执法起到积极的作用。

本书编写了速度计量大事记，以此铭记曾经为速度计量事业而努力奋斗的人们。我作为速度计量工作的开拓者，经历了速度计量工作的艰难起步曲折发展和日趋规范的过程，看到目前速度计量工作在不断进步并趋于成熟，令我很欣慰。现特邀了部分国内速度计量方面的专家编撰此书，可作为从事速度计量人员以及交警的培训教材，同时对未来的速度计量工作进行了有益的探讨和展望。在此，我真诚地希望同行们承前启后，继往开来，在今后的速度计量事业发展中不断进步，使速度计量事业为我国社会的发展与进步做出应有的贡献。

由于时间仓促，编写水平有限，书中疏漏和不足之处在所难免，敬请指正。

朱俊杰
2012年8月

目 录

第一章 雷达原理机动车超速自动监测系统	(1)
第一节 雷达测速仪的工作原理	(1)
第二节 常用雷达测速仪的介绍	(10)
第三节 机动车雷达测速仪的检定	(35)
第四节 机动车雷达测速仪测量不确定度评定	(40)
第五节 常用机动车雷达测速仪检定装置的介绍	(46)
第六节 机动车雷达测速仪检定装置的检定	(54)
第七节 雷达原理机动车超速自动监测系统的介绍	(59)
第八节 机动车超速自动监测系统的检定	(61)
第九节 机动车超速自动监测系统计量检定工作中需要注意的问题	(68)
第十节 机动车超速自动监测系统测量不确定度评定	(69)
第二章 地感线圈原理机动车超速自动监测系统	(72)
第一节 概述	(72)
第二节 地感线圈测速系统的设计及车辆检测器的电路	(76)
第三节 使用地感线圈测速系统测速时遇到的问题及解决方案	(80)
第四节 地感线圈原理机动车超速自动监测系统在检定时应该注意的问题	(83)
第五节 地感线圈原理机动车超速自动监测系统计量标准的建立	(84)
第六节 地感线圈式测速监控系统的型式评价	(90)
第七节 机动车地感线圈测速系统检定装置	(94)
第八节 机动车地感线圈测速系统检定装置的检定	(97)
第九节 机动车地感线圈测速系统检定装置不确定度评定	(100)
第三章 机动车激光测速仪	(103)
第一节 激光的起源及发展	(103)
第二节 机动车激光测速仪介绍	(104)
第三节 机动车激光测速仪的工作原理	(108)
第四节 机动车激光测速仪的检定装置	(110)
第五节 机动车激光测速仪的检定	(116)
第六节 机动车激光测速仪的检定实例	(119)
第七节 机动车激光测速仪的型式评价	(133)

第四章 相关知识介绍	(137)
第一节 区间测速系统介绍	(137)
第二节 GPS 接收机测速原理及检测	(140)
第三节 交管部门在安装及使用机动车超速自动监测系统时应注意的问题	(148)
第四节 目标速度模拟装置的工作原理及速度误差的计算	(152)
第五节 目标速度模拟装置速度测量结果的不确定度评定	(157)
 附录 1 速度计量大事记	 (159)
附录 2 2007 年度大区级计量技术机构机动车雷达测速仪检定装置比对 工作报告	 (164)
附录 3 机动车雷达测速仪考试试题	(187)
附录 4 机动车超速自动监测系统考试试题	(191)
附录 5 机动车地感线圈测速系统检定装置考试试题	(194)
附录 6 机动车激光测速仪考试试题	(198)
 参考文献	 (203)

第一章 雷达原理机动车超速自动监测系统

第一节 雷达测速仪的工作原理

一、概述

1. 多普勒效应

当观察者处于一静止位置时，运动物体（如火车）由远而近，其发出来的声音（如汽笛声）的音调会越来越高；相反，由近而远的运动物体所发出来的声音的音调会越来越低。这种音调的变高和变低，就是物体由于运动，其声音在传播过程中音频频率的变高和变低，而实际上物体发出声音的频率自身并没有变化。这种由于物体运动而使得物体声音频率发生变化的物理现象，就称为多普勒效应。奥地利的一位物理学家及数学家克里斯琴·约翰·多普勒（Christian Johann Doppler）于 1842 年首先发现并总结了这种物理现象，学术界就以他的名字命名这种物理现象。

雷达测速仪依据的原理就是“多普勒效应”。当雷达测速仪处于开机状态时，雷达会向空间连续地或间断地发射一个确定频率的微波信号，以 f_0 计。这个 f_0 在雷达正前方的可视空间内向前传播，当遇到静止的反射物体，如路面、建筑物、汽车等，有一部分信号会反射回来，但反射回来的信号频率不会改变，仍然是 f_0 。反之，如果遇到运动的反射物体，比如运动中的汽车，则根据多普勒效应，反射波（也称回波）的频率与发射波的频率就会产生微细改变，反射波以 $f_0 \pm f_d$ 计。这个反射波被雷达接收机接收后，与发射波进行混频，从中检出这个频率的变化量 f_d 。 f_d 就是由于汽车运动的多普勒效应而产生的，因此称为多普勒频率。其测速原理框图如图 1-1 所示。

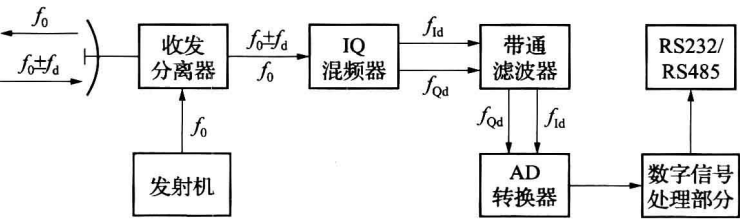


图 1-1 雷达测速仪工作原理框图

由发射机产生一个频率为 f_0 的连续振荡信号，该信号通过收发分离器馈送到天线上，并沿着波束方向向运动车辐射（图 1-2）。

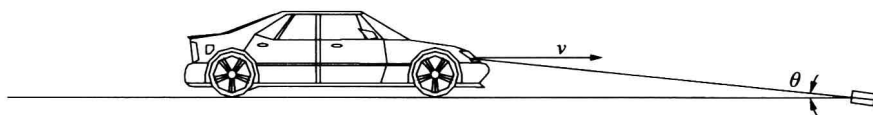


图 1-2 现场使用雷达测速仪测量车速示意图

由于车表面的散射作用,其中一部分电磁波的能量又沿着波束方向返回到天线上,被收发分离器接收,回波信号中包含有多普勒频率信息。如果回波与雷达是相对运动,其频率为 $f_0 + f_d$;反之,频率为 $f_0 - f_d$ 。这个 f_d 就是多普勒频率,它与车速 v 的关系是

$$f_d = \frac{2f_0}{c} v \cos \theta \quad (1-1)$$

这里的 c 为电磁波的传播速度, θ 角的定义如图1-2所示。当 $\theta < 10^\circ$ 时, $\cos \theta$ 约等于1。在这种条件下, f_d 和 v 的关系近似为

$$f_d = \frac{2f_0}{c} v \quad (1-2)$$

因此只要能测出 f_d ,就可根据式(1-2)得到车速 v ,回波信号通过收发分离器加到混频器上,与发射机构合过来的直达基准信号 f_0 进行混频。然后,经过带通滤波器取出差频信号。这也就是所需要的多普勒信号 f_d 。它经过低频放大,整形后送到数字处理部分即可测出。并根据式(1-2)将 f_d 值换算成 v 值。这样,就可在显示器上得到以数字形式显示的速度测得值。

依据雷达原理的几个基本方程,给出一定的已知条件,就可以导出雷达测速仪的基本方程式:

$$f_d = \frac{2}{c} K f_0 v \quad (\text{Hz}) \quad (1-3)$$

式中 f_d ——多普勒频率, Hz;

c ——电磁波的传播速度, 2.99792458×10^8 km/s;

K ——单位换算因子, $K = 10^3/3.6$;

f_0 ——雷达测速仪发射频率的标称值, MHz;

v ——速度设定值, km/h。

从式(1-3)中可以看出: K 和 c 均为常量, f_0 对确定的雷达测速仪也是一常量,因此速度 v 与多普勒频率 f_d 之间的关系是一一对应的线性关系。也就是说,知道了多普勒频率 f_d ,就可求出速度值 v ;反之,知道了速度值 v ,就可求出多普勒频率 f_d 。以X波段为例,将 $f_0 = 10525$ MHz代入式(1-3)中,令 $v = 1$ km/h,则

$$f_d = 19.5042339 \text{ Hz}$$

这就是X波段雷达测速仪每公里速度所对应的多普勒频率。同样将K和Ka波段的 f_0 代入式(1-3),就可以得到K和Ka波段的每公里速度所对应的多普勒频率为44.75318277 Hz和65.04499856 Hz。

2. 雷达的分类

(1) 按应用领域,雷达主要分为两大类:军用雷达和民用雷达。

军用雷达主要装备在国家的重要地域、重要城市、重要设施、重要目标以及海、陆、

空军的边防、军事要地等位置。目的是维护国家的领空、领海安全。这些雷达主要有高空、低空、近程、远程不同功能的预警雷达、搜索和警戒雷达、引导指挥雷达、精密跟踪雷达、火炮控制雷达、制导雷达、战场监视雷达、机载雷达、舰载雷达、测高仪和雷达引信等，这些雷达均用于国防军事领域。

民用雷达主要有测速雷达、气象雷达、天文雷达、导航雷达、海视雷达、缉私雷达、宇宙航行中用雷达和遥感等用于民用领域。

(2) 雷达按体制可分为：连续波雷达、脉冲雷达、脉冲压缩雷达、脉冲多普勒雷达、噪声雷达、频率捷变雷达、圆锥扫描雷达、隐蔽扫描雷达等。还可按不同标准分两坐标雷达、三坐标雷达、目标识别雷达、测速雷达、动目标显示雷达、合成孔径雷达、频扫雷达、机械扫描雷达、相控阵雷达等。

(3) 按雷达的工作波段可分为：米波雷达、厘米波雷达、毫米波雷达、激光雷达等。

3. 雷达测速仪的工作波段

目前，国内外普遍使用的雷达测速仪的工作波段为：X 波段、K 波段、Ka 波段，见表 1-1。各生产厂商在各波段使用的频率可能会有差异，但都会在表 1-1 的范围内。

表 1-1 雷达测速仪的工作波段和频率表

波段	波长	频率范围/GHz	频率应用实例/GHz
X 波段	3cm	8.5 ~ 10.68	10.525
K 波段	1.25cm	20 ~ 26.5	24.15, 24.125
Ka 波段	8mm	33.4 ~ 36	34.70, 35.00, 35.10

4. 雷达测速仪的发射功率

雷达测速仪的发射功率取决于微波振荡源的振荡功率，一般情况下用微波振荡源的功率来表示雷达测速仪的发射功率。微波源的振荡信号经收发共用混频腔后，会产生一定的衰减，但经过天线向外辐射后，天线又有一定的增益，因此，振荡源的功率基本反映了雷达测速仪的发射功率。其功率在 10mW ~ 50mW 之间。理论上，发射功率的大小，确定了雷达作用距离的远近，当然也与微波系统的效率有关。但并不是功率越大越好，在满足了作用距离的前题下，尽量提高微波系统的效率，使发射功率越小越好。现在，有些雷达测速仪的发射功率已经在 5mW 左右。

5. 雷达测速仪的极化方式

在雷达的发射环节中，有一个极化器，也叫馈源。它是一个无源的微波器件，可以起到连接微波发射源和天线端口的作用。馈源极化方式的不同，取决于设计者在设计微波系统时馈源结构形式的选择。极化分为两种方式：一种是圆极化，圆极化又分为左旋圆极化和右旋圆极化；另一种是线极化，线极化又分为水平线极化和垂直线极化。极化方式对使用者来说没有必要了解，但对雷达测速仪的计量检定者来说要注意，在有些计量检定设备上计量检定时，圆极化不存在问题，线极化就要注意，当在一个方向检测不到信号的时候，就需要将雷达测速仪以天线轴线方向旋转 90°测量。

6. 雷达测速仪的测速误差

雷达测速仪的测速误差主要由两部分组成,一部分是由微波发射频率的误差引起的,另一部分是由计数误差引起的。在雷达测速仪产品定型后,通常计数误差是不变的,而微波发射频率则是随着环境温度、时间在变化,因此微波发射频率是必测项目。

微波发射频率误差就是微波振荡源的频率误差,该误差主要由振荡源的固有误差、振荡频率随温度变化而变化、振荡频率随工作电压的变化而变化等因素引起。振荡源频率误差是在雷达测速仪总体设计时就分配好的,就现有国内外所有雷达测速仪,误差范围主要有:

X 波段为 $\pm 25\text{MHz}$;

K 波段为 $\pm 45\text{MHz}$;

Ka 波段为 $\pm 100\text{MHz}$ 。

这个范围是在雷达测速仪工作环境温度范围内,即 $-20^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$ 之间的整个范围都应满足的。以 X 波段为例,计算频率的误差范围,一般情况下,振荡频率与环境温度的关系成反比,即温度上升,频率下降;反之温度下降,频率上升。变化的斜率为 $(0.3 \sim 0.5)\text{MHz}/^{\circ}\text{C}$,若常温以 25°C 计,斜率以最大点 $0.5\text{MHz}/^{\circ}\text{C}$ 计,则在 $-20^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$ 温度范围内,频率的变化量为 $+22.5\text{MHz} \sim -17.5\text{MHz}$ 。

振荡频率与工作电压的关系成反比,即电压下降,频率上升,变化斜率为 $(1 \sim 3)\text{MHz}/\text{V}$ 。以工作电压下降 1V ,取最大斜率点计,则频率的变化量为 $+3\text{MHz}$ 。因工作中电压不会上升,所以没有频率下降的可能。这样,在环境温度变化和工作电压变化的两种极端情况下,振荡频率的变化范围为 $+25.5\text{MHz} \sim -17.5\text{MHz}$ 。在实际电路中有稳压措施,可以保证工作电压基本稳定,故因工作电压引起的频率变化可以忽略不计。在 X 波段,雷达设计时的发射中心频率 $f_0 = 10525\text{MHz}$,是一标称值;对应的 $f_{\text{d}} = 19.50\text{Hz}$,若以微波发射频率的最大变化量 $+25.5\text{MHz}$ 计算,当速度值 $v = 100\text{km/h}$ 时,可以计算出其测速最大误差为 0.2422km/h ;当速度值 $v = 200\text{km/h}$ 时,测速最大误差为 0.4844km/h ,接近 0.5km/h 。

以上因素引起的测速误差的最大绝对值为 1km/h 。计量检定规程 JJG 528—2004《机动车雷达测速仪》中给出的测速误差:静止工作模式为 $\pm 1\text{km/h}$,运动工作模式为 $\pm 2\text{km/h}$ 。

因为雷达测速仪主要用于对汽车、火车等地面运动物体进行测速,这些运动物体的速度大都在 60km/h 以上,因此,误差值为 $\pm 1\text{km/h}$ 是可以满足实际使用的。

7. 雷达测速仪的夹角误差

速度值是一个矢量,雷达测速仪测量的速度值是目标运动的径向速度,也就是与雷达测速仪发射波束轴线相平行的目标速度。实际使用中,往往是雷达测速仪波束与目标运动方向存在一定的夹角,用 θ 表示,这个夹角 θ 会引起测量值与实际值的误差,其误差的大小可由下式计算:

$$v(\theta) = v \times \cos\theta \quad (1-4)$$

式中 $v(\theta)$ ——雷达测速仪测量的速度值;

v ——目标车实际速度值;

θ ——雷达测速仪波束轴向与目标速度的夹角。

由式(1-4)可以看出,测量值只会比实际值小,而不会大。随着 θ 角的增大, $v(\theta)$ 值会减小,极端情况下, $\theta=90^\circ$ 时, $v(\theta)=0$,即测量值为零。也就是说,当雷达测速仪的指向与目标运动方向相垂直时,雷达测速仪测不到速度。实际使用中,当夹角 $\theta < 10^\circ$ 时,误差可以忽略不计。

雷达测速仪在有些特定的使用场合,可设置为定角方式,也叫“定角式雷达测速仪”。“定角式雷达测速仪”是应用了雷达测速仪的角误差原理,对雷达测速仪的使用规定了一个确定的角度 θ ,雷达测速仪测到的速度值为式(1-4)的计算结果值,雷达计数运算时将已知固定角度 θ 引起的误差再由式(1-4)折算到实际值,在显示器上显示出来。也有一种特殊情况,雷达测速仪是定点安装,存在一确定角度 θ ,但雷达计数运算时并没有按式(1-4)进行修正,在这种情况下进行计量检定时,就必须用式(1-4)将测量值修正到实际值。

8. 雷达测速仪的天线波瓣宽度

雷达天线波瓣的宽窄,取决于天线的结构形式和工作波段,雷达天线形式有抛物面天线、喇叭天线、线天线、矩阵天线、裂缝天线,根据不同作用和不同使用环境,采用不同的天线形式。天线的重要技术指标就是天线方向图和天线波瓣宽度。天线方向图如图1-3所示:图中中间最大图形称为波束主波瓣,在空间是一个锥形体,主波瓣两边的小图形称为副瓣,副瓣一般对称分布。理论上副瓣越小越好,能量越集中,受周围干扰越小。副瓣是不需要的波瓣,但是它又必然存在,它对雷达测速仪的影响是分散了发射能量、容易受左右两边环境影响而产生噪声、减小了雷达测速仪测量距离。因此,副瓣越小说明雷达天线性能越好。一般情况下,最大的第一副瓣比主瓣应小15dB,理想的可以达到20dB。《雷达测速仪型式评价大纲》中规定的是15dB。

天线波瓣宽度的定义如图1-4所示:在天线方向图主瓣上,将主瓣的最大点C点的功率定义为1,然后以功率下降3dB(0.707)的点为线定出A、B两点,A、B两点与圆点的连线形成一个等腰三角形,在这个等腰三角形中, $\angle AOB$ 被定义为天线波瓣宽度 θ 。一个好的天线,应该是天线增益高、副瓣小、主瓣波瓣宽度窄。

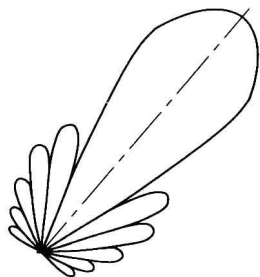


图1-3 雷达测速仪天线方向图

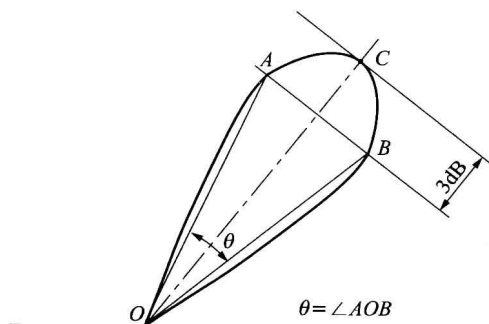


图1-4 雷达测速仪天线波瓣宽度

9. 雷达测速仪对目标车辆行驶方向的判断

(1) 雷达对目标车辆行驶方向的判别。雷达判别车辆行驶方向,通过微波传感器的两路混频输出信号来判别车辆是“同向”行驶还是“反向”行驶。雷达传感器有两路混频信号输出I和Q,I、Q两路信号来自同一目标,信号相位差 90° 。

当车辆“同向”行驶时（图 1-5），I 与 Q 两路信号的相位如图 1-6 所示。

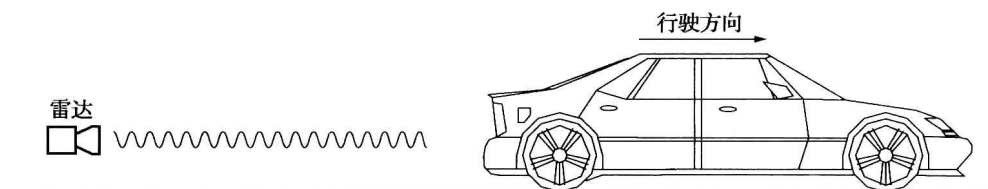


图 1-5

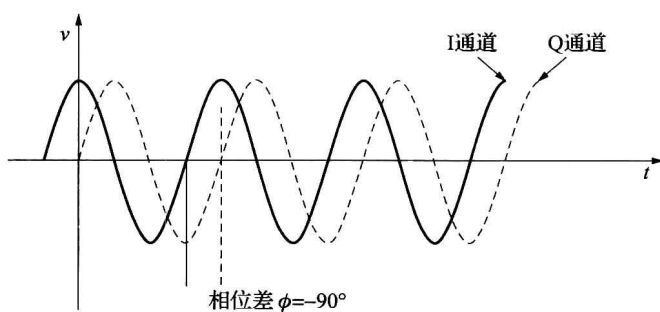


图 1-6

当车辆“反向”行驶时（图 1-7），I 与 Q 两路信号相位如图 1-8 所示。

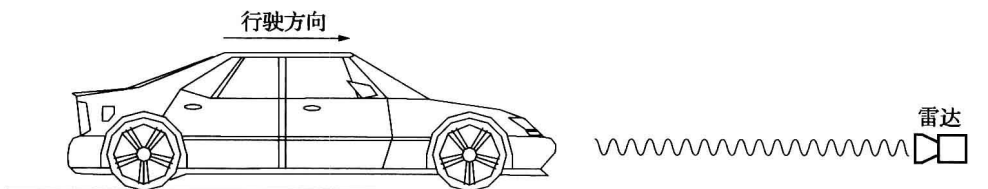


图 1-7

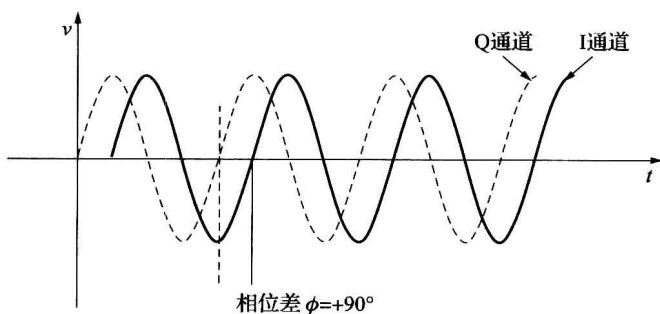


图 1-8

(2) 雷达对目标车辆行驶方向判别的方法。对雷达 I、Q 两路信号的相位关系的处理可以采用“过零触发”软件算法。例如图 1-8 所示的采样信号，通过“过零触发”

算法, 得到 I、Q 两路相位信号, 如图 1-9 所示, 很快可以确定 I、Q 超前、滞后的关系, 确定车辆行驶方向。

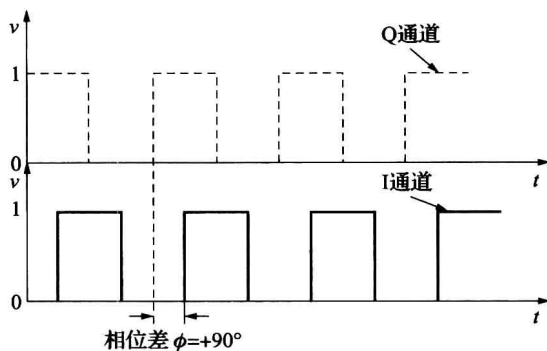


图 1-9

二、测距测速雷达测速仪

雷达测距的方法有很多种: 脉冲法、相位法、脉冲调制测距和调频连续波法等。下面简要介绍在交通测速领域应用最广泛的调制连续波法测速、测距原理。

对于运动物体通常采用三角波调制方法, 可以同时测量速度和距离, 微波发射到运动物体, 产生两种效应叠加, 即延时效应和多普勒效应, 如图 1-10 所示。

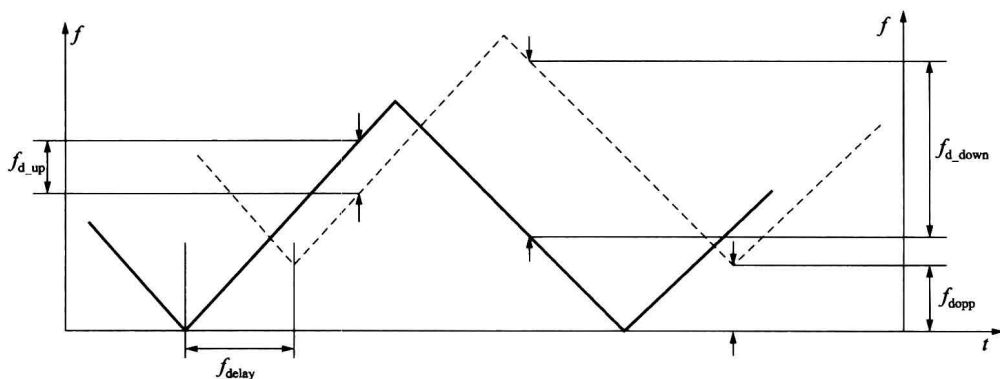


图 1-10

延时效应公式:

$$f_{\text{delay}} = \frac{2 \times R \times \Delta f}{c_0 \times T} \quad (1-5)$$

式中 f_{delay} ——发射与接收的延时;

R ——测量距离;

Δf ——频率变化量;

c_0 ——光速;

T ——三角波周期。

多普勒效应公式：

$$f_{\text{dopp}} = 2 \times f_0 \times \frac{v}{c_0} \times \cos \alpha \quad (1-6)$$

式中 f_{dopp} ——多普勒频移；

f_0 ——雷达发射频率；

v ——运动物体速度；

α ——运动物体速度和雷达波束轴线夹角，如图 1-11 所示。

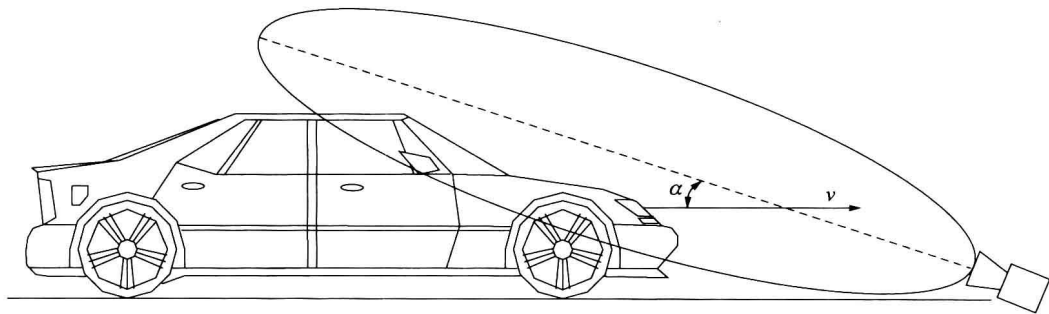


图 1-11

如果运动物体速度和雷达波束轴线的夹角小于 10° ，那么 $\cos \alpha \approx 1$ ，由式(1-6)得

$$f_{\text{dopp}} = 2 \times f_0 \times \frac{v}{c_0} \quad (1-7)$$

如果计算速度和距离两个参数量，需要联立两个方程，由图 1-10 可以联立两个方程式：三角波上升沿，多普勒效应和延迟效应抵消；下降沿，多普勒效应和延迟效应相互叠加，即

$$f_{\text{d_up}} = f_{\text{dopp}} - f_{\text{delay}} \quad (1-8)$$

$$f_{\text{d_down}} = f_{\text{dopp}} + f_{\text{delay}} \quad (1-9)$$

式(1-8)加式(1-9)，可得

$$f_{\text{d_up}} + f_{\text{d_down}} = 2 \times f_{\text{dopp}}$$

由式(1-7)得

$$f_{\text{d_up}} + f_{\text{d_down}} = 2 \times 2 \times f_0 \times \frac{v}{c_0}$$

由此得到速度计算公式：

$$v = \frac{c_0 \times (f_{\text{d_up}} + f_{\text{d_down}})}{4 \times f_0} \quad (1-10)$$

式(1-8)减式(1-9)，可得

$$f_{\text{d_up}} - f_{\text{d_down}} = 2 \times f_{\text{delay}}$$

由式(1-5)得

$$f_{\text{d_up}} - f_{\text{d_down}} = \frac{2 \times 2 \times R \times \Delta f}{c_0 \times T}$$

因此

$$R = \frac{(f_{d_up} - f_{d_down}) \times c_0 \times T}{2 \times 2 \times \Delta f} \quad (1-11)$$

式(1-10)和式(1-11)中的 c_0 、 f_0 为已知量, T 、 Δf 分别为三角波周期和振荡器频率变化量,也是已知量。如果求得频率量 f_{d_up} 和 f_{d_down} ,就可以通过式(1-10)和式(1-11)得到速度 v 和距离 R 。

三、窄波雷达测速仪

窄波束天线的雷达测速仪与其他雷达测速仪的系统组成、信号处理、终端处理都是一样的,仅仅是雷达天线采用波束宽度较窄的平板天线而已。

受雷达测速仪结构的限制,雷达测速仪一般都采用喇叭式天线,喇叭天线的长度又不可能做得很长,一般情况下,X波段的的天线波瓣宽度在 18° 左右;K和Ka波段的的天线波瓣宽度在 12° 左右,好的可以做到 10° ,波瓣越窄,受周围环境干扰小,能量越集中,作用距离越远。目前,雷达测速仪应用较多的是喇叭天线,天线波瓣宽度在 $12^\circ \sim 18^\circ$ 之间。天线波瓣宽度宽了,在公路上使用时,波束区会覆盖两个以上车道,在多目标环境下,有可能出现车辆判断不准确,产生被测速目标的不唯一性。

为了解决这一问题,近几年,人们将平面天线(也称为平板天线)用于雷达测速仪上,它是一种矩阵式的微带天线。平面天线的波束宽度可以做到 4° 左右,甚至更窄,H面和V面的波束宽度可以不同,但要保证V面的波束宽度要窄。实际应用的平面天线的尺寸大约是 $180\text{mm} \times 90\text{mm}$,有矩形的,也有正方形的,面积比较大。窄波束天线主要用于安装在道路上方龙门架或路边的固定式电子警察系统,固定式电子警察系统可以允许天线体积稍微大一点。也有用在移动式电子警察系统中的,但由于平面天线的体积较大,会对其安装、使用会带来不便。平面天线的窄波束特点,保证了雷达测速仪的波束在路面上只照射到一个车道上,相邻车道照射不到,避免了邻道干扰,提高了对被测目标的唯一性。

在JJF1335—2012《定角式雷达测速仪型式评价大纲》中规范了窄波雷达的产品质量,并首次规定了平面天线的水平主瓣宽度不超过 6° ,副瓣电平小于 -15dB 。此规范的制定,给机动车超速自动监测系统实现监测唯一性打下一个好的硬件基础,当然还需要有一个保证它实现的好的软件,这一切都需要通过试验来验证。

四、动态雷达测速仪

测速雷达在运动状态下,如果目标出现在雷达波内,雷达采样到两种信号,即雷达相对目标速度信号 v_1 和雷达自身速度信号 v_2 (雷达对地反射信号)。例如如图1-12所示,当车辆进入运动雷达波瓣时,目标速度 v 为

$$v = v_1 - v_2$$

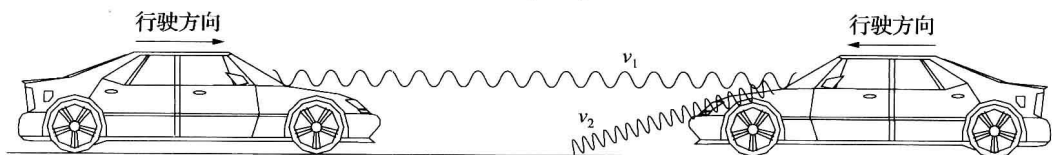


图 1-12