

孙 桥 蔡常青
张 跃 杜 磊 主编

机动车测速计量

检测技术



中国质检出版社
中国标准出版社

机动车测速计量检测技术

孙 桥 蔡常青 张 跃 杜 磊 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

机动车测速计量检测技术/孙桥等主编. —北京:中国质检出版社,2013.10

ISBN 978-7-5026-3910-5

I. ①机… II. ①孙… III. ①机动车—行车速度—速度测量
IV. ①U467.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 249244 号

内 容 提 要

本书系统地介绍了不同测量工作原理的国内主流机动车测速领域的模拟检测技术,包括:雷达测速、激光测速、地感线圈测速和视频测速的原理概述、特性指标以及模拟检测技术的现状与发展;同时详细地介绍了固定式和移动式两种现场标准测速检测技术的特点、应用和可靠溯源途径;针对新近制定的机动车测速仪型式评价试验大纲计量技术规范系列进行了重点的解读。简单介绍了保证机动车测速“同一性”的计量“溯源性”解决办法,以减少异常测量结果的出现。

本书可作为机动车测速计量专业的培训教材,供从事机动车测速计量工作的计量检测人员、交管部门涉及机动车测速的工作人员以及机动车测速仪和现场标准测速仪的生产厂家相关人员使用。

中国质检出版社
中国标准出版社 出版发行

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 11.75 字数 272 千字

2013 年 10 月第一版 2013 年 10 月第一次印刷

*

定价:40.00 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：孙 桥 蔡常青 张 跃 杜 磊

编 委：杨春生 高奎贺 胡红波 白 银

白 杰 许兰国 钱 江 鲍俊民

吴轶轩 王东峰 崔 荣 杨君恺

前 言

近年来,随着全国各地公安交通管理部门大量使用主流机动车测速仪作为服务非现场执法使用的计量工作器具进行机动车行驶速度的监测,机动车测速仪的检测技术受到了计量技术领域的重点关注。机动车测速仪是涉及人身安全的依法管理、强制检定的重要计量工作器具,主要用于行驶机动车速度的监测,其测速原理主要包括雷达多普勒测速、脉冲激光测速、地感线圈测速、视频测速等。目前,我国使用的三类主流机动车测速仪包括:雷达测速仪、激光测速仪和地感线圈测速仪。机动车超速自动监测系统是具有采集、处理图像信息等附加设备的一种复合功能的机动车测速仪。针对三种主流机动车测速仪,目前国内已经形成了以模拟检测技术为主、结合安装了移动式现场标准测速仪的试验车进行现场道路试验的检测方案。

国际上,机动车测速仪的模拟检测技术主要是在实验室依靠不同工作原理的运动目标速度模拟装置对相应原理的机动车测速仪进行理想状态下计量性能的模拟测量和基本功能的试验,以主要确定其理想状态下的模拟测速范围、模拟测速误差及其在型式评价环境试验的影响作用下/后这些计量性能发生的改变。这种模拟检测装置一般在实验室中使用,应用于机动车测速仪型式评价试验中的一些关键试验项目,可以将气候、机械或电磁环境试验对机动车测速仪试验样品计量性能的影响大小进行量化。对此,国际警察首长协会(IACP)2004年正式实施的机动车测速仪国际标准系列有较详细的描述,机动车测速计量技术较先进的一些欧洲国家计量院也一直致力于这方面的研究,如瑞士 METAS、荷兰 NMi、德国 PTB 等。

在我国,机动车测速仪的模拟检测技术主要应用于周期检定,并且运动目标速度模拟装置的使用场合也由实验室扩大到固定安装机动车测速仪的道路现场。对于雷达测速原理的机动车超速自动监测系统来说,这一方面免去了雷达测速单元拆装的工作量,给周期检定工作带来了方便,另一方面,使用场所的变化实质上进一步扩大了本来仅仅适用于型式评价试验项目的模拟技术的使用范围,改变了运动目标速度模拟装置的合理用途,却不能够鉴别出雷达测速单元在实际使用中出现异常测量结果的可能性,需要随后对测量取证结果人工逐一排查。类似现象,对于使用中的地感线圈测速原理的机动车超速自动监测系统,也同样存在。

机动车测速仪的现场试验是在实际工作状态下对其综合计量性能做出客观判定的重要检测项目,服务于机动车测速仪计量器具控制的科学目的。针对机动车测速仪(包括机动车超速自动监测系统)的现场检测,目前国内已经形成了使用安装有非接触光栅原理或 GPS 原理的移动式现场标准测速仪的试验车进行现场道路试验的检测方案,基本满足了目前使用中机动车测速仪的计量检测需要,并且推动了国内机动车测速仪现场检测技术的发展,起到了积极的作用。另一方面,国际法制计量组织(OIML)1990年颁布的 R91《机动车雷达测速仪》国际建议,则推荐以真实交通情况下的社会车辆为测量对象,利用固定式的现场标准测速装置为标准器,完成 500 次独立测量的大样本现场试验,作为机动车雷达测速仪型式评价现场计量试验项目的要求。毋庸置疑,只有深入了解固定式和移动式两类现场

检测技术的不同特点和用途,才能对其进行合理的应用,从而进一步促进机动车测速现场检测技术的发展。

近十年来,我国机动车测速计量检测技术得到了十分迅猛的发展,基本满足了目前使用中机动车测速仪的计量检测需求,并且为机动车测速仪检测技术的发展做出了有益的探索。随着机动车测速仪型式评价试验大纲计量技术规范系列的陆续制定和实施,我国机动车测速计量检测技术得到了进一步的深入发展,逐渐淘汰了机动车测速仪中以前可能导致社会争议处罚的产品,对国产及进口的机动车测速仪产品的质量严格把关,有力地推动了具有自主知识产权的国内生产厂家的技术进步和产品升级,从整体上提高了我国交管执法大量使用的机动车测速仪的产品质量,从而保障了交管部门处罚结果的准确性、可靠性和公平性。

毫无疑问,我国机动车测速计量检测技术的进一步发展为构建我国完善的道路测速计量保障体系奠定了坚实的技术基础,为道路测速交通安全以及人身安全提供了有力的计量技术支持与保证,为解决由超速执法引发的社会纠纷起到了积极的技术保障作用,极大地推进了我国机动车测速领域的民生计量和法制计量工作,并且正在实现和相关的国际建议、国际标准的技术要求、试验方法逐渐接轨。

由于时间仓促,编写水平有限,而机动车测速仪及其计量检测技术本身又在不断地快速发展中,书中疏漏不足在所难免,敬请指正。

编 者
2013. 10

目 录

第一章 机动车雷达测速模拟检测技术	1
第一节 机动车雷达测速概述	1
第二节 机动车雷达测速的计量特性指标	8
第三节 机动车雷达测速模拟检测技术及发展	36
第四节 2D 机动车雷达测速原理介绍	39
第二章 机动车激光测速模拟检测技术	48
第一节 机动车激光测速概述	48
第二节 机动车激光测速模拟检测技术及发展	50
第三章 机动车地感线圈测速模拟检测技术	55
第一节 机动车地感线圈测速概述	55
第二节 机动车地感线圈测速系统的特性计量指标	69
第三节 机动车地感线圈测速模拟检测技术及发展	73
第四章 机动车视频测速模拟检测技术	87
第一节 机动车视频测速概述	87
第二节 机动车视频测速的工作原理及特性计量指标	91
第三节 机动车视频测速模拟检测技术及发展	94
第四节 机动车测速的“同一性”及其“溯源性”	108
第五章 机动车测速现场检测技术	113
第一节 固定式机动车标准测速技术	113
第二节 移动式非接触机动车标准测速技术及其溯源	119
第三节 移动式 GPS 机动车标准测速技术及其溯源	122
第六章 机动车测速型式评价试验技术	128
第一节 定角式雷达测速仪型式评价	128
第二节 机动车激光测速仪型式评价	146
第三节 机动车地感线圈测速系统型式评价	163
参考文献	179

第一章 机动车雷达测速模拟检测技术

20 世纪 40 年代,机动车雷达测速仪在欧、美开始应用于交通执法,70 年代依靠音叉进行校准,80 年代开始使用雷达测速原理的运动目标速度模拟装置进行实验室条件下的校准。在美国,目前使用中的机动车雷达测速仪超过 10 万台,对雷达测速模拟检测技术有长期的研究经验和工作基础。国际警察首长协会(IACP)及美国道路安全部(NHTSA)委托美国国家标准技术研究院(NIST)制定机动车雷达测速仪国际标准。美国国家标准技术研究院执法标准办公室(OLES)将其指导国内雷达测速仪型式评价的国家标准(1982 年及随后修订本)进行修改编写,制订了两个机动车雷达测速仪 IACP 国际标准,2004 年正式实施,这对美、加等国机动车雷达测速仪技术指标和计量性能的规范起到了重要的作用。这两个国际标准中,均附有雷达测速原理的运动目标速度模拟装置的系统原理图。该模拟装置是实验室专用测试设备,能够用于接收机动车雷达测速仪或雷达测速单元发射的微波信号,并且发送对应于设定模拟速度值及方向的相应频率调制回波信号,用于型式评价试验中的一些关键试验项目。

在我国,2008 年实施了 JJG 527—2007《机动车超速自动监测系统》检定规程,为了避免自动监测系统中雷达测速单元的拆卸和安装工作,目前已经出现了利用升降杆使模拟装置雷达天线靠近龙门架上的雷达探头及利用放置在地面的模拟装置大功率雷达天线对准龙门架上的雷达探头两种方式,将模拟技术用于现场进行规程所要求的测速范围及模拟测速误差项的检定。这在一定程度上减少了检定的工作量及对正常交通的影响,增加了规程的可执行性。然而,模拟检测技术只是一种理想状态下的试验方法,无法复现出现场复杂的实际交通状况和环境影响情况,无法解决目前在该规程实施中已经发现可能存在的误测、误判和安装、使用不当等问题,需要随后对测量取证结果人工逐一排查。因此,运动目标速度模拟装置是否适合于固定安装的机动车雷达测速仪的周期检定,值得进一步研究、探讨。

第一节 机动车雷达测速概述

1.1.1 引言

随着雷达技术的发展,雷达的任务不仅是测量目标的距离、方位和仰角,而且还包括测量目标的速度,以及从回波中获取更多有关目标的信息。飞机、导弹、人造卫星、各种舰艇、车辆、兵器、炮弹以及建筑物、山川、云雨等等,都可能作为雷达的探测目标,这要根据雷达用途而定。第二次世界大战后,特别是 20 世纪 70 年代以来,雷达技术有了迅速的发展,雷达已在军事的各个方面获得应用。这些技术成果也同时在民用雷达方面发挥着日益增长的作用,交通测速雷达作为民用雷达的一个重要应用,目前广泛用于道路交通巡逻,车流速

度检测等方面,特别是在交通管制方面起着重要的作用,增加了交通监理的现代化与智能化水平。

作为本章的理论基础,本节内容包括:第 1.2 部分介绍了雷达测速仪的基本工作原理以及整个测量过程;第 1.3 部分介绍了雷达测速仪的基本组成以及各部分的作用;第 1.4 部分介绍了雷达测速仪的分类方法及依据。

1.1.2 工作原理

雷达测速仪是利用雷达多普勒频移原理对机动车行驶速度进行测量的。本节将简要介绍一下雷达测速仪的工作原理,以便进一步分析雷达测速仪的计量性能指标。同时为了更好地说明雷达测速仪的工作原理,本节将首先介绍多普勒效应的物理概念。

1.1.2.1 多普勒效应

多普勒效应是指当发射源和接收者之间有相对径向运动时,接收到的信号频率会发生变化。这种现象最先是由奥地利物理学家多普勒(J. Doppler)在 1842 年发现的,并提出了“波的频率和波源与观察者之间的相对运动有关”的理论,故称为多普勒原理。

对于多普勒效应,一个直观的体验是:当一辆鸣笛的火车迎面开来的时候,我们听到的笛声音调是由低到高;而当火车疾驰而过、远离我们的时候,我们听到的笛声音调是由高到低;火车行驶的速度越快,我们听到笛声音调的高低变化也就越明显。这种音调的变化实际上是由于火车与观察者之间的相对运动,造成了声源对空气介质的振动频率偏移了声源本身的振动频率。上述这种现象就是多普勒效应,笛声所发出的声波振动频率的这种变化称为多普勒频移,振动频率的变化量为多普勒频率。

上面的例子是假定当观测者处于静止不动,而波源相对观察者运动时的情形;反之,当波源处于静止不动,而观察者相对波源运动时,上面的现象也会发生。也就是说,只要两者之间发生相对径向运动,多普勒效应就会发生。

1.1.2.2 雷达多普勒测速原理

雷达测速仪对机动车行驶速度的测量同样是利用上面介绍的多普勒原理来进行的,不同的是雷达发射的是电磁波而不是声波,即通过发射电磁波照射到目标机动车上所产生的多普勒效应来进行的。当雷达测速仪与目标机动车之间存在着相对径向运动时,多普勒效应表现在雷达测速仪所发射信号的频率与所接收到的经目标机动车反射后的回波信号的频率不同。当目标机动车驶向雷达测速仪时,雷达测速仪所接收到的回波信号的频率将高于所发射的电磁波信号的频率;当目标机动车驶离雷达测速仪时,雷达测速仪所接收到的回波信号的频率将低于所发射的电磁波信号的频率;当目标机动车在雷达测速仪测量时处于相对静止状态时,雷达测速仪所接收到的回波信号的频率将与所发射的电磁波信号的频率相同。雷达测速仪正是利用接收信号与发射信号之间的频率差值(称为多普勒频率),来实现对目标机动车行驶速度的测量以及行驶方向的判断。以下简要推导一下多普勒频率与发射电磁波的频率、目标机动车行驶速度之间的关系。

目前国内所使用的雷达测速仪绝大多数是采用单频连续波体制,所发射的单频连续波信号 $s_0(t)$ 可表示为

$$s_0(t) = A \exp \{ j(2\pi f_0 t + \phi_0) \} \tag{1-1}$$

式中: A ——表示所发射信号的幅度;

f_0 ——表示所发射信号的频率;

φ_0 ——表示所发射信号的初始相位。

雷达测速仪以一定的微波频率 f_0 发射的电磁波波束照射到目标机动车, 经目标机动车反射后, 雷达测速仪所接收到的回波信号 $s_r(t)$ 可表示为

$$s_r(t) = A\sigma_0 \exp\{j[2\pi f_0(t - \tau) + \phi_0]\} \quad (1-2)$$

式中: σ_0 ——表示目标机动车的后向散射系数;

τ ——表示往返时延, 即回波信号滞后于发射信号的时间。

表达式为:

$$\tau = \frac{2R}{c} \quad (1-3)$$

式中: c ——表示电磁波在空气中的传播速度, 等于 $2.99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$;

R ——表示雷达测速仪到目标机动车的距离历程, 定义目标机动车驶向雷达测速仪时的速度方向为正方向。

则距离历程 R 的表达式为:

$$R(t) = R_0 - v_r t \quad (1-4)$$

式中: R_0 ——为雷达测速仪到目标机动车的初始距离, 即 $t = 0$ 时刻的距离;

v_r ——为目标机动车相对雷达测速仪的径向速度。

根据(1-2)式, 回波信号 $s_r(t)$ 的相位历程可表示为:

$$\Phi(t) = 2\pi f_0(t - \tau) + \varphi_0 \quad (1-5)$$

相应的, 回波信号 $s_r(t)$ 的频率 f_r 可表示为:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d\Phi(t)}{dt} \quad (1-6)$$

当在雷达测速仪测量时, 目标机动车与雷达测速仪在径向方向上处于相对静止状态时, 即 $v_r = 0$, 则根据式(1-4), 式(1-3)所表示的往返时延 τ 为常量。

表达式为:

$$\tau = \frac{2R_0}{c} \quad (1-7)$$

则根据式(1-5)和式(1-6)可知, 雷达测速仪所接收到的回波信号的频率 f_r 为:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d\Phi(t)}{dt} = f_0 \quad (1-8)$$

与雷达测速仪所发射的电磁波信号的频率相同。

当在雷达测速仪测量时, 目标机动车在径向方向上以匀速 v_r 相对于雷达测速仪运动时, 则式(1-3)所表示的往返时延 τ 是与时间 t 有关的变量。由于在通常情况下, 目标机动车相对于雷达测速仪的径向速度 v_r 要远远小于电磁波的传播速度 c , 故根据式(1-4), 式(1-3)所表示的往返时延 τ 可近似等于:

$$\tau = \frac{2R(t)}{c} = \frac{2}{c}(R_0 - v_r t) \quad (1-9)$$

根据式(1-5)和式(1-9), 回波信号 $s_r(t)$ 的相位历程可表示为:

$$\begin{aligned}\Phi(t) &= 2\pi f_0 \left[t - \frac{2}{c}(R_0 - v_r t) \right] + \phi_0 \\ &= 2\pi f_0 \left(1 + \frac{2v_r}{c} \right) t - \frac{4\pi f_0 R_0}{c} + \phi_0\end{aligned}\quad (1-10)$$

故雷达测速仪所接收到的回波信号的频率 f_r 为:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d\Phi(t)}{dt} = f_0 + \frac{2v_r f_0}{c} \quad (1-11)$$

由式(1-11)可以看出,由于雷达测速仪接收到的电磁波信号中携带了目标机动车行驶速度信息,使得回波信号的频率 f_r 与所发射信号的频率 f_0 有所不同,即发生了频率偏移。将接收信号频率 f_r 与发射信号频率 f_0 之差称为多普勒频率,表达式为:

$$f_d = f_r - f_0 = \frac{2v_r f_0}{c} \quad (1-12)$$

当目标机动车行驶方向与雷达测速仪电磁波照射方向之间的夹角为 0° 或 180° 时,即目标机动车行驶方向与雷达测速仪电磁波照射方向相同或相反,目标机动车相对雷达测速仪的径向速度 v_r 与目标机动车的实际行驶速度 v 的绝对值相等,即 $|v_r| = |v|$,此时根据式(1-12)可以计算出目标机动车的实际行驶速度 v 为:

$$v = \frac{c}{2} \cdot \frac{f_d}{f_0} \quad (1-13)$$

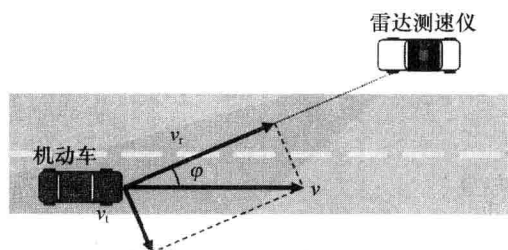


图 1-1 目标机动车行驶方向与雷达测速仪电磁波照射方向之间的关系图

在实际使用过程中,目标机动车行驶方向与雷达测速仪电磁波照射方向往往并不完全一致,而是存在着夹角 φ ,如图 1-1 所示,此时目标机动车相对雷达测速仪的径向速度 v_r 与目标机动车的实际行驶速度 v 之间的关系为:

$$v_r = v \cos \varphi \quad (1-14)$$

根据式(1-12)和式(1-14)可知,多普勒频率 f_d 与目标机动车的实际行驶速度 v 之间的关系为:

$$f_d = \frac{2}{c} f_0 v \cos \varphi \quad (1-15)$$

由式(1-15)可以看出,多普勒频率 f_d 与目标机动车的行驶速度 v 成正比,当目标机动车驶向雷达测速仪时,多普勒频率值为正;反之,当目标机动车驶离雷达测速仪时,多普勒频率值为负。由于在实际使用过程中雷达测速仪电磁波照射方向与目标机动车行驶速度方向之间存在着一定的角度 φ ,如图 1-1 所示,因此在计算多普勒频率时需要考虑该角度余弦效应的影响,并且由式(1-15)可以看出多普勒频率值与该角度的余弦值成正比。

综上,雷达测速仪测量目标机动车行驶速度的基本原理可以概述如下:目标机动车以一定的速度值 v 进入到雷达测速仪电磁波波束的覆盖区域内,在角度为 φ 处触发雷达测速仪工作,雷达测速仪对接收到的回波信号通过信号处理的方法计算出多普勒频率值 f_d ,并且雷达测速仪的微波发射频率 f_0 是已知的,则由式(1-12)可以计算目标机动车相对雷达测速仪的径向速度 v_r 为:

$$v_r = \frac{c}{2} \cdot \frac{f_d}{f_0} \quad (1-16)$$

从理论上如果能够通过测量或计算的手段获得触发角度 φ 的准确值,那么通过式(1-15)就可以准确测得目标机动车的实际行驶速度值 v 为:

$$v = \frac{c}{2\cos\varphi} \cdot \frac{f_d}{f_0} \quad (1-17)$$

1.1.3 基本组成

雷达测速仪的基本组成如图 1-2 所示,主要由信号发生器、调制器、发射机、天线、收发开关、接收机、低噪放大器、解调器、信号处理器以及显示器等部分组成。

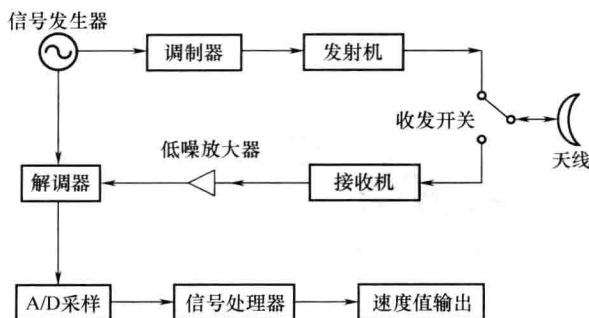


图 1-2 雷达测速仪简化结构框图

信号发生器用于通过电振荡产生雷达测速仪的微波发射频率,通过调制器调制和发射机放大后,经馈线和收发开关由天线辐射到空间场中。由于天线具有方向性,使得辐射出的微波信号集中在某个方向上形成波束,向前传播。当微波信号遇到波束内的目标机动车后,将向着各个方向进行反射,其中一部分微波信号能量反射回雷达测速仪方向,被雷达天线获取。天线获取的微波信号经过收发转换开关后送到接收机,形成雷达回波信号。由于在信号反射过程中只有后向部分的能量返回到雷达天线,并且信号能量在传播过程中还会随着传播距离的增加而衰减,使得雷达回波信号会变得非常微弱,几乎被噪声所淹没。因此,雷达回波信号作进一步处理之前先要经过低噪声放大器进行放大,然后经过 A/D 采样以及信号处理器处理后,提取出包含在回波信号中的速度信息和方向信息,最终输出到显示器,以显示目标机动车的速度和方向等信息。

1.1.4 分类依据

根据在实际使用时安装角度的大小,雷达测速仪可分为零角式雷达测速仪和定角式雷达测速仪。

零角式雷达测速仪是指雷达电磁波波束方向与目标机动车行驶方向在同一直线上或者是之间的夹角所引起的余弦效应对测速结果的影响可以忽略不计的机动车雷达测速仪。目前,零角式雷达测速仪主要包括各种类型的手持式雷达测速仪,但由于通常缺少自动取证功能,现在已经很少作为交警部门的超速执法工具。

定角式雷达测速仪是指按固定角度安装并且测速值按余弦效应进行相应修正的机动车雷达测速仪。定角式雷达测速仪通常要与图像采集及处理等系统共同组成机动车超速自动监测系统,是目前交警部门最主要的超速违章执法手段。根据安装方式的不同,定角式雷达测速仪又可进一步分为侧装定角式雷达测速仪(以下简称为侧装雷达测速仪)和顶装定角式雷达测速仪(以下简称为顶装雷达测速仪)。其中,侧装雷达测速仪通常按固定角度安装或放置于道路旁边,安装方式如图 1-3(a)所示,其测速区域可覆盖多条车道,因此可对行驶在不同车道上的机动车进行测速;顶装雷达测速仪通常按固定角度安装于车道正上方的龙门架上,安装方式如图 1-3(b)所示,其测速区域限制在单条车道内,可以减少左右邻车道的机动车对本车道测速结果的干扰,同时针对高速公路中不同车道的限速值不同的特点,可以对监测不同车道的雷达测速仪的触发速度值分别进行设置。

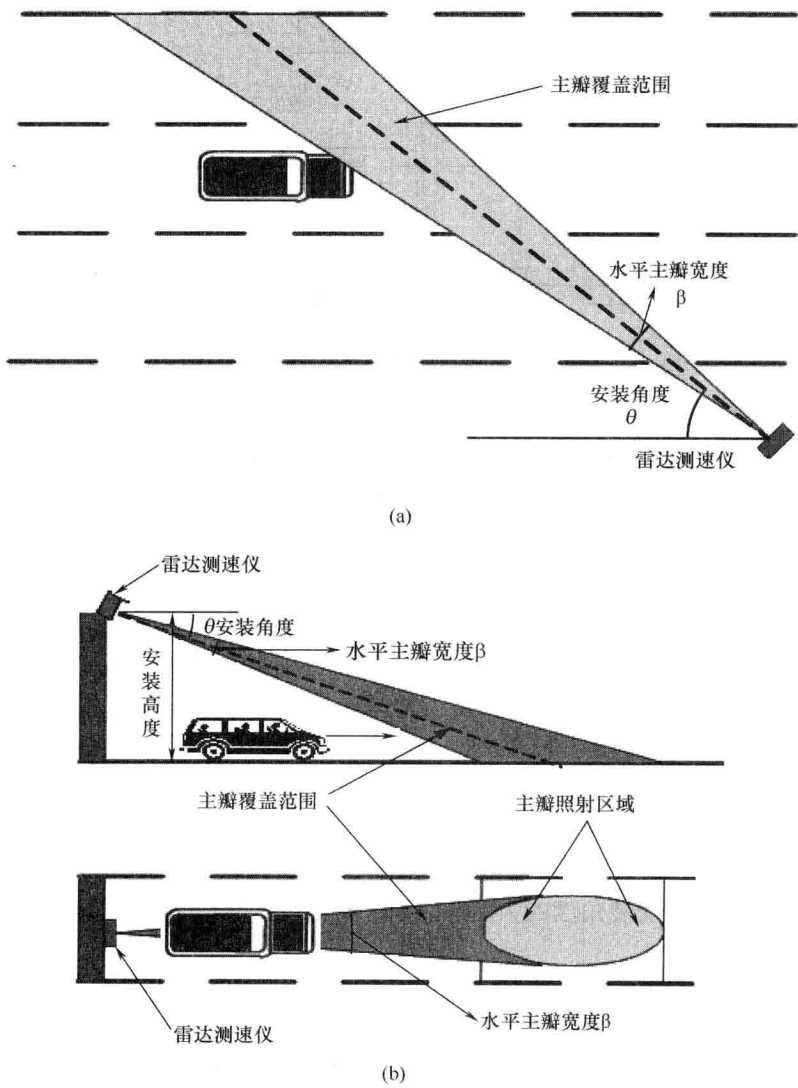


图 1-3 定角式雷达测速仪安装方式示意图

由上面的介绍可知,零角式雷达测速仪和定角式雷达测速仪的最本质的区别在于是否需要雷达测速仪的速度测量结果进行余弦效应修正,判断的依据是根据雷达测速仪使用时夹角 φ 的大小。由式(1-15)可以看出多普勒频率值与夹角 φ 的余弦值成正比,如果在速度测量值计算时忽略夹角 φ 余弦效应的影响,则根据式(1-17)可以计算出速度测量值 v_m 与目标机动车实际行驶速度值 v 的关系为:

$$v_m = v \cos \varphi \quad (1-18)$$

所引起的相对测速误差的绝对值为:

$$\delta_v = 1 - \cos \varphi \quad (1-19)$$

表 1-1 余弦效应对雷达测速仪速度测量值计算的影响

夹角($^{\circ}$)	3	5	6	7	8	10	15	20	30
测量值(km/h)	实际速度值(km/h)								
20	20.03	20.08	20.11	20.15	20.20	20.31	20.71	21.28	23.09
40	40.05	40.15	40.22	40.30	40.39	40.62	41.41	42.57	46.19
60	60.08	60.23	60.33	60.45	60.59	60.93	62.12	63.85	69.28
80	80.11	80.31	80.44	80.60	80.79	81.23	82.82	85.13	92.38
100	100.14	100.38	100.55	100.75	100.98	101.54	103.53	106.42	115.47
120	120.16	120.46	120.66	120.90	121.18	121.85	124.23	127.70	138.56
150	150.21	150.57	150.83	151.13	151.47	152.31	155.29	159.63	173.21
180	180.25	180.69	180.99	181.35	181.77	182.78	186.35	191.55	207.85
200	200.27	200.76	201.10	201.50	201.97	203.09	207.06	212.84	230.94

表 1-1 给出了不同夹角值时雷达测速仪速度测量值 v_m 与目标机动车实际速度值 v 之间的差别,用于说明夹角 φ 引起的余弦效应对雷达测速仪速度测量值计算的影响。

根据现行的雷达测速仪检定规程和国家标准的要求,雷达测速仪的测速范围至少应满足(20~180) km/h,现场测速误差应满足:当 $v < 100$ km/h 时,绝对测速误差应不超过(-6~0) km/h;当 $v \geq 100$ km/h 时,相对测速误差应不超过(-6~0)%。实际上该现场测速误差要求是交警部门为了保障机动车驾驶人员的切身利益而将原始测速值向下平移后所得到的结果,未平移的原始现场测速误差应满足不超过(-3~3) km/h(当 $v < 100$ km/h 时)或(-3~3)%(当 $v \geq 100$ km/h 时)的要求。

根据上述测速范围以及现场测速误差的要求,忽略夹角 φ 引起的余弦效应所引起的原始现场测速误差至少应满足:当 $20 \text{ km/h} \leq v < 100 \text{ km/h}$ 时,绝对测速误差应不超过(-1~1) km/h;当 $100 \text{ km/h} \leq v \leq 180 \text{ km/h}$ 时,相对测速误差应不超过(-1~1)%。由表 1-1 可以看出,要满足上述要求,夹角 φ 应满足不超过 8° 。这意味着当雷达测速仪的夹角 φ 不超过 8° 时,该雷达测速仪可作为零角式雷达测速仪来使用,其速度测量结果可以不考虑余弦效应修正,速度测量公式如式(1-13)所示;当雷达测速仪的夹角 φ 超过 8° 时,该雷达测速仪必须按照定角式雷达测速仪来使用,其速度测量结果必须考虑对夹角 φ 所引起的余弦效应进行修正,速度测量公式如式(1-17)所示。

零角式雷达测速仪和定角式雷达测速仪所要求的计量性能指标是不同的。例如:由于零角式雷达测速仪要求夹角 φ 不超过 8° , 因此要求在实际使用时作用距离要远一些以保证夹角 φ 足够小, 因此需要对零角式雷达测速仪的作用距离进行限制; 由于定角式雷达测速仪在速度计算时需要考虑夹角 φ , 因此要求比较准确地确定夹角 φ 的大小或者范围, 因此需要对定角式雷达测速仪的水平主瓣宽度等天线计量性能指标进行限制等。

第二节 机动车雷达测速的计量特性指标

1.2.1 引言

由于雷达测速仪是涉及道路交通安全和人身安全的重要测速仪器, 属于国家强制检定计量器具。为此, 国家质检总局于 2004 年 9 月 21 日发布并于 2005 年 3 月 21 日开始实施的 JJG 528—2004《机动车雷达测速仪检定规程》, 其中对零角式雷达测速仪的计量性能指标作了具体要求。然后, 国家质检总局又于 2007 年 8 月 21 日发布并于 2008 年 2 月 21 日开始实施的 JJG 527—2007《机动车超速自动监测系统检定规程》, 其中对定角式雷达测速仪的计量性能指标作了具体要求。本节将对零角式雷达测速仪和定角式雷达测速仪的计量性能指标分别进行进一步的研究。

本节内容包括: 第 2.2 部分研究了零角式雷达测速仪的基本工作原理以及计量性能指标; 第 2.3 部分研究了侧装雷达测速仪的基本工作原理以及天线计量性能指标, 并且通过在真实交通情况下的现场试验进行了验证; 第 2.4 部分研究了顶装雷达测速仪的基本工作原理以及天线计量性能指标, 同样通过在真实交通情况下的现场试验进行了验证。

1.2.2 零角式雷达测速仪的基本工作原理以及计量性能指标研究

1.2.2.1 概述

在现阶段, 零角式雷达测速仪主要是指各种类型的手持式雷达测速仪, 目前国内常见的几款手持式雷达测速仪如图 1-4 所示。在早期, 零角式雷达测速仪由于具有技术成熟, 价格相对较低等优点, 成为我国交管部门治理超速违章现象最主要的现场测速执法设备和手段。然而, 近些年来, 随着我国城市化进程的加快以及汽车工业的快速发展, 我国的公路里程数迅速增加, 机动车保有量以及驾驶员数量也在迅速增长, 由此带来了更多的超速违章现象和道路安全隐患等问题。由于零角式雷达测速仪在工作时需要交警在现场操作以及人为取证, 因此使用零角式雷达测速仪进行超速违章执法需要大量的警力作为保障。此外, 零角式雷达测速仪通常不具备自动取证功能, 完全依靠交警人为取证, 无法满足交警公开、可靠执法的需要, 也不利于法庭公正地判罚超速违法案件。因此, 现阶段零角式雷达测速仪已经很少作为交警部门的超速执法工具。

零角式雷达测速仪和定角式雷达测速仪在测速原理和部分的计量性能指标要求是相同的。本节在介绍零角式雷达测速仪基本工作原理的基础上, 研究零角式雷达测速仪的计量性能指标要求, 包括微波发射频率、多普勒频率、作用距离以及天线等四项计量性能指标。

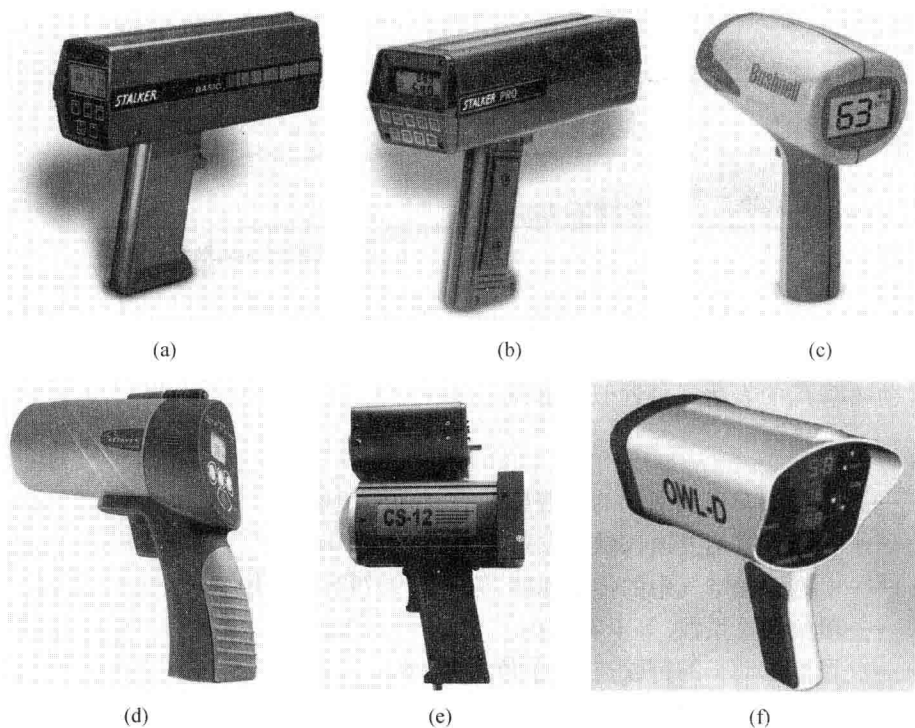


图 1-4 国内常见的几款手持式雷达测速仪

1.2.2.2 基本原理

按照定义,零角式雷达测速仪是指雷达电磁波波束方向与目标机动车行驶方向在同一直线上的雷达测速仪。但在实际使用过程中,执法人员通常站在道路旁边,手持零角式雷达测速仪对准被测的目标机动车,如图 1-5 所示。零角式雷达测速仪以一定的微波频率发射电磁波波束照射到行进中的目标机动车,如图 1-6 所示。经目标机动车反射后,零角式雷达测速仪接收到的回波信号因携带了机动车行驶速度信息,使得回波信号频率相比于发射频率发生了频率偏移,即为多普勒频率 f_d 。



图 1-5 零角式雷达测速仪工作场景图

由图 1-6 可以看出,由于在实际使用过程中执法人员只能持零角式雷达测速仪站在道路旁边对行驶在道路中的目标机动车进行测速,因此零角式雷达测速仪的电磁波波束方向与目标机动车行驶方向并不完全在同一直线上,而是存在着一个夹角 φ 。由第 2.4 节分析可知,当夹角 φ 不超过 8° 时,该夹角所引起的余弦效应对测速结果的影响可以忽略不计,此

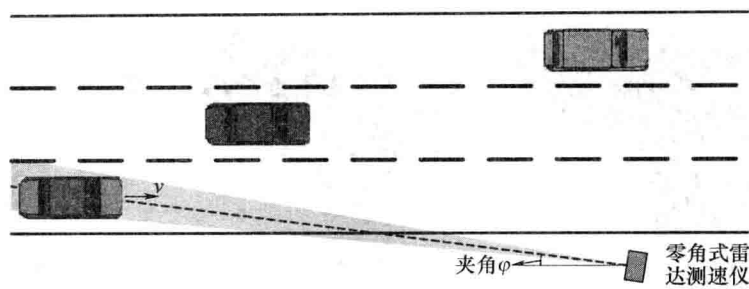


图 1-6 零角式雷达测速仪工作示意图

时,多普勒频率 f_d 的表达式可近似表示为:

$$f_d \approx \frac{2}{c} K f_0 v \tag{1-20}$$

- 式中: f_d ——由机动车运动引起的多普勒频率,单位为 Hz;
- f_0 ——零角式雷达测速仪微波发射频率,单位为 Hz;
- c ——电磁波在空气中的传播速度,等于 2.99792458×10^8 m/s;
- K ——单位换算系数,等于 1/3.6;
- v ——目标机动车的行驶速度,单位为 km/h。

由式(1-20)可以看出,多普勒频率 f_d 与机动车的行驶速度 v 成正比,当机动车驶向零角式雷达测速仪时,多普勒频率值为正;反之,当机动车驶离零角式雷达测速仪时,多普勒频率值为负。

通过式(1-20)和图 1-6 可以总结出零角式雷达测速仪测量机动车行驶速度的基本原理和整个过程如下:目标机动车以一定的速度值 v 进入到零角式雷达测速仪电磁波波束的覆盖区域并触发其工作,零角式雷达测速仪对接收到的回波信号通过信号处理的方法计算出多普勒频率值 f_d ,且零角式雷达测速仪的微波发射频率 f_0 是已知的,那么通过式(1-20)可以计算出目标机动车的实际行驶速度值 v 的近似测量值表达式为:

$$v \approx \frac{c}{2K} \cdot \frac{f_d}{f_0} \tag{1-21}$$

1.2.2.3 计量性能指标研究

由式(1-21)可以看出,影响零角式雷达测速仪测量目标机动车实际行驶速度值 v 的因素主要有微波发射频率 f_0 和多普勒频率 f_d 。此外,由于式(1-21)中忽略夹角 φ 所引起的余弦效应对测速结果的影响,因此影响因素还需要考虑零角式雷达测速仪的作用距离和天线计量性能指标。

1. 微波发射频率

在现行 JJG 528—2004 中,零角式雷达测速仪微波发射频率的最大允许误差分别限定为:

$$\text{X 波段: } (f_n \pm 25) \text{ MHz} \tag{1-22}$$

$$\text{K 波段: } (f_n \pm 45) \text{ MHz} \tag{1-23}$$

$$\text{Ka 波段: } (f_n \pm 100) \text{ MHz} \tag{1-24}$$